



LUND UNIVERSITY

Mätning av fukt och fukttransport i trä : sammanfattning av ett möte 14-15 juni 1988

Wadsö, Lars

1988

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Wadsö, L. (1988). *Mätning av fukt och fukttransport i trä : sammanfattning av ett möte 14-15 juni 1988*. (Rapport TVBM; Vol. 3036). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

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

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

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

fuktgruppen vid tekniska högskolan i Lund
avdelningen för byggnadsmateriallära

mätning av
fukt och
fukttransport
i trä

sammanfattning av ett möte 14-15 juni 1988

Lars Wadsö

rapport tvbm- 3036, Lund, Sweden, 1988

fuktgruppen vid tekniska högskolan i Lund
avdelningen för byggnadsmateriallära

mätning av
fukt och
fukttransport
i trä

sammanfattning av ett möte 14-15 juni 1988

Lars Wadsö

coden: lutvdg/(tvbm- 3036)/1-38/(1988)

issn 0348-7911

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Adresser till de som var med på mötet

Inledning

- 1 Fuktgruppen vid LTH
- 2 Mätning under brandförsök med gammastrålningsutrustning
(Bertil Fredlund)
- 3 Mätning av vattenuppsugning med gammastrålningsutrustning
(Lars Wadsö)
- 4 Datortomografi för att mäta fukthalt i trä
(Ove Lindgren och Henrik Lindberg)
- 5 Bilder på trä tagna med en medicinsk magnetkamera
(Hans Öqvist)
- 6 En genomgång av kärnmagnetisk resonans som en metod för att studera fukt och fukttransport i trä
(Peter Stilbs)
- 7 Momentmetoden
(Dan Gaffner och Håkan Håkansson)
- 8 Utvecklingen av dagens koppmetod
(Niels Haldor Bertelsen)
- 9 Mätningar med kopp- och sorptionsmetoder
(Liu Tong)
- 10 Bestämning av transportkoefficienter för betong
(Göran Hedenblad)
- 11 Något av det som sades vid den efterföljande diskussionen

Adresser till de som var med på mötet

Henrik Lindberg
Träteknik, Skeria 2
931 87 Skellefteå
tel 0910-65222

Ove Lindgren
Träteknikcentrum, Skeria 2
931 87 Skellefteå
tel 0910-65309

Johan Claesson
Husbyggnadsteknik LTH
Box 118
221 00 Lund
tel 046-107382

Hans Öqvist
Virkeslära SLU
Box 7008
750 07 Uppsala
tel 018-172474

Niels Haldor Bertelsen
Teknologisk Institut
Byggeteknik
Postbox 141
DK-2630 Tåstrup
Danmark tel 009-45-2996611

Kurt Kielsgaard Hansen
DTH, Lab. for Bygningmaterialer
Bygning 118
DK-2800 Lyngby
Danmark
tel 2 - 88 35 11, lokal 5249

Martin Gustafsson
TräteknikCentrun
Skeria 2
931 87 Skellefteå
tel 0910-65200

Ingegerd Sjöholm
Livsmedelsteknik LTH
Box 118
221 00 Lund
tel 046-104821

Lars Wadsö
Byggnadsmateriallära LTH
Box 118
221 00 Lund
tel 046-109592

Göran Hedenblad
Byggnadsmateriallära LTH
Box 118
221 00 Lund
tel 046-107408

Sven Thelandersson
Byggnadsmekanik LTH
Box 118
221 00 Lund
tel 046-107368

Annika Mårtensson
Byggnadsmekanik LTH
Box 118
221 00 Lund
tel 046-107368

Peter Stilbs
Fysikalisk Kemi KTH
100 44 Stockholm
tel 08-7908201

Bertil Fredlund
Byggnadskonstruktionslära LTH
Box 118
221 00 Lund

Dan Gaffner
Byggnadskonstruktionslära LTH
Box 118
221 00 Lund
tel 046-109592

Stefan Hjort
Byggnadsmaterial
Chalmers
412 96 Göteborg
tel 031-722306

Liu Tong
Byggnadsmateriallära KTH
100 44 Stockholm
tel 08-7908753

Bengt Hallström
Livsmedelsteknik LTH
Box 118
221 00 Lund

Lars-Erik Nevander
Husbyggnadsteknik LTH
Box 118
221 00 Lund

Bertil Enqvist
Byggnadsmekanik LTH
Box 118
221 00 Lund

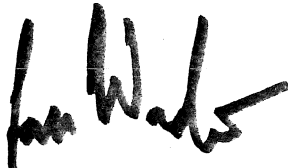
Inledning

Mötet "Fuktmätning i trä" hölls 14-15 juni 1988 i Lund. Värd för mötet var fuktgruppen vid Lunds Tekniska Högskola.

Tanken var att olika forskare som är intresserade av fuktmätning i trä skulle kunna mötas och diskutera olika metoder. Samanlagt diskuterade vi faktiskt sju olika metoder för fuktmätning och fukttransportmätning; merparten av dess i trä. För att visa några mätmetoder vid LTH såg vi även Göran Hedenblads betongförsök och Bertil Fredlunds brandförsök även om inte dessa gällde fukt i trä.

Denna dokumentation är skriven som en sammanfattning av mötet, och det är jag som har skrivit allt och låtit de som höll de olika föredragen korrekturläsa och lägga till det som de tyckte att jag hade glömt bort. Vissa föredrag beskrivs mycket kortfattat, medan andra har brett ut sig beroende på att det gäller metoder som inte är så välkända.

Det är min förhoppning att detta mötet kommer att följas av fler möten mellan träfuktforskare, kanske med andra teman. Undertecknad kan intyga att det var förvånansvärt enkelt att ordna detta möte.



Lars Wadsö

Byggnadsmateriallära

LTH

Box 118

221 00 LUND

tel 046-109592

1. Presentation av fuktgruppen vid LTH

"Fuktgruppen bildades 1981 för att intensifiera fuktforskningen vid LTH. Bakgrunden var de stora och ökande kostnader fuktskadorna orsakat under slutet av 70-talet.

Tidigare hade fuktforskningen vid LTH mestadels bedrivits som enstaka projekt förlagda till olika avdelningar. För att möjliggöra en övergripande planering samt öka kontakterna och samarbetet bildade fuktforskarna vid de tre avdelningarna Byggnadskonstruktionslära, Byggnadsmateriallära och Husbyggnadsteknik 1981 Fuktgruppen vid LTH. Ett forskningsprogram utarbetades i samråd med BFR, som därefter finansierat gruppen.

Fuktgruppens målsättning är att bedriva forskning kring fukt i byggnader och därmed sammanhängande problem. [...]

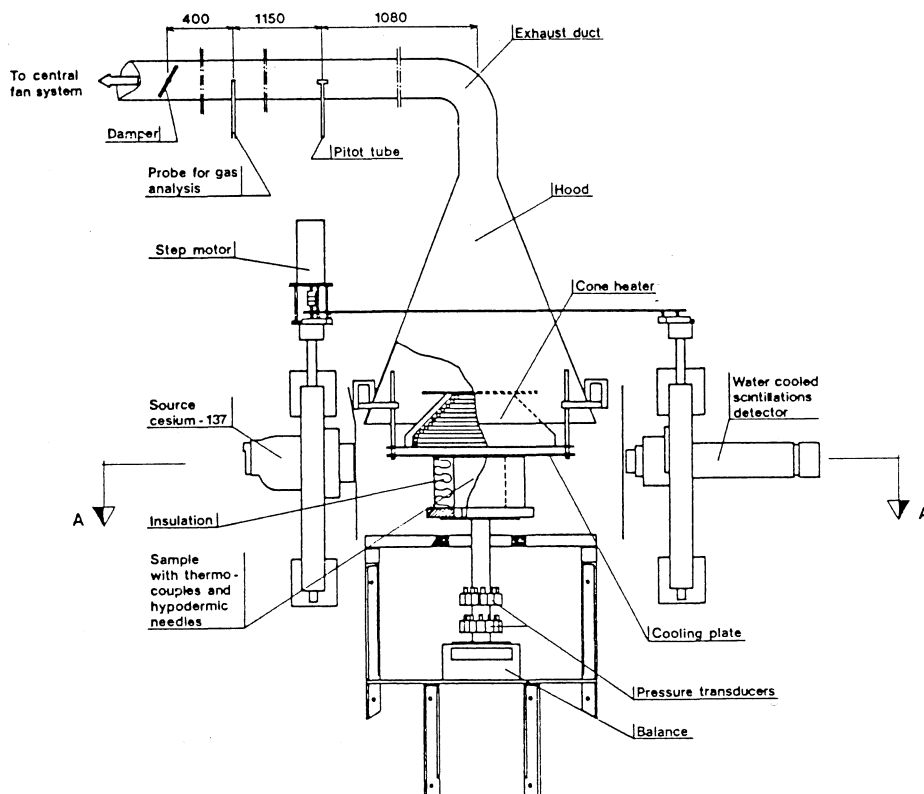
Bland fördelarna med att bedriva fuktforskning i grupp kan följande nämnas

- Medlemmarna i Fuktgruppen har specialkunskaper som kan användas inom flera projekt. Dyrbar utrustning kan också samutnyttjas i olika projekt.
- Kommunikationen mellan olika forskningsprojekt och forskare ökar, vilket också möjliggör en kritisk granskning av forskningen, t ex vid regelbundna interna forskarseminarier.
- Forskningsresultat från ett projekt kan i ett tidigare skede användas i ett annat, t ex materialdata och datorprogram.
- Nya forskare kan läras upp inom gruppen, vilket ger kontinuitet i forskningen och bibehållande av kompetensnivån.
- En större grupp har större möjligheter att bedriva information utåt än en enskild forskare."

Ovanstående är hämtat från "Fuktgruppens verksamhet 1984-87, LTH 1987.

2. Mätning under brandförsök med gammastrålningsutrustning

Bertil Fredlund vid Brandteknik LTH (han arbetar numera på Byggnadskonstruktionslära LTH) har nyligen doktorerat på ett arbete om en modell för mass- och värmetransport i träkonstruktioner vid brand. Modellen har testats med försök i en specialbyggd utrustning som visas nedan:



Vid ett försök så upphettas provet ("sample...") med hjälp av en elektrisk värmekälla ("cone heater") till ca 800°C på ytan. Under förbränningen mäter Bertil sedan tryck ("pressure transducers") och temperatur ("...thermocouples") inne i trästycket. För att kunna se var träet har förkolnat använd en gammastrålningsutrustning. Denna har en strålningskälla ("source") med cesium-137 på vänstra sidan och en detektor ("...scintillations detector") på högra sidan om provet. Med hjälp av en stegmotor ("step motor") kan källan och detektorn föras upp och ned samtidigt. Gammastrålningskällan utgörs av ett cesium-137-preparat. Själva strålen är 2 mm hög och 2 cm bred, och den dämpas på sin väg genom materialet. Denna dämpning är

till största delen en fuktion av densiteten (även något av vilket material man har). Förutom de ovan nämnda mätningarna mäts även halterna av O_2 , CO och CO_2 i rökgaserna, samt vikten på trästycket.

Mätresultaten från alla mätningarna tas om hand av en PC.

Enligt modellen kommer fukt som finns i träprovkroppen att fögasas där det är över $100^{\circ}C$, och sedan kondensera ett stycke längre in i träet där det inte är så varmt (om inte ångan lyckas lämna träet). På så sätt ökar fukthalten i träet innanför brandfronten. Just denna uppfuktning har dock varit svår att mäta eftersom den densitetskillnad som den ger upphov till inte är så stor jämfört med t ex skillnaden mellan trä och träkol. Med en högre mätnoggrannhet skulle man dock kunna se även fuktfrenten. Bertil mätte bara 3 s på varje nivå, men apparaturen är byggd för kunna använda vilka mättider som helst.

Nedan visas resultatet av ett tidigare experiment som Bertil har gjort, där han dock har mätt fuktkvoten med hjälp av resistansmetoden. Man ser tydligt att det finns en fuktfrent:

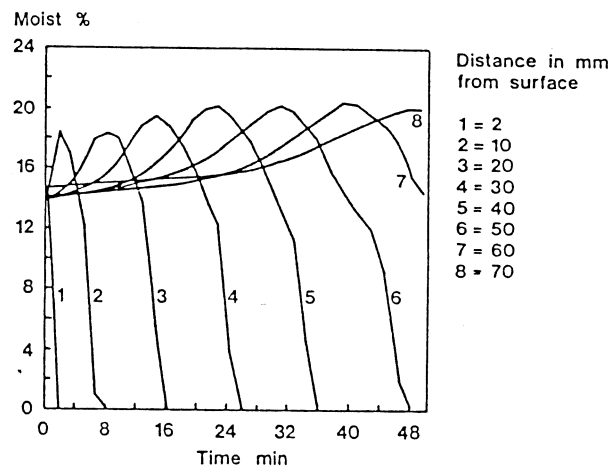


Figure 8.12 Moisture distribution as a function of time in a cube of pine ($\rho_{dry} = 455 \text{ kgm}^{-3}$) exposed to radiation. The radiation level was $90-110 \text{ kWm}^{-2}$ and the initial moisture ratio 14%

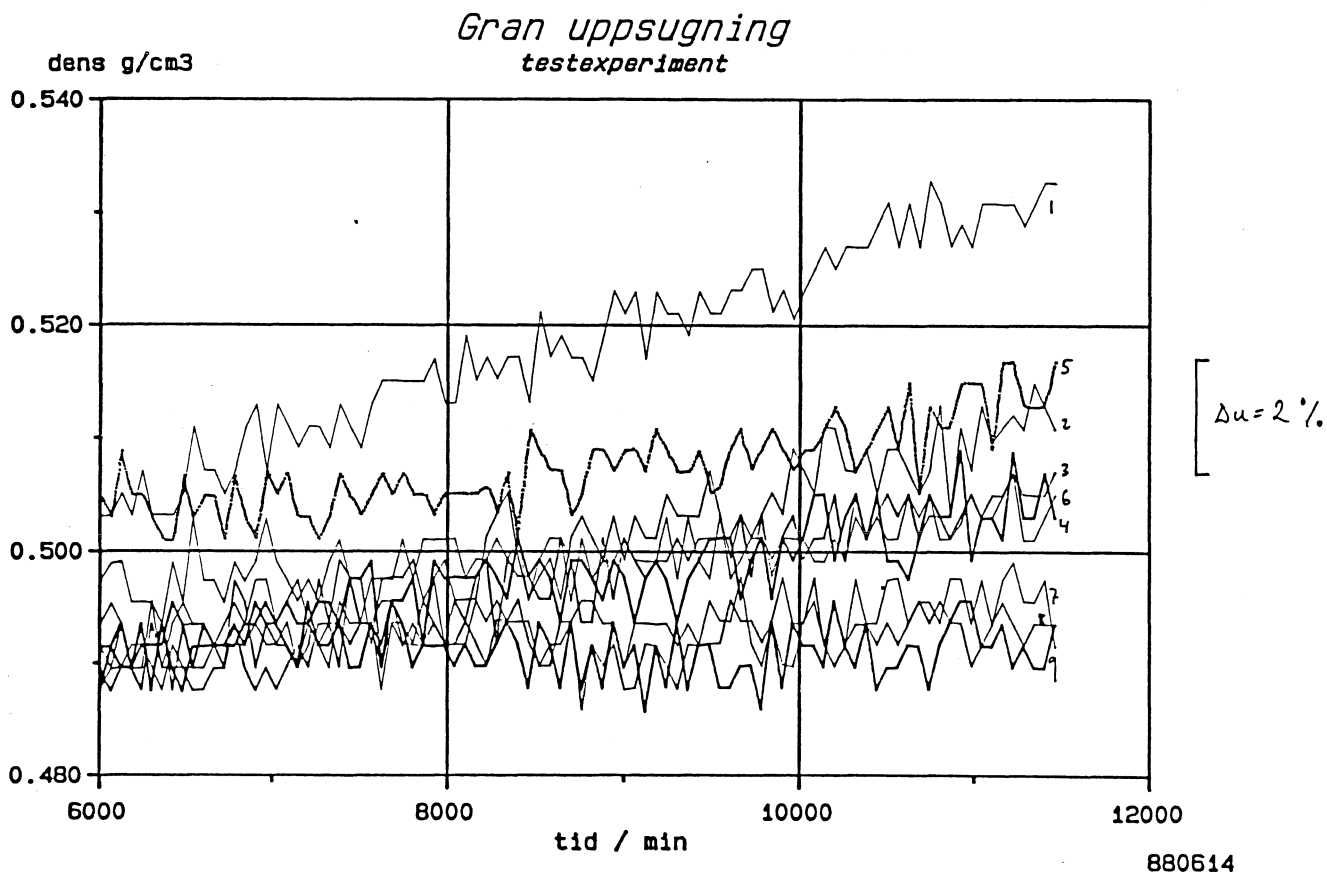
Bertil Fredlund, "A model for Heat and Mass Transfer in Timber Structures During Fire", report Lutvdg/(tvbb-1003), Brandteknik LTH 1988

3. Mätning av vattenuppsugning med gammastrålningsutrustning

Jag, Lars Wadsö, har utnyttjat den utrustning som är beskriven i föregående kapitel till att mäta fuktuppsugning i trä. Det är gjort som ett slaskförsök för att se med vilken noggranhet utrustningen skulle gå att använda till sådana mätningar.

En granbit (40x100x130 mm) som hade legat några veckor i normalt rumsklimat tätades på alla sidor utom en med plastfolie (matfolie till mikrovågsugn av PVAC fastlimmat med ett tryckkänsligt silikonlim). Biten ställdes sedan i vatten och fick suga i fiberriktningen under fyra dagar.

Densiteten mättes på nio nivåer en gång i timman. Varje mätning på en nivå tog fem minuter. Eftersom utrustningen som tolkade resultaten från detektorn gav ett glidande medelvärde som utsignal (det inte gick att nollställa den) var det tyvärr inte fem effektiva minuters mätning. För att bli av med eventuella störningar från gamla mätvärden var mättiden tvungen att vara så lång. Resultatet av mätningen syns nedan:



De nio mätnivåerna är numererade 1 till 9, där 1 är den som är närmast vattnet. Det ser ut som man skulle kunna vänta sig: det som är närmast vattnet blir snabbast fuktigt. Två nivåer skiljer sig dock en del (mest 5, men även 6). Vid närmare undersökning visar det sig dock att dessa har en högre densitet (dämpning av gammastrålningen) redan från början. Det visade sig också att det fanns en liten knast på trästycket kring nivåerna 5 och 6.

Jag borde alltså ha subtraherat bort de ursprungliga (torra) värdena. Nu var detta, som sagt, bara ett slaskförsök, så det fick räcka att rita upp kurvorna. Vid en närmare bearbetning borde jag använda någon sorts glidande medelvärde för att slippa en del av kurvornas taggar.

I diagrammet är även inritat hur mycket en fuktkvotsprocent är (t ex skillnaden mellan 18% och 19%). Det är förvånansvärt få fuktkvotsprocent som det har ökat. Det har knappast kommit över fiber-mättnadspunkten. Den lägsta mätpunkten (1) ligger dock några cm över den yta där vattnet sugs in.

Jag tycker att jag har visat att metoden är möjlig att använda för vattenuppsugning, men det är mera tveksamt om man kan detektera de mindre skillnader som man får vid diffusion. Dessutom kan det var svårt att sätta tillbaka provkroppen i precis samma position som vid förra mätningen (diffusionsförlopp tar ju månader att studera i så stora provkroppar som jag använde).

Kurt Kielsgaard Hansen berättade att de har en liknande utrustning på Laboratoriet for Bygningmaterialer vid Danmarks Tekniske Højskole i Lyngby. Den kan dock mäta i två dimensioner och har möjlighet att använda två källor med olika energier. På så sätt skulle man med den utrustningen kunna skilja på vatten och t ex trä i hela konstruktionsdelar. Man skulle till och med kunna ta hela utrustningen med sig och mäta i en byggnad (t ex en takstol).

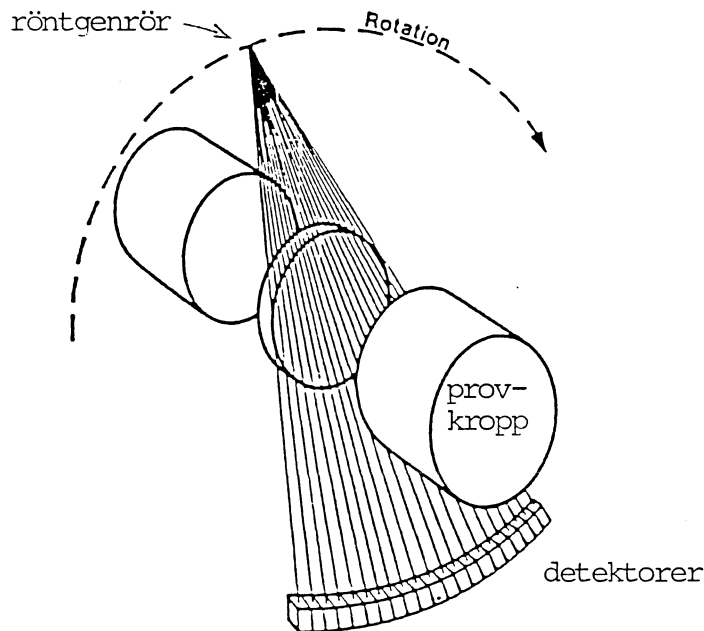
Med denna utrustning har Anker Nielsen mätt uppsugning i trä. Hans resultat finns redovisade i nedanstående rapport.

Anker Nielsen, "Målinger af fugttransport i træ med gamma-måleutstyr", Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, meddelelse nr 53, 1977

4. Datortomografi för att mäta fukthalt i trä

Ove Lindgren har arbetat fyra år med att lära sig att använda en medicinsk datortomograf för att mäta fukt i trä. Under det sista året har han fått hjälp av Henrik Lindberg.

På mötet började Henrik med att beskriva tekniken bakom datortomografin. Nedan är en skiss som visar huvudprinciperna för tomografen på Skellefteå lasarett:



Strålkällan som används är ett röntgenrör, som fungerar på så sett att elektroner accelereras mot en wolframelektrod och slår ut andra elektroner till högre liggande elektronskal. När dessa elektroner sedan faller tillbaka in mot kärnan igen lämnar de ifrån sig sin energi i form av röntgenstrålning. Eftersom det finns ett nästan oändligt antal möjligheter för en elektron att slås ut och falla

tillbaka mellan olika nivåer i elektronskalet, så kommer det också en mängd olika frekvenser ut från ett röntgenrör; strålningen har ett frekvensspektra. Detta till skillnad från cesium-137-källan i gammastrålningsutrustningen som bara ger ifrån sig fotoner med en karakteristisk våglängd (beroende på att alla sönderfall av cesium-137-kärnor sker på exakt samma sätt). Skillnaden mellan gamma och röntgen är bara en skillnad mellan olika sätt att alstra strålningen.

Åter till tomografen. Strålkällan sitter monterad på ena sidan av en ring som kan snurra runt. På andra sidan sitter en stor mängd mycket små detektorer. När man gör en mätning läser man av alla detektorerna medan man flyttar runt ringen i engradsintervall ett halvt varv. Sedan gör man om mätningen med ringen förskjuten en halv detektorbredd för att få högre noggrannhet.

Noggrannheten i tomografen begränsas bara av detektorernas storlek (och kanske datorns räknekapacitet). Kunde man göra mindre detektorer skulle man kunna öka upplösningen eftersom röntgenstrålningen löser upp strukturer ner till sin våglängd.

När man har gjort en hel mätning kan man sedan länge känd matematik ta fram en bild av det man mätt på.

Ove Lindgren tog sedan vid och pratade om de mätningar de gjort för att studera hur olika faktorer inverkar på mätresultatet. Klart var att tomografen klarar av att kompensera för provkroppens storlek, men inte för dess form. Eftersom tomografen är ett medicinskt instrument är den utvecklad för att mäta på t ex skallar och bröst-korgar, som båda är ganska runda, och i ena fallet omhöljda av ett skal. En fyrkantig träbit fungerar då inte alls lika bra att mäta på. För att komma förbi det problemet tar man och stoppar in sina provkroppar i plexiglas-cylindrar som man sedan fyller med polyeten-korn, som har ungefär samma medeldensitet som trä. Apparaten upplever det då som om provkroppen vore rund.

Problemet (som kanske egentligen inte är något mer än ett akademiskt problem) är att tomografen mäter densitet på trä noggrannare än alla andra mätmetoder. Det finns med andra ord ingen metod som man skulle kunna kontrollera tomografen med.

De har försökt att jämföra med kvicksilvermetoden, men får mycket stora skillnader mellan densitetsvärden uppmätta med de olika metoderna. Nedan är några exempel:

tomograf	Hg-mätning
490	540
485	465
440	500
520	525

Densiteter (kg/m^3) mätta med olika metoder. Provbitar uttagna i närheten av tomograferingsstället (<1 cm ifrån).

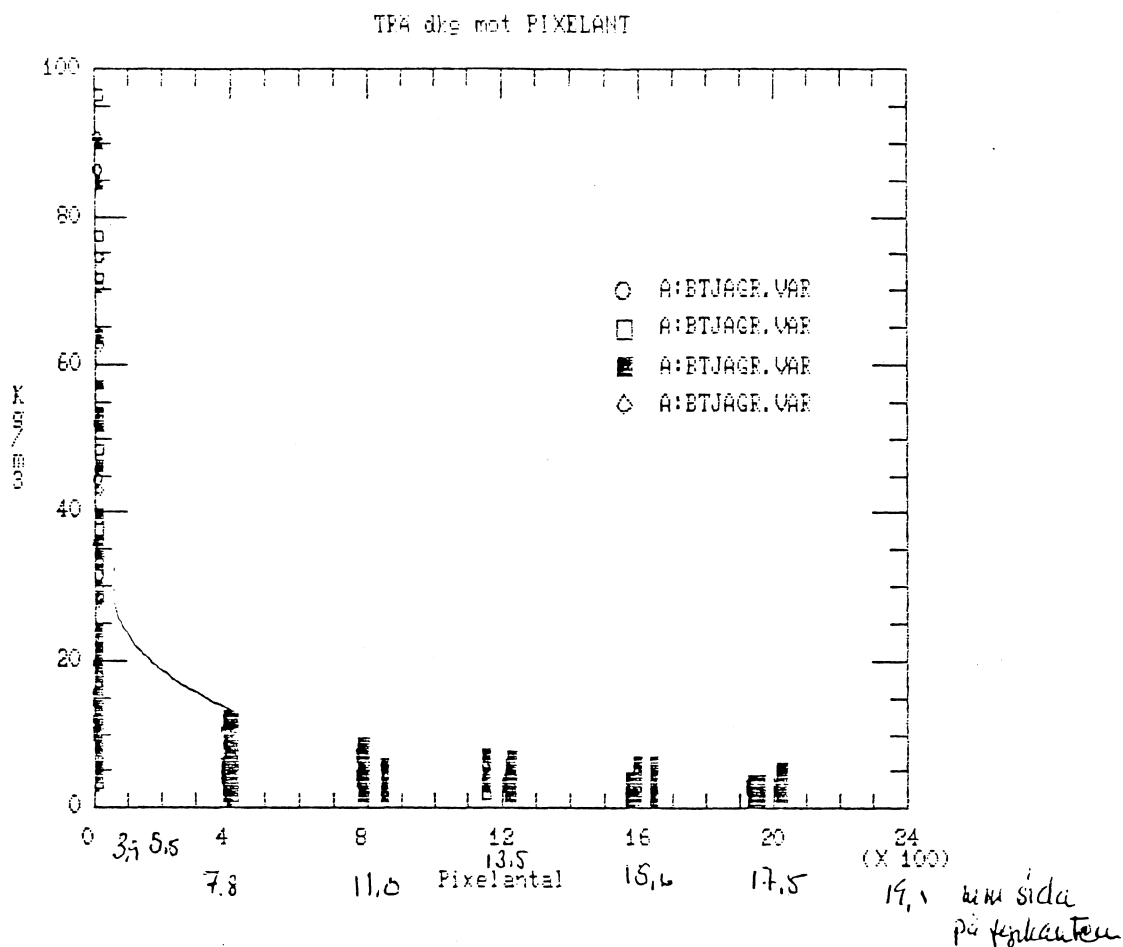
Värdena skiljer sig förvånansvärt mycket. Studerar man kvick-silvermetoden närmare ser man dock att det mycket väl kan vara den som ensam står för felen. Ove och Henrik sade att de var helt säkra på att tomografen kunde mäta med en noggrannhet på något kg/m^3 när.

Lineariteten hos tomografen håller sig utan kompensationer inom $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ mellan 250 och 1500 kg/m^3 . Med standarder kan denna siffra miskas till en tredjedel (en standard är ett material med en välkänd densitet som tomograferas samtidigt som provstycket).

På nästa sida visas ett diagram som visar hur små områden man kan skilja på med tomografen. X-axeln står för areastorlek eller pixe-antal, medan y-axeln svarar mot hur mycket två näraliggande areor behöver skilja sig i kg/m^3 för att de skall kunna särskiljas. Staplarna är en massa punkter för olika inställningar, träslag, struktur etc.

Som ett exempel kan vi säga att vi vill se skillnad på två areor med en sidlängd på 11 mm. Hur mycket måste de då skillja sig i densitet? Om man går in i grafen vid 11 på x-axeln så får vi ett par kg/m^3 i bästa fall (undre ändan av stapeln), men ca 12 kg/m^3 i sämsta fall.

Värdet är bestämt ifrån bruset i bilden \pm en standardavvikelse med hjälp av Students t-fördelning.



Nu när man vet mer om tomografen är det dags att mäta. Ove funderar bl a på att försöka mäta diffusionen i en hel provkropp med hjälp av tomografen. Tänk att kunna studera t ex diffusionen längs en årsring!

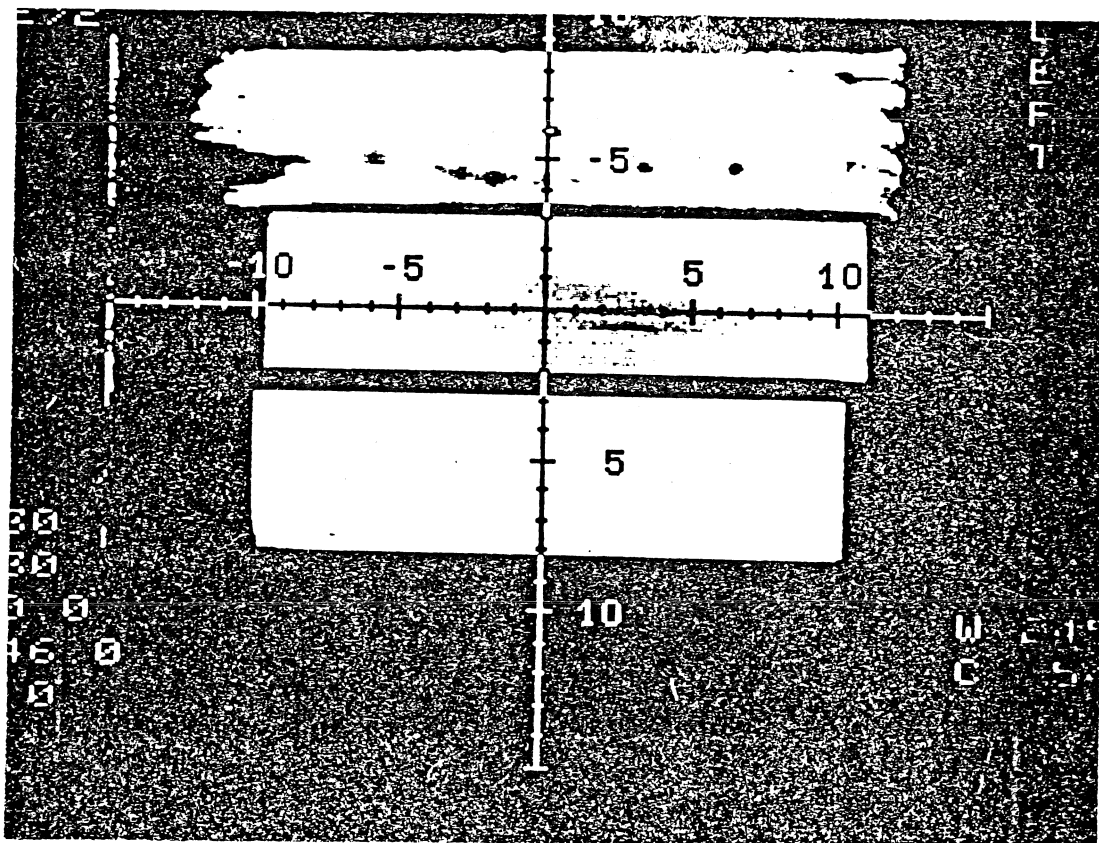
Ove Lindgren, "Mätning av densitets- och fuktvariationer i trämaterial med datortomografi", Träteknik Skellefteå, 1988

5. Bilder på trä tagna med en medicinsk magnetkamera

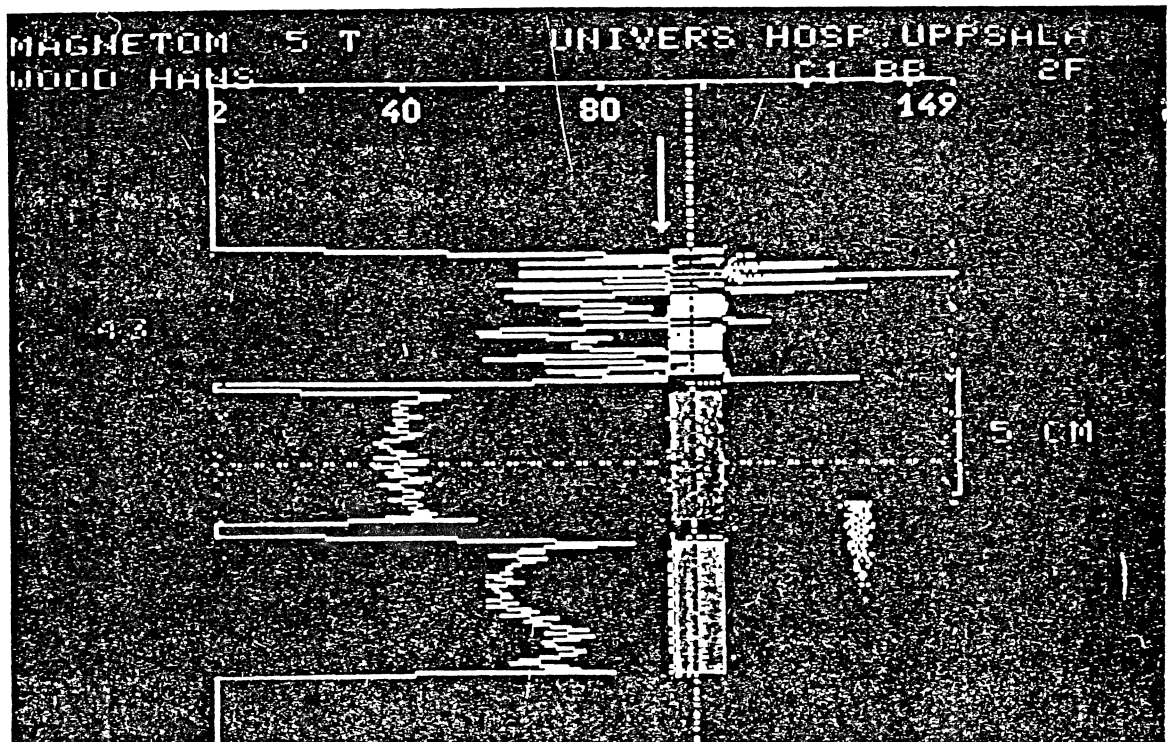
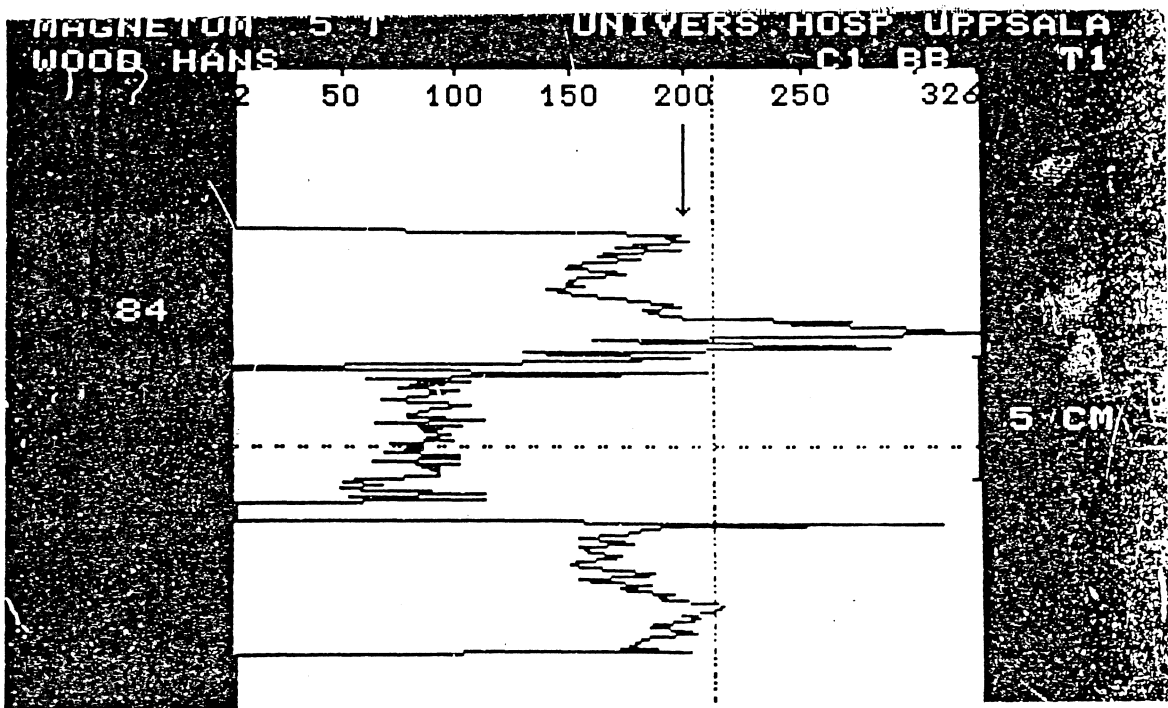
Hans Öqvist på Virkelslära på Ulltuna har ett projekt som heter "utomhusvirkes beständighet". I det ingår det ett stort antal utomhusexponerade provkroppar av olika sorter. Hans studerar både trämateriallets eventuella inverkan (kärnved, trädslag, torkning, avverkningstid, vattenlagret eller ej...) och olika träbehandlingar (färg, olja, ändträförsegling...). I diskussionen som följde efter föredragen redovisade han några av sina resultat (se del 11).

För att hitta någon lämplig metod att studera trä invändigt utan att förstöra materialet har han bl a varit inne på Universitetssjukhuset i Uppsala där man har en s k magnetkamera (mer om själva metoden i nästa kapitel).

Bilden som visas nedan är ett tvärsnitt på tre träbitar: överst trä med rötskador, i mitten impregnerat trä och underst ett normalt trästycke. Det är stora skillnader mellan de olika bilderna.



I denna tekniken mäter man även tidskonstanterna T_1 och T_2 som nedan redovisas som kurvor för de samma tre trästycken. Även här ser vi stora skillnader mellan de olika träbitarna.



Ett problem med dessa mätningar har varit att inget vatten under ca 60% fuktkvot har avbildats. Det tycks alltså inte vara så att allt fritt vatten syns. Någon riktig förklaring till varför det inte går att mäta under 60% med denna utrustning finns ännu inte.

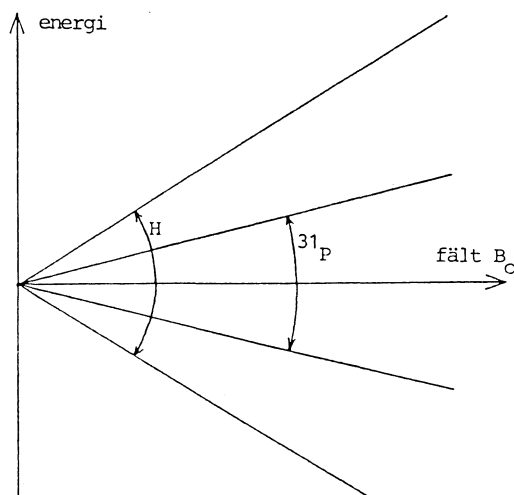
6. En genomgång av kärnmagnetisk resonans som en metod för att studera fukt och fukttransport i trä.

Peter Stilbs, professor i fysikalisk kemi på KTH, förklarade grunderna i den teknik (eller de tekniker) som omväxlande kallas NMR ("nuclear magnetic resonance"), MR ("magnetic resonance") och kärnmagnetisk resonans. Numera säger man oftast MR (kanske vill man slippa att associeras med kärnkraft och kärnvapen, även om denna teknik inte alls bygger på radioaktivitet).

MR-tekniken utvecklades först för fysikaliska tillämpningar 1946, sedan för kemin 1950 och slutligen började den användas för medicinska tillämpningar 1953. Idag används huvuddelen av alla MR-utrustningar inom kemin, men de medicinska utrustningarna ökar starkt sedan man 1980 lyckades utveckla kommersiellt tillgängliga avbildande magnetkameror.

De bilder som man kan få fram med en avbildande medicinsk magnetkamera har en upplösning på ca 1 mm och visar därför stor detaljrikedom. Man kan förledas att tro att tekniken fungerar på samma sätt som röntgen eller röntgendatortomografi, men så är inte fallet; magnetkameran fungerar enligt helt andra principer. Det som är ljus på en MR-bild är lätttrörliga protoner i främst fett och vatten. Ben avbildas svart eller grått beroende på att de är vattenfattiga.

Själva NMR-tekniken bygger på en egenskap hos atomkärnan som kallas spinn (betecknas I). Förutom spinn har kärnorna även massa och laddning, men i NMR utnyttjas bara spinn. Varje kärna har ett spinntal I . Från detta kan man räkna ut antalet spinntillstånd som $2I+1$. Dessa olika spinntillstånd har normalt samma energi, men lägger man ett yttre magnetfält (B_0) över kärnan splittras tillstånden upp i olika energinivåer:

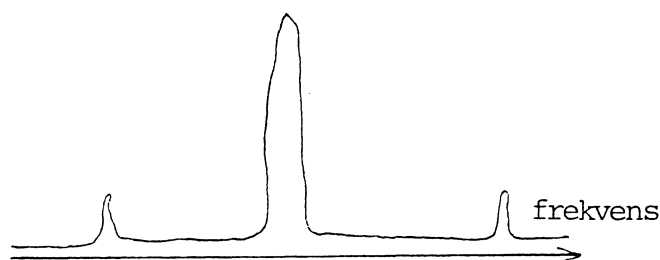
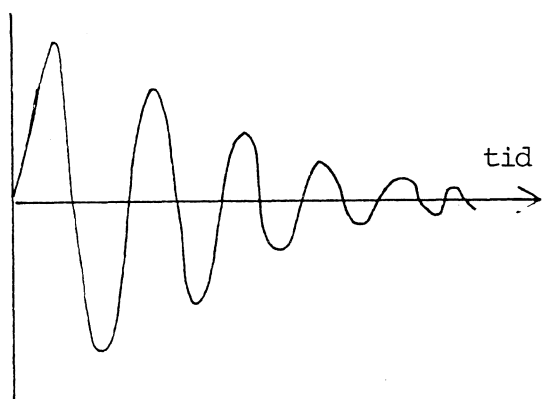


Som man ser i figuren splittras nivåerna upp allt mer, ju starkare fältet är. Man ser även att olika kärnor har olika energinivåer (även olika antal energinivåer), och då också olika resonansfrekvenser.

NMR är helt enkelt en spektroskopisk metod som studerar absorptionsspektrat för övergångar mellan dessa olika nivåer. Den skiljer sig dock från andra spektroskopiska metoder genom en rad egenheter:

- Skillnaden mellan antalet kärnor i de olika nivåerna är mycket liten (Boltzmannkvoten ≈ 1).
- På grund av detta är det ungefär lika stor chans att skicka upp protoner, som att skicka ner dem.
- Återgången till ursprungsnivåerna (relaxationen) är mycket långsam (i storleksordningen sekunder).
- Det går att genomföra en mängd olika sorters experiment som är omöjliga med andra sorters spektroskopi.

Vid normal spektroskopi ändrar man frekvensen till man hittar en resonansfrekvens. Så gjorde man även tidigare inom NMR, men numera studerar man oftast utsignalen från radiofrekventa pulser (som innehåller alla frekvenser samtidigt). Utsignalen kallas en FID ("Free Induction Decay") och kan se ut som nedan till vänster. För att få ut frekvensinformationen (till höger) fouriertransformerar man FIDen.



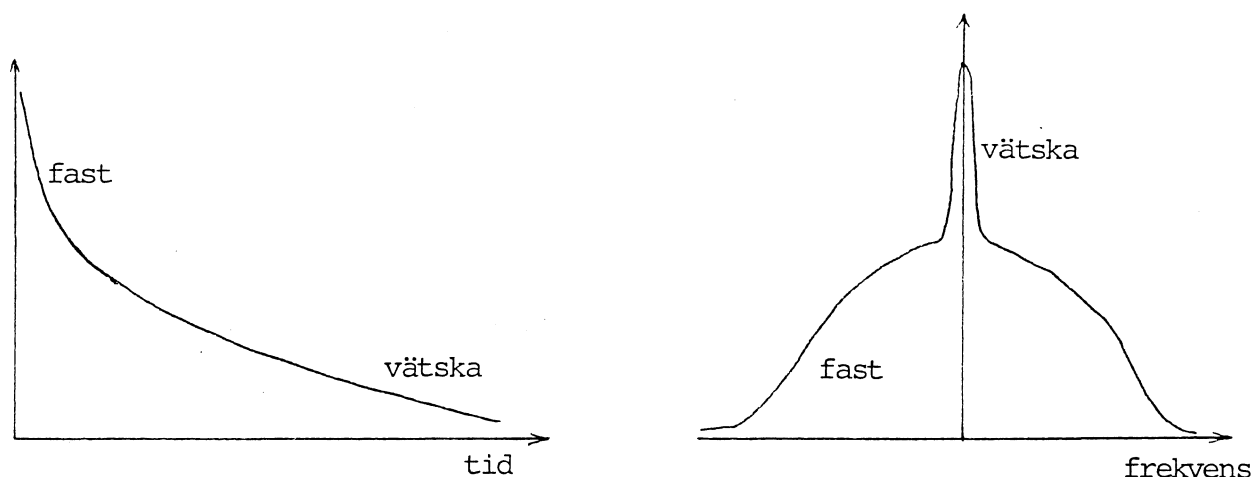
Det pålagda magnetfältet (B_0) kan ha olika styrka. Vid ett fält på 2,3 T (enhet för magnetfält: Tesla) har protonen en ungefärlig resonansfrekvens på 100 MHz (enhet för frekvens: Hertz), ^{13}C 25 MHz och ^2H 15 MHz. Siffran före grundämnets namn betecknar antal partiklar (neutroner och protoner) i kärnan för att skilja olika isotoper från varandra. Man kan mäta på de flesta kärnor, men de som är vanligast och intressantast för oss är vätekärnor (protoner).

Det vanligaste användningsområdet för NMR är strukturbestämning. Den effekt som man då använder kallas kemiska skift och bygger på att atomkärnor i en molekyl stör varandras magnetfält. De frekvenser som man kan mäta blir då något föskjutna i förhållande till var de skulle varit om det inte hade funnits några störande magnetfält. Genom att studera dessa störningar (skift) kan man få information om kärnans omgivning, dvs molekylen byggnad. För att kunna mäta kemiska skift krävs det mycket homogena magnetfält ($1:10^{10}$ är praktiskt möjligt idag). Dessa kemiska skift är dock inte så intressanta för oss som studerar vatten i trä.

Intressantare är då mätningar av relaxationstider. Om man ger en magnetisk puls stör man jämvikten genom att flytta kärnor till andra energinivåer. När pulsen är slut börjar dessa omedelbart falla tillbaka till jämviktsläget igen (de relaxerar). Man kan urskilja två tidskonstanter för relaxationen: T_1 och T_2 .

T_1 kallas spinnrelaxation. Märkligt nog tyder långsam spinnrelaxation (högt T_1) att kärnan rör sig snabbt, och tvärtom att snabb relaxation att kärnan rör sig långsamt. Fasta ämnen har alltså snabb relaxation (ofta så snabb att man inte kan mäta den), medan vätskor har långsammare relaxation.

T_2 är i princip hur snabbt hela FIDen avklingar. Nedan syns en FID och motsvarande frekvensspektra, med t ex protoner i både ett fast och ett flytande ämne samtidigt (skulle kunna vara cellulosa och vatten). Vid mätning av fukthalten mäter man t ex T_2 .



NMR används idag vid många industriella mätningar. Man kan t ex mäta

- fetthalt i oljor, smör, chokolad och margarin.
- andel fast fett i delvis kristalliserade fetter.
- oljehalter i enstaka frön inom växtförädlingsindustrin.
- vattenhalt i sockerbetsmassa.
- väteinnehållet i kolväten.
- polymeriseringsgrad hos polymerer.
- andelen fast material i latexgummi.
- viskositet hos olja (T_2 är en funktion av viskositeten inom en viss materialgrupp).
- det fasta innehållet i avloppsvatten.
- fukthalten i kol.
- fukthalt i katalysatorer.
- halt av mjukgörare i polymerer.

NMR är helt oförstörande och påverkar inte provet eftersom man använder mycket svaga magnetfält. RF-strålningen kan orsaka en uppvärmning av materialet, men den är helt försumbar vid normala tillämpningar.

Om man skulle försöka mäta vatten (protoner) i fuktigt trä kommer

man att få ett brett spektra från cellulösans protoner och ett mera smalt spektra från de rörligare vattenmolekylernas protoner. Dock har man hela tiden ett utbyte av protoner mellan cellulösan och vattnet (även om cellulösan alltid behåller sin molekylstruktur byts de enskilda protonerna ut hela tiden). Detta är en stor svårighet vid t ex T_2 -mätningar eftersom protonerna behåller sitt spinn när de byter plats. Ju högre utbyte, desto svårare att mäta. Detta gäller särskilt vid låga vattenhalter.

Vattenmolekylerna som binder till cellulösamolekylerna kan även binda till varandra med sekundär och tertiärbindningar. Det har länge varit diskussion om hur många lager vattenmolekyler man kan få utanpå t ex en cellulösakedja. Idag är det fastlagt att det inte rör sig om mer än bågra få lager. Grundläggande NMR-arbeten om detta har bl a gjorts av Bertil Halle och Lennart Piculell på Fysikalisk Kemi I vid Lund Universitet.

Dessa bundna lager är inte så lätta att mäta som t ex vattenhalten i margarin. I margarin ligger nämligen vattnet finfördelat i små emulsionsdroppar med fritt vatten.

Peter Stilbs avslutade med att säga några ord om direkt mätning av egendiffusion med NMR. Detta kan ske med två olika metoder: ren avbildning av vattenprofil och fältgradientbaserad spinekoteknik.

Det förstnämnda kan ske i medicinska magnettomografer eller i mindre utrustningar. I mindre utrustningar med mm-stora prover (t ex enstaka växtstjälkar) kan man få en upplösning på $10 \mu\text{m}$! Arbeten av denna typ finns gjorda på polymera material. En relativ bestämning av fukthalterna i ett provstycke är lätt, medan det är svårare att göra absoluta bestämningar.

En annan möjlig metod är att förutom det vanliga vattnet även använda tungt vatten (D_2O) som i sina flesta egenskaper liknar vanligt vatten. De tunga vätekärnorna har dock helt andra NMR-egenskaper.

Den fältgradientbaserade spinekotekniken är betydligt svårare att förstå än det som beskrivits ovan. Förenklat bygger den på att man kan ge pulssekvenser som återställer ett system till dess ursprungliga läge igen, under förutsättning att kärnorna inte har rört sig i rummet. Har de rört sig så kommer man att inte att få en total rekonstruktion. Genom att se hur "suddig" bilden blir kan man räkna ut självdiffusionen (motsvarande Brownsk molekylrörelse). Dessa försök mäter självdiffusion. Sambanden mellan självdiffusion och

diffusion som funktion av en gradient är komplicerade eller omöjliga att bestämma.

De medicinska tomograferna är inte optimala för att studera mindre system. Företag som tillverkar NMR-utrustningar för laboratorie- och industriellt bruk är Varian-Siemens, Bruker och Spectrospin. En avbildande utrustning kostar i storleksordningen några miljoner.

På Fysikalisk Kemi vid KTH kommer man att starta ett nytt s k "mini imaging system" till hösten 1988 (projektet är dock något fördröjt). Maximala storleken på prover kommer att bli 30 mm längd och 12 mm i diameter.

Att läsa

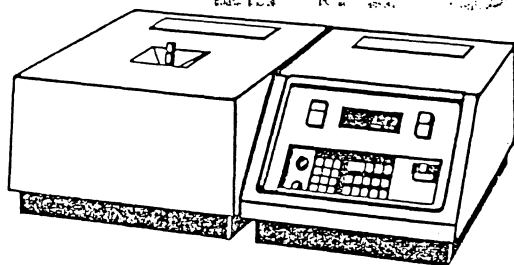
Artiklar i "Progress in NMR spectroscopy", 19 (1987) 1-45, samt artiklar i ett nummer av "Faraday Transactions" som finns refererat i den första tidningen.

Nedan följer även några sidor ur Brukers katalog, med beskrivningar av fuktmätning i tobak, NMR-användningen inom livsmedelsindustrin samt en lista med 124 referenser (ingen om trä).

minispec



Information Sheet 3



The Determination of Moisture in Tobacco

The moisture content of tobacco is a parameter of great importance to all processors of tobacco products since it determines smoking characteristics and shelf life. Tobacco is bought and sold by weight and a premium is paid for tobacco leaves which meet preset moisture specifications. Furthermore, customs duties for tobacco are based upon standard moisture contents.

The determination of the moisture content in tobacco products by the traditional method of oven-drying is a time-consuming process which takes several hours. It involves weighing the sample, heating at elevated temperatures to remove all the moisture present and re-weighing. The moisture content is calculated from the weight loss. This procedure is open to errors in sample weighing, data transcription and mathematical computation.

The use of pulsed NMR to determine the moisture content of tobacco products is a superior alternative to the traditional method of oven-drying. The NMR technique is economical, requires much less energy and results are obtained in minutes. Although initial instrument set-up requires a trained person, in routine use measurements can be made by plant personnel on-site where data is required. The timeliness and ease of acquisition of the results makes this technique

Comparison of Conventional and NMR Techniques

Current method – weight loss on drying

- weigh out samples
- heat in oven
- weigh again
- calculate per cent moisture from weight loss

pc 20 method – pulsed NMR

- initial calibration performed only once

in routine use:

- weigh sample, weight can be entered automatically via digital balance interface
- insert sample, instrument triggered automatically
- signal intensity following radiofrequency pulse (proportional to amount of moisture) is measured
- percent moisture is calculated automatically
- result is displayed and printed

Advantages of pc 20 method

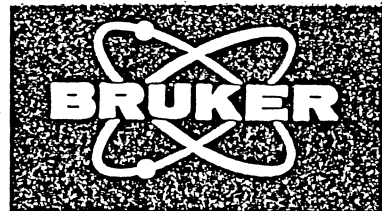
- results are obtained almost immediately, resulting in less "down-time", waiting for lab results, and the possibility of using moisture as a process control variable
- analysis can be performed by untrained, plant-floor personnel
- highly reproducible and accurate
- independent of operator technique, can set one analytical standard among plants or shifts
- automatic hard copy available
- less energy consumption

invaluable for immediate in-line testing in a production or quality-control environment. The results are repeatable and independent of operator technique permitting

standardization among plants or shifts of a plant and allowing closer moisture content tolerance standards to be established for product consistency.

For more information please contact:

BRUKER
ANALYTISCHE MESSTECHNIK
GMBH
Wikingenstrasse 13
D-7500 Karlsruhe 21 (West Germany)
Tel: (0721) 59 67 0; Telex 7 825 656 bruk d



minispec

NMR Spectroscopy in the Food Industry

Dr. H. Weisser, Institute of Food Process Engineering, University of Karlsruhe, Germany

1. Introduction

Since the 1950's, following the appearance in the United States of the first published results (1) of the application of NMR spectroscopy to study hydration in foodstuffs, the NMR analytical method has been successfully employed throughout the food industry for both research and quality control purposes (2, 3). This article is intended to provide a review of the many uses of NMR spectroscopy in the food sciences, although it must be pointed out that the more chemically oriented structural studies (4), principally those employing ^{13}C spectroscopy (5, 6, 7), have been largely omitted.

2. Main applications of NMR spectroscopy in the food industry

In categorizing the well over one hundred publications in this field, it has been decided to consider them in relation to the most important branches of the industry. It will be seen that some areas such as the edible fat and starch industries make intensive use of NMR spectroscopy, whereas there are other branches in which it would appear that NMR has yet to make an impact.

Meat and Eggs

Some of the earliest publications from Shaw and his co-workers (8, 9) examined the adsorbed water in meat product ingredients such as collagen, gelatine, egg albumin and glycine. Since these early studies, there have been many publications dealing with adsorption in proteins, and the motional behaviour of the adsorbed water (10 - 13; 3).

Also, as many biologists, biochemists and biophysicists are active in this area, publications have appeared describing the use of NMR spectroscopy for structural determination and kinetic studies (14, 15).

When meat is frozen, part of the free or unbound water takes on a rigid

structure, leaving the residue solution in a more concentrated form. This results in a noticeable reduction in the value of T_1 , the longitudinal relaxation time. A plot of T_1 over the negative temperature range employed, shows two curves of quite different slope. Initially T_1 reduces sharply with fall in temperature until at about -5°C the curve displays a "knee", after which T_1 is less heavily dependent upon temperature drop. Analogous curves are found with samples of liver, fish and apples (16).

Meat contains oil in addition to water. Both ingredients influence the liquid component of the nuclear resonance signal, so that a clear distinction between the water and oil contents is often not possible. With appropriate calibration curves however, it is possible to make rapid determinations of the water content in meat (17). Using continuous wave wide-line NMR spectroscopy on oven-dried samples, the fat content of meat has been determined to within an accuracy of 0.2 to 0.3% (18, 19). During the specimen preparation, the samples were heated to 70°C to ensure that all fat was molten and could be analysed as oil.

Fish

To date NMR spectroscopy has not been widely employed in the fish industry. The principal applications have been used in the laboratory, for example in studies of the structure of unsaturated fatty acids of fish oils (20). Since it is usual practice today for a great deal of fish to be deep frozen, care has to be taken to keep the drip-losses of the fish to a minimum during the defrosting process. NMR spectroscopy is particularly well suited for studying the influence of present day preparation and conservation methods on the adsorbed water in fish tissues (16, 21, 22) since even at low temperatures (-70°C) a clear differentiation can be made between the free and bound water components.

Milk and Milk Products

NMR spectroscopy has found many applications in the dairy produce industry. Wide-line spectroscopy, and more recently pulse NMR spectroscopy, offer significant advantages over classical time-consuming methods for measurement of the fat and/or water contents in milk and milk products.

Since the presence of water interferes with the measurement of the fat content in cheese, the specimens must be dried quickly following the initial analysis. For this purpose vacuum ovens (23) or microwave ovens (24) are reported as having been used. In this way a direct determination of the dry matter and fat content can be made, and for high water content products, the water content may also be found by comparison with the result from the initial analysis with a "wet" specimen. To date only the use of wide-line spectroscopy has been reported in the literature. However based upon experience of pulse spectroscopy with specimens of a similar nature, the pulse method should offer significant experimental advantages for this work. For example, the pulse method has been used recently to make a rapid determination of the water content in skim milk powder and cottage cheese curds (25). For milk powders with water contents between 1 and 5%, an accuracy of measurement of 0.2% water was obtained over a period of 72 seconds. With the cottage cheese where a water content of between 77 and 81% was present, a measurement time of only 10 seconds was found to be required to obtain an accuracy of 0.3%. Accuracies comparable with this do not appear to be obtainable with wide-line instruments (26, 27).

The nature and rate of solution of skim and dry milk powders can be elegantly studied by NMR spectroscopy. The NMR analytical technique provides a clear indication of the best reconstitution procedure from all known methods of production (28).

NMR spectroscopy has also found use in determining the iodine value very rapidly, and thereby providing a quick method for monitoring the degree of unsaturation of the triglycerides (29). In comparison with the classical analytical method by Wijs, the NMR method is not only faster but also less prone to error. Moreover, the NMR method provides a means for determining the average molar value of the triglycerides of the butter fat.

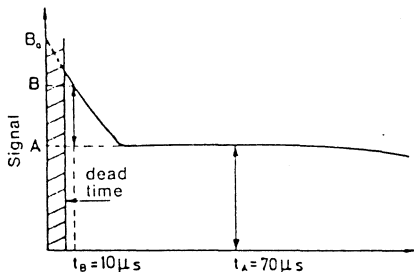
The nature of the unsaturated fatty acids in butter fat is influenced by the type of feedstuffs given to the cattle (30). Annual variations in butter texture are noticeable, for example in winter, produce is much harder and more brittle than summer produce which contains more unsaturated fatty acids. In butter production however the "softness" can be determined by appropriate crystallization procedures (31, 32) whereby the time — temperature intervals are accurately controlled during manufacture. This is performed in practice by monitoring the ratio of crystallized fat to liquid fat. There are several reports in the literature of such solid fat content studies (33-37), in which the method of measurement has been developed specifically for the edible fat industry.

Edible Fats and Oils, Oil Seeds

Fats and oils are composed of a mixture of triglycerides of different fatty acids. The triglycerides can crystallize into different crystal modifications (polymorphism), which have quite different melting characteristics depending upon the type of oil. The consistency of fats and oils is therefore critically temperature dependent, and can only be controlled satisfactorily by a suitable analytical method such as NMR. Although the important parameter of the solid fat content can be determined by Dilatometry, Differential Thermal Analysis (DTA) or Differential Scanning Calorimetry (DSC), it can be measured most rapidly by NMR spectroscopy. The first measurements of this type were performed towards the end of the 1950's with wide-line instruments, whereby use was made of the difference in linewidth observed between crystallized and liquid fat (38, 39). Within a year the method had been improved and instruments suitably modified, and NMR became an officially accepted AOCS method. Over the years a number of publications have reported on various aspects of solids content determinations (40-52).

The recent introduction of pulse NMR spectroscopy has brought noticeable advances in both accuracy of measurement and speed of measurement. Collaborative work between van Putte and his co-workers (53-55) and BRUKER PHYSIK AG of Karlsruhe, resulted in the development of the "minispec", the first routine pulse spectrometer available

in an industrial version for production control purposes. Earlier editions of this Report have carried descriptions of this instrument (56, 57) and it will be assumed that the principles of operation are well understood. Other authors have also reported elsewhere on successful measurements with the "minispec" and similar instruments (58-60, 35-37).



FID shape in case of determination of a solid to liquid ratio. A suitable extrapolation permits determination of amplitude B_0 from B.

Therefore the solid-to-liquid ratio can be determined from amplitude measurements at times t_B and t_A . (See ref. 53-55)

It is possible to determine the water content in margarine by the pulse NMR method. However since the relaxation times of water and oil do not differ greatly (T_1 , $H_2O \approx 1$ sec, T_1 , oil ~ 200 msec) it is necessary to dope the water with paramagnetic ions (e. g. copper or magnesium) so that its relaxation time falls to ~ 1 msec to provide a sufficiently large difference to that of the oil (61-63). Both NMR methods have also been used to select suitable emulsifiers for oil/water emulsions (64, 65).

An important application for NMR spectroscopy in the future may well be the replacement of currently employed extraction methods for the determination of fat content in seeds. Fat content in seeds has been measured in minutes without resorting to inflammable solvents or destroying the specimens (66-77). Other reports have shown that since the NMR method is rapid and does not destroy germination in the seed, then it is possible for selection to be made of those living seeds most likely to have the genetic capacity to produce progeny seed of high oil-bearing characteristics. Although the earliest measurements were performed with wide-line instruments, pulse techniques (75, 76) and ^{13}C spectroscopy (77) have recently been employed.

Corn, Cereals, Starch, Sugar

For those foodstuffs rich in carbohydrates, NMR spectroscopy has been successfully employed to determine water content (78-88), and to study bound water (89-94) and solution processes (95-116). In addition ^{13}C spectroscopy has assisted with molecular structure studies (117). Determination of the water content in low fat or fat free foods, such as starch, flour, sugar and sweetmeats, is also relatively straightforward (78-88).

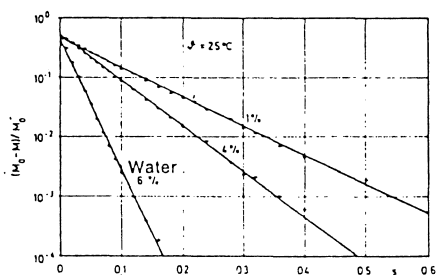
It is however rarely the case that there is a linear relationship between NMR signal strength and water content over a large range of water content values. This is a result of the presence of bound water within the total water content. It is though particularly easy to study bound water with NMR spectroscopy. Moreover temperature studies near the freezing point indicate which part of the water does not freeze out (89-94, 123, 124).

The gelatinization of different starches depends upon the type of starch, and frequently upon the extraction and preparation procedures (95-109). Professor H. Lechert and his colleagues at the University of Hamburg have for several years now been examining solution processes in starch by NMR spectroscopic methods (110-116).

Cocoa, Chocolate, Coffee

The presence of minute iron particles from the refining process in cocoa liquor may be as high as several hundred ppm. This results in a drastic broadening of the NMR linewidth and thereby prevents the accurate measurement of fat content in cocoa and chocolate by wide-line spectroscopy (118, 119). Pulse NMR methods however are able to remove the influence of iron contamination on the accuracy of fat content analysis. Using pulse techniques the fat content of cocoa and chocolate samples has been measured within a few minutes to an accuracy of $\pm 0.2\%$ (120).

In raw coffee, both water and fat (coffee oil) are present in large quantities. With suitable pulse NMR procedures, direct measurements have been made of the water and oil content (121). In addition, because of the rapid measurement time it is possible to control the roasting process to a higher degree.



Determination of water content from observed longitudinal relaxation. The example shows the dependence of T_1 on water concentration in coffee concentrate. (See ref. 121)

Miscellaneous

NMR appears to offer advantages over pykometry for alcohol determination in wine, beer and spirits. By integrating the peak amplitude of the $-CH_3$ group before and after addition of a known quantity of alcohol, it was found possible to determine the alcohol content over a range of 0 to 80 vol. % to within $\pm 3\%$ accuracy over a period of 5 to 10 min (122).

3. References

1. Shaw, T. M., and R. H. Elksen: Nuclear magnetic resonance absorption in hygroscopic materials. *J. Chem. Phys.* 8 (1950) 1113-114.
2. Kohn, R.: Anwendung der Kernresonanz-Spektroskopie in der Lebensmittelanalytik. *Fette, Seifen, Anstrichmittel* 68 (1966) Nr. 10, S. 795/98.
3. Weisser, H.: Anwendung der Kernresonanzspektroskopie in der Lebensmittelverfahrenstechnik. *Z. f. Lebensmittel-Technologie und -Verfahrenstechnik* 28 (1977) Nr. 3, S. 97/101.
4. Foltz, A. K., J. A. Yeransian und K. G. Sloman: *Food. Analytical Chem.* 49 (1977) Nr. 5, S. 194 R/220 R.
5. Vincent, E.-J.: Introduction à la R.M.N. du carbone 13. *Rev. française des Corps Gras* 21 (1974) No. 12, p. 699/703.
6. Bus, J. I. Sies and M. S. F. Lie Ken Jie: ¹³C-NMR of double and triple bond carbon atoms of unsaturated fatty acid methyl esters. *Chem. Phys. Lipids* 18 (1977) 130/44.
7. Shapiro, Yu. E., A. V. Viktorov, V. I. Volkova et al: ¹³C NMR investigation of phospholipid membranes with the aid of shift reagents. *Chem. Phys. Lipids* 14 (1975) 227/32.
8. Shaw, T. M., and K. J. Palmer: Nuclear magnetic resonance adsorption in proteins. *Phys. Rev.* 83 (1951) 213.
9. Shaw, T. M., and R. H. Elksen: Investigation of proton magnetic resonance line width of sorbed water. *J. Chem. Phys.* 21 (1953) 565/66.
10. Berendsen, H. J.: Nuclear magnetic resonance study of collagen hydration. *J. Chem. Phys.* 36 (1962) 3297/3305.
11. Abezedarskaya, L. A., F. G. Miftakhutdinova, V. D. Fedotov et al: Proton relaxation in some protein solutions and gels. *Molecular Biology (New York)* Vol. 1 (1967) Nr. 4, pp. 381/90.
12. Kimmich, R., u. F. Noack: Zur Deutung der kernmagnetischen Relaxation in Proteinlösungen. *Z. Naturforsch.* 25a (1970) Nr. 11, S. 1680/84.
13. James, Th. L., and K. T. Gillen: Nuclear magnetic relaxation time and self-diffusion constant of water in hen egg white and yolk. *Biochem. Biophys. Acta* 286 (1972) 10/15.
14. McDonald, G. G., and J. M. Vanderkooi: Application of pulsed-gradient fourier transform nuclear magnetic resonance to the study of self-diffusion of phospholipid vesicles. *Biochem.* 14 (1975) 2125/7.
15. Wüthrich, K.: *NMR in biological research: Peptides and Proteins.* Amsterdam, New York: North-Holland Publ. Co. (1976).
16. Chernyshev, V. M., A. F. Babkin, T. N. Golovkina et al: Use of Nuclear Magnetic Proton Relaxation to Characteristic Deep Freezing of Food. (Original in Russian). *Cholodiln. Techn.* (1974) No. 4, p. 30/35.
17. Steffa, R. K., C. A. Blanck, E. Wierbicki et al: Application of nuclear magnetic resonance in meat research. *Food Res.* 24 (1959) 210/17.
18. Casey, J. C., and C. A. Miles: Determination of the fat content of meat using nuclear magnetic resonance. *J. Sci. Food Agric.* 25 (1974) 1151/61.
19. Nilsson, R., and K. Kolar: Rapid physical methods for the determination of the fat content in meat and meat products. (Original in Swedish). *Livsmedelsteknik* 16 (1974) No. 6, p. 258/62.
20. Hashimoto, T., K. Nukada, H. Shiina et al: On the structure of highly unsaturated fatty acids of fish oils by high resolution nuclear magnetic resonance spectral analysis. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 40 (1963) 124-28.
21. Sussman, M. V., and L. Chin: Liquid water in frozen tissue: study by nuclear magnetic resonance. *Science* 151 (1966) 324/25.
22. Suzuki, T., and M. Takeuchi: Examination of physical states of water in fish muscle by means of NMR (Original in Japanese). *J. of Food Sci. and Technol. (Japan)* 17 (1970) p. 110-12.
23. Kern, P., R. Sieber u. P. Rüst: Versuche zur Bestimmung des Fett- und Wassergehaltes in Käse unter Verwendung eines Kernresonanzgerätes für die Fettbestimmung. *Schweizerische Milchwirtschaftl. Forschung* 3 (1974) Nr. 1, S. 6/8.
24. Moiso, T., E. Timonen and M. Kreula: A rapid method for the determination of the dry matter and fat content of cheese and processed cheese. *Milchwissenschaft* 27 (1972) Nr. 2, S. 73/75.
25. Hester, R. E., and D. E. C. Quine: Quantitative analysis of food products by pulsed NMR. I. Rapid determination of water in skim milk powder and cottage cheese curds. *J. Food Technol.* 11 (1976) 331/39.
26. Palmer, K. J., and R. H. Elksen: Determination of water by nuclear magnetic resonance in hygroscopic materials containing soluble solids. *J. Agr. Food Chem.* 4 (1956) 165-67.
27. Berridge, N. J., E. Crean and P. B. Mansfield: Low resolution nuclear magnetic resonance in the determination of moisture in cheese curd. *J. Dairy Res* 37 (1970) 407/16.
28. Samuelsson, E. G., u. B. Hueg: Nuclear magnetic resonance (NMR) as a method for measuring the rate of solution of dried milk. *Milchwissenschaft* 28 (1973) Nr. 6, S. 329/32.
29. Nielsen, L. V.: Studies on the relationship between unsaturation and iodine value of butterfat by high resolution nuclear magnetic resonance (NMR). *Milchwissenschaft* 31 (1976) Nr. 10, S. 598/602.
30. Wood, F. W., M. F. Murphy and W. L. Dunkley: Influence of elevated polyunsaturated fatty acids on processing and physical properties of butter. *J. Dairy Sci.* 58 (1975) 839/45.
31. van Beresteyn, E. C. H.: Polymorphism in milk fat in relation to the solid/liquid ratio. *Neth. Milk. Dairy J.* 26 (1972) 117/30.
32. Walstra, P., and E. C. H. van Beresteyn: Crystallization of milk fat in the emulsified state. *Neth. Milk. Dairy J.* 29 (1975) 35/65.
33. Samuelsson, E. G., and J. Vikelsoe: Estimation of the amount of liquid fat in cream and butter by low resolution NMR. *Milchwissenschaft* 26 (1971) Nr. 10, S. 621/25.
34. Babkin, A. F., V. A. Matvejew, A. K. Avakumov et al: Instrumental effects on the determination of the solid fat content in milk fat by means of NMR (Original in Russian). *Pitschew. Technolog.* (1976) No. 6, p. 130/33.
35. Makarenko, W. L., A. D. Grischtschenko, A. K. Avakumov et al: Determination of solid and liquid phases in milk fat by means of the Pulse-NMR Method (Original in Russian). *Pitschew. Technol.* (1975) No. 1, p. 72/74.
36. Meriläinen, V., and A. Antila: Pulsed NMR for determination of the solid-liquid ratio in milk fat and butter (Original in Finnish). *Meljeriläiteellinen Aikakauskirja* 34 (1976) p. 117/35.
37. Jönsson, H., and K. Andersson: Study of the crystallization behaviour of butterfat with pulse NMR. *Milchwissenschaft* 31 (1976) Nr. 10, S. 593/98.
38. Chapman, D., R. E. Richards and R. W. Yorke: Liquid/solid content of fats. *Nature* 183 (1959) 44.
39. Chapman, D., R. E. Richards and R. W. Yorke: A nuclear magnetic resonance study of the liquid/solid content of margarine fat. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 37 (1960) 243/46.
40. Taylor, J. R., W. D. Pohle and R. L. Gregory: Measurement of solids in triglycerides using nuclear magnetic resonance spectroscopy. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 41 (1964) 177-80.
41. Pohle, W. D., J. R. Taylor and R. L. Gregory: A comparison of nuclear magnetic resonance and dilatometry for estimating solids content of fats and shortenings. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 42 (1965) 1075/78.
42. Pohle, W. D., and R. L. Gregory: Standardization of nuclear magnetic resonance measurement of solids in fats and shortenings. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 44 (1967) 397/99.
43. Bosin, W. A., and R. A. Marmor: The determination of the solids content of fats and oils by nuclear magnetic resonance. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 45 (1968) 335-37.
44. Walker, R. C., and W. A. Bosin: Comparison of SFI, DSC and NMR methods for determining solid-liquid ratios in fats. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 48 (1971) 50-53.
45. Mansfield, P. B.: A new wide-line NMR analyzer and its use in determining the solid-liquid ratio in fat samples. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 48 (1971) 4-6.
46. Haighton, A. J., L. F. Vermaas and C. den Hollander: Determination of the solid-liquid ratio of fats by wide-line nuclear magnetic resonance. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 48 (1971) 7/10.
47. Wettström, R. B.: Wide-line NMR for product and process control in fat industries. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 48 (1971) 15-17.
48. Mertens, W. G., and J. M. de Man: The influence of temperature treatment on solid-liquid ratios of fats determined by wide-line NMR. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 5 (1972) 77/81.
49. Swindells, C. E., and P. A. Ferguson: Measurement of the solids content of fats by nuclear magnetic resonance. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 5 (1972) 82/86.
50. Haighton, A. J., K. van Putte, and L. F. Vermaas: Determination of the solid contents of fats by wide-line nuclear magnetic resonance: The signal of liquid oils. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 49 (1972) 153/56.
51. Sambuc, E., et M. Naudet: Sur la détermination de la teneur en solide des graisses telles qu'elles et des margarines. *Rev. française des Corps Gras* 21 (1974) No. 5, p. 309/12.
52. Sambuc, E., and M. Naudet: Relation between practical rheological properties of margarines and physical characteristics of their fatty base. *Dechema-Monographien* 77 (1974) Nr. 1505/1536, S. 351/61.
53. van Putte, K., and J. van den Eenden: Pulse NMR as a quick method for the determination of the solid fat content in partially crystallized fats. *J. of Phys. E.: Sci. Instr.* 6 (1973) 910/12.
54. van Putte, K., and J. van den Eenden: Fully automated determination of solid fat content by pulsed NMR. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 51 (1974) 316/20.
55. van Putte, K., L. Vermaas, J. van den Eenden et al: Relations between pulsed NMR, wide-line NMR, and dilatometry. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 52 (1975) 179-81.
56. van Putte, K.: Puls NMR as a routine method in the fat and margarine industry. Part I-II. *Bruker Report* 4 (1974) Nr. 1, S. 5/6; 5 (1975) Nr. 1, S. 9/12.
57. McCarten, J.: Fettanalyse an Ausgangsstoffen zur Margarineherstellung. *Bruker Report* 3 (1973) Nr. 2, S. 5/6.
58. Weisser, H., Th. Lasar und M. Loncin: Bestimmung der festen und flüssigen Bestandteile des Palmöls in Abhängigkeit von den Kristallisationsbedingungen durch Messung der magnetischen Kernresonanz. *Fette, Seifen, Anstrichmittel* 77 (1975) Nr. 12, S. 480/86.
59. Geldner, G.: Untersuchungen von Fetten mittels Dilatometrie und kernmagnetischer Impulsspektroskopie. *Diplomarbeit Universität Karlsruhe* (1975).
60. Templeman, G. J.: Evaluation of several pulsed NMR techniques for solids-in-fat determination of commercial fats. *J. Food Sci.* 42 (1977) 432/35.
61. Suzuki, T., O. Kamo, H. Toyama et al: Determination of the solid fat and water content in margarine by means of high resolution NMR (Original in Japanese). *J. of Japan Oil Chemists' Soc. (Yukagaku)* 19 (1970) p. 1019-24.

62. Mansfield, P. B., and C. A. Horn: The determination of moisture in margarines: a comparison of results obtained by several methods including wide-line nuclear magnetic resonance. *J. Food Technol.* 7 (1972) 53/61.
63. Sambuc, E., G. Reymond et M. Naudet: Sur l'emploi de la résonance magnétique nucléaire à large bande pour l'étude de la consistance des margarines. *Rev. française des Corps Gras* 19 (1972) No. 10, p. 613/27.
64. Shanbhag, S., M. P. Steinberg and A. I. Nelson: Determination of oil in aqueous emulsion by wide-line NMR. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 48 (1971) 11/14.
65. Trumbetas, J., J. A. Fioriti and R. S. Sims: Application of pulsed NMR to fatty emulsions. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 53 (1976) 722/26.
66. Conway, T. F., and F. R. Earle: Nuclear magnetic resonance for determining oil content of seeds. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 40 (1963) 265/68.
67. Bauman, J. F., T. F. Conway and S. A. Watson: Inheritance of variations in oil content of individual corn (*Zea mays* L.) kernels. *Crop Sci.* 5 (1965) 137/38.
68. Alexander, D. E., L. Silveira, F. I. Collins et al: Analysis of oil content of maize by wide-line NMR. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 44 (1967) 555/58.
69. Collins, F. I., D. E. Alexander, R. C. Rodgers et al: Analysis of oil content of soybeans by wide-line NMR. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 44 (1967) 708/10.
70. Conway, T. F., and L. F. Johnson: Nuclear magnetic resonance measurement of oil "unsaturation" in single viable corn kernels. *Science* 164 (1969) 827/28.
71. Wolff, J. P., A. Karleskind et G. Valmalle: Dosage de l'huile dans les graines oléagineuses par résonance magnétique nucléaire. *Rev. française des Corps Gras* 17 (1970) No. 3, p. 165/71.
72. Conway, T. F.: A wide-line NMR R-F saturation method to measure fat in moist samples of defatted corn germ. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 48 (1971) 54/58.
73. Tolnay, L., and K. Tompa: Proton magnetic resonance studies on vegetable oils and seeds. *Acta Agronom. Sci. Hungaricae* 22 (1973) 55/58.
74. Madsen, E.: Nuclear magnetic resonance spectrometry as a quick method of determination of oil content in rapeseed. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 53 (1976) 467/69.
75. Tiwari, P. N., P. N. Gambhir and T. S. Rajan: Rapid and nondestructive determination of seed oil by pulsed nuclear magnetic resonance technique. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 51 (1974) 104/9.
76. Schtscherbakov, V. G., E. I. Kuptschenko and E. X. Aspiotis: Determination of the oil content in different seeds by the Spin Echo Method (Original in Russian) *Pist-schew. Technol.* (1973) No. 2, p. 122/24.
77. Schaefer, J., and E. O. Stejskal: Carbon-13 nuclear magnetic resonance measurement of oil composition in single viable soybeans. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 51 (1974) 210/13.
78. Shaw, T. M., R. H. Elsken and C. H. Kunsman: Moisture determination of foods by hydrogen nuclei magnetic resonance. *J. Assoc. Offic. Agr. Chemists* 36 (1953) 1070/76.
79. Conway, T. F., R. F. Cohee and R. J. Smith: NMR moisture analyser shows big potential. *Food Engng.* 29 (1957) 80/82.
80. Conway, T. F., R. F. Cohee and R. J. Smith: A new method of "moisture determination". *Mfg. Confectioner* 37 (1957) 27/34.
81. Rubin, H.: New tool for moisture analysis. Nuclear magnetic resonance. *Cereal Sci. Today* 3 (1958) 240/43.
82. Miller, B. S., and H. D. Kaslow: Determination of moisture by nuclear magnetic resonance and oven methods in wheat, flour, doughs and dried fruits. *Food Technol.* 17 (1963) 650/53.
83. Rollwitz, W. L.: Moisture measurements in various hygroscopic materials using nuclear magnetic resonance. In: A. Wexler: *Humidity and Moisture*. 4 vols. New York: Reinhold Publ. Co. (1965); particularly Vol. 2, pp. 137-47.
84. Hall, G. E., J. G. Lawrence and R. J. Simpson: Nuclear magnetic resonance as a method for continuously monitoring rehydration. *Nature* 216 (1967) 474/75.
85. Pohle, W. D., and R. L. Gregory: Application of wide-line NMR to analysis of cereal products and fats and oils. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 45 (1968) 775/77.
86. Simpson, R. J.: The use of nuclear magnetic resonance for the determination of moisture and liquid fat content. *Measurement and Control* 1 (1968) 82/83.
87. Rollwitz, W. L., and G. A. Persyn: On-stream NMR measurements and control. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 48 (1971) 59/66.
88. Brosio, E., F. Conti, C. Lintas et al: Moisture determination in starch-rich food products by pulsed nuclear magnetic resonance. Submitted to *Journ. of Food Technology*
89. Toledo, R., M. P. Steinberg and A. I. Nelson: Quantitative determination of bound water by NMR. *J. Food Sci.* 33 (1968) 315/17.
90. Shanbhag, S., M. P. Steinberg and A. I. Nelson: Bound water defined and determined at constant temperature by wide-line NMR. *J. Food Sci.* 35 (1970) 612/15.
91. Ogiwara, Y., H. Kubota, S. Hayashi et al: Temperature dependency of bound water of cellulose studied by a high-resolution NMR spectrometer. *J. of Applied Polymer Science* 14 (1970) 303/09.
92. Mousseri, J., M. P. Steinberg, A. I. Nelson et al: Bound water capacity of corn starch and its derivatives by NMR. *J. Fd. Sci.* 39 (1974) 114/16.
93. Steinberg, M. P., and H. Leung: Some applications of wide-line and pulsed NMR in investigations of water in foods. In: *Water relations of foods*. Int. Symp. Glasgow (Sept. 1974); R. B. Duckworth, London, New York, San Francisco: Academic Press (1975).
94. Leung, H. K., M. F. Steinberg, L. S. Wei and A. I. Nelson: Water binding of macromolecules determined by pulsed NMR. *J. Food Sci.* 41 (1976) 297/300.
95. Collison, A., and M. P. McDonald: Broadening of the water proton line in high-resolution nuclear magnetic resonance spectra of starch gels. *Nature* 186 (1960) 548-49.
96. Sterling, C., u. M. Masuzawa: Gel/water relationships in hydrophilic polymers: Nuclear magnetic resonance. *Makromol. Chemie* 116 (1968) 140/45.
97. Casu, B., G. G. Gallo, M. Reggiani et al: Applications of magnetic resonance spectroscopy of the hydroxyl protons to the analysis of starch-derived products. *Stärke* 20 (1968) 387-91.
98. Woessner, D. E., B. S. Snowden jr., and Y. C. Chiu: Pulsed NMR study of the temperature hysteresis in the agar-water system. *J. Coll. a. Interf. Sci.* 34 (1970) 283-89.
99. Woessner, D. E., and B. S. Snowden jr.: Pulsed NMR study of water in agar gels. *J. Coll. a. Interf. Sci.* 34 (1970) 290/99.
100. Fedotow, V. D., F. G. Miftachutdinova, Sch. F. Murtasin: Investigation of proton relaxation in live plant tissues by the spin echo method. *Biophysics* 14 (1969) 918-28.
101. Jaska, E.: Starch gelatinization as detected by proton magnetic resonance. *Cereal Chem.* 48 (1971) 437/444.
102. Wolarowitsch, M. P., N. I. Gamajunow and L. Ju. Wassilowa: Determinations of water adsorption by the Pulse NMR Spin-Echo Method (Original in Russian). *Kolloidnyl Schurnal (Colloid Journal)* 33 (1971) No. 6, p. 922-23.
103. Tait, M. J., S. Ablett and F. Franks: An NMR investigation of water in carbohydrate systems. *Water structure, Water Polymer Interface, Proc. Symp.* Editor: H. H. G. Jellinek. New York: Plenum Press 1972 (see p. 29-38).
104. Child, T. F., and N. G. Pryce: Steady-state and pulsed NMR studies of gelation in aqueous agarose. *Biopolymers* 11 (1972) 409-29.
105. Duckworth, R. B.: The properties of water around the surfaces of food colloids. *Proc. Inst. Food Sci. Techn.* 5 (1972) 60/67.
106. Duckworth, R. B., and C. E. Kelly: Studies of solution processes in hydrated starch and agar at low moisture levels using wide-line nuclear magnetic resonance. *J. Food Technol.* 8 (1973) 105/13.
107. Heger, R.: Sorptionsverhalten von Stärke und Dextrangel Sephadex unter Verwendung von Additiven im Bereich der Wasseraktivität von aw = 0,75 bis 1,0. *Diplomarbeit Universität Karlsruhe* (1974).
108. Fedin, E. I., V. G. Tsitsishvili, V. Ya. Grinberg et al: A study of dextran hydration in dilute, aqueous solution by the proton magnetic relaxation method. *J. Carbohydrate Research* 39 (1975) S. 193/99.
109. Lelievre, J., and J. Mitchell: A pulsed NMR study of some aspects of starch gelatinization. *Stärke* 27 (1975) 113/15.
110. Basler, W., u. H. Lechert: Kernresonanzuntersuchungen an Wasser in Stärkegelelen bei 295 K. *Stärke* 25 (1973) Nr. 9, S. 289/92.
111. Basler, W., u. H. Lechert: Diffusion von Wasser in Stärkegelelen. *Stärke* 26 (1974) Nr. 2, S. 39/42.
112. Hennig, H. J., u. H. Lechert: Messungen der magnetischen Relaxationszeiten der Protonen in nativen Stärken mit verschiedenen Wassergehalten. *Stärke* 26 (1974) Nr. 7, S. 232/37.
113. Hennig, H. J., H. Lechert u. B. Krische: Kernresonanzuntersuchungen zum Einfluß der technischen Aufarbeitung auf die Wasserbindungsfähigkeit von Kartoffelstärke. *Stärke* 27 (1975) Nr. 5, S. 151/54.
114. Hennig, H. J., H. Lechert u. W. Goemann: Untersuchung des Quellverhaltens von Stärke mit Hilfe der Kernresonanz-Impuls-Spektroskopie. *Stärke* 28 (1976) Nr. 1, S. 10/13.
115. Lechert, H.: Möglichkeiten und Grenzen der Kernresonanz-Impuls-Spektroskopie in der Anwendung auf Probleme der Stärkeforschung und Stärketechnologie. *Stärke* 28 (1976) Nr. 11, S. 369/73.
116. Hennig, H. J.: Kernmagnetische Resonanzuntersuchungen zur Rolle der Wasserbindung für die Struktur des nativen Stärkekorns. *Stärke* 29 (1977) Nr. 1, S. 1/4.
117. Voeller, W., V. Bilik und E. Breitmaier: Konfigurations- und Mutarotationseinflüsse auf die ¹³C-NMR Spektren einiger Disaccharide. *Coll. Czechoslov. Chem. Commun.* 38 (1973) S. 2054/71.
118. Oref, I.: Fat content and liquid-to-solid ratio of chocolate by wide-line nuclear magnetic resonance. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 42 (1965) 425/27.
119. Wiggall, P. H., A. D. Ince and E. Walker: The rapid determination of fat in chocolate and related products using low resolution nuclear magnetic resonance. *J. Food Technol.* 5 (1970) 353/62.
120. McCarten, J.: Determination of the fat content and solid-to-liquid ratio in cocoa products with the minispec p 20 NMR process analyser. *Prospekt der Fa. Bruker Physik*.
121. Messer, R.: Untersuchungen zur Wasserbindung an zerkleinertem Rohkaffee mit Hilfe der gepulsten NMR-Spektroskopie. *Diplomarbeit Universität Karlsruhe* (1977).
122. Anders, U., F. Tittgemeier u. G. Hailer: ¹H-NMR Bestimmung von Athanol in Wein, weinähnlichen Getränken und Spirituosen. *Z. Lebensm. Unters.-Forschung* 162 (1976) Nr. 1, S. 21/24.
123. Golovkin, N. A., I. P. Birjukow and A. F. Babkin: Investigation of foods with the aid of the Spin-Echo-NMR Method (Original in Russian). *Pist-schew. Technol.* (1972) No. 2, p. 160/63.
124. Mank, V. V., F. D. Ovtsharenko, E. G. Krotow et al: Determination of the behaviour of water in green beans at low temperatures using the NMR method (Original in Russian). *Pist-schew. Technol.* (1975) No. 1, p. 41/43.

7. Momentmetoden

Dan Gaffner började med att beskriva teorin bakom momentmetoden. Grundprincipen är att man har en stav vars två halvor i startögonblicket av försöket har olika fukthalt (ett steg i fukthaltsfördelningen längs med staven). När fukten sedan börjar jämma ut sig mäter man det genom att placera stavens ena ända på en våg och den andra på en egg.

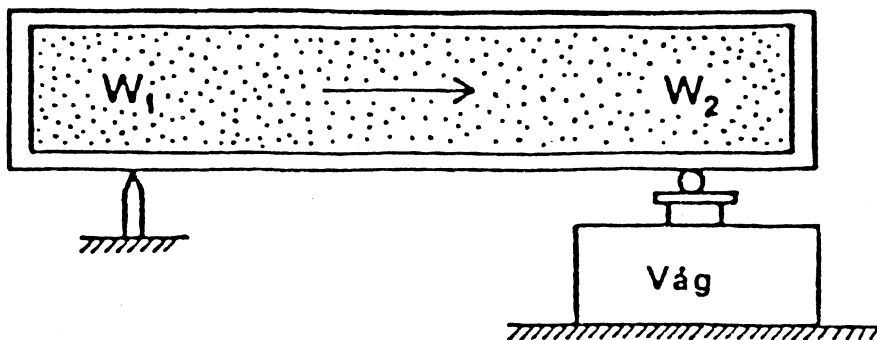
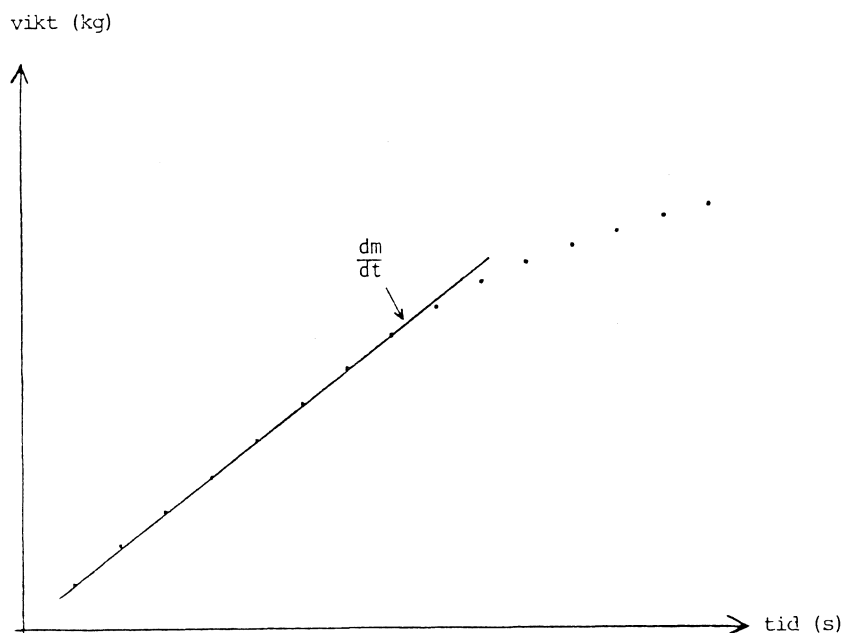


FIG.1 Vid momentmetoden innesluts en porös stav i ett metallrör. Staven har olika fuktkvot i ändarna, w_1 resp w_2 . En fuktvandring sker som registreras på vågen.

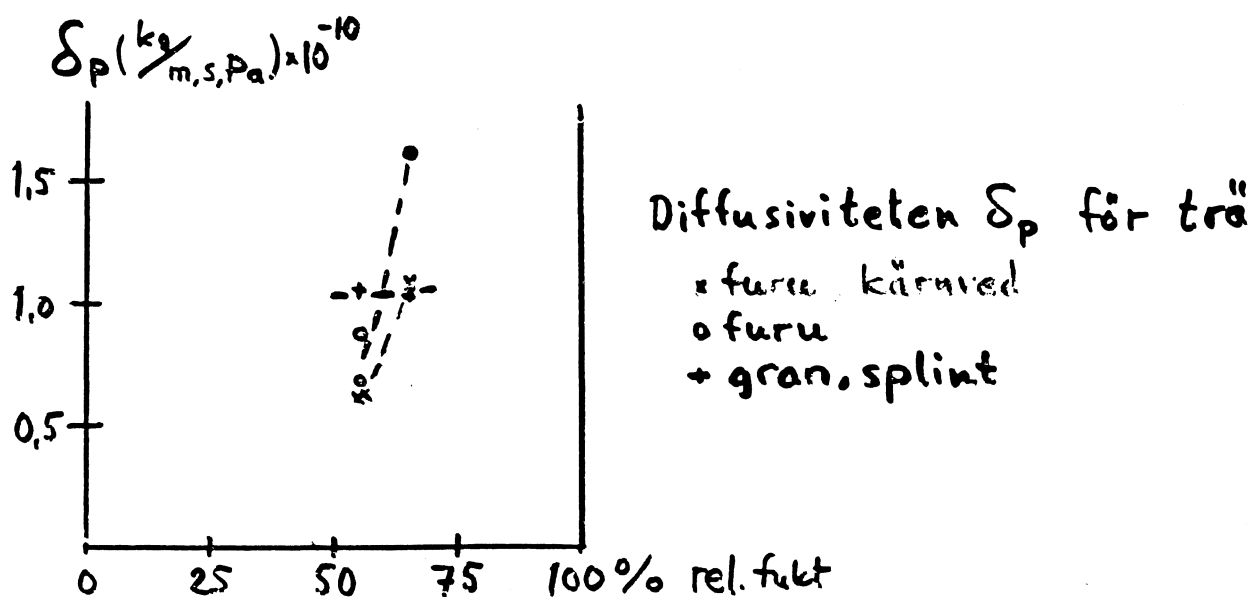
Viktsändringen på vågen blir en linjär funktion av tiden tills fuktändringen når stavens ändar; då böjer den av:



Håkan Håkansson visade oss sedan hur det hela går till praktiskt. Han tog en på längden skivad tegelstav och vände varannan bit för att få så jämn fuktfördelning som möjligt. Med en injektionsnål sprutade han sedan in vatten mellan plattorna på ena halvan av provet, slog in det i aluminiumfolie och stoppade det i en metallåda.

När han sedan lade upp provet på vågen kunde vi direkt se att vågens utslag sakta ökade. För att få så låg friktion som möjligt ligger numera staven på en egg på vågen och på en egg och luftkudde i andra ändan. Han visade även en variant där provkroppens ena ände var upphängd i taket.

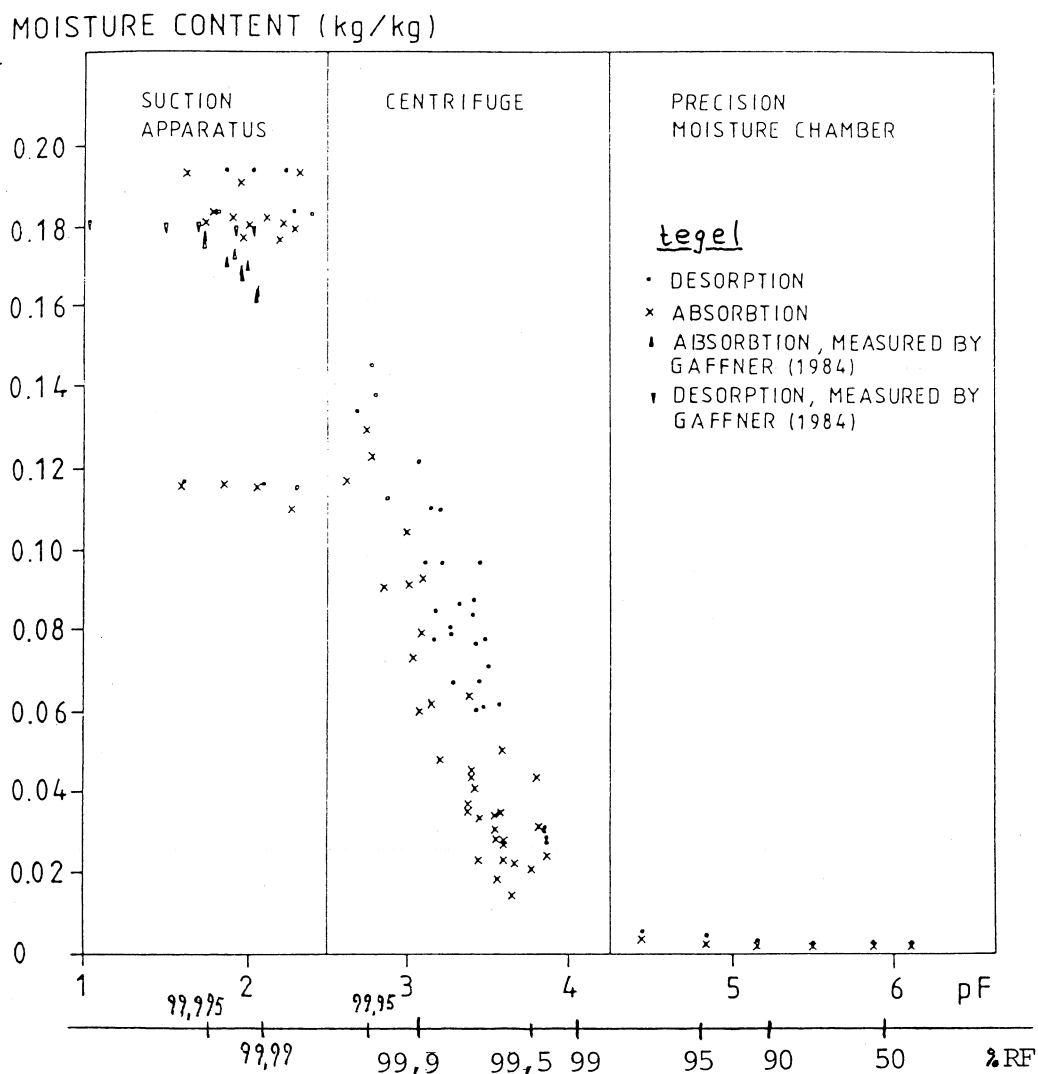
Några slaskförsök har även blivit utförda på trä. Resultatet visas nedan (observera enheten)



Trä är ett svårt material att prova. För att det skall gå snabbare har man därför delat upp en provstav i sex dubbla bitar, så att man kan säga att man sammanlagt kör sex försök och får ett medelvärde av dem.

Parallellt med momentmetodsförsöken bestämmer man även sorptionsisotermer (jämviktsfuktkurvor) med tre olika metoder: suctionapparat, centrifug och precisionsfuktkammare. Kurvan nedan är hämtad ur Ann-Charlotte Anderssons skrift (se nedan) och visar arbetsområdena för de tre ovan nämnda metoderna. "pF" är tiologaritmen för

porvattenundertrycket mätt i cm vattenpelare (gammal enhet!). Mot-
svarande axel för relativa fuktigheten är inlagd under. Man ser att
det finns mycket mellan 99 och 100% RF.



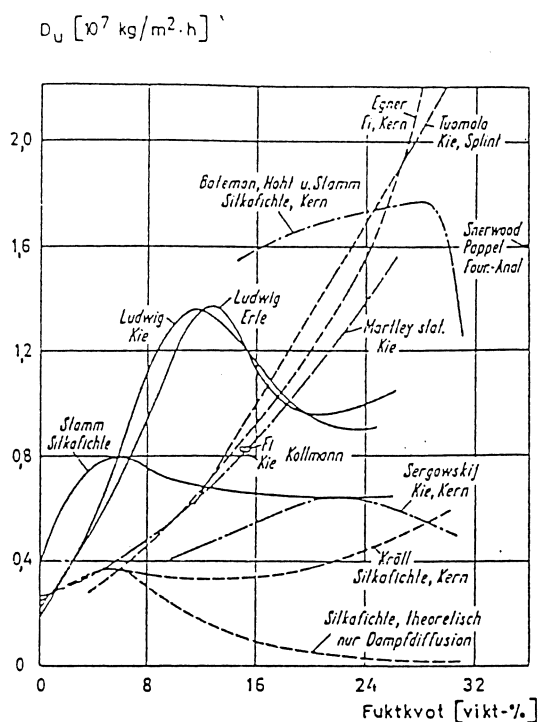
Att läsa

Momentmetoden är beskriven i "Fuktgruppens verksamhet 1984-87" och Dan kommer att närmare beskriva den i sin kommande avhandling.

De tre andra metoder är beskrivna i "Experimentell fuktforskning" (Adamsson och Gaffner, Byggnadskonstruktionslära-LTH BKL 1977:2) och "Verification of calculation methods for moisture transport in porous building materials" (Ann-Charlotte Andersson, Byggnadsforskningsrådet D6:1985).

8. Utvecklingen av dagens koppmetod

Niels Haldor Bertelsen berättade hur man hade utvecklat den koppmetod som bl a Liu Tong använder nu. Han började med att visa Küblers diagram från 1957 över olika forskares diffusionskoefficienter:



Hvad kan årsagen være til denna forskel? Kan det være:

- Forskellig målemetoder
- Unøjagtigheder mellem institutten
- Forskellige træarter
- Forskellig prøvefremstilling
- Variationer i det ydre klima.

De forskningsmässige udvikling igennem de senaste 10 år har försökt at besvare dette spørsmål. For at afklare fejlmuligheden ved målemetoden har man utvecklat en metod där man mäter med torkmedel i koppen och har limmat ihop trästavar för att få perfekta lock. Med denna metod mätte Niels diffusionskoefficienter på träbitar från en gran 1984, och metoden verkade bra.

Satte man ihop sorptionsisotermen och diffusionskoefficienten kunde man räkna ut fuktfördelningen i provet. Det visade sig att fördelningen var mycket ojämn.

Det visade sig även att olika tjocka provkroppar gav olika diffusionskurvor. Osäkerheten i mätresultaten gjorde dock att man inte kunde dra några ytterligare slutsatser utifrån detta.

Som en fortsättning på detta arbete har Boye vid Teknologisk Institut i Tåstrup mätt diffusionen på träprover från flera granar.

Niels har varit med på tre Nordtestprojekt om koppmetoden. I ett av dessa gjorde man ett "round robin test" med 12 mm fiberplatta, 40 μ m polyetenfolie och 0,8 mm tjärpapp som tio nordiska institutjoner fick mäta på. Av de resultat som inkom var 15% grova mätfel (eller felräkningar) och spridningen var stor även bland de andra mätningen. Slutsatsen blev att spridningen mellan resultaten från olika mätplatser är betydligt större än variationen mellan olika provkroppar av samma material. Det är alltså inte lätt att veta vad som är rätt.

Vid detta test användes både torr och våt kopp. Innuti den torra koppen är det torkmedel och i den våta koppen är det rent vatten. Man kan sedan variera den relativa fukthalten utanför koppen för att mäta i olika intervall.

Niels visade att det går att göra enkla uppskattningar av hur mycket olika felkällor bidrar till det totala osäkerheten. Han ansatte då att det totala felet var summan av kvadraterna på osäkerheterna i materialet, RF-nivåerna och testmetoden. Genom att ansätta värden på de andra tre kunde han visa att felet på grund av testmetoden tyvärr är stort, och i en del fall till och med den största felkällan.

Att läsa

Niels Haldor Bertelsen, "Litteraturstudie over målemetoder og modeller for fugttransport i træ", Teknisk rapport 112/82, Lab.for bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole, 1982

Niels Haldor Bertelsen, "Diffusionsmåling med kopmetoden på rødgran", Teknisk rapport 129/83, Lab.for bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole, 1983

Niels Haldor Bertelsen, "Fugttransport målt med kopmetoden - uddrag af nordtestrapport-samkalibrering", Teknologisk Institut, 1987

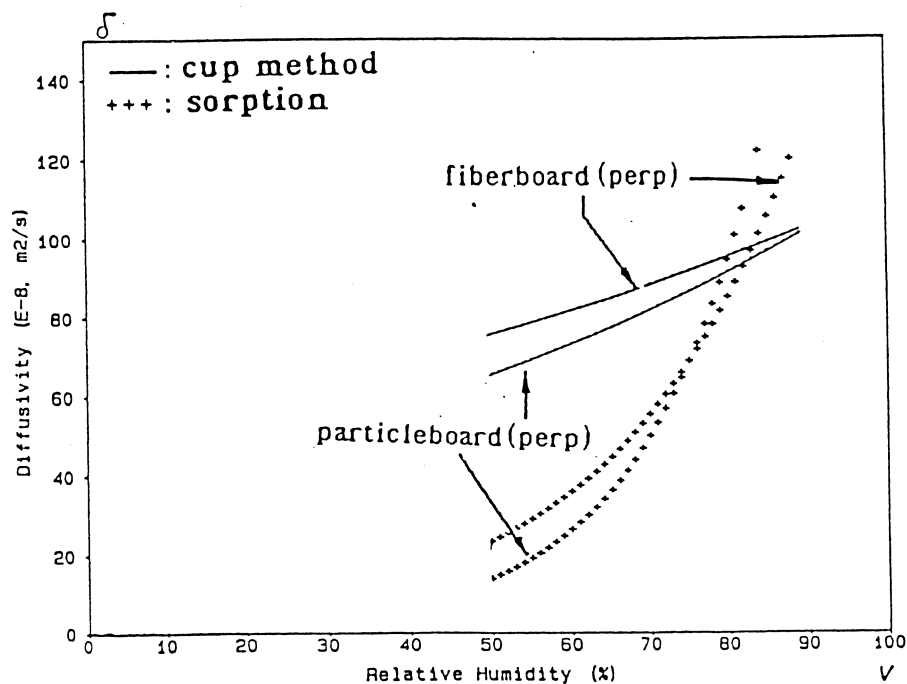
Kurt Kielsgaard Hansen och Niels Haldor Bertelsen, "Results of a water vapor transmission round robin test using cup methods".

9. Mätningar med kopp- och sorptionsmetoder

Liu Tong beskrev sina mätningar av diffusionskoefficienter i trä på Träteknik i Stockholm, och numera på Byggnadsmateriallära på KTH där han har fortsatt Barbro Svenssons arbete. De flesta mätningar görs med torra koppmetoden där det yttre klimatet hålls vid fyra olika RF-nivåer: 31%, 65%, 90% och 93%.

Vid beräkningen av diffusionskoefficienten som funktion av RF antar Tong att diffusionskoefficienten är en exponentialfunktion. Sorptionsisotermen beskrivs med hjälp av Hailwood-Horrobins formel.

Vid TTC har Tong gjort en jämförande studie av sorptionsmetoden och koppmetoden och kommit fram till att man inte får samma resultat med båda metoderna. Hans resultat liknar de som Comstock fick 1963:

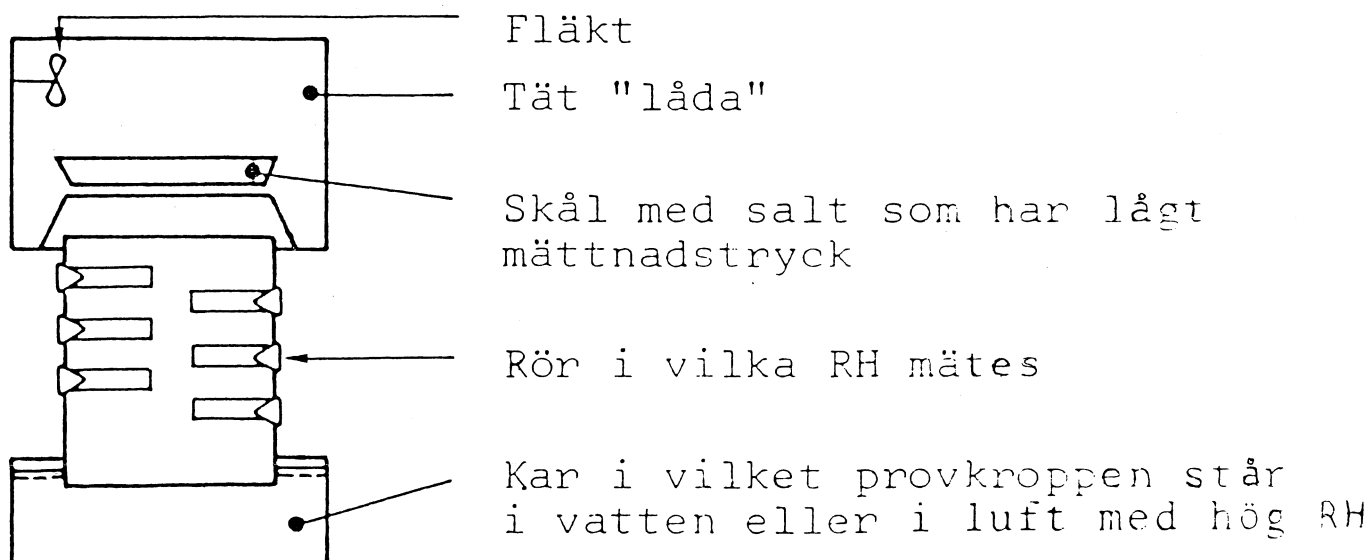


Den huvudsakliga skillnaden mellan sorptionsmetoden och koppmetoden är att den förra är transient, medan den senare är stationär. Kanske är det spänningsrelaxationer i samband med det transienta fuktförloppet som ger skillnaden i uppmätt diffusionskoefficient? Detta verkar vara något som ingen vet säkert.

Liu Tong anser att koppmetoden är enkel att använda jämfört med andra metoder. Man måste dock kompensera för resistanser inom koppen (luftskikt).

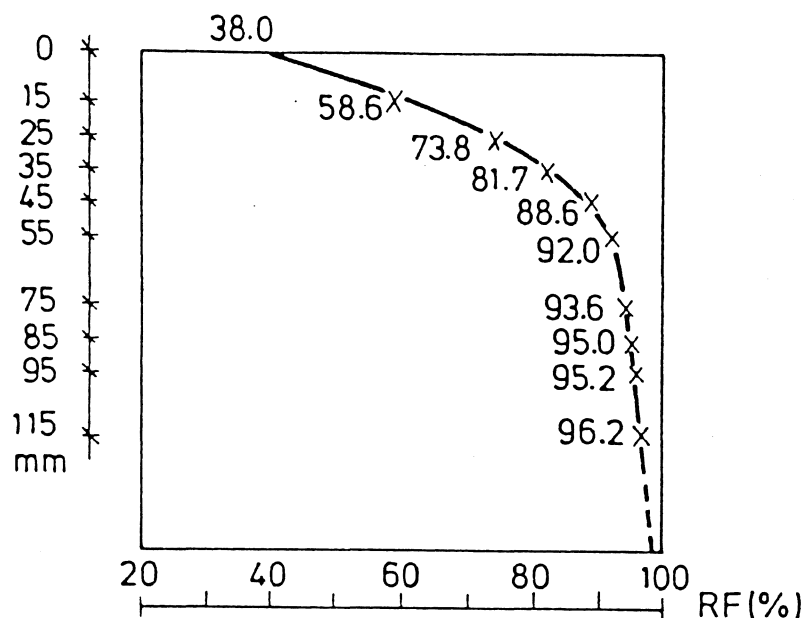
10. Bestämning av transportkoefficienter för betong

Göran Hedenblad visade oss sin omfattande försöksuppställning för att mäta diffusionskoefficienter på olika betongkvalitéer. Provkropparna som är 5, 10 eller 15 cm höga, står med underytan i vatten eller i kontakt med luft över en fri vattenyta. På ovansidan av provkropparna står det saltskålar som väges med jämna mellanrum. På så sätt kan man ta reda på flödet genom provkropparna samtidigt som man håller en konstant RF på ovansidan (33%). Figuren visar hur det ser ut:



Från sidorna in i provkropparna sitter det rör som är öppna mot betongen i ändan. De används för att mäta RF i jämvikt med betongen på olika nivåer i provkroppen. För mätningarna används Vaisala RF-givare, som kalibreras ungefär lika lång tid som de används för mätning. De är nämligen inte alls konstanta; särskilt inte om man skall göra så noggranna mätningar som Göran gör.

Nedan är en uppmätt fuktprofil i ett provstycke:



Göran presenterade också två rapporter som han har skrivit om saltinverkan på sorptionsisotermen och en handberäkningsmetod för fukt.

I den första rapporten visar han att det är omöjligt att få 100% RF i betong eftersom betongen innehåller salter som sänker RF några procent. Detta kanske är någonting att ta hänsyn till även för trä, om man tänker sig att mäta RF i jämvikt med fuktigt trä.

I den andra rapporten presenterar han en enkel handberäkningsmetod för stationära fuktprofiler. Metoden bygger på det som vi senare kom att höra Johan Claesson tala om (se kapitel 11), nämligen att det egentligen är en omväg att gå över diffusionskoefficienter. Det man ursprungligen mäter (i Görans fall RF-profiler och flöden) är mycket bättre att använda till att beräkna ett godtyckliga fukttillstånd.

Att läsa

"INVERKAN AV SALT PÅ JÄMVIKTISOTERMEN", Göran Hedenblad, TVBM-3031, Byggnadsmateriallära LTH 1988.

"BERÄKNING AV FUKTTILLSTÅND - ENKEL METOD FÖR PRAKTIKER", Göran Hedenblad, TVBM-3032, Byggnadsmateriallära LTH 1988

11. Något av det som sades vid den efterföljande diskussionen

Johan Claesson presenterade sin integrerade beskrivning av transportegenskaper. Han menade att man inte behövde räkna ut diffusionskoefficienter utan egentligen kunde använda mätvärdena direkt i fuktberäkningar. Om man använder på det vanliga sättet måste man nämligen derivera försöksresultatet så att man får diffusionskoefficienterna, och sedan integrera diffusionskoefficienterna varje gång man skall räkna ut t ex en fuktprofil. I någon mening är diffusionskoefficienten därför en metafysisk storhet: den mäts inte direkt och i någon mening så finns den då inte heller.

Fördelarna med att använda de integrerade värdena (egentligen mätresultaten) är flera. För det första introducerar man alltid fel om man skall räkna ut diffusionskoefficienterna. För det andra syns fel i mätningarna bättre om man använder de ursprungliga data, istället för att manipulera med dem. För det tredje blir beräkningar med dem mycket enklare (Johan gissade en faktor två snabbare på en dator).

Johan och Jesper Arfvidsson håller för närvarande på att utveckla program som skall använda detta (delvis) nya tänkesätt. Johan visade upp en handledning till det första färdiga programmet som behandlar endimensionella fuktförlopp utan inverkan från temperaturen. Programmet körs på PC.

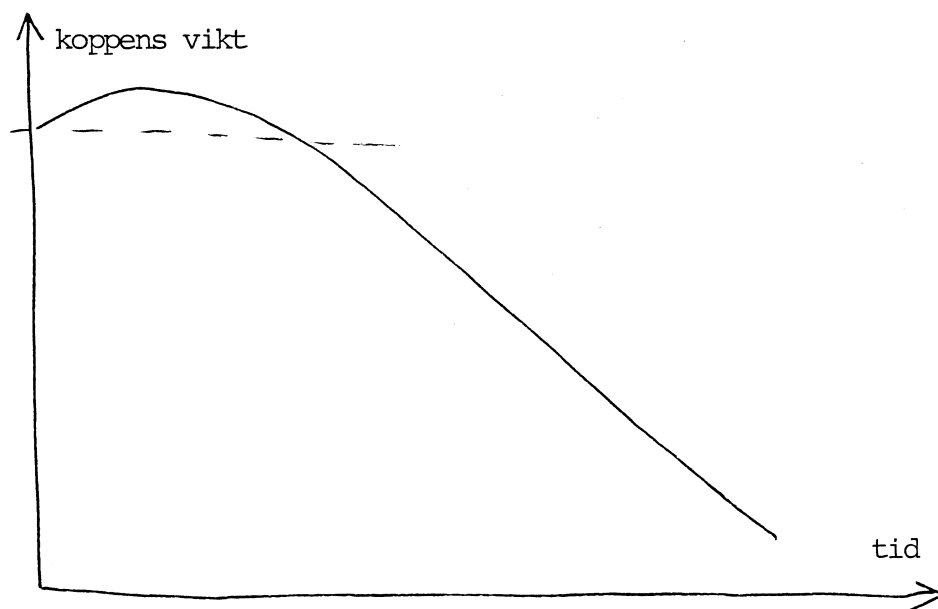
Detta första program är anpassat för indata från tre olika sorters försök: koppförsök, momentmetoden och RF-profilmetoden (Göran Hedenblad). Man kan också mata in rena data om man har sådana. Programmet kan även räkna ut diffusionskoefficienten om man vill ha den. Den kan ju trots allt vara bra ibland.

Nackdelar med metoden är att de gamla problemen kvarstår vid ränderna och att någon motsvarande förenkling inte finns för t ex samtidig fukt- och temperaturgradient.

Niels Haldor Bertelsen undrade hur man gjorde med mätfel. Johan sade att man fick pröva, t ex genom att sätta en mätpunkt fel och se hur mycket det ändrar resultatet.

Niels fortsatte men att säga att det sker en utveckling på mätområdet. Trots det fattas vi många data ännu. Han pekade på fyra huvudområden: beräkningar inklusive modeller, mätteknik, uppmätningar och datainsamling (databaser). Dessa får inte diskuteras var för sig.

Kurt Kielsgaard Hansen varnade för att t ex koppförsök kan visa en insvängning:



Johan Claesson påpekade att de snabba transienta förloppet i början kanske inte har samma transportkoefficient som de stationära förloppen. Det kanske inte är samma fysikaliska processer bakom. Initiell uppsugning av vatten skulle t ex kunna ses som ett våldsammt katastrofförlopp, som inte har några likheter med det lugnare efterföljande förloppet.

Niels Haldor Bertelsen påpekade att det inte hade blivit visat hur det är. Han tyckte att det var viktigt med samarbete mellan t ex beräkningsfolk och mätfolk. Området är numera så stort och komplicerat att ingen klarar av allt ensam. Därför måste man inrikta sig på en mindre del av området. Då är det viktigt att samarbeta.

Johan påpekade att man måste minska varje forskares område. Idag orkar en doktorand ofta inte komma längre än till det som redan är gjort.

Lars-Erik Nevander tyckte att man borde utnyttja kunskaper i materialfysik och materialkemi bättre. Henrik Lindberg har ju t ex arbetat med detta tidigare. Ingen verkar ju riktigt ha satt sig in i hur cellväggen verkligen fungerar.

Henrik beskrev några svårigheter med fuktransport i cellväggen. Bl a så finns det inhomogeniteter och en stor del av flödet kan förväntas ske på interna ytor. Den fria volymen (några procent) är

ungefär lika stor som hos plaster. Liksom hos dessa har cellulosa tvärbindingar av vätebindningstyp som måste brytas för att vattenmolekylerna skall kunna binda sig till cellulosa. Att förså hur detta fungerar är mycket svårt. Om man fyller träets hålrum med metall är det inte samma struktur som man studerar. Som en kommentar till Lars Wadsös undersökning om diffusion i cellväggen sade han att diffusionen är lägre i cellofan än i cellväggen eftersom cellofanen är förhållandevis homogen. Den kemiska strukturen bestämmer lösligheten. Man kan t ex studera polyamid som kan innehålla mycket vatten och bör vara studerat tidigare.

Lars-Erik Nevander frågade om man inte kunde förvänta sig hysteresfenomen om man ändrade fukthalten utanför den torra koppen så att man först sänkte den och sedan höjde den igen.

Henrik Lindberg sade att hysteres är helt naturligt, bl a för att sekundärbindningar måste spräckas först innan vattnet får tillgång till bindingsplatserna. Detta är dock inget som går att räkna ut. Det har med Gibbs fria energi att göra. Börjar man räkna på det är det troligen så svårt och teoretiskt att man ändå inte kan svara på frågan.

Lars-Erik påminde om vad som är syftet med träforskningen: att förhindra skador på trä. Idag är det problem med ytterfasader: de ruttnar på ett sätt som man inte tror att de har gjort förut. Det blir ju våldsamma fuktgradienter i ett 20 mm plank. Detta kan vi inte räkna på. Dessutom har vi ett samspel mellan färg och trä. Han tyckte att det är viktigare att veta vad vi får utsätta träet för, än hur själva transporten sker.

Hans Öqvist beskriv sin försöksuppställning på Ulltuna. Ett stort antal provkroppar med olika bakgrund och olika behandlingar, står exponerade utomhus i 45° vinkel. Några resultat är att

- Träskyddsolja släpper efter en tid
- Ändförsegling har stor betydelse för att stoppa fuktuppsugning
- Det är stora skillnader mellan kärna och splint (kärnan bäst!)
- Vissa vattenlagrade bitar suger mycket mer vatten. Troligtvis är de drabbade av fläckvisa angrepp av bakterier. Samma effekt märks om provkroppen är ändförseglad.