

Klimaets og utførelsens innflytelse på varmegjennomgangen i lettbetongvegger

Av sivilingeniør Annanias Tveit

Norges byggforskningsinstitut

Norges byggforskningsinstitut

OSLO 1961

Særtrykk av BYGG nr. 1, 1961

Klimaets og utførelsens innflytelse på varmegjennomgangen i lettbetongvegger

Av sivilingeniør Annanias Tveit

Norges byggforskningsinstitutt

DK 699.86

Klimaet og utførelsen vil i større eller mindre grad påvirke varmegjennomgangen i vegger av alle slags materialer, det være seg tre, tegl, betong eller lettbetong. Hvilke klimafaktorer som er av størst innflytelse vil være bestemt av veggmaterialets art og av veggkonstruksjonens utførelse.

Begrepet lettbetong omfatter en rekke materialer av forskjellige grunnmaterialer og forskjellige framstillingsmetoder. De typer lettbetong som omhandles her er først og fremst gassbetong, dessuten til en viss grad lettaggregatbetong. Før en gir seg til å diskutere innflytelsen av klimaet og utførelsen på varmegjennomgangen i vegger av disse materialene, kan det være hensiktsmessig å se litt nærmere på hvordan varmeutbredelsen arter seg i slike materialer og hvilke faktorer denne påvirkes av.

Gassbetong er en lettbetong i hvilken porene er framkommet ved anvendelse av poredannende stoffer. Blant annet er brukt aluminiumspulver. Den framstilles normalt i romvekter fra 300—800 kg/m³. Porestørrelsen varierer fra porer av mikroskopisk størrelse opptil et par millimeter. Det er disse porene som reduserer varmeledningen i materialet og særlig de aller minste porene er svært virksomme så lenge materialet er helt tørt, dvs. porene er fylt med luft. Materialets ekvivalente varmeledningstall er i sterk grad avhengig av dets volumvekt, men dessuten av dets struktur, dvs. av porestørrelse og porefordeling. Det ekvivalente varmeledningstallet for materialet avhenger dessuten av varmeledningstallet for den faste substans. For gassbetong av et bestemt fabrikat kan etter noen svenske målinger (Statens Provningsanstalt) det ekvivalente varmeledningstall for materialet i tørr tilstand uttrykkes ved følgende formel $\lambda_e = 0,166 \gamma + 0,018$ Kcal/mh °C. Målingene er utført på 7 materialer av romvekt i området 160—750 kg/m³ og formelen oppgis å gjelde med ganske god tilnærming [1].

De ekvivalente varmeledningstall for dette materialet i avhengighet av romvekten er vist i fig. 1.

For en lettbetong av annen strukturell karakter vil romvektsavhengigheten kunne være annerledes. Varmeledningstallene for en gassbetong av bestemt romvekt kan derfor ikke direkte anvendes for den

tilsvarende romvekt av f. eks. en lettaggregatbetong.

Som alle porøse materialer vil også lettbetongmaterialene ta opp fuktighet fra luften ved sorpsjon og kapillærkondensasjon. Dette forhold illustreres ved fuktisotermene eller fuktlikevektskurvene. I fig. 2 er vist likevektsfuktigheten for en del typer lettbetong. Langs abscisse-aksen er angitt den omgivende lufts relative fuktighet og langs ordinat-aksen materialets fuktinnhold i volum-%. Likevektsfukten er bestemt for sorpsjonsfasen, fuktetfasen. Verdierne for desorpsjonsfasen, tørkefasen, vil ligge noe høyere avhengig av poreform etc. Det framgår av figuren at materialer av forskjellig art har forskjellige fuktisotermene. Mest iøynefallende er at det absolutte fuktinnhold, altså regnet i vol-% øker med økende romvekt. Dette må forklares ved at et tyngre materiale har et større antall små porer og kapillærer og tilsvarende en større total poreveggflate. Uttrykt i vekt-% vil forskjellen i fuktinnhold bli mindre. Sorpsjons- og desorpsjonskurvene illustrerer vedkommende materiales strukturelle oppbygging, dvs. de gir uttrykk for hvordan det totale porevolum er fordelt på de forskjellige porestørrelser og kapillærdiametre [2].

Da porestrukturen er avgjørende for størrelsen

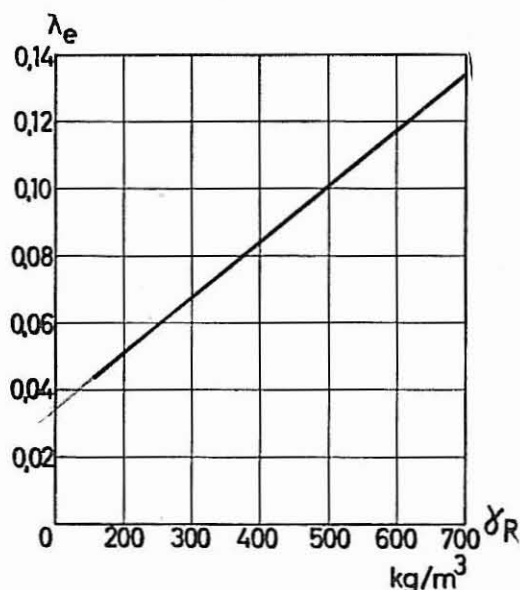


Fig. 1. Varmeledningstallet λ_e avhengig av romvekten γ_R for et bestemt gassbetongmateriale i uttørket tilstand. (Etter målinger utført ved Statens Provningsanstalt, Stockholm.)

Foredrag på Norges byggforskningsinstitutt den 10. november 1960.

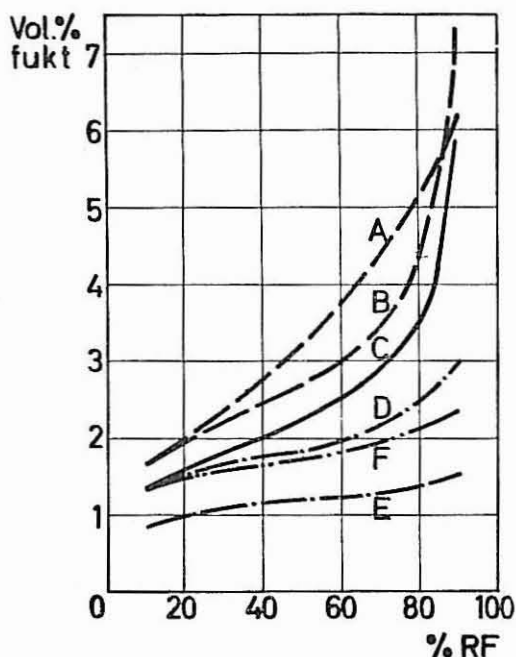


Fig. 2. Eksempler på fuktisotermier i sorpsjonsfasen for forskjellige lettbetongmaterialer. A, B, C, D, E gassbetong av romvekter 760, 735, 600, 500 og 400 kg/m³. F cellebetong 350 kg/m³.

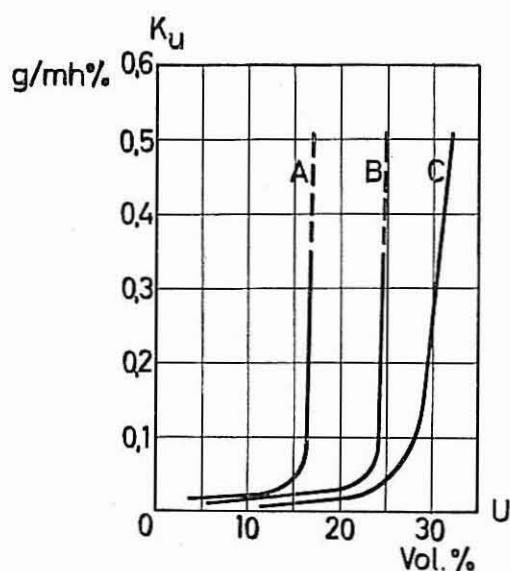


Fig. 3. Eksempler på kapillærsugningskoeffisientens avhengighet av materialfuktigheten. (Etter målinger av Per Jonell [3], Rune Hansson [4] m. fl. på forskjellige typer gassbetongmaterialer.)

av likevektsfuktinnholdet vil den også innvirke på materialets varmeledningsevne i fuktig tilstand. Sett i forhold til et uttørket materiale vil et fuktig materiale ha en høyere varmeledningsevne. Dette kommer dels av at poreluften erstattes med vann som leder varmen bedre, dels av at det vil skje en omplasing av fuktigheten på grunn av diffusjon og kapillærsuging som vil kunne forårsake en transport av varme i bunden form. For å få rede på dette forhold må også materialenes diffusjons- og kapillærsugingsegenskaper kjennes. Fuktlednings-

tallet eller som det mer vanlig betegnes diffusjonstallet, er høyt både for gassbetong og lettaggregatbetong. For gassbetong av romvekt 500 kg/m³ er diffusjonstallet innenfor det hygroskopiske området eller nærmere bestemt ved et fuktinnhold tilsvarende likevektsfuktigheten ved ca 50 % RF av størrelsesorden $2,0 \frac{g}{m^2 h mmHg/cm}$ eller omtrent $\frac{1}{5}$ av luftens diffusjonstall.

Undersøkelser har vist at innenfor det hygroskopiske området foregår den vesentlige del av fukttransporten ved ren diffusjon og overflatekrypning, da kapillærsugningen er meget liten [3, 4]. Samme undersøkelser viser at kapillærsugningen i disse materialene opptrer i noen nevneverdig grad først ved nokså høye fuktinnhold. I fig. 3 er vist kapillærsugningskoeffisientens avhengighet av materialfukten angitt i vol.%. Kurvene er bestemt ved vanlig oppsugningsforsøk. Det fremgår av figuren at kapillærsugningen i gassbetongmaterialer med fuktinnhold innenfor det hygroskopiske området er meget liten.

I fig. 4 er vist initialoppsugningen for et par typer gassbetong. Det fremgår av figuren at initialoppsugningskurvene er svært forskjellig for de to materialene. I fig. 5 er vist oppsugningen for de samme materialene i de 24 første timene. Figuren viser at selv om initialoppsugningen er forskjellig kan forholdet jevne seg ut etter hvert.

Som tidligere nevnt endrer varmeledningstallene for lettbetong seg sterkt med økende fuktighet. I fig. 6 er gjengitt en del målinger av varmeledningstall for lettbetongmaterialer i avhengighet av fuktighetsinnholdet. Kurvene er basert på målinger utført av civ.ing. Jespersen ved Teknologisk Institut i København og av civ.ing. Per Jonell ved CTH, Göteborg [5, 6]. Det fremgår av figuren at varmeledningen øker meget sterkt med økende fuktinnhold opptil 3–4 vol.% fukt, hvoretter kurvene bøyer litt av og forløper deretter noenlunde rettlinjet for en ytterligere økning av fuktinnholdet. Den sterke stigingen har altså kurvene innenfor det fuktområdet som tilsvarer det hygroskopiske. Den sterke økning kan forklares ut fra at de minste kapillærer blir fylte og at det oppstår en kombinert fordampnings- og kondensasjonsprosess inne i porene. Denne prosessen øker varmetransporten inne i porene meget sterkt og desto sterkere jo høyere materialets middeltemperatur er. En pore av størrelse under 0,1 mm vil i et tørt materiale ha et varmeledningstall omtrent som for stillestående luft altså ca 0,02 Kcal/mh °C. I et fuktig materiale vil de samme porene på grunn av en kombinert diffusjonsprosess ha varmeledningstall som er 2–6 ganger så høye i temp.området

Fig. 4. Initialoppsugningskurver for to typer gassbetong A og B. Langs ordinat-aksen er angitt den vannmengde som er oppsugd gjennom en ubehandlet flate av størrelse 25 × 25 cm.

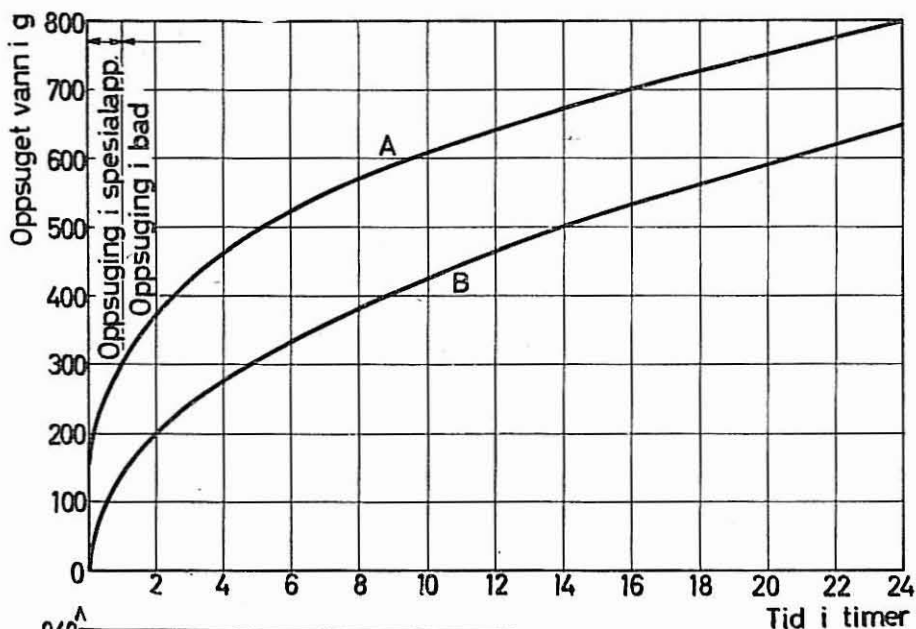
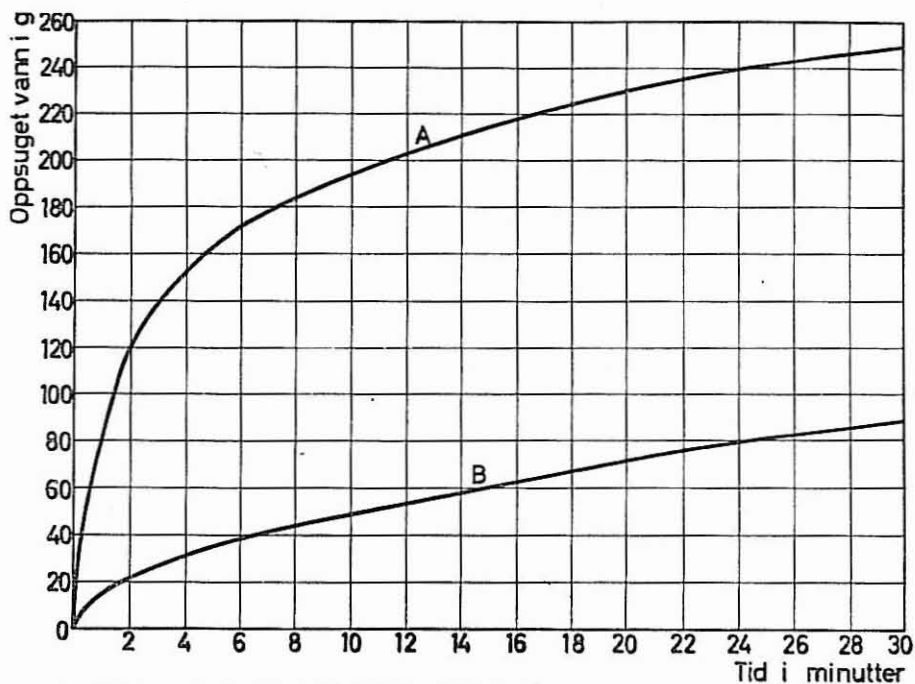
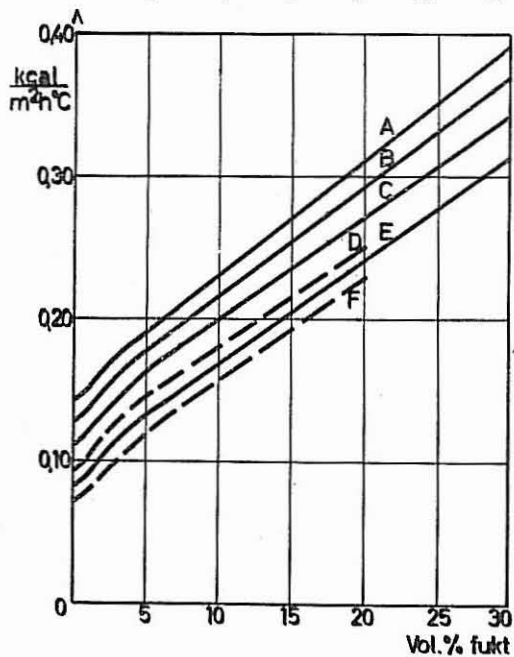


Fig. 5. Oppsugningskurver for to typer gassbetong A og B. Samme materialer som i fig. 4.



0—30 °C og ca 30 ganger så høyt ved temp. 70 °C. Dette forklarer i høy grad den sterke innflytelsen fuktigheten har på varmeledningstallet for lettbetongmaterialene [7, 8].

I det foregående er gjort en del betraktninger vedrørende fukt- og varmetransport i lettbetongmaterialene, og en skal i det følgende se hvilke konsekvenser det har for vegger i praksis.

Uansett utførelsen av veggene vil veggmaterialene alltid ha et visst innhold av fuktighet, nemlig det som er hygroskopisk bundet i materialene. Dette fuktighetsinnhold avhenger bl. a. av luftfuktigheten

Fig. 6. Eksempler på ekvivalente varmeledningstall for gassbetong av forskjellig romvekter og fuktighetsinnhold. (Etter målinger av H. B. Jespersen [5] og Per Jonell [6]. Materiale A Gassbetong 740 kg/m³. B 650 — C 590 — D 500 — E 445 og materiale F Gassbetong 400 kg/m³.)

på de to sider av veggene og øker vanlig med økende relativ fuktighet, jfr. fuktisotermene. Dette fuktinnholdet er det dessverre ikke store mulighetene for å kunne redusere ved et gitt materiale. Det eneste er å holde så lav relativ fuktighet på veggens innerside som mulig. En annen fordel med lavest mulig romfuktighet er at dampdiffusjonen inn i veggen derved avtar. Vanndampens partialtrykk ved indre veggflate vil av den grunn nedsettes og det er mindre fare for kondensasjon inne i selve veggen. Kondensasjonsforholdene ved vegger av slike materialer er forøvrig uoversiktlige og til dels lite undersøkt.

Det må altså alltid regnes med en viss veggfuktighet og eksempelvis kan nevnes at de svenske byggeforskriftene angir at for lettbetongvegger skal λ antas ut fra et fuktinnhold lik 6 vekt-%. Etter undersøkelser som er foretatt i Sverige synes det som om dette er et rimelig fuktnivå å regne med som middelvei. Det finnes vegger som har et lavere fuktinnhold enn 6 %, men også vegger som er vesentlig fuktigere. Foruten av den hygroskopiske fuktigheten og utkondensert vanndamp i veggene vil veggfuktigheten først og fremst være avhengig av om veggens ytterflate holder tett mot inntrengning av slagregn og ikke suger opp fuktighet fra vannfilmen som dannes på veggene under regnvær. Den sikreste måte å oppnå dette på er uten tvil å forsyne veggene med en utvendig kledning, hvilket imidlertid ikke er så alminnelig anvendt. Det vanlige er å bruke en eller annen form for puss med eller uten tilleggsbehandling. For et materiale som lettbetong med dets lave diffusjonsmotstand stilles relativt strenge krav til utvendig behandling idet overflatesjiktet må være vanntett, men samtidig ikke for diffusjonstett slik at fukt som kommer innenfra ikke samles opp bak det utvendige overflatesjiktet.

Under oppføringen av lettbetongvegger tilføres veggmaterialene gjerne en hel del fuktighet både under muring og spesielt ved pussarbeidene. Undersøkelser utført i Sverige og Norge viser at gassbetongveggene tørker vesentlig sterkere ut om sommeren enn om vinteren. Vegger av lettaggregatbetong derimot kan tørke godt ut også i den kalde årstiden.

Dette medfører at vegger av gassbetong som er oppført om høsten ikke vil tørke nevneverdig første vinteren, da det stort sett bare skjer en forskyvning av fuktigheten i denne første perioden. Isolasjonsevnen kan derfor være betraktelig redusert første vinteren, alt avhengig av hvilken fuktighet byggematerialene hadde før de ble satt opp i veggen og hvilke fuktmengder som ble tilført under mur- og pussarbeidene. Av undersøkelser som er

gjort viser det seg at selv for vegger med høy byggfuktighet vil mesteparten av denne forsvinne allerede første sommeren mens resten forsvinner i de følgende et eller to år, og veggens isolasjonsevne vil i denne tiden stadig forbedres. Vegger med utvendig luftet kledning er i denne henseende tilsynelatende ikke ugunstigere stillet enn vegger uten kledning.

De klimafaktorer som i vesentlig grad kan være avgjørende for lettbetongveggers isolasjonsevne er kombinasjonen vind og regn eller kort og godt slagregn. I årene 1952 til —56 utførte nåværende docent Gösta Brown ved KTH i Stockholm varmestrommålinger og til dels fuktighetsmålinger på henimot 200 vegger hvorav ca 65 vegger av betong med utvendig lettbetong og 40 vegger av lettbetongblokker [1].

Når det gjelder klimaets innflytelse kunne det ikke konstateres noen, som Brown uttrykker det, «signifikativ väderstreckseffekt». Det er likevel av interesse å se litt på en del av de undersøkelser som han har utført. Ved målinger utført i Stockholmstraktene har han funnet gjennomsnittlig 5,0 vekt-% fukt i lettbetongisolasjonen på utvendig isolerte betongvegger og 5,4 % i vegger av lettbetongblokker. I begge tilfelle var 26 vegger undersøkt.

For veggene av lettbetongblokker finner han at middelveien av varmemotstandene for disse er knapt 5 % høyere enn de som teoretisk beregnes (altså med 6 % veggfukt). For betongvegger med utvendig lettbetongisolasjon i Stockholmstrakten, ble det funnet en ubetydelig avvikelse mellom det målte og beregnede varmegjennomgangstall. For lignende vegger i Luleå og Göteborg var derimot middelveien av den prosentuelle forskjellen mellom målte og beregnede verdier henholdsvis — 7 % og — 11 %, altså lavere målte varmemotstander en beregnet. Ved målingene i Luleå og Göteborg ble også fuktinnholdet i lettbetongisolasjonen undersøkt og spredningen var meget større enn ved målingene i Stockholm og spesielt i Göteborg var visse vegger i hus med utsatt beliggenhet svært fuktige. På en vegg hvor den målte varmemotstand bare var ca 50 % av den beregnede viste fuktprøvene 32,5 % ved innervegg og 34 % ved yttervegg.

Hva angår utendørsklimaets innflytelse på varmegjennomgangen i vegger, så må en regne med at vegger og veggpartier som er utsatt for meget slagregn, kan bli kraftig gjennomfuktet og at deres varmeisoleringssevne derfor reduseres betraktelig. En skal imidlertid i denne forbindelse ikke unnlate å understreke at dette i høyeste grad er avhengig av tettheten av det ytre veggsgjikt. Det kan selv sagt også diskuteres i hvilken grad de svenske under-

λ_B	$\lambda_F = .6$	$\lambda_F = .8$	$\lambda_F = 1.0$	$\lambda_F = 1.2$	F mm
.08 (.30)	.091 (.34)	.094 (.35)	.098 (.36)	.101 (.37)	4
	.101 (.37)	.108 (.40)	.114 (.42)	.121 (.44)	8
	.111 (.41)	.121 (.44)	.130 (.47)	.139 (.50)	12
.10 (.37)	.111 (.41)	.114 (.42)	.118 (.43)	.121 (.44)	4
	.120 (.44)	.127 (.36)	.134 (.48)	.140 (.50)	8
	.130 (.47)	.140 (.50)	.149 (.53)	.161 (.57)	12
.12 (.44)	.130 (.47)	.134 (.48)	.137 (.49)	.141 (.51)	4
	.138 (.50)	.145 (.52)	.151 (.54)	.158 (.56)	8
	.149 (.53)	.159 (.56)	.168 (.59)	.177 (.62)	12
.14 (.50)	.150 (.54)	.154 (.55)	.157 (.56)	.160 (.57)	4
	.158 (.56)	.164 (.58)	.171 (.60)	.177 (.62)	8
	.168 (.59)	.178 (.62)	.188 (.65)	.196 (.68)	12
.16 (.57)	.170 (.60)	.173 (.61)	.176 (.62)	.180 (.63)	4
	.179 (.63)	.185 (.65)	.192 (.67)	.198 (.69)	8
	.186 (.65)	.197 (.68)	.206 (.71)	.217 (.74)	12
.18 (.63)	.189 (.66)	.193 (.67)	.196 (.68)	.200 (.69)	4
	.197 (.68)	.205 (.70)	.211 (.72)	.218 (.74)	8
	.205 (.70)	.216 (.73)	.226 (.76)	.235 (.79)	12
.20 (.69)	.209 (.72)	.212 (.63)	.216 (.74)	.219 (.75)	4
	.217 (.74)	.224 (.76)	.231 (.78)	.237 (.80)	8
	.224 (.76)	.235 (.79)	.245 (.82)	.254 (.85)	12

Ekvivalente varmeledningstall for vegger av $50 \times 25 \times 25$ cm blokker murt med fylte fuger. Tallene er beregnet ut fra blokkmaterialets og fugematerialets varmeledningstall λ_B og λ_F for fugetykkelsene 4, 8 og 12 mm. I parentes er angitt veggens varmegjennomgangstall k under antagelse av at summen av overgangsmotstandene er $0.2 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}/\text{kcal}$.

søkelser kan sies i gjennomsnitt å gjelde for norske forhold. Praktisk talt samtlige vegger som de svenske målingene innbefatter, var forsynt med en puss av tradisjonell type, tykkelse 1,5 cm. Når det gjelder lettbetongvegger med denne pusstype, er det vel liten grunn til å anta at det skulle være noen nevneverdig forskjell mellom svenske og norske vegger.

Ved Norges byggforskningsinstituttets laboratorium i Trondheim er det i de siste 4 årene foretatt en undersøkelse av varmegjennomgangen i forskjellige typer av lettbetongvegger. Disse undersøkelser er utført på vegger av størrelse $1,5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ i et spesielt vegglaboratorium. Romtemperatur og fuktighet har vært $20\text{--}22^\circ\text{C}$ og $40\text{--}50\%$ RF. Veggene har på yttersiden vært utsatt for det naturlige klima. Veggene er utvendig beskyttet av tynnpuss, tradisjonell puss eller også forsynt med en ytre kledning. Fuktigheten i disse veggene har de to siste årene vært fra 1 til 3 vol-% og varmegjennomgangstallene tilsvarende svært gunstige. En innvending er det her svært lett å komme med, nemlig at laboratorieforsøk ikke er det samme som forsøk i praksis. Dette kan ha sin riktighet, idet slike vegger gjerne blir omhyggeligere utført enn i praksis, selv om de er oppført av profesjonelle murere. En annen ting er at veggens størrelse også kan tilsi at den ikke blir utsatt for de samme påkjenninger som i praksis. Dette er derfor ting en må være klar over ved bedømmelsen av forsøksresultatene.

Det ville være av stor interesse å få utført en

undersøkelse av fuktinnholdet i lettbetongvegger i praksis også her i landet, hvilket ikke er gjort foreløpig. Tynnpussen ville antageligvis her komme inn som en meget interessant faktor.

Når det gjelder utførelsens innflytelse på varmegjennomgangen i lettbetongvegger, er det spesielt to faktorer som må trekkes fram. Den ene er som allerede nevnt den utvendige behandling. Den andre er utførelsen av fugene.

Alt etter utførelsen vil fugene i høy grad kunne influere på varmegjennomgangen i veggen da varmeledningstallet for fugematerialet stort sett er ca 10 ganger så høyt som varmeledningstallet for selve veggmaterialet. I *tab. I* er vist innflytelsen av fugene for en vegg av lettbetongblokk, altså av dimensjon $50 \times 25 \times 25$ cm. I tabellen er angitt de ekvivalente varmeledningstall for materialet satt opp i vegg under anvendelse av fylte fuger av tykkelse 4—12 mm og fugematerialer hvis varmeledningstall ligger i området $0,8\text{--}1,2 \text{ kcal}/\text{m h } ^\circ\text{C}$. Tallene i parentes angir varmegjennomgangstallene for veggen. Såvel varmeledningstallene som varmegjennomgangstallene er beregnet ut fra teoretiske betraktninger om temperaturfordelingen omkring fugene. En kan i hovedsaken betrakte varmegjennomgangen i en vegg med fuger på to forskjellige måter. En måte å betrakte forholdene på er å anta at det ikke skjer noen varmeutveksling mellom fugemateriale og blokkmateriale. Dette gir for lavt varmegjennomgangstall. Den andre måten er å betrakte de to materialer som en legering. Dette gir for høyt varmegjennomgangstall [9]. Dette kan

raturer er funnet på grunnlag av målinger. Det fremgår av tabellen at temperaturfallet gjennom luftrommet er vesentlig høyere enn om luftrommet var fylt med mørtel. Den anvendte fugemørtel var en kalkcementmørtel, og fugetykkelsen var 8 mm. Ved disse veggene var varmegjennomgangen i veggene med fylte fuger 12—14 % høyere enn for veggene med to mørtelstrenger. Blokkmaterialet hadde en romvekt av 500 kg/m³ og fuktinnholdet var i middel henholdsvis 9,4 og 9,2 vekt-% for de to veggene. Varmegjennomgangstallet for de to veggene ble bestemt til henholdsvis 0,52 og 0,58 kcal/m² h °C. For en vegg uten fuger men med samme fuktinnhold kan varmegjennomgangstallet beregnes til omtrent 0,49.

Utviklingen i den senere tid har gått mer og mer i retning av å bruke nærmest fugefri vegger når det gjelder gassbetongmaterialene. Dette oppnåes som kjent ved at det for det første brukes større enheter når det gjelder materialene, idet blokkene erstattes med større elementer. For det annet blir mørtelfugene erstattet med limte fuger. Dette stiller selvsagt strenge krav til nøyaktighet i fremstillingen av elementene, men det lar seg imidlertid gjøre med et materiale som er så lett å bearbeide som

gassbetong, og for bygningskonstruksjoner av dette materiale er de tradisjonelle mørtelfugene på stadig vikende front. Det gjenstår imidlertid tilsynelatende å finne en sikker utvendig behandling av disse veggene. Men det arbeides iherdig akkurat på dette området, og hvem vet om ikke det problemet også løses snart.

Litteratur.

- [1] Gösta Brown: Ytterväggars värmeisoleringsförmåga. Statens nämnd för byggnadsforskning. Handlingar nr. 36.
- [2] O. H. Everett og F. S. Stone: The structure and properties of porous materials. Butterworth's Scientific Publications, London 1958.
- [3] Per Jonell, Vural Karamustafaoglu og Ralejs. Topfers: Determination of the coefficient of capillary absorption for steam-cured light-weight concrete. Diskusjonsinnlegg. Rilemsymposium om lettbetong. Göteborg 1960.
- [4] Rune Hanson: Moisture in light-weight concrete roofs. Diskusjonsinnlegg. Rilemsymposium om lettbetong. Göteborg 1960.
- [5] H. B. Jespersen: Fuktige materialers varmeledningstall. Tidsskriftet «Varme» nr. 3. København 1952.
- [6] Per Jonell: Determining coefficient of thermal conductivity of light-weight concrete having different degrees of moisture content. Diskusjonsinnlegg. Rilemsymposium om lettbetong. Göteborg 1960.
- [7] O. Krischer & H. Rohnalter: Die Wärme und Feuchtigkeitsbewegung in porigen Stoffen. VDI Forschungsheft 402, 1940.
- [8] O. Kirscher & H. Kröll: Trocknungstechnik. Bd. 1. Springer-Verlag, 1956.
- [9] Poul Becher: Varmetabet gennem plane tværdelte vægge. Særtrykk av Varme nr. 3, 1950.