



Utvärdering av displacementmetod med vatten för bestämning av träets torrdensitet.

**Staffan Carlsson
Stephan Eskilander
Dick Sandberg**

Stockholm
1996

Teknisk rapport
Inst. för Produktionssystem
avd. Träteknologi
Kungl Tekniska Högskolan
100 44 Stockholm



Förord

Vid institutionen för Produktionssystem, avdelning Träteknologi (KTH-Trä) har vi ansvar för studieinriktningen Träteknologi inom fakulteten MMT. Därutöver bedrivs här FoU-verksamhet som är starkt sammanlänkad med utbildningen.

Hela verksamheten, såväl utbildning som forskning, har som utgångspunkt att vi vill öka förståelsen för sambanden mellan trämaterialiet, marknaden och de industriella processerna. Under senare år har vi skapat och senare utvecklat profilen för en sammanhållen verksamhet som ligger inom denna grundsyn och som samtidigt lämpar sig för en god integration mellan utbildning och forskning. Ledordet för vår inriktning är *Värdeaktivering*. Vi vill aktivera värden som finns hos trä, men som i dagens industriella system inte tas till vara.

Inom programmet "Värdeaktivering" testas vi således förutsättningarna för och möjligheterna att utveckla och tillverka träprodukter med bättre formstabilitet, högre hårdhet och attraktivare utseende än dagens träprodukter. Många av projekten är vetenskapliga fördjupningar, som skall ge underlag för tillämpningar. Mekanosorptionens effekter är ett av dessa projekt. Det finansieras via ett stipendium från Stiftelsen Nils & Dorthi Troëdssons Forskningsfond.

Vårt FoU-program kan bedrivas till stor del tack vare ekonomiskt stöd från sågverksindustrin via Träteks ramprogram och från NUTEK. Andra delar av programmet finansieras av medel från följande organ med koppling till Sveriges nordligaste län: Arjeploggruppen, 3-länsdelegationen, Länsstyrelsen i BD-län, utvecklingsfonden i BD-län samt Norrbottens Forskningsråd.

Jag vill rikta ett tack till alla våra finansiärer. Jag är övertygad om att alla skall bli förvissade om att man här satsat på ett FoU-program som dels ökar vårt baskunnande, dels ger utvecklade tillämpningar för industriellt utnyttjande.

Stockholm i juli 1996

Martin Wiklund

KTH-Trä

Evaluation of the displacement method with water for determination of dry wood density.

by

Staffan Carlsson
Stephan Eskilander
Dick Sandberg

Abstract

A new method (SP-method) for determination of wood density at 12 % moisture content has been developed at the Swedish National testing and Research Institute (SP). The method is a further development of the displacement method with water as. The volume of the specimens is determined with use of Archimeds principle. The specimen is immersed in water and a computer program compensate for errors in the measurement as a result of wateruptake in the specimen.

This investigation describes the correlation between the dry density of wood, determined by the SP-method and a "traditional" method. Traditional method means that the dimensions of the specimen are measured with a slide-calliper in order to calculate the volume of the specimen. The test materials were taken from Scots pine and Norway spruce with dimension 40 x 60 x 120 mm.

The results show a difference less than 3 % between dry density determined by the two methods. The correlation coefficient (R^2) was 0.99 when linear regression was used. Repetition test showed mean deviation of 0.2 % when dry density for same specimens were determined two times with the SP-method.

Keyword

Wood
Density
Scots pine
Norway spruce

Sammanfattning

Sveriges Forsknings- och Provningsinstitut (SP) har utarbetat en metod (SP-metoden) för bestämning av träets densitet vid 12 % fuktkvot. Metoden är en vidareutveckling av displacementmetoden med vatten som mätmedium. Ett datorprogram kompenserar för den vatteninträngning som sker i provkroppen då den vid volymbestämningen nedsänks i ett vattenbad.

Syftet med den nu genomförda undersökningen är att bestämma korrelationen mellan densitetsvärden för torrt trä, framtagna med SP-metoden respektive med en traditionell metod. Vid den traditionella metoden har provkropparnas volym bestämts genom dimensionsmätning med skjutmått. Provmaterialet har utgjorts av rektangulära klossar av furu och gran med dimensionen 40 x 60 x 120 mm.

Resultaten visar att avvikelsen mellan densitetsvärden framtagna med SP-metoden och med den traditionella metoden är mindre än 3 %. Linjär regression gav en korrelationskoefficient (R^2) för densiteten bestämd med de två metoderna på 0,995. Repetitionstest med SP-metoden gav god noggrannhet. Avvikelsen mellan två mätserier var i medeltal 0,2 %.

Innehåll

1 Bakgrund	1
1.1 Densitetsbegreppet	1
1.2 Undersökningens syfte	1
1.3 Litteraturstudie	2
2 SP-metoden	4
2.1 Framtagning av SP-metoden	4
2.2 Hantering av programvaran	6
2.3 Fallgropar vid handhavandet av utrustningen	6
3 Material och metod	6
4 Resultat och diskussion.....	8
5 Slutsatser	9

1 Bakgrund

1.1 Densitetsbegreppet

Ett flertal fysikaliska egenskaper hos trä har visat sig vara beroende av densiteten t.ex. hårdhet, förslitningsmotstånd, värmeledning, värmevärde, krympning och svällning. Ett träslags hållfasthet är i stort sett proportionell mot dess densitet. Det finns därför behov av att finna enkla och noggranna metoder för bestämning av densiteten hos trä.

Densitetsmättet anges som kvoten mellan vikt och volym (1) och är således ett mått på ett materials "täthet".

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

ρ - densitet, Kg/ m³

m- massa, Kg

V- volym, m³

Trä är ett poröst material och densiteten för ett sådant material kan anges på två sätt: *Skrymdensitet* som är kvoten mellan träets massa och dess skrymvolym, dvs den volym som cellväggsmaterialet och cellhålrummen tillsammans utgör. *Kompaktdensitet* som är kvoten mellan träets massa och kompaktvolymer (volym exklusive håligheter). I fortsättningen avses skrymdensiteten då det talas om densitet.

Densiteten hos trä varierar med dess fuktkvot. Följande storheter används för att ange densiteten hos trä (Esping 1977):

$\rho_{00} = \rho_0$ = massan av torrt trä / volymen torrt trä

ρ_{0u} = massan av torrt trä / volymen trä vid fuktkvoten u

ρ_{uu} = massan av trä vid fuktkvoten u / volymen trä vid fuktkvoten u

$\rho_{0r\ddot{a}}$ = massan av torrt trä / volymen rått trä

$\rho_{r\ddot{a}r\ddot{a}} = \rho_{r\ddot{a}}$ = massan rått trä / volymen rått trä

1.2 Undersökningens syfte

Sveriges Forsknings- och Provningsinstitut (SP) har utarbetat en metod för densitetsbestämning av trä vid fuktkvoten 12 %. Syftet med den nu genomförda undersökningen är att bestämma korrelationen mellan densitetsvärden framtagna med SP-metoden och med en metod, där provkroppens volym bestäms med hjälp av skjutmått. Densiteten skall därvid bestämmas vid 0 % fuktkvot. Undersökningen begränsas till provkroppar med dimensionen 40 x 120 x 60 mm.

1.3 Litteraturstudie

Den litteraturstudie som utförts i samband med denna undersökning har haft två syften:

- Att redovisa några olika metoder som kan användas för densitetsbestämning av trä och vilken noggrannhet dessa metoder kan ge.
- Att studera standardiserade metoder för densitetsbestämning av trä, och vilka krav på noggrannhet som gäller för dessa.

1.3.1 Olika metoder för densitetsbestämning av trä

Under det senaste seklet har ett antal olika metoder för densitetsbestämning presenterats. Dessa metoder har alla sina fördelar och svagheter. På grund av att trä är en anisotrop och hygroskopisk cellulärt material blir själva mätning-förfarandet vid densitetsbestämningen ofta komplicerat, om hög noggrannhet önskas. Detta leder till att förenklingar måste göras i de modeller av trä-materialet som man baserar sina densitetsberäkningar på.

Arkimedes princip med lämplig vätska, Deplacementmetoden

Volymbestämning genom nedsänkning av provbiten i någon lämplig vätska ger god noggrannhet och underlättar volymbestämning av oregelbundet formade provbitar. Vanligt är att kvicksilver används vid volymbestämningen. Provbiten nedsänks i kvicksilver och det undanträngda kvicksilvrets massa registreras på en våg. Kviksilvrets höga ytspänning gör att det inte nämnvärt tränger in i träet och förorsakar mätfel. Med hjälp av kvicksilver kan densiteten bestämmas med en noggrannhet på $\pm 0,1 \text{ kg/m}^3$ (Saarman 1992). Nackdelen med kvicksilvret är dess giftighet vilket innebär kemiska hälsorisker vid upprepade hanteringar, samt att kvicksilvret har så pass hög ytspänning att det eventuellt inte tränger in i håligheter i träytan. Oftast anges densiteten som ρ_{0u} . Då rådensiteten, ρ_{ra} , bestäms används istället vatten som mätmedium.

Bestrykning

Provbitens yta bestryks med ett tunt lager av paraffin eller silikon innan volymen bestäms genom nedsänkning i någon vätska enligt den ovan nämnda metoden. På detta sätt förhindras vätskeinträngning i provbiten. Bitarna måste vägas en extra gång för att bestämma den mängd paraffin eller silikon som upp-tagits av provbiten. Användning av paraffin innebär att bitarna måste doppas i smält paraffin och sedan svalna för att paraffinet skall stelna. Silikon appliceras vanligtvis i sprayform. Den litteratur som genomsökts anger ingen noggrannhet hos själva metoden (ASTM 1993).

Skjutmåttsmetod

Volymbestämningen sker med hjälp av skjutmått eller motsvarande vilket innebär att de prover för vilka densiteten skall bestämmas måste ha regelbundna geometriska former. Noggrannheten i metoden bestäms av precisionen vid tillverkningen av provkropparna samt hur dimensionsbestämningen av provkropparna utförs.

Datortomografi

Genom att sända röntgenstrålar genom provbiten och sedan registrera hur mycket av röntgenstrålningen som absorberas i materialet, kan dess densitet bestämmas. Lindgren (1988) anger noggrannheten till $\pm 4,0 \text{ Kg/m}^3$. För att fastställa densiteten i en provbit krävs att två separata mätningar görs varvid fuktkvoten måste anses vara jämt fördelad och känd vid en av dessa mätningar. Det är svårt att exakt identifiera den volym i provbiten där densitetsbestämningen görs. Vidare är sambandet mellan densitet och röntgenabsorption specifikt för varje tomograf vilket medför att omfattande kalibrering av utrustningen måste genomföras.

Mikroskopisk prickräkning – Dot counting

I ett mikroskop studeras tvärsnitt av provbiten och med hjälp av skallinjer eller dylikt uppskattas andelen cellvägg i provet. Cellväggens densitet sätts till 1500 kg/m^3 och träprovets densitet bestäms med hjälp av sambandet (2). Den rapport som studerats jämför kvicksilvermetoden med prickräkning (Kifetew, Sandberg 1996). Någon noggrannhet hos prickräkningsmetoden anges inte, men författarna konstaterar att metoden är tidskrävande och att såväl noggrannheten som repeterbarheten är dålig.

$$\rho_{\text{prov}} = 1500 \cdot \psi$$

$$\begin{array}{ll} \rho_{\text{prov}} & - \text{ provkroppens densitet, Kg / m}^3 \\ \psi & - \text{ andelen cellväggsmaterial} \end{array} \quad (2)$$

1.3.2 Standardiserade mätmetoder

ASTM (1993) – The American Society for Testing and Materials

Designation D 2395 - 83: Här ges en bred bakgrund om hur densiteten för trä bestäms. Totalt sju olika metoder att bestämma densiteten hos trä eller träbase-erade material anges, bland dessa deplacementmetoden med kvicksilver eller vatten och skjutmåttsmetoden. Detaljerade anvisningar ges om utrustning och provkropparnas utformning.

En mängd referensstandarder finns för de olika mätmetoderna. För mätning av volymen hos provbitar med oregelbundna former ges anvisningen att använda paraffinbestrukna provbitar vid vattendränkning eller att använda kvicksilver. Normen anger generellt vilken noggrannhet som krävs i viktbestämning ($\pm 0,2 \%$) och i volymbestämning ($\pm 0,3 \%$).

SIS- Standardiseringskommissionen i Sverige

I svensk standard har inga särskilda bestämmelser rörande densitetsbestämning av trä påträffats.

DIN (1991) – Deutsches Institut für Normung e.V.

(DIN 52 180 - 52 184). Denna standard avser främst bestämning av densitet i normalklimat. Med normalklimat menas att provbitarna klimatiserats enligt en viss standard, (DIN 50 014).

I standarden anges normer för hur provbitarna skall vara beskaffade, hur fuktkvot och densitet beräknas samt allmänna anvisningar för hur massa och volym skall anges i förhållande till aktuell fuktkvot. Noggrannhetskravet för viktbestämning anges till 0,1 %. Volymbestämning med skjutmått eller motsvarande skall göras med $\pm 0,5$ % noggrannhet. Vid deplacementmetoden krävs dock endast en noggrannhet på $\pm 1,0$ %. Noggrannhetskravet enligt normen är $\pm 0,1$ kg/m³ för normalklimatiserade provbitar.

Slutligen redovisas ett diagram med anvisningar för omräkning av densiteten mellan olika fuktkvoter (Kollmann 1960).

2 SP-metoden

Den metod som utvärderas i denna rapport har utvecklats av Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, SP. Metoden är en utveckling av deplacementmetoden med vatten som mätmedium. Förändringen består i att korrektion görs av mätdata med hjälp av ett dataprogram för att kompensera för den vatteninträning som sker i provkroppen vid volymbestämningen.

2.1 Framtagning av SP-metoden

Metoden fungerar så att man först väger provkroppen på en våg kopplad till en dator, varefter man mäter provbitens volym. Volymen mäts genom att provbiten sänks ned i ett vattenbad och den undanträngda volymens massa bestäms. För att registrera vad som sker då en provbit av trä nedsänks i ett vattenbad, har SP använt en våg som kontinuerligt levererar mätvärden till datorn. Då provbiten nedsänkts i vattenbadet har två förlopp iakttagits.

A) Den fuktupptagning som sker i provbiten ger upphov till den avtagande viktcurvan. I början sker en stor fuktupptagning och den registrerade vikten faller snabbt, dvs den undanträngda vätskevolymen minskar. Efterhand minskar fukttransporten och viktminskningen avtar.

B) Överlagrat på fuktupptagningskurvan finns ett oscillerande insvängningsförlopp. Detta härrör från de vågor som uppstår i vattenbadet då provbiten förs ned. Kurvan klingar av inom några sekunder.

Figur 1 visar de två förloppen. Det är av stor vikt att vågen står på ett vibrationsfritt underlag och att provkroppen kan hållas ordentligt fixerad i vattenbadet. Om provkroppen rör sig kommer vågen att registrera dessa belastningsförändringar vilket innebär en felmätning.

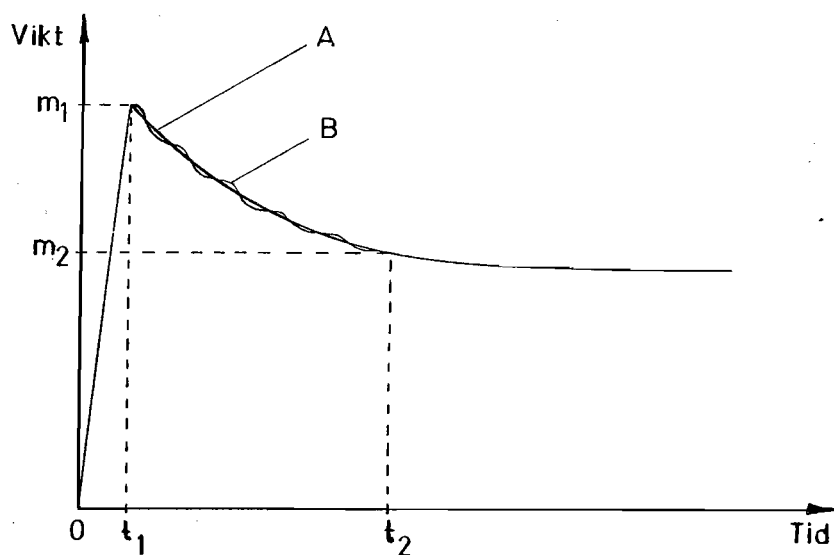
Vanligtvis har man inte någon höghastighetsvåg liknande den som SP använt och därmed ingen möjlighet att utföra denna analys av viktkurvorna. En konventionell våg registrerar mätvärdet då tillräcklig stabilitet råder.

Enligt Arkimedes princip ökar viktbelastningen på vågen då provbiten sänks ned i vattenbadet. Den viktkurva som höghastighetsvågen registrerar vid är avtagande eftersom vatten tränger in i provbiten. Det undanträngda vattnets volym minskar och vågen registrerar en lägre vikt än vad som skulle vara fallet om inget vatten tränger in i provkroppen.

I figur 1 kan man se att det tar en viss tid till dess stabilitet uppnås. Innan en konventionell våg registrerar mätvärdet (vid tiden t_2) har provbiten hunnit ta upp vatten vilket ger upphov till ett fel i densitetsbestämningen.

Med hjälp av de vikt-tid-kurvor som har registrerats med höghastighetsvågen har en kompensationsfaktor bestämts. Denna faktor kompenserar för den viktförändring som erhålls på en konventionell våg på grund av vatteninträngen i provkroppen. SP har bestämt denna faktor till 1,01 för den undanträngda volymens massa, det vill säga det värde som levereras av vågen ökas med 1 %. Kompensationsfaktorn är framtagen för provkroppar med tvärsnittsdimensioner i storleksordning med dimensionerna för konstruktionsvirke och 12 % fuktkvot.

Lämpliga användningsområden för denna metod är, enligt SP, densitetsbestämning av stora serier av provbitar ur konstruktionsvirke där en noggrannhet på $\pm 50 \text{ kg/m}^3$ är tillräcklig.



Figur 1.

Insoängningsförlopp och mätvärden registrerade av vågen.

$0 - t_1$: Provkroppen förs ned i vattenbadet.

t_2 : Tidpunkt då värdet för den undanträngda volymens massa avläses.

m_1 : "Verklig" undanträngd massa.

m_2 : Avläst undanträngd massa.

A: Avtagande viktkurva

B: Överlagrat insoängningsförlopp

2.2 Hantering av programvaran

Programmet är lättanvänt och bygger på ett Excel kalkylblad. Det operatören behöver göra är att skriva in provbitarnas identitet, samt att hålla rätt ruta i excelbladet aktivt vid två mätningar. Först bestäms provkroppens massa genom att vågen nollställs, provet läggs på och man väntar tills det att vågen stabiliserats innan mätvärdet kvitteras. En volymmätning genomförs så att vattenbehållaren ställs på vågen, provbiten sätts fast i en fixtur och operatören startar mätningen. Provkroppen sänks därefter ned i vattenbehållaren och hålls stilla tills programmet visar ett mätvärde.

2.3 Fallgropar vid handhavandet av utrustningen

För att undvika felaktigheter i mätningarna bör följande observeras:

- Kvitteringen av mätvärdet vid bestämningen av provkroppens massa måste ske när vågen har stabiliserat sig, eftersom programmet registrerar ett momentanvärde precis när kvitteringen utförs.
- Vid volymbestämningen kan operatören starta mätningen för sent, dvs då provkroppen redan har brutit vattenlinjen, samt att provbiten kanske inte helt täcks med vatten vid nedsänkningen.

Om operatören startar programmet för sent innebär det att viktskillnaden blir felaktig eftersom programmet då har en felaktig startpunkt för sin mätning och därmed får fel slutresultat, biten tros vara lättare. Om provkroppen inte är helt nedsänkt i vattnet, blir slutpunkten i mätningen felaktig, dvs provbiten anses av programmet vara lättare än vad den egentligen är.

- Ytterligare en felkälla är att bitarna kan sänkas ned olika djupt. Om detta inträffar fås mätfel från de fästordningar som håller i provbitarna då dessa sänks ned i vattnet.
- Vidare bör man nollställa vågen mellan varje försök och då med fixturen i sitt nedre läge, dvs med fixturen nedsänkt i vattnet i samma läge som vid mätningen. På så vis minimeras att fixturens volym påverkar mätningen.

I försöksuppställning fixeras provkroppen på fem nålar som delvis kommer att sänkas ned i vattenbadet. Det mätfel som då blir följden när provbitarna sänks ned i vattnet omfattar en liten del av dessa nålar, vilket kan anses försumbart. Den undanträngda volymens massa ökar endast med i storleksordningen 0,2 - 0,3 g i jämförelse med våra minsta provbitar som väger cirka 100 g.

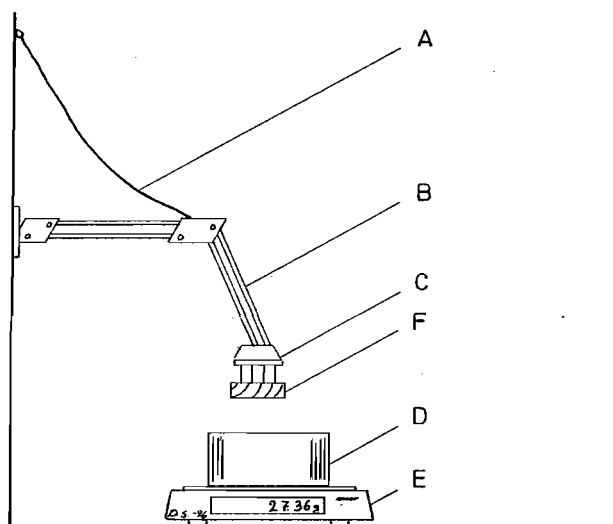
3. Material och metod

25 virkesstycken av furu och gran valdes slumpmässigt ut från ett större virkesparti. Kvistfria ämnen med längden 300 mm kapades ur det utvalda virket. Sammanlagt 49 provbitar togs fram. Bitarna rikt- och planhyvlades samt kapades med cirkelsåg till 60 mm längd. Därefter putsades ändträytorna på bandputs. Den slutliga dimensionen på provbitarna var 40 x 120 x 60 mm. Densiteten har bestämts för dessa prover dels med en traditionell metod, dels med SP-metoden. Proverna torkades i värmeskåp vid 103 °C till dess att viktminskningen på grund av avgivet vatten avstannat. Vikt och volym bestämdes för samtliga prover. Vid den traditionella metoden beräknades volymen utifrån provbitens dimensioner vilken bestämdes med hjälp av ett skjutmått med noggrannheten 0,01 mm. Proverna torkades åter till 0 % fuktkvot innan densiteten bestämdes med SP-metoden.

För att bestämma repetitionsnoggrannheten hos SP-metoden har densiteten för varje provbit mätts tre gånger (mätning 1-3) med mellanliggande nedtorkning i värmeskåp under 24 timmar vid 103 °C.

Försöksuppställningen visas i figur 2. Provkropparna fästes på 5 nålar som i sin tur är fastsatta på en i höjddled rörlig länkarm. Länkarmens rörelser begränsades med linor för att säkerställa att alla provbitar doppades lika djupt i vattenbadet. Som vattenbehållare användes ett plåtkärl med stabila väggar, vilket underlättade dämpningen av de vågor som uppkommer vid nedsänkningen av provkroppen.

En våg av märket METTLER med noggrannheten 0,1 g användes. Vågen var ansluten till en dator som registrerade mätvärdena från försöket.



Figur 2

Försöksuppställning vid densitetsbestämning med SP-metoden.

A - Lina för att begränsa länkarmens rörelse

B - Länkarm

C - Fixtur med 5 nålar för fixering av provkropp

D - Behållare med vatten

E - Våg

F - Provkropp

4 Resultat och diskussion

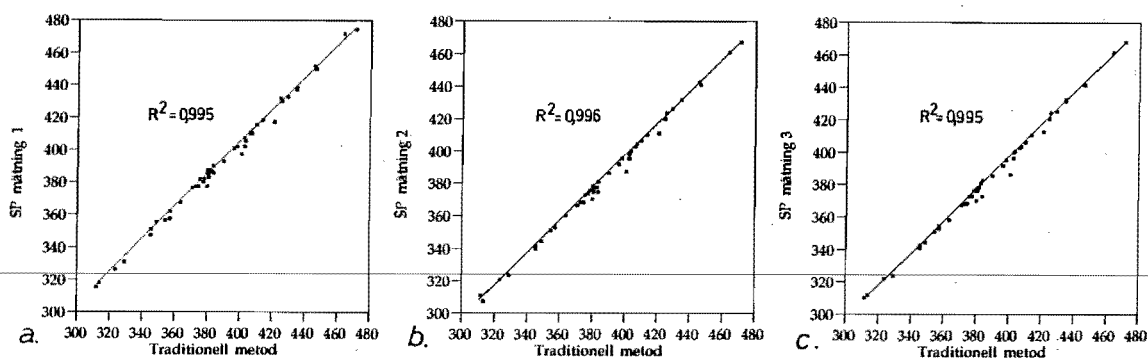
Figur 3 a-c visar resultaten från linjär regressionsanalys för densiteten bestämd med SP-metoden och den traditionella metoden. Korrelationen mellan densitetsvärden bestämda med de två metoderna är mycket god, ($R^2 = 0,995$). Statistisk analys kunde inte, 99 % signifikansnivå, påvisa skillnad i medelvärdet för densiteten bestämd dels med SP-metoden, dels med den traditionella metoden. I bilaga 1 redovisas samtliga densitetsvärden.

Medelvärden för den relativa avvikelser* mellan den traditionella metoden och SP-metoden visas i tabell 1. Tabell 1 visar att avvikelser mellan densitetsbestämningsmetoderna är mycket liten. Den största skillnaden är 3 %. Värdena för den relativa avvikelser i mätning 1 avviker från värdena i mätning 2 och 3. Denna skillnad är signifikant på 99 % nivån enligt Wilcoxon/Kruskal-Wallis test (Montgomery 1991). Vid efterforskning visade det sig att denna skillnad i densitetsvärden mellan mätning 1 och de två övriga mätningarna troligtvis beror på ett avbrott i slutet av torkfasen före mätning 1. Detta kan ha medfört att provkropparna tagit upp fukt innan mätningen genomfördes.

Den relativa avvikelser i densitet mellan SP-metodens mätning 2 och mätning 3 är i medeltal 0,2 % (max 1,3 %), vilket tyder på att SP-metodens repeterbarhet är mycket god.

Sprickor uppkom i vissa provkroppar vid den upprepade uppfuktningen och nedtorkningen som gjordes för att kunna bestämma densiteten tre gånger för varje prov. Dessa sprickor tycks inte ha påverkat provresultaten i någon större utsträckning. Dock kan man eventuellt se en inverkan då den maximala relativa avvikelser ökar ju fler mätningar som görs, tabell 1.

* Relativ avvikelse = skillnad i densitetsvärde mellan de två metoderna / densitetsvärdet bestämd med den traditionella metoden



Figur 3. Linjär regressionsanalys mellan densiteten (Kg/m^3) bestämd med SP-metoden och den traditionella metoden. Figur a-c visar de olika mätningarna med SP-metoden.

Tabell 1 Medelvärden för den relativa avvikelsen mellan densiteten bestämd med SP-metoden och med traditionell metod. Densiteten har bestämts 3 gånger med SP-metoden, (mätning 1-3)

	Mätning 1	Mätning 2	Mätning 3
	(%)	(%)	(%)
Relativ avvikelse	1,4	0,6	0,6
Maximal relativ avvikelse	2,4	2,8	3,0

5 Slutsatser

Den relativa avvikelsen mellan SP-metoden och den traditionella metoden är mindre än 3 %. Repetitionsnoggrannheten för SP-metoden är god med en maximal avvikelse på 1,3 %.

SP-metoden kan med god noggrannhet användas för bestämning av torrdensiteten för furu och gran om relativt stora provkroppar används, det vill säga provkroppar av den storleksordning som använts i denna undersökning (40 x 120 x 60 mm). Används mindre provkroppar finns risk att vatteninträngningen i provet vid volymbestämningen ökar relativt provkroppens massa och förvränger mätresultaten. Detta måste dock undersökas vidare.

Referenser

ASTM 1993: Annual book of ASTM standards, Section 4, Construction, Volume 04.09 Wood, PCM: 01-040993-45.

DIN 1991: Deutsches Institut für Normung e.V., DIN-Taschenbuch 31, Normen über Holz, 6. Auflage, Beuth Verlag GmbH Berlin

Esping, B. 1977: Handbok i virkestorkning. STFI-meddelande A nr 443 (TT:74)

Elmarsson, B.; Nevander, L-E. 1994: Fukthandbok - praktik och teori, Svensk Byggtjänst, Stockholm.

Kifetew, G.; Sandberg, D. 1996: A Comparasion of Dot-counting and Mercury immersion Methods for Determinig Density. KTH-Trä, Internrapport nr 39/96

Kollmann, F. 1960: Zur frage des Auftretens exothermer Reaktionen bei Holz. Holz als Roh und Werkstoff nr 6

Lindgren, O. 1988: Mätning av densitets- och fuktkvotsvariationer i trämaterial med datortomografi, licentiatavhandling vid KTH, Institutionen för träteknologi, TräteknikCentrum, Rapport L 8912061.

Montgomery, D. C. 1991: Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons, New York

Saarman, E. 1992: Träkunskap, Sveriges Skogsindustriförbund specialbok X-726.

Muntliga referenser:

Ziethén, Rune: Sveriges Forsknings- och Provningsinstitut, SP tel. 033/16 50 00.

Prov (Nr)	Traditionell metod (Kg/m3)	SP-metoden mätning 1 (Kg/m3)	SP-metoden mätning 2 (Kg/m3)	SP-metoden mätning 3 (Kg/m3)
1	349	357	346	346
2	324	328	322	323
3	389	394	388	387
4	312	317	312	311
5	313	320	309	313
6	397	403	397	397
7	407	411	406	405
8	424	433	421	422
9	372	379	370	370
10	375	383	374	374
11	380	387	378	378
12	380	379	371	371
13	380	385	379	380
14	345	352	341	342
15	378	383	377	378
16	383	387	382	384
17	400	399	389	388
18	406	412	404	404
19	354	358	352	352
20	381	384	376	378
21	377	381	375	374
22	370	378	368	369
23	409	417	408	408
24	345	349	343	344
25	402	403	397	398
26	446	451	442	443
27	363	369	361	360
28	434	439	433	434
29	329	332	325	325
30	381	389	379	380
31	402	409	400	401
32	382	388	379	382
33	403	407	401	402
34	413	420	411	412
35	445	453	444	443
36	406	411	404	404
37	428	434	428	427
38	425	431	425	426
39	470	476	469	470
40	463	473	462	463
41	434	440	433	433
42	380	389	380	379
43	357	359	354	354
44	420	419	412	414
45	381	386	379	379
46	357	363	355	356
47	396	402	393	393
48	374	379	370	370
49	383	391	376	374