

# SPORING AV STOLPER VED RFID FOR ANALYSE AV STOLPEFORM

TRACING OF POLES BY RFID TO ANALYZE POLE SHAPE

ESPEN ANDREAS HALVORSEN

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP  
INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING  
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2008





## Sammendrag

Som en del i et større EU-prosjekt på sporing av stolper ved hjelp av Rfid ble det besluttet å benytte seg av denne teknologien til å studere stolpeform.

I denne oppgaven undersøkes effektiviteten av enkel sporing av stolper ved hjelp av Rfid, og en analyse av stolpeform ved målinger fra en toveis skyggeramme og en 3-D ramme. Vi ser på avsmalning, avsmalningsfunksjoner, rundhet av stolper og hvordan stolpene legger seg på kjerrat gjennom måleramma. Selve målingene ble utført ved Scanpole Norge AS og ved Moelven Våler.

Vi så at en lineær avsmalningsmodell gir veldig gode resultater, med en korrelasjon (gjennomsnittlig) på 0.97 og 0.95 på henholdsvis Moelven Våler og Scanpole. Likevel gir "Strands formel" bedre samsvar mellom funksjonsverdier og måleverdier med korrelasjon på 0.99 og 0.97 ved henholdsvis Moelven Våler og Scanpole.

Stolpene framstår med en liten avsmalning for trær både i forhold til den lineære modellen og den mer avanserte. Dette er viktig å ha for en stolpeprodusent.

Vi fant at det ikke er noen indikasjon på at stolpene legger seg på en bestemt side gjennom måleramma. Vi får en indikasjon på at det er flere som legger seg med breidsiden ned, men har for få stolper til å si om dette er signifikant eller ikke.

## Summary

As a part of a larger EU-project on tracking of tapers using Rfid, it was decided to use this technology to study taper shape.

In this paper we study the practicability of simple taper tracking using Rfid, and we analyze taper shape using measurements from both a two-way light scanner and a 3-D optical scanner. We look at taper, taper-equations, roundness of poles and how the poles position themselves through the scanner. The measurements were carried out at Scanpole Norge AS and Moelven Våler.

We could see that a linear taper modell gives very good results, with an average correlation of 0.97 and 0.95 at respectively Moelven Våler and Scanpole. "Strands formula" gives an even better consistency between function values and measured values with an average correlation of 0.99 and 0.97 at respectively Moelven Våler and Scanpole.

The poles have less taper than most trees, both according to the linear model and the more advanced one. This is an important aspect for a pole producer.

We couldn't find any indication of the poles positioning themselves in a certain manner through the scanner. We do get an indication of that more poles lie with their broadest side down than not, but we have too few poles to say if this is significant or not.



## Forord

Denne masteroppgaven er et resultat av et masterstudium ved Universitetet for miljø- og biovitenskap.

Jeg vil takke veilederne mine Birger Eikenes ved UMB og Peder Gjerdrum ved Skog og Landskap, for god veiledning og hjelp til utførelse av oppgaven. Deretter vil jeg takke Stian Skarpmor og Erik Steen ved Scanpole Norge, og Hans Jørgen Sundby ved Moelven Våler for å få stoppe vanlig måling ved målestasjonene for at jeg kunne gjøre mine målinger. Vil takke Amund Wøien ved Skog-data AS, Gunnar Noer og Helge Timland ved Rema Control Norge, og Egil Ravnemyr og Erlend Haartveit ved Skog og Landskap for bistand med utstyr og ekspertise. Ikke minst vil jeg takke Jan Sørums tømmermåler ved Scanpole og Kåre Brøtmo tømmermåler Moelven Våler for hjelp til den praktiske gjennomføringen av målingene. Jeg vil også takke alle de andre ved Scanpole og Moelven Våler som hjalp til med gjennomføringen.

Espen Andreas Halvorsen



# Innhold

|          |                                             |           |
|----------|---------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Innledning</b>                           | <b>1</b>  |
| 1.1      | Bakgrunn . . . . .                          | 1         |
| 1.1.1    | Rfid . . . . .                              | 1         |
| 1.1.2    | Stolpeproduksjon . . . . .                  | 2         |
| 1.1.3    | Scanpole . . . . .                          | 3         |
| 1.1.4    | Tømmermåling . . . . .                      | 3         |
| 1.1.5    | Skyggeramme . . . . .                       | 4         |
| 1.1.6    | 3-D ramme . . . . .                         | 4         |
| 1.2      | Problemstilling . . . . .                   | 5         |
| <b>2</b> | <b>Material og metode</b>                   | <b>7</b>  |
| 2.1      | Forberedelse . . . . .                      | 7         |
| 2.2      | Anskaffelse av data ved Scanpole . . . . .  | 7         |
| 2.3      | Anskaffelse av data ved Våler . . . . .     | 10        |
| 2.4      | Rfid . . . . .                              | 11        |
| 2.5      | Avsmalning . . . . .                        | 13        |
| 2.6      | Tverrsnitt . . . . .                        | 15        |
| 2.7      | Stokkers form fra 3-D ramme . . . . .       | 16        |
| <b>3</b> | <b>Resultat</b>                             | <b>17</b> |
| 3.1      | Målinger Scanpole . . . . .                 | 17        |
| 3.2      | Målinger Moelven Våler . . . . .            | 21        |
| 3.3      | Stammeprofil . . . . .                      | 21        |
| 3.4      | Lineær avsmalning . . . . .                 | 23        |
| 3.5      | Ulineær avsmalning . . . . .                | 25        |
| 3.6      | Tverrsnitt . . . . .                        | 35        |
| 3.7      | Stokkers form fra 3d ramme . . . . .        | 40        |
| 3.8      | Stokkers posisjonering på kjerrat . . . . . | 44        |
| <b>4</b> | <b>Konklusjon</b>                           | <b>45</b> |





# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Tømmer er ofte tenkt på som å være sirkulært i tverrsnittet, og de fleste optimaliseringsprogram ved sagbruk som bestemmer sagutbytte er basert på denne forutsetningen. Trær har alltid et visst avvik fra sirkularitet, og ovalen er det en oftest tenker på da. Reaksjonsved leder ofte til en eggform, med margen eksentrisk plassert [Tim85]. I tillegg finns flere mer eller mindre tilfeldig utseendeavvik fra sirkulæritet [SS98a]. Dette er en viktig ting å vurdere for sagbruk, men mindre viktig for stolpeprodusenter som Scanpole. En ting som derimot er veldig viktig er avsmalning, dvs. forandringen i diameter oppover i stammen. Det er viktig å ha så liten avsmalning som mulig for at stolpene skal være mest mulig stabile hele veien opp. En måte å beskrive stokkform på er ved hjelp av avsmalningsfunksjoner.

Ettersom det nå pågår et større EU prosjekt på sporing av stolper ved hjelp av Rfid passer det fint å bruke dette til å få en bedre innsyn i hvordan stolpene ser ut ved hjelp av en 3-D ramme.

### 1.1.1 Rfid

Rfid er et system som brukes til å merke forskjellige ting. Det er mye brukt under transport og lagring. Den første bruken av et Rfid-system var IFF2 brukt under andre verdenskrig. Det ble oppfunnet av Britene i 1939, IFF var et enkelt identifikasjonssystem for fly. IFF'en var koblet til flyene og sendte tilbake et svar til et bestemt radar signal, som identifiserte flyet som en "venn".

Den mest utstrakte bruken av Rfid for tiden er som antityverisystem i butikker, som det er blitt brukt til siden tidlig 1970-tallet.

Et Rfid system består av Rfid-brikker (code carrier), en antenne (code reader, som sender et signal til brikken og leser av den unike koden) koblet til en terminal (reader data processor, som tolker signalet fra antenna). Deretter vil det være forskjellig hva som blir gjort, men prinsippet er at denne unike koden blir koblet til data i en data base (i noen spesialtilfeller ligger alle dataene på brikken, men dette er sjeldnere). Deretter blir dette fremlagt for operatør på ønsket måte.

En Rfid-enhet trenger energi for å fungere. Hvordan denne energien er oppnådd er avgjørende for prisen, funksjonaliteten, størrelsen og virke-avstand. De fleste Rfid-enheter er drevet av energi tilført fra leseren, men noen enheter har en egen energikilde. Dette batteriet kan enten bli brukt til å fullstendig drive enheten, eller det kan bli brukt til å forsterke energien til en spesielt energikrevende del av enheten (vanligvis senderen). Det er også mulig å bruke solkraft eller energi fra vibrasjoner til opplading, men dette er fortsatt veldig uvanlig.

I [BHC05] er det en tabell (tabell 1) med energipotensialet til disse forskjellige typene av alternativ energi.

Den vanligste måten å skaffe energi til en Rfid-enhet på er å bruke magnetisk induksjon. Da danner leseren og enheten en transformator. Måten dette fungerer på er godt kjent, en leder i et magnetfelt som forandrer seg induserer strøm (elektronene i lederen begynner å bevege seg). Selv om dette er en effektiv måte å overføre energi på over korte avstander, er det uegnet over lengre avstander grunnet det store energitapet i magnetiske signaler. En liknende metode for energioverføring som passer bedre på lengre avstander er elektromagnetiske bølger, dette er mindre brukt til Rfid, men har potensiale for å ta

| Technology                     | Power Density ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) |
|--------------------------------|---------------------------------------------|
| Vibration - electromagnetic    | 4.0                                         |
| Vibration - piezoelectric      | 500                                         |
| Vibration - electrostatic      | 3.8                                         |
| Thermoelectric (5° difference) | 60                                          |
| Solar - direct sunlight        | 3700                                        |
| Solar - indoor                 | 3.2                                         |

Tabell 1: Eksempel på energidensitet fra forskjellige måter å samle energi på

over en del av markedet.

Som nevnt har vi to hovedtyper Rfid-brikker, de passive og de aktive. Den største forskjellen her er at de aktive har en egen energikilde, mens de passive ikke har det. For de passive er det slik at det blir sendt en energibølge inn mot brikken. Denne bølgen går gjennom en spole av et ledende materiale (f.eks kopper), hvor det da blir induisert en strøm som går gjennom en spenningsforsterker for å skape passende spenning. Denne strømmen går gjennom en liten databrikke (chip) som lager det signalet som skal sendes ut, dette blir sendt til en antenne som da sender ut en kombinasjon av bølger som danner et unikt signal. Passive brikker har den fordel at de har veldig lang levetid da de består av veldig enkle bestanddeler.

Aktive brikker vil også motta en energibølge. Forskjellen fra de passive er at den strømmen som blir induisert i spolen ikke trenger å være av noen særlig styrke da den enten kun skal aktivisere den tilhørende energikilden eller ihvertfall bli styrket av denne. Fra energikilden blir det sendt en strøm gjennom en databrikke som lager signalet som skal bli sendt ut. Ettersom de aktive brikkene har en egen strømkilde vil de ha en mye større spenning tilgjengelig, og signalet ut vil derfor kunne bli mye sterkere. En har også muligheten her til at alt som er av data om det som er merket, ligger på brikken og blir sendt ut til leseren (mulig med passive også, men får da større utfordringer med signalstyrke mm.). Problemet her er at en har et begrenset antall muligheter for avlesning og at om en venter for lenge vil en ikke kunne lese av i det hele tatt da energikilden blir utladet.

Signalet som blir sendt ut leses av som et ti-sifret hexagonalt tall. Dvs. at bokstavene A, B, C, D, E, F blir brukt i tillegg til tallene fra 0 til 9. Dette gjør at det fins  $16^{10} = 1099511627776$  mulige kombinasjoner i motsetning til om en bare hadde brukt tall og "bare" fått  $10^{10} = 10000000000$ , altså over 100 ganger så mange.

### 1.1.2 Stolpeproduksjon

Oversikt over produksjonsprosessen (hos Scanpole Norge):

Innhøsting i skogen → Transport til Scanpole → Måling av dimensjoner og overføring av eierskap til Scanpole → Barking og for sortering → "Green stock" (sortert og utørket) → Naturlig tørking (over flere måneder) → "White stock" (sortert og tørket, klar for bearbeiding) → Redusering og endelig dimensjonssortering etter ordre → Oppvarming (110-115°C) og impregnering → 1) Enten direkte til shipping (lagringsplass) → Transport (vanligvis i container) eller 2) → "Black stock" (ferdig behandlet virke) → Shipping etter nye ordre → Eienskap overføring til kunde → Mottak, lagring eller bruk hos kunde.

Ofte har de som skal sette opp stolpene brukt et program som har regnet ut akkurat hvor en stolpe bør stå og hvilken dimensjon denne skal ha. Dette medfører at de har klare krav til hvilke størrelser de vil ha og hvor mange av hver. Dette medfører at det ikke bare

er å sende ekstra stolper av en dimensjon om noen mangler. Ved større leveranser vil det også være et spørsmål om hvilke som skal sendes når.

Et annet problem er at det er vanskelig å forutsi hvilke dimensjoner av stolper som vil bli etterspurt. Og dette er noe de ved Scanpole må vite over et år i forkant. For å hjelpe på dette har de personer som bedriver analyser nær de største kundene. De ser da på hva som er etterspurt før, hva det er mangel på og prøver dermed å finne ut hva som vil trenges. I tilknytning til dette vil det sendes melding ut til de som plukker ut trær i skogen som passer til stolper om hvilke dimensjoner som trenges. Da tar en utgangspunkt i hva en har på lager og sammenligner med forventet etterspørsel. Det blir dermed gitt beskjed om hvilke av de merkede trærne som skal avvirkes.

### 1.1.3 Scanpole

Scanpole produserer kreosotimpregnerte stolper av tre brukt til først og fremst strøm- og telefonlinjer. Scanpole har to fabrikker i Norge og Sverige med en total kapasitet på 120 000 stolper i året, total omsetning er 15 millioner Euro, med 34 ansatte.

Scanpole Norway ligger på Ilseng og produserer mellom 40- og 65 000 stolper årlig, hvorav tre fjerdedeler blir eksportert og resten blir brukt innenlands. Årlig omsetning er 8 millioner Euro med 17 ansatte.

De har verdier i stolper verdt 35 millioner NOK på lager (etter innkjøpspris). Mye grunnet at alt tørkes ute (over omtrent ett år, avhengig av når på året det begynner å tørke). Dette gjøres mye for å forhindre sprekk da en ved raskere tørking får en for bratt fuktighetsgradient inne i stolpen (tverrsnittet) og vi får forskjellig krymping i de forskjellige dybdene og dermed sprekk.

Generelt er stolper klassifisert etter lengde og en parameter som uttrykker diameter. Hos Scanpole har de elleve lengder (metersklasser fra 7 - 17 m), fordelt på fire diameterklasser (light, medium, stout og extra stout).

Det fins bare to kvalitetsklasser på råmaterialet, godkjent og forkastet. Dette er klassifisert etter retthet, visuelle kvalitetsparametre og statistisk dokumentasjon for styrke. Hver stolpe er sertifisert etter avtalte nasjonale og internasjonale kontrollsystemer og gitt et varig merke med kodet informasjon om dimensjon, år og produksjonssted.

Utfordringen er at stolpeimpregnering er en moden industri, med beskjedne fortjenestemarginer. Dermed er det nødvendig å optimalisere hver enkelt prosess i produksjonen. Spesielt oppstår det utfordringer angående impregneringsmiddel (spesielt med de relativt nye restriksjonene for impregneringsmiddel) og logistikk. Det optimale ville være å kunne spore hver enkelt stokk fra hogst til sluttbruker.

### 1.1.4 Tømmermåling

En gjennomgang av en generell virkesmålingsprosses kan se slik ut (og er lik ved Scanpole med noen mindre endringer):

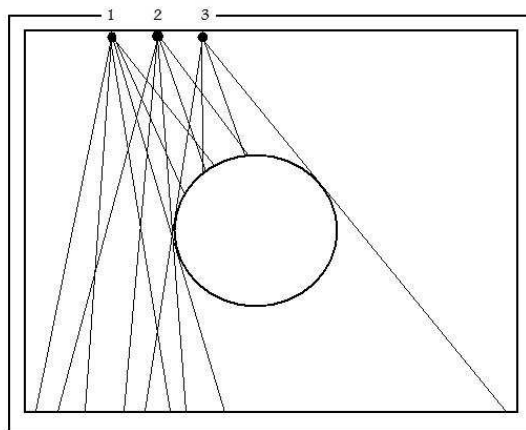
Gangen i måleprosessen kan skisseres slik (lett modifisert fra [Hoe79] ):

- Identifiseringsdata for tømmerpartiet overføres fra en transportordre e.l. til kontrollenheten.
- Måleoperatøren bestemmer kvalitet og foretar eventuelle lengde- og diameterfradrag
- Ved passering av diameter- og lengdemåler leses målene av stokken inn i kontrollenheten i tillegg til kvalitetsklasse og fradrag.

- Sortering skjer gjerne etter stokkens minste diameter (ved Scanpole også etter lengde)

### 1.1.5 Skyggeramme

Normalt er en skyggeramme mer nøyaktig enn en 3-D ramme (mindre systematiske feil) da den fungerer ved å registrere hvor stokken skygger for en gitt lyskilde. En 3-D ramme har derimot flere målepunkter, men disse kan lett bli noe unøyaktige da de baserer seg på reflektert laser, og refleksjonen påvirkes lett av overflaten den reflekteres mot (barket tømmer, bark og snø).



Figur 1: Prinsippskisse skyggeramme

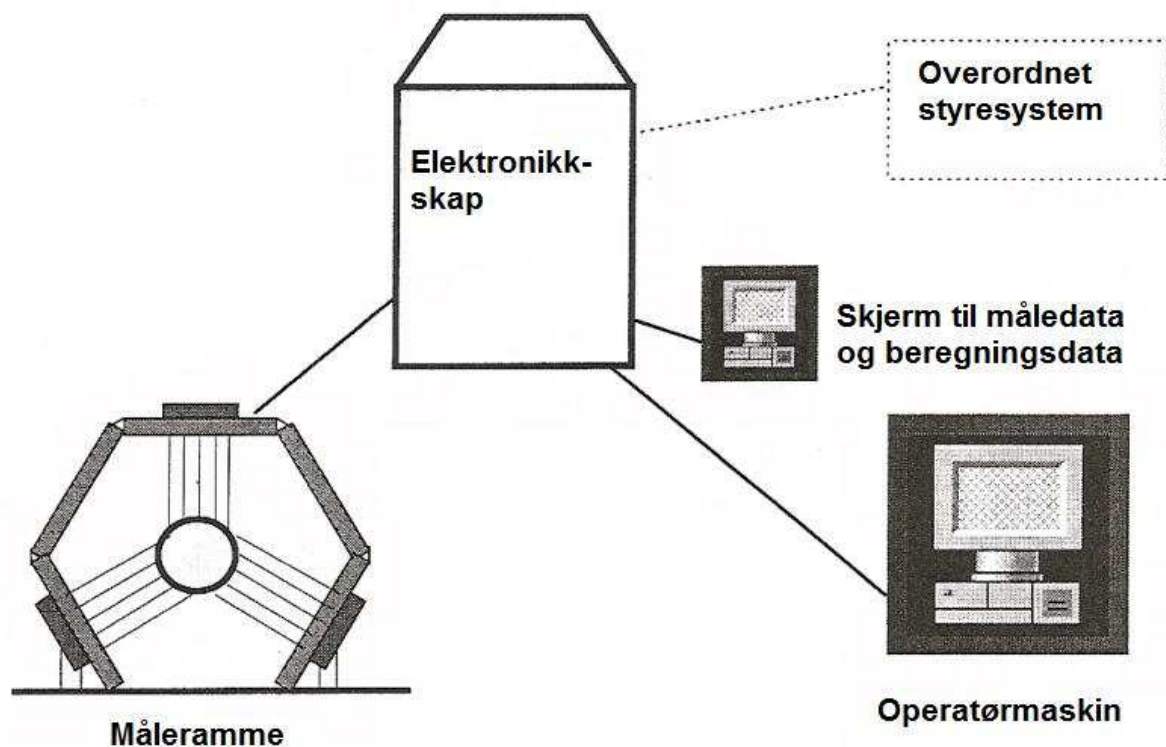
Selve målingen skjer vanligvis ved at en har fire sender-mottakerenheter (i en toveis skyggeramme) plasseres parvis ovenfor hverandre, en over og en under transportbanen, i tillegg til et par  $90^\circ$  på disse. Diameter registreres ved at lys fra en senderenhet (1, 2 og 3 på figur 1, disse sender ut lys i ikke-overlappende sykler) avskygges av stokken når den passerer for motstående mottakerenhet (i underramma på figuren). Skyggens bredde oppfanges av mottagerenheten som består (i prinsippet) av rotor med blendere, prismar og fotoceller, samt pulsgivere som går synkront med rotorene. Mens fotocellene skygges av stokken, opptelles pulsene fra pulsgiveren i en elektronisk teller. Dersom pulsgiveren gir en puls per mm, får en diameteren direkte i mm. Lengdemåleutstyret virker prinsippielt på samme måte. Opptelling av pulser når fotocellene er avskygget gir stokkens lengde [Hoe79]. En regner med at en har veldig god nøyaktighet på både diameter og lengde etter dette prinsippet.

For å hindre at barkslintrer og andre ting (som gir falske verdier) kommer inn i målingene, bestemmes diameteren som medianverdien på hver 10 cm. Dette tar effektivt ut ekstremverdier.

### 1.1.6 3-D ramme

En 3-D skanner har tre måleenheter med 16 noder hver som sender ut laserlys med bølglengde 780nm [And97] og registrerer avstand ved refleksjonen som oppstår når disse treffer en stokk. Målingene foregår kontinuerlig, programmet trekker da ut median-verdien over en viss avstand. Denne avstanden er avhengig av hastigheten til kjerraten, men typisk ca

hver 4 cm. 3-D rammer gir dermed en detaljert modell av den eksterne stolpe-geometrien [Lun99], vi kan få tall for radius i 48 retninger pr lengde i hele snittets omkrets.



Figur 2: 3D målerammens enheter

Måledatamaskina samler inn og gjør grunnarbeidet på måledataene fra målerammens måleenheter. Dataene blir deretter sendt til beregningsmaskinen som utfører og kontrollerer de overliggende stokkberegningene. Beregningsmaskinen kan også ta imot informasjon om for eksempel barkavdrag fra et overordnet system. Operatørmaskinen er den maskina brukeren i det daglige arbeidet kommer i kontakt med for innsetting av parametre mm. To-veis skyggerammer fungerer på samme måte, bare med en annen måleramme og noe mindre beregninger i alle leddene.

Ettersom tømmeret var barket og hadde fått en relativt glatt og blank overflate, kan vi vente at målingene her er veldig nøyaktige. Jevnfør [SS98b] hvor de fikk identiske data ut som faktisk form, på barket tømmer.

## 1.2 Problemstilling

Et tre smaler av fra rota mot toppen. Det er vanskelig å gi en god beskrivelse av hvordan denne avsmalningen er. Grovt sett kan vi si at avsmalningen er ganske sterk i de nederste partiene (rotutsvelningen). De midtre partiene av stammen har en regelmessig avsmalning, mens toppen kan ha ganske sterk avsmalning.

Skal en beskrive stammekurven er det greit å ta utgangspunkt i matematiske omdreingslegemer. Da kan en si at for et modelltre (en tilnærming fra egentlige), har vi neiloide i nederste del (en trekant hvor beina har en bue innover), en avkortet paraboloid i midtre

del og en kjegle i toppen [Fit89]. Ofte brukes bare en generell jevn avsmaling for å beskrive hvordan en stolpe ser ut, men det fins også formler for å beskrive avsmalingen selv om disse krever en del mer inngangsverdier. Ettersom stolper ikke har med toppen av treet kan en lineær avsmaling passe ganske bra.

Det er viktig å vite noe om avsmalningen til trærne som er potensielle stolper ettersom det er foretrukket med lite avsmalning. Avsmalning er også en viktig faktor for bestemmelse av stokkvalitet [MN95]. Det kan tenkes at kunder kan være interessert i avsmalningen til stolpene, og da vil et funksjonssett kunne være passende for å minske mengde data en trenger til hver stokk. Dette kan ikke inkorporeres slik prosessen er nå, men om en tar i bruk et Rfid-system trenger en bare én diameter, trehøyde på treet stolpen kommer fra og lengden til stokken for å få en ganske bra beskrivelse av hvordan stolpen forandrer seg i lengderetningen.

Sporing av stolper kan være en innsparing i kostnader hos en produsent. I tillegg vil kunden kunne få med en del data om hver enkelt stokk som f.eks. målene, for å vite hvilken stolpe som passer hvor. Spørsmålet er da om Rfid er en passende måte å merke stolpene på. Det er flere problemer koblet til alle typer merking. Blant annet må de tåle veldig hard behandling (både impregneringsprosessen og behandlinga på tømmertomten). Derfor er ikke merking med strekkode, hverken påsatt eller rett i tømmeret passende (fargeforandring i prosessen). Annen merking tar med seg andre problemer som høye kostnader, vanskelig avlesning og høy feilandel.

Det er blitt påstått av flere at stokker vil legge seg i kjerraten slik at størst mulig overflate er i kontakt med kjerrat, dvs. at stokkens største diameter vil ligge vannrett. Dette kan gi mening ettersom dette klart vil være den mest stødige posisjonen, med lavest tyngdepunkt og tyngdepunktet lengst mulig fra kanten. Faktisk ville det nesten garantert blitt slik dersom stokken var en glatt oval med samme ovalitet i hele lengden (litt risting ville legge den slik). Ettersom stokken er ujevnt oval og ovaliteten kan vri seg i lengden, i tillegg til at en bue i lengden vil ende hvor den er mest stabil, er ikke dette like selvsagt. Dette kan være greit å finne ut av ettersom en da ved toveis skyggeramme (får dette ut av en 3-d ramme uansett) vil finne maks- og min diameteren til stokken. Det vil også være lettere å sammenlikne målinger. Andre deriblant [Oks83] mener at det er mer tilfeldig hvordan stokkene legger seg på kjerraten, men jeg har ikke funnet noen som har sjekket dette, og ingen som har utelukket at flertallet kan legge seg som ovennevnt.

Et spørsmål er om det er gjennomførbart å sende med detaljerte opplysninger om stolpene til en sluttkunde. Og om det har noe for seg.

## 2 Material og metode

### 2.1 Forberedelse

Etter at prosjektet var avtalt med de forskjellige deltagerne, ble det bestemt hvor mange stolper som skulle være med. For enkelhets skyld ble det bestemt at vi skulle bruke så mange stokker som det er plass til på et lass (med spesialtransport) da dette ville være mer enn nok til eksperimentet. Konsultering med de ansatte ved Scanpole tilsa at dette var rundt seksti. Hvilket vil gi mer enn nok målinger etter [KK08] selv om den omhandler å lage avsmalningsfunksjoner for trær og ikke å kontrollere disse mot stolper, vil jeg mene det er overførbart til vår situasjon. Det ble bestemt at det skulle bestå av et variert utvalg fra de forskjellige dimensjonene på Scanpole. Selve utvalget tok Jan Sørum (tømmermåler ved Scanpole) seg av, han tok seg også av montering av brikkene og back-up skiltene. Endene på prøvestokkene ble sendt ut som på bildet under. Rfid brikkene er de røde "smultringene" som er skrudd inn i stokken.

Dersom vi ser på tabell 2 på side 8 ser vi at stakk 66 har id 01 04 1B 76 7A, det vil si at dersom leseren legges mot den røde brikka dukker denne rekken av tall og siffer opp på skjermen. Som en merknad vil denne stokken gå igjen flere ganger, da det er knyttet spesielle forhold til denne.



Figur 3: Montering av Rfid brikke og back-up

### 2.2 Anskaffelse av data ved Scanpole

Vi fikk valgt ut 62 stokker med litt variasjon i størrelse, disse ble merket med Rfid-tags, og et nummerskilt som back-up. Stokknummerene går fra 35 til 96. De begynner ikke på null da stokknr 1-35 blir brukt i en annen del av hovedprosjektet hvor disse stokkene også skal inngå. Neste trinn i prosessen ble å samordne disse, dette ble gjort ved hjelp av en håndholdt avleser (en PDA med antenne koblet til, og med et spesielt program) som gjorde om signalet fra tag'en til et nummer som vi kunne lese av.

Deretter ble stokkene lagt på kjerraten (med merkene fram) og knivene på barkemaskinen spent opp slik at de ikke ville ha kontakt med stokken. En laptop med et spesielt program ble koblet til målerammen. Rfid-tagsene ble lest av, og tastet inn inn på maskinen til tømmermåleren (figur 4) før stokkene var ute av målerammen. Som en faktor kan vi nevne at det regnet under denne prosessen, men at det ikke hadde noen innvirkning på avlesning. Om det kan ha hatt noe å si for målingen er usikkert og jeg vil komme nærmere inn på dette senere.

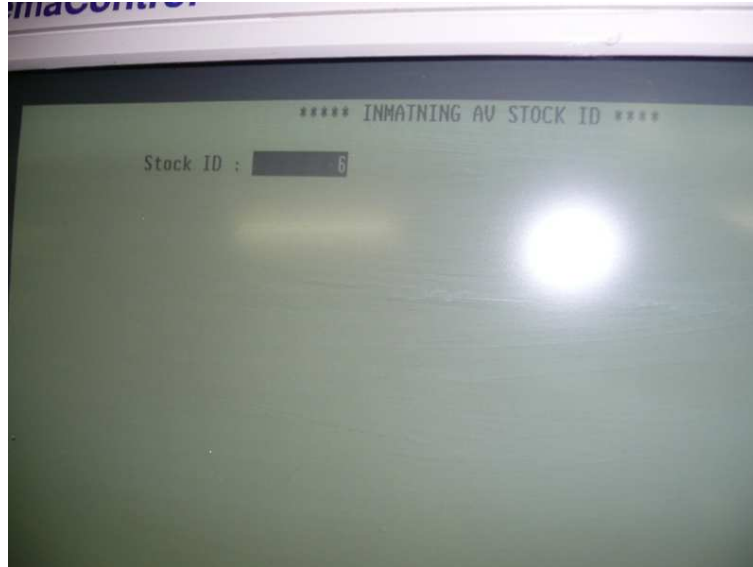
| Stokknr | Rfid           | Stokknr | Rfid           |
|---------|----------------|---------|----------------|
| 35      | 01 04 1B A7 D4 | 66      | 01 04 1B 76 7A |
| 36      | 01 04 1B DB F4 | 67      | 01 04 1B 9F FE |
| 37      | 01 04 1C D1 43 | 68      | 01 04 1B A3 AA |
| 38      | 01 04 1C F7 2D | 69      | 01 04 1B D8 A3 |
| 39      | 01 04 1C D1 A6 | 70      | 01 04 1C B2 E6 |
| 40      | 01 04 1C D3 48 | 71      | 01 04 1B DB FF |
| 41      | 01 04 1B E0 6A | 72      | 01 04 1B 72 2C |
| 42      | 01 04 1C B2 8C | 73      | 01 04 1B F0 94 |
| 43      | 01 04 1B D3 8B | 74      | 01 04 1B DF EB |
| 44      | 01 04 1C C9 A7 | 75      | 01 04 1C 94 C9 |
| 45      | 01 04 1B AA 01 | 76      | 01 04 1B 81 5E |
| 46      | 01 04 1D 02 CD | 77      | 01 04 1B DA 34 |
| 47      | 01 04 1B EB 53 | 78      | 01 04 1B DF BA |
| 48      | 01 04 1C A5 52 | 79      | 01 04 1B DD 32 |
| 49      | 01 04 1B ED 5F | 80      | 01 04 1C B0 A3 |
| 50      | 01 04 1C 96 F9 | 81      | 01 04 1D 08 93 |
| 51      | 01 04 1D 02 54 | 82      | 01 04 1C CF 13 |
| 52      | 01 04 1B D7 33 | 83      | 01 04 1B DA F3 |
| 53      | 01 04 1C F3 E4 | 84      | 01 04 1C CD BD |
| 54      | 01 04 1B DD 52 | 85      | 01 04 1D 01 DB |
| 55      | 01 04 1B A4 C5 | 86      | 01 04 1C AD CB |
| 56      | 01 04 1C 9B B1 | 87      | 01 04 1C CD 5B |
| 57      | 01 04 1C F8 BF | 88      | 01 04 1B 71 B7 |
| 58      | 01 04 1C B1 6B | 89      | 01 04 1B E8 80 |
| 59      | 01 04 1C B1 6B | 90      | 01 04 1C D1 26 |
| 60      | 01 04 1B 72 46 | 91      | 01 04 1B A3 22 |
| 61      | 01 04 1D 03 E8 | 92      | 01 04 1B E8 89 |
| 62      | 01 04 1C FA 0A | 93      | 01 04 1B E0 33 |
| 63      | 01 04 1B EA B5 | 94      | 01 04 1C A6 74 |
| 64      | 01 04 1C D1 EA | 95      | 01 04 1B AD 57 |
| 65      | 01 04 1C F8 D1 | 96      | 01 04 1C CC A2 |

Tabell 2: Oversikt over stokknummer og Rfid

Vi så at backup-merkingen falt av på noen av stokkene, dette var metallskilt (blikk) spikret inn i stokkenden. Rfid-merkingen satt godt på, på alle stokkene, hvilket viser at de tåler den tøffe behandlingen de blir utsatt for på en tømmeromt. Vi fikk overført nesten alle data fra målingen til laptopen, med Rfiden som identifikator til hver stokk. Grunnet

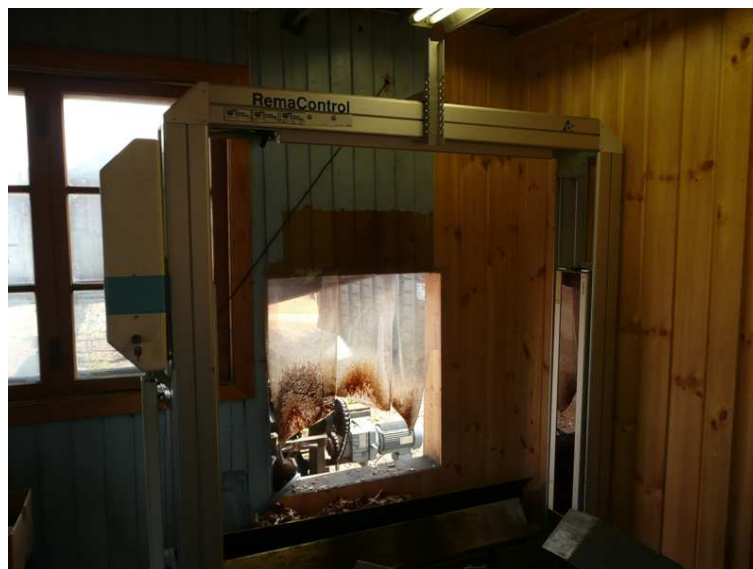


menneskelig svikt var det to stokker som ikke ble registrert, men det viste seg å ikke gjøre noe, da Hyperterminal vinduet (programmet på laptopen) viste seg å bare lagre 500 linjer tekst. Dette tilsvarer ca 15 stokker. På grunn av dette måtte disse målingene gjøres på nytt ved en senere anledning. Derneft ble stokkene lastet på bil for frakt til Våler. Ved andre gangs måling gjorde vi det på samme. Denne gangen fikk vi lest av alle stokkene.



Figur 4: Skjerm bilde for registrering av id hos Scanpole

Figur 4 viser skjerm bildet til tømmermåleren, hvor han taster inn en id til hver stakk slik at denne blir koblet til dataene som overføres til en annen maskin automatisk etter hver stakk er ferdig avlest.

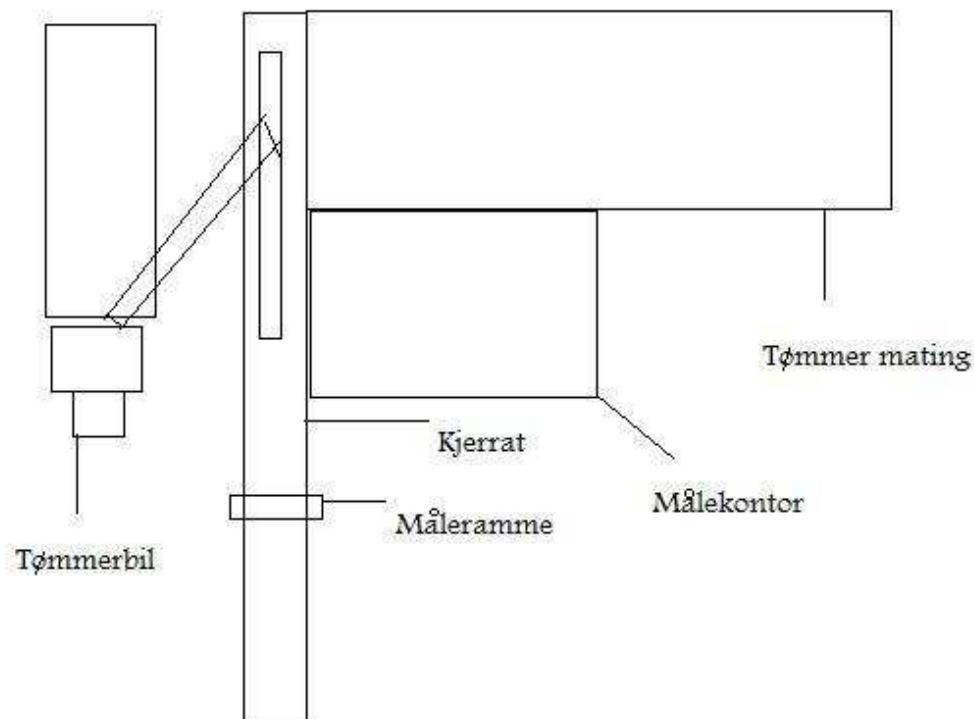


Figur 5: Måleramme ved Scanpole

Måleramma ved Scanpole (figur 5) er en to-veis skyggeramme. Vi har da avleserenheter og lysutsendere i de to loddrette delene av ramma og over og under der stokken går

inn (horisontalt). Vi går nærmere inn på dette i innledningen.

### 2.3 Anskaffelse av data ved Våler



Figur 6: Oppsett ved Moelven Våler

Ved Moelven Våler er det ikke lagt opp til kjøring av så lange stolper som det vi hadde, derfor måtte tømmerbilen tre stolpene direkte inn på kjerraten (jevnfør figur 6), gjennom en trommel. Dette viste seg ikke å være noe stort problem for en erfaren sjåfør. Selve uthenting av data stod Gunnar Noer fra Rema Control Norge AS for. Det bestod i et program som lagret alle dataene for en stokk i en fil (en fil pr. stokk). Dataene her kom i ren binær form så Gunnar brukte et annet program til å konvertere disse filene til rene tekstfiler. Vi fikk tre forskjellige filer per stokk som kan benyttes til forskjellige analyser. Da maskinen, som lagret dataene først, var relativt gammel ble det en del diskettarbeid med å få overført dette til en annen maskin. Filene ble nummerert i fortløpende, dermed var vi nødt til å lese av iden etterhvert som stokkene kom og koble denne med nummeret. Dette gikk ganske greit da de hadde mer en halvert hastigheten på båndet for vår skyld. Det var noen stokker vi ikke fikk lest av med en gang, så vi gav tegn til overvåkningskameraet og tømmermålerne stoppet båndet slik at iden kunne leses av.

Et problem i prosessen var at stolpene var så lange at de lå på flere bånd mens de gikk gjennom målerammen. Spesielt da på gummibåndet gjennom metalledektoren og metallkjerraten gjennom målerammen. Dette førte til at noen av stokkene hoppet en del, og noen stoppet mens båndet fortsatt gikk. Dette siste førte til at noen av stokkene ble målt

som for lange og målepunkter ble noe forskjøvet. Disse stökkene ble fjernet i analysen ved å se på tallmaterialet.



Figur 7: 2-D og 3-D måleramme ved Moelven Våler

Ved Moelven Våler har de både en toveis skyggeramme og en 3-D ramme satt opp slik som på figur 7. Det er 3-D ramma som står får diameteroppmålingen og dermed gir data til tømmermålerstasjonen og til optimaliseringsprogrammet til saga (i tillegg til dataene våre), skyggeramma blir brukt til oppgjørsoppmålingen da den har mindre systematiske feil. I tillegg har de en metalldetektor (som nevnt over) noen meter til høyre for bildet.

## 2.4 Rfid

Som nevnt ovenfor ble tagsene (figur 8 ) skrudd fast i enden av stökkene (den andre typen på bildet er ment å bankes inn som spiker). Begge typene hadde et trekk av hardplast som tåler ganske harde påkjenninger. Det var for eksempel ikke noe problem å banke spikertypen inn i stökkene med en vanlig hammer.

Spikertypen hadde noe dårligere avleseravstand enn smultringtypen. I tillegg var de mye vanskeligere å se, spesielt dersom en ikke vet nøyaktig hvor de er. Til gjengjeld er det ingen deler av den som stikker ut. Dermed er det mindre sjanse for av den skulle løsne. Ettersom noe av hensikten med forsøkene var å se om tagsene tåler behandlingen de blir utsatt for, og det at avlesninga skjer mens stökkene beveger seg langs kjerraten, ble det besluttet å bare bruke de røde.

PDA-en vi brukte (figur 9) var på utlån fra Skogdata og er av den nye typen de bruker til å registrere innmålngsdata på. Den er konstruert for å tåle ganske tøff behandling (blant annet ute på tømmeromt), og den har et ekstra stort batteri koblet til. PDA-en har en antenne som sender ut signaler til og mottar signaler fra Rfid-brikken. I tillegg inneholder den et program til å behandle det innkommende signalet og gjøre dette om til den unike koden slik vi ser den.



Figur 8: To sider av to typer Rfid brikker



Figur 9: Pda'en med antenne brukt til avlesning av Rfid

Avlesningen foregikk ved å holde antenne som var koblet til PDA-en inntil Rfid brikken og den tok da og leste av iden til stolpen. Denne iden ble da lagret som stakk 1, 2, 3 osv.



Figur 10: Avlesning i praksis

Id sammenhengene ble sendt inn til Amund Wøien ved Skogdata som satte dem inn i et regneark slik at jeg fikk sammenstilt dataene.

## 2.5 Avsmalning

For avsmalning er det vanligst å bare bruke en gitt diameteravsmalning pr. lengdeenhet. Det er da typisk å si at mindre enn en cm pr meter er lite avsmalning [Vad06]. Dette kan fungere ganske bra for å finne en ca. diameter et stykke opp i treet, men får ikke fram formen på stokken, som det at avsmalning ofte er størst helt nede ved rota og mot toppen av treet.

Et annet formelverk for avsmalning er det utviklet av Lars Strand i 1967. Dette formelverket er ganske komplisert og til de fleste formål det er brukt til, bruker en bare det tilhørende tabellverket. I tabellverket har en diameter i brysthøyde (i cm) og høyde på treet som inngangsverdier, så kan en lese av de antatte diameterene for hver meter opp i treet. Tabellene er laget ut fra funksjonene gitt under (tabell 3).

| Relativ høyde | $y = b_0 + b_1d + b_2d^2/100 + b_3h + b_4dh/100$ |       |        |        |        |
|---------------|--------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|
|               | $b_0$                                            | $b_1$ | $b_2$  | $b_3$  | $b_4$  |
| 5             | -4.326                                           | 1.167 | 0.004  | 0.026  | -0.084 |
| 10            | 5.373                                            | 1.049 | -0.010 | -0.048 | -0.023 |
| 20            | 3.856                                            | 0.975 | -0.016 | -0.029 | -0.010 |
| 30            | 2.616                                            | 0.920 | -0.017 | -0.014 | -0.010 |
| 40            | 2.194                                            | 0.862 | -0.021 | -0.019 | 0.000  |
| 50            | 2.349                                            | 0.763 | -0.023 | -0.011 | 0.014  |
| 60            | 0.467                                            | 0.649 | -0.026 | 0.015  | 0.028  |
| 70            | -3.768                                           | 0.512 | -0.027 | 0.071  | 0.030  |
| 80            | -5.607                                           | 0.328 | -0.020 | 0.116  | 0.029  |
| 90            | 0.242                                            | 0.134 | -0.015 | 0.063  | 0.034  |

Tabell 3: Funksjon og regresjonskoeffisienter for diameteren (i mm) ved ulike relative høyder.

Også her er inngangsverdiene diameter i brysthøyde og trehøyde. En får da direkte ut diameterer i de gitte relative høydene (prosent av trehøyden, 5%, 10%, 20% osv), dernest må en bruke regresjon for å finne diameterer mellom disse høydene. Det er best å bruke kvadratisk regresjon, men en får gode resultater ved lineær regresjon også [Str67]. I denne oppgaven er det benyttet lineær regresjon. Det er oppgitt at som naturlig er, har en størst spredning (middelavvik) fra funksjonen i de høyere delene av trærne. Ved 80% av trehøyden for trær under 30 cm i diameter og 70% for større trær.

Det er denne formelen som er brukt som basis i programmet Optapt, som ligger inne i hogstmaskiner for å optimere aptering ([TG99],[Gjø78]). Det er viktig å merke seg at hogstmaskinen gjerne vil gå over til erfaringstall etter å ha felt endel av trærne i et område da dette kan bli bedre, trær har ofte liknende karakteristika innen avgrensede geografiske områder. Strand fant også en annen formel for avsmalning som geometrisk passet bedre på treet, men da først og fremst for de mindre verdifulle delene av treet. I tillegg krevde denne formelen kronehøyde og høyde over stubbe (for målestedet) som inngangsverdi. Strand anbefaler i artikkelen sin å ikke bruke denne da den andre er mye lettere å bruke, alt tabellverket er også laget ut fra den andre funksjonen. Ettersom vi ikke hadde mulighet for å finne kronehøyde har vi helt sett bort fra denne funksjonen.

I praksis ble formlene benyttet ved hjelp av en seks-sju if-setninger i statistikkprogrammet JMP for å bestemme hvilken formel som skulle brukes etter hvor høyt i treet de målte diameterene er hentet fra. En viktig kommentar til sammenlikningen mellom målte og beregnede diameterer, er at det antageligvis er høyere korrelasjon enn det en ville forventet om en hentet diameter og høyde på stående trær. Ettersom vi ikke hadde noen data for hvor høyt oppe i treet stokkene er hentet fra har vi for enkelhets skyld sagt at rot på stokken var helt nede på treet, og dermed hentet brysthøyde diameter 1.3m fra denne. I tillegg hadde vi ingen data for hvor høyt trærne faktisk var, dermed er disse beregnet ut fra det ovennevnte tabellverket ved å se på diameter i toppen av stokken og hvor lang

stokken er. Dette gjør at funksjonen er ganske bundet til de målte verdiene i begge ender. Det viste seg fort at mange av stokkene hadde verdier som ikke var dekket helt av tabellene (tabellene hadde ikke tall for så høye trær som avsmalningen ville tilsi). Dette kan tyde på at stokkene har mindre avsmalning enn det som er vanlig.

## 2.6 Tverrsnitt

For å se på rundheten til stolpene er det greit å lage tverrsnitt fra målingene ved Våler da de i teorien skulle kunne gi 48 målepunkter rundt stammen, dette tilsvarer i snitt en avstand på 7.5 grader (standard) mellom hvert målepunkt. I praksis viste det seg og aldri bli så mange. I snitt hadde vi i underkant av 25 målepunkter (14.5 graders intervall) i hver høyde av stolpen, med maks på 38 (9.5 graders intervall) og minimum på 9 (40 graders intervall) eller elleve (32.7 graders intervall) der hvor hele stokken var inne i ramma (figur 24 og 25, side 24- 36 ). I praksis var det enda dårligere oppløsning da det ikke var jevn avstand mellom målepunktene, se figur 26, side 37. Dette har ført til noen rare plott av tverrsnittene. Vi ser også at antall målepunkter ikke er avgjørende for plottet i mange tilfeller. F. eks figur 25, hvor plottet til venstre har hele 30 målepunkter, mens det til høyre bare har 18, men likevel er mye jevnere. For å gi en utjevning av dette har jeg i et tilfelle plottet to og tre (tilstøtende) snitt i det samme plottet, dette gir en utfyllende effekt slik av vi kan tilnærme målepunkter i områder med få.

Det viste seg at det er sterk sammenheng mellom diameter på stolpen og antall målepunkter. En relativt jevn nedgang i antall målepunkter nedover stokken, med noen punkter som skilte seg ut. Mellom stokkene holder ikke dette resonnementet til å forklare antall målepunkter alene da vi har noen stokker med større diameter, men færre målepunkter enn andre. Det kan da hende at de har noe forskjellig posisjon i måleramma. En grunn til at vi fikk så dårlig utnyttelse av potensialet til måleramma, kan være at de ved Moelven Våler stort sett kjører større stokker (diameter) selv om det ikke er så veldig sannsynlig at det er såpass mange større stokker at de får god utnyttelse av måleramma. Antageligvis kunne de med fordel fått justert om ramma slik at flere lasernoder traff stokkene, om dette er mulig og ikke instillingene er en standard fra fabrikken som er lik for alle sagbruk (og andre steder med 3D måleramme). Det er ikke slik at en må ha ramma stilt inn slik at en akkurat treffer med alle nodene på den største stokken som går igjennom. Diameterne på denne vil bli målt selv om ikke noen av lysene tangerer stokken, ettersom målingene fungerer ved å registrere reflektert lys. Dette innebærer at en på de store stokkene (om ramma justeres), fortsatt vil få 48 målepunkter, men det kan være tre steder på stokken hvor det vil bli noe større avstand mellom målingene enn om en ikke justerer ramma. Likevel mener jeg at en vil få bedre utbytte av ramma om nodene ble samlet noe mer. Det er klart at de største stokkene bør ha størst nøyaktighet grunnet høyest verdi for firmaet, men det er toppdiameteren som bestemmer hvordan stokken skal sages. Og en vil uansett få bedre nøyaktighet for de fleste stokkene ved en justering.

Selve plottingen av tverrsnittene ble gjort ved å se på alle tallene til stokkene, fra filene med polarkoordinater, med litt enkel statistikk for å bestemme hvilke som hadde interessante aspekter ved seg. Deretter ble disse tverrsnittene tatt ut av regnearket og satt inn som vektorer i matlab (et numerisk matteprogram), en vektor for radie, og en for vinkel (omregnet til radianer). Deretter ble disse vektorene plottet i et polart koordinatsystem [DH00]. Vinklene i datafilene kom som tidels grader (altså 3600 i en sirkel), mens radiene kom som tidels millimeter.

## 2.7 Stokkers form fra 3-D ramme

Den store fordel ved å måle med 3-D ramme er at en får tall for radius hele veien rundt en stokk i tillegg til å få tall fra 2.5 ganger så mange posisjoner i lengderetning. Dette får formen av stolpen fram veldig likt slik den ser ut i virkeligheten. Nå blir plottene av disse stolpene seende ganske like ut da en ikke får sett de helt store detaljene når en presser en stolpe med lengde 7-15 meter og diameter på 16-45 cm inn på en liten graf som er 10X10 cm stor (og enda mindre etter at de er krympet for å få plass i dokumentet).

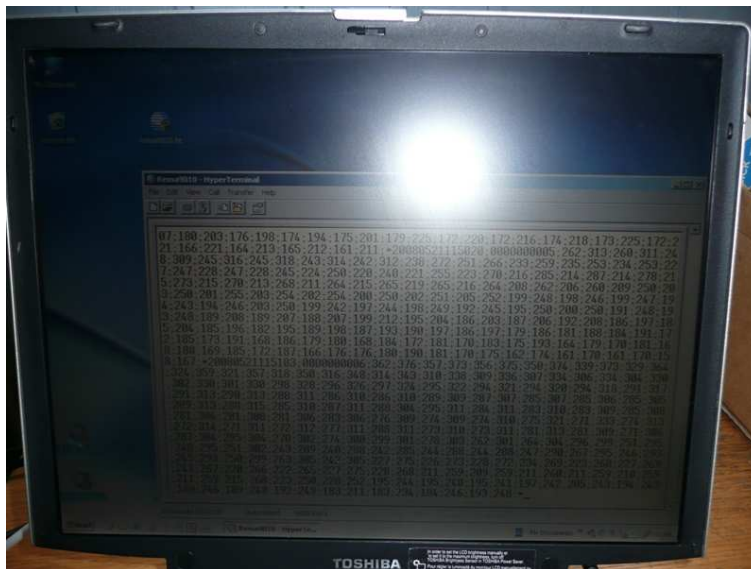
Selve utførelsen av plottingen ble gjort ved å velge ut noen stokker, fra filene med polarkoordinater, for å bestemme hvilke som skulle brukes. Dermed ble alle dataene tatt ut fra regnearket og satt inn i matriser i matlab, (viktig å passe på at matrisene ble like store). For at matrisene skulle bli like store måtte det en del kopieringsarbeid til for å sørge for at alle tverrsnittsposisjonene hadde en tilhørende høyde. I tillegg måtte alle nullverdiene fjernes fra vinkel- og radiusmatrisene, dette ble gjort ved å kopiere inn den siste verdien som ikke var null over nullene for hvert tverrsnitt. Dette førte til at ca en femtedel av alle målepunktene er kunstige (ca 1000 i det plottet som er tatt med). Etter dette kunne tallene settes i matriser i MATLAB. I MATLAB ble disse polare koordinatene plottet i et kartesisk system, hvilket viser hvordan stokken blir seende ut om den ble skrellet åpen. Videre gjorde jeg om alle matrisene fra polare koordinater til kartesiske for dermed å få plottet hvordan stokkene ser ut. Det hører ikke med noen kommando for plotting i sylindrisk system i matlab og de som er brukerlagde krever med input en det jeg har (i MATLAB er alle kommandoer filer som gjør beregningene og alle kan lage egne versjoner). Stokkene ble dermed plottet i flere størrelsesforhold mellom radie og høyde for å få fram forskjellige aspekter ved stolpene. I tillegg roterte jeg disse 3D-plottene for å få sett på dem fra forskjellige vinkler.



### 3 Resultat

Som en liten bemerkning, ser vi at det ikke var noe problem å lese av brikkene en til to uker etter påsetning (i tillegg har de ligget lagret med en og annen avlesning i flere måneder). Hadde ikke dette vært tilfelle ville det kunne hatt innvirkning på valg av brikker til hovedprosjektet hvor brikker skal være festet til stolper i omtrent et år og kunne leses av i begynnelsen (ankomst bruket) og slutten (lasting for transport etter salg) av perioden.

#### 3.1 Målinger Scanpole



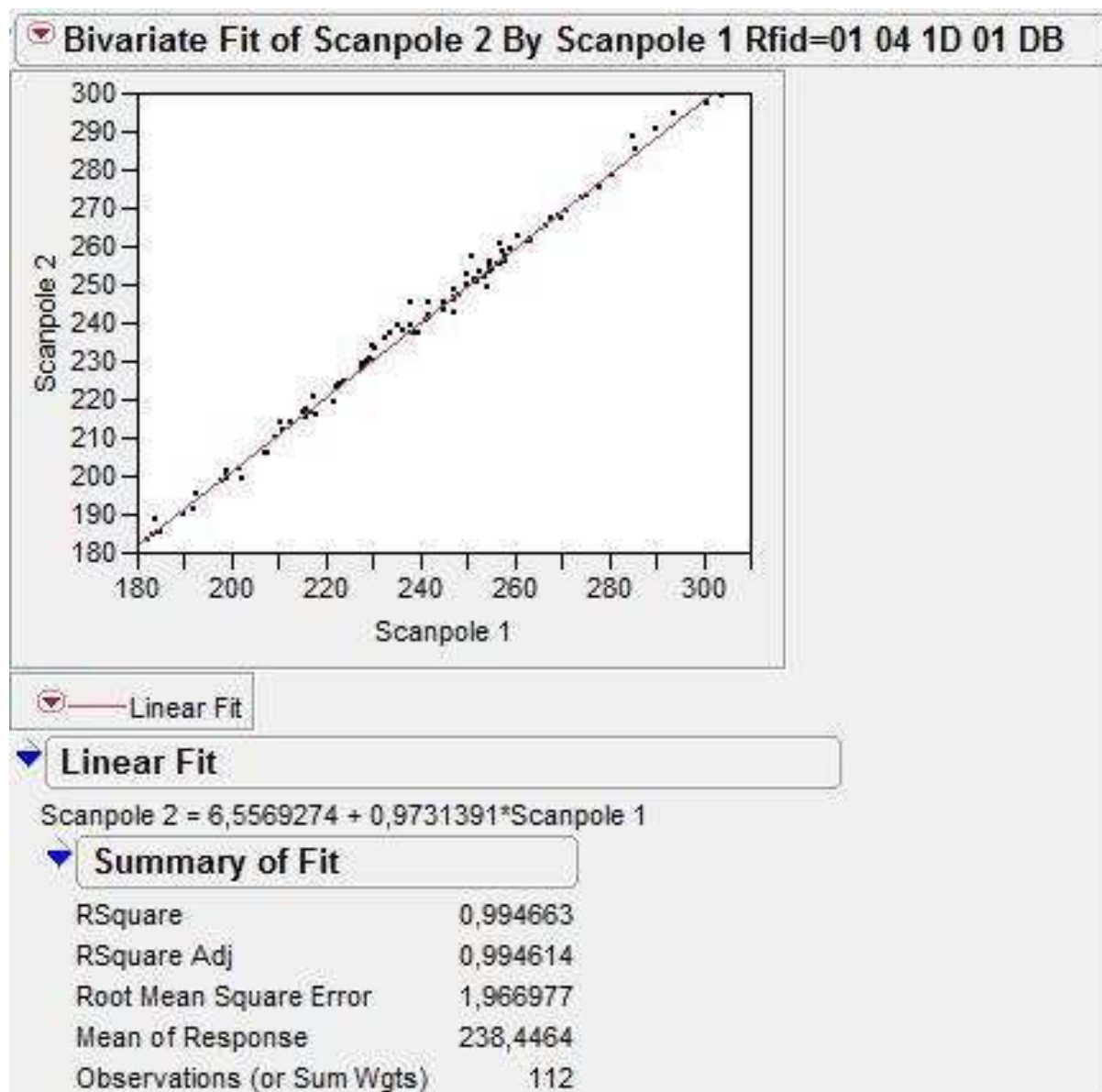
Figur 11: Skjerm bilde ved innmåling Scanpole

I figur 11 er dataene slik vi fikk dem ved målingene ved scanpole. Det er veldig uklart, men to steder på skjerm bildet kan en ane en lengre tallrekke. Disse punktene er hvor dataene for en ny stokk begynner.

| Rfid           | Korrelasjon |
|----------------|-------------|
| 01 04 1B 71 B7 | 0,98705     |
| 01 04 1B 72 2C | 0,98931     |
| 01 04 1B 80 94 | 0,98923     |
| 01 04 1B DA F3 | 0,99631     |
| 01 04 1B DF BA | 0,99068     |
| 01 04 1B DF EB | 0,99606     |
| 01 04 1B E8 80 | 0,99165     |
| 01 04 1B EA B5 | 0,99303     |
| 01 04 1C AF CB | 0,99063     |
| 01 04 1C B2 E6 | 0,99693     |
| 01 04 1C CD BD | 0,99467     |
| 01 04 1C CF 13 | 0,99223     |
| 01 04 1D 01 DB | 0,99730     |
| 01 04 1D 08 93 | 0,99124     |

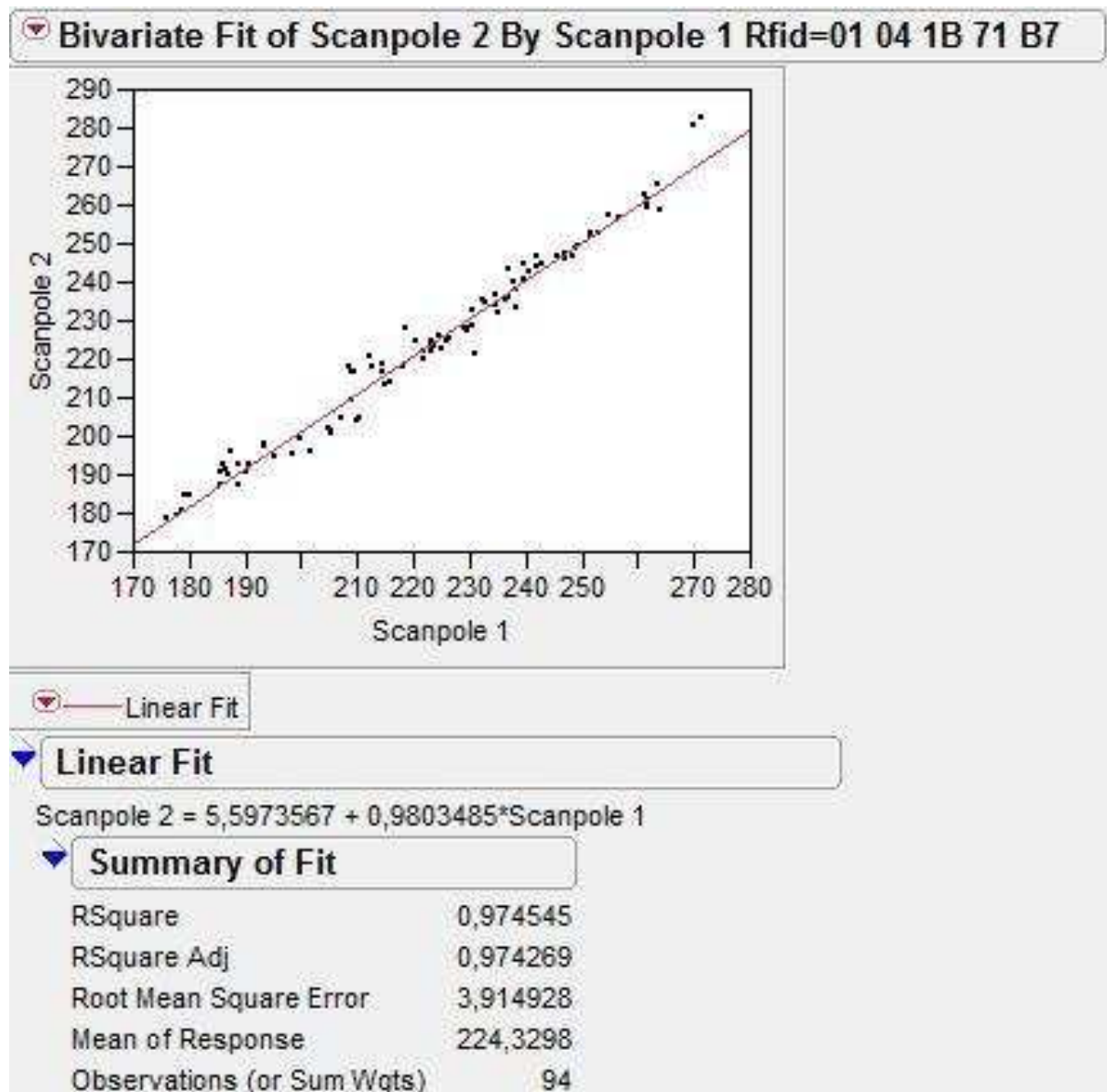
Tabell 4: Korrelasjon mellom målingene ved scanpole

I tabell 4 ser vi har bra korrelasjon mellom målingene ved Scanpole, for de stukkene vi har data fra begge ganger for. Dette er som forventet da det jo er samme stukkene. Det at vi ikke har perfekt korrelasjon kan skyldes at stukkene kan ha en annen rotasjonsposisjon andre gangen i forhold til den første, og det at hver diametermåling ikke er fra nøyaktig samme sted på stukkens lengde. En tredje ting som kan ha en innvirkning er at stukkene kan ha fått bulker av behandlinga mellom målingene. Vi har tatt ut bilder for stukken med mest og den med minst korrelasjon. Merk at korrelasjon er lik kvadratrot til  $R^2$  (eller RSquare som det er benevnt i JMP), det er også viktig å merke seg at vi bruker den som er justert for antall målepunkter (RSquare Adj.). Vi bruker denne da en alltid vil få kunstig bedre korrelasjon jo flere målepunkter en har, så den justerte er justert for dette.



Figur 12: Stokken med best sammenheng mellom målingene ved Scanpole.

I figur 12 har vi målepunktene for andre gangs måling på y-aksen, og de for første gang på x-aksen (alle diametre i figurer i oppgaven er gitt i mm). Dette går igjen i alle grafbildene dersom de ikke er kommentert spesielt. Vi kan se at de fleste punktene ligger bra langs linja. Det at funksjonen for linja (like under grafen) sier at regresjonslinja starter på 6.6 betyr at den andre målingen jevnt over har høyere diametermålinger enn den første, dette må skyldes at hvert målepunkt ligger noe nærmere rotenden for denne målingen. Vi ser også at selve avsmalinga ikke har forandret seg ved at RMSE'en (Root mean square error) er såpass liten (mindre enn 2).

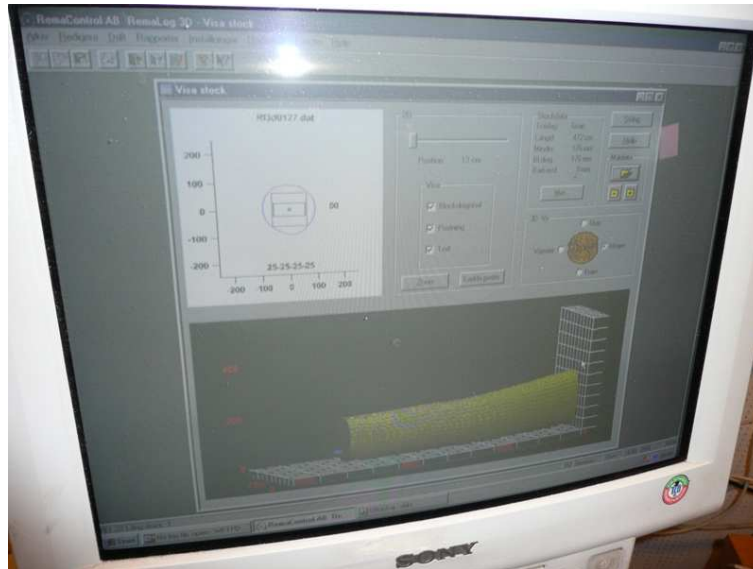


Figur 13: Stokken med dårligst sammenheng mellom målingene ved Scanpole.

Også i figur 13 sitter punktene bra langs linja med omtrent dobbelt så stor RMSE, men fortsatt veldig liten for 94 målepunkter. Også her har vi at den andre målingen gav jevnt over større diameter, dette er ikke noe som var gjennomgående gjennom alle prøvene. Hvilken måling som gav størst diameter virker egentlig tilfeldig. Vi kan se på begge grafene at vi har flest målepunkter på de midterste diameterene, dette er gjennomgående hos de fleste stokkene og viser oss at avsmalningen er størst i rot og topp. Ser vi nærmere etter ser vi at det også er flere punkter ved de små diameterene enn de helt store dette er ganske enkelt fordi vi ikke er så veldig høyt oppe i trærne.

### 3.2 Målinger Moelven Våler

I flere av målingene ble det registrert en måling før selve stokken ofte omgitt av nullverdier, dette skyldes antageligvis at måleramma ikke fikk filtrert bort uvesentlige ting som f.eks frambringeren.

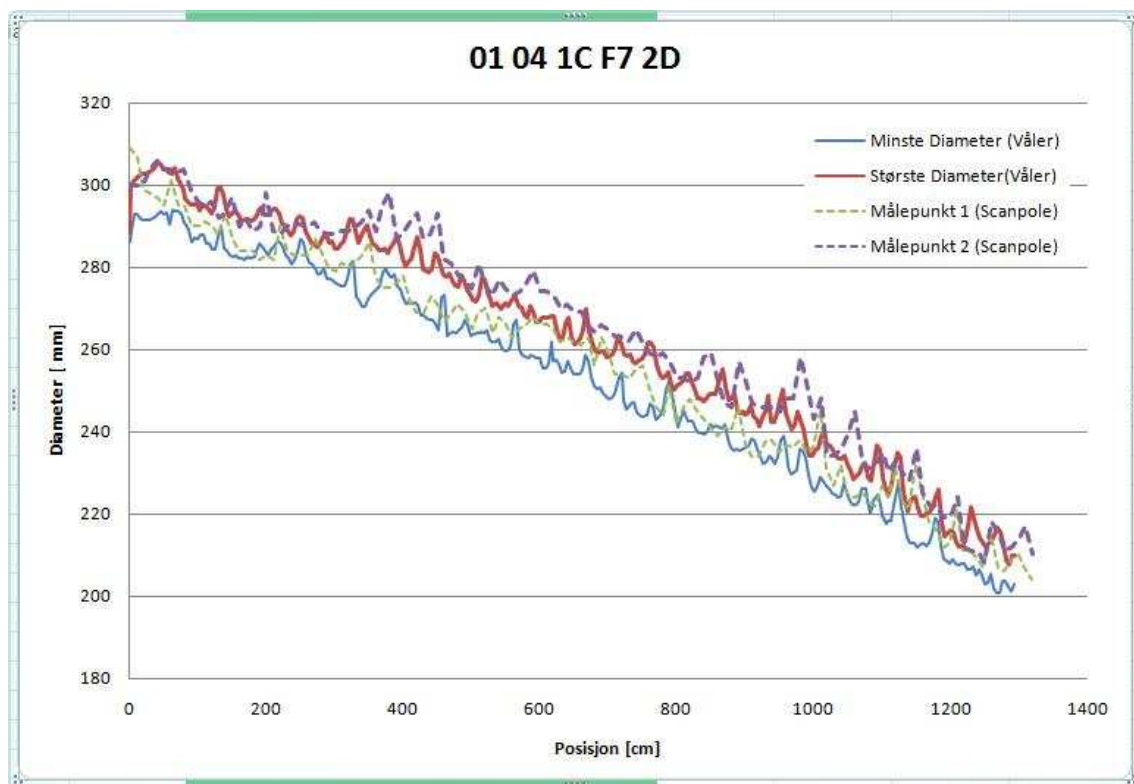


Figur 14: Skjerm bilde ved terminalen hos Moelven Våler

I figur 14 ser vi skjerm bildet fra maskina som lagret dataene våre (ikke det bildet tømmermålerne får opp). Vi ser her at stokken kan tegnes opp, i tillegg har vi et optimaliseringsprogram som tegner inn det potensielle skurutbyttet.

### 3.3 Stammeprofil

I figur 15 er et enkelt bilde av stammeprofilene, for en stokk, vi fikk ved målingene ved Scanpole og Moelven Våler. De heltrukne linjene er fra Våler og de stripla fra Scanpole. Vi kan se at linjene fra Våler oscillerer raskere enn de fra Scanpole, dette skyldes ganske enkelt at 3-D ramma gir flere målepunkter. Vi kan se at maksverdien fra Våler følger målepunkt 2 fra Scanpole ganske bra. Mens målepunkt 1 ligger jevnt noe høyere enn minimums diameteren, ut fra dette kan vi tolke det slik at denne stokken ikke er ovalt formet, kanskje noe mer eggformet (da maksdiameter ikke står nitti grader på minimums diameteren).



Figur 15: Stammeprofil med to avlesninger av diameter fra både Scanpole og Moelven Våler

## 3.4 Lineær avsmalning

| Rfid           | Moelven Våler   |             |         | Scanpole        |             |         | Differanse |
|----------------|-----------------|-------------|---------|-----------------|-------------|---------|------------|
|                | Avsmalning cm/m | Korrelasjon | RMSE    | avsmalning cm/m | Korrelasjon | RMSE    |            |
| 01 04 1B 71 B7 | 0,84122         | 0,99149     | 0,29505 | 0,86796         | 0,98210     | 0,45969 | -0,02674   |
| 01 04 1B 72 2C | 0,50727         | 0,95804     | 0,35754 | 0,51394         | 0,95826     | 0,37503 | -0,00666   |
| 01 04 1B 72 46 | 0,77706         | 0,98943     | 0,33678 | 0,80051         | 0,97942     | 0,49805 | -0,02345   |
| 01 04 1B 76 7A | 0,76736         | 0,98745     | 0,52844 | 0,48715         | 0,47269     | 3,97437 | 0,28021    |
| 01 04 1B 80 94 | 0,63654         | 0,98916     | 0,30183 | 0,62774         | 0,98330     | 0,38082 | 0,00879    |
| 01 04 1B 81 5E | 0,53581         | 0,97030     | 0,35443 | 0,52202         | 0,93749     | 0,52932 | 0,01379    |
| 01 04 1B 9F FE | 0,61790         | 0,97814     | 0,41764 | 0,66279         | 0,94827     | 0,72700 | -0,04490   |
| 01 04 1B A3 22 | 0,97078         | 0,99035     | 0,39864 | 0,98844         | 0,98616     | 0,50187 | -0,01766   |
| 01 04 1B A3 AA | 0,89165         | 0,96581     | 0,83807 | 0,91609         | 0,95038     | 1,06841 | -0,02444   |
| 01 04 1B A4 C5 | 0,78137         | 0,93173     | 0,79112 | 0,81831         | 0,91233     | 0,99224 | -0,03694   |
| 01 04 1B A7 D4 | 0,64329         | 0,97968     | 0,34684 | 0,63172         | 0,97666     | 0,37571 | 0,01157    |
| 01 04 1B AA 01 | 0,89648         | 0,98315     | 0,59312 | 0,98189         | 0,95843     | 1,05007 | -0,08541   |
| 01 04 1B AD 57 | 0,85398         | 0,97040     | 0,81971 | 0,90004         | 0,94134     | 1,27925 | -0,04607   |
| 01 04 1B D3 8B | 0,82420         | 0,98876     | 0,39604 | 0,84274         | 0,98466     | 0,48937 | -0,01854   |
| 01 04 1B DD 33 | 0,77439         | 0,97951     | 0,55685 | 0,79626         | 0,95825     | 0,85352 | -0,02187   |
| 01 04 1B D8 A3 | 0,86877         | 0,96911     | 0,77232 | 0,85655         | 0,94913     | 1,02069 | 0,01222    |
| 01 04 1B DA 34 | 0,65769         | 0,98861     | 0,29193 | 0,66848         | 0,97926     | 0,41755 | -0,01079   |
| 01 04 1B DA F3 | 0,74597         | 0,97082     | 0,48262 | 0,79176         | 0,95240     | 0,69235 | -0,04580   |
| 01 04 1B DB F4 | 0,91758         | 0,98382     | 0,49085 | 0,90352         | 0,97919     | 0,56541 | 0,01406    |
| 01 04 1B DD 32 | 0,78134         | 0,98469     | 0,40216 | 0,81376         | 0,95587     | 0,75497 | -0,03242   |
| 01 04 1B DD 52 | 0,60894         | 0,99376     | 0,17164 | 0,67861         | 0,99245     | 0,20517 | -0,06967   |
| 01 04 1B DF BA | 0,62569         | 0,96197     | 0,46906 | 0,65399         | 0,94510     | 0,61768 | -0,02830   |
| 01 04 1B DF EB | 0,83093         | 0,98969     | 0,50745 | 0,94800         | 0,97853     | 0,78033 | -0,11706   |
| 01 04 1B E0 33 | 0,74418         | 0,97439     | 0,50122 | 0,85900         | 0,95525     | 0,80290 | -0,11482   |
| 01 04 1B E8 80 | 0,92458         | 0,93354     | 1,24221 | 0,94653         | 0,89145     | 1,72695 | -0,02195   |
| 01 04 1B EA B5 | 0,60891         | 0,97102     | 0,39267 | 0,61545         | 0,92945     | 0,66720 | -0,00654   |
| 01 04 1B EB 53 | 0,66059         | 0,98331     | 0,42534 | 0,65749         | 0,97540     | 0,53380 | 0,00310    |
| 01 04 1C 94 C9 | 0,90718         | 0,95373     | 0,82833 | 0,91238         | 0,92054     | 1,16824 | -0,00520   |
| 01 04 1C 96 F9 | 0,65865         | 0,95875     | 0,62156 | 0,67211         | 0,94954     | 0,72733 | -0,01346   |
| 01 04 1C 9B B1 | 0,61016         | 0,98500     | 0,33881 | 0,63341         | 0,98200     | 0,39924 | -0,02325   |
| 01 04 1C 9B C6 | 0,86043         | 0,97203     | 0,71996 | 0,89400         | 0,94313     | 1,13170 | -0,03357   |
| 01 04 1C A5 52 | 0,71371         | 0,97951     | 0,46852 | 0,75009         | 0,96911     | 0,63104 | -0,03638   |
| 01 04 1C A6 74 | 0,69939         | 0,98378     | 0,30034 | 0,71278         | 0,98166     | 0,33867 | -0,01339   |
| 01 04 1C AF CB | 0,68998         | 0,97494     | 0,46519 | 0,69298         | 0,95510     | 0,65502 | -0,00300   |
| 01 04 1C B0 A3 | 0,43693         | 0,94366     | 0,35913 | 0,51828         | 0,91993     | 0,53368 | -0,08136   |
| 01 04 1C B2 8C | 0,60847         | 0,95705     | 0,47924 | 0,65000         | 0,94776     | 0,59765 | -0,04152   |
| 01 04 1C B2 E6 | 0,64124         | 0,98033     | 0,44905 | 0,69664         | 0,97003     | 0,62687 | -0,05540   |
| 01 04 1C CC A2 | 0,86740         | 0,97159     | 0,67547 | 0,90665         | 0,95575     | 0,91437 | -0,03925   |
| 01 04 1C CD BD | 0,88086         | 0,99104     | 0,38106 | 1,00098         | 0,98216     | 0,62810 | -0,12012   |
| 01 04 1C CF 13 | 0,57141         | 0,96431     | 0,41467 | 0,63622         | 0,94528     | 0,59983 | -0,06480   |
| 01 04 1C D1 26 | 0,60699         | 0,98291     | 0,26803 | 0,60177         | 0,97248     | 0,35267 | 0,00523    |
| 01 04 1C D1 43 | 0,60893         | 0,99561     | 0,18317 | 0,61503         | 0,99288     | 0,24179 | -0,00610   |
| 01 04 1C D1 A6 | 1,04847         | 0,98048     | 0,73604 | 1,12209         | 0,96158     | 1,15072 | -0,07362   |
| 01 04 1C D1 EA | 0,60004         | 0,98518     | 0,30365 | 0,63116         | 0,97366     | 0,44197 | -0,03112   |
| 01 04 1C D3 48 | 0,77965         | 0,98015     | 0,36951 | 0,75582         | 0,97068     | 0,45791 | 0,02383    |
| 01 04 1C F3 E4 | 0,79545         | 0,98102     | 0,59825 | 0,87762         | 0,97758     | 0,73337 | -0,08217   |
| 01 04 1C F7 2D | 0,70928         | 0,99130     | 0,35409 | 0,70277         | 0,98616     | 0,45498 | 0,00650    |
| 01 04 1C F8 BF | 0,45898         | 0,98526     | 0,26141 | 0,47693         | 0,98228     | 0,30606 | -0,01795   |
| 01 04 1C F8 D1 | 0,67382         | 0,97997     | 0,39686 | 0,65352         | 0,92924     | 0,78411 | 0,02030    |
| 01 04 1C FA 0A | 1,00061         | 0,99231     | 0,43224 | 1,01629         | 0,98849     | 0,55430 | -0,01568   |
| 01 04 1D 01 DB | 0,75592         | 0,96437     | 0,66581 | 0,78821         | 0,95728     | 0,78692 | -0,03229   |
| 01 04 1D 02 54 | 0,67674         | 0,98706     | 0,35245 | 0,68553         | 0,97393     | 0,52325 | -0,00879   |
| 01 04 1D 02 CD | 0,53632         | 0,83977     | 0,81502 | 0,68232         | 0,88825     | 0,85204 | -0,14601   |
| 01 04 1D 03 E8 | 1,26801         | 0,98827     | 0,51401 | 1,29043         | 0,97682     | 0,76467 | -0,02242   |
| 01 04 1D 08 93 | 0,60360         | 0,98253     | 0,27094 | 0,62998         | 0,98200     | 0,29645 | -0,02638   |
| Snitt          | 0,73751         | 0,97436     | 0,48190 | 0,76285         | 0,95179     | 0,72714 | -0,02534   |
| St. avvik      | 0,15653         | 0,02333     | 0,20114 | 0,16645         | 0,07006     | 0,53291 | 0,05603    |

Tabell 5: Analyse av lineær avsmalning

Som vi ser av tabell 5 har nesten alle stökkene en avsmalning på under 1 cm/m. Disse kan vi da si har lite avsmalning, det er bare tre støkker med høyere avsmalning, hvorav en er helt oppe i 1.26 cm/m. Dette tyder på at de som velger ut hvilke trær som skal bli

stolper vet hva de driver med. Vi har ganske mange med en avsmalning helt nede i rundt 0.5 cm/m.

Vi kan også se at det er ganske stor sammenheng mellom den lineære funksjonen og målepunktene, og at kvadratsummen av avvikene er veldig små. Dette tyder på at en lineær tilnærming for å beskrive avsmalningen på stokker egentlig er ganske god.

I sammenlikningen (tabell 5) mellom Våler og Scanpole ser vi at vi får ganske lik avsmalning for de fleste stokkene, dette er ganske naturlig. Her vil tallene fra Våler være bedre ganske enkelt fordi vi har såpass mange flere punkter (ca 2.5 ganger så mange). Dette kommer også fram av tabellen ved at korrelasjonen er noe høyere ved Våler og at RMSE'en er ganske mye mindre (selv om man vanligvis med så mange flere punkter vil ha en motsatt tendens). Vi har også mye mindre variasjon i både korrelasjon og RMSE'en mellom stokkene her. Imidlertid har vi en stokk som skiller seg veldig ut, det er den fjerde i lista (01 04 1B 76 7A, den fra bildet over) den har at vi ved Moelven Våler hadde en avsmalning på hele 0.28 cm/m mer enn ved Scanpole. Eneste grunnen vi kan ha til dette må være at vi har en slags feil i selve målingene, og da antageligvis ved Scanpole ettersom den viser såpass lav avsmalning der. Vi ser at vi i hele 4/5 av stokkene har en kraftigere avsmalning ved målingene ved Scanpole.

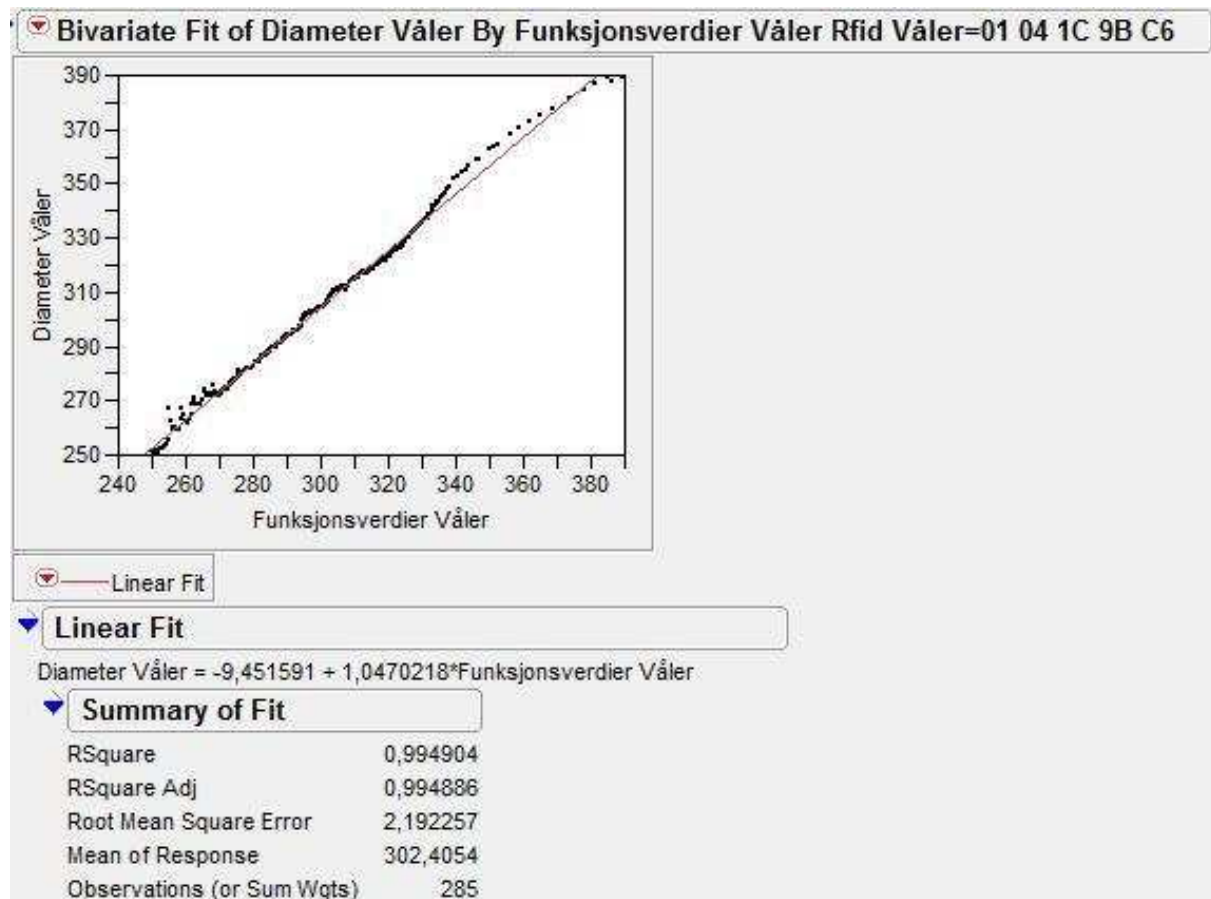


### 3.5 Ulineær avsmalning

| Rfid           | Korrelasjon | Rfid           | Korrelasjon |
|----------------|-------------|----------------|-------------|
| 01 04 1B 71 B7 | 0,9889      | 01 04 1C 96 F9 | 0,9894      |
| 01 04 1B 72 2C | 0,9786      | 01 04 1C 9B B1 | 0,9926      |
| 01 04 1B 72 46 | 0,9930      | 01 04 1C 9B C6 | 0,9974      |
| 01 04 1B 76 7A | 0,9920      | 01 04 1C A5 52 | 0,9767      |
| 01 04 1B 80 94 | 0,9845      | 01 04 1C A6 74 | 0,9824      |
| 01 04 1B 81 5E | 0,9894      | 01 04 1C AF CB | 0,9739      |
| 01 04 1B 9F FE | 0,9844      | 01 04 1C B0 A3 | 0,9949      |
| 01 04 1B A3 22 | 0,9673      | 01 04 1C B2 8C | 0,9795      |
| 01 04 1B A3 AA | 0,9924      | 01 04 1C B2 E6 | 0,9888      |
| 01 04 1B A4 C5 | 0,9899      | 01 04 1C CC A2 | 0,9791      |
| 01 04 1B A7 D4 | 0,9928      | 01 04 1C CD BD | 0,9848      |
| 01 04 1B AA 01 | 0,9919      | 01 04 1C CF 13 | 0,9922      |
| 01 04 1B AD 57 | 0,9924      | 01 04 1C D1 26 | 0,9936      |
| 01 04 1B D3 8B | 0,9873      | 01 04 1C D1 43 | 0,9961      |
| 01 04 1B D7 33 | 0,9795      | 01 04 1C D1 A6 | 0,9818      |
| 01 04 1B D8 A3 | 0,9940      | 01 04 1C D1 EA | 0,9888      |
| 01 04 1B DA 34 | 0,9912      | 01 04 1C D3 48 | 0,9836      |
| 01 04 1B DA F3 | 0,9807      | 01 04 1C F3 E4 | 0,9891      |
| 01 04 1B DB F4 | 0,9816      | 01 04 1C F7 2D | 0,9902      |
| 01 04 1B DD 32 | 0,9897      | 01 04 1C F8 BF | 0,9933      |
| 01 04 1B DD 52 | 0,9901      | 01 04 1C F8 D1 | 0,9783      |
| 01 04 1B DF BA | 0,9904      | 01 04 1C FA 0A | 0,9906      |
| 01 04 1B DF EB | 0,9860      | 01 04 1D 01 DB | 0,9798      |
| 01 04 1B E0 33 | 0,9892      | 01 04 1D 02 54 | 0,9898      |
| 01 04 1B E8 80 | 0,9838      | 01 04 1D 02 CD | 0,9830      |
| 01 04 1B EA B5 | 0,9880      | 01 04 1D 03 E8 | 0,9936      |
| 01 04 1B EB 53 | 0,9844      | 01 04 1D 08 93 | 0,9753      |
| 01 04 1C 94 C9 | 0,9559      | Gjennomsnitt   | 0,9861      |

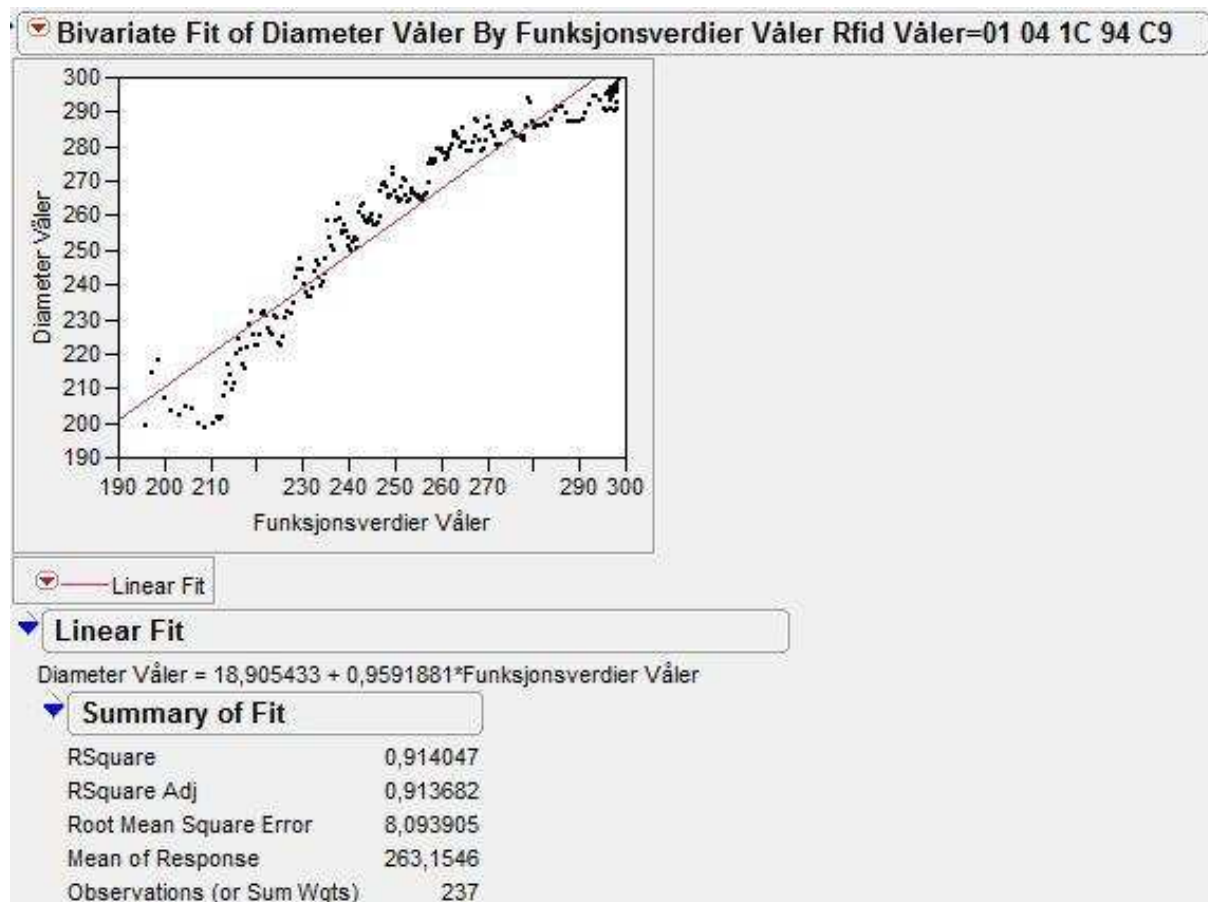
Tabell 6: Korrelasjon mellom funksjonsverdier og måleverdier ved Moelven Våler

Vi ser i tabell 6 at vi har ganske god sammenheng mellom måleverdiene og funksjonsverdiene ved Strands formel (tabell 3 på side 14), alle verdiene ligger mellom 0.95 og 1. Den er enda bedre enn det vi har ved lineær avsmalning, dette er som forventet ettersom man ellers ikke ville brydd seg med å bruke dette relativt store formelsettet.



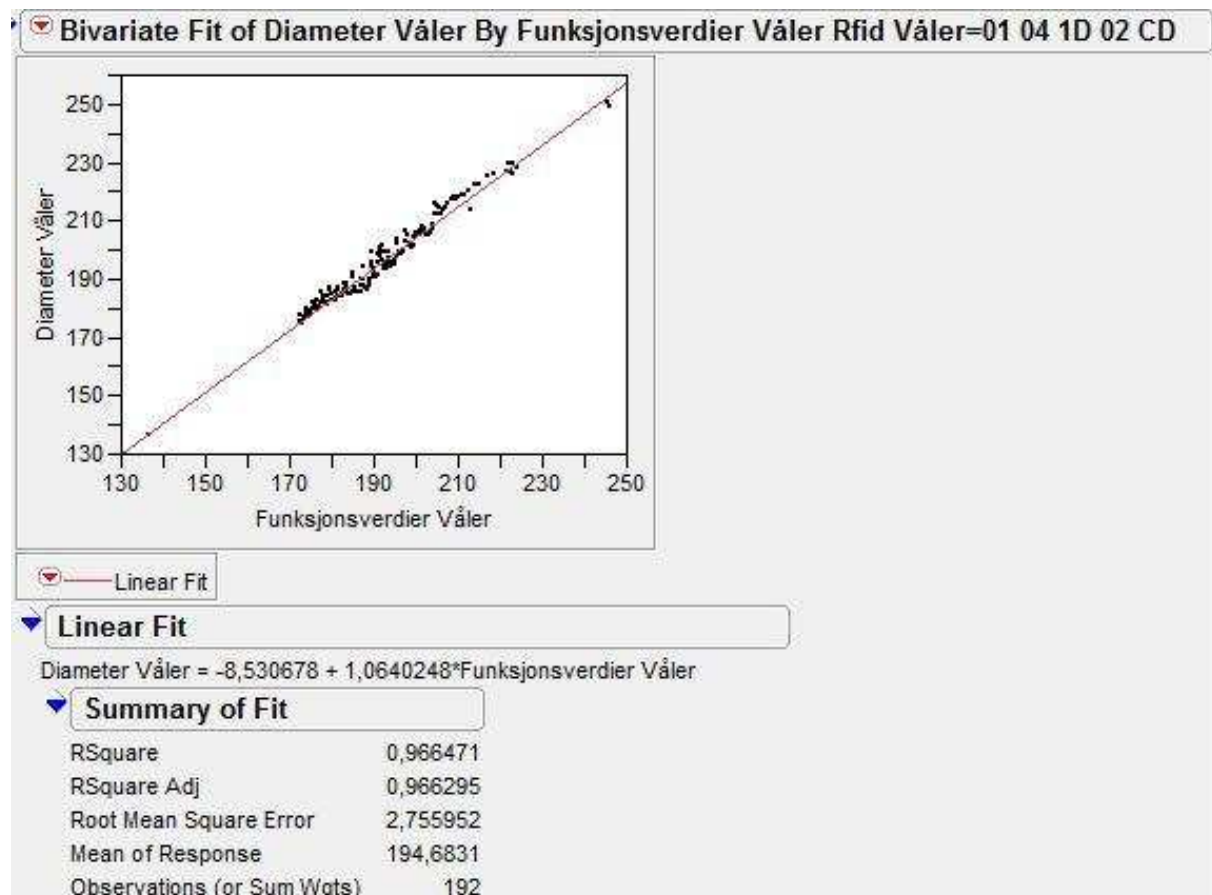
Figur 16: Best korrelasjon mellom måling og funksjon ved Moelven Våler.

I figur 16 ser vi at punktene følger den lineære tilnærminga vi får mellom funksjon (y-aksen) og måling (x-aksen). Vi får klart færre punkter mens vi beveger oss mot rot-diameteren. Det at denne tilnærminga starter på ca. minus 9 tilsier at funksjonen har litt mindre avsmalning enn det målepunktene har. Selve fordelingen på dette er ikke signifikant ved at det er ca. like mange av hver type (hvilken del som gir mest avsmalning).



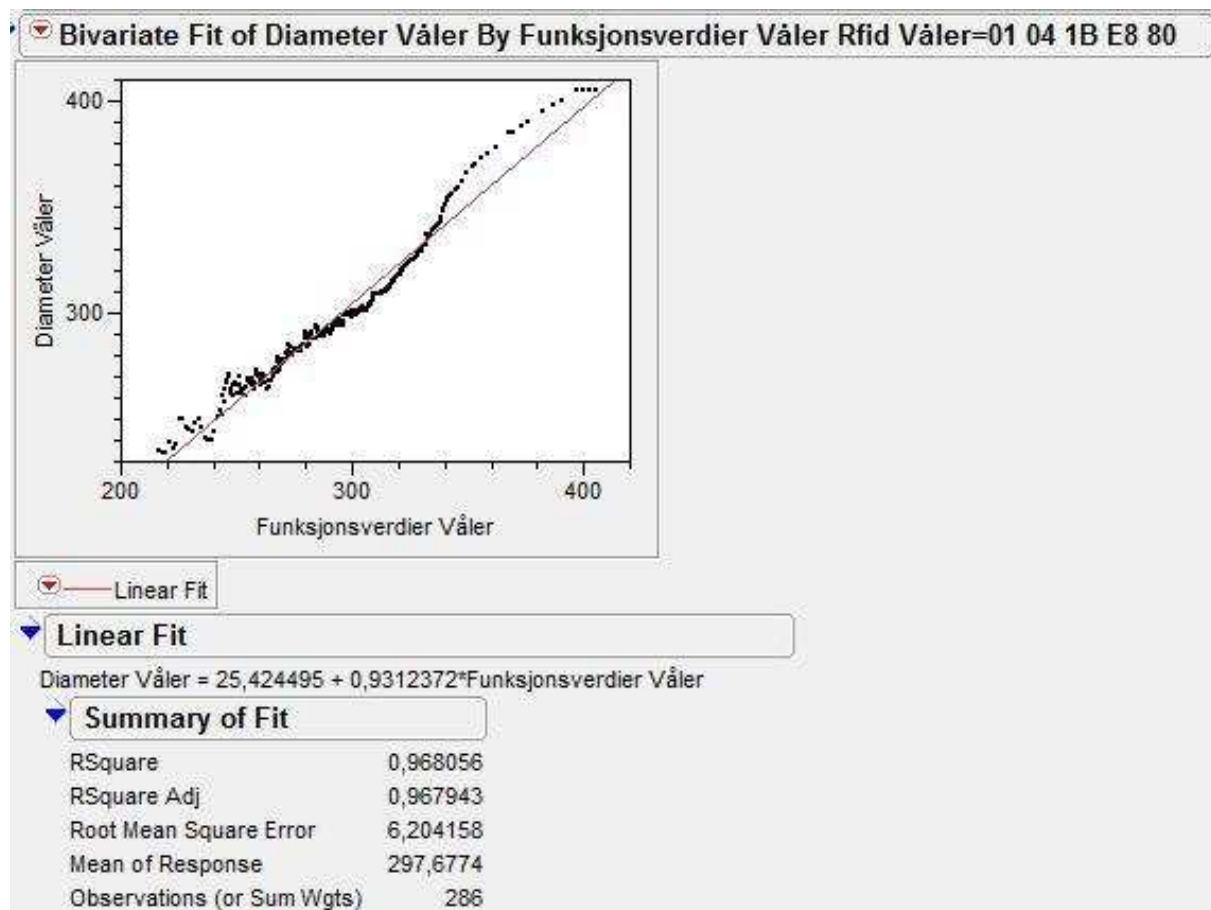
Figur 17: Dårligst korrelasjon mellom måling og funksjon ved Moelven Våler.

I figur 17 har vi et klart annerledes bilde enn det forrige. Selv om korrelasjonen er ganske bra for denne figuren ser det mer ut som om det følger en slags s-kurve. Så her er funksjonen faktisk ganske dårlig til å beskrive hvordan stokken ser ut. Vi har en RMSE på hele 8, som ikke høres så stort ut men er fire ganger så stort som ved den best beskrevne stokken. Her har vi et tilfelle av at funksjonen gir ganske mye mer avsmalning enn målepunktene.



Figur 18: Spesiell diameterfordeling ved Moelven Våler.

I figur 18 har vi en veldig spesiell fordeling av diametre. Både funksjonen og målingen gir oss to målepunkt på ca 250 og et på ca 135 mens resten (190 punkter) ligger mellom 170 og 230. Bunnverdien kommer av at denne ligger helt i rota og da henter funksjonen denne direkte, antageligvis har snittet ligget noe skrått i ramma og vi har ikke fått tall for et helt tverrsnitt. Maksverdien er neste verdi i rotenden og hvorfor funksjonen har gitt denne er mer usikkert. Her har vi som i den første at funksjonen har noe mindre avsmalning enn målepunktene.



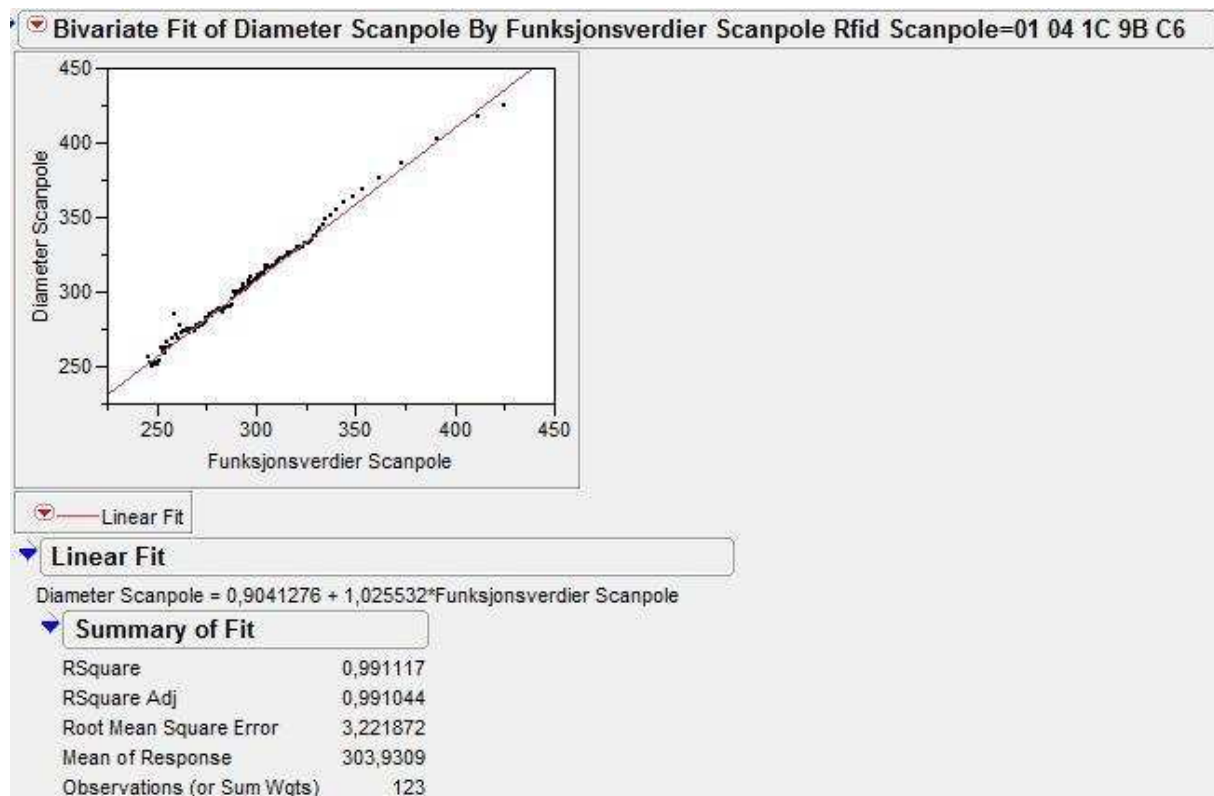
Figur 19: Spesiell diameterfordeling ved Moelven Våler 2.

Figur 19 er en ekstremversjon av hvordan de fleste fordelingene artet seg, med ganske bra tilpassning på midten. Endel spredning om tilpasningslinja på de små diameterene, og den bulen opp over linja for de større diameterene. Denne bulen er et ekstremtilfelle her men de fleste stukkene hadde en mellomting av denne og den i figuren for best korrelasjon. Dette kan tyde på en systematisk feil, enten i selve funksjonssettet eller i min implementering av dette. Jeg har sett gjennom funksjonen flere ganger og kan ikke si jeg har funnet noe avvik mellom teorien og min implementering.

| Rfid           | Korrelasjon | Rfid           | Korrelasjon |
|----------------|-------------|----------------|-------------|
| 01 04 1B 71 B7 | 0,9854      | 01 04 1C 96 F9 | 0,9850      |
| 01 04 1B 72 2C | 0,9814      | 01 04 1C 9B B1 | 0,9911      |
| 01 04 1B 72 46 | 0,9871      | 01 04 1C 9B C6 | 0,9955      |
| 01 04 1B 76 7A | 0,5985      | 01 04 1C A5 52 | 0,9659      |
| 01 04 1B 80 94 | 0,9853      | 01 04 1C A6 74 | 0,9807      |
| 01 04 1B 81 5E | 0,9821      | 01 04 1C AF CB | 0,9627      |
| 01 04 1B 9F FE | 0,9609      | 01 04 1C B0 A3 | 0,9922      |
| 01 04 1B A3 22 | 0,9699      | 01 04 1C B2 8C | 0,9673      |
| 01 04 1B A3 AA | 0,9896      | 01 04 1C B2 E6 | 0,9794      |
| 01 04 1B A4 C5 | 0,9888      | 01 04 1C CC A2 | 0,9717      |
| 01 04 1B A7 D4 | 0,9818      | 01 04 1C CD BD | 0,9756      |
| 01 04 1B AA 01 | 0,9867      | 01 04 1C CF 13 | 0,9879      |
| 01 04 1B AD 57 | 0,9848      | 01 04 1C D1 26 | 0,9912      |
| 01 04 1B D3 8B | 0,9877      | 01 04 1C D1 43 | 0,9950      |
| 01 04 1B D7 33 | 0,9702      | 01 04 1C D1 A6 | 0,9746      |
| 01 04 1B D8 A3 | 0,9859      | 01 04 1C D1 EA | 0,9838      |
| 01 04 1B DA 34 | 0,9870      | 01 04 1C D3 48 | 0,9772      |
| 01 04 1B DA F3 | 0,9771      | 01 04 1C F3 E4 | 0,9914      |
| 01 04 1B DB F4 | 0,9744      | 01 04 1C F7 2D | 0,9819      |
| 01 04 1B DD 32 | 0,9866      | 01 04 1C F8 BF | 0,9920      |
| 01 04 1B DD 52 | 0,9931      | 01 04 1C F8 D1 | 0,9335      |
| 01 04 1B DF BA | 0,9857      | 01 04 1C FA 0A | 0,9802      |
| 01 04 1B DF EB | 0,9912      | 01 04 1D 01 DB | 0,9773      |
| 01 04 1B E0 33 | 0,9941      | 01 04 1D 02 54 | 0,9859      |
| 01 04 1B E8 80 | 0,9687      | 01 04 1D 02 CD | 0,9799      |
| 01 04 1B EA B5 | 0,9893      | 01 04 1D 03 E8 | 0,9908      |
| 01 04 1B EB 53 | 0,9752      | 01 04 1D 08 93 | 0,9814      |
| 01 04 1C 94 C9 | 0,9420      | Gjennomsnitt   | 0,9675      |

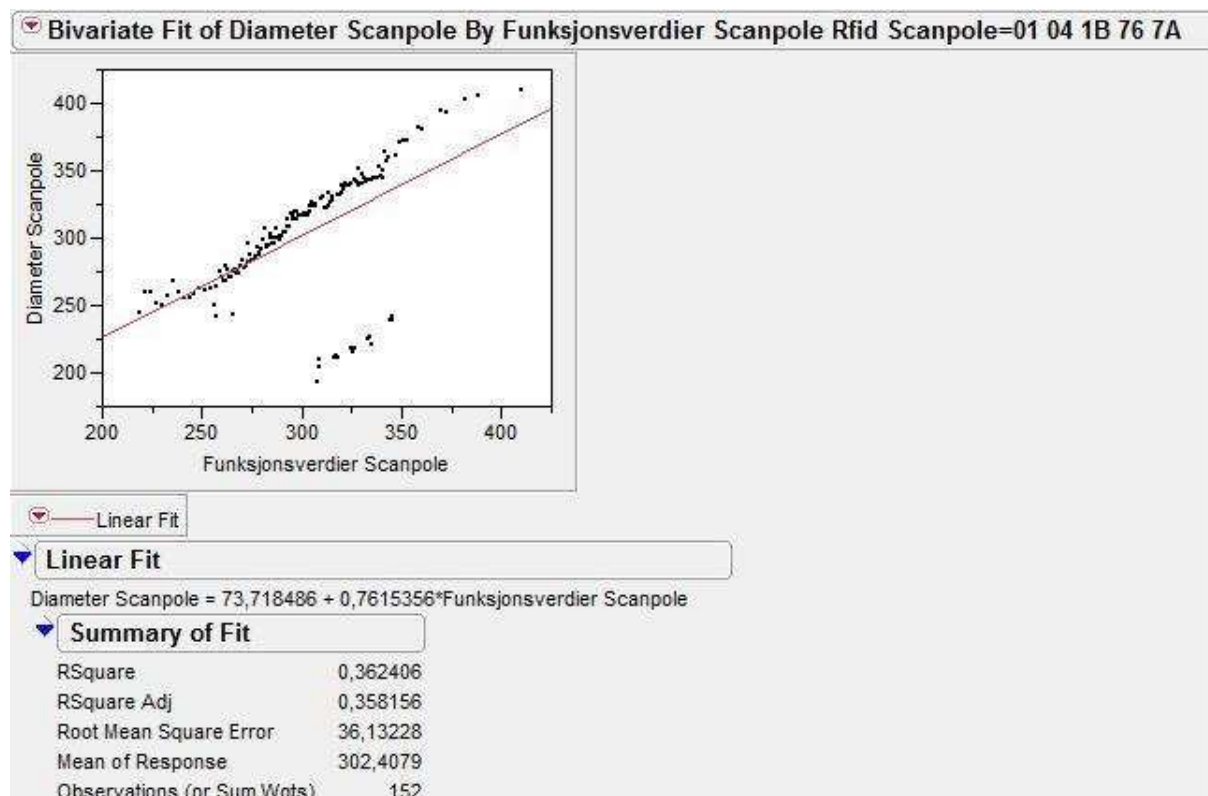
Tabell 7: Korrelasjon mellom funksjonsverdier og måleverdier ved Scanpole

Også ved målingene på Scanpole (tabell 7) har vi ganske god sammenheng mellom måleverdiene og funksjonsverdiene ved Strands formel, bare noe dårligere enn ved Moelven Våler. Nesten alle verdiene ligger mellom 0.90 og 1, bortsett fra den vi kommenterte tidligere under lineær avsmalning (01 04 1B 76 7A). Igjen vil dette kunne skyldes en målefeil ved anlegget, eller stokken kan ha en noe spesiell form. Også her gir Strands funksjon bedre resultat enn det vi har ved lineær avsmalning.



Figur 20: Best korrelasjon mellom måling og funksjon ved Scanpole.

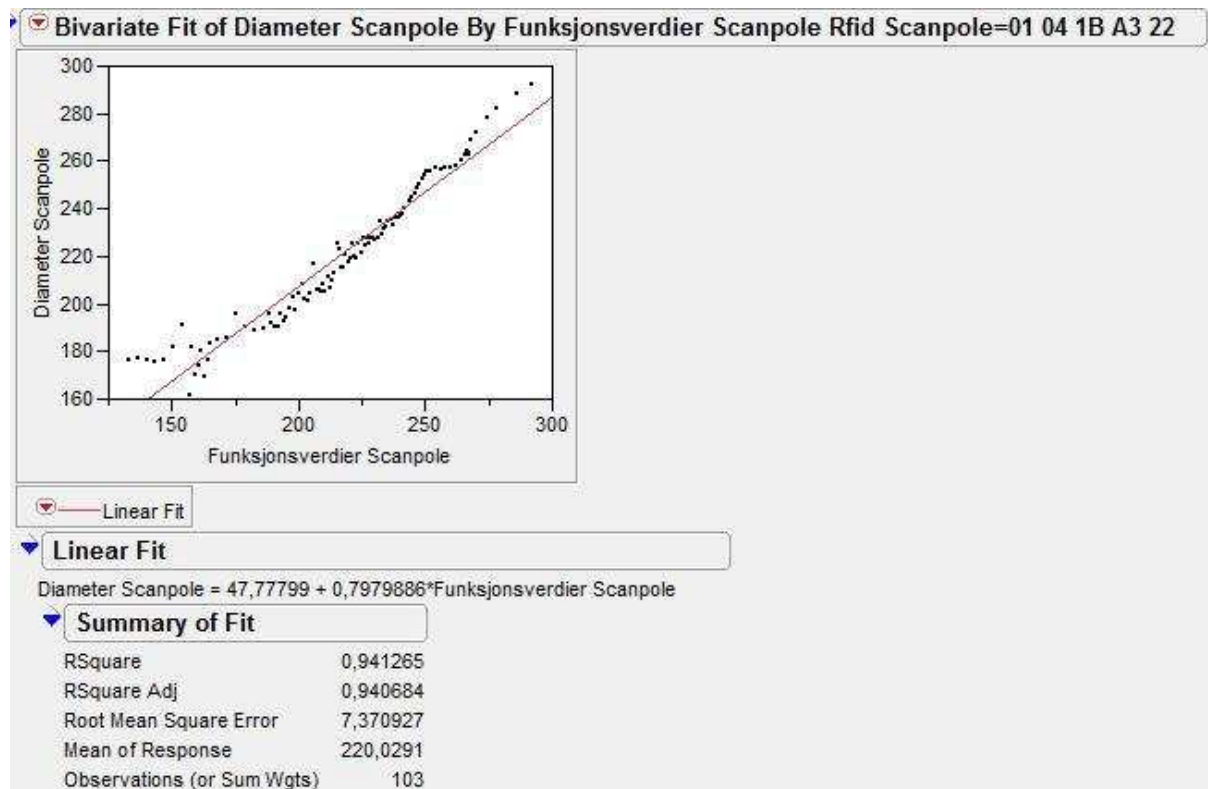
I figur 20 har vi tatt ut den stokken som gav best sammenheng mellom funksjonen og målingene. Vi ser at vi også her har en liten bul opp ved de høye verdiene, men også at de går under den lineære tilnærmingen helt øverst. I tillegg ser vi at konstantleddet i tilnærmingen er veldig nær null det tyder på at for denne stokken gav funksjonen og målingene omtrent lik avsmalning for stokken. Ellers er den ganske lik den tilsvarende funksjonen fra Våler. Ved at punktene følger linja ganske bra.



Figur 21: Dårligst korrelasjon mellom måling og funksjon ved Våler.

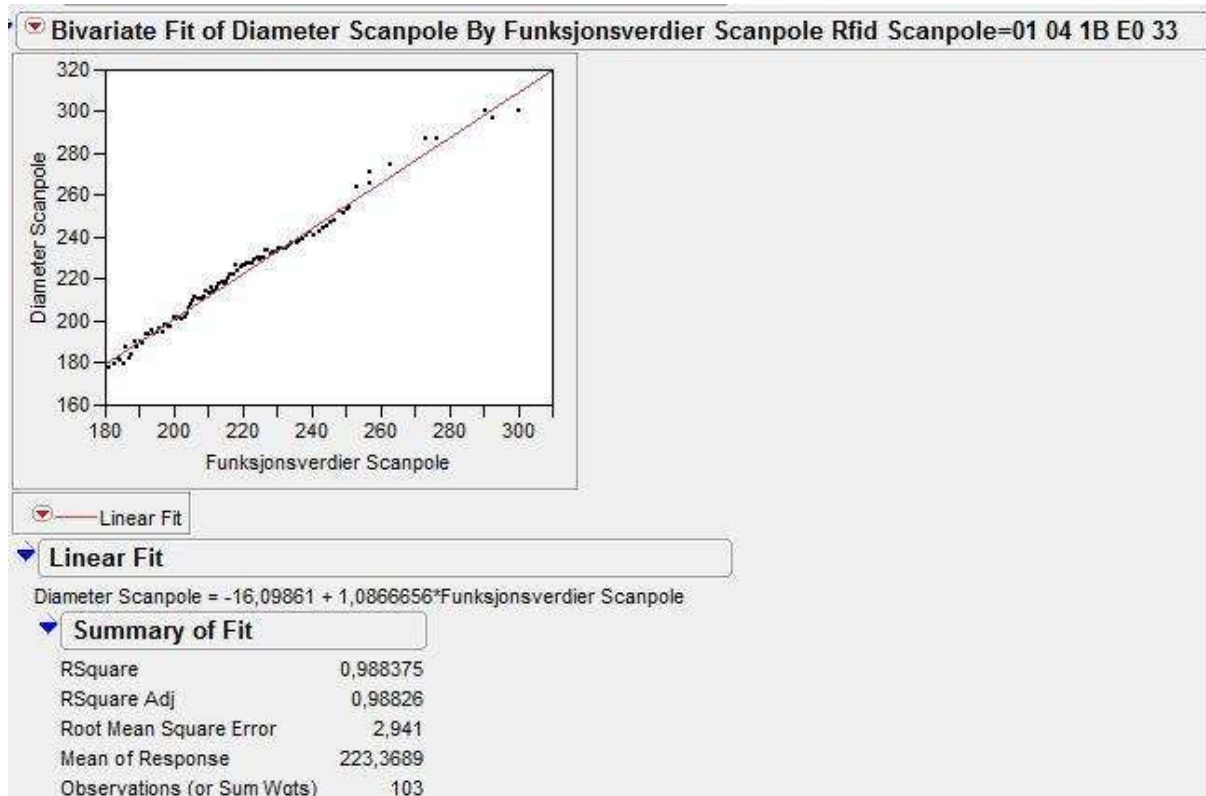
I figur 21 er det en veldig spesiell grunn til at korrelasjonen ble dårlig og det er de punktene som har veldig høy diameter i funksjonen, men lave målingsverdier. Dette er da den stokken som er blitt nevnt tidligere (01 04 1B 76 7A), og her ser vi hva som er grunnen til at vi har fått så dårlig korrelasjon mellom funksjon og målte tall. Det er slik at de minste diameterene som ble målt for stokken har gitt noen ganske store verdier i funksjonen. Dette gir ikke mening om det ikke er kommet noe feil i selve målingen. Etter en nøye sjekk av tallene ser man at ved seks områder nedover stammen er målt diameter omtrent 10 cm mindre enn det den er ved hver side av området. Ettersom dette er den eneste stokken dette er skjedd ved kan vi gå ut fra at det ikke er et problem i selve måleramma, og jeg kan ikke huske noen stokk som hadde 30cm lange områder hvor diameteren plutselig var 10 cm mindre, kan vi gå ut fra at det er skjedd en feil ved overføringen av data mellom filformater for akkurat denne stokken. Det kan også hende at denne stokken hadde noen feil som gav dette utslaget, men det er lite sannsynlig da tømmermåleren også så over stokkene da han valgte ut stokker til prosjektet. Disse stokkene skal tilbake i produksjonen etter at prosjektet er ferdig så en stokk med slike feil ville ikke vært akseptabelt.





Figur 22: Mer typisk dårlig korrelasjon

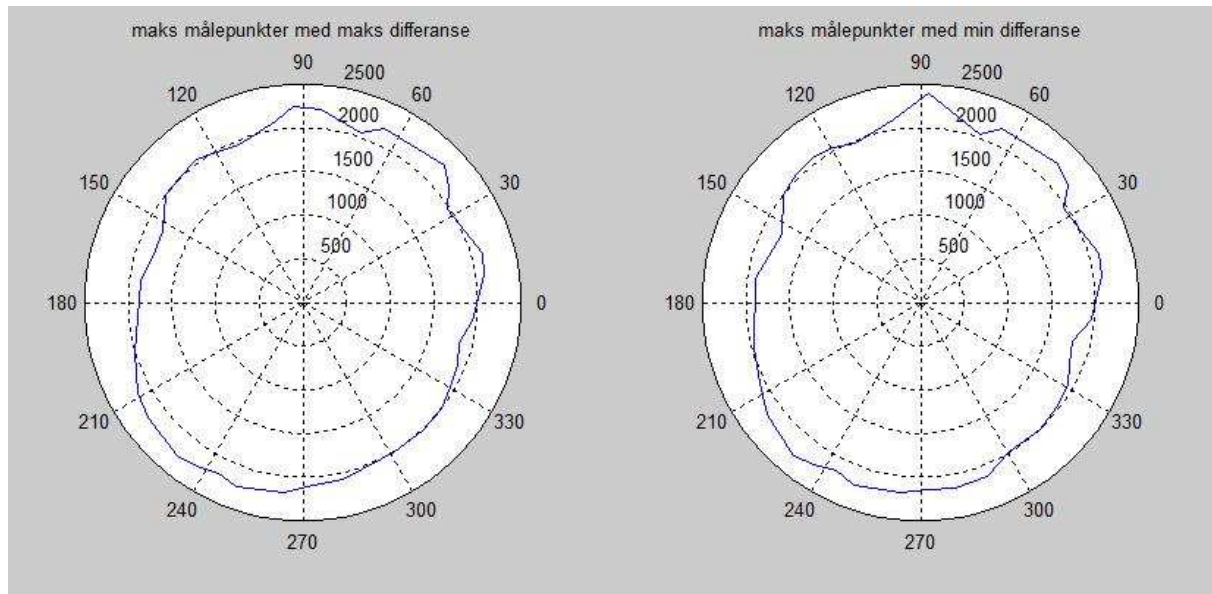
Det er kanskje å ta i å kalle dette dårlig korrelasjon (figur 22), men den er ihvertfall et mer typisk tilfelle enn stokken i figur 21. Som i de fleste plottene har vi en bul ved store diameterer. En ting som kommer tydelig fram her er den spesielle splitten vi ser på de minste diameterene, vi har denne ved flere av de andre stokkene også, men her kommer den tydeligst fram. Her har vi et konstantledd i den lineære tilnærminga som er ganske stort (47.7) dermed gir funksjonen ganske mye større avsmalning enn det måleverdiene gir.



Figur 23: Avsmalningsforskjell langs stammen.

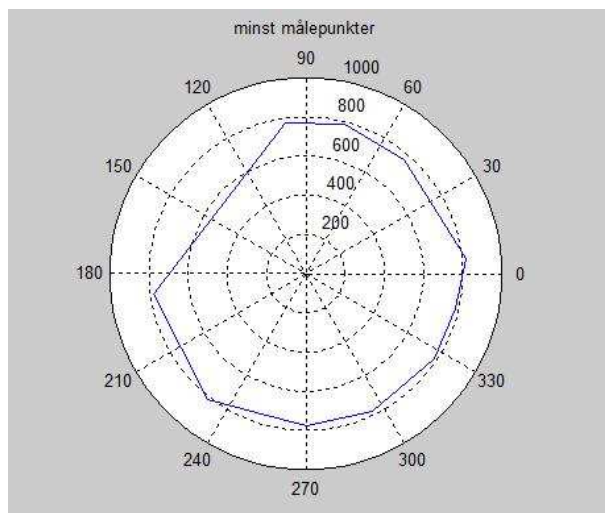
Figur 23 er et godt eksempel på det at et tre har endel større avsmalning nær bakken enn høyere oppe i treet. Dette ser vi som ved tilsvarende ved Våler at vi har mye færre punkter ved de største diameterene.

### 3.6 Tverrsnitt



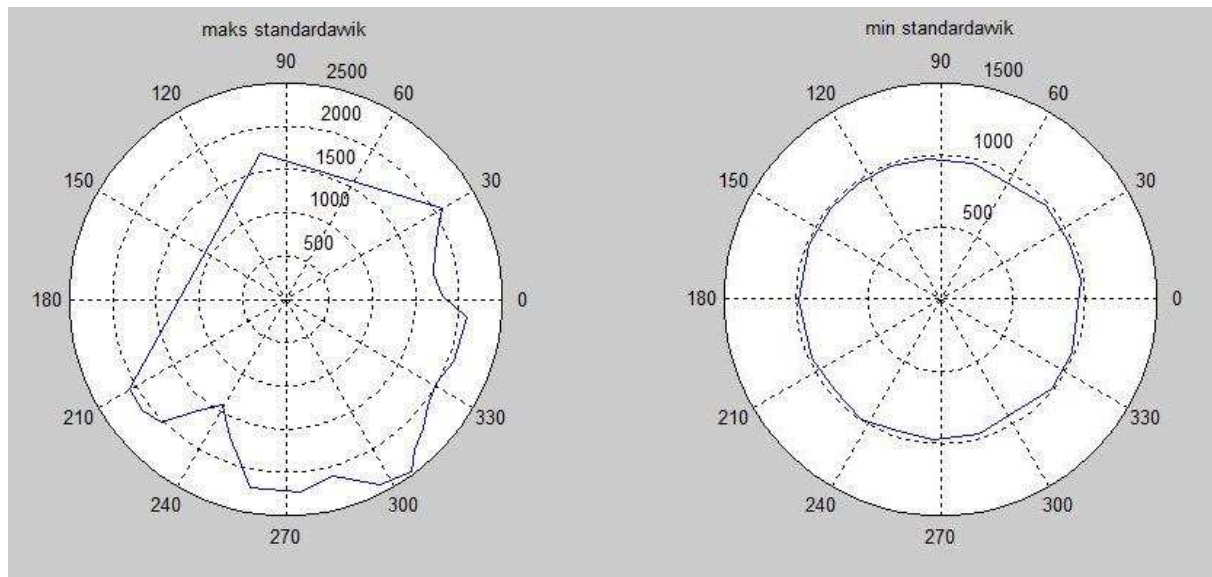
Figur 24: Tverrsnitt med flest målepunkter og forskjellig differanse mellom maks og min radie.

I figur 24 har vi to av de fire (av ca 18000) tverrsnittene med 38 målepunkter. Vi ser at ved så mange målepunkter vil rette linjer mellom disse fortsatt gi en ganske fin beskrivelse av tverrsnittet. Langs stokken er det ca fire cm mellom disse tverrsnittene, likevel kan vi se at det er en del forskjell i hvordan de ser ut. I alle plottene av tverrsnitt er det slik at radien er gitt i tiendels millimeter, (100 dels cm) som det er gitt i dataene som kommer ut av måleramma, disse er anvist ved hjelp av sirkler ut fra origo. Gradene er gitt rundt yttersiden av plottet, indikert innover ved stråler mot origo. Snittet til venstre er det med 38 målepunkter som har størst forskjell mellom størst og minst radius. Mens det til høyre har minst forskjell. Disse snittene kommer fra rotenden til stokk 01 04 1B E8 80, snittet med størst differanse (6.2 cm) ligger høyere opp i stokken enn det med minst differanse (4.6 cm). Videre har vi at gjennomsnittsdiameteren her er 42 cm, og når vi da bare har 38 målepunkter vil jeg tro instillingene på måleramma kunne vært bedre. Vi kan tydelig se at begge tverrsnittene er ovale.



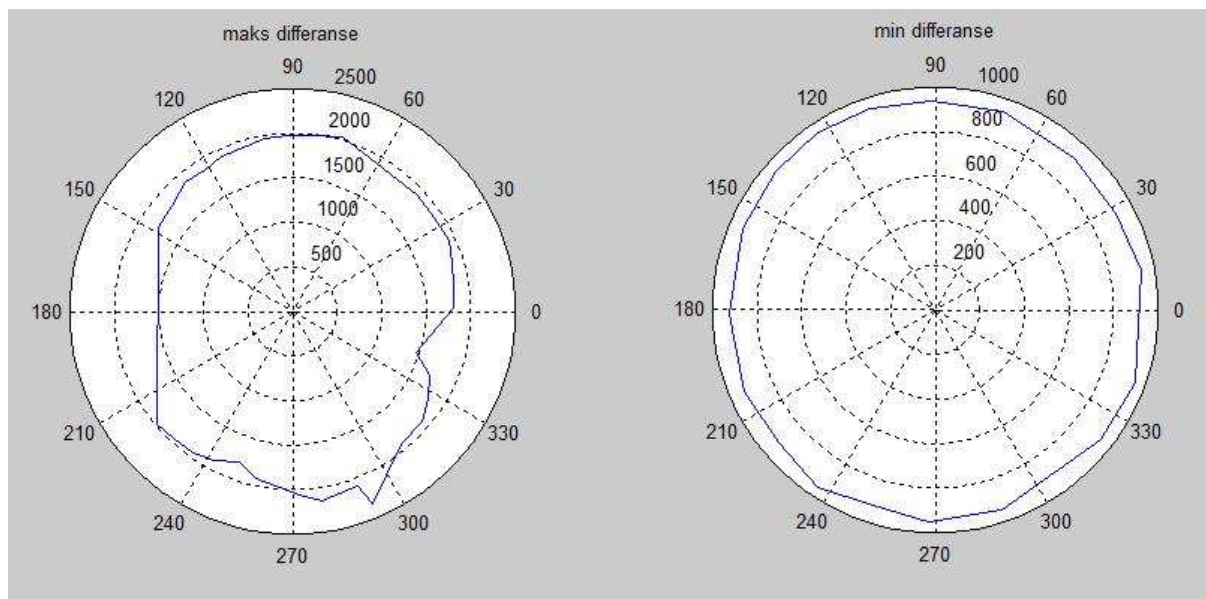
Figur 25: Tverrsnittet med færrest målepunkter.

I dette tverrsnittet (figur 25) har vi kun elleve målepunkter. Likevel har vi en ganske fin form rundt stammen med rette linjer mellom punktene, bortsett i området fra 100 til 190 grader. Vi har her et fint eksempel på det som er nevnt i material og metode, at det ikke er jevn avstand mellom målepunktene. Vi har 90 grader mellom to målepunkter ett sted og 25 grader mellom to rett ved siden av. Vi har noen enda mer ekstreme tilfeller senere som gir værre plott. Vi ser at vi her kun har en diameter på 16 cm (gjennomsnittsradien 790 mm) og med bare elleve målepunkter er dette i samsvar med teorien om at mindre diameter gir færre målepunkter. Punktene er hentet ca. 14 cm fra toppen på stokk 01 04 1C A5 52. Helt i enden på denne stokken hadde vi noe mindre diameter, 751 mm i gjennomsnitt, men ”hele” 15 målepunkter. Dette står stikk i mot ovennevnte teori om sammenheng mellom diameter og antall målepunkter. Dette er noe som går igjen på flere stokker (at høyden med færrest målepunkter ikke er helt i toppen). Er usikker på hvorfor dette er tilfelle, det kan være at noen av punktene filtreres bort av programmet til måleramma. Her kan det se ut som om vi har et ganske sirkulært tverrsnitt, men det er litt vanskelig å si ettersom den ene siden framstår som helt rett.



Figur 26: Snitt med maks og min standardavvik i radie.

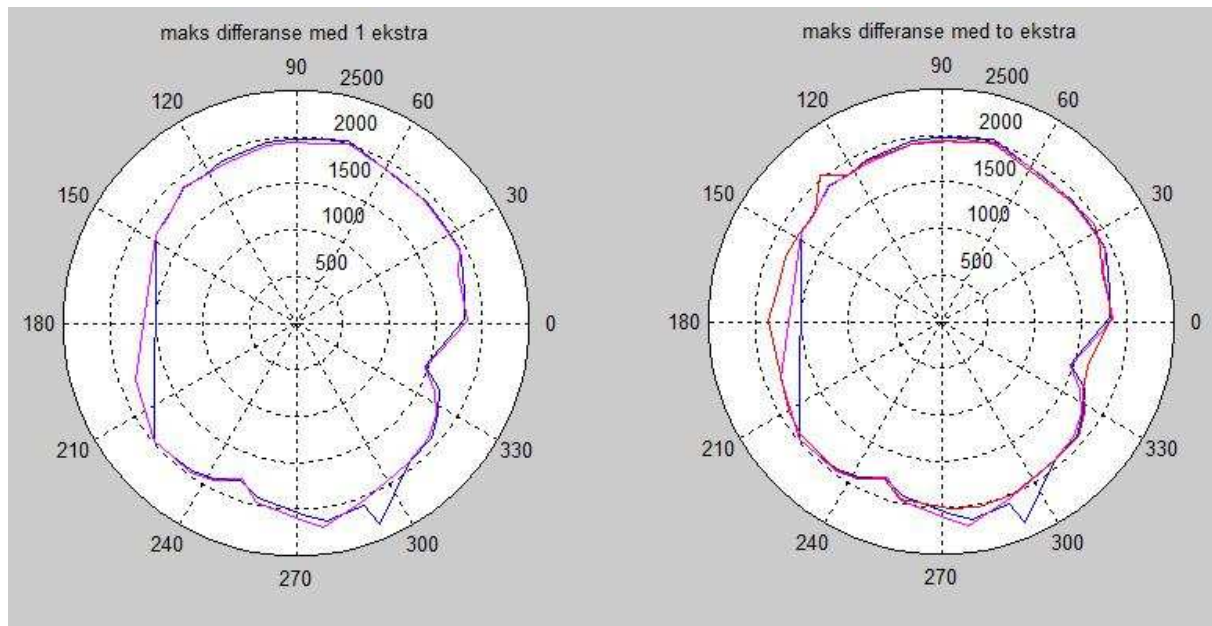
I figur 26 har vi plottet av de to snittene, av alle de aktuelle (tatt ut noen hvor det er tydelig at stokken ikke har vært helt inne i ramma), som har størst (til venstre, stdev: 245) og minst standardavvik (høyre stdev: 10) mellom punktene. Vi kan se tydelig på det til høyre at vi har ganske bra sammenheng mellom punktene, eller god rundhet som blir synonymt med lavt standardavvik. Til venstre derimot ser vi tydelig at stokken ikke har god rundhet. Det er ganske vanskelig å si noe om formen i det hele tatt. Dette er også det første gode eksempelet på at en rett linje mellom målepunktene ikke alltid gir en god beskrivelse av hvordan stokken ser ut, spesielt mellom 30 og 210 grader. Det er viktig å merke seg at beregningene gjort på snittet (bl. annet standardavviket) ikke tar utgangspunkt i linja, men i punktene om fremstår som knekkpunkter på linja. Plottet til venstre er hentet fra stokk 01 04 1B AD 57, helt i toppen, har 25 målepunkter og en gjennomsnittsradius på 20 cm. Tverrsnittet til høyre er hentet fra stokk 01 04 1B A4 C5, tre fjerdedeler opp i stolpen, har 18 målepunkter og en gjennomsnittsradius på 9.8 cm. Og det ser ganske sirkulært ut.



Figur 27: Snitt med maks og min differanse mellom radier.

Disse plottene ( figur 27) er av snittene hvor vi fant størst og minst forskjell mellom maksimal og minimal radius. Vi ser hva som har gitt utslag på plottet til venstre som har gitt høy differanse (8.7 cm) mellom maks og min. Vi har en klar topp ved 290 grader (ca 24 cm) og en tydelig grop ved 345 grader (underkant av 15 cm). Vi har også her et område hvor det er tynt mellom målepunktene 150 til 220 grader. Dette plottet har vi tatt for oss under med fler tverrsnitt for å se på hvordan stokken ter seg i de uregistrerte områdene. Dette snittet er hentet i rota på stokk 01 04 1B AA 01, hvor vi har 30 målepunkter. Vi ser at det til høyre ser veldig bra ut selv om det bare har 18 målepunkter. Det at dette har et veldig lite standardavvik følger naturlig av at differansen mellom maks og min radie er såpass liten (0.35 cm). Dette tverrsnittet er hentet halveis mot toppen på stokk 01 04 1D 02 CD. Plottet til venstre kan vi si har en svak eggform eller til nød at det er ovalt, mens til høyre har vi igjen et tilnærmet sirkulært plott.

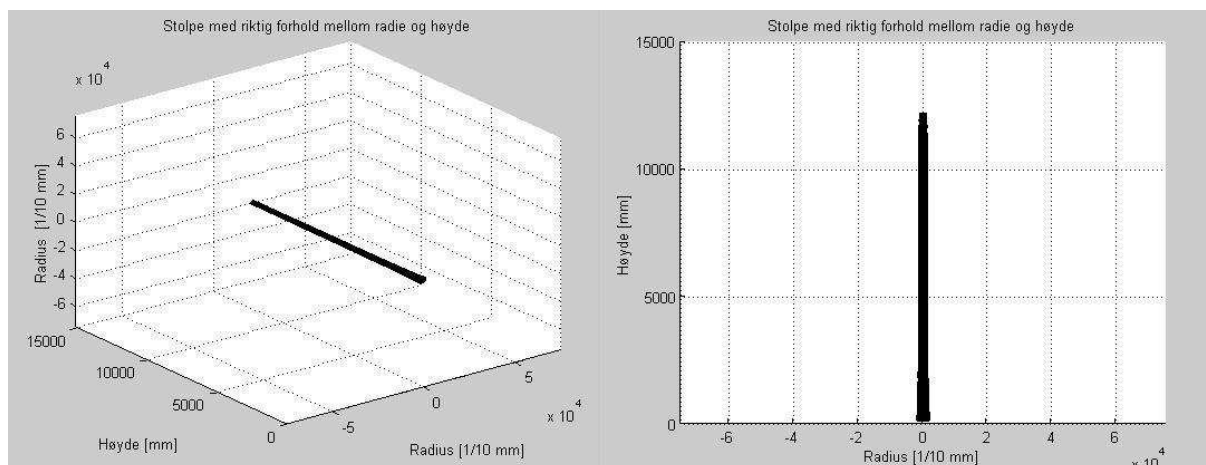




Figur 28: Utjevning av tverrsnitt ved flere plott.

I figur 28 har vi plottet tverrsnittet til venstre på figur 26 sammen med de tilstøtende tverrsnittene (4-8 cm unna). Ettersom det opprinnelige tverrsnittet er hentet helt fra rota til stokken kunne vi ikke hente snitt nedenfra så vi tok de to ovenfor. Plottet til venstre inkluderer bare det nærmeste snittet mens det til høyre har begge. Vi ser allerede til venstre at vi har mye de samme karakteristika som f.eks gropa ved 345 grader. Toppen ved 290 grader dermot er ikke registrert i det nye snittet, men dette kan ganske enkelt skyldes det faktum at vi ikke har noe målepunkt her i det hele tatt. Videre ser vi at vi har fått et ekstra målepunkt inne i det området hvor vi ikke hadde noen i originalen (150-220 grader) og at dette følger formen til sånn en ser for seg at en stokk skal se ut. Når vi ser på plottet til venstre ser vi at gropa er blitt mindre og vi heller ikke her har toppen. Dersom vi nå følger ytterkanten av plottet (uavhengig av hvilket som er ytterst) vil vi kunne se et mye bedre bilde på hvordan stokken virkelig ser ut, ved at vi har fått enda et målepunkt i det tomme området. Jeg vil anta at det er slik det gjøres hos sagbrukene når det skal bestemmes hvordan stokker skal sages.

### 3.7 Stokkers form fra 3d ramme



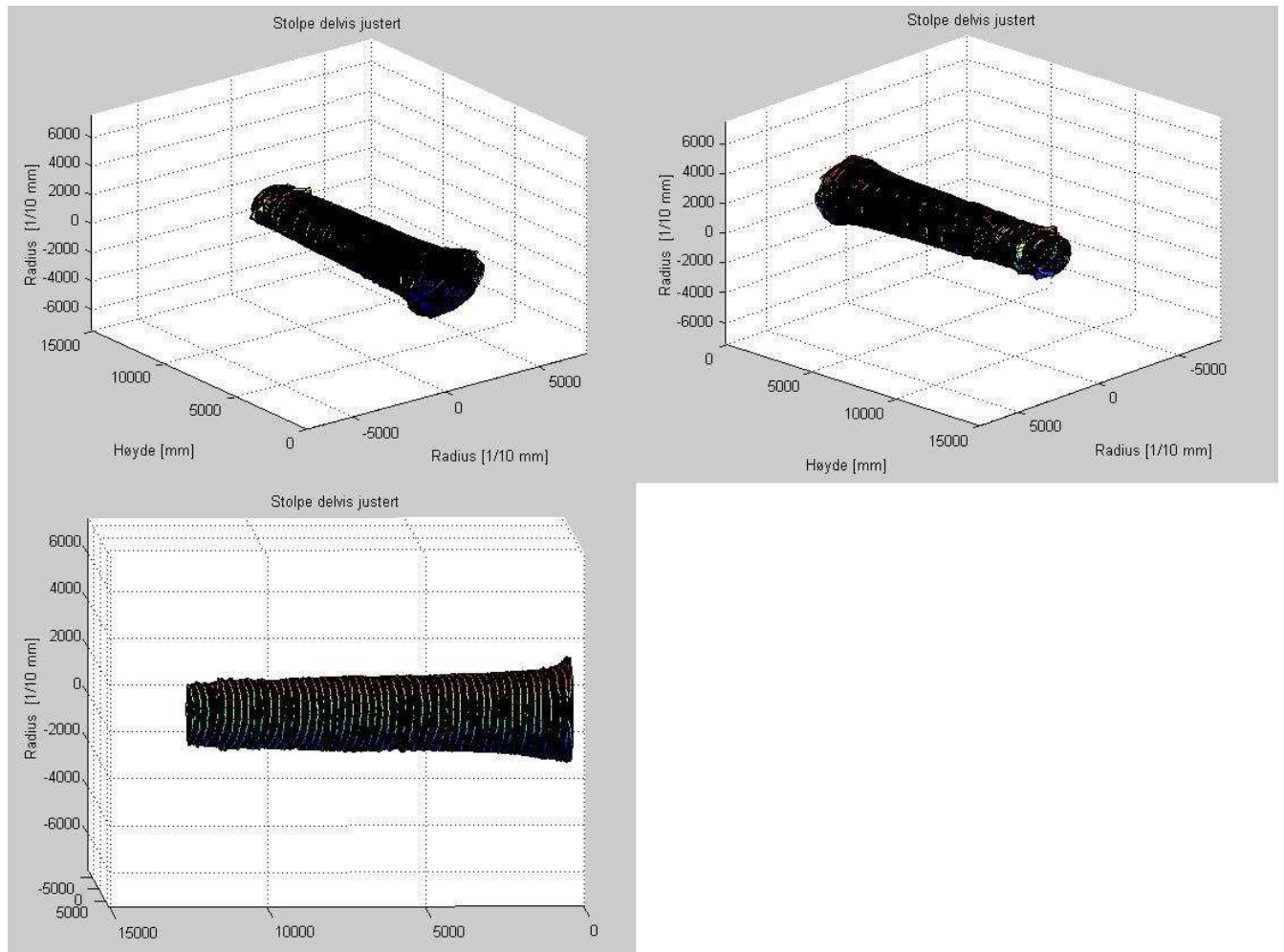
Figur 29: Stammens utseende.

I figur 29 har vi et plott hvor vi får se hvordan stokken virkelig ser ut (fra veldig langt unna), med hvor skalaen er lik for høyde og radius.

På disse plottene står benevning og størrelse ved aksene i klammeparenteser. Alle plottene er av stolpe 01 04 1C D1 26.

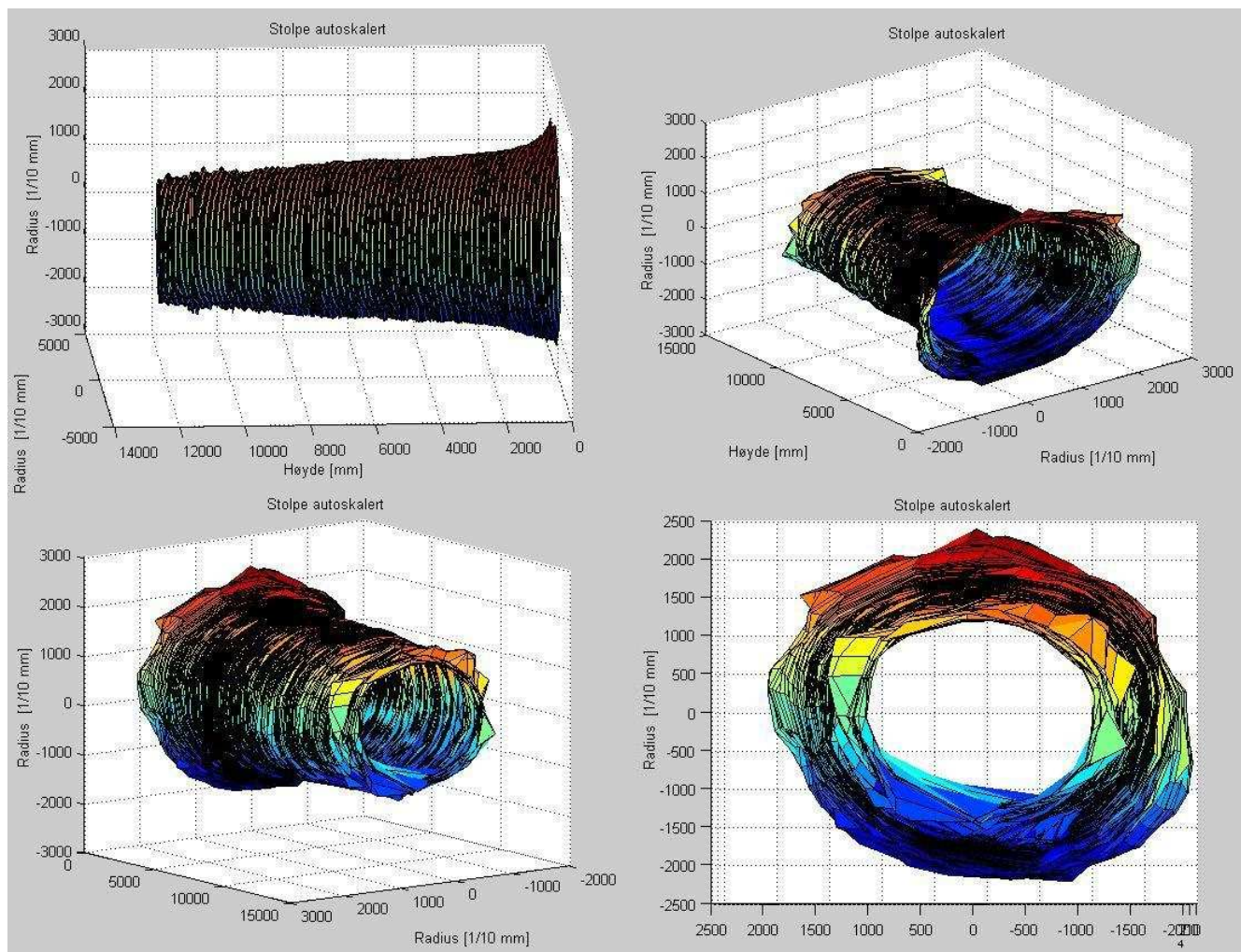
Det er vanskelig å få sett noen detaljer her, vi ser stort sett bare hvor lang og smal stolpene er, men vi kan ane en viss bue i formen. Denne er i overkant av 12 meter lang og har en diameter i rotenden på ca 40 cm. Selve plottet består av 194 tverrsnitt (denne stolpen fikk noe under gjennomsnittet antall målinger i lengderetning). Hvert tverrsnitt består av 25 radier og vinkler. Dette fører til at vi har 4850 målepunkter langs hele stolpen som alle har en vinkel, en radius og en lengde.





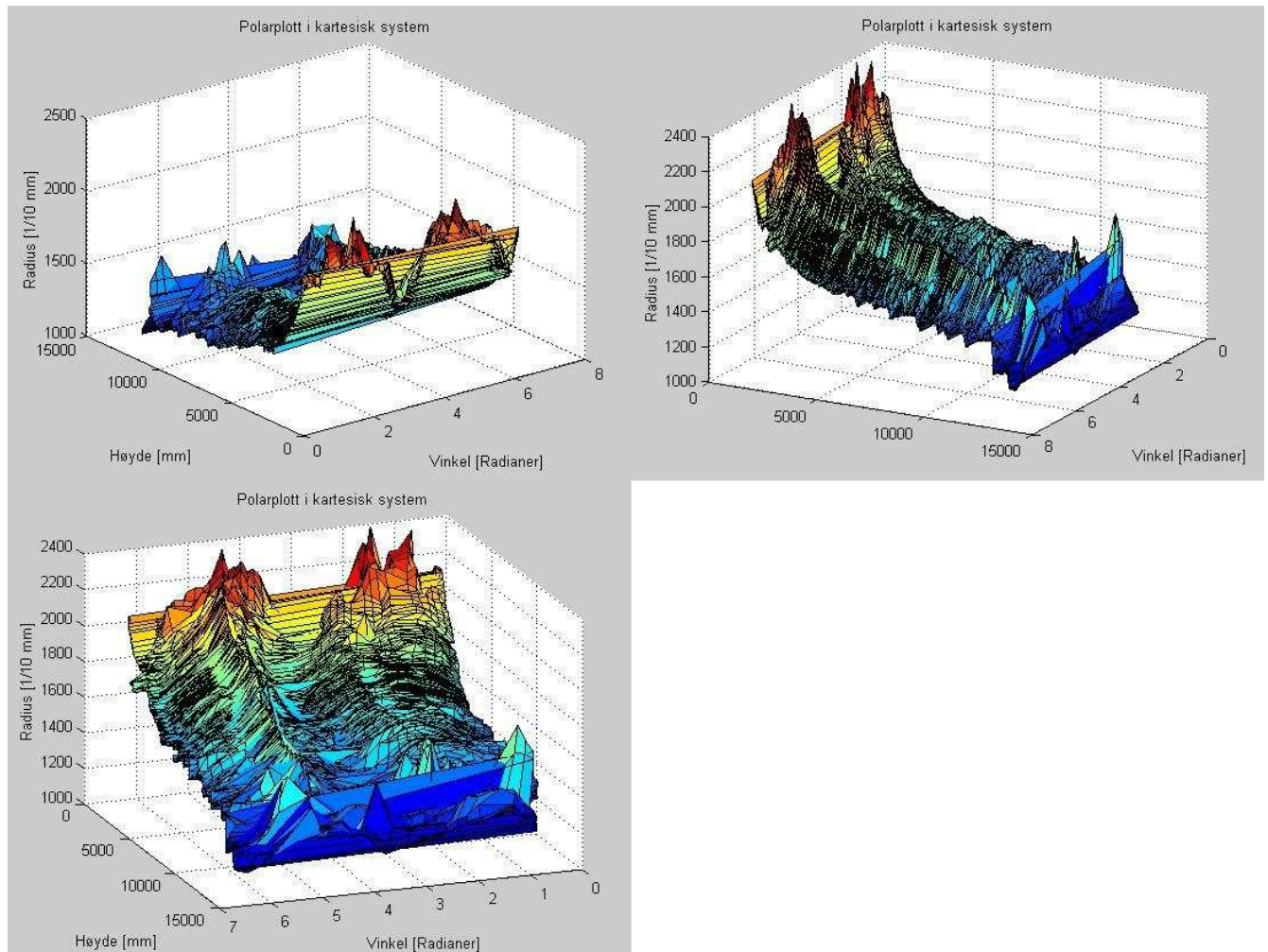
Figur 30: Stammen noe skalert om.

I figur 30 er radien forstørret noe i forhold til lengden. Det ble gjort ganske enkelt ved å sette grensene på aksene med radius til å være mindre. Her kommer ujevnheter noe tydeligere fram. For eksempel kan vi ane en bul ut nær toppen på de to øverste plottene, akkurat hva dette er er ikke sikkert, men det kan tenkes at det er en barkslintre eller en kvistbul. Vi ser også på det nederste plottet at stolpen får en plutselig innsnevring i toppen, ved samme sted som bulen på de øverste. Dette tyder på at vi kan ha med en kvistkrans å gjøre.



Figur 31: Autoskalert overflate.

Dette (figur 31) er den versjonen som blir plottet automatisk (øverst til høyre). Vi får da en bedre utnyttelse av hele plottområdet og ujevnheter i radier kan sees. Fortsatt er det ikke lett å plukke ut noe spesielt dersom det ikke er noe stort. Dette ettersom vi fortsatt har krympet alt (også ujevnheter) veldig. Vi kan ane en noe ujevn avsmalning mot toppen på plottet øverst til venstre. Vi ser også det vi oppdaget ved plottene av tverrsnitt dersom vi ser nøye etter i rota, nemlig at vi har en del rette overflater som indikerer at det er en del områder som ikke har noe målepunkt, men her er det mindre nøye ettersom vi har nye tverrsnitt like ovenfor som gjør at det ser ut som om stokken er rund. Ser vi på plottet nederst til høyre, som er stokken sett fra toppen mot rota, ser vi at akkurat denne stokken er ganske oval, med tendenser til eggform, da vi til høyre har noe større åpning enn til venstre.



Figur 32: Polare koordinater plottet i kartesisk system.

I figur 32 har vi de polare koordinatene plottet rett inn i et kartesisk system med vinkelen til punktene langs en akse, radien langs en annen og høyden langs den tredje. Dermed kommer radien fram som høyden over vinkelaksen og et ser ut som om stolpen er brettet ut. Dersom stolpen hadde vært sirkulær ville dette framgått som en helt rett linje. Men som vi kan se så er det to områder som går langs høydeaksen hvor vi har en forhøyning. Her kommer eggformen også klarere fra ved at vi ser at forhøyningen nærmest 0 grader er en del bredere og ikke så høy som den andre. Vi ser også at forhøyningene dreier litt mot høyere vinkel ned mot rota, dette tilsier at ovaliteten dreier oppover i stammen.

Her kommer også områdene hvor vi har få målepunkter tydeligere fram ved helt rette streker. Tydeligst er da helt i rotenden og helt i toppen tilsammen der tre-fire høyder hvor vi har store glipper i målepunktene. Ser en nøye etter kan en ane en tre fire mindre områder nærmere midten i tillegg.

### 3.8 Stokkers posisjonering på kjerrat

Det viser seg at 11 av fjorten stokker la seg med bredsidan (målt helt i tykkeste enden da det er her det vil ha størst utslag grunnet vekt og overflate) samme vei ved førstegangs måling. Ved andregangs måling var det bare 9 av de samme fjorten, og 34 av alle de 55 som er blitt brukt i oppgaven. Det vil da si at vi gjennomgående har noen fler som legger seg med største diameter vannrett. Det viste seg videre at to av de tre med bredsidan andre veien fra førstegangs måling la seg likt ved andregangs måling. Dette kan tyde på at disse to hadde en side som var mer stabil enn med diameteren vannrett, om dette er grunnet krok eller at stokken kanskje er flatere på en side er usikkert. Vi har alt for lite datamateriale til å si noe spesielt om dette.

En generell test som kan gi en pekepinn på om stokkene har en tendens til å legge seg med bredsidan ned, vil være og teste om korrelasjonen mellom første og annen gangs måling er bedre for maks verdiene enn for gjennomsnittsverdiene for diameter. Dersom maksverdiene gir best eller lik korrelasjon kan vi si ganske sikkert at stokkene la seg ganske nøyaktig likt gjennom kjerraten. Om maksverdiene gir dårligere korrelasjon kan vi ikke utelukke at stokkene har lagt seg samme vei, men det er mindre sannsynlig.

| Rfid           | Gjennomsnitt | Maks        | Differanse |
|----------------|--------------|-------------|------------|
|                | Korrelasjon  | Korrelasjon |            |
| 01 04 1B 71 B7 | 0,98705      | 0,97013     | 0,01692    |
| 01 04 1B 72 2C | 0,98932      | 0,96640     | 0,02292    |
| 01 04 1B 80 94 | 0,98924      | 0,97652     | 0,01272    |
| 01 04 1B DA F3 | 0,99632      | 0,98903     | 0,00728    |
| 01 04 1B DF BA | 0,99068      | 0,98177     | 0,00891    |
| 01 04 1B DF EB | 0,99607      | 0,99391     | 0,00216    |
| 01 04 1B E8 80 | 0,99165      | 0,98722     | 0,00443    |
| 01 04 1B EA B5 | 0,99303      | 0,98603     | 0,00700    |
| 01 04 1C AF CB | 0,99064      | 0,94165     | 0,04898    |
| 01 04 1C B2 E6 | 0,99694      | 0,99271     | 0,00423    |
| 01 04 1C CD BD | 0,99468      | 0,98763     | 0,00704    |
| 01 04 1C CF 13 | 0,99224      | 0,98414     | 0,00810    |
| 01 04 1D 01 DB | 0,99730      | 0,99110     | 0,00620    |
| 01 04 1D 08 93 | 0,99125      | 0,98910     | 0,00215    |

Tabell 8: Sammenlikning mellom korrelasjon, mellom første og annen gangs måling, på gjennomsnitts og maks diameter.

Vi ser av tabell 8 at maksverdiene har gjennomgående dårligere korrelasjon mellom målingene enn det gjennomsnittsverdiene har, dette tyder på at det er ganske tilfeldig hvilken vei stokkene legger seg på kjerraten.



## 4 Konklusjon

Selve forsøkene med Rfid utstyr viser at dette er en god mulighet for sporing av stolper. Ingen av brikkene falt av, mens back-up merkingen gjorde det i flere tilfeller. Selv om stolpene vi brukte ikke var gjennom hverken impregnerings- eller tørkeprosessen, fikk vi demonstrert at det fantes typer som lett gikk gjennom impregneringen før forsøkene våre startet. Det er stolper som ligger ute med Rfid-brikker nå som en del av tørkeprosjektet til Peder Gjerdrum, så vi får testet hvordan disse holder ut denne prosessen, og det burde ikke være noe problem. Det er enda ikke blitt testet med noen brikker gjennom alle trinnene i produksjonen, dette bør være det neste som blir gjort i Rfid prosjektet. Det vil da benyttes en annen type brikke enn det vi har brukt, men prinsippene vil være de samme. Ett problem for å bruke sporing ved hjelp av Rfid i produksjonen slik vi gjorde det i forsøkene er selve avlesningen med en håndholdt enhet. Men som jeg fikk se på den tidligere nevnte demonstrasjonen vil det da brukes mye sterkere antenner festet i en ramme rundt kjerraten som kan lese av på lengre avstand og som da kobler alle relevante data direkte til stolpene i en database. Det vil fortsatt være en bruk for et håndholdt enhet, dersom en kontrollerer noe på tømmertomta. Alt i alt er et Rfid system for sporing av stolper godt gjennomførbart. Foreløpig vil det antageligvis være for store kostnader koblet til uttesting av utstyr til at det vil lønnsomt for en bedrift som Scanpole til å gjennomføre alene, men ettersom det er koblet til et større forskningsprosjekt vil det absolutt være mulig å starte. I tillegg vil kostnadene synke etterhvert som bruken øker, (blant annet billigere brikker).

Vi ser tydelig at flere målinger av samme stolper på samme måte ikke gir identiske resultater. Dette skyldes både at alle målepunkter kan være forskjøvet i lengderetning fra gang til gang (at første, andre osv målepunkt ligger i forskjellig høyde i treet), og at de kan være rotert annerledes gjennom måleramma. Likevel får vi nesten identisk avsmalning langs stolpene, dette tyder på at avsmalningen er tilnærmet lik uansett rotasjonsretning. Vi ser også tydelig det at stolpene har kraftigere avsmalning i rot og topp enn midt på treet. Dette er i samsvar med teorien.

Likevel ser vi også at en ren lineær tilnærming til avsmalning av stolpene gir veldig gode resultater, men ikke like bra som om en bruker noe mer avanserte formelverk. Dermed vil en lineær tilnærming være bra nok til de fleste formål når det gjelder å beskrive avsmalningen til stolper. Det er også viktig å merke seg at jeg i beregningene mine måtte binde det avanserte formelverket til måleverdiene både i rota og toppen av stolpene ettersom jeg ikke hadde trehøyden.

I en sammenlikning mellom målingene ved Moelven Våler og Scanpole Norge AS ser vi at målingene i skyggeramma blir liggende mellom maks- og minimumsdiameteren til stolpene. Dette samt resultatene i kapittel 3.8 sier oss at det ikke er sannsynlig at stolpene legger seg med bredsiden ned på kjerrat. Det kan være at det er større sannsynlighet for at dette skal skje, men det trengs en grundigere analyse for å bestemme sannsynligheten for dette.

Vi kan tydelig se at vi har liten avsmalning på stolpene både ved undersøkelse ved lineær avsmalning og ved større funksjonssett. Vi har også bra sammenheng mellom målingene foretatt ved Scanpole og de ved Moelven Våler, selv om vi i fire femtedeler av tilfellene

har kraftigere avsmalning i målingene fra Scanpole. Hvorfor dette skjer er vanskelig å si, men ettersom målingene ved Moelven Våler har mange flere målepunkter og også bedre korrelasjon med funksjonssettene vil nok tallene for avsmalning være bedre der.

En ting som er vanskelig å forklare godt er den bulen vi fikk i de fleste plottene av måleverdier mot funksjonsverdier (jevnfør figur 19, side 29) for de større diameterne. Funksjonen som blir brukt til å beregne diameter er en som tar hensyn til at stolper har kraftigere avsmalning i rota enn midten av treet og det kan være at disse stolpene er kuttet av over dette området. En annen mulighet er at det er en feil i min implementering av formelverket selv om jeg har sett over flere ganger, da det er lett å bli blind for feil en har gjort selv. Mindre sannsynlig er det at stolpene har en annen form enn de trærne som ble brukt til å lage avsmalningsfunksjonen.

Vi kan merke oss stolpe 01 04 1B 76 7A som tydeligvis fikk noen feil i måledataene (blant annet figur 7, side 30). Hvorfor denne feilen oppsto er usikkert, men sannsynligvis har det noe med omkompileringen av måledataene fra måleramma til datamaskinen.

Jevnt over gir en 3-D ramme en bedre beskrivelse av stolpene (spesielt ettersom vi her snakker om ferdigbarket tømmer som har en glatt overflate), dette skyldes at den gir mange flere målepunkter både i lengderetning og i tversnittet. Det bør kommenteres igjen at innstillingene ved Moelven Våler var slik at vi fikk en ganske dårlig utnyttelse av 3-D ramma, ved at vi stort sett fikk mellom halvparten og to tredjedeler av det potensielle målepunkt antallet. Jeg vil tro at de vil ha bedre nytte av måleramma om dette ble stilt om litt. Det kan hende den er innstilt på denne måten av spesielle grunner, som for eksempel at de ikke trenger/vil ha flere målepunkter eller at de stort sett kjører såpass store stokker at dette ikke utgjør noe problem. Dessuten blir dette problemet noe fjernet ved at målepunktene ligger såpass nært hverandre i lengderetning at når en setter flere snitt sammen får en ganske bra beskrivelse av tverrsnittet.

Vi fikk i hvertfall sett at tverrsnittene varierer fra tilnærmet sirkulære snitt, til ovale og eggformede.

Det er tydelig at det er vanskelig å si noe spesielt om stolpene når en plottet hele i et plott. Men vi får et bedre bilde på hvordan stolpene ser ut en ved å bare se på avsmalning eller tverrsnitt. Avsmalningsundersøkelse gir bare resultater i en retning, mens det ikke er godt å få en innstinktiv idé om hvor i stolpen et tverrsnitt ligger. Det plottet det er lettest å si noe utfra er der hvor de polare koordinatene er plottet i et kartesisk system (figur 32, side 43). Da ser en tydelig hvordan tverrsnittene oppfører seg oppover i stolpen, ved at et sirkulært snitt ville vært en rett strek, et ovalt snitt ville ha to like topper, mens ett eggformet ett har to ulike topper.

Alt i alt er det ikke noe i veien for at det kan lagres data for hele stolper målt gjennom en 3-D ramme, og disse dermed kan finnes igjen dersom en lurte på noe spesielt om en stolpe identifisert gjennom en Rfid kode. En omgjøring slik at dette går an ved Scanpole vil, hvis vi ser bort fra kostnadene med Rfid-systemet, innebære anskaffelse av en 3-D måleramma (som ikke er uoverkommelig), og anskaffelse av et system hvor alle data fra måleramma blir laget i et brukbart format med Rfid koden som identifikator. I tillegg må et system ordnes slik at kunden får dataene med stolpene ved kjøp, om det er best da og bruke en slags intranettløsning eller om dataene sendes direkte til kunde er et spørsmål

om hva som er mest praktisk og økonomisk.

Spørsmålet er om det vil være noe ønske om dette. Jeg kan tenke meg at en kunde egentlig er mer interessert i diameter- og høydeklasse for en gitt stolpe enn en detaljert figur eller tabell som beskriver overflaten til stolpen. Det kan være et ønske hos kunden om å vite noe om avsmalningen, men da kan det være like greit å sende med en enkel lineær avsmalning i diameter per lengde enhet. Det er også mulig å få sendt en beskrivelse gjennom Strands formel (tabell 3, side 14), ved å sende trehøyde og brysthøydediameter, men dette er avhengig av at kunden har og forstår dette formelsettet. En annen løsning er å sende med rot- og toppdiameter da dette beskriver avsmalningen ganske bra. En får mindre fram en smalere eller bredere del utenom topp og rot, enn ved å sende ved den lineære avsmalningskonstanten som er utregnet fra hele datasettet. Men dette vil ikke være noen stor faktor, da stolpene våre (som var et representativt utvalg av produksjonen ved Scanpole) ikke hadde noe slikt i merkbar grad.

## Figurer

|    |                                                                                              |    |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Prinsippskisse skyggeramme . . . . .                                                         | 4  |
| 2  | 3D målerammens enheter . . . . .                                                             | 5  |
| 3  | Montering av Rfid brikke og back-up . . . . .                                                | 7  |
| 4  | Skjerm bilde for registrering av id hos Scanpole . . . . .                                   | 9  |
| 5  | Måleramme ved Scanpole . . . . .                                                             | 9  |
| 6  | Oppsett ved Moelven Våler . . . . .                                                          | 10 |
| 7  | 2-D og 3-D måleramme ved Moelven Våler . . . . .                                             | 11 |
| 8  | To sider av to typer Rfid brikker . . . . .                                                  | 12 |
| 9  | Pda'en med antenne brukt til avlesning av Rfid . . . . .                                     | 12 |
| 10 | Avlesning i praksis . . . . .                                                                | 13 |
| 11 | Skjerm bilde ved innmåling Scanpole . . . . .                                                | 17 |
| 12 | Stokken med best sammenheng mellom målingene ved Scanpole. . . . .                           | 19 |
| 13 | Stokken med dårligst sammenheng mellom målingene ved Scanpole. . . . .                       | 20 |
| 14 | Skjerm bilde ved terminalen hos Moelven Våler . . . . .                                      | 21 |
| 15 | Stammeprofil med to avlesninger av diameter fra både Scanpole og Moelven Våler . . . . .     | 22 |
| 16 | Best korrelasjon mellom måling og funksjon ved Moelven Våler. . . . .                        | 26 |
| 17 | Dårligst korrelasjon mellom måling og funksjon ved Moelven Våler. . . . .                    | 27 |
| 18 | Spesiell diameterfordeling ved Moelven Våler. . . . .                                        | 28 |
| 19 | Spesiell diameterfordeling ved Moelven Våler 2. . . . .                                      | 29 |
| 20 | Best korrelasjon mellom måling og funksjon ved Scanpole. . . . .                             | 31 |
| 21 | Dårligst korrelasjon mellom måling og funksjon ved Våler. . . . .                            | 32 |
| 22 | Mer typisk dårlig korrelasjon . . . . .                                                      | 33 |
| 23 | Avsmalningsforskjell langs stammen. . . . .                                                  | 34 |
| 24 | Tverrsnitt med flest målepunkter og forskjellig differanse mellom maks og min radie. . . . . | 35 |
| 25 | Tverrsnittet med færrest målepunkter. . . . .                                                | 36 |
| 26 | Snitt med maks og min standardavvik i radie. . . . .                                         | 37 |
| 27 | Snitt med maks og min differanse mellom radier. . . . .                                      | 38 |
| 28 | Utjevning av tverrsnitt ved flere plott. . . . .                                             | 39 |
| 29 | Stammens utseende. . . . .                                                                   | 40 |
| 30 | Stammen noe skalert om. . . . .                                                              | 41 |
| 31 | Autoskalert overflate. . . . .                                                               | 42 |
| 32 | Polare koordinater plottet i kartesisk system. . . . .                                       | 43 |

## Tabeller

|   |                                                                                              |    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Eksempel på energidensitet fra forskjellige måter å samle energi på . . . . .                | 2  |
| 2 | Oversikt over stokknummer og Rfid . . . . .                                                  | 8  |
| 3 | Funksjon og regresjonskoeffisienter for diameteren (i mm) ved ulike relative høyder. . . . . | 14 |
| 4 | Korrelasjon mellom målingene ved scanpole . . . . .                                          | 18 |
| 5 | Analyse av lineær avsmalning . . . . .                                                       | 23 |
| 6 | Korrelasjon mellom funksjonsverdier og måleverdier ved Moelven Våler . . . . .               | 25 |
| 7 | Korrelasjon mellom funksjonsverdier og måleverdier ved Scanpole . . . . .                    | 30 |



|   |                                                                                                                      |    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8 | Sammenlikning mellom korrelasjon, mellom første og annen gangs måling,<br>på gjennomsnitts og maks diametre. . . . . | 44 |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## Referanser

- [And97] Carola Andersson. Pls-modeller for sortering av friskkvisttimmer. 1997.
- [BHC05] Naveen Verma Daniel F. Finchelstein David D. Wentzloff Alice Wang Seong-Hwan Cho Anantha P. Chandrakasan Benton H. Calhoun, Denis C. Daly. Design considerations for ultra-low energy wireless microsensor nodes. *ieee transactions on computers*, vol. 54, no. 6, pages 727 - 740. 2005.
- [DH00] N.J. Higham D.J. Higham. Matlab guide. 2000.
- [Fit89] Andreas Fitje. Tremåling. 1989.
- [Gjø78] Rolf Gjølberg. Et edb-program for analyse av verdiutviklingen for enkelttrær ved råteangrep. 1978.
- [Hoe79] Per Hoen. Virkesmåling. 1979.
- [KK08] G. Chatzilazarou K. Kitikidou. Estimating the sample size for fitting taper equations. *Journal of forest science* 54, 2008.
- [Lun99] Chistina Lundgren. Predicting log type and knot size category using external log shape data from a 3d log scanner. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1999.
- [MN95] et.al Mats Nylinder. Utsortering av friskkvistvirke, tall. *Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet. Rapport nr. 245*, 1995.
- [Oks83] Torbjørn Okstad. Måling av diameter på skurtømmer. *Rapport 6/83 fra Norsk institutt for skogforskning*, 1983.
- [SS98a] O. A. Høibø S. Skatter. Cross-sectional shape models of scots pine (*pinus silvestris*) and norway spruce (*picea abies*). 1998.
- [SS98b] P. Gjerdrum S. Skatter, O. A. Høibø. Simulated yield in a sawmill using different measurement technologies. 1998.
- [Str67] Lars Strand. Avsmalingstabeller for furu sønnafjells. *Meddelelser fra det norske skogforsøksvesen nr. 84*, 1967.
- [TG99] Birger Eikenes Terje Gobakken. Sluttrapport fra prosjektet optimal aptering og sjourføring av dataprogram. 1999.
- [Tim85] T. E. Timell. Compression wood in gymnosperms. 1985.
- [Vad06] Kjell Vadla. Virkesegenskaper hos gran og furu fra forskjellige lokaliteter i sør-norge. 2006.