



Forblad

Milliontab eller milliongevinst ved varmeisolering

Ivar Thomsen

Tidsskrifter

Arkitekten 1967

1967

Civilingeniør Ivar Thomsen, Byggeteknisk Afdeling, Teknologisk Institut, fremsætter i denne artikel nogle elementære betragtninger over varmeisolering af ydervægge. Det er påvist, at landet lider milliontab, fordi vi ikke isolerer effektivt, men der forekommer også milliontab, fordi vi ikke isolerer rigtigt.

Milliontab eller milliongevinst ved varmeisolering

A/S Rockwool har gennem en Gallup-undersøgelse konstateret, „at vi opvarmer gråspurve for ca. 250 mill. kr. om året“, fordi vi ikke isolerer vore boliger tilstrækkeligt; det er derfor dobbelt forstemmende, at isolering, der ikke er rigtigt udført, også koster landet enorme beløb, og det er ikke usandsynligt, at kendskab til nogle af de mange skader, isolering forvolder, afholder bygherrer fra at isolere.

Det er en sørgelig kendsgerning, at mange husere efter isolering må betale langt mere for udbedring efter fugtskader, end varmebesparelsen har indtjent.

Ca. 80 pct. af samtlige byggeskader skyldes fugt, og en meget væsentlig del heraf forekommer i isolerede konstruktioner, fordi der udskilles vand *inde* i selve konstruktionerne.

Nye effektive isoleringsmaterialer i forbindelse med Bygningsreglementets skærpede krav til varmeisolering har ført til udvikling af en række lagdelte ydervægskonstruktioner, hvor lette porøse materialer kombineres med beton og murværk; de fleste af disse konstruktioner er udformet uden hensyn til fugtvandringen, og følgen er ofte alvorlige skader.

For at undgå denne type skader må opmærksomheden henledes på faren ved lagdelte konstruktioner, og der må opstilles retningslinjer for opbygningen.

Vi isolerer for at skabe behagelige boliger og for at kunne opvarme økonomisk, men glemmer ofte, at isolering også skal udføres således, at byggematerialerne beskyttes og bevares.

I det følgende belyses ved nogle eksempler, hvorledes fugtskader opstår, og i et tillæg til artiklen er opstillet en beregning, hvorefter det kan afgøres, om en ydervæg er velegnet eller vil blive årsag til fugtskader.

Hvorledes forholdsregler, der kan „redde“ konstruktioner, og på hvilken måde størrelsen af de vandmængder, som udskilles i væggene, kan beregnes, vil det føre for vidt at komme ind på i denne orienterende artikel; men det er meningen i senere artikler også at gennemgå tage og gulve.

Hvad forstås ved kondens?

Luften er altid på grund af vanddampindholdet mere eller mindre fugtig; den mængde fugt i form af vanddamp, luften kan indeholde, er afhængig af temperaturen. F.eks. kan luften ved 20° indeholde op til 17,3 gram vanddamp pr. m³, men ved 10° kun 9,2 gram pr. m³.

Hvis luften indeholder den størst mulige vanddampmængde, kaldes den mættet: ved 20° er luften mættet,

når vanddampmængden er 17,3 gram pr. m³. Afkøles mættet luft ved 20°, fortættes vanddampen, og der udskilles omgående vand; dette forhold betegnes her efter kondens; jo koldere luften bliver, des mere vand vil der udskilles, fordi luftens evne til at indeholde vanddamp aftager med temperaturen; bliver temperaturen lavere end 0° dannes is. Vi kender dette forhold fra kolde vægge og vinduer.

Luften indeholder sjældent den maksimale vanddampmængde, men kun en del heraf; denne del opgives i procent af den maksimale vanddampmængde og betegnes: relativ luftfugtighed; i vore boliger er den relative luftfugtighed ofte omkring 60 pct., og er temperaturen f.eks. 20°, indeholder luften 17,3 × 60/100 = 10,4 gram pr. m³.

Eksempel: Vi betragter en 1-stens ydervæg af massive teglsten og finder de i skemaet angivne værdier:

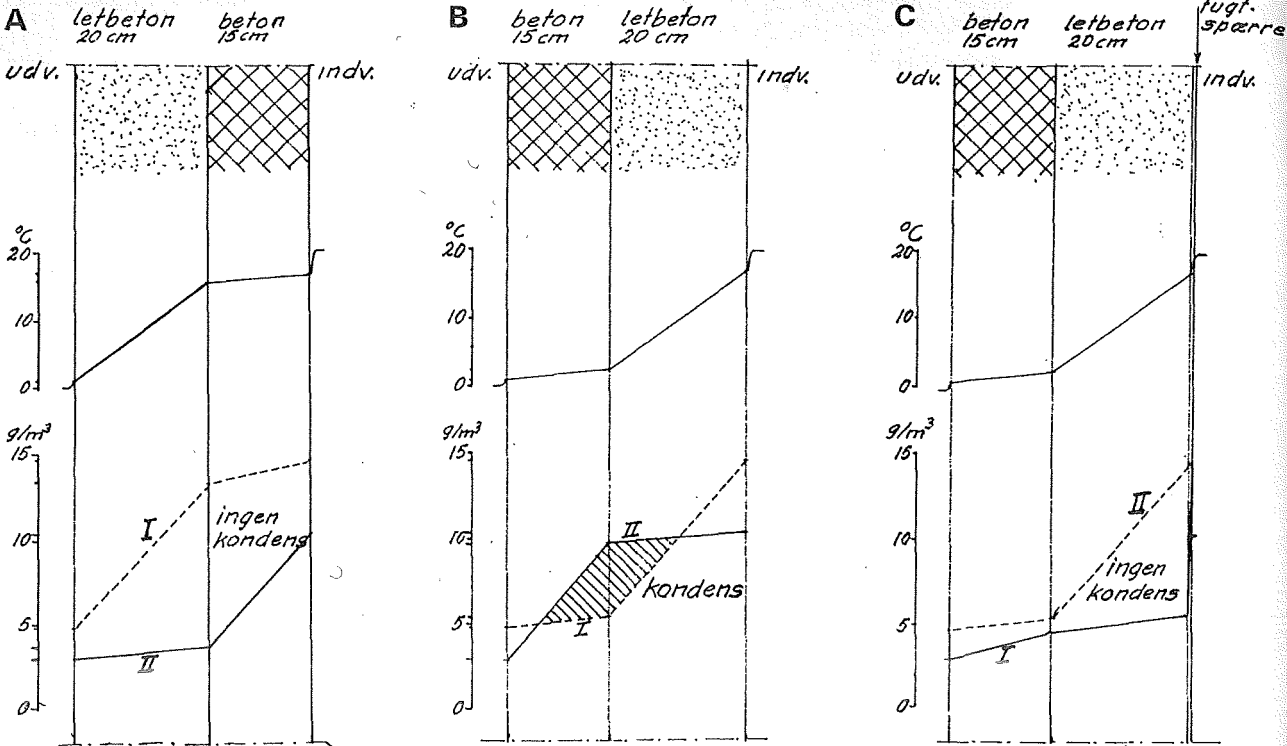
Indvendig temperatur	20°	20°	20°
Udvendig temperatur	0°	÷ 10°	÷ 15°
Temperatur på væggenes indvendige overflade	14,2°	11,4°	9,9°
Ved disse overfladetemperaturer kan luftens indhold af vanddamp maksimalt være	12,2	10,3	9,3
	g/m ³	g/m ³	g/m ³

Er den relative luftfugtighed 60 pct., indeholder luften i rummet, som vi har set, 10,4 gram pr. m³.

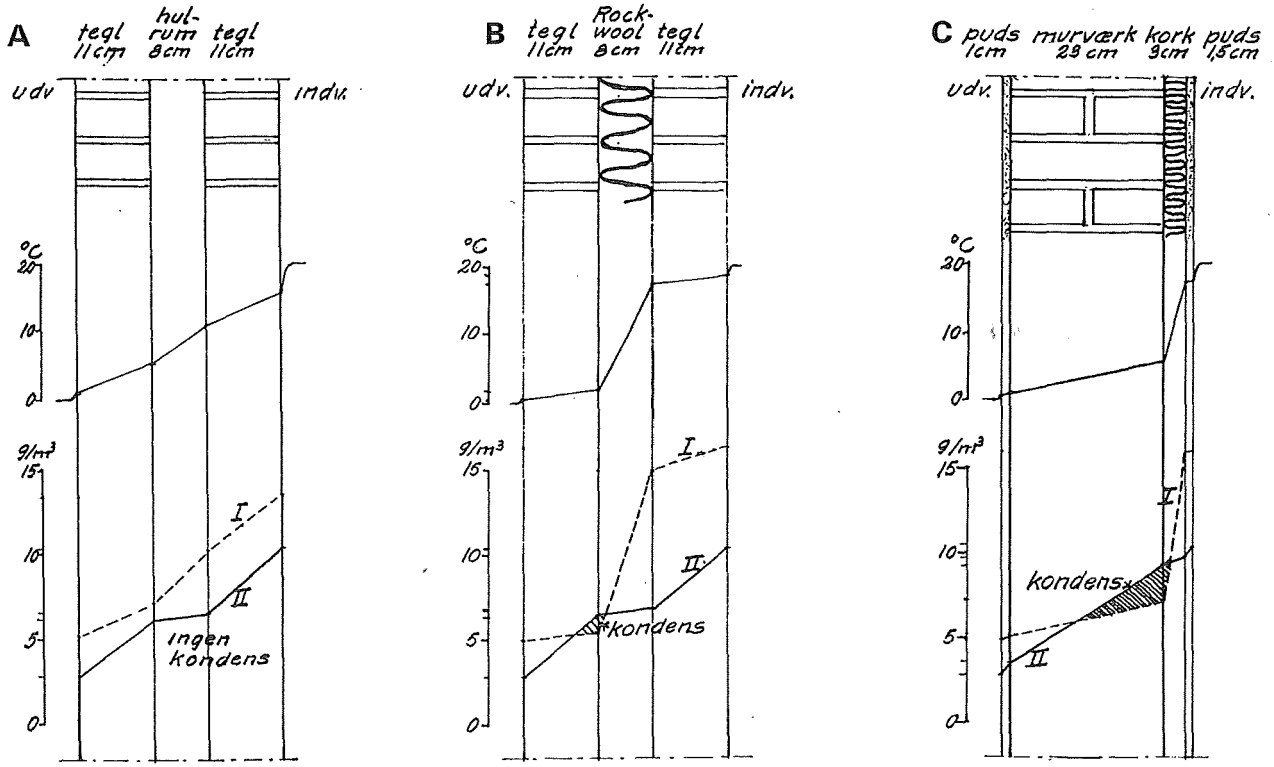
Ved udvendig temperatur 0° er den indvendige overfladetemperatur 14,2°; ved denne temperatur kan luften indeholde 12,2 gram pr. m³, og da luften i rummet kun indeholder 10,4 gram pr. m³, får vi ingen kondens.

Er temperaturen udenfor derimod ÷ 10°, bliver overfladetemperaturen 11,4°; luft ved denne temperatur kan maksimalt indeholde 10,3 gram pr. m³; luften i rummet, der kommer i berøring med væggen, afkøles til 11,4° og kan ikke mere indeholde 10,4 gram pr. m³, men kun 10,3 gram; der udskilles vand på væggen, dvs. at vi begynder at få kondens; ved ÷ 15° udvendig er overfladetemperaturen 9,9°, og den maksimale vanddamp indeholder 9,3 gram pr. m³; kondens er nu udpræget.

En 1-stens ydervæg kan således hindre kondens på den indvendige overflade, ved udvendige temperaturer ned til ÷ 10°; på 1½-stens ydervæg vil overfladetemperaturen ved ÷ 10° være 13,4° og ved ÷ 15° være 12,30; i begge tilfælde kan luften ved over-



Figur 2 A, B og C. Temperatur: indvendig 20°, udvendig 0°. Relativ fugtighed: indvendig og udvendig 60 pct. Luftens indhold af vanddamp: indvendig 10,4, udvendig 2,9 gram pr. m³. I, mætningskurve. II, mængdekurve. II over I = kondens.
 Med isolering udvendig forekommer ingen kondens, A. Med isolering udvendig er kondens ret udpræget, B. Indvendig isolering, der frembyder visse fordele, kan anvendes, såfremt der indvendig påføres en fugtspærende overfladebehandling, C.



Figur 3 A, B og C. Temperatur: indvendig 20°, udvendig 0°. Relativ fugtighed: indvendig og udvendig 60 pct. Luftens indhold af vanddamp: indvendig 10,4, udvendig 2,9 gram pr. m³. I, mætningskurve. II, mængdekurve. II over I = kondens.
 I en 30 cm hulmur uden isolering forekommer ingen kondens, A. Med hulrumisolering forekommer kondens, B. Ved indvendig isolering af den art, der er vist i C, er kondens meget udpræget. Efter to års forløb var korkisoleringen vandfyldt, og efter fem års forløb måtte isolering, puds og gulvbelægning fornyes.
 Det gælder her som i de fleste tilfælde, at der ved anvendelse af isolerende materialer altid bør arbejdes med særlig omhu.

fladen indeholde mere vanddamp end rumluften, og der forekommer således ingen kondens.

Det fremgår af ovenstående, at kondens på den indvendige overflade forhindres, når overfladetemperaturen er tilstrækkelig høj, dvs. at ydervæggens isoleringsevne er beregnet i forhold hertil.

Kondens forekommer også *inde* i ydervæggene, når luften i materialernes porer ikke kan indeholde de tilstedeværende vanddampmængder; der udskilles vand, som sjældent kan konstateres, før det er for sent.

Isolering mod kondens på den indvendige overflade giver ikke sikkerhed mod kondens inde i selve vægkonstruktionen, når denne består af flere lag, og det er denne form for kondens, der som nævnt er årsag til de fleste og alvorligste fugtskader.

Fugtskader kan forårsages af tilsyneladende enkle og „sikre“ konstruktioner, og en bedømmelse af faren for kondens, dvs. undersøgelse af fugtvandringen, er altid påkrævet.

En oversigt over de sidste års fugtskader tyder på, at den vandmængde, som udskilles, dvs. den kondensmængde, der forekommer i en ydervægskonstruktion i løbet af et år, i mange tilfælde er af samme størrelsesorden som den kondens, der forekommer i samme konstruktion i løbet af fire måneder under følgende betingelser:

- Indvendig temperatur 20°
- Udvendig temperatur 0°
- Indvendig og udvendig relativ luftfugtighed 60 pct.
- Vanddampindholdet i luften er indvendig 10,4 gram pr. m^3 og udvendig 2,9 gram pr. m^3 .

Bedømmelse af fugtvandring

Vi kan groft sammenligne forholdet med en slusevæg, hvor vandstanden på den ene side er 10,4 m og på den anden side 2,9 m; det forekommer ganske naturligt, at vandet vil trænge igennem væggen, såfremt der ikke monteres vandtætte lag; det er lige så naturligt, at vanddamp vil forsøge at trænge igennem væggen fra den side, hvor vanddampmængden er 10,4 gram pr. m^3 til den side, hvor der kun findes 2,9 gram pr. m^3 , såfremt der ikke etableres dampstandsede lag, se figur 1.

Der foregår altid en fugttransport gennem ydervægge fra den side, hvor vanddampindholdet er

størst, dvs. hvor den relative luftfugtighed er højest; i hele opvarmningsperioden trænger fugt fra opvarmede rum ud gennem ydervæggene med fare for kondens inde i væggene, selv om disses isoleringsevne er god. Uden for opvarmningsperioden sker en vis udtørring, der i de fleste tilfælde er utilstrækkelig, og der samles i løbet af årene større og større vandmængder inde i væggene, som resulterer i de fugtskader, vi næsten daglig præsenteres for. Kendskab til disse forhold og til de nødvendige forholdsregler må så hurtigt som muligt gøres tilgængelige.

Undersøgelse af fugtvandringen består i en bestemmelse af:

1. temperaturerne overalt i konstruktionen angivet ved temperaturkurven,
2. de maksimale vanddampmængder, luften i henhold til temperaturerne er i stand til at indeholde, angivet ved mætningskurven I, og
3. de tilstedeværende vanddampmængder, der afhænger af materialernes fugtmodstande, angivet ved mængdekurven II, se figurerne.

Hvis de tilstedeværende vanddampmængder er større end de mængder, luften maksimalt kan indeholde, må der udskilles vand, kondens; dette markeres ved, at kurve II ligger højere end kurve I.

Jo mere kurve II „overskrider“ kurve I, des farligere er situationen; i disse områder er temperaturerne, som vi har set, så lave, at luften ikke kan „klare“ fugtmængderne, akkurat som vi ser det indvendigt på dårligt isolerede ydervægge.

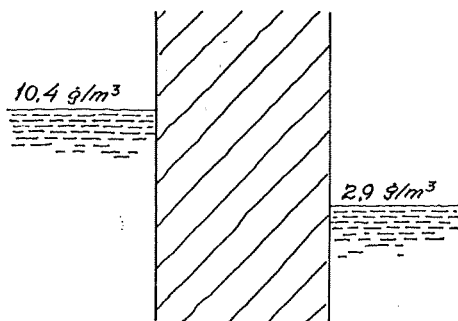
Man bemærker, at temperaturen aftager hurtigt i isoleringsmaterialer, og luftens evne til at indeholde vanddamp aftager samtidig; man skal altså være på vagt, så snart der anvendes isolerende materialer i konstruktionen; inde i konstruktionen vil kondens som regel forekomme på isoleringslagets kolde side.

Består væggen af ét materiale, falder kurve I retlinjet gennem væggen, og man sikrer sig således også mod kondens *inde* i væggen, når denne har en tykkelse, der er tilstrækkelig til at forhindre kondens på den indvendige overflade.

Figur 2 viser et ydervægselement bestående af to materialer; undersøgelsen kunne lige så godt omfatte en række materialer, men denne enkle udformning letter oversigten og giver de oplysninger, der skal understreges.

Konstruktionen vurderes såvel med indvendig som udvendig isolering, og det bemærkes, at der ikke forekommer kondens ved udvendig isolering (Figur 2 A), mens vi med isolering indvendig får ret kraftig kondens (Figur 2 B). Det er derfor nødvendigt, såfremt vi ønsker isolering indvendig, hvilket undertiden er påkrævet, at anvende en fugtspærrende overfladebehandling indvendig, der nedsætter fugtvandringen, således at kurve II overalt ligger under kurve I, se figur 2 C.

Vi udleder af figur 2 den almindelige regel, at modstand mod fugtvandring skal aftage med temperaturen, dette er i mange tilfælde ikke muligt, f.eks. ved tage; i tagkonstruktioner er en indvendig fugtspærre så godt som altid nødvendig.



Figur 1. Der vil altid foregå en transport af fugt gennem en væg fra den side, hvor luften er mest fugtig, akkurat som fra højere vandstand til lavere.

Figur 2 viser tillige, at det samme materiale er muligt at udforme såvel gode som ikke sigtsmæssige konstruktioner.

Det i figur 2 A viste ydervægselement er en ofte anvendt type; beton erstattes undertiden med murværk, hvilket dog ikke forhindrer kondens; der er allerede forekommet mange fugtskader på grund af kondens inde i væggen af denne type.

Situationen i væggen er den, at der transporteres mere fugt gennem det porøse letbetonlag, end der kan transporteres videre gennem den langt tættere beton; der sker derfor en „opstuvning“ af vand i letbetonen; isoleringsevnen reduceres, og den nederste del af væggen vil efterhånden blive vandfyldt; skader på væggen og gulve er følgen.

Man beregner fugttransporten gennem letbetonlaget under opgivne forhold til 0,68 gram pr. m² i timen, og heraf kan kun 0,04 gram komme videre; der opstuvet 0,64 gram pr. m² i timen. Under forudsætning af, at året kan repræsenteres ved fire måneder, finder vi, at der om året opsamles 1,836 gram, dvs. over 1,8 liter og i løbet af fem år over 9 liter pr. m²; er elementet f.eks. 15 m², vil der efter disse fem år stå mere end 135 liter vand i elementet.

Russiske forsøg ved Østersøen med elementer af denne type bekræfter til fulde ovenstående; allerede efter to-tre år var „letbetonen“ ødelagt, og der forekom mange skader.

Også norske undersøgelser tyder på, at situationen er alvorlig og at der efter få år må regnes med betydelige vandmængder ved indvendig isolering med klinkerbeton, ofte over 10 vægtprocent, og i Norge er man i udstrakt grad gået over til at anvende klinkerbeton udvendig; det kan nævnes, at en grundig bedømmelse af disse problemer i Nordisk Beton konkluderer i følgende: „Utvendig isolasjon byr på de fleste fordeler teknisk set.“

På figur 3 A og B er en hulstensvæg undersøgt; når der isoleres forekommer kondens; det er i øvrigt næsten altid tilfældet, at isolering forøger risikoen for kondens, og særlige forholdsregler må iagttages.

Figur 3 C er en tidligere ret almindelig konstruktion; kondens begynder allerede i korkisoleringen, der transporteres over 1 gram pr. m² i timen gennem korkisoleringen, men kun ca. 1/5 gram kan komme videre.

Efter mindre end to år var isoleringen mættet med vand og begyndte at nedbrydes; efter fem år måtte korkisoleringen og pudslaget fjernes og blev erstattet med isolering opsat på lister med ventileret hulrum mellem isolering og murværk.

Konklusion: Antallet af fugtskader, der opstår som følge af kondens inde i bygningskonstruktioner, er stadig stigende. Der bør så hurtigt som muligt skabes klarhed over fugtvandringen i vore ydervægge, tage og gulve, og samtidig må et samarbejde mellem bygningskonstruktørerne og teknikerne med overfladebehandling som speciale etableres, således at maling, spartling, tapeter og limtyper med passende fugtmodstand udvikles.

Konklusion på beregning - se figur 2 B

Til brug for bestemmelse af temperaturer må vi kende materialernes varmemodstandstal, og til brug for beregning af fugtmængder fugtmodstandstal; disse tal er neden for opgivet for 1 cm tykkelse.

Varmemodstandstal for 1 cm

Letbeton, m_l	0,04
Beton, m_b	0,007

Fugtmodstandstal for 1 cm

Letbeton, m_{fl}	0,40
Beton, m_{fb}	6,67

Med henblik på varmemodstand må erindres, at varmen også møder modstand i de stillestående luftlag ved overfladerne; disse modstande er indvendig fastsat til: $m_i = 0,15$ og udvendig til: $m_u = 0,05$.

Beregning for temperaturforløb

				Måtningskurve
			20,0°	17,3 g/m ³
$m_i =$	0,15	2,7	17,3°	14,7 g/m ³
$m_l = 0,04 \times 20 =$	0,80	14,6	2,7°	5,8 g/m ³
$m_b = 0,007 \times 15 =$	0,10	1,8	0,9°	5,2 g/m ³
$m_u =$	0,05	0,9	0,0°	4,8 g/m ³
M	1,10	20,0		

1,10 modsvarer temperaturdifferens $20^\circ \div 0^\circ = 20^\circ$,
0,15 modsvarer $20/1,10 \times 0,15 = 2,7^\circ$

Beregning af fugtvandring

			10,4 g/m ³
$m_{fl} = 0,4 \times 20 =$	8,0	0,55	9,8 g/m ³
$m_{fb} = 6,67 \times 15 =$	100,0	6,95	2,9 g/m ³
M_f	108,0	7,5	

108,0 modsvarer fugtindhold-differens $10,4 \div 2,9 = 7,5$ g/m³, 8,0 modsvarer $7,5/108,0 \times 8,0 = 0,55$ g/m³.

Måtningskurven er direkte afhængig af temperaturerne. Måtningsmængderne fremgår af tabellen. Man ser, at der i overgangen mellem letbeton og beton findes 9,8 g/m³, og da luften her i henhold til måtningskurven kun kan indeholde 5,8 g/m³, får vi kondens inde i denne væg, trods isolering. Kurve II ligger over kurve I.

Litteraturhenvisninger:

- Berichte der Bauforschung, Heft 48/1966, Heft 23/1962.
Wärme und Feuchtigkeit, 1960.
Artikler af Cammerer, Caemmerer, Glaser, Tveit, Permyakov.
Karl Moritz: Richtig und Falsch, Bauverlag, Wiesbaden 1965.
R. M. E. Diamant: Insulation of Buildings, Iliffe Books Ltd., London 1965.