

STATENS NÄMND FÖR BYGGNADSFORSKNING

— **SNB** —

Särtryck 6:1958

Forskning om fukt
i byggnadsmaterial

av *Erik Saare*

STOCKHOLM 1958

Forskning om fukt i byggnadsmaterial

**Moisture Movement in Building Materials
with a Summary in English**

by

av

Fil. lic. Erik Saare

Forskning om fukt i byggnadsmaterial

Fil. lic. Erik Saare, Stockholm

Fuktforskningens mål inom byggnadsbranschen är att utveckla material och konstruktioner så att de icke tar skada av fukt. Genom teoretiska studier och laboratorieförsök söker man utröna lagbundenheter och materialegenskaper som man kan tillämpa för att beräkna förhållandena i byggnadskonstruktioner, som utsättes för fukt till följd av klimatet eller byggnadens drift. I konstruktioner väljer man sådana dimensioner och materialkombinationer som enligt beräkningarna icke ger anledning till skadliga fuktansamlingar. Om resultatet av en dylik fuktberäkning för en viss byggnadskonstruktion enligt nu använda approximativa metoder jämförs med det verkliga resultatet sedan byggnaden varit i drift, visar det sig emellertid alltför ofta att verkligheten icke bestyrker de teoretiska beräkningarna.

Överdimensionerade värmeisoleringar, fuktspärrar och ventilationssystem gör sig däremot endast märkbara som engångsföreteelser i form av höjda byggnadskostnader. Har dessa en gång blivit godtagna, får konstruktören ej några efterräkningar. Det ligger därför nära till hands att en kunnig och erfaren konstruktör hellre överdimensionerar än tar risken av eventuella fuktskador. Den mindre kunnige och erfarne betraktar fuktproblemet som en dimensionerande faktor av sekundär betydelse och hoppas att konstruktionen skall klara sig från fuktskador. Tyvärr förekommer det ofta att dessa förhoppningar icke infrias.

Jämförs dessa konstruktionsmetoder med t.ex. hållfasthetsberäkningar, där brottsäkerhetsfaktorn i de flesta fall kan beräknas med en godtagbar statistisk noggrannhet, förefaller fuktberäkningarna däremot ytterst otillfredsställande.

Ser man på de ekonomiska konsekvenserna innebär osäkerheten i byggnadernas fuktbeständighet merkostnader dels för överdimensionering av konstruktioner, dels för drift, underhåll och reparationer. Kostnaderna för underhåll och reparationer kan ofta ta sådana proportioner att de allvarligt hotar hela drifts-ekonomin. Vad fuktskadorna betyder i årliga

reparationskostnader för byggnadsbranschen i Sverige kan icke beräknas på grund av att inventeringsmaterialet är alltför ofullständigt. De kan uppskattas till 50—100 Mkr/år.

En analys av fuktskador försvåras ofta till följd av alltför summariska benämningar och approximationer vid definieringen av försöksvillkor samt vid värdering och tillämpning av erhållna resultat. I det följande lämnas därför en kort beskrivning av de primära processer som uppträder vid fuktrörelser i byggnadsmaterial, och i anslutning till dessa redogöres för nyare arbeten och åsikter.

Sorption

En sorptionsisoterm anger den fuktmängd som ett byggnadsmaterial binder vid konstant temperatur och olika partialtryck hos vattenångan. Vid låga ångtryck antas fuktupptagningen ske genom en molekylskiktvis adsorption vid samtliga för vattenånga tillgängliga ytor. Denna övergår vid högre ångtryck till kapillärkondensation i materialets porer¹. Sorptionskurvor visar en hysteresiseffekt vid fuktupptagnings- och torkningsprocessen, dvs. adsorption och desorption. Anges den av materialet i fråga upptagna fuktmängden som funktion av luftens relativa fuktighet, införs samtidigt i viss omfattning temperaturens inverkan i sambandet. Detta innebär att sorptionsisotermer kan tillämpas med godtagbar noggrannhet inom ett temperaturområde av $\pm 5^\circ\text{C}$ från den temperatur vid vilken försök har utförts. Är materialet utsatt för avsevärt högre temperaturer än konventionell rumstemperatur bör bestämning av sorptionsisotermer utföras vid dessa temperaturer.

Den ur vattenångan upptagna fukthalten anges som kvot av den genom torkning i luftade torkskåp vid 105 resp. 110°C bestämda fuktmängden och materialets torra vikt. Materialet betecknas konventionellt såsom "absolut torr" när det under torkningsprocessen har nått konstant vikt.

Det fysikalisk-kemiska och termodynamiska förloppet av sorption i kapillärporösa material

är ännu icke känt i alla detaljer, och tolkningar av sorptionsisotermer för andra ändamål än fuktjämvikter bör därför behandlas med en viss reservation. Malmquist har t.ex. påpekat, att vid tolkning av sorptionsisotermer bör särskild uppmärksamhet ägnas åt svällnings- och krympningsfenomenen i materialets porer²⁰.

Flera nya byggnadsmaterial, för vilka sorptionsisotermerna icke är kända, har kommit till användning under de senaste åren. Johanssons och Perssons försöksapparat³, som har modifierats och förbättrats av Jespersen⁴, kan anses vara tillfredsställande även för framtida behov. Vid bestämning av sorptionsisotermer kan hysteresiseffekten minskas och inställningstiden för jämviktsslagen förkortas med ett oscillerande vattenångtryck, som åstadkommes genom några graders påtvingade temperatursvängningar under försökets gång.

Diffusion

Ett förenklat sätt att beskriva fuktrörelsen i porösa material är att betrakta den såsom bestående av två komponenter — diffusion av vattenånga och kapillär transport av vatten.

Består en fuktrörelse enbart av vattenångans diffusion, kan den diffunderande mängden vattenånga vid ett stationärt diffusionstillstånd beräknas enligt Newtons eller Stefans diffusionslag. Lagen har sin giltighet även för diffusionen genom porösa material under förutsättning att de diffunderande molekylerna icke reagerar med porernas väggar och att porerna icke är mindre än molekylernas fria medelväglängd. Är porerna mindre än molekylernas fria medelväglängd kan den diffunderande mängden vattenånga beräknas enligt Knudsens diffusionslag².

Vid vattenångans passage genom ett poröst material uppträder emellertid i verkligheten huvudsakligen tre former av molekyltransport: diffusion enligt Stefan, diffusion enligt Knudsen och molekyltransport i kapillärer och i adsorberade vattenfilmer längs porväggarna. Det sistnämnda transportsättet är egentligen en transport av vattenmolekyler i vätskefasen och borde därför behandlas separat såsom kapillär transport av vatten.

Av ryska forskare⁵⁻⁷ har framförts bl.a. att vattenångans rörelse genom kapillärporösa material där temperaturfall råder, bör behandlas såsom en relativ termodiffusion. Den fuktiga luften kan nämligen betraktas som en blandning bestående av kväve (N_2 med molvikten 28), syre (O_2 med molvikten 32) och vattenånga (H_2O med molvikten 18).

På grund av temperaturgradienten uppstår konvektionsströmmar, varvid de yngre gaserna, kväve och syre, anrikas i den kallare delen av det kapillärporösa materialet och vattenången i den varmare delen. Fenomenet, som kallas relativ termodiffusion, motverkar sålunda vattenångans rörelse i värmeströmmens riktning. Lykovs försök med lera har visat att termodiffusionskoefficienten vid låga fukthal-

ter t.o.m. kan bli negativa, dvs. att fukten i form av vattenånga diffunderar i riktning mot värmeströmmen⁵.

Vid beräkning av fuktrörelser i byggnadskonstruktioner där högpörösa värmeisoleringar förekommer och temperaturgradienterna i vissa fall kan uppgå till 2—4°C/cm bör hänsyn tas även till den relativa termodiffusionen.

Problemet kan i allmänhet förenklas genom att ett nytt begrepp — permeabilitet eller genomsläpplighet — införs, varmed menas den mängd vattenånga som på grund av samverkan mellan de olika sätten för molekyltransport passerar ett material av given tjocklek per ytenhet, tidsenhet och vattenångans tryckdifferensenheter.

Till skillnad mot diffusion är permeabilitet ett materialkaraktistikum som är beroende av den provade skiktjockleken, försökstemperaturen och det absoluta vattenångtrycket. Observeras bör att molekyltransporten i kapillärer och i adsorberade vattenfilmer är i hög grad beroende av temperaturen och vattenångans absoluta tryck⁸⁻¹². Diffusionen beror däremot i första hand på tryckgradienten. Med hänsynstagande till försöksbetingelserna kan permeabiliteten inom vissa temperatur- och ångtrycksdifferenser betraktas som en materialkonstant och dess reciproka värde kallas oftast populärt för diffusionsmotstånd, diffusionsstäthet m.m.

För bestämning av genomsläppligheten för vattenånga hos byggnadspapp används standardiserade förfaranden, torr-box och våt-box. En nackdel med dessa är att försöksproceduren är något omständlig.

Joy har beskrivit en apparat med vilken vattenångans genomsläpplighet bestäms, nämligen permeometern⁸. Jämförande försök med permeometern och den konventionella torr-boxen visar god överensstämmelse. Permeometerns fördelar är att ångtrycket relativt lätt kan ändras för olika tryckdifferenser och att försökstiden avsevärt förkortas (fyra timmar i stället för en vecka!). Vidare har Joy¹⁰ beskrivit en "Banjo cell", som är betydligt enklare än permeometern och som med fördel kan användas för att bestämma vattenångans permeabilitet genom olika byggnadsmaterial.

För byggnadsmaterial såsom tegel och lättbetong anges i litteraturen oftast diffusionsmotstånd eller diffusionstal för vattenånga. Dessa tal är beräknade ur försöksvärden som anger en summarisk genomsläpplighet för vattenånga under rådande försöksbetingelser utan någon uppdelning i olika transportsätt inom det provade materialet.

Vid laboratorieförsök väljs ofta stora tryck- och temperaturdifferenser för att man därigenom skall erhålla kraftigare utslag och en större relativ noggrannhet för de beräknade värdena¹¹. De angivna diffusionstalen för olika byggnadsmaterial anses ibland vara osäkra, vilket kan förklaras genom olikheterna i försöksbetingelserna och de förhållanden som materialen blir utsatta för i byggnaden.

Av Holmqvist¹⁸ har föreslagits en ny metod för bestämning av diffusion av vattenånga i porösa byggnadsmaterial. Bestämningen skulle enligt denna metod ske med en gas som icke reagerar med porväggen eller övergår till vätskefas, t.ex. neon. Genom en jämförelse mellan genomsläppligheten för vattenånga och den vid försöket använda gasen är det möjligt att beräkna transporten av vatten i vätskefasen i kapillärer och i adsorberade vattenfilmer längs porväggarna. Metodens fördel är att man vid bestämning av diffusion under försökets gång undviker sådana termodynamiska komplikationer som uppstår när vattenmolekyler under transporten i materialet adsorberas och transporteras i vätskefasen och till slut åter övergår till ångfasen.

Beräkningarna av kondensrisken i porösa material vid stationärt tillstånd i samband med vattenångans rörelse i ett temperaturfält där gradienten leder till att vattenångans mättnadstryck överskrids, kan oftast icke bestyrkas i praktiken. Detta beror på att fuktrörelsen i verkligheten huvudsakligen sker vid icke stationära tillstånd och att inverkan av den relativa termodiffusionen, den kapillära vatten-transporten från kondenszonen och av påtvingade konvektiva luftströmningar inom konstruktionen icke beaktas.

Kapillaritet

Som kapillär transport i porösa byggnadsmaterial betecknas i allmänhet den vattenströmning som utjämnar vattenhaltsdifferensen i materialets olika delar oberoende av gravitationskraften. Det antas att vattenströmningen orsakas av kapillärkraften, som i sin tur beror på vattnets ytspänning. De lagar som i allmänhet tillämpas för beräkning av kapillärtransport har sin giltighet för kapillär fenomen som uppträder i rörformiga kapillärer med glatta, våtade väggar. Den klassiska kapillaritetsteorin tjänar egentligen till att matematiskt definiera vissa jämvikts- och strömningstillstånd i dylika kapillärer.

Tillämpas dessa teorier på byggnadsmaterial vilkas porstrukturer avsevärt avviker från rörformiga kapillärer, blir lagarnas giltighet begränsad och man får oftast nöja sig med att genom försök bestämma sambandet.

Byggnadsmaterialens förmåga att kapillärt leda vatten anges i litteraturen, analogt med diffusionstal med kapillärledningstal. Kricher¹⁴ påpekar att kapillärledningstal är starkt beroende av vattenhalten i porerna. Med hänsyn till detta bör en extrapolering för andra fukthalter än de som förelåg vid försöket ske med försiktighet.

Vid bedömning av den kapillärtransport av vatten som förekommer i byggnadskonstruktioner bör dessutom hänsyn tas till:

påtvingade tryckgradienter i samband med t.ex. slagregn,

utlösning av joner ur byggnadsmaterial, i första hand vattenlösliga salter och alkali-

metaller; dessa påverkar vattnets fysikaliska egenskaper och kan föranleda bl.a. osmos-effekt,

fortsättning av kristallisationsprocesserna i icke brända byggnadsmaterial, t.ex. lättbetong, där vattnet binds som kristallvatten; härigenom kan porstrukturen påverkas t.o.m. under pågående laboratorieförsök¹⁵,

den samtidigt med kapillärtransport eller transporter i tunna vattenfilmer längs porväggarna uppträdande diffusionen av vattenånga vid låga fukthalter på grund av sådana skillnader i vattenångans tryck som härrör från ångtrycksnedsättningen i de små porerna.

Samverkan mellan diffusion av vattenånga och kapillär transport av vatten

Förutom den samverkan som nämnts förekommer i fuktiga porösa material vid vissa vattenhalter (20—60 % av porvolymen) en kretsprocess orsakad av en påtvingad temperaturgradient. Vattenången diffunderar i temperaturgradientens riktning, medan kapillärtransport av vatten sker i motsatt riktning¹⁶⁻¹⁹. För närvarande föreligger resultat från försök utförda vid stationärt tillstånd, vilka endast ger kvalitativa bevis för denna kretsprocess. Försök till en kvantitativ bestämning av de båda samverkande komponenterna med ett radioaktivt spårelement har utförts av Eisenstadt²⁰. På grund av försökstekniska komplikationer (jonbyte) måste dock dessa resultat betraktas såsom osäkra.

Försök vid icke stationära tillstånd, där vattenångans diffusion och kapillärtransport av vatten samverkar, har utförts med glasull- och träfiberplattor av Solvason²¹ och belyser de komplicerade termodynamiska problem som uppträder vid icke stationära tillstånd. Bl.a. ändras isoleringsmaterials värmekapacitet på grund av det latent ångbildningsvärmets. Försöksvärdenas reproducerbarhet för fuktberäkningar i byggnadskonstruktioner har icke redovisats.

Teoretiskt kan det icke stationära tillståndet för fuktvandringen beskrivas med en differentialekvation. En lösning av denna ekvation skulle möjliggöra en beräkning av torkningens och fuktupptagningens tidsförlopp. En allmän lösning av ekvationen är för närvarande icke känd². Lösningar för vissa förenklade randvillkor har föreslagits av Ingersoll²², Coleman²³ och Hanson²⁴.

För olika byggnadsmaterial finns ett flertal värden för diffusionstal och ett fåtal värden för kapillärledningstal angivna. Dessa värden har huvudsakligen bestämts vid försök med en stationär fuktrörelse i materialet. För närvarande är det icke tillräckligt klarlagt huruvida dessa materialkaraktäristika överensstämmer med motsvarande värden för icke stationära tillstånd. Man kan förmoda att såväl diffusionstalen som kapillärledningstalen är högre vid icke stationära tillstånd än vid stationära.

Vattenhaltsbestämning

Laboratoriemässiga vattenhaltsbestämningar för byggnadsmaterial utförs vanligen genom torkning i luftade torkskåp eller för material av organiskt ursprung, där en destillation av lättflyktiga beståndsdelar kan förekomma, genom kokning i xylol med en särskild apparatur.

Vid vattenhaltsbestämningar i byggnaders olika konstruktionselement är uttagning av prov för laboratoriemässiga försök oftast försvårad eller omöjlig att genomföra. Flera metoder har föreslagits för vattenhaltsbestämningar in situ utan att provkroppar behöver tas ut. Dessa metoder grundar sig på mätningar av de av byggnadsmaterialens olika fysikaliska egenskaper som påverkas av ändringar i materialets fukthalt, såsom elektriska ledningsförmågan, värmeledningsförmågan, dielektricitetskonstanten, neutrondiffusionen och den kärnmagnetiska resonansen.

Mätningen av den elektriska ledningsförmågan är enklast att utföra. Metoden är emellertid behäftad med ett flertal störande faktorer. Vid användning av likström kan elektrolys och elektroosmos uppträda. Vid användning av växelström verkar impedansen störande. "Fuktceller", som ändrar sitt elektriska motstånd vid varierande fukthalt och kan placeras inne i det undersökta materialet, uppvisar en stark hysteresis och har inom vissa fuktområden en större känslighet för temperaturändringar än för ändringar i fukthalten. I Frankrike har man för mätning av den elektriska ledningsförmågan i fuktiga material använt växelström, som består av fyrkantsvågor, och därmed kunnat undvika en del av de nämnda störande faktorerna.

Med en utveckling av den icke stationära mätmetoden kan man bestämma värmeledningsförmågan hos fuktiga porösa material utan att fuktfördelningen inom materialet nämnvärt påverkas. Är sambandet mellan fukthalten och värmeledningsförmågan för ett visst material känt, kan i andra fall genom undersökning av materialets värmeledningsförmåga dess fukthalt bestämmas. Van Duin²⁵ har beskrivit en apparatur för ändamålet.

Mätningar av dielektricitetskoefficientens ändringar i samband med fukthaltsändringar har varit behäftade med tekniska svårigheter. Dessa har nyligen övervunnits genom att man i likhet med förfarandet med Poensgen-apparaten för bestämning av värmeledningsförmåga har lagt ett skyddsfält kring mätzonen. I mätzonen erhålles därigenom parallella fältlinjer och kapacitansen kan entydigt beräknas²⁶.

Vattenhaltsbestämningar genom mätning av neutrondiffusion har utförts sedan 1947 i ett flertal länder. Metoden bör dock för närvarande betraktas såsom varande i utvecklingsstadiet när det gäller andra byggnadstekniska problem än kontroll av vattenhalt i färskbetong vid gjutning av massiva fångdammar och av vattenhaltsökning i jorddammar under uppdämning.

Man saknar ännu en ändamålsenlig metod för bestämning av fukthalten och fukthaltsfördelningen i byggnadskonstruktioner in situ, och man är tills vidare huvudsakligen hänvisad till utborrning av provkroppar, vilkas fukthalt bestäms laboratoriemässigt genom torkning. I byggnader eller konstruktionsdelar som uppförs för försöksändamål avgränsas cylindriska provkroppar redan under uppförandet. Dessa kan sedan under försökets gång avlägsnas för vägningar, varefter de åter sätts in på sin plats.

Byggnadsmaterialens ytegenskaper

Fuktens bindningssätt och dess rörelse i porösa byggnadsmaterial är i stor utsträckning beroende av materialets ytegenskaper. Den viktigaste är den fria ytenergin som härrör av atomernas fria bindningskrafter i ytskiktet.

Dessa fria bindningskrafter kan vid ytan binda olika slag av atomer och molekyler som råkar komma i beröring med den. Därvid trängs vissa molekyllag undan av andra som sägs ha större affinitet till materialet. Vattenmolekyler har stor affinitet till de flesta byggnadsmaterial och kommer vattenånga i beröring med materialet adsorberas dess molekyler och bildar adsorptionsfilmer, vilkas tjocklek antar ett jämviktsläge med det rådande ångtrycket. Ju starkare de fria bindningarna är desto tjockare blir adsorptionsfilmerna.

För att motverka en fuktupptagning i adsorptionsfilmerna och särskilt en kapillär transport av vatten in i materialets porer, kan byggnadsmaterial behandlas med ämnen som har låg ytenergi. Materialen blir genom en sådan behandling vattenavvisande.

Försök att göra ytterputs vattenavvisande genom silikonbehandling har utförts av Granholm²⁷. För silikonbehandling av lättbetong har Aurell²⁷ redogjort och därvid angett vissa kritiska synpunkter för silikonernas användning.

Från färgindustriernas sida har en intensiv forskning bedrivits som resulterat i vattenavvisande vax, lacker och färger. Trots att nya och billigare vattenavvisande preparat ständigt kommer i marknaden har deras inverkan på fukttegenskaperna hos byggnadsmaterial endast i en begränsad omfattning undersökts.

Asfalt som använts för strykningar som fuktisolering eller som klister till takpapp kan lossna från underlaget på grund av dålig vidhäftning om underlaget är fuktigt. Detta torde kunna motverkas genom användning av ytaktiva ämnen, vidhäftningsmedel, som tillsätts asfalten.

Litteratur

1. BRUNAUER, S: *The adsorption of gases and vapours*, bd 1. Oxford 1945.
2. KRISCHER, O: *Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik*. Berlin 1956.
3. JOHANSSON, C H & PERSSON, G: *FuktabSORPTIONSKURVOR för byggnadsmaterial*. Byggmästaren 1946 h. 17 s. 311.
4. JESPERSSON, H B: *Rapport over forseeg vedrørende lige-*

vægls- og diffusionsfugtindhold i vægmaterialer. Teknologisk Inst., København 1954 (stencil).

5. LYKOV, A W: *Experimentelle und theoretische Grundlagen der Trocknung*. Berlin 1955.

6. LYKOV, A W: *Transporterscheinungen in kapillarporösen Körpern*. Berlin 1958.

7. LYKOV, A W: *Тепло- и массообмен в процессач сушки*. (Värme- och massaöverföring i torkningsprocessen.) Moskva 1956.

8. JOY, F A & SHELDON, A W: *Automatic permeance measurement by the permeometer*. Trans. ASHVE 1953 s. 435.

9. JOY, F A & FAIRBANKS, D R: *Effect of unbalanced air pressure on permeance*. Heating, Piping & Air Conditioning 1956 h. 6 s. 123.

10. JOY, F A & QUEER, E R: *Permeance measurement improved by special cell*. Penn. State Univ. Eng. Exp. Station Techn. Paper nr 46 1956.

11. WISSMAN, W: *Ueber das Verhalten von Baustoffen gegen Feuchtigkeitseinwirkungen aus der umgebenden Luft*. Diss., Darmstadt 1954.

12. CHANG, S C & HUTCHISON, N B: *Dependence of water vapour permeability on temperature and humidity*. Heating, Piping & Air Conditioning 1956 h. 3 s. 149.

13. HOLMQUIST, N: *Värme- och fuktproblem i byggnadskonstruktioner med speciell hänsyn till väggar*. Diss., CTH 1957.

14. KRISCHER, O & ESDORN, H: *Die Wärmeübertragung in feuchten porigen Stoffen verschiedener Struktur*. Forsch. Ing.-Wes. 22 (1956) s. 1.

15. GRANHOLM, Hr.: *Om vattengenomslag i murade väggar*. CTH Handl. 195 1958.

16. KRISCHER, O: *Wärmeleitung und Dampfdiffusion in Kälteschutzstoffen*. Wärme- und Kältetechnik 1941 h. 1 s. 1.

17. GURR, C G, MARSHALL, F I & HUTTON, I S: *Movement*

of water in soil due to a temperature gradient. Soil Science 74 (1952) s. 335.

18. HADLEY, W A & EISENSTADT, R: *Moisture movement in soils due to a temperature difference*. Trans. ASHVE 1953 s. 395.

19. HABIB, P & SORIRO, F: *Les mouvements de l'eau dans les sols sous l'influence de la température*. Paris 1957.

20. EISENSTADT, R: *A study of certain aspects of thermally activated moisture migration in granular media*. Diss., Columbia Univ. 1954.

21. SOLVASON, K R: *Moisture in transient-heat flow*. Heating, Piping & Air Conditioning 1956 h. 11 s. 137.

22. INGERSOLL, L R, ZOBEL, O I & INGERSOLL, A C: *Heat conduction with engineering and geological applications*. New York 1948.

23. COLEMAN, I D: *Vapour movements in moist soil*. DSIR Road Res. Lab. Res. Note No. RN/2 636/IDC 1955.

24. HANSON, R: *Preliminär rapport över bestämning av diffusions- och kapillärledningstal samt fuktberäkning*. Statens Nämnd Byggn.-Forskn. (stencil); ref. i Byggmästaren 1957 h. B 10 s. 223, h. B 12 s. 259; 1958 h. B 1 s. 7, h. B 3 s. 64.

25. VAN DUIN, R & DE WRIES, D A: *A recording apparatus for measuring thermal conductivity and some results obtained with it in soil*. Netherlands Agricult. Sc. 2 (1954) h. 3 s. 168.

26. GRANHOLM, Hr.: *Puts och lättbetong*. CTH Handl. 177 1956.

27. AURELL, T: *Silikoner — nya kemiska byggstenar*. Byggnadskonst 1958 h. 4 s. 125.

28. MALMQUIST, L: *Sorption as deformation of space*. Kyltekn. T. 1958 h. 4 s. 49.

29. MAHLER, K: *Über die bestimmung des Diffusionswiderstandes und der kapillaren Flüssigkeitsleitfähigkeit aus stationären und instationären Vorgängen*. Diss. Darmstadt 1958.

Summary

The paper presents a review of definitions and data concerning movement of moisture in porous building materials.

In general moisture movement is closely linked together with thermodynamic processes and must be studied as simultaneous mass and heat transfer in porous media.

An important property of building materials is hygroscopicity, the adsorption of moisture from water vapor, which is characterized by sorption isotherms. Attention is called to the complex behaviour of sorption by means of a new sorption theory.

Instead of speaking of diffusion of water vapor through porous materials it is proposed to use the term: permeability for water vapor. Permeability corresponds more properly than diffusion to the measured values in conventional tests. The migration of water vapor due to a temperature gradient in moist air is influenced by thermo-diffusion and in spaces with great temperature gradients this effect can not be neglected.

The capillary transport of water in building materials can be influenced by different factors such as pressure gradients caused by driving rain, different concentrations of solved salts, continuation of crystallization processes where water is chemically bonded e.t.c.

In moist porous materials exposed to a temperature gradient an interaction of water vapor diffusion and capillary transport is observed. In steady state water vapor moves in the direction of heat transmission and the capillary transport of water occurs in the opposite direction.

Measured values of moisture and heat transfer

from tests in steady state do not always correspond to the values in a non steady state because of changes of heat capacity due to the latent heat of phase changes and deformations of void space due to the swelling properties of the material.

For this reason, attention must be paid to the test and boundary conditions for the experiments. If these deviate to a larger degree from the conditions in a building, the values cannot be used for estimation or calculation of moisture and heat transfer in buildings.

Several suggestions have been made to find methods for numerical calculation of moisture movement in a construction. The equations used, are radically simplified and approximated and have a limited validity. A general solution of the differential equation for moisture movement is not known to day.

The determination of the moisture contents in building materials, especially determination in situ, is important for calculation of moisture and heat transmission.

This determination can be made by measuring of changes of physical properties dependent of moisture content such as the electrical resistance, the electrical capacity due to the dielectric constant, the heat conductivity in non steady state and in some cases by neutron diffusion.

The absorption and the capillary transport of water in porous materials can be influenced by a surface active treatment of the material. Silicone compounds, synthetic high-polymers, resins and amino acids have been used for such treatment and in several cases good results have been obtained.

Särtryck

1957:

1. *Adamson, Bo och Sundberg, Bertil.* Varm- och kallvattenförbrukning i bostäder. (Domestic Consumption of Cold and Hot Water.) Stockholm 1957. 8 p. Kr. 1:—.
2. *Adamson, Bo och Tell, Wilhelm.* Ekonomisk värmeisolering av byggnader. (Economic Heat Insulation of Buildings.) Stockholm 1957. 11 p. (Utgången. — Out of print.)
3. *Mandorff, Sven.* Injustering av värmesystem. Ventiler för injustering av värmesystem. (Adjustment of Hot-Water Heating Pipe Systems. — Radiator Valvs for Hot-Water Heating Systems.) Stockholm 1957. 24 p. Kr. 2:—.
4. *Adamson, Bo och Höglund, Ingemar.* Tekniska och ekonomiska synpunkter på treglasfönster. (Engineering and Economic Considerations on Triple Windows.) Summary in English. Stockholm 1957. 18 p. Kr. 2:—.
5. *Pleijel, Gunnar.* Fönsterskydd. En experimentell undersökning. (Window Protection Devices. An Experimental Investigation.) Summary in English. Stockholm 1957. 12 p. Kr. 1:50.
6. *Alvå, Yngve.* Parkeringshus. (Parking Garages.) Stockholm 1957. 24 p. Kr. 1:50.
7. *Ronge, Hans E. och Löfstedt, Börje E.* Strålningsdrag från kalla tak. (Draught Due to Radiation from Cold Ceilings.) Stockholm 1957. 8 p. Kr. 1:50.
8. *Ronge, Hans E. och Löfstedt, Börje E.* Luftfuktighetens värmeverkan och »effektiv temperatur». — Hur varma är kläder vid olika luftfuktighet? (Thermal Effect of Humidity of Air and »Effective Temperature». — How Warm are Clothes at Varying Humidity of Air?) Stockholm 1957. 15 p. Kr. 2:50.
9. *Larsvall, Sten W.* Monteringsfärdigt rörbyggeri vid uppvärmning av småhus med seriesystem. (Prefabricated Piping for One-Pipe Hot-Water Heating Systems in Small Houses.) Stockholm 1957. 19 p. Kr. 3:—.
10. *Adamson, Bo.* Kalorimätarens noggrannhet. (Accuracy of Heat Meters.) Stockholm 1957. 12 p. Kr. 2:—.
11. *Klingberg, Lennart och Olsson, Eskil.* Krandagbok. En metod för arbetsstudier på tornsvängkranar. (Daily Record of Crane Operation. A Method of Time and Motion Study for Rotary Tower Cranes.) Stockholm 1957. 18 p. Kr. 2:—.

1958:

1. *Klingberg, Lennart, Olsson, Eskil m. fl.* Monterbara fasadställningar. (Prefabricated Scaffolding for Building Construction.) Stockholm 1958. 27 p. Kr. 3:—.
2. *Tynelius, Sven.* Parkeringsundersökning från luften med tillhjälp av stereobilder. (Investigation of Parking by Means of Aerial Stereophotographs.) Stockholm 1958. 13 p. Kr. 1:50.
3. Uppsatser om golv. (Articles on Floors.) Stockholm 1958. 60 p. Kr. 3:—.
4. *Eneborg, Ingmar.* Driftsverkningsgraden vid en större värmecentral. Stockholm 1958. 8 p. Kr. 2:—.
5. *Brown, Gösta.* Provning av säkerhetsanordning för varmvattenpanna. Stockholm 1958. 8 p. Kr. 2:—.

Pris kr. 2:—

Distribueras av
AB Tidskriften Byggmästaren
Stockholm