



Forblad

Økonomi og isolering

Ivar Thomsen

Tidsskrifter

Arkitekten 1943, Ugehæfte

1943

Økonomi og Isolering

Af Civilingeniør Ivar Thomsen, M. Ing. F.

I Danmark medgaar der aarligt til Opvarmning af vore Boliger, Kontorer o. s. v. en Varmemængde, der svarer til Nyttevarmen af ca. 3 Mill. ts. Koks. I Aarene før Krigen kostede denne Brændselsmængde ca. 150 Mill. Kroner og for Tiden ca. 330 Mill. Kroner. Anvendelse af indenlandsk Brændsel bevirker dog, at det Beløb, Opvarmningen repræsenterer, er endnu højere, antagelig over 400 Mill. Kroner.

Brændselsforbruget i vore Boliger, Kontorer o. s. v. mener man at kunne nedbringe med 25–30 % ved en økonomisk Isolering. Herved forstaas en Isolering, som bevirker en aarlig Brændselsbesparelse, der er større end Forrentning og Afskrivning af Udgifterne til Isoleringen. En saadan Isolering vil altsaa kunne spare Landet for at importere Brændsel til en Værdi af 40–50 Mill. Kroner om Aaret, naar der regnes med Priseniveauet fra 1930–40. Udførelse af en omhyggelig Isolering af vore ældre Bygninger, samt Byggelove der kræver passende Isoleringsevne for Nybygninger, er saaledes af stor nationaløkonomisk Betydning. Alligevel er det først en Tvangssituation, der har faaet Staten til at interessere sig for Problemet. En stor Del af Skylden herfor har dog vore Teknikere, der i sørgelig Grad har svigtet Isoleringen. Til Trods for, at Udgifterne til Opvarmningen er den vigtigste Driftsudgift for en Ejendom efter Kapitalomkostningerne, og Kendskabet til de Forhold, der paavirker Varmeforbruget, saaledes er af største Betydning for Byggeriet, findes der ikke paa Akademiet eller Den tekniske Højskole nogen bunden Undervisning i Isolering. Dette paavirker naturligvis den almindelige Indstilling og endnu er det saaledes, at man ved Vurdering af en Ejendom næppe tager Hensyn til, om Isoleringen er udført økonomisk, derimod skal man nok bemærke Fliserne i Badeværelset, Frigidaire'n og lignende.

I det følgende belyses Isoleringsproblemet og ved nogle enkle Beregninger paavises, hvilken Isoleringsevne Bygningers Ydervægge, Tag, Gulv over Kældrebør have, samt i hvilken Udstrækning det er økonomisk at isolere ældre Bygninger. De fundne Værdier for Isoleringsevne viser os, hvilke Krav der kan stilles ved Indførelse af evt. Normer for Isolering.

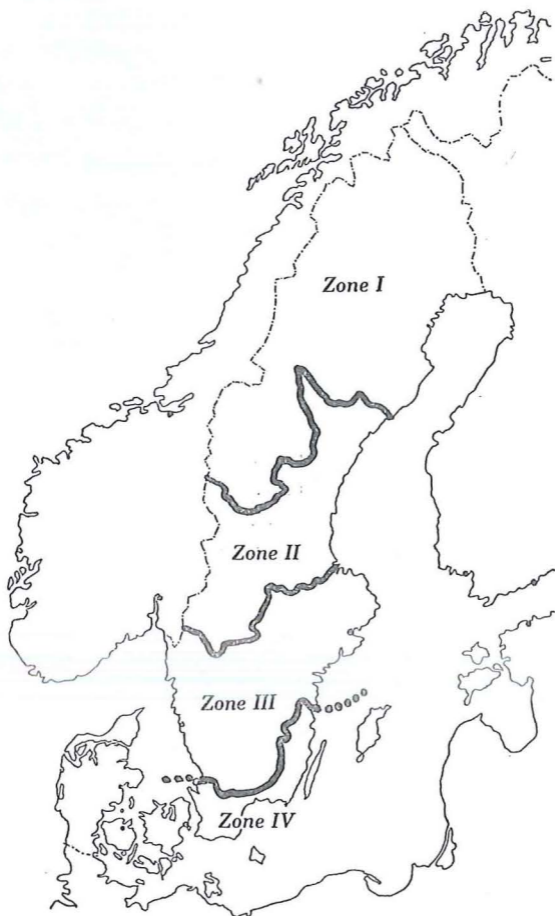
Varmeforbrug og Varmebesparelse ved Isolering

Inden de forskellige Isoleringstal bestemmes, gennemgaas kort, hvorledes man hurtigt kan bedømme Varmeforbruget i en Bygning og Besparelserne ved Isolering af de enkelte Bygningsdele.

a. Varmeforbrug

Til enhver Bygning svarer et Varmebehovstal eller kortere: Varmetal H , der er den Varmemængde, som kræves for at opvarme en Kubikmeter af Bygningen 1° i en Time.

Multipliseres Varmetallet H med den gennemsnitlige Forskel mellem Inde- og Udetemperaturerne i Varmeperioden, og dette Tal igen med det samlede Antal Varmetimer, faas Bygningens aarlige Varmeforbrug



Zoneinddeling, foretaget paa Grundlag af Kravene til Varmeisolering

pr. Kubikmeter. Saavel Temperaturforskellen som Antallet af Varmetimer er afhængig af Klimaet.

I et Land med lille Udstrækning, som Danmark, kan man dog overalt regne med de samme Værdier. Andre Lande med større Udstrækning, som f. Eks. Sverige, er inddelt i flere Zoner, og for hver af disse har man udregnet Varmekonstanter: d. v. s. Antal Varmetimer, Gennemsnitstemperatur etc., der er benyttet ved Opstilling af Normer for Isolering.

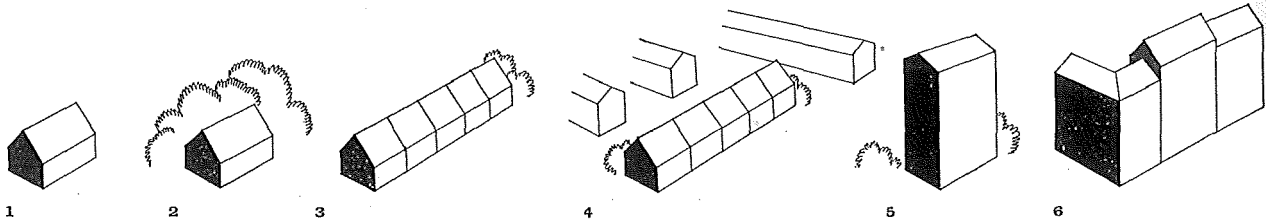
Gennemsnitsværdien for Udetemperaturen fastsættes herhjemme til 3° , og regner man med en Stuetemperatur paa 18° , faas en Temperaturforskel paa 15° . Ved Fastsættelse af Antal Varmetimer maa der tages Hensyn til, at der i Reglen fyres mindre stærkt om Natten, – et Døgn kan regnes til 20 Varmetimer, og da Varmeperioden er 230 Døgn, faas Antallet af Varmetimer til $230 \times 20 = 4600$.

En Bygnings aarlige Varmeforbrug pr. m^3 er saaledes i Danmark

$$V = H \times 15 \times 4600 = H \times 69000 \text{ kcal.}$$

Varmetallet H afhænger af Isoleringsevnen for Yder-vægge, Tage, Vinduer o. s. v., af Ventilation, om Bygningen ligger frit eller i Læ, og af Forholdet mellem Bygningens samlede frie Overflade ΣA og Bygningens Volumen V .

Dette Forhold $\Sigma A/V$ er den mest betydende af de



1. **Fritliggende Villa.** Aarligt Brændselsforbrug pr. m^3 ca. 18 kg Koks. 2. **Villa i Have** eller ved **Skov.** Aarligt Brændselsforbrug pr. m^3 ca. 15 kg Koks. 3. **Frit beliggende Rækkehus.** Aarligt Brændselsforbrug pr. m^3 ca. 16,5 kg Koks. 4. **Rækkehus i Bykvarter.** Aarligt Brændselsforbrug pr. m^3 ca. 13,5 kg Koks. 5. **Frit beliggende Etagehus.** Aarligt Brændselsforbrug pr. m^3 ca. 12 kg Koks. 6. **Etagehus indbygget i Gade.** Aarligt Brændselsforbrug pr. m^3 ca. 9 kg Koks.

Faktorer, der bestemmer H, idet H er omtrent proportional med $\Sigma A/V$.

Den i varmeteknisk Henseende billigste Husform er den, der med den mindste frie Overflade har det største Rumfang. Det følger heraf, at Villaer er dyrere at opvarme pr. m³ end Rækkehuse, og disse igen dyrere end Etagehuse. Af Etagehuse er de smalleste de dyreste, dette er en af Grundene til, at man i Sverige bygger „Tjockhus“, Tykhuse. Det er derfor nødvendigt at isolere Villaer og Smaahuse stærkere end f. Eks. store Karréer, dersom Varmeøkonomien skal være lige god. Følgende Værdier af H kan passende anvendes ved Overslag. De er udregnet efter almindelig dansk Byggeskik. I H er ikke medtaget den Varmemængde, der medgaar til varmt Vand, ligesom der heller ikke er taget Hensyn hertil i de tidligere opgivne Tal, idet denne Varmemængde ikke paavirkes af Bygningens Isolering.

For Villaer og Smaahuse kan regnes $H = 1,0-1,2$

For Rækkehuse kan regnes $H = 0,9-1,1$

For Etagehuse kan regnes $H = 0,6-0,8$

De høje Værdier anvendes, naar Bygningen ligger helt frit.

F. Eks. finder vi for et Etagehus i Byen paa 6000 m³ et aarligt Varmeforbrug

$$V = 6000 \times 0,6 \times 69000 \text{ kcal}$$

Anvendes Koks til Opvarmningen, medgaar der, da Nyttevarmen for 1 t er 1000×4550 kcal.

$$\frac{6000 \times 0,6 \times 69000}{1000 \times 4550} = 54,5 \text{ ts.}$$

b. Varmebesparelser ved Isolering

Isoleringsevnen for en Væg bestemmes af Varmegennemgangstallet k, der er den Varmemængde i kcal, der i 1 Time gaar gennem 1 m² af Væggen, naar Temperaturforskellen er 1°. Vil man finde den Varmemængde, som i et Aar, d. v. s. Varmeperioden, tabes gennem 1 m² af en Ydervæg, maa k-Værdien – akkurat som foran H-Værdien – multipliceres med Temperaturforskellen 15° og Antallet af Varmetimer 4600, altsaa med $15 \times 4600 = 69000$.

For en Ydervæg af 1 Stens Murværk med Puds, for hvilken $k = 1,65$ kcal, faas et aarligt Varmetab V pr. Kvadratmeter

$$V = 1,65 \times 69.000 = 114.000 \text{ kcal}$$

svarende til Nyttevarmen fra

$$\frac{114.000}{4.550} = 25 \text{ kg Koks.}$$

Isoleres Væggen med $\frac{1}{2}$ " Træfiberplade opsat paa

Lægter, bliver $k = 0,92$ og vi finder et årligt Varmetab pr. m^2

$$V = 0,92 \times 69.000 = 63.500$$

svarende til Nyttevarmen fra

$$\frac{63.500}{4.550} = 14 \text{ kg Koks.}$$

Der spares altsaa 11 kg Koks om Aaret for hver Kvadratmeter, der isoleres, og Varmetabet er reduceret med 44 %.

Samme Resultat kunde opnaas ved at isolere med 2 cm Træbeton opsat paa Lægter, 3 cm Træbeton opsat i Mørtel, 9-10 cm Cellebeton (Rumvægt 800 kg/m^3), 7-8 cm Klinkerbeton (Rumvægt 500 kg/m^3), 20 mm Rockwool eller Glasuldmaatte.

For et Enkeltvindue er $k = 7,5$, det årlige Varmetab pr. m^2 er

$$V = 7,5 \times 69.000 \text{ kcal}$$

svarende til Nyttevarmen fra

$$\frac{7,5 \times 69.000}{4.500} = 115 \text{ kg Koks.}$$

Et Dobbeltvindue har $k = 3,0$ og giver et årligt Varmetab pr. m^2

$$V = 3 \times 69.000 \text{ kcal}$$

svarende til Nyttevarmen fra

$$\frac{3 \times 69.000}{4.500} = 46 \text{ kg Koks.}$$

For hver Kvadratmeter Enkeltvindue, der erstattes med Dobbeltvinduer, spares saaledes 59 kg Koks om Aaret, og Varmetabet gennem Vinduet er reduceret med 56 %.

Arkitekternes Glasglæde i Aarene efter 1930 koster hvert Aar Landet Millioner af Kroner. De store Glasfelter lader sig vanskeligt udføre dobbelte. For mange Bygninger er Varmetabet gennem Vinduer større end gennem Vægge, Tag og Kælder tilsammen, d. v. s. udgør 60-70 % af Varmeforbruget. Især Trapperum er ofte dyre; et Trapperum i en Skole koster saaledes 2200 Kr. mere at opvarme pr. Aar end det vilde gøre „normalt“ belyst. I denne Forbindelse kan det have Interesse at henlede Opmærksomheden paa, at for store Vinduer i Skole- og Arbejdslokaler giver et uroligt Lys, som er skadeligt for Øjnene og virker distraherende. Især gælder dette for Lokaler, der vender mod Syd. *Vinduer spiller i alle Tilfælde en dominerende Rolle for Varmøkonomien, gode dobbelte Vinduer bør indføres overalt.*

Anvendelse af 3-dobbelte Vinduer vil betyde en yderligere Besparelse, men de er saa vanskelige at pudse og haandtere, at de trods deres uomtvistelige Økonomi næppe vil finde Indpas.

Tænker vi os, at et lille Hus udført med Ydervægge af 1 Stens Mur med enkelte Vinduer isoleres og forsynes med dobbelte Vinduer, vil man herved kunne spare ca. 50 % af den Varme, der forsvinder gennem Ydervægge, Vinduer, Tag etc. Da denne Varmemængde udgør ca. 85 % af den samlede Varmemængde, er Besparelsen altsaa over 40 %. Slet saa grelt er Forholdet i Reglen ikke, selv om mange af vore Huse har 1 Stens Mure i de øverste Etager. Havde det lille Hus haft 1½ Stens Mur eller 31 cm Hulmur, hvad der er mere almindeligt, var Besparelsen blevet ca. 30 %. Eksemplet viser dog, at der virkelig er Tale om overordentlig store Besparelser, og at det nævnte Beløb ikke er noget Fantasital. Isoleringens nationaløkonomiske Betydning er uomtvistelig.

Endelig bør Isoleringens sundhedsmæssige Betydning fremhæves.

Trækfornemmelser skyldes i de fleste Tilfælde, at man opholder sig nær ved en kold Flade, f. Eks. et Enkeltvindue eller en uisolere Ydervæg.

I et Rum med uisolerede Ydervægge skal Temperaturen, der betinger Velvære, derfor være højere end i det tilsvarende isolerede Rum.

Isolering er saaledes dobbeltvirkende, idet man for det første formindsker Varmetabet gennem Vægge, Tag o. s. v., og for det andet muliggør Anvendelse af lavere Temperatur.

Vi gaar nu over til Gennemgang af Isoleringens Økonomi.

I. Beregning af den økonomiske Isoleringsevne, k-Værdi for Ydervægge i danske Nybygninger

Den mest økonomiske Ydervæg er den, for hvilken de aarlige Udgifter til Forrentning og Afskrivning plus det Beløb Varmetabet gennem Væggen i Opvarmningsperioden repræsenterer er de mindst mulige.

Den første Opgave bliver at bestemme den mest økonomiske Tykkelse for en homogen Væg, d. v. s. for en Væg, hvortil der kun er anvendt eet Materiale.

Beregningsgrundlaget

Følgende Betegnelser anvendes:

P_m = Pris i Ører for 1 m³ af Vægmaterialiet, heri indbefattet Arbejds løn ved Udførelse af Væggen.

e = Væggens Tykkelse i Meter.

k = Væggens Varmegennemgangstal i kcal.

P_v = Prisen i Ører for en Kilogramkalorie.

r = aarlig Forrentning og Afskrivning i Procent.

De aarlige Udgifter til Forrentning og Afskrivning for 1 m² bliver

$$P_m \times e \times \frac{r}{100},$$

og Værdien af Varmetabet gennem Væggen i Varmeperioden bliver

$$P_v \times k \times 69.000.$$

Det drejer sig altsaa om at bestemme en saadan Værdi for e , at

$$P_m \times e \times \frac{r}{100} + P_v \times k \times 69.000 \quad (I)$$

bliver mindst mulig.

k er imidlertid afhængig af Væggens Tykkelse, e og i I indføres

$$k = \frac{r}{\Sigma_0 + \frac{e}{\lambda}} = \frac{\lambda}{\Sigma_0 \times \lambda + e} \text{ hvor}$$

Σ_0 er Overgangsmodstandene og λ Vægmaterialiets Varmeledningstal.

For Ydervægge kan Σ_0 sættes = 0,22.

Ligning I ændres herefter til

$$P_m \times e \times \frac{r}{100} + P_v \times \frac{\lambda}{0,22 \times \lambda + e} \times 69.000 \text{ (Ia).}$$

Naar dette Udtryk differentieres med Hensyn til e og Resultatet sættes lig Nul, faas en Ligning, hvoraf e kan findes.

Denne Værdi for e vil netop gøre (Ia) mindst mulig, d. v. s. være den mest økonomiske Murtykkelse.

Naar Ia differentieres faas

$$P_m \times \frac{r}{100} \div P_v \times \frac{\lambda}{(0,22 \times \lambda + e)^2} \times 69.000 = 0.$$

og heraf findes den økonomiske e Værdi

$$e = 10 \sqrt{\frac{P_v \times \lambda \times 69.000}{P_m \times r}} \div 0,22 \times \lambda \text{ (II).}$$

De i det følgende bestemte Værdier er udregnet paa Grundlag af Prisniveauet 1930-40. En Udregning med de nugældende Priser vil give lidt større Tykkelser, d. v. s. det vil være økonomisk at isolere endnu bedre.

Priserne paa færdigt Murværk og lignende, d. v. s. Materialer og Arbejds løn, er Gennemsnitspriser fra et stort Antal Bygninger, opført i Aarene 1930-40.

Vanskeligere er det at fastsætte Prisen P_v for Varmeenheden 1 kcal. Denne er afhængig af Brændselsprisen og Udgifterne til Varmeanlæggets Drift, Forrentning og Afskrivning. Lægges Brændselspriserne og Priserne for Varmeanlæg fra 1936-37 til Grund, kommer man for en middelstor Ejendom til, at 1 kcal koster 0,0018 Øre. Denne Værdi er noget større for mindre Huse, og det vil til disse Beregninger sikkert være passende at regne med 0,002 Øre d. v. s. $P_v = 0,002$ Øre.

$$r \text{ sættes} = 7\%.$$

Nogle Beregningseksempler

Vi kan nu gennemgaa et Par orienterende Eksempler.

1) *hvilken Tykkelse bør en Ydervæg af almindeligt Murværk have?*

I Ligning II indsættes følgende Værdier

$$P_m = 7500 \text{ Øre. } P_v = 0,002 \text{ Øre. } \lambda = 0,70. \quad r = 7.$$

$$e = 10 \sqrt{\frac{0,002 \times 0,70 \times 69.000}{7500 \times 7}} \div 0,22 \times 0,70$$

$$e = 0,29 \text{ m} = 29 \text{ cm.}$$

Mellem 1 og 1½ Stens Murværk skulde saaledes være det mest økonomiske.

Imidlertid maa man lægge Mærke til, at dette kun er rigtigt, saafremt der kun findes det ene Materiale at anvende til Ydervægge.

Regner vi med 1½ Stens Mur 0,35 m og indsætter dennes Pris og Varmegennemgangstal i I for at bedømme de samlede aarlige Udgifter findes

$$7500 \times 0,35 \times \frac{7}{100} + 0,002 \times 1,35 \times 69.000 =$$

$$= 369 \text{ Øre pr. m}^2 \text{ pr. Aar.}$$

2) *hvilken Tykkelse bør en Ydervæg af Gasbeton have?*

$$P_m = 10000 \text{ Ører } \lambda = 0,12$$

$$e = 10 \sqrt{\frac{0,002 \times 0,12 \times 69.000}{10000 \times 7}} \div 0,22 \times 0,12$$

$$e = 0,13 \text{ m} = 13 \text{ cm.}$$

Indsættes dette og k-Værdien for denne Væg 0,77 i Ligning I

$$\begin{aligned} \text{findes} \quad & 10000 \times 0,13 \times \frac{7}{100} + 0,002 \times 0,77 \times 69.000 = \\ & = 198 \text{ Øre pr. m}^2 \text{ pr. Aar.} \end{aligned}$$

Næsten 65 % billigere end Ydervæggen af Murværk.

Af disse to Eksempler fremgaar, at det er uøkonomisk til Ydervægge at anvende Murværk alene, undtagen dersom Væggen paa Grund af Krav til Bæreevne bliver meget tyk, som vi senere skal se, 2¹/₂ Sten eller mere. Vil man anvende Murværk, maa dette kombineres med et Isoleringmateriale. Det samme gælder for Jernbeton.

Man kan opstille følgende Regel:

Det bærende Materiale i Ydervægge maa ikke gøres tykkere, end Belastningen kræver. Til at give Væggen tilstrækkelig Isoleringsevne anvendes Isoleringmaterialer.

Det ligger nær at bestemme den økonomiske Tykkelse for Materialet til Isolering af Ydervægge af Murværk eller Beton i Nybygninger, dette vil imidlertid kræve en Del Beregninger, og vi vil derfor ved en Række Eksempler, der bedre belyser Problemet i Almindelighed, vise, hvilken Isoleringsevne - k-Værdi - en Ydervæg i Danmark bør have.

De saakaldte ideelle Tykkelser for Ydervægge, som f. Eks. 13 cm for Gasbeton, lader sig kun sjældent udføre i Praksis. I det følgende undersøges kun Konstruktioner, der anvendes almindeligt. I Udtrykket Ia erstattes $P_m \times e$ med P_M , der altsaa er Prisen for 1 m² af Væggen i Ører.

Udtrykket, der giver os de samlede aarlige Omkostninger pr. m² Ydervæg, bliver

$$P_M \times \frac{r}{100} + P_V \times k \times 69.000$$

Idet $r = 7$ og $P_V = 0,002$ faas

$$P_M \times 7 + k \times 138 \text{ (Ib).}$$

hvor P_M er Prisen for 1 m² Væg i Kroner.

En Oversigt over k-Værdier og Priser

I vedstaaende Skema er efter den enkle Formel Ib udregnet de aarlige Omkostninger for en Del Ydervægge.

De med Stjerner mærkede Vægge er ikke bærende Ydervægge, og de med to Stjerner mærkede maa kun anvendes som bærende Ydervægge i mindre Huse.

Betragter vi Konstruktioner egnede til Ydervægge, ses, at jo dyrere og jo daarligere isolerende et Byggemateriale er, des bedre betaler det sig at isolere. F. Eks. er det ikke økonomisk at isolere en 1 Stens eller 1¹/₂ Stens Mur med mere end 5 cm Træbeton, medens Jernbeton isoleret med 7,5 cm Træbeton er økonomisk. Man kan imidlertid ikke fastsætte Normer for hvert Byggemateriale, men maa finde en passende Fællesværdi. Denne vil da ligge højere end den økonomiske Værdi for de fleste Materialers Vedkommende, men Skemaet viser, at Isolering udover en vis k-Værdi kun betyder en minimal Forøgelse af Besparelserne, og man vil derfor ved at fastsætte en normeret k-Værdi, f. Eks. efter det mest almindelige Materiale: Mursten, alligevel opnaa det meste af den mulige Besparelse.

For Murstensvæggene ses, at den højeste k-Værdi, der er mest økonomisk, er $k = 0,88$, gældende for 2¹/₂ Stens Ydervægge. Denne Væg betaler det sig næppe at isolere.

k mindre end 0,90 vil antagelig være den rigtigste Norm for Isoleringsevnen for Ydervægge i Danmark.

Nr.	Materiale	Isolering	Pris pr. m ²	Varmegennemgangstal k.	Samlede aarlige Udgifter, Forrentning og Afskrivning + Varmetab pr. m ²
*1	1/2 Stens Murv. m. Puds paa een Side	ingen	7,00	2,30	3,67
*2	—	1/2" Træfiberpl.	12,00	1,02	2,25
*3	—	1" Træfiberpl.	16,00	0,75	2,15
*4	—	2,5 cm Træbet.	12,50	1,20	2,53
*5	—	5,0 cm Træbet.	15,50	0,75	2,16
*6	—	7,5 cm Træbet.	18,50	0,55	2,06
7	1 Stens Murv. m. Puds paa een Side	ingen	13,00	1,70	3,26
8	—	1/2" Træfiberpl.	18,00	0,88	2,47
9	—	1" Træfiberpl.	22,00	0,67	2,38
10	—	2,5 cm Træbet.	18,50	1,01	2,68
11	—	5,0 cm Træbet.	21,50	0,67	2,43
12	—	7,5 cm Træbet.	24,50	0,51	2,53
13	1 1/2 Stens Murv. m. Puds paa een Side	ingen	25,50	1,25	3,56
14	—	1/2" Træfiberpl.	30,50	0,74	3,15
15	—	1" Træfiberpl.	34,50	0,59	3,22
16	—	2,5 cm Træbet.	31,00	0,83	3,22
17	—	5,0 cm Træbet.	34,00	0,59	3,20
18	—	7,5 cm Træbet.	37,00	0,46	3,23
19	2 Stens Murv. m. Puds paa een Side	ingen	40,00	1,01	4,40
20	—	1/2" Træfiberpl.	45,00	0,65	4,05
21	—	1" Træfiberpl.	49,00	0,54	4,17
22	2 1/2 Stens Murv. m. Puds paa een Side	ingen	60,00	0,88	5,41
23	—	1/2" Træfiberpl.	65,00	0,63	5,42
24	31 cm Hulmur ...	ingen	17,50	1,21	2,89
25	— — ...	1/2" Træfiberpl.	22,50	0,73	2,59
26	— — ...	Inderste Sten af Moler	20,00	0,87	2,60
	— — ...	Inderste Sten af letteste Klinkerb.	21,50	0,79	2,60
27	15 cm Jernbeton..	ingen	40,00	2,45	5,18
28	— — ..	2,5 cm Træbet.	44,50	1,23	4,81
29	— — ..	5,0 cm Træbet.	47,50	0,77	4,39
30	— — ..	7,5 cm Træbet.	50,50	0,56	4,31
31	— — ..	10,0 cm Træbet.	53,50	0,46	4,38
32	— — ..	10,0 cm Celleb. (300 Kg/m ³).	55,00	0,50	4,54
**33	25 cm Gasbeton ..		25,00	0,54	2,50
*34	15 cm Klinkerbeton (800 Kg/m ³)		22,00	0,72	2,54
**35	25 cm Klinkerbeton (800 Kg/m ³)		27,00	0,56	2,67
*36	1/2 Stens Klinker- betonmur		10,00	1,30	2,50
**37	1 Stens Klinkerbe- tonmur		19,00	0,79	2,42

Man ser, at Isolering af 1 og 1½ Stens Væggene udover denne k-Værdi kun betyder forholdsvis lidt. For Udfyldningsmurværk bør k-Værdien sættes noget lavere, hvilket fremgaar af Skemaet. En anden Grund til at forlange lavere k-Værdi er Udfyldningsvæggens lavere Varmekapacitet. *Tallene for ½ Stens Murværk og Klinkerbeton-Sten viser, at k mindre end 0,80 vil være et passende Krav til Udfyldningsmurværk.*

Endelig bør der stilles særlig strenge Krav til Ydervægge udført udelukkende af Letbeton, porøse Mursten og lignende. Erfaring viser, at disse Mure ofte efter nogle Aar mister en Del af Isoleringsevnen. Dette skyldes, at saadanne Materialer i højere Grad end f. Eks. Murværk paavirkes af Fugtighedsindholdet. *k = 0,70 bør ikke overskrides for Ydervægge af Letbeton.* I Reglen er k for saadanne Mure dog betydeligt lavere, idet Kravet til Bæreevne giver saa store Tykkelser, at Isoleringsevnen bliver overordentlig god. For Huse af Gasbeton kræves 25 cm Vægtykkelse, der har $k = 0,54$, og den mest økonomiske k-Værdi fremkom for en kun 13 cm tyk Væg, $k = 0,77$.

Særlige k-Værdier for Villaer og Smaahuse, for hvilke Varmetabet gennem Ydervægge, som vist, er forholdsvis større end for Etagehuse, bør ogsaa foreskrives. Som vi senere skal se, er dette gjort i Sverige. Her har man tillige Værdier for Træhuse, men da dette Byggemateriale saa godt som ikke anvendes til Beboelseshuse i Danmark, falder det udenfor Rammerne af denne Artikel.

II. Isolering af Ydervægge i ældre Bygninger

Vi gaar nu over til næste Opgave, at bestemme: *i hvilken Udstrækning det er økonomisk at isolere ældre Ydervægge.* Herved faar vi ogsaa et Materiale, der kan være Rettesnor ved Fastsættelse af normerede k-Værdier.

Denne Opgave løses ved følgende Betragtning: Den mest økonomiske Isolering er den, der i Forhold til Prisen bevirker den største Varmebesparelse, eller med andre Ord den Isolering, for hvilke Varmebesparelsen ÷ Forrentning og Afskrivning bliver størst mulig.

Beregningsgrundlaget

I det følgende anvendes foruden de før nævnte Betegnelser:
 P_i = Pris i Øre pr. m² opsat Isoleringsplade i 1 cm Tykkelse.
 k_1 = Varmegennemgangstal for den isolerede Væg i kcal.
 k_2 = Varmegennemgangstal for den gamle Væg i kcal.
 Gennem den gamle Væg tabes i Varmeperioden en Varmemængde, der er $k_2 \times 69.000$ kcal, og gennem den isolerede Væg $k_1 \times 69.000$ kcal.
 Besparelsen er saaledes $P_v \times 69.000 (k_2 - k_1)$.

Udgifterne til Forrentning og Afskrivning bliver $P_i \times e \times \frac{r}{100}$.

Opgaven gaar altsaa ud paa at finde en saadan Værdi for e, at Udtrykket

$$P_v \times 69.000 \times (k_2 - k_1) \div P_i \times e \times \frac{r}{100} \quad (\text{III})$$

bliver størst mulig.

k_1 for den isolerede Væg = $\frac{1}{\frac{1}{k_2} + \frac{e}{100 \times \lambda}}$, idet man erindrer, at e

var Isoleringens Tykkelse i cm. Dette Udtryk omformes til

$$k_1 = \frac{100 \lambda}{\frac{100 \lambda}{k_2} + e}$$

og indsættes i III, vi faar da

$$P_v \times 69.000 \times k_2 \div P_v \times 69.000 \times \frac{100 \lambda}{\frac{100 \lambda}{k_2} + e} \div P_i \times e \times \frac{r}{100}.$$

Naar dette Udtryk differentieres med Hensyn til e , og Resultatet sættes lig Nul, fremkommer en Ligning med e som ubekendt. Løses denne Ligning, vil den fundne Værdi for e netop være den mest økonomiske Tykkelse for Isoleringen. Denne Værdi er:

$$e = 100 \left(\sqrt{\frac{P_v \times \lambda \times 69.000}{P_i \times r}} \div \frac{\lambda}{k_2} \right) \text{ (IV).}$$

Formel IV har den Mangel, at Prisen for Isolering, der omfatter baade Materiale og Opsætning, ikke er proportional med Tykkelsen. Imidlertid vil Anvendelse af Formlen med Gennemsnitspriser give en tilstrækkelig nøjagtig Bestemmelse af den rette Isolering, saaledes at en passende k -Værdi kan fastsættes paa Grundlag heraf.

To Eksempler

Følgende Ydervægge undersøges:

- 1) 1 Stens Murværk, isoleret med Træfiberplader.
- 2) 15 cm Jernbeton, isoleret med Træbeton.

1) I IV indsættes foruden de allerede kendte Værdier:

$$P_i = 380 \text{ Øre, } \lambda = 0,035 \text{ og } k_2 = 1,70$$

$$e = 100 \left(\sqrt{\frac{0,002 \times 0,035 \times 69.000}{380 \times 7}} \div \frac{0,035}{1,70} \right)$$

$$e = 2,3 \text{ cm.}$$

Hertil svarer en økonomisk Værdi for $k_1 = 0,80$.

2) I IV indsættes:

$$P_i = 190 \text{ Øre, } \lambda = 0,035 \text{ og } k_2 = 2,45.$$

$$e = 100 \left(\sqrt{\frac{0,002 \times 0,035 \times 69.000}{190 \times 7}} \div \frac{0,035}{2,45} \right)$$

$$e = 5,1 \text{ cm.}$$

Hertil svarer en økonomisk Værdi for $k_1 = 0,70$.

Normer fra Ydervægges Isoleringsevne

Disse Værdier svarer godt til de tidligere fundne Resultater og viser, at en k -Værdi paa 0,90 for Ydervægge i Etagehuse ikke vil være en for streng Fordring. Imidlertid er der visse Forhold, der ikke er taget i Betragtning, f. Eks. det Rum Isoleringsmaterialerne optager, samt Overfladebehandlingen. Naar alt tages i Betragtning vil den økonomiske k -Værdi muligvis blive lidt større, men en højere Værdi for k end 1,00 burde aldrig tillades i Danmark, og denne bør ved Indførelse af Normer for Ydervægges Isoleringsevne fastsættes som den højest tilladte k -Værdi for Ydervægge i Etagehuse.

Ved Indførelse af Normer bør ogsaa tages Hensyn til det øverste Bjælkelag, dersom Tagetagen er ubeboet, og Bjælkelaget over Kælderen.

Naar Tagetagen er beboet, er en Del af Tagfladen Ydervæg og bør isoleres mindst lige saa godt som Ydervægge med ringe Varmekapacitet, d. v. s. som Udfyldningsmurværk.

Paa Grund af Bjælkelags høje m²-Pris og den Lethed, hvormed Isolering lader sig udføre, er selv en meget kraftig Isolering økonomisk. Afpasses Isoleringen af Bjælkelaget efter en k-Værdi for Ydervægge paa 1,00, kommer man til, at det øverste Bjælkelag bør have $k = 0,45$, og Bjælkelaget over Kælderen $k = 0,55$. Naar det øverste Bjælkelag gives en højere økonomisk k-Værdi end Kældbjaelkelaget, kan dette begrundes ved, at der stadig langs Loftet strømmer varm Luft, saaledes at man faktisk skal regne med en højere gennemsnitlig Temperaturforskel her end ved Gulvet. I denne Sammenhæng dukker Spørgsmaalet op om særlig stærk Isolering af Ydervægge, der vender mod Nord. For disse Vægge gælder det jo, at Udetemperaturen er lavere end ved de andre Vægge, som faar Sol, d. v. s. man burde ogsaa her regne med højere Temperaturforskel. Dette vil dog antagelig føre for vidt og besværliggøre og fordyre Byggeriet mere, end Beparelsen berettiger til.

Paa Grundlag af foranstaaende foreslaas følgende Normer for danske Bygninger:

k-Værdien maa ikke overskride de i nedenstaaende Skema anførte Værdier:

	Etagehuse	Villaer
Ydervægge	1,00	0,90
Udfyldningsmurværk og Tagflader mod beboede Rum ..	0,90	0,80
Øverste Bjælkelag	0,45	0,45
Kældbjaelkelag	0,55	0,55

Anvendes til Ydermure udelukkende porøse Byggematerialer reduceres k-Værdierne med 25 %.

Til Sammenligning er i nedenstaaende Skema opstillet svenske Krav til Isoleringsevne, k-Værdien. Disse Værdier er ganske vist ikke Normer, fastsat af Bygningskommissionen, men de er opstillet af *Statens Byggnadslånebyrå* som Grænseværdier, der ikke maa overskrides, dersom man ønsker Byggelaan. En tilsyneladende effektiv Metode.

Sverige er varmeteknisk inddelt i Zoner, der hver har sine Værdier, danske Normer burde ligge et Sted mellem Zone 3 og 4, maaske nærmest 4, der omfatter Skaane (jfr. Tegning S. 241).

Zone	Højeste tilladte k-Værdi for					
	Trævægge	Stenvægge		Øverste Bjælkelag	Kælder Bjælkelag	Kælder-vægge
		Etagehuse	Villaer			
I	0,40	0,70	0,55	0,30-0,50	0,40-0,50	0,75
II	0,50	0,80	0,65	0,30-0,50	0,40-0,50	0,95
III	0,60	0,90	0,75	0,30-0,50	0,40-0,50	1,30
IV	0,70	1,00	0,85	0,30-0,50	0,40-0,50	1,60

Foruden at opstille disse Krav gør *Statens Byggnadslånebyrå* i sine Brochurer opmærksom paa, at det meget ofte vil være økonomisk at anvende lavere k-Værdier, d. v. s. endnu bedre Isolering, end de forlangte, der skal betragtes som absolutte Maksimumstal.

Om Udførelsen af Isoleringsarbejder

Til Slut skal jeg fremsætte nogle almindelige Betragtninger over Udførelse af Isolering.

Om man skal isolere udvendigt eller indvendigt diskuteres ivrigt i disse Aar. Begge Metoder har sine Fordele. Ved udvendig Isolering beskyttes Vægmaterialiet mod Temperatursvingninger, og man udnytter dettes Varmekapacitet. I meget fugtigt Klima (England) kan det udvendigt anbragte Isoleringsmateriale vanskeligt afgive Fugtighed, hvilket medfører Ulemper. Endnu har vi næppe tilstrækkelig Erfaring med udvendig Isolering herhjemme, til at kunne afgøre Betydningen af dette Forhold. Ved indvendig Isolering kan anvendes meget lette, højisolierende Materialer, hvorved spares Plads, og man skal ikke opvarme selve Vægmaterialiet. Det sidste er dog kun en Fordel ved afbrudt Fyring. Nogle Isoleringsmaterialer egner sig til udvendig og andre til indvendig Isolering. Man kan vist rolig fastslaa, at naar Isolering udføres rigtigt med Hensyntagen til Isoleringsmaterialets Art, er de to Metoder lige gode.

Det, man først og fremmest bør passe paa, er at holde Isoleringsmaterialet tørt, idet ellers en stor Del af Isoleringsevnen gaar tabt.

Følgende Regel kan ikke indprentes tilstrækkeligt: *Anbring aldrig et vandstandsede Lag paa Isoleringens kolde Side.* Fugtigheden vandrer fra den varme mod den kolde Side. Har man derfor anbragt et vandstandsede Lag paa Isoleringens kolde Side, vil der samles Vand i Isoleringsmaterialet. Et Par Eksempler illustrerer bedst dette Forhold:

Udvendig Isolering af Jernbeton, med Cellebeton eller Gasbeton maa ikke dækkes af et vandtæt, glittet Pudslag. Den porøse Sten skal kunne aande, ellers samles der Fugtighed, hvilket for denne Art Materiale nedsætter Isoleringen særlig stærkt.

Indvendig Isolering med Træfiberplader blev før i Tiden ofte udført ved, at Pladen blev klæbet paa Væggen med Asfalt. Dette Asfaltlag standsede Fugtigheden, som samledes i Træfiberpladen, hvormed saavel Træfiberpladen som Overfladebehandlingen tog Skade. Denne Metode med Anvendelse af Asfalt var pudsig nok en Tid *paabudt* i Norge, for senere, da Isoleringsteknikken fandt Aarsagen til de mange Uheld, at blive *forbudt*.

Til Isolering af Kølerum kan man derimod godt anvende et vandstandsede Materiale til Opsætningen af f. Eks. Fiberplader, her sidder det paa Isoleringens *varme Side*. En ofte anvendt Metode, hvor man opsætter flere Lag Isoleringsplader i Asfalt, kan derimod være farlig.

Af ovenstaaende fremgaar, at en Isolering, som man bør være særlig forsigtig med, er Anvendelse af Isoleringsplader og Maatter i hule Ydervægge. En meget stor Del af saaledes udførte Isoleringer er med Aarene blevet værdiløs. For hule Ydervægge bør Fugtighedsforholdene nøje studeres, før man anbringer Plader, Maatter eller fylder Hulrummet med løst Isoleringsmateriale.

Disse Betragtninger viser, at den økonomiske Værdi af en Isolering kun kan paaregnes, naar Isolering udføres omhyggeligt og med det i hvert enkelt Tilfælde bedst egnede Materiale.

Denne Artikel kan i Henhold hertil passende afsluttes med at fastslaa Nødvendigheden af, at der, naar Normerne for Isolering fremkommer, bør gøres et stort Arbejde for at udbrede Kendskabet til Udførelse af Isolering, ellers vil en Del af den kalkulerede Besparelse med Aarene forsvinde i ødelagte Isoleringsmaterialer.