



FJÄRNVÄRMEUTVECKLING FVU AB
District Heating Development

FVU-FU--93-2

RAPPORT FU-93/2

1993-01-22

UTVECKLING AV EN FUKTINDIKATOR/FUKTMÄTARE MED STORT MÄTDJUP

Rolf Westin och Håkan Walletun

Postadress - Postal address
Fjärrvärmeutveckling FVU AB
S-611 82 NYKÖPING
SWEDEN

Telefon - Phone
Nat 0155-22 11 60
Int +46 155 22 11 60

Telefax
Nat 0155-26 30 58
Int +46 155 26 30 58

DEVELOPMENT OF AN INSTRUMENT FOR MEASURING MOISTURE DEEP INTO SOLID MATERIALS

Rolf Westin and Håkan Walletun
Fjärrvärmeutveckling FVU AB (District Heating Development)

FVU report no.: FU-93/2

SUMMARY

It is of value in some applications to be able to detect humidity rather deep into a solid material, for example when determining the moisture content in the frame of buildings, in insulation or in biofuels. Common to these measurement problems is that it is difficult to measure moisture in the bulk of a solid, in contrast to the surface layers.

In this report is described the principle and the functioning of an instrument to measure moisture at larger depths than other instruments that are available today. It is intended for use primarily on solid materials, not on gases or liquids. Field experience is also reported here.

The principle of the measuring technique is nuclear: we have utilized the ability of hydrogen atoms to moderate (or brake) high energy neutrons. If there is hydrogen in the sample, fast neutrons will interact with the hydrogen atoms and one may detect and count low energy, so called thermal neutrons. The intensity of the slow neutron flux is proportional to the water content, if one assumes that hydrogen atoms are water, i.e. moisture.

UTVECKLING AV EN FUKTINDIKATOR/FUKTMÄTARE MED STORT MÄTDJUP

Rolf Westin och Håkan Walletun

SAMMANFATTNING

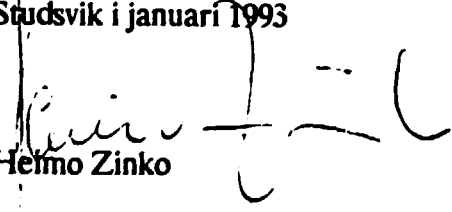
Denna rapport hänför sig till distributionstekniska branschforskningsprogrammet NUTEK beviljat till FVU med dnr 654 028-1 (1992).

I vissa tillämpningar kan det vara värdefullt att kunna detektera fukt som ligger relativt djupt in i fasta material. Som exempel kan nämnas bestämning av fukthalt i byggnadsstommar, isolering eller i biobränslen. Gemensamt för många av dessa mätproblem är svårigheten med att kunna mäta fukthalten i ett objekt och inte bara på dess yta.

I denna rapport beskrivs funktion och principiell uppbyggnad av en fukt-mätare, som kan indikera fukt på större mätdjup än vad som vanligen andra instrument klarar av. Instrumentet är i första hand avsedd för fasta material och inte för gas- eller väsketillämpningar. I rapporten redovisas även de första erfarenheterna från ett fältförsök.

Mätmetoden bygger på en nukleär teknik och utnyttjar fenomenet att väteatomer kan moderera, ("bromsa upp") högenergetiska neutroner. Dvs att om väteatomer finns i materialet, kommer snabba neutroner att kunna växelverka med dessa och man kan därefter mäta och påvisa lågenergetiska, termiska neutroner. Förekomsten av dessa är proportionell mot fukthalten, om man gör antagandet att väteatomer är detsamma som fukt, dvs vatten.

Stadsvik i januari 1993


Helmo Zinko

INNEHÅLL

	<u>Sid</u>	
1	BAKGRUND	4
2	FUKTMÄTNING MED HJÄLP AV NEUTONER	6
2.1	Fysikalisk beskrivning	6
2.2	Konstruktionsbeskrivning	7
2.3	Tillstånd för användande på fältet	8
3	MÄTMETOD	8
4	MÄTNINGAR	9
4.1	Mätningar i laboratoriet	9
4.2	Erfarenheter från ett fältförsök	11
4.3	Behov av fuktmätningar	12
5	SLUTSATSER	13
6	ERKÄNNANDEN	14
	REFERENSER OCH ÖVRIG LITTERATUR	14

1 BAKGRUND

I vissa tillämpningar kan det vara värdefullt att kunna detektera fukt som ligger relativt djupt in i fasta material. Som exempel kan nämnas bestämning av fukthalt i byggnadsstommar, isolering eller i biobränslen.

I äldre byggnader är det främst plana yttertak, badrumsbjälklag samt golv och väggar i källare som drabbas av fuktskador. Det kan t ex vara vid skadade vattenförande ledningar i bjälklaget eller vid åldrande tätskikt i golv och väggar som tillåter inläckage av grundvatten. I nybyggnation är problemet att kunna avgöra när fukthalten i byggnadskonstruktionen är nere på så låg nivå så att uttorkningen kan upphöra.

Olika typer av annan isolering än i byggnader, t ex isolering i fjärrvärmekulvert, undersöks idag vanligast med hjälp av provbitar som tas ut för efteranalys. Först vägs då provbiten med ursprunglig fukthalt. Därefter torkar man provbiten och väger sedan på nytt. Skillnaden i vikt anger fuktmängden. Metoden är relativt pålitlig, men omständlig och tidsödande vid stort antal prover. Metoden är inte heller oförstörande eftersom man måste göra ingrepp i kulverten.

Vid leveranskontroll av biobränslen utförs regelbundna fuktmätningar för att man skall kunna bestämma bränslets värmevärde. Liknande mätproblem finns också i flera tillämpningar inom processindustrin. Gemensamt för många av dessa mätproblem är svårigheten med att kunna mäta fukthalten i ett objekt och inte bara på dess yta. Mätmetoden skall dessutom i de flesta fall vara både snabb och oförstörande.

De instrument som idag används för fuktmätning i fasta material är oftast baserade på någon av följande principer, /ref 1/:

- *Luftfuktighetsmätare*

Används ibland för fuktindikering i byggnader. Fuktighetsmätaren registrerar då luftens relativa luftfuktighet invid bjälklagen. Metoden kräver håltagning i golvet för att kunna föras in i bjälklaget. Mätaren kan ej ge uppgift om mängden fukt eller dess fördelning.

- *Resistiva och kapacitiva fuktmätare*

Dessa fuktmätare baseras på förändringar i materialets elektriska impedans. En metod är att mäta förändringar i ledningsförmågan. Man skjuter då in två elektroder i materialet och registrerar preparatets resistans. Denna metod används används t ex vid fuktmätningar på trä och gips.

Med en annan metod kan man med två elektroder göra en kapacitiv mätning. Mätningen bygger då på egenskapen att vatten har en hög dielektricitetskonstant. Både resistiva och kapacitiva instrument kan kalibreras i procentandel fukt.

- *Mikrovågsmätare*

Principen bygger på att ett mikrovågsfält dämpas av fukt, vilket ger möjlighet till kvantitativ mätning i yt nära skikt. Mikrovågsmätare mäter fukthalten i materialet ned till som mest ett djup av 30 mm. Metoden är vanligen förekommande för mätningar på vätskor, men kan även fungera på homogena fasta material. Inom industrin används metoden ibland på tunna material som exempelvis papper och tyg.

- *Infraröds-instrument*

En typisk tillämpning inom industrin är att mäta fukthalt i fast material på ett transportband. En mätmetod är då att låta infrarött ljus reflekteras mot materialets yta och detekteras av en fotocell. Förändringar i reflektans innebär förändringar i fukthalt. Metoden fungerar inte på material med dåliga reflektansegenskaper som t ex kol.

Gemensamt för dessa mätmetoder är att ingen av dem har något större mätdjup. Det finns dock i många sammanhang behov av att kunna mäta fukthalten eller ibland bara påvisa förekomst av fukt längre in i materialen. Det finns därför ett behov av ett instrument eller en metod som klarar av mätning av djupt liggande fukt, d v s ett djup som överstiger 100 mm.

Efter en konkret förfrågan från fastighetsbranschen om en utrustning för att lokalisera fukt i byggnader, påbörjades utvecklingen av detta instrument.

2 FUKTMÄTNING MED HJÄLP AV NEUTRONER

2.1 Fysikalisk beskrivning

Instrumentutvecklingen initierades av en mätprincip som bl a används inom processindustrin för att kontrollera fukthalten i materialflöden, men även för fuktmätningar på plana tak /ref 2, 3, 4/. Metoden grundar sig på högenergetiska neutroners växelverkan med väteatomer och detektering av termiska neutroner.

I vårt fall används 1 mCi ^{252}Cf som neutronkälla. Källan har ett neutronflöde av $6 \cdot 10^6$ neutroner per sekund och där neutronerna har en typisk kinetisk energi av 0.1 MeV. Dessa högenergetiska, "snabba", neutroner från neutronkällan tränger in i det material som skall undersökas. Vid kollisioner med lätta element i materialet, förlorar neutronerna snabbt sin energi (till ca 0.03 eV) och blir då efter ett antal kollisioner "termiska". Detta betyder att neutronerna kommer i termisk jämvikt med molekylerna i det undersökta materialet och får då i genomsnitt samma kinetiska energi som dessa.

Det lättaste elementet av alla, väte, har en massa som är lika med neutronens och är därför synnerligen effektiv att moderera neutroner. Då vatten förekommer inne i ett material kommer neutronerna därför att växelverka med väte, förlora energi och då bli termiska. En del av dessa termiska neutroner sprids tillbaka till ytan, där de kan registreras av en lämplig detektor.

Ett Geiger-Muller-rör fungerar som neutrontetektor om gasfyllningens atomkärnor reagerar med neutroner och därefter avger joniserande strålning. Lämpliga gasfyllningar kan då vara borttrifluorid BF_3 eller heliumisotopen ^3He .

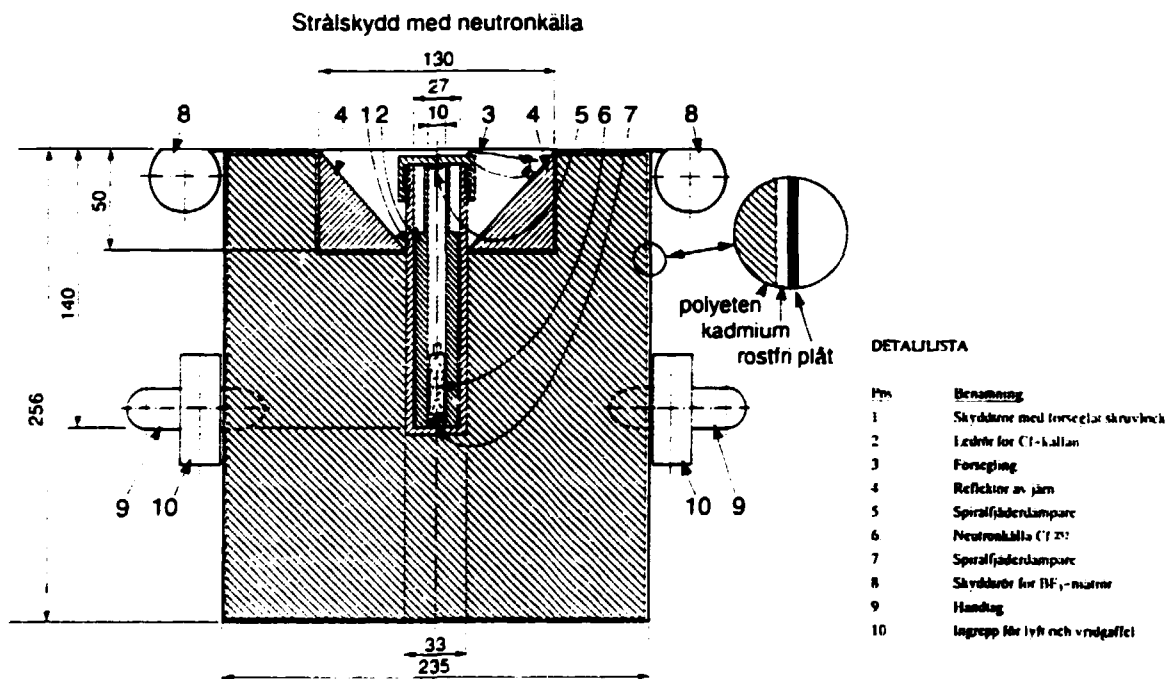
För att detektera de termiska neutronerna i vår tillämpning används BF_3 - fyllda jonisationskammare. En fördel med dessa mätrör är deras okänslighet för högenergetiska neutroner. D v s man kan med mätrören selektivt detektera enbart de termiska neutronerna. Konstruktionsmässigt innebär det att detektorrören kan monteras invid själva neutronkällan.

För signalregistrering och signalbehandling används en "FAG Digital Ratemeter FHT 1100" till vilken de två mätrören är anslutna. Instrumentet, som är ett standard instrument, möjliggör bl a inställning av olika diskriminatornivåer, kanalsummering, medelvärdesbildning och lagring av de 256 senaste utförda punktmätningarna.

Variationen av registrerade termiska neutroner är direkt proportionell mot variationen av fukt i den undersökta byggnadsdetaljen, om man gör antagandet att väteatomer är detsamma som fukt, d v s vatten. Om den undersökta detaljen däremot består av annat material som innehåller väteatomer, kommer detta att ge upphov till felaktiga resultat. Exempel på sådana material kan vara olika typer av plast.

2.2 Konstruktionsbeskrivning

Fjärrvärmeutveckling FVU AB har utvecklat 2 st prototyper av fuktmätare avsedda för ett maximalt mätdjup av ca 500 mm. I figur 1 visas konstruktionen av den senare av dessa (FIK 2.0).



Figur 1
Konstruktionsbeskrivning av fuktmätare FIK 2.0.

Mät huvudet består av en homogen polyetenkropp som samtidigt fungerar som strålskydd. I dess centrum är neutronkällan placerad i ett förseglat rostfritt rör. Vid mätning vänds strålskyddet och neutronkällan faller ned i mätposition centrerad mellan mätrören ca 15 mm över undersökt yta. Hela instrumentet är omslutet av rostfri plåt.

För att inte mätören skall registrera termiska neutroner som genererats redan i strålskyddets polyeten (som innehåller väte), är hela polyetenkroppen omgiven av 0.5 mm kadmiuplåt. Plåten stoppar upp och begränsar de termiska neutroner som bildats p g a kollisioner mellan strålkällans högenergetiska neutroner och väte i strålskyddets polyeten. Fuktmätarens känslighet för att detektera låga fukthalter är till viss del beroende på hur effektivt dessa neutroner stoppas.

2.3 Tillstånd för användande i fält

Fuktmätaren har undersökts och beviljats användartillstånd av Statens Strålskyddsinstitut, se bil 1.

3 MÄTMETOD

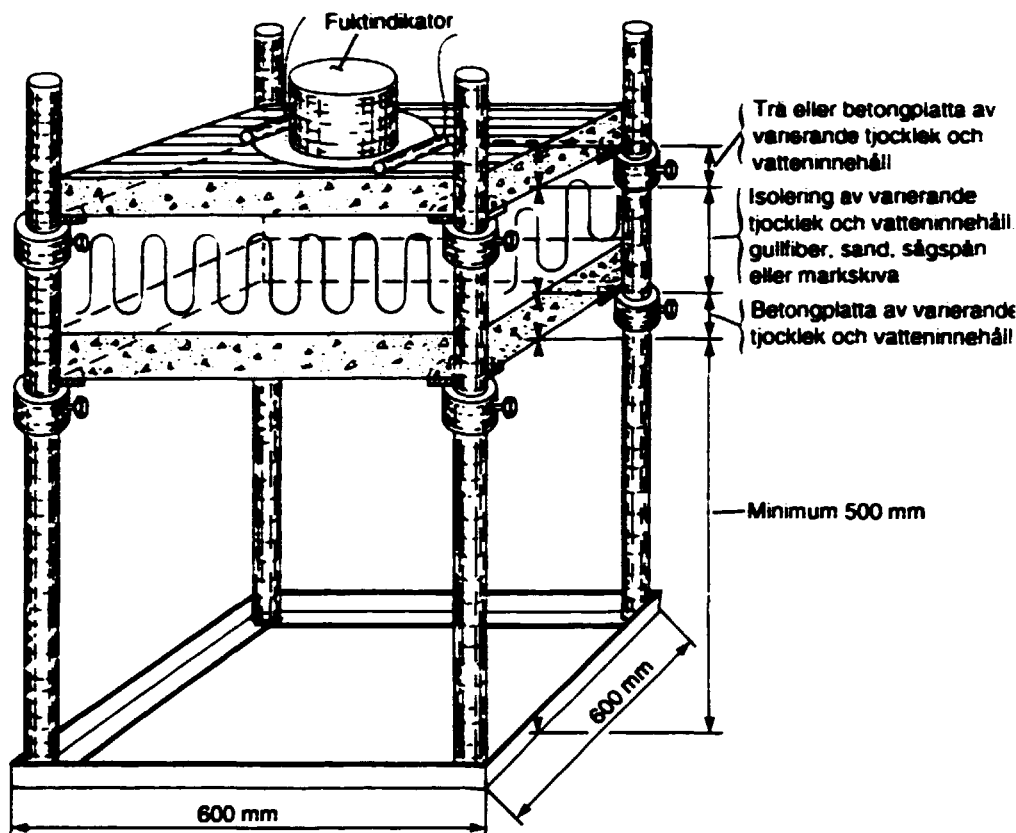
En tillämpad undersökning i fält av fuktvariationen eller fukthalten i tak, golv eller väggar sker punktvis. Mäthuvudet kan vinklas så att även vertikala väggar kan undersökas. När mätstället har bestämts placeras fuktmätaren i position på golv- eller väggytan under vilken fukthalten skall registreras. De termiska neutronerna räknas under valfri registreringstid, t ex 60 sekunder, och svaret ges som ett medelvärde av antal per sekund räknade termiska neutroner.

Tak, väggar och golv ofta har en given konstruktion och tjocklek i byggnader. Detta medför att antalet termiska neutroner som genererats av de grundämnen som ingår i byggnadskonstruktionen kommer att vara relativt konstant från mätpunkt till mätpunkt, och utgör då en noll- eller referensnivå.

Frågeställningen i byggnader förväntas dock främst vara att lokalisera var man har mest fukt och dess fördelning. En absolut fukthaltsbestämning är då av underordnad betydelse, men kan i andra sammanhang vara mycket värdefull, t ex för att bestämma fuktmängd i mineralullsisolering eller biobränsle.

För att kunna utföra en absolut fukthaltsbestämning krävs att man i sitt undersökningsobjekt har ett konditionerat (normalfuktigt) område att göra referensmätningar på. Inom FVU avser vi att bygga en kalibreringsfixtur där man har möjlighet att efterlikna aktuella byggnadsdetaljer vad gäller material och dimension, se figur 2. Undersökningar gjorda i denna fixtur med olika vattenhalter i byggnadsdetaljerna gör det möjligt att vid fältmätningen snabbt bestämma absolut fukthalt.

Mätnoggrannheten vid absoluta fukthaltsbestämningar kommer att bli beroende av hur väl vi kan efterlikna det fältmässiga mätproblemet i vår kalibreringsfixtur. Erfarenheter från kommande mätningar i fält och i lab. kommer att ge svar på den frågan. Vi tror dock att en noggrannhet som är bättre 10 % är fullt möjlig.



Figur 2

Beskrivning av kalibreringsfixtur för absolutbestämning av fukthalt i t ex bjälklagskonstruktioner.

4 MÄTNINGAR

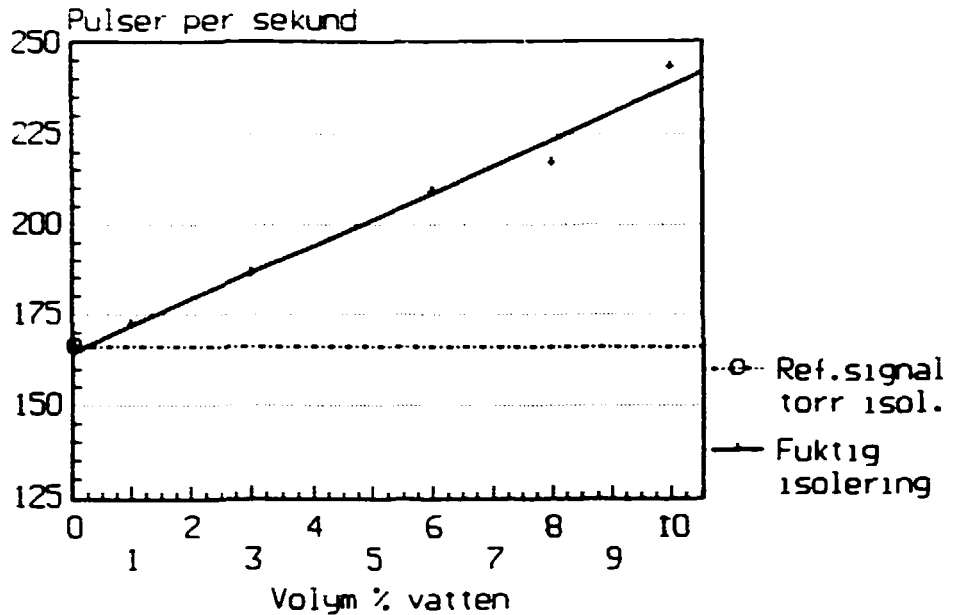
4.1 Mätningar i laboratoriet

Av figur 3 och 4 framgår det goda linjära sambandet mellan fukthalt och per tidsenhet räknade termiska neutroner. Resultaten har erhållits vid försök i laboratoriet med givna fukthalter i olika komponenter av ett bjälklagssegment.

Figur 3 visar resultaten från mätningar där en mineralullsisolering placerats under 45 mm betong. Isoleringen har på ett kontrollerat sätt genomfuktats till olika fukthalter och sedan undersökts. Neutronkäl-

lan som användes vid försöket var Pu-Be med en neutronemission av $2 \cdot 10^6$ neutroner per sekund. En större osäkerhet finns vid de högre fukthalterna och härrör sig då från ojämn fuktfördelning i provet.

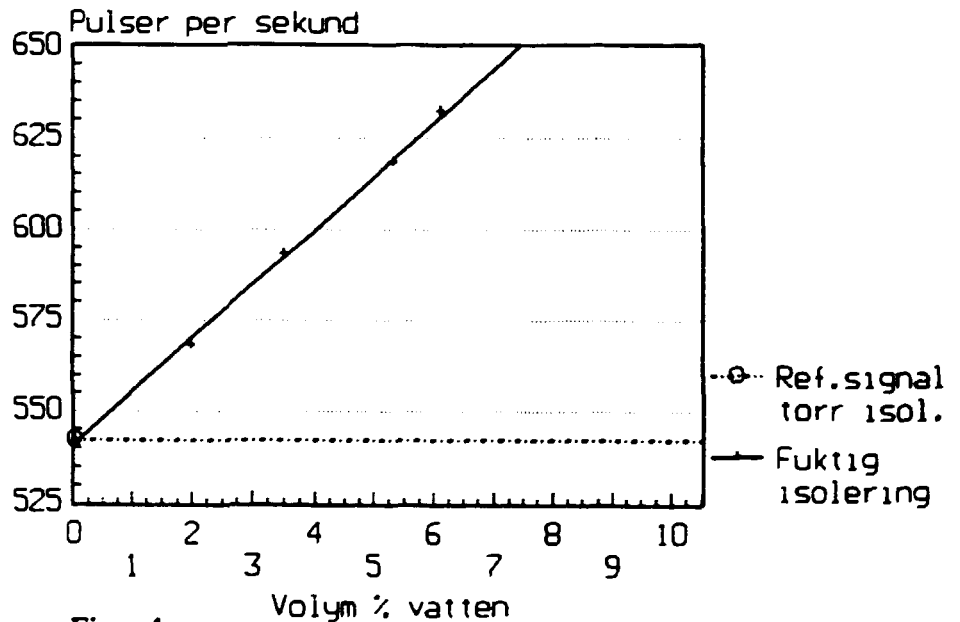
Fukthaltmatning med Pu-Be-källa.



Figur 3

Samband mellan fukthalt och registrerade pulser per sekund. (Neutronkälla Pu-Be, $2 \cdot 10^6$ neutroner per sekund.)

Fukthaltmatning med Cf-källa.



Figur 4

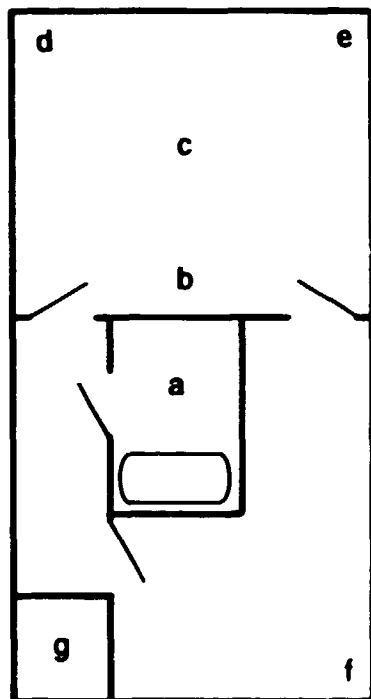
Samband mellan fukthalt och registrerade pulser per sekund. (Neutronkälla ^{252}Cf , $6 \cdot 10^6$ neutroner per sekund.)

I figur 4 visas resultaten från en upprepad mätning med mineralulls-isolering under 45 cm betong. Neutronkällan som användes vid detta försök var ^{252}Cf vilken har en neutronemission av $6 \cdot 10^6$ neutroner per sekund. Detta har resulterat i kurva med brantare lutning, d v s utrustningens känslighet har ökat.

Instrumentet ger således en möjlighet att snabbt kunna lokalisera fuktansamlingar och fuktgradienter i byggkomponenters hela tvärsnitt. Man kan även som figur 3 och 4 visar, bestämma absolut fukthalt om man har tillgång till en konditionerad (normalfuktig) del av sitt undersökningsmaterial som då blir referens.

4.2 Erfarenhet från ett fältförsök

Av AB Svenska Bostäder Vällingby fick FVU i uppdrag att demonstrera metoden i en vattenskadad enrumslägenhet i Vällingby. Figur 5 beskriver rumsfördelning i lägenheten och positioner för fuktmätning.



Mätpunkt	Medelvärde, antal pulser per sekund
a	760
b	634
c	633
d	650
e	457
f	372
g	405

Figur 5
Lägenhetsbeskrivning med mätpositioner.

Bjälklagets konstruktion var för vardagsrum: 20 mm parkett, 80 mm sand samt 150 mm betong. I övriga utrymmen var parketten ersatt med linoleum-matta och 20 mm betong under.

I badrumsbjälklaget lokaliserades mest vatten, i medeltal 760 pulser per sekund (punkt A). Från badrummet hade vattnet spritt sig i vardagsrumsbjälklaget där maximal vattenhalt lokaliserades i övre vänstra hörnet (mät punkt D). I mät punkt F (nedre högra hörnet) mättes den lägsta vattenhalten.

Om vi utgår från att bjälklaget i mät punkt F har en normal fuktighet, skulle mät punkt A innehålla omkring 24 vol-% vatten och i punkt D omkring 16 vol-% vatten. Om bjälklaget i F har högre fukthalt än normalt innebär det att vattenhalten höjs någon procent i punkterna A och D.

I mätpunkterna B och F borrades hål i golvet så att en mätare för relativ luftfuktighet kunde föras in i bjälklaget och mäta dess luftfuktighet. I mät punkt B uppmättes 93 % relativ luftfuktighet och i punkt F 91 % relativ luftfuktighet. Uppenbarligen är den metoden föga användbar när det gäller lokalisera och bedöma mängden vatten. Med vår fuktmätare uppmättes minst 15 vol-% skillnad i vatteninnehållet mellan mätpunkterna F och B.

4.3 Behov av fuktmätningar

- *Äldre byggnation*

Målgruppen är främst bostadbolag och fastighetsförvaltningar. Behov finns där av att kunna lokalisera vatteninträngning i plana tak och fukt i golvbjälklag. Vidare finns behov av att kunna lokalisera fukt i källargolv, källarväggar, grundplatta och i kapillärbrytande skikt under grundplattan. Mätinsatsen behöver ofta ske akut.

- *Nybyggnation*

Här är målgruppen bygg- och entreprenadföretag samt kontrollanter. Hos dessa finns behov av att veta när betongen har en accepterbar fuktnivå. Stora ekonomiska värden står på spel och rena hälso- och mögelproblem kan uppstå om man lägger mattor på betongen för tidigt.

- *Industri och transport*

I flera fall finns behov av fukthaltsbestämningar. Som exempel kan nämnas leveranskontroll av biobränslen och sågade träprodukter. Vidare i bärlager vid vägbyggen, broar och dammar. Även flygsektorn har visat intresse för mätmetoden. Man har där ett behov av att kunna bestämma fukthalt i flygplansisolering.

Gemensamt för dessa är behovet av en metod som är snabb, oförstörande, pålitlig och lättanvänd. FVU har idag en metod som med utvecklingsarbete har goda möjligheter att uppfylla dessa krav.

5 SLUTSATSER

Ett instrument för fuktmätning har konstruerats baserat på en nukleär teknik som utnyttjar fenomenet att högenergetiska neutroner växelverkar med väteatomer. Instrumentet och mätmetoden har vid undersökningar i laboratoriet visat reproducerbara och pålitliga resultat. Sambandet mellan fukthalt och antal registrerade termiska neutroner per sekund är helt linjärt.

Den nuvarande instrumentprototypen klarar i de flesta tillämpningar att bestämma en fukthalt av minst 1 vol-%. För att kunna utföra absolutbestämningar av fukthalt i ett material, krävs att man har tillgång till en kalibreringsfixtur där mätproblemet kan ges ett referensvärde under kontrollerade former.

Metoden fungerar för alla fasta material som inte innehåller väteatomer. Detta innebär att metoden t ex kan användas på äldre typer av fjärrvärmerör som innehåller asbestcement eller mineralullsisolering. När det gäller kulvert med PUR-skum försvåras mätningarna på grund av väteinnehållet i isoleringen. Det är dock möjligt att även där göra fuktbestämningar om man har tillgång till ett lämpligt ursprungs- och referensmaterial.

Marknaden efterlyser ett instrument för fukthaltsbestämning som är snabbt, oförstörande, pålitligt och lättanvänt. FVU har idag en metod och en instrumentprototyp som med utvecklingsarbete har goda möjligheter att kunna uppfylla dessa krav.

6 ERKÄNNANDEN

Huvuddelen av de mekaniska konstruktionerna, lösningarna och modifieringarna har gjorts av Ingemar Lundquist vid Fjärrvärmeutveckling FVU AB.

För värdefulla synpunkter och generös support under projektet gång riktas ett tack till Lennart Swansson, Lennart Wärme, Björn Rosencrantz, Bengt Rosendahl och Göran Warenmo vid Studsvik Instrument AB.

REFERENSER OCH ÖVRIG LITTERATUR

1. NOLTINGK, B.E.
Jones' Instrument Technology, vol. 2.
Butterworths, 1985.
2. HIGUCHI, H.T.
Neutron Gauging for the detection and measurement of water leakage in reinforced concrete roofs.
Masters Thesis, Royal Military Collage of Canada 1980.
3. BOIVIN, H.W. and THORP, C.J.
Design of a neutron gauge for the detection and measurement of water ingress in flat roofs.
Nuclear Technology, vol 95, sept 1991.
4. ROZA, S.
Nuclear measurements in industry.
Elsevier, 1989.
5. STAFFANSSON, E.
Fysik - Elektronikhöljen och atomkärnor.
Akademiförlaget, 1966.



1992-11-13

Enheten för röntgen
och radioaktiva ämnen

Sign 

D/Dnr 543/1811/92
Aktnr Ct-7068/1

T I L L S T A N D S B E V I S

Statens strålskyddsinstitut meddelar härmed tillstånd enligt 20§ strålskyddslagen (SFS 1988:220) för nedan angiven verksamhet

Tillståndsnummer: Ct-7068/1

Tillståndsdatum: 1992-11-11 Giltigt t o m: -

Tillståndshavare: Fjärrvärmeutveckling FVU AB
611 82 NYKÖPING

Tillståndet avser: Max 50 megabecquerel (MBq) av det radioaktiva ämnet californium-252 (Cf-252) ingående i en fukthaltsmätare av fabrikat Studsvik AB, Sverige med typbeteckning FIK2.0

Tillståndet omfattar: Förvärv, innehav, transport och användning av ovanstående mätare. Import av utbytesstrålkällor till ovanstående mätare.

Villkor för tillståndet:

- 1 Bifogade strålskyddsvillkor C-438 skall följas.
- 2 Endast tillståndshavarens strålskyddsutbildade personal får hantera mätaren.
- 3 Uppehållstiden för personal på 1 meters avstånd från mätaren får inte överstiga 10 timmar per vecka. (Personal får dock vara närmare under kortare moment för att hantera mätaren).
- 4 Personal skall bära persondosmätare och doserna skall journalföras.
- 5 Mätaren skall hanteras och förvaras utom räckhåll för allmänheten.

För Statens strålskyddsinstitut


Gunilla Hellström


/Tord Larsson