

Fugtighed i flade betontages varmeisolerende stoffer

E. Suenson

Tidsskrifter

Særtryk af Ingeniøren nr. 17. 11 marts 1939

1939

I *Beton-Teknik* December 1937 har jeg omtalt en Ulempe ved udvendig Varmeisolering af flade Betontage, nemlig at Vejrliget kan medføre, at Isolationsstofferne ikke faar Lejlighed til at udtørre i ønskelig Grad, forinden de dækkes med Tagpap. Senere har *Laboratoriet for Byggeteknik* undersøgt Fugtighedsforholdene i nogle flade Tage paa *Danmarks tekniske Højskoles* Nybygninger. for at faa et Begreb om, i hvilken Grad den virkelige Varmeisoleringsevne afviger fra den for tørre Stoffer antagne. Tagene, se Fig. 1 og 3, var fremstillede under ugunstige Forhold, idet Jernbetondækket støbtes i Slutningen af November 1933, Korkpladerne og Slaggebetonen blev udlagt i 1. Halvdel af Januar 1934, Paalægningen af Slaggebetonens Pudslag paabegyndtes 8. Januar og afsluttedes sidst i Februar, og Paaklæbningen af Tagpap paabegyndtes midt i Marts og afsluttedes sidst i Juni.

Tagets Fugtighedsforhold undersøgte i Marts 1938, altsaa ca. 4 Aar efter Pappens Paaklæbning. Ved denne Undersøgelse har Ingeniørerne *H. Dihrkop*, *V. Damgaard Kristensen* og *Th. Jespersen* assisteret.

A. Prøvernes Udtagning.

Taget blev brudt op paa to Steder, begge liggende i Højderygge; dets Opbygning fremgaar af Fig. 2 og 3. Begge Steder blev der udtaget Prøver af Puds, Slaggebeton, Kork m. m., hvis Vandindhold bestemtes. For at faa paalideligere Værdier blev der af hvert Materiale udtaget 2 Prøver; der undersøgte hver for sig.

1. *Prøveudtagning* skete 7. Marts om Eftermiddagen

og efter den Tid var Vejret tørt og blæsende med megen Sol og Temperatur over Frysepunktet. Da Prøverne blev udtaget, var det Solskin og Blæst, og Temperaturen var

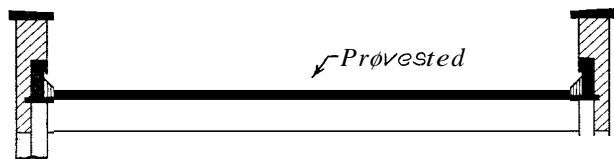


Fig. 1. Snit i Taget.

udvendig $+6^{\circ}$ i Skyggen og indvendig $+17^{\circ}$ under Loftet. Ved Gennemhugningen iagttoges følgende:

De to Lag Pap var godt sammenklæbde. Det nedre Lag klæbde nogle Steder ikke til Pudsens Overside var denne meget fugtig, utvivlsomt af Fortætningsvand. Undersiden af Pudsens støvede" efter Ophugningen. Mellem Slaggebeton og Kork fandtes et

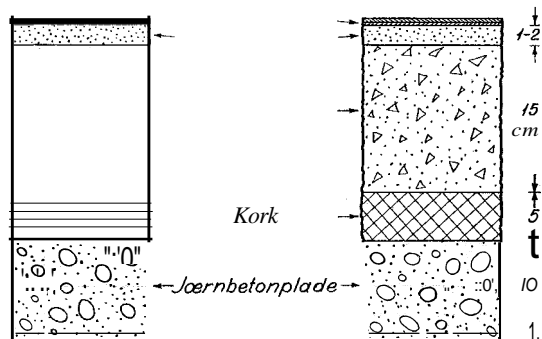


Fig. 2. Snit i Taget paa 1. Prøvested.

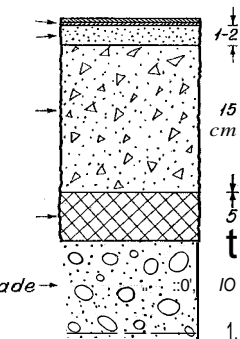


Fig. 3. Snit i Taget paa 2. Prøvested.

Lag Fyld bestaaende af Grus og Murbrokker med indlejrede Træ- og Jernstumper. Dette Lag, der maa være udlagt paa et Tidspunkt, hvor den tilsynsførende har været fraværende, følte meget vaadt, og et Stykke Træ derfra indeholdt 160 Vægtprocent Vand. Korkens Overside var vaad. Jernbetons, Overflade var tør.

2. ,Prøveudtagning skete 11. Marts' om Formiddagen (Fig. 3). Tre Dage før havde det regnet, men derefter var Vejret tørt med megen Sol og Blæst. Udvældig Lufttemperatur: $+50$ i Skyggen, Temperaturen under Loftet: $+16\frac{1}{2}^{\circ}$. Gennemhugningen viste følgende:

De to Lag Pap var godt sammenklæbde, men lod sig skille i Klæbepixen. Pappen var helt tør, hvilket har givet den en saadan Styrke, at den ikke har" ladet sig rive over, saaledes som Tilfældet var ved 1. Prøveudtagning. Nedre Paplag var godt paaklæbet, men lod sig skille fra Pudsens i Klæbepixen, naar undtages nogle mindre Omraader, hvor Smaastykker af Pudsens blev hængende, ved Pappen. Pudsens syntes helt tør, og det meste af Slaggebetonen ogsaa, kun fornedet følte den lidt fugtig. Korkens Overside følte, noget fugtig, hvorimod Undersiden var tør. Jernbetons Overside støvede.

B. Prøvernes Vandindhold.

Prøverne tørredes ved 110° i 20 Timer; Vægten var da blevet konstant. Deres Rumvægt efter Tørring og deres Vandindhold er indført i Tabel 1 og 2.

Rumvægtsbestemmelsen foretoges for Pudsens og Slaggebetons Vedkommende ved at veje Prøvestykkerne i tør Tilstand og derefter mætte dem med Olie og bestemme deres Opdrift i Vand. For Korkens Vedkommende bestemtes Rumfanget inden Udtørring ved simpel Udmaalning og derefter Tørvægten. Efter Tørringen havde Pudsens en svag rød Farve; et særligt Forsøg viste, at den stammede fra Klæbepixens Fenoler, som var trukket ind i Pudsens og havde paavirket dennes Calciumhydroksyd. Klæbepixen viste sig efter Tørringen som blanke sorte Pletter.

Tabellerne viser, at Fugtighedsgraden er væsentlig større paa 1. Prøvested end paa 2. De to Steder laa langt fra hinanden, saa der er intet mærkeligt i, at Tilstanden er forskellig; f. Eks. kan Jernbetonoverfladen paa 1. Prøvested have ligget lidt lavere end Omgivelserne, saa Støbevand fra Slaggebetonen og Regnvand har samlet sig paa dette Sted.

Tabellerne viser desuden, at Slaggebetons Vandindhold er voksende nedefter. Da Temperaturen er høist

Tabel 1. Stoffernes Rumvægt og Vandindhold paa 1. Prøvested.

Materiale	Rum-I vægt kg/m ³	Vandindhold i % af Tørvægt	Rum- fang
Puds	2050	$\frac{1}{2} \cdot (7,1 + 7,8) = 7,45$	15,4
Øvre Slaggebeton	1300	$\frac{1}{2} \cdot (19,0 + 19,6) = 19,3$	29,7
Mellemste do.		$\frac{1}{2} \cdot (23,0 + 22,8) = 22,9$	
Fyld	2200	$\frac{1}{2} \cdot (22,9 + 21,4) = 22,15$	6,62)
Kork		$\frac{1}{2} \cdot (50,0 + 55,1) = 52,5$	
Jernhetonl)		4,9	11,0

1) En Mørtelflis fra den bærende Plades Overside.

2) Der er regnet med, at Korkens Tørvægt er 125 kgjm³ som i Tabel 2. Begge Steder var Korkpladerne af Mærke Eka SB, der fremstilles af ekspanderede Krummer overtr.l.kne med Beg.

Tabel 2. Stoffernes Rumvægt og Vandindhold paa 2. Prøvested.

Materiale	Rum-I vægt kg/m ³	Vandindhold i % af Tørvægt	Rum- fang
Puds	1760	$\frac{1}{2} \cdot (5,8 + 5,6) = 5,7$	10,0
Øvre Slaggebeton	1305	$\frac{1}{2} \cdot (14,4 + 14,4) = 14,4$	18,8
Mellemste do.	1255	$\frac{1}{2} \cdot (16,5 + 17,1) = 16,8$	21,1
Nedre do.	1345	$\frac{1}{2} \cdot (19,2 + 17,9) = 18,6$	25,0
Kork	125	$\frac{1}{3} \cdot (8,9 + 8,4 + 9,1) = 8,8$	1,1

forneden, maa der foregaa en stadig Luftcirkulation i den porøse Slaggebeton, hvorved Vanddåmp føres op og fortættes i det øvre Lag, og naar dette alligevel er tørt end det nedre, maa det skyldes, at Tyngden eller Haarrørskræfter trækker Vandet ned, lige saa hurtigt som det føres op i Form af Vanddamp. Sandsynligvis er den gennemsnitlige Porevidde noget aftagende nedefter, fordi der under Betonens Udstøbning er sivet Vand ned gennem Massen medtagende lidt Slaggestøv og Cement. Naar Betonen er størknet, vil Haarrørskraften holde de finere Porer konstant vandfyldte, medens der gennem de grovere Porer stiger Vanddamp op og siver Fortætningsvand ned. I Perioder, hvor der ingen Fortætning sker

(fordi Stue- og Ydertemperatur er ens), vil det cirkulerende Vand samle sig forneden, og da den konstante Mængde af Haarrørs vand ogsaa er størst her, bliver Vandprocenten størst her.

At det i overvejende Grad er Tyngden og i ringe Grad Haarrørskræfterne, der er Skyld i denne Fordeling, kan betragtes som givet, thi selvom Cementprocenten muligvis vokser lidt nedefter, kan det ikke betyde stort, da Slaggebetonen indeholder meget lidt Cement. Et Forsøg paa at bestemme den analytisk mislykkedes, thi den tørrede Slaggebeton indeholdt 34-37 00' Stof, der var opløseligt i Saltsyre, og da der efter Udbuds betingelserne kun skulde tilsættes 1 Maal Cement pr. 10 Maal Slagge, kan man gaa ud fra, at en stor Del af Slaggerne har været opløselige. At Tyngden havde Magt over Slaggebetonens Porevand bekræftedes af flere Forsøg: Naar vandlagret Slaggebeton henlagdes til Tørring, blev den vandblanke Overside mat, medens Undersiden holdt sig blank. Naar den matte Side derefter vendtes nedad, blev den blank i Løbet af 3-4 Timer.

Til Karakterisering af Slaggebetonen pulveriseredes et Stykke med Tørvægt 1300 kgjm³, hvorefter Pulverets Vægtfylde fandtes at være 2,7; Porerumfanget var altsaa 52 %. Af dette Rumfang har i Henhold til Tabel 1 og 2 ca. Halvdelen været vandfyldt; muligvis har der ikke været Vand nok til at fylde de øvrige Porer, muligvis har disse været utilgængelige for det tilstedeværende Vand.

Til Belysning af dette Spørgsmaal blevet Stykke Slaggebeton fra 2. Prøvested og af Størrelse ca. 30 . 30 . 7 cm tørret ved 100° og lagret i Vand, først halvt neddyppet, derefter helt neddyppet, og sluttelig blev der tilvejebragt Vakuum (Lufttryk: 18 mm Kvægsølv) over Vandet. Den tørrede Betons Rumvægt var 1280 kgjm³ bestemt ved Vejning i Vand. Forudsættes Vægtfylden at være 2,7, ogsaa for dette Stykke, bliver dets Porerumfang 52,5 %.. Vandoptagelsen fremgaa af Tabel 3; den er angivet i % af Legemets Vægt efter Tørring ved 100° samt i Rumfangsprocent.

Man ser, at Slaggebetonen ved almindelig Vandlagring optager 30,7 Rumfangsprocent Vand, og ved Vandlagring i Vakuum 40,5 %. Selv i Vakuum kan man altsaa

Tabel 3.

	Vægt- proct.	Rum- proct.
Vandoptagelse efter 1 Døgn halvt i Vand	21,5	27,8
- efter yderligere 2 - helt -	23,6	30,2
- - - 1 - - -	23,7	30,4
- - - 1 - - -	24,0	30,7
- - - 1 - - -	24,0	30,7
- - - 1 Time und. Vakuum	29,7	38,0
- - - 11 Døgn - -	31,6	40,5

ikke uddrive al Slaggebetonens Luft, der forbliver 52,5-40,5 = 12 Rumfangsprocent Porer, i hvilket Vandet ikke trænger ind. Disse Porer findes formentlig i Korn, som er blæret op i den høje Temperatur, som Slaggerne har været udsat for.

Til Kontrolvandlagredes et andet Stykke i 3 Døgn, og ogsaa dette optog ca. 31 % Vand. Denne Værdi svarer altsaa til Vandmætning under almindelige Forhold. Den viser, at kun ca. 60 % af Slaggebetonens totale Porerumfang er let tilgængelig for Vand, salu at Slaggebetonen i Taget ikke har været helt vanddrukken. Forsøget viser desuden, at den vanddrukne Slaggebeton vejer 1290 + 310 = 1600 kgjm³; for stuetør Tilstand fandtes 1350 kgjm³. Den Værdi, som Husbygningsnormerne fastsætter til Brug ved Styrkeberegninger - 1500 kgjm³ - synes saaledes meget passende, i alt Fald ikke for lav.

Det i Vakuum mættede Prøvestykke blev lagret 7 Døgn paa en Rist i Laboratoriet i Stuevarme og derefter i Tørreskab, hvorved Vandindholdet formindskedes paa følgende Maade:

Oprindeligt: Vandindhold	. 40,5	Rumfangsprocent
Efter 7 Døgn i Stueluft	. 9,8	»
» 6 » »Tørreskab ved 500.	2,5	»
» 6 » » » » 1000.	0,0	»

Værdierne 9,8 og 2,5 vilde være blevet lidt formindskede, hvis Tørringen var blevet fortsat nogle Døgn yderligere, men kun' uvæsentlig. Forsøget viser, at den Vandmængde, der uddrives ved 1000. ikke er meget større

end den, der uddrives ved 500, og den vil sandsynligvis ogsaa kunne uddrives i Stuetemperatur i meget tør Luft, saaledes at kun en ringe Del af den kan antages at have været kemisk bundet til Cementen. Naar Temperaturen i Varmeskabet forøgedes til 1700, gik Prøvestykkets Vægt i Løbet af 3 Døgn ned fra 1550 til 1534 g, hvilken Værdi ikke ændrede sig i det følgende Døgn. Dette Vægttab skyldes utvivlsomt Gelvand, og dets Ringhed bekræfter, at Slaggebetonens Indhold af Gelvand har været uvæsentligt i Forhold til dens Indhold af almindeligt Porevand.

C. Tagets Varmeisoleringsevne.

Ved en Beregning af de i Taget fundne Vandprocenters Indflydelse paa Stoffernes Varmeledningstal er man henvist til at bruge Formleni):

$$\lambda_{\text{vaad}} = \lambda_{\text{tør}} \cdot \left(1 + \frac{\alpha \cdot v}{100}\right)$$

hvor v er Stoffets Vandindhold i Rumfangsprocent og α en Faktor, der for de foreliggende Stoffer vokser med v paa følgende Maade:

v = 1	2,5	5	10	15	20	25
$\alpha = 30$	22	15	10,8	8,8	7,7	7

$\lambda_{\text{tør}}$ er som bekendt i første -Linie afhængig af Stoffets Rumvægt; efter Cammerer kan man regne:

Rumvægt	200	400	600	800	1000	1200
$\lambda_{\text{tør}}$	0,057	0,07	0,10	0,14	0,19	0,24
Rumvægt	1400	1600	1800	2000	2200	2400
$\lambda_{\text{tør}}$	0,30	0,37	0,46	0,60	0,82	1,12

Man kommer herved til Værdierne i Tabel 4.

Tabellen viser, at Tagmaterialerne indeholder saa tydelige Vandmængder, at de maa regnes at være indtil 3 Gange saa varmeledende som i vandfri Tilstand.

Naar Hensyn tages til, at 1. Prøvested vel nok har været unormalt vaadt, synes det tilraadeligt for Tage af den foreliggende Art at regne:

$\lambda = 0,75$ for Slaggebeton incl. Pudslag. $\lambda = 0,05$ for Korkplader.

1) Se E. Suenson: Flade Betontage (Beton-Teknik, Dec. 1937).

Tabel 4.

Materiale -	Tør- I Vægt kg/m ³	$\lambda_{tør}$	v %	α	λ_{vaad}	$\frac{\lambda_{vaad}}{\lambda_{tør}}$
1. Prøvested						
Puds	2050	0,66	15,4	8,71	1,54	2,34
Slaggebeton ...	1300	0,27	29,7	6,70	0,81	3,00
Kork	125	0,035	6,6	13,66	0,068	1,94
Jærnbeton	2200	0,82	11,0	10,40	1,76	2,15
2. Prøvested						
Puds	1760	0,44	10,0	10,80	0,92	2,09
Slaggebeton ...	1300	0,27	21,6	7,48	0,71	2,63
Kork•.....	125	0,035	1,1	29,47	0,046	1,31

Denne sidste Værdi stemmer med den, jeg i den tidligere nævnte Artikel skønnede passende; for Slaggebeton satte jeg $\lambda = 0,60$, men denne Værdi er aabenbart for lav.

Mere tiltalende end at regne med højere Værdier. af λ vilde det være at bringe Vandprocenten ned. Her er utvivlsomt en frugtbar Arbejdsmark for idérige Hjerners. Vil man bibeholde Slaggebetonen, vilde en Udluftning gennem Luftdræn og Ventilationshætter i de første Par Aar muligvis være hensigtsmæssig. En anden Mulighed er at afrette Slaggebetonen med et meget porøst Puds-lag indeholdende Ceresit eller et andet vandskyende Stof, der forhindrer Indtrængen af Regnvand, men tillader Slaggebetonens Vand at fordampe ud gennem Porerne; man kunde da udskyde Pappaaklæbningen, indtil en passende Tørhedsgrad var opnaaet.