

# ØKONOMISK RØRISOLERING

ECONOMIC PIPE INSULATION

WITH AN ENGLISH SUMMARY

POUL BECHER OG KRISTIAN ENGELSEN

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · RAPPORT NR. 18

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG KØBENHAVN 1957

Bibliotekseksemplar 2  
Statens Byggeforskningsinstitut



## STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

*(Borgergade 20, København K. Tlf. Minerva 5630)*

er en selvstændig institution, der ledes af en bestyrelse udpeget af boligministeren, er oprettet ved lov nr. 123 af 19. marts 1947,

har til opgave »- at følge, fremme og samordne teknisk, økonomisk og anden undersøgelses- og forskningsvirksomhed, som kan bidrage til en forbedring og billiggørelse af byggeriet, samt at udøve oplysningsvirksomhed angående byggeforskningens resultater.

## NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT

*(Oslo - Blindern, Tlf. 695090)*

NBI er et selvstendig institutt under Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd, som oppnevner styret. NBI ble opprettet 1953 og avløste det midlertidige Kontoret for byggforskning fra 1949.

NBI skal fremme byggforskningen ved å klargjøre oppgavene og få dem løst; ved å virke for frivillig koordinering av tiltak og sørge for at forsøksresultater blir gjort kjent.

NBI skal samarbeide med myndigheter, organisasjoner o. a. og bistå offentlige og private oppdragsgivere.

## STATENS NÄMND FÖR BYGGNADSFORSKNING

*(Styrmansgatan 26, Stockholm Ö. Tel. 630965)*

SNB sorterar under Socialdepartementet.

SNB övertog 1953 och utvidgade det arbete, som tidigare utförts av Statens Kommité för Byggnadsforskning, som tillkom 1942.

SNB har till ändamål att främja forskning och rationalisering inom byggnadsfacket med tonvikten lagt på husbygge.

SNB sprider forsknings- och försöksresultat i form av meddelanden, rapporter och broschyrer samt genom artikler i facktidsskrifter.

STATENS TEKNISKA FORSKNINGSANSTALT  
VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSLAITOS*(Lönrotsgatan 37, Helsingfors. Tel. 11151)*

Anstalten som konstituerades 16. 1. 1942 (förfatningsamling n:o 44) är underställd handels- och industriministeriet.

På Statens tekniska forskningsanstalt ankommer att bedriva teknisk forskningsverksamhet i vetenskapligt och allmännyttigt syfte mm. på byggnadstekniska området, att utföra materialprovningssuppdrag jämte andra forskningsuppdrag samt att bistå tekniska högskolan i undervisnings- och forskningsarbete.

## ØKONOMISK RØRISOLERING

ECONOMIC PIPE INSULATION

WITH AN ENGLISH SUMMARY

POUL BECHER

civilingeniør, dr.techn.

KRISTIAN ENGELSEN

civilingeniør

Udført med støtte i henhold til lov nr. 235 af 27. maj 1950 og lov nr. 209 af 7. juni 1952 om tilskud til teknisk-videnskabelig forskning og forsøgsvirksomhed (modværdien af Marshall-midlerne)

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

RAPPORT NR. 18

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG

KØBENHAVN 1957

00855P  
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT



## FORORD

Dette arbejde om økonomisk rørisolering er et led i rækken af Institutets publikationer om varmeisolering, og det er stadig den samme ide, som ligger til grund for beregningerne, at de årligt tilbagevendende driftsudgifter skal være de mindst mulige ved rør, der fører varme medier.

Isolering af rør har altid ligget inden for fastere rammer end andre isoleringsarbejder, da der tidligt er blevet fastsat normer for rørisolering<sup>x)</sup>. Disse normer har imidlertid stået uændrede i en lang periode, og i mellemtiden er nye isoleringsmaterialer kommet på markedet, ligesom de økonomiske forhold er undergået store ændringer.

Der har derfor været grund til at undersøge, hvilke isoleringstykkelser der bør anvendes ud fra økonomiske synspunkter under nutidige forudsætninger.

Ved tilrettelæggelsen af beregningerne har Instituttet fået hjælp af  
 fabrikant Egon Andersen, næstformand for Foreningen af isolerings-  
 firmaer øst for Store Bælt,  
 ingeniør H. Dreyer, M. af I.,  
 fabrikant Billy Mücke, formand for Foreningen af isoleringsfirmaer  
 øst for Store Bælt,

ligesom

Meteorologisk Institut og  
 Teknologisk Institut

velvilligst har stillet materiale til rådighed.

Prisberegningerne er foretaget af Byggeriets Beregningsinstitut.

Under arbejdets gang blev der optaget kontakt med Dansk Ingeniørforenings "Udvalg til udarbejdelse af normer for isolering mod varme og kulde", og der blev truffet aftale om, at Udvalget i sin publikation kun skulle beskæftige sig med isoleringsarbejdets udførelse, mens Instituttet skulle behandle isoleringstykkelserne. I publikationerne skal så henvises til den anden parts publikationer. Dette medførte en væsentlig forøgelse af Instituttets arbejde, idet der oprindeligt kun var tænkt behandlet centralvarmeanlæg og

---

<sup>x)</sup> Betingelser for levering og udførelse af opvarmnings- og ventilationsanlæg, udgivet af Dansk Ingeniørforening 1931.



varmtvandsforsyningsanlæg, mens det nu blev nødvendigt at medtage damprør, koldtvalsledninger, ventilationskanaler m.v.

De indledende beregninger er foretaget af civilingeniør Peter Hammerich. Civilingeniør, dr.phil. Poul W. Marke og cand.polit. Per Bredsdorff har begge læst manuskriptet igennem og fremsat en del kritiske bemærkninger. Statens Nämnd för Byggnadsforskning har foranlediget, at stud.polyt. R. Rengefors ved Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm, som eksamensarbejde kritisk har gennemgået beregningerne og et udkast til rapporten. Direktør A. K. Bak og civilingeniør Leo Hansen, Københavns Belysningsvæsen, har også givet os en del værdifulde kommentarer. Vi er dem alle taknemmelige for den hjælp, de har ydet os.

Det er tanken, at Instituttet inden længe vil udsende en anvisning til brug i praksis, skrevet på grundlag af denne rapport. Anvisningen skal kun indholde normforslagene og beregningsdiagrammerne. Men før den udsendes, vil vi gerne have forslagene offentliggjorte og indkalde eventuelle kritiske bemærkninger.

Statens Byggeforskningsinstitut  
December 1956

# OVERSIGT

## OMFANGET

Denne undersøgelse er et forsøg på at opstille rationelle beregninger af de isoleringstykkelser, der bør anvendes ved de forskellige rørledninger i almindeligt bolig- og kontorbyggeri samt mindre industrianlæg.

Beregningerne er naturligvis behæftede med ret store unøjagtigheder, men resultaterne bliver dog ikke værre, end at de tillader, at der på grundlag heraf opstilles et normforslag over isoleringstykkelserne under hensyn til de forhold, den praktiske udførelse kræver. Der er derimod ikke forsøgt at træffe et valg mellem de forskellige isoleringstyper; det må af gode grunde overlades læseren.

De isoleringstyper, der er undersøgt, er:

Opvarmnings- og varmtvandsforsyningsanlæg

type 1: uorganiske måtter i papir

" 2: glasuldsskåle

Dampanlæg

type 3: uorganiske måtter med trådvæv

" 4: magnesiakomposition

" 5: blikkappe udstoppet med løs Rockwool

Blikrørskanaler til varm luft

type 6: uorganiske måtter i papir

Koldtandrør isoleret mod dryp

type 7a: uorganiske måtter i papir

" 7b: glasuldsskåle

Aftræksrør isoleret mod indvendig dugdannelse i kolde tagrum

type 8: uorganiske måtter i papir

Indvendige faldstammer for tagvand isoleret mod dryp

type 9: uorganiske måtter i papir



Koldtvandsrør isoleret mod frost

type loa: uorganiske måtter i papir

" lob: glasuldskåle

Isoleringstyperne 4, magnesiakomposition, og 5, blikkappe udstoppet med løs Rockwool, anvendes kun ved store industrianlæg og kraftværker med dampledninger for høje tryk og temperaturer.

Der er ikke forsøgt opstillet normforslag til anvendelse ved disse anlægstyper. Hvor isoleringstyperne 4 og 5 anvendes, må der i hvert enkelt tilfælde udføres beregninger for at finde frem til den mest hensigtsmæssige tykkelse, hvad enten den bestemmes ud fra driftsøkonomiske hensyn, eller det kræves, at overfladetemperaturen ikke må komme over f.eks. 50°C. Forudsætningerne varierer så meget fra sted til sted, at det er umuligt for udenforstående at opstille generelle beregninger, og der vil da også ved sådanne anlæg være ingeniører til at tage sig af spørgsmålene.

Tabellerne og diagrammerne for isoleringstyperne 4 og 5 er kun medtaget her for at give ikke-specialister en vejledning og mulighed for i påkommende tilfælde hurtigt at kunne finde frem til en hensigtsmæssig isoleringstykkelser. Det må vist desuden være således, at langt det meste rørisoleringsarbejde udføres med de andre isoleringstyper, således at et normforslag for disse alene dækker en så stor procentdel, som man kan forlange.

#### METODEN

Beregningsmetoden ved de første seks isoleringstyper for "varme" rør er af økonomisk art, idet betragtningen er, at der må være et økonomisk optimum for tykkelsen af isoleringen på ethvert rør, hvorfra der er et varmetab. Ved dette optimum, den mest økonomiske isoleringstykkelser, er de samlede årlige udgifter til dækning af varmetabet og forrentning og afskrivning af isoleringsudgiften de mindst mulige.

Som det vises til slut, ligger dette optimum meget fast uanset prisudviklingen. Hvis dette ikke var tilfældet, var der ikke megen mening i at beregne den mest økonomiske isoleringstykkelser, dels fordi beregningerne skulle korrigeres fra år til år, dels fordi husene vil stå i mange år, og brændselspriserne efter alt at dømme vil ændre sig betydeligt i husets levetid.

Ved de fire sidste isoleringstyper for "kolde" rør er det rent fysisko

betragtninger, der ligger til grund for beregningerne.

Et spørgsmål, der kan diskuteres, er, om den isoleringstykkelse, der forlanges i en beskrivelse, nu også er den samme som den, den færdige isolering har, og hvordan færdigmålet svarer til den måttetykkelse, der er anvendt. Ved de mindre rørdimensioner sker det ofte, at den færdige tykkelse bliver mindre end den nominelle.

Da der principielt må holdes på, at den færdige tykkelse skal være som den forlangte, er der ved beregningerne her forudsat, at dette er tilfældet, og at isolering med en 25 mm måtte også giver en færdig isoleringstykkelse på 25 mm.

## RESULTATERNE OG NORMFORSLAGET

### "Varme" rør

Resultaterne af beregningerne af de mest økonomiske isoleringstykkelser for "varme" rør er vist på figurerne 4 til 9. Ved hjælp af disse diagrammer kan tykkelserne bestemmes, når man kender

graddidsfaktoren  $g$ , der er et udtryk for, hvor længe og intensivt anlægget, som vedkommende rør tilhører, benyttes, defineret som produktsummen over et år af tiden i døgn og den tilsvarende temperaturforskel mellem rørets indre og omgivelserne, samt den årlige kapitaludgift  $p$  for isoleringen, bestemt ved rentefoden og afskrivningstiden.

Den måde, diagrammerne er tegnet på her, har den fordel, at de kan anvendes, som de er, uanset ændringer i priser, rentefod og anlæggets udnyttelse. Stiger f.eks. brændselsprisen til det dobbelte af det, der er regnet med ved diagrammets optegning, skal man blot gå ind i diagrammet med den dobbelte værdi af den aktuelle graddidsfaktor for at finde den mest økonomiske isoleringstykkelse svarende til de ændrede forudsætninger.

En ulempe ved diagrammerne er, at det ikke direkte kan ses, hvor meget det betyder for de årlige udgifter at ændre isoleringstykkelsen, men som ved mange lignende fænomener er driftsudgiftskurverne meget flade omkring minimumspunktet. De årlige udgifter øges altså i de fleste tilfælde kun ubetydeligt, hvis der vælges en isoleringstykkelse lidt mindre eller større end den, der ifølge diagrammerne er optimal. Under disse omstændigheder



kan der være en del, der taler for at vælge en isoleringstykkelse, der er lidt mindre end den optimale. Herved undgås, at der investeres for mange penge i isoleringsarbejdet, hvilket man stedse må have for øje, når isoleringstykkelserne skal fastsættes, fordi pengene måske er knappe eller kan anvendes mere udbytterigt til andre formål.

En stor sikkerhed mod at der investeres for mange penge, ligger der dog alene i den omstændighed, at brændselspriserne i de kommende år formentlig vil være stigende.

Med de forudsætninger, for hvilke der er gjort rede i det følgende, kan der opstilles tabellerne 1, 2 og 3 over de mest økonomiske isoleringstykkelser for de dimensioner rør, der anvendes mest i almindeligt byggeri. Som det fremgår heraf, bliver isoleringstykkelserne praktisk taget de samme, hvilken slags isolering der end vælges, og tykkelsen vokser kun langsomt med gradtidsfaktoren. Men - de mest økonomiske isoleringstykkelser ligger betydeligt over det, der almindeligvis anvendes idag.

I tabellerne 1, 2 og 3 er desuden angivet et forslag til normer for isoleringstykkelserne ved de forskellige anlægstyper og rørdimensioner. Ved fastsættelsen af disse normerede isoleringstykkelser er der udover de driftsøkonomiske hensyn iagttaget følgende:

- antallet af måttetykkelser, der anvendes på den enkelte byggeplads, bør være det mindst mulige, hvilket betyder, at der f.eks. bør anvendes samme isoleringstykkelser ved vandvarmeanlæg og varmtvandsforsyningsanlæg,
- isoleringstykkelsen bør stort set være den samme for alle isoleringstyper, der kan finde anvendelse ved den pågældende anlægstype i almindeligt byggeri,
- såvidt muligt bør der kun anvendes eet lag isolering. (Dog kan det ved større rør være billigere at isolere i to lag). Ved isolering med måtter kan der vanskeligt anvendes større måttetykkelse end 50 mm, og ved de små rørdimensioner kan der kun isoleres i eet lag med tykkelser, der er mindre end rørets ydre diameter. De meget store isoleringstykkelser bør altså undgås, navnlig ved de mindre rør, hvor økonomisk berettigede de end kan være, og
- hvor der er tvivl om, hvilken isoleringstykkelse der bør vælges, tages den mindste tykkelse, for at anlægsudgiften skal blive den mindst mulige.

Gruppe	Grad- tids- faktor $\frac{^{\circ}\text{C}\cdot\text{døgn}}{\text{år}}$	Nominel rørdiameter i mm						
		20	25	40	50	100	125	400
1	4000	15 - 15	25 - 20	30 - 25	30 - 25	40 - 30	40 - 30	40 - 40
	norm	15	20	30	30	40	40	40
2	7000	25 - 25	30 - 25	40 - 30	40 - 40	50 - 50	50 - 50	60 - 60
	norm	20	30	40	40	50	50	50
3	15000	50 - 40	50 - 50	50 - 50	50 - 60	60 - 60	80 - 60	80 -
	25000	60 - 60	60 - 60	60 - 60	60 - 60	80 - 60	80 - 60	100 -
	norm	25	40	50	50	60	80	80

Tabel 1. Isoleringstykkelse for rør, der fører varmt vand indtil  $120^{\circ}\text{C}$ . Rørene er frit ophængt i bygninger eller kanaler. Betydningen af gruppeinddelingen fremgår af tabel 27 og 28. Af talparrene angiver det første den mest økonomiske isoleringstykkelse for uorganiske måtter, isoleringstype 1, bestemt efter fig. 4, og det andet tal det samme for glasuldskåle, isoleringstype 2, bestemt efter fig. 5. Det underste tal er normforslaget. Der er regnet med en rentefod på 6% p.a. og en afskrivningstid på 25 år eller en årlig ydelse på 7,8%.

#### "Kolde" rør

For koldtandrør, der skal isoleres mod dryp, er der beregnet isoleringstykkelser som angivet i tabel 32, således at isoleringens overfladetemperatur ligger over luftens dugpunkt for forskellige rumforhold.

I tabel 34 er angivet tykkelserne for isolering af aftrækkerør, der ligger i kolde tagrum. Forudsætningen er, at rørets indvendige overflade skal holdes over den gennemstrømmende lufts dugpunkt.

De nødvendige isoleringstykkelser for faldstammer, der fører tagvand, er angivet i tabel 36. Forudsætningen er som ved koldtandrør, at for at undgå dryp skal isoleringens overflade ligge over rumluftens dugpunkt.

I tabel 37 er angivet de nødvendige isoleringstykkelser for koldtandrør, der skal beskyttes mod frost. Det er naturligvis umuligt at beskytte et rør mod frost i lang tid, og forudsætningen her er da også, at røret kun skal kunne ligge et døgn på en byggeplads uden at bruges eller natten over



Gruppe	Grad- tids- faktor $\frac{^{\circ}\text{C}\cdot\text{d\ddot{a}gn}}{\text{\AA}r}$	Nominel r\rdiameter i mm						
		50	100	125	250	300	500	
4	25000	80-60-80	100-80-80	100-80-80	100-100-120	100-80-100	100-100-120	
	norm	80	80	100	100	100	100	
5	50000	100-100-100	100-120-120	100-120-120	120-120-160	120-120-120	160-120-160	
6	80000	100-120-120	120-120-160	120-160-160	160-160-200	200-160-160	200-160-200	
7	130000	120-120-160	160-160-200	160-160-200	200-200-240	200-200-200	240-200-240	
	200000	200- -200	200- -240	200- -240	240- -320	240- -240	240- -240	

Tabel 2. Isoleringstykkelsen for damp\rd\rd. Betydningen af gruppeinddelingen fremg\rd af tabel 28. De tre sammenh\rdende tal under hver diameter og gruppe angiver den mest \rdkonomiske isoleringstykkelse bestemt efter fig. 6, 7 og 8 for henholdsvis uorganiske m\rdtter med tr\rdv\rd (isoleringstype 3), magnesiakomposition (type 4) og l\rd Rockwool i blikk\rdpe (type 5). Det underste tal er normforslaget. Der er regnet med en rentefod p\rd 6% p.a. og en afskrivningstid p\rd 25 \rdr eller en \rdrlig ydelse p\rd 7,8%. Ved r\rd for damp af h\rdjere tryk end 8 ato og temperaturer over 200°C, grupperne 5, 6 og 7, kan foruds\rdtningerne ofte v\rdre andre end de her forudsatte, og tabellen m\rd i s\rd tilf\rdl\rdde korrigeres. Helt andre hensyn end \rdkonomiske kan ogs\rd v\rdre afg\rdrende for valget af isoleringstykkelse, f.eks. at overfladetemperaturen ikke m\rd komme over 50°C.

Gruppe	Grad- tids- faktor $\frac{^{\circ}\text{C}\cdot\text{døgn}}{\text{år}}$	Blikrørskanalens diameter i mm			
		200	500	1000	2000
8	500	0	0	0	0
	norm	15	15	15	15
9	1000	20	25	25	25
	2000	25	30	30	30
	3000	30	40	50	50
	norm	30	30	30	30

Tabel 3. Isoleringstykkelser for blikrørskanaler til ventilations- og varmluftsanlæg. De mest økonomiske isoleringstykkelser for uorganiske måtter er angivet i mm bestemt efter fig. 9 for de pågældende graddtidsfaktorer. For de forskellige grupper, som kanalerne kan inddeles i, er angivet et normforslag. Hvad grupperne omfatter, fremgår af tabel 29. Ved bedømmelsen af normforslaget må det erindres, at det kun sjældent vil ske, at et ventilationsanlæg udnyttes så meget, at graddtidsfaktoren kommer op på 3000. Rørene under gruppe 8 kan det ikke betale sig at isolere af driftsøkonomiske grunde, men når der skal isoleres af andre grunde, f.eks. af hensyn til den automatiske regulering, bør der anvendes den angivne normerede tykkelse. Der er regnet med en rentefod på 6% p.a. og en afskrivningstid på 25 år eller en årlig ydelse på 7,8%.

i et koldt tagrum i et beboelseshus.

For de fire sidste isoleringstyper er der i tabellerne angivet normforslag for isoleringstykkelserne under hensyntagen til de praktiske forhold som ved "varme" rør.

En samlet oversigt over forslaget til de normerede isoleringstykkelser findes i tabellerne 4-9. Hvor det er relevant, er tallene fra de gamle normer angivet til sammenligning. Det er ikke bekendt, hvorledes de gamle normers tal er fastlagt, men det er tydeligt, at udviklingen er løbet fra dem, både hvad angår valg af materialer, udførelsesformer og de behandlede anlægstyper.

Det er også indtrykket, at normerne ikke anvendes ret meget, men at de



gruppe	Anlægstype art	Nominel rørdiameter i mm				Isoleringstype
		10-20	25-40	50-100	større rør og beholdere	
1	vandvarmeanlæg for rum under 120°C og interimistiske anlæg (driftstid 2-4 år)	15	20	30	40	1. uorganiske måtter i papir 2. glasuldsskåle eller lign.
2	vandvarmeanlæg for rum over 120°C varmtvandsforsyningsanlæg kondensledninger	20 (17,5-21,6)	30 (18,5-21,6)	40 (18,5-21,6)	50 <sup>x)</sup> (18,5-23,5)	
3	ledninger for vand og damp, der stadig holdes mellem 75 og 120°C	25	40	50	80	2. glasuldsskåle eller lign. 3. uorganiske måtter i trådvæv
4	ledninger for damp 120-200 C og indtil ca. 8 ato	60 (18,5-25,1)	60 (18,5-30,1)	80 (25,5-31,6)	100 (25,5-35,1)	

Tabel 4. Normforslag til tykkelser for isolering mod varmetab af ledninger, der fører varmt vand eller damp, frit ophængte i bygninger eller kanaler. Tykkelserne er angivet som den færdige i mm. Værdierne fra de gamle normer i parentes.

x) Varmtvandsbeholdere eller vandvarmere i drift hele året isoleres med 80 mm.

gruppe	Anlægstype		Isolerings- tykkelse i mm	Isoleringstype
	anvendelse			
8	returluftkanaler		15	6. uorganiske måtter i papir eller lignende
	indblæsningskanaler for ventilation af rum under 20°C rum over 20°C i drift mindre end 8 timer daglig			
9	indblæsningskanaler for varmluftopvarmning ventilation af rum over 20°C i drift mere end 8 timer daglig		30	

Tabel 5. Normforslag til isoleringstykkelser for blikrørskanaler mod varmetab ved ventilations- og luftvarmeanlæg frit ophængte i bygninger uden for de rum, hvortil de fører luft. Tykkelserne er angivet som den færdige i mm. Ved gruppe 8 kan det ikke betale sig at isolere af driftsøkonomiske hensyn. Hvor kanalerne fører meget kold luft, og der kan være fare for dryp, må de isoleres specielt.

Rumluftens tilstand	Temperatur			Isoleringstype
	koldt 10°C	varmt 20°C	meget varmt 30°C	
tørt under 75% rel. fugtighed	0	15	20	7a. uorganiske måtter i papir
fugtigt over 75% rel. fugtighed	15	40	60	7b. glasuldskå- le eller lignende

Tabel 6. Normforslag til tykkelser for isolering mod dryp eller beskyttelse mod opvarmning af koldt vandsrør frit ophængte i bygninger. Tykkelserne er angivet som den nominelle i mm.

Hvor luftens relative fugtighed kommer over 90%, må der træffes særlige foranstaltninger. Det må dog erindres, at allerede 75% er en meget høj relativ fugtighed, som normalt ikke vil forekomme i bolig- og kontorbyggeri.

De gamle normer angiver 15,5 mm uden begrænsninger.

Rumluftens tilstand	Temperatur			Isoleringstype
	koldt 10°C	varmt 20°C	meget varmt 30°C	
tørt under 75% rel. fugtighed	20	20	20	8. uorganiske måtter i papir
fugtigt over 75% rel. fugtighed	20	50	50	

Tabel 7. Normforslag til tykkelser for isolering mod indvendig kondensation af aftræksrør frit beliggende i kolde tagrum. Tykkelserne er angivet som den nominelle i mm.

Hvor luftens relative fugtighed kommer over 90%, må der træffes særlige foranstaltninger. Det må dog erindres, at allerede 75% er en meget høj relativ fugtighed, som normalt ikke vil forekomme i bolig- og kontorbyggeri.

Aftræksrør er ikke medtaget i de gamle normer.

Rumluftens tilstand	Alle temperaturer	Isoleringstype
tørt under 75% rel. fugtighed	15	9. uorganiske måtter i papir eller lignende
fugtigt over 75% rel. fugtighed	50	

Tabel 8. Normforslag til tykkelser for isolering mod dryp af faldstammer, der fører tagvand, frit oplagte i bygninger. Tykkelserne er angivet som de nominelle i mm.

Hvor luftens relative fugtighed kommer over 90%, må der træffes særlige foranstaltninger. Det må dog erindres, at allerede 75% er en meget høj relativ fugtighed, som normalt ikke vil forekomme i bolig- og kontorbyggeri.

Faldstammer er ikke medtaget i de gamle normer.

	Nominel rørdiameter i mm			Isoleringstype
	10-20	25-50	større rør	
Nominel isole- ringstykkelse i mm	bør ikke udsættes for frost	50	20	10a. uorganiske måtter 10b. glasuldskåle eller lign.

Tabel 9. Normforslag til tykkelser for isolering mod frost af koldtvands- eller varmtvandsrør, frit ophængte i lukkede rum. Hvis rørene ligger i fri luft, eller det kan ske, at de er ude af drift i mere end et døgn, må der træffes særlige foranstaltninger for at undgå, at vandet i rørene fryser. De gamle normer angiver 24,5 mm uden begrænsninger.

projekterende selvstændigt har opstillet tabeller, hvis tykkelser ligger betydeligt over normerne. Eksempelvis kan anføres, at et stort rådgivende ingeniørfirma har følgende tykkelser i sine betingelser for isolering af centralvarmeanlæg for varmt vand:

10-20 mm rør	15 mm isolering
25-40 " "	20 " "
50-100 " "	25 " "
> 100 " "	30 " "

Det er heller ikke ualmindeligt at se betingelser, hvori der for alle rørdimensioner forlanges 25-30 mm isolering og 40-50 mm for beholdere.

#### DEN ØKONOMISKE BETYDNING AF NORMFORSLAGET FOR BOLIGBYGGERIET

Almindeligvis anses rørisoleringsarbejdet for at være af sekundær betydning, og der tages ikke så tungt på valget af isoleringstykkelsen. Det er dog ikke ganske berettiget.

Driftsudgifterne ved varmeisoleringen af centralvarmerørene i en bolig pr. lb. m er af samme størrelsesorden som ved ydervæggens isolering pr. m<sup>2</sup>.

Det maksimale varmetab gennem et teglstenstag isoleret med 25 mm uorganisk måtte ligger på ca. 28 kcal/m<sup>2</sup>·h og for et 70 mm centralvarmerør en me-



ter langt, isoleret med 25 mm måtte i en kælder, bliver varmetabet omtrent det samme. Udgifterne til dækning af varmetabet bliver også de samme, nemlig små 2,- kr. pr. år.

Det vil derfor være interessant at se, hvor stor besparelse der kan opnås pr. lejlighed ved isolering af rørene i en etageejendom og sammenligne det med det, der opnås ved varmisolering af ydervæggene.

I tabel 10 er givet tallene for en 3-etages blok med 36 lejligheder med rørene isoleret efter de gamle DIF-normer fra 1931, efter normforslaget her i tabel 4 og efter tabel 1 med de mest økonomiske isoleringstykkelser. Der er regnet med, at ikke hele rørtabet går til spilde, og priserne er à jourførte.

	DIF-normer af 1931	Normforslag tabel 4	Most økonomiske isoleringstykkelser tabel 1
Anlæg kr.			
varmeanlæg	3500,-	5300,-	5900,-
varmtvands- forsyningsanlæg	1600,-	2600,-	3900,-
ialt	5100,-	7900,-	9800,-
Brændsel kr/år			
varmeanlæg	1600,-	900,-	800,-
varmtvands- forsyningsanlæg	1400,-	900,-	700,-
ialt	3000,-	1800,-	1500,-
Drift kr/år			
varmeanlæg	1800,-	1300,-	1300,-
varmtvands- forsyningsanlæg	1600,-	1100,-	1000,-
ialt	3400,-	2400,-	2300,-

Tabel 10. Udgifterne ved forskellige isoleringer af rørene i en 3-etages blok med 36 lejligheder. Der er regnet med en brændselspris på kr. 176,- pr. ton kul og et byggprisindeks på 288, marts 1956.

Ved "Anlæg" forstås udgiften til rørisoleringsarbejdet ved bygningens opførelse, ved "Brændsel" forstås udgiften til dækning af den del af varmetabet fra rørene, der må betragtes som spildt, og ved "Drift" forstås summen af de årlige udgifter til afskrivning og forrentning og afskrivning af isoleringsarbejdet og ovenstående brændselsudgift.

Det fremgår ved sammenligning mellem de gamle og de nye normer, at en merinvestering på kr. 2800,- giver en årlig besparelse i driftsudgift eller husleje + varme på kr. 1000,- eller kr. 28,- pr. lejlighed. Brændselsbesparelsen alene er kr. 1200,- om året, så merinvesteringen er tjent ind på et par år.

Ved det samme hus er varmetabet ved transmissionen gennem ydervæggene m.v. og luftskiftet beregnet til ca. 215000 kcal/h, når huset er varmeisoleret som angivet i Statslånskravene af 1955. Brændselsforbruget til opvarmning alene vil ligge på 90 tons kul om året med en udgift på ca. 16000,- kr/år. Det tilsvarende hus opført uden tanke på varmeisolering efter Københavns Byggeskik ville have en brændselsudgift på ca. 25000,- kr/år. Den forbedrede byggeskik, som den giver sig udtryk i Statslånskravene, har medført en reduktion i brændselsforbruget på ca. 35% (i parentes bemærket endda uden merudgift ved husets opførelse)<sup>x)</sup>. Fordelingen af brændselsudgifterne vil antagelig være som i tabel 11.

Varmetab ved	opført efter Københavns Byggeskik	opført efter Statslånskrave- ne af 1955
vægge og etageadskillelser	12500,-	9600,-
vinduer	6250,-	3200,-
luftskifte	6250,-	3200,-
ialt	25000,-	16000,-

Tabel 11. Fordeling af brændselsudgifterne til opvarmning af en 3-etages blok med 36 lejligheder. Brændselspris 176,- kr/t.

Det betyder, at den forbedrede byggeskik har medført en reduktion i brændselsudgifterne pr. lejlighed til dækning af transmissionstabt gennem væggene og etageadskillelserne på kr. 84,- om året.

Når man betænkter, hvor meget der har været talt og skrevet herom, og hvilke anstrengelser det har kostet at komme så langt, forekommer det ejendommeligt, at ingen før har tænkt på rørisoleringen, hvor der uden større økonomiske ofre yderligere kan opnås besparelser på en trediedel af ovennævnte.

<sup>x)</sup> Se side 28 i P. Becher, Økonomisk varmeisolering, 2. udgave, 1950.

Isoleringsarbejderne udgør normalt ca. 4<sup>o/oo</sup><sup>x)</sup> af de samlede håndværkerudgifter, så i forhold til de store gevinster, der er at hente, kan det ikke betyde synderligt, at disse arbejder forøges til 5-6<sup>o/oo</sup>, som tilfældet vil være, hvis normforslaget følges.

I tabel 12 er opstillet beregningerne over udgifterne ved isolering af rørene i et oenfamiliehus med kælder. Det fremgår heraf, at ved at gå over til de nye normer spares 70,- kr. om året til husleje + varme med en merudgift ved opførelsen på kr. 140,-. Den årlige brændselsbesparelse bliver kr. 80,-.

	DIF-normer af 1931	Normforslag tabel 4
anlæg kr	340,-	480,-
brændsel kr/år	240,-	160,-
drift kr/år	270,-	200,-

Tabel 12. Udgifterne ved forskellige isoleringer af rørene i et oenfamiliehus. Der er regnet med en brændselspris på kr. 276,- pr. ton koks og et byggeprisindeks på 288, marts 1956.

Ved "anlæg" forstås udgiften til rørisoleringsarbejdet ved bygningens opførelse, ved "brændsel" forstås udgiften til dækning af den del af varmetabet fra rørene, der må betragtes som spildt, og ved "drift" forstås summen af de årlige udgifter til afskrivning og forrentning og afskrivning af isoleringsarbejdet og ovenstående brændselsudgift.

Ved oenfamiliehuset ser brændselsudgifterne til dækning af rørtabet meget store ud. Det må dog erindres, at varmen ikke er spildt på samme måde som i en etageejendom. Rørtabet holder kælder og trappe varm og nedsætter varmetabet gennem stuegulvet. Men det må nok anses for at være mindre økonomisk at undlade at isolere huset ordentligt, fordi rørtabet alligevel holder kælderen varm.

Disse tal belyser, at det nok er værd at ofre noget mere på rørisoleringen end det hidtil har været skik og brug, og at de besparelser, der kan opnås ved en bedre isolering, virkelig betyder noget for beboerne.

x) Byggeprisens bestanddele, SBI anvisning nr. 13, 1952.

Rørtabene er også så store, at der bør udvises megen omtanke, når rørføringen planlægges, således at rørtabene kommer opvarmningen til gode i videst mulig udstrækning. Hovedledninger bør så vidt muligt føres gennem bygningerne i stedet for at lægges i varmekanaler, og at lægge dem uden på bygningerne, som det er gjort ved rækkehuse, må anses for forkasteligt.

Til slut skal lige omtales den anden virkning, som rørenes isolering medfører, nemlig at temperaturfaldet på det gennemstrømmende varme vand nedsættes.

Som eksempel vælges et 80 mm rør, 100 m langt, lagt i en betonkanal i jorden med en vandføring på 15000 l/h  $\approx$  225000 kcal/h ved 15°C afkøling. Regnes returledningen, der ligger i samme kanal, at nedsætte varmetabet til det halve, og antages det, at kanal og jord yderligere nedsætter det 20%, bliver temperaturfaldet omtrent:

uden isolering

$$\frac{100 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot (90 - 0) ^\circ\text{C}}{15000 \text{ l/h}} = 0,6^\circ\text{C}$$

20 mm isolering efter DIF's gamle normer

$$\frac{100 \cdot 0,542 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 90}{15000} = 0,13^\circ\text{C}$$

40 mm isolering efter normforslaget

$$\frac{100 \cdot 0,344 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 90}{15000} = 0,08^\circ\text{C}$$

Heraf fremgår, at af hensyn til balancen i anlægget bør rørene isoleres, men at det ikke spiller nogen særlig rolle, hvor meget de isoleres. Når rørene er isolerede, er det altså ikke nødvendigt at regne med en lavere vandtemperatur i de blokke, der ligger længst væk fra varmecentralen.



## ISOLERING AF „VARME” RØR

Isoleringstyperne 1, 2, 3, 4, 5 og 6

### BEREGNINGSMETODEN

Ved enhver ledning for varmt vand, damp eller luft er der et uundgåeligt varmetab, der bliver mindre, jo tykkere rørisoleringen gøres. Men med voksende isoleringstykkelse stiger anlægsudgifterne og dermed de årlige kapitaludgifter; der må derfor for enhver ledning findes en isoleringstykkelse, der giver de mindste samlede udgifter til dækning af varmetab, forrentning og afskrivning, og denne kaldes den mest økonomiske isoleringstykkelse.

Til forskel fra varmeisolering af ydervægge f.eks. må der dog her tages hensyn til, at en del af varmetabet fra ledningen som regel kommer opvarmningen til gode. Dette gøres ved indførelse af begrebet spildfaktoren, se side 41.

De samlede årlige driftsudgifter kan kort skrives som

$$D = \frac{p}{100} \cdot K_{is} + K_w \quad \text{kr/år} \cdot \text{lb.m} \quad (1)$$

hvor  $p$  er den årlige ydelse af anlægsudgifterne i %,

$K_{is}$  isoleringsprisen i kr/lb.m og

$K_w$  udgifterne til dækning af varmetabet i kr/lb.m · år

Såfremt  $D$  kunne udtrykkes som en differentiabel funktion af isoleringstykkelsen, kunne minimum af  $D$  søges ved hjælp af differentiation. Men isoleringsprisen  $K_{is}$  varierer så uregelmæssigt med isoleringstykkelsen, at en sådan løsning af problemet er udelukket. Derfor må de isoleringstykkelser, der i praksis kan komme på tale, sammenlignes på følgende måde:

Forøges isoleringstykkelsen fra  $s_m$  til  $s_n$ , er betingelsen for en gunstigere driftsøkonomi, at

$$D_n < D_m \quad (2)$$

eller ved anvendelse af (1):

$$\frac{K_{is,n} - K_{is,m}}{K_{w,m} - K_{w,n}} < \frac{100}{p} \quad (3)$$

idet mærkerne m og n refererer henholdsvis til isoleringstykkelserne  $s_m$  og  $s_n$ , der følger umiddelbart efter hinanden i tabel 13 side 24, således at  $s_n > s_m$ .

Varmetabet  $K_w$  gennem den isolerede rørvæg kan beregnes, når dimensionerne og de varmetekniske egenskaber for isoleringen, røret og dets indhold er kendt. Ses der bort fra bøjningers, ventilers, flangers og fittings indflydelse, således at undersøgelsen kun gennemføres for lige rørstrækninger, kan prisen for den tabte varmemængde pr. lb.m rør udtrykkes ved

$$K_w = 24 \cdot a \cdot k \cdot K_v \cdot \sum_{\text{år}} \Delta T \cdot J \quad \text{kr/år} \cdot \text{lb.m} \quad (4)$$

hvor

a er spildfaktoren, nemlig den brøkdel af den gennem isoleringen bortledte varme, der går til spilde. Varmetabet fra røret reduceres altså, hvis varmen delvis nyttiggøres til husets opvarmning. Spildfaktoren bliver større end een, hvis det koster penge at fjerne varmen, f.eks. hvor der er kølerum i nærheden, eller hvis der kræves ventilation for at holde temperaturen nede på et tåleligt niveau (varmecentraler).

k er transmissionstallet i kcal/m·h·°C, nemlig den varmemængde i kcal, der ledes gennem isoleringen pr. lb.m rør pr. time, når temperaturforskellen mellem rørets indre og den omgivende luft er 1°C.

$K_v$  er prisen for den nyttiggjorte varme i anlægget i kr/kcal.  
 $\Delta T$  er temperaturforskellen mellem rørets indre og omgivelserne i °C.

J er det antal døgn pr. år, hvor temperaturforskellen mellem rørets indre og dets omgivelser er  $\Delta T$ °.

$\sum_{\text{år}} \Delta T \cdot J$  kaldes gradtidsfaktoren og er summen over eet år af det antal døgn, hvor rørets indre og dets omgivelser har temperaturforskellen  $\Delta T$ , multipliceret med det tilsvarende  $\Delta T$ . Gradtidsfaktoren benævnes

g =  $\sum_{\text{år}} \Delta T \cdot J$  i døgn · °C/år.

Der er herved ikke taget hensyn til de andre driftsudgifter i forbindelse

med opvarmningen ved vurderingen af de forskellige isoleringstykkelsers driftsøkonomi, idet udgifterne til fyring og pasning, elektricitet o.lign. anses for at være uafhængige af tykkelsen af rørisoleringen.

Ved indsættelse af udtrykket (4), side 21, for  $K_w$ , får ulighed (3) formen

$$\frac{K_{is,n} - K_{is,m}}{k_m - k_n} < 24 \cdot a \cdot K_v \cdot g \cdot \frac{100}{p} \quad (5)$$

Ulighedens venstre side udtrykker prisen for at forøge isoleringens transmissionstal med 1. Denne isoleringsenhedspris skal altså være mindre end produktet på højre side, såfremt det skal kunne betale sig at forøge isoleringstykkelsen.

Produktet på højre side af ulighedstegnet er uafhængigt af isoleringens egenskaber. For et bestemt rørsystem, hvis isolering skal finansieres på fastlagte betingelser, er såvel spildfaktoren  $a$  som kalorieprisen  $K_v$ , gradtidsfaktoren  $g$  og amortiseringsudgiften  $p$  fastlagte, konstante størrelser. Isoleringsenhedsprisen på venstre side af ulighedstegnet vokser almindeligvis med voksende isoleringstykkelse, og en yderligere forøgelse af tykkelsen medfører altså forbedret driftsøkonomi, så længe isoleringsenhedsprisen er mindre end produktet til højre. Den tykkelse  $n$ , der er mest økonomisk i drift, er den største, der tilfredsstiller ulighed (5), i det følgende kaldt økonomibetingelsen.

Den mest driftsøkonomiske isoleringstykkelse bestemt af (5) bør være udgangspunkt for valget af isoleringstykkelse ud fra det grundsynspunkt, at driftsøkonomien skal være den bedst mulige. Ved valget af beregningsforudsætningerne må det dog stadig erindres, at de skal vælges, så man ikke kommer til unødigt store isoleringstykkelser. Der er ingen grund til at binde for mange penge i isoleringsarbejderne, de "sidste" penge, der bindes, må altid være de dyreste.

#### FORUDSÆTNINGERNE

De behandlede rør- og isoleringstyper

Undersøgelsen omfatter, som omtalt i indledningen, tre forskellige slags røranlæg med ialt seks forskellige isoleringstyper, nemlig:

A. Opvarmnings- og varmtvandsforsyningsanlæg

Type 1. Uorganiske måtter i papir

" 2. Glasuldskåle

B. Højtryksanlæg

Type 3. Uorganiske måtter med trådvæv

" 4. Magnesiakomposition

" 5. Blikkappe udstoppet med løs Rockwool

C. Blikrør til varm luft

Type 6. Uorganiske måtter i papir

I tabel 13 er opført de rørdimensioner og i tabel 14 de isoleringstykkelser, for hvilke undersøgelsen er gennemført ved hver af de tre slags røranlæg.

De valgte isoleringstyper, -tykkelser og rørdimensioner omfatter de fleste i praksis forekommende tilfælde af rørisolering. Isoleringsmaterialer som hårfilt, kiselgur og asbest er ikke behandlet, da de i de senere år er blevet fortrængt i boligbyggeriet af materialerne Rockwool og Glasuld. Måtter fremstillet af de sidste to materialer bærer her fællesbetegnelsen "uorganiske måtter".

En udførlig beskrivelse af den arbejdsgang og de materialer, der er lagt til grund for beregningerne, bringes i det følgende for hver af de seks isoleringstyper.

Type 1: Uorganiske måtter i papir

For glasuldsmåtter ligger såvel isoleringsegenskaber som -priser så nær ved de tilsvarende for Rockwool, at det ikke er nødvendigt at foretage beregninger for mere end eet af måttefabrikaterne. Der er her valgt at beregne for Rockwoolmåtter.

Der er regnet med anvendelse af følgende materialer og arbejdsgang:

- a) Rockwoolmåtter i papir, type II, skæres i strimler og snøres omkring røret med fortinnet jerntråd,
- b) der pålægges 1 mm brunt vægpap, vægt  $360 \text{ g/m}^2$ ,
- c) der bevikles med klötzellerred, vægt  $130 \text{ g/m}^2$ ,  $9 \times 9$  tråde pr.  $\text{cm}^2$ ,
- d) der klistres,
- e) der limes og stryges een gang med oliemaling.

Der kan i praksis regnes med, at isolering med måtter kan foretages i eet lag op til en tykkelse, der er lige så stor som rørets ydre diameter, dog højst 50 mm måtte i eet lag. Ved større isoleringstykkelser end rørdiameteren - eller 50 mm - må der isoleres i flere lag.



A. Centralvarme- og varmtvandsforsyningsrør, isoleringstype 1 og 2			B. Højtryksrør, isoleringstype 3, 4 og 5			C. Blikrør, isoleringstype 6
Nominel indre diameter		Ydre diameter	Nominel indre diameter		Ydre diameter	Indre og ydre diameter
eng. "	mm	mm	eng. "	mm	mm	mm
Gevindrør			Glatte stålrør			100
$\frac{1}{2}$	15	21.25	(2)	50	57	200
$\frac{3}{4}$	20	26.75	( $2\frac{1}{2}$ )	70	76	300
1	25	33.50	(3)	80	89	400
$1\frac{1}{4}$	32	42.25	(4)	100	108	500
$1\frac{1}{2}$	40	48.25	(5)	125	133	600
Glatte stålrør			(6)	150	159	800
(2)	50	57	(8)	200	216	1000
( $2\frac{1}{2}$ )	70	76	(10)	250	267	1200
(3)	80	89	(12)	300	318	1600
(4)	100	108	(14)	350	368	2000
(5)	125	133	(16)	400	419	2500
(6)	150	159	(18)	450	469	
(8)	200	216	(20)	500	520	
(10)	250	267				
(12)	300	318				
(14)	350	368				
(16)	400	419				

Tabel 13. De rørdimensioner, hvis isoleringsekonomi er undersøgt, se Dansk Standard DS 515.

#### Type 2: Glasuldsskåle

Som grundlag for beregningerne er valgt de samme materialer og arbejdsprocesser som ved type 1, blot er strimlerne af uorganiske måtter ombyttet med glasuldsskåle. Glasuldsskåle findes i standardtykkelser op til 60 mm for alle rørdimensioner af glatte stålrør og leveres på bestilling i andre dimensioner.

A. Centralvarme- og varmtvandsforsyningsrør		B. Højtryksrør			C. Blikrør
Type 1: Uorganiske måtter	Type 2: Glasulds-skåle	Type 3: Rockwool-måtter med trådvæv	Type 4: Magnesiakomposition	Type 5: Løs Rockwool i blikkappe	Type 6: Uorganiske måtter
mm	mm	mm	mm	mm	mm
15	15	25	25	30	10
20	20	30	30	40	15
25	25	40	40	50	20
30	30	50	50	60	25
40	40	60	60	80	30
50		80	80	100	40
60	60	100	100	120	50
80	80	120	120	160	60
100	100	160	160	200	80
		200	200	240	100
		240		320	
				400	

Tabel 14. De isoleringstykkelser, hvis økonomi er undersøgt. Dimensionerne angiver den færdige isoleringstykkelser i mm.

#### Type 3: Uorganiske måtter med trådvæv

Beregningsgrundlaget med hensyn til materialer og arbejdsgang er atter det samme som ved isoleringstype 1, blot er der i stedet for måtter i papir regnet med måtter med galvaniseret trådvæv på een side.

#### Type 4: Magnesiakomposition

Beregningerne er foretaget ud fra følgende forudsætninger om materialer og arbejdsgang:

- a) Der pålægges først 15 mm kiselgurkomposition bestående af ublandet diatoméjord med en litervægt på højst 180 g og ublandet asbest i forholdet ca. 1 kg asbest pr. 100 l diatoméjord.
- b) Herefter pålægges magnesiakomposition bestående af en homogen blanding af 85% basisk magnesiumkarbonat og 15% ren, langfibret as-

best. Kompositionen påsmøres i lag, der højst er 10 mm tykke, indtil den foreskrevne tykkelse er nået. Et nyt lag påsmøres først, når det underliggende er omtrent udtørret. Isolationens overflade udføres hård, jævn, glat og uden revner, og der sørges for, at isolationen sidder godt fast på den overflade, der isoleres. Den færdigstrøgne magnesiamaasses rumvægt overstiger ikke  $225 \text{ kg/m}^3$ .

- c) Isolationen bevikles med klötzellærred, vægt  $130 \text{ g/m}^2$ ,  $9 \times 9$  tråde pr.  $\text{cm}^2$ ,
- d) der klistres,
- e) der limes og stryges een gang med oliemaling.

Hensynet til, at den underliggende masse skal være udtørret, før der påføres et nyt lag, sætter en højere grænse for isoleringens tykkelse. I praksis kan der næppe opnås større tykkelse end 120 mm.

#### Type 5: Blikkappe udstoppet med løs Rockwool

Grundlaget for beregningerne er den på fig. 1, side 39, viste konstruktion.

- a) Pladejernskappen udføres af 0,75 mm tyk galvaniseret jernplade i stykker på 1 m's længde. Hvert kappestykke når 50 mm ind over nabostykket, og samlingen sker ved popnitning.
- b) Afstandsholdere anbringes med 1 m's mellemrum. De udføres svejset af  $4 \times 25$  mm båndjern og består af en indre ring, der omslutter røret, og en ydre ring, der omsluttet af pladejernskappen. 3 radiære jern holder de 2 ringe og dermed røret og kappen i den rigtige afstand fra hinanden.
- c) Asbeststrimler, 3 mm tykke, lægges mellem røret og den indre ring samt mellem den ydre ring og pladejernskappen.
- d) Løs Rockwool, uimprægneret, type A, stoppes mellem røret og kappen til rumvægt  $240 \text{ kg/m}^3$ .

#### Type 6: Blikrør isoleret med uorganiske måtter i papir

Materialer og arbejdsgang er forudsat ganske som beskrevet ved type 1.

## Anlægsudgifterne ved forskellige isoleringstykkelser

Når økonomien for forskellige isoleringstykkelser skal sammenlignes, interesserer kun de økonomiske faktorer, der påvirkes af ændringer ved isoleringstykkelsen. Drejer det sig om anlægsudgifterne, er den vigtigste isoleringsprisen, men rørprisen og kodelprisen kunne spille en rolle.

Isoleringsprisen omfatter alle udgifter til isoleringslagets etablering, såvel til materialer som arbejds løn, omkostninger, fortjeneste m.v.

Isoleringsprisen stiger kraftigt med isoleringstykkelsen, men dens bestanddele og især arbejds lønnen er fastsat i praksis sådan, at isoleringsprisens vækst med tykkelsen sker i uregelmæssige spring. Dette forhold gør det umuligt ved hjælp af de sædvanlige matematiske funktionstegn at udtrykke isoleringsprisernes afhængighed af isoleringstykkelsen med den nøjagtighed, der kræves for at give tilfredsstillende resultater. Derfor må vurderingen af isoleringsekonomien foregå som en direkte sammenligning mellem forskellige, udvalgte isoleringstykkelser, som svarer til de i praksis forekommende fabrikater af måtter og skåle.

Isoleringspriserne for de forskellige isoleringstyper, -tykkelser og rørdimensioner findes i tabellerne 15-20. Santlige isoleringspriser er beregnet af Byggeriets Beregningsinstitut på grundlag af prisniveauet i København, oktober 1952, med byggeprisindeks 277. Der er i prisberegningerne taget hensyn til det for branchen normale materialforbrug, inklusive overlæg og 10% spild, tariffmæssig arbejds løn samt normale omkostninger og avancer.

Rørdimensionen og rørprisen kunne tænkes at blive påvirket af de ændringer i varmetabet, der bliver følgen af ændrede isoleringstykkelser, således at kraftigere isolering ville give formindskede rørdimensioner som følge af den formindskede varmemængde, det var nødvendigt at transportere gennem rørene. Imidlertid vil de ændringer af varmetabet, der er forårsaget af ændringer ved isoleringstykkelserne, være så ubetydelige, at de i praksis ikke kan motivere nogen forandring af rørdimensionen.

Hvis røret slet ikke blev isoleret, ville det kunne medføre en så betydelig stigning af varmetabet, at en forøgelse af rørdimensionen blev nødvendig. Men uisolerede rør er kun forsvarlige i så specielle tilfælde, at rørdimensionens ændringer som følge af manglende isolation helt er ladet ude af betragtning ved denne undersøgelse.

Kun ved blikrør for varm luft kan der i praksis forekomme tilfælde, hvor det er mest økonomisk at undlade at isolere. Men også ved disse rør vil en

## Isoleringstype 1

Nominel indre rørdiam.		Nominel måttetykkelse i mm								
inch	mm	15	20	25	30	40	50	60	80	100
1/2	15	3.46	4.52	4.91	6.56	7.70	8.97	10.63	14.25	-
3/4	20	3.59	4.65	5.06	6.76	7.90	9.14	10.85	14.80	-
1	25	4.44	4.81	5.23	5.87	8.17	9.40	11.30	15.56	-
5/4	32	4.64	5.02	5.46	6.09	7.50	9.94	11.90	16.46	21.41
1½	40	4.87	5.25	5.72	6.38	7.86	10.22	12.21	17.31	22.46
(2)	50	5.24	5.68	6.10	6.86	8.40	10.02	12.97	18.29	23.49
(2½)	70	5.99	6.55	7.07	7.91	9.70	11.58	15.11	20.29	26.22
(3)	80	6.59	7.07	7.60	8.50	10.38	12.69	16.16	21.57	27.79
(4)	100	7.22	7.74	8.27	9.25	11.57	13.85	17.56	23.53	30.05
(5)	125	8.21	8.77	9.38	10.84	13.26	15.78	19.72	26.16	33.12
(6)	150	9.49	10.20	10.96	12.23	14.92	17.62	21.89	28.77	38.48
(8)	200	12.14	12.94	13.96	15.32	18.44	21.64	27.44	36.05	45.37
(10)	250	14.54	15.45	16.38	18.13	21.68	25.28	31.80	41.32	51.50
(12)	300	17.24	18.54	19.79	22.11	27.08	32.28	37.30	48.61	60.75
(14)	350	19.80	21.11	22.46	25.04	30.46	36.14	41.74	54.02	67.09
(16)	400	22.33	23.75	25.20	28.00	33.92	40.06	46.30	59.54	73.54

Tabel 15. Priser for isolering af opvarmnings- og varmtvandsforsyningsrør med isoleringstype 1: Uorganiske måtter i papir (bygningmåtter), snoring, pap, lærred, klistering og een gang maling. Opgivet i kr. pr. lb. m, København, oktober 1952, byggeprisindex 277.



## Isoleringstype 2

Nominel indre rørdiam.		Glasuldsskåle med samlet tykkelse i mm								
inch	mm	15	20	25	30	40	50	60	80	100
1/2	15	4.51	5.81	6.79	7.67	9.63	11.48	13.32	21.39	26.90
3/4	20	4.76	6.12	7.05	8.04	10.00	11.92	13.75	22.43	27.75
1	25	5.67	6.44	7.37	8.42	10.38	12.36	14.26	23.19	28.56
5/4	32	5.94	6.78	7.83	8.88	10.96	12.87	14.83	23.89	28.78
1 1/2	40	6.34	7.12	8.29	9.34	11.52	13.44	15.44	24.88	29.82
(2)	50	Glasuldsskåle leveres på bestilling til denne dimension								
(2 1/2)	70	8.00	9.08	10.43	11.62	14.09	16.34	18.97	30.08	35.50
(3)	80	8.72	9.86	11.30	12.70	15.26	18.01	20.35	32.16	38.48
(4)	100	9.66	10.93	12.50	13.96	16.95	19.59	22.16	33.72	41.98
(5)	125	11.01	12.45	14.19	16.24	19.45	22.22	24.90	37.65	46.46
(6)	150	12.76	14.54	16.48	18.47	21.81	24.85	27.64	41.94	-
									75 mm	
(8)	200	16.29	18.49	20.87	23.17	27.10	30.47	33.67	47.80	-
(10)	250	19.53	22.15	24.92	27.60	31.98	35.64	39.23	-	-

← Isolering i eet lag →      ← Isolering i to lag →

Tabel 16. Priser for isolering af opvarmnings- og varmtvandsforsyningsrør med isoleringstype 2: Glasuldsskåle, snoring, pap, lærred, klistring og en gang maling. Opgivet i kr. lb. m, København, oktober 1952, byggeprisindeks 277.

## Isoleringstype 2

Nominel indre rørdiam.		Glasuldsskåle med samlet tykkelse i mm								
inch	mm	15	20	25	30	40	50	60	80	100
1/2	15	4.51	5.81	6.79	7.67	9.63	11.48	13.32	21.39	26.90
3/4	20	4.76	6.12	7.05	8.04	10.00	11.92	13.75	22.43	27.75
1	25	5.67	6.44	7.37	8.42	10.38	12.36	14.26	23.19	28.56
5/4	32	5.94	6.78	7.83	8.88	10.96	12.87	14.83	23.89	28.78
1½	40	6.34	7.12	8.29	9.34	11.52	13.44	15.44	24.88	29.82
(2)	50	Glasuldsskåle leveres på bestilling til denne dimension								
(2½)	70	8.00	9.08	10.43	11.62	14.09	16.34	18.97	30.08	35.50
(3)	80	8.72	9.86	11.30	12.70	15.26	18.01	20.35	32.16	38.48
(4)	100	9.66	10.93	12.50	13.96	16.95	19.59	22.16	33.72	41.98
(5)	125	11.01	12.45	14.19	16.24	19.45	22.22	24.90	37.65	46.46
(6)	150	12.76	14.54	16.48	18.47	21.81	24.85	27.64	41.94	-
									75 mm	
(8)	200	16.29	18.49	20.87	23.17	27.10	30.47	33.67	47.80	-
(10)	250	19.53	22.15	24.92	27.60	31.98	35.64	39.23	-	-
									<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>← Isolering i eet lag</span> <span>→ Isolering i to lag</span> </div>	

Tabel 16. Priser for isolering af opvarmnings- og varmtvandsforsyningsrør med isoleringstype 2: Glasuldsskåle, snoring, pap, lærred, klistring og een gang maling. Opgivet i kr. pr. lb. m, København, oktober 1952, byggeprisindeks 277.

Isoleringstype 3

Nominel indre rørdiam.	Nominel måttetykkelse i mm																	
	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	240							
inch mm																		
2	7.82	8.69	10.21	12.23	17.96	24.13	30.25	42.62	67.61	90.22	124.20							
2½	8.80	9.74	11.39	13.60	20.48	26.34	33.25	45.68	71.69	98.06	130.74							
3	9.62	10.62	12.37	14.74	22.07	28.20	35.40	48.34	75.06	101.96	137.74							
4	11.18	12.27	14.27	17.42	25.21	31.96	39.58	53.13	81.58	109.58	147.00							
5	12.88	14.13	16.87	20.05	28.66	35.79	44.00	60.46	90.29	117.70	156.88							
6	14.98	16.43	19.01	22.43	31.45	39.49	50.56	65.64	97.07	125.54	167.07							
8	18.66	20.38	23.37	27.42	38.84	48.64	59.31	78.26	112.88	144.45	188.45							
10	22.31	24.28	27.67	32.28	45.35	56.20	67.86	89.02	126.84	160.47	207.79							
12	26.28	28.78	33.41	40.47	53.02	65.76	79.51	101.79	142.81	179.66	229.14							
14	30.00	32.77	37.82	45.52	59.62	73.40	88.25	112.54	156.71	195.72	248.35							
16	33.77	36.81	42.30	50.67	66.34	81.22	97.15	123.57	170.98	212.10	267.91							
18	37.55	40.85	46.80	55.86	73.08	89.02	106.08	134.61	185.18	228.50	287.49							
20	41.28	44.82	51.22	60.89	79.66	96.66	114.79	145.39	199.12	244.57	306.68							
												←←← Isolering i eet lag →→→ 2 lag →→→ 3 lag →→→ 4 lag →→→ 5 lag →→→						

Tabel 17. Friser for isolering af højtryksrør med isoleringstype 3: Rockwool-måtter med galvaniseret trådvæv på den ene side, snøring, pap, lærred, klistring og een gang maling. Opgivet i kr. pr. lb. m, København, oktober 1952, byggeprisindeks 277.

Isoleringsstype 4

Nominel indre rørdiam.		Isoleringsstykkelse i mm												
inch	mm	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200			
2	50	6.28	7.28	9.82	12.60	15.68	23.08	31.32	39.38	62.07	-			
2½	70	7.02	8.15	10.93	14.05	17.68	25.49	34.29	44.36	66.92	-			
3	80	7.63	8.86	11.94	15.30	19.37	27.70	37.03	47.37	71.21	-			
4	100	8.78	10.16	14.04	18.08	22.31	31.58	41.86	53.14	78.79	-			
5	125	9.99	11.95	16.21	20.72	25.51	35.79	47.09	59.40	86.95	-			
6	150	11.68	13.56	18.29	23.30	28.54	39.77	52.03	65.30	94.82	128.34			
8	200	14.52	16.87	22.56	28.53	34.79	48.00	62.23	77.48	110.90	148.42			
10	250	17.33	20.08	26.75	33.69	40.91	56.06	72.22	89.40	126.76	168.06			
12	300	21.03	24.46	33.08	42.24	52.01	73.10	96.39	121.92	179.44	245.75			
14	350	23.93	27.76	37.39	47.54	58.33	81.43	106.70	134.20	195.71	266.07			
16	400	26.88	31.13	41.77	52.96	64.72	89.88	117.23	146.71	212.34	286.73			
18	450	29.86	34.51	46.17	56.79	71.16	98.34	127.72	159.29	228.94	307.38			
20	500	32.78	37.81	50.48	63.68	77.46	106.62	138.01	171.58	245.20	327.65			

Tabel 18. Priser for isolering af højtryksrør med isoleringstype 4: Magnesiakomposition, lærred, klustring og een gang maling. Opgivet i kr. pr. lb. m, København, oktober 1952, byggeprisindeks 277.

Nominel indre rørdiam.		Isoleringsstykkelse i mm															
inch	mm	30	40	50	60	80	100	120	160	200	240	320	400				
2	50	19.56	22.62	25.39	28.67	35.46	43.63	51.30	69.48	87.94	108.77	151.28	-				
2½	70	21.80	24.81	28.38	31.58	39.03	46.82	56.50	73.40	91.62	112.19	155.27	-				
3	80	23.25	26.73	30.12	34.28	42.00	51.33	58.96	75.29	95.19	115.39	159.72	-				
4	100	26.80	30.26	34.57	38.16	46.38	54.95	64.08	83.17	102.96	123.03	169.23	-				
5	125	29.75	34.23	38.04	42.69	50.70	60.07	69.81	90.25	109.59	131.88	179.38	-				
6	150	33.45	37.40	42.23	46.35	55.90	65.77	75.97	96.35	119.09	140.20	189.60	-				
8	200	39.51	44.47	50.13	54.78	65.36	76.31	87.57	110.07	133.89	159.03	207.85	-				
10	250	46.91	51.86	58.48	63.65	75.25	88.35	100.77	124.40	150.61	178.07	236.92	-				
12	300	54.67	60.94	68.60	76.37	92.60	110.14	126.60	167.64	214.39	265.82	387.47	531.79				
14	350	61.57	68.42	76.64	84.14	102.24	119.81	139.87	182.01	231.04	285.52	411.73	559.30				
16	400	71.60	79.03	87.80	95.86	114.50	134.37	154.24	199.93	251.11	307.89	437.42	590.55				
18	450	78.64	86.61	94.90	103.51	122.98	143.97	166.21	214.01	266.28	325.29	460.27	616.85				
20	500	84.45	92.96	102.86	112.00	131.54	153.60	175.85	225.78	281.25	342.53	480.75	642.79				

Tabel 19. Priser for isolering af højtryksrør med isoleringstype 5: Blikkappe udstoppet med løs Rockwool. Opgivet i kr. pr. lb. m, København, oktober 1952, byggeprisindeks 277.

## Isoleringstype 6

Rørdia- meter	Nominel måttetykkelse i mm									
	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
100	6.33	6.88	7.57	8.32	9.42	12.04	15.20	19.01	26.68	35.24
200	10.81	11.58	12.57	13.74	15.37	18.88	22.69	28.21	37.30	47.81
300	15.80	16.69	17.89	19.15	21.19	25.57	30.39	37.11	47.92	60.12
400	20.64	21.69	23.08	24.55	27.01	32.41	37.87	46.04	58.83	72.37
500	25.50	26.68	28.40	30.07	33.00	39.10	45.34	55.24	69.47	84.95
600	30.50	31.77	33.59	35.49	38.83	45.91	53.05	64.15	80.37	97.24
800	40.31	41.88	44.12	46.42	50.62	59.25	68.22	82.28	101.60	122.14
1000	50.04	51.87	54.63	57.37	62.41	72.75	83.21	100.39	123.14	146.95
1200	59.86	61.94	65.01	68.32	74.22	86.27	98.37	118.48	144.66	171.83
1600	79.53	82.15	86.04	90.06	97.66	113.27	128.76	154.48	187.74	221.29
2000	99.09	102.24	107.07	111.95	121.24	140.11	158.91	190.71	230.50	270.99
2500	123.63	127.42	133.28	139.23	150.69	173.79	196.76	235.87	284.20	333.00

Tablet 20. Priser for isolering af blikrør for ventilation med isoleringstype 6: Uorganiske måtter i papir (bygningmåtter), snøring, pap, lærred, klistering og een gang maling. Opgivet i kr. pr. lb. m, København, oktober 1952, byggeprisindeks 277.



forøgelse af rørdimensionen som følge af manglende isolering så godt som aldrig være motiveret.

Kedelprisen kunne muligvis reduceres, dersom varmetabet formindskedes ved forøget isolering. Men heller ikke her er den formindskelse af varmetabet, der i praksis vil forekomme stor nok til at motivere en mindre kedel. Kedelprisens indflydelse på det samlede varme anlægs driftsudgifter er desuden kun ringe, og der er derfor set bort fra en eventuel besparelse på kedlen ved en forøgelse af isoleringen.

Den eneste anlægsudgift, der påvirkes af isoleringstykkelser, bliver herefter isoleringsprisen.

#### Kalorieprisen

Denne beregnes efter formlen:

$$K_v = \frac{K_{br}}{1000 \cdot \eta \cdot B_{eff}} \quad \text{kr/kcal,} \quad (6)$$

hvor

$K_{br}$  = brændselsprisen i kr/t eller kr/1000 m<sup>3</sup>,

$B_{eff}$  = effektiv brændværdi i kcal/kg eller kcal/m<sup>3</sup>, og

$\eta$  = anlæggets totale nyttevirkning, rent tal.

Da såvel brændselspriser og brændværdier som de forskellige kedelanlægs totale nyttevirkningsgrader varierer stærkt og er påvirket af mange uberegnelige faktorer, vil kaloriemarkedet også variere. Den har som følge af stigende brændselspriser været stigende gennem årene og vil formentlig stige stadigvæk.

Med prisforholdene i oktober 1952 og fyring med kul, kan der ved centralvarmeanlæg og ventilationsanlæg under gennemsnitlige forhold regnes med:

brændselspris	130 kr/t	
effektiv brændværdi	6.500 kcal/kg	og
anlæggets totale nyttevirkning	0,7	

Det er muligt at drive et kedelanlæg med en virkningsgrad i gennemsnit om året på lidt over 80%<sup>x)</sup>, men under almindelige forhold vil varmeanlæg-

<sup>x)</sup> P. Becher, Olie- eller kulfyring, Boligen 1956, side 37, SBI særtryk nr.76.

gets totale nyttevirkning formentlig sjældent komme over 70%, og i mange tilfælde vil årsvirkningsgraden sikkert ligge helt nede på 40%.

Kalorieprisen bliver da

$$K_v = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ kr/kcal eller } 2,9 \text{ øre/Mcal.}$$

Ved højtryksanlæg regnes der med bedre virkningsgrad og fyringsøkonomi som følge af de større og mere velpassede anlæg, der her producerer varmen. Desuden kan der regnes med lavere priser som følge af de store partier, der indkøbes ad gangen, ligesom der gennemgående kan fyres med billigere brændselsorter. Regnes der med 15% lavere kaloriepris som følge af disse faktorerens virkninger, bliver

$$K_v = 0,85 \cdot 2,9 \cdot 10^{-5} \approx 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ kr/kcal eller } 2,5 \text{ øre/Mcal.}$$

Udgifterne til pasning af anlægget, elektricitet o.lign. er ikke medregnet i kaloriepriserne, idet disse udgifter må anses for at være uafhængige af tykkelsen på rørisoleringen.

Jo større sikkerhed mod for tyk isolering, man ønsker af indføre, des lavere brændselspris og des højere effektiv brændværdi og total nyttevirkningsgrad må der regnes med. Men da brændselspriserne formentlig vil være stigende fremover, ligger der i dette en stor sikkerhed mod at komme til at isolere for meget.

### Transmissionstillene

Transmissionstillene pr. lb.m rør beregnes efter formlen

$$k = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d} + \frac{1}{2\lambda} \ln \left(1 + \frac{2s}{d}\right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d \left(1 + \frac{2s}{d}\right)}} \quad \text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C} \quad (7)$$

hvor

$\alpha_1$  er det indre overgangstal i kcal/m<sup>2</sup>·h·°C

d rørets ydre diameter i m

s isoleringstykkelsen i m

$\lambda$  isoleringsmaterialets varmelodningsstal i kcal/m·h·°C og

$\alpha_2$  det ydre overgangstal i kcal/m<sup>2</sup>·h·°C.

$\alpha_1$  det indre overgangstal, kcal/m<sup>2</sup>·h·°C

Ved centralvarme- og varmtvandsforsyningsrør (isoleringstype 1 og 2) er overgangstallet mellem vand og rørvæg så stort, at leddet med  $\alpha_1$  falder bort.

Ved højtryksledninger (isoleringstype 3, 4 og 5) beregnes  $\alpha_1$  efter Cammerer<sup>x)</sup>. For overhedet damp fås ved tryk 10 atø, strømningshastighed 5 m/sek, og indvendig temperatur 500°C:

$$\alpha_{1,\min} = 48. \text{ Desuden er}$$

$$\alpha_{1,\max} \sim \infty$$

Når isoleringen gøres tykkere, stiger temperaturen på den indvendige røroverflade. Herved vokser  $\alpha_1$ . Ifølge Cammerer ændrer  $\alpha_1$  sig kun 10-20% ved en ændring på 100°C af den indvendige rørtemperatur. Ved en overslagsberegning viser det sig, at den største ændring af den indvendige rørtemperatur, der kan forekomme i praksis ved at ændre isoleringstykkelsen fra een størrelse til den nærmest følgende, er af størrelsesordenen et par grader. Her sættes derfor ved højtryksledninger

$$\alpha_1 = 100 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}.$$

Ved blikrør til luft (isoleringstype 6) er  $\alpha_1$  beregnet efter Strømborg i "Ingeniørshandboken", Stockholm 1947. Ved lufthastighed 1 m/sek og lufttemperatur 50°C have:

$$\alpha_{1,\min} = 6$$

og ved lufthastighed 20 m/sek og lufttemperatur 20°C:

$$\alpha_{1,\max} = 50$$

Når der tages hensyn til de i praksis hyppigst forekommende forhold kan der regnes med

$$\alpha_1 = 14,5.$$

Ifølge Cammerer forøges  $\alpha_1$  med 13%, når temperaturforskellen mellem luften i røret og væggen formindskes med 100°C. En beregning viser, at den størst forekommende temperaturvariation på den indvendige rørvæg, når isole-

<sup>x)</sup> J. S. Cammerer, Wärme- und Kälteschutz in der Industrie, 3. Auflage, Berlin 1951.

ringstykkelsen forøges fra een størrelse til den nærmest følgende, er et par grader.

s, isoleringstykkelsen, m

Ved isolering med måtter og glasuldsskåle (isoleringstype 1, 2, 3 og 6) regnes der med de nominelle tykkelser. Råmaterialerne og navnlig måtterne varierer en del i tykkelsen, men da pappen, der lægges udenom, altid vil ride på de højeste punkter, vil variationerne udjævnes på et større antal rør. Besnøringen med jerntråd vil navnlig ved de større isoleringstykkelser have en tendens til at forøge tykkelsen. Til gengæld vil ekscentriciteter og skævheder nedsætte isoleringsevnen, give større  $k$ , men da der i tykkelserne er set bort fra tykkelsen af pap og lærred, er det forsvarligt at regne med, at den nominelle måttetykkelse svarer til den færdige isolerings tykkelse ved ordentligt udført arbejde.

$\lambda$  isoleringsmaterialets varmeledningstal, kcal/m·h·°C

Varmeledningstallet vokser med stigende temperatur og er afhængig af rumvægten, altså stopningens tæthed. Efter fabrikkernes opgørelse gælder for Rockwool

vod 30 °C og rumvægt 120 kg/m <sup>3</sup>	$\lambda = 0,034$ og
" 60 " " " 120 "	$\lambda = 0,040$

I beregningerne er både for Rockwool og Glasuldsskåle regnet med

$$\lambda = 0,038 \text{ kcal/m}\cdot\text{h}\cdot\text{°C}$$

Ved højtryksrør (isoleringstype 3, 4 og 5) kan temperaturen inde i røret antage værdier mellem 150 og 530°C, hvilket svarer til gennemsnitstemperaturer i isoleringslaget fra 80°C til 280°C. Når der tages hensyn hertil og desuden til de øvrige usikkerheder ved isoleringen (stopningsvægten for Rockwool-isoleringerne, magnesiamaassens sammensætning), kan følgende grænseværdier for  $\lambda$  fastsættes efter de oplysninger, der er tilgængelige fra fabrikanterne samt hos Cammerer <sup>x)</sup> og Seifert <sup>xx)</sup>:

<sup>x)</sup> Se fodnote side 36.

<sup>xx)</sup> Karl Seifert, Der Wärmeschutz-Ingenieur, München 1954.

$$\lambda_{\min} = 0,040 \quad \text{og} \quad \lambda_{\max} = 0,072.$$

Her regnes med

$$\lambda = 0,054 \text{ kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$$

for højtryksrør isolerede med Rockwool eller magnesiakomposition.

Det kan ved første øjekast se ejendommeligt ud, at varmeledningstallet er det samme for to så forskelligartede stoffer som Rockwool og magnesiakomposition. Men begge stoffer er nede på så små rumvægte, Rockwool 240 kg/m<sup>3</sup> og magnesia 225 kg/m<sup>3</sup>, at man er nede ved det i praksis laveste opnåelige varmeledningstal<sup>x)</sup>

Stivernes indflydelse ved isolering med løs Rockwool i blikkappen (isoleringstype 5)

Stålstiverne, der holder blikkappen i den rigtige afstand fra røret, leder varme fra dette ud til overfladen af kappen, se fig. 1.

Med de på fig. 2, side 39, angivne betegnelser gælder følgende udtryk for den varmemængde, der pr. time strømmer fra røret til den indvendige ring for hvert sæt stivere:

$$W = (T_1 - T_2) \cdot 0,025 \cdot \pi \cdot d \frac{0,21}{0,003},$$

idet  $\lambda$  for asbest sættes til 0,21.

Den varmemængde, der pr. time strømmer gennem de tre stivere fra den indvendige ring til den ydre ring, er

$$W = (T_2 - T_3) \cdot 3 \cdot 0,004 \cdot 0,025 \cdot \frac{35}{D - d},$$

idet  $\lambda$  for stål sættes til 35.

Varmestrømmen fra den ydre ring til kappen er:

$$W = (T_3 - T_4) \cdot 0,025 \cdot \pi \cdot D \frac{0,21}{0,003}.$$

Ved eliminering af  $T_2$  og  $T_3$  findes:

$$W = \frac{(T_1 - T_4) 5,50}{\frac{1}{d} + \frac{1}{D} + 524 \cdot (D - d)}.$$

<sup>x)</sup> Se fig. 10 ff. i Hans Weibull, Mätning av värmeledningstallet för byggnadsmaterial, Statens Provningsanstalt Meddelande 117, Stockholm 1955.

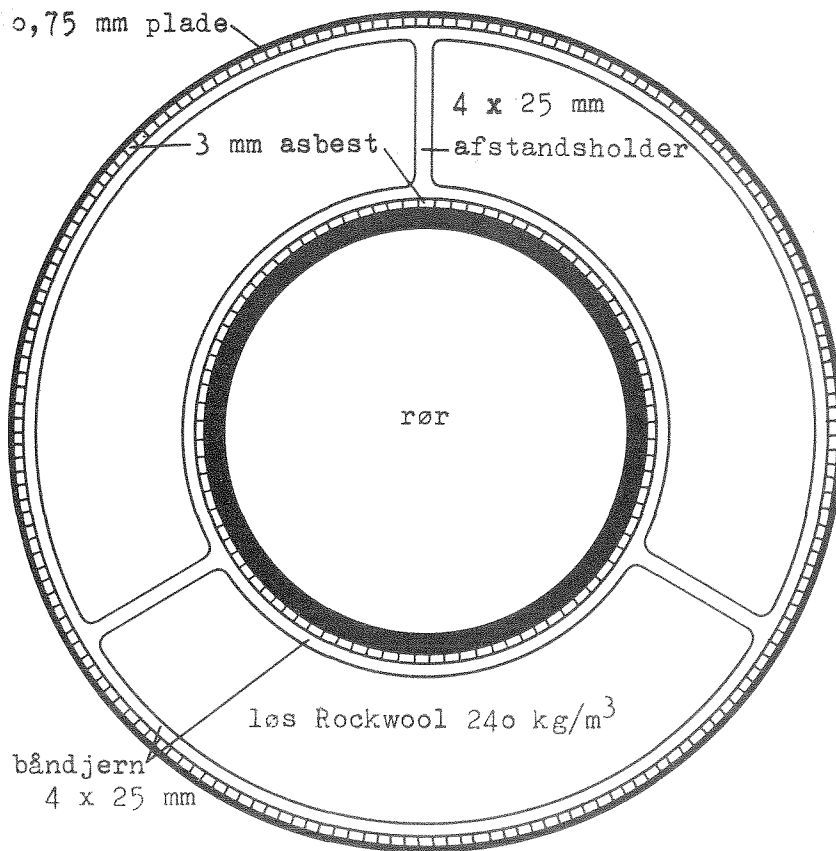


Fig. 1. Tversnit af rør isoleret med løs Rockwool i pladejernskappe.

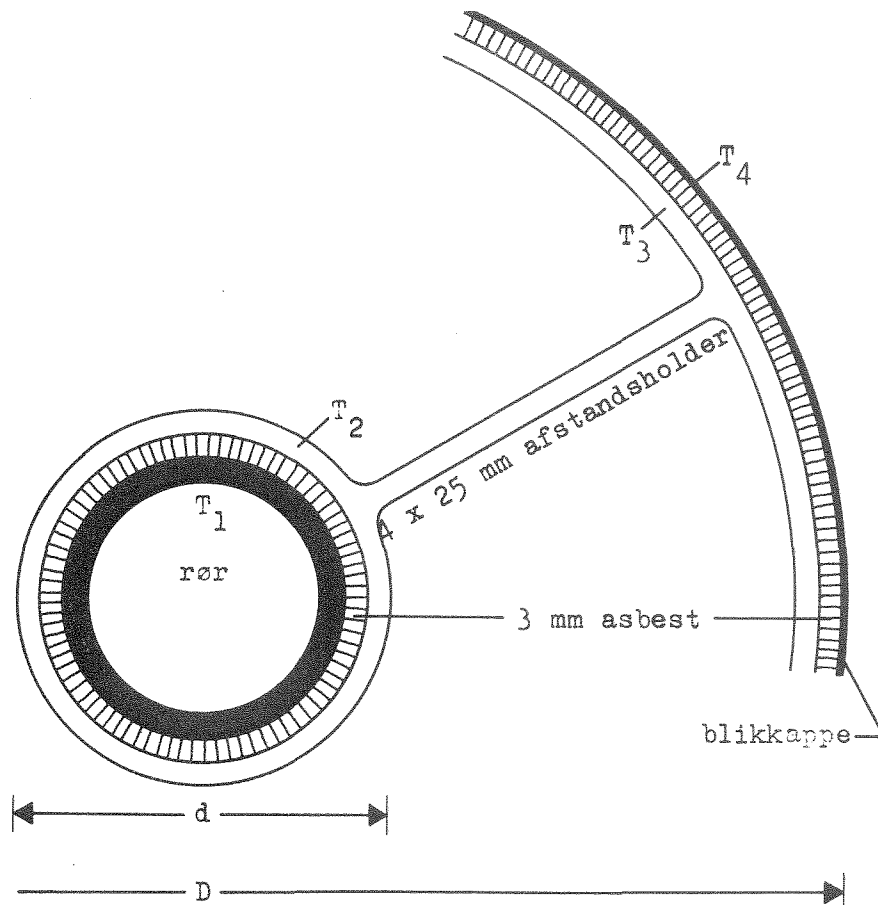


Fig. 2. Detail af stiver ved isolering med løs Rockwool i blikkappe.

Sættes  $(T_1 - T_4) = 1$ , og anbringes der eet sæt stivere for hver lb.m rør, haves

$$k_f = \frac{5,50}{\frac{1}{d} + \frac{1}{D} + 524 \cdot (D - d)},$$

hvor  $k_f$  er tillægget til  $k$  som følge af stivernes varmeledning.

Ved differentiering findes:

$$\frac{dk_f}{dD} = \frac{1}{5,50 \cdot k_f^2} \left( \frac{1}{D^2} - 524 \right), \quad (8)$$

der er negativ for  $D > 0,0436$ .

Da den mindste behandlede rørdimension er 50 mm, aftager  $k_f$  for alle de her behandlede dimensioner med voksende isoleringstykkelse, og da der her ved beregning af den mest økonomiske kun regnes med differencerne i transmissionstallene, er det på den sikre side (mod for stor tykkelse) at se bort fra stivernes virkning.

Efter Raisch <sup>x)</sup> er tillægget til varmeledningstallet på grund af støtte-ringene 0,002 - 0,012, alt efter ringenes udformning. Indflydelsen er altså uvæsentlig.

$\alpha_2$ , det ydre overgangstal, kcal/m<sup>2</sup>·h·°C

Ved at beregne  $\alpha_2$  efter Cammerer <sup>xx)</sup> for de i praksis forekommende kombinationer af temperaturer, overflader og dimensioner, findes ved opvarmings- og varmtvandsforsyningsrør (isoleringstype 1 og 2):

$$\alpha_{2,\max} = 11,3 \quad \text{og} \quad \alpha_{2,\min} = 7,5.$$

For højtryksrør isoleret med Rockwool eller magnesia (isoleringstype 3 og 4) findes

$$\alpha_{2,\max} = 12,5 \quad \text{og} \quad \alpha_{2,\min} = 7,5$$

og ved blikkappe udstoppet med løs Rockwool (isoleringstype 5), der har metallisk overflade

<sup>x)</sup> E. Raisch, Wärmeverluste durch Stützringe für Blechmäntel, Mitteilungen aus dem Forschungsheim für Wärmeschutz, München 1955.

<sup>xx)</sup> Se fodnoten side 36.



$$\alpha_{2,\max} = 8 \quad \text{og} \quad \alpha_{2,\min} = 4,5$$

Ved blikrør for ventilation (isoleringsstype 6) findes

$$\alpha_{2,\max} = 9,0 \quad \text{og} \quad \alpha_{2,\min} = 7,0$$

Da beregningen af disse overgangstal er ret usikker, vil det være tilladeligt overalt at regne

$$\underline{\alpha_2 = 8,5 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}}$$

De beregnede transmissionstal

Efter at de bestemmende størrelser  $\alpha_1$ ,  $\lambda$  og  $\alpha_2$  er fastlagt i det foregående, kan de tilsvarende transmissionstal beregnes for de forskellige rør- og isoleringstyper efter formel (7). Der er beregnet tre forskellige sæt transmissionstal, et i tabel 21 for opvarmnings- og varmtvandsforsyningsrør, omfattende såvel isolering med uorganiske måtter (isoleringsstype 1) som glasuldsskåle (isoleringsstype 2), et andet i tabel 22 for højtryksrør, omfattende isolering med Rockwoolmåtter med trådvæv (isoleringsstype 3), magnesiakomposition (isoleringsstype 4) og blikkappe udstoppet med løs Rockwool (isoleringsstype 5). Endelig findes i tabel 23 de beregnede transmissionstal for blikrør isoleret med uorganiske måtter (isoleringsstype 6).

### Spildfaktoren

Ved opvarmningsanlæg eller varmtvandsforsyningsanlæg er det ikke hele varmetabet fra ledningen, der er spildt, en vis del vil komme opvarmningen til gode. Varmetabet vil hæve temperaturen i det rum, hvor ledningen ligger, og derved nedsættes varmetabet fra de tilstødende opvarmede rum. Hvis ledningen ligger i et opvarmet rum, kan det i almindelighed ikke betale sig af økonomiske grunde at isolere røret, her går intet af varmen til spilde. Men det er anderledes ved isolerede ledninger, og for at bedømme, hvor meget varme der går til spilde, må man betragte varmeudvekslingen mellem ledningen og det uopvarmede rum, hvori den ligger, samt de tilstødende rum, sædvanligvis fuldt opvarmede rum i stueetagen eller den øverste etage, yderluften og jorden under kældergulvet.

Nominel indre rørdiam.		Nominel tykkelse af måtter eller skåle, mm.												
inch	mm	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100		
1/2	15	0,227	0,198	0,179	0,165	0,145	0,132	0,122	0,115	0,108	0,104	0,100		
3/4	20	0,262	0,228	0,204	0,187	0,163	0,147	0,135	0,127	0,120	0,114	0,110		
1	25	0,305	0,264	0,234	0,213	0,184	0,165	0,151	0,141	0,134	0,126	0,121		
5/4	32	0,362	0,308	0,273	0,246	0,210	0,187	0,170	0,158	0,148	0,141	0,134		
1 1/2	40	0,401	0,339	0,298	0,269	0,227	0,202	0,184	0,170	0,158	0,150	0,143		
(2)	50	0,457	0,384	0,334	0,301	0,254	0,223	0,203	0,185	0,173	0,164	0,155		
(2 1/2)	70	0,568	0,476	0,413	0,369	0,308	0,268	0,241	0,220	0,204	0,191	0,181		
(3)	80	0,651	0,542	0,469	0,417	0,344	0,299	0,266	0,243	0,224	0,210	0,197		
(4)	100	0,766	0,636	0,550	0,479	0,397	0,341	0,304	0,275	0,254	0,236	0,222		
(5)	125	0,913	0,763	0,651	0,572	0,467	0,400	0,353	0,318	0,291	0,271	0,253		
(6)	150	1,079	0,894	0,763	0,658	0,539	0,456	0,403	0,362	0,329	0,306	0,284		
(8)	200	1,429	1,145	0,993	0,857	0,694	0,587	0,507	0,455	0,414	0,379	0,354		
(10)	250	1,777	1,415	1,181	1,056	0,829	0,706	0,606	0,538	0,487	0,447	0,413		
(12)	300	2,060	1,625	1,389	1,208	0,972	0,811	0,703	0,623	0,563	0,514	0,473		
(14)	350	2,405	1,895	1,570	1,409	1,090	0,925	0,796	0,705	0,627	0,575	0,531		
(16)	400	2,725	2,170	1,809	1,599	1,243	1,036	0,894	0,786	0,708	0,642	0,591		

Tab. 21. Transmissionstal i kcal/m<sup>2</sup>·h·°C for opvarmings- og varmtvandsforsyningsrør i soleret med uorganiske måtter eller glasuldsskåle (isoleringsstype 1 og 2). Varmeledningstal  $\lambda = 0,038$  kcal/m<sup>2</sup>·h·°C og udvendigt overgangstal  $\alpha_2 = 8,5$  kcal/m<sup>2</sup>·h·°C.

Isoleringsstype 3, 4 og 5

Nominel indre rørdiam.		Isoleringstykkelse eller nominal måttetykkelse i mm.															
inch	mm	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	240	320	400			
2	50	0,442	0,401	0,343	0,305	0,277	0,240	0,216	0,198	0,175	0,159	0,148	0,134	-			
2½	70	0,547	0,492	0,416	0,366	0,331	0,282	0,251	0,229	0,200	0,181	0,167	0,149	-			
3	80	0,618	0,554	0,466	0,408	0,366	0,311	0,275	0,250	0,216	0,195	0,180	0,159	-			
4	100	0,721	0,643	0,537	0,467	0,417	0,351	0,309	0,279	0,240	0,214	0,197	0,173	-			
5	125	0,855	0,760	0,630	0,544	0,484	0,403	0,352	0,316	0,269	0,239	0,218	0,190	-			
6	150	0,995	0,881	0,726	0,624	0,552	0,457	0,396	0,354	0,299	0,264	0,239	0,207	-			
8	200	1,300	1,146	0,935	0,797	0,700	0,572	0,491	0,435	0,362	0,316	0,284	0,243	-			
10	250	1,572	1,382	1,121	0,951	0,838	0,674	0,575	0,506	0,417	0,362	0,323	0,273	-			
12	300	1,845	1,617	1,307	1,104	0,962	0,776	0,658	0,577	0,472	0,406	0,361	0,303	0,266			
14	350	2,110	1,848	1,488	1,254	1,090	0,875	0,739	0,645	0,524	0,449	0,398	0,332	0,290			
16	400	2,383	2,083	1,674	1,407	1,221	0,975	0,821	0,715	0,578	0,492	0,435	0,360	0,314			
18	450	2,654	2,316	1,858	1,560	1,350	1,076	0,905	0,784	0,631	0,536	0,472	0,389	0,337			
20	500	2,918	2,548	2,040	1,710	1,478	1,174	0,983	0,852	0,683	0,579	0,507	0,416	0,359			

Tabel 22. Transmissionstal i kcal/m<sup>2</sup>·h·°C for højtryksdamprør isoleret med Rockwool måtter med trådvæv, magnesiumakomposition eller blikkappe udstoppet med løs Rockwool (isoleringsstype 3, 4 eller 5). Varmeledningsstal  $\lambda = 0,054$  kcal/m<sup>2</sup>·h·°C, indvendigt overgangstal  $\alpha_1 = 100$  kcal/m<sup>2</sup>·h·°C og udvendigt overgangstal  $\alpha_2 = 8,5$  kcal/m<sup>2</sup>·h·°C.

Isoleringstype 6

Rørdia- meter	Nominel måttetykkelse i mm										
	0	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
100	1,683	0,772	0,617	0,527	0,461	0,413	0,346	0,302	0,271	0,229	0,202
200	3,37	1,473	1,165	0,972	0,838	0,739	0,605	0,517	0,456	0,374	0,322
300	5,05	2,170	1,707	1,414	1,211	1,063	0,861	0,729	0,636	0,514	0,437
400	6,73	2,87	2,25	1,855	1,584	1,385	1,116	0,940	0,816	0,653	0,551
500	8,42	3,57	2,79	2,30	1,957	1,709	1,370	1,150	0,995	0,792	0,664
600	10,10	4,27	3,33	2,74	2,33	2,03	1,62	1,36	1,174	0,929	0,776
800	13,47	5,66	4,41	3,61	3,07	2,68	2,13	1,78	1,530	1,205	1,002
1000	16,83	7,06	5,49	4,50	3,82	3,32	2,64	2,20	1,887	1,480	1,225
1200	20,20	8,44	6,57	5,38	4,55	3,96	3,14	2,62	2,24	1,754	1,448
1600	26,94	11,26	8,73	7,14	6,09	5,25	4,16	3,45	2,96	2,30	1,894
2000	33,67	14,01	10,89	8,91	7,56	6,53	5,18	4,29	3,67	2,85	2,34
2500	42,06	17,49	13,62	11,15	9,40	8,15	6,44	5,34	4,56	3,54	2,90

Tabel 23. Transmissionstal i kcal/m<sup>2</sup>·h·°C for blikkrør isoleret med uorganiske måtter (isoleringstype 6). Varmeledningstal  $\lambda = 0,038$  kcal/m·h·°C, indvendigt overgangstal  $\alpha_1 = 14,5$  kcal/m<sup>2</sup>·h·°C og udvendigt overgangstal  $\alpha_2 = 8,5$  kcal/m<sup>2</sup>·h·°C.

Ligevægtsbetingelsen for varmeudvekslingen vil være

$$\Delta q + \sum k_i \cdot F_i (t_i - t) = 0 \quad (9)$$

hvor

- $\Delta q$  er varmetabet fra røret  
 $F_i$  begrænsningsfladens areal mellem rummet, hvor røret ligger, og det tilstødende rum eller fri luft  
 $k_i$  begrænsningsfladens transmissionstal  
 $t_i$  temperaturen i det tilstødende rum eller fri luft og  
 $t$  temperaturen i rummet, hvor røret ligger.

Heraf findes

$$t = \frac{1}{\sum k_i \cdot F_i} \left[ \sum t_i \cdot k_i \cdot F_i + \Delta q \right] \quad (10)$$

Betegnes det tilstødende opvarmede rum med 1, vil varmestrømmen herfra være

$$k_1 \cdot F_1 (t_1 - t)$$

og den ændring, der sker i denne varmestrøm, når rørets varmetab gør sig gældende, vil være

$$\frac{k_1 \cdot F_1}{\sum k_i \cdot F_i} \cdot \Delta q$$

Defineres spildfaktoren a som den del af rørets varmetab, der må anses for spildt, bliver

$$a = 1 - \frac{k_1 \cdot F_1}{\sum k_i \cdot F_i} \quad (11)$$

Denne lidt grove betragtningsmåde viser altså, at spildfaktoren er uafhængig af ledningens art og temperaturforholdene. Men den vil heller ikke variere ret meget med rummets art og beliggenhed.

I en almindelig beboelsesblok er yderpunkterne et uudnyttet tagrum under et højt tegltag og en lun kælder. Regnes alt pr. lb. m. rør, fås eksempelvis:

tagrum	gulv	$k_1 = 0,65$ kcal/m <sup>2</sup> ·h·°C	$F_1 = 10$ m <sup>2</sup>
	tag	$k_2 = 4,0$ "	$F_2 = 14$ "
kælder	loft	$k_1 = 0,65$ "	$F_1 = 10$ "
	gulv	$k_2 = 1,2$ "	$F_2 = 10$ "
	ydervægge	$k_3 = 2,0$ "	$F_3 = 4,5$ "

Indsættes dette i (11), findes

$$a_{\text{loft}} = 1 - \frac{6,5}{62,5} = 0,90$$

$$a_{\text{kælder}} = 1 - \frac{6,5}{27,5} = 0,76$$

For at være på den sikre side regnes i det følgende med, at en forholdsvis stor del af varmetabet kommer huset til gode, og i gennemsnit sættes

$$a = 0,80$$

Ved ledninger nedlagt i terrænet vil transmissionstallet ifølge Cammerer<sup>x)</sup> andrage ca. 80% af transmissionstallet for en tilsvarende isoleret ledning ophængt i en bygning, idet jorden virker som isolator. Til gengæld vil hele transmissionstabt være spildt. Såfremt der ved vurdering af terrænledningers isoleringsøkonomi regnes med de transmissionstal, der gælder for ledningen ophængt i bygninger, kan der tages hensyn til disse forhold ved at sætte spildfaktoren  $a = 0,8$ .

Ved højtryksledninger må hele varmetabet regnes som spildt, og i det følgende er for denne slags ledninger (isoleringstype 3, 4 og 5) regnet  $a = 1$ .

Ved blikrørskanaler fra varm luft må hele varmetabet ofte regnes for spildt eller i hvert fald uønsket, så også her (isoleringstype 6) regnes  $a = 1$ .

Hvis rørets transmissionstab gennem isoleringen opvarmer et lokale, hvorfra varmen igen må fjernes ved køle- eller ventilationstekniske hjælpemidler (f.eks. i varmecentraler, for at temperaturen ikke skal blive uudholdelig, eller hvor kølerum må anbringes i nærheden af varmerør), er rørets varmetab ikke alene spildt, men det koster desuden penge at fjerne den spildte varme. I sådanne tilfælde bliver  $a$  større end 1.

Såfremt andre værdier af spildfaktoren forekommer, må der foretages korrektioner som anført side 71.

<sup>x)</sup> Se fodnoten side 36.

Ovenstående betragtninger gælder ikke for rørkanaler, hvor mange ledninger ligger sammen. Her vil som regel hele varmetabet kunne regnes spildt, og spildfaktoren sættes til 1, men varmetabene eller transmissionstallene bliver mindre end for tilsvarende ledninger frit ophængt. Det kan derfor ikke betale sig at isolere ledninger i kanaler lige så meget som frit ophængte, men forholdene er meget komplicerede og må bedømmes i hvert enkelt tilfælde.

### Kapitaludgifterne

Financieringsforholdene og rentefoden har i de senere år svinget stærkt, men de følgende diagrammer til bestemmelse af de mest økonomiske isoleringstykkelser er tegnet, således at de kan anvendes for en hvilken som helst årlig ydelse.

For at lette arbejdet er i omstående tabel 24 givet en oversigt over ydelsens variation med rentefod og afskrivningstid.

Ved opstilling af tabellerne over de mest økonomiske isoleringstykkelser og normforslagene er der overalt regnet med en rentefod på 6% p.a. og en afskrivningstid på 25 år eller en ydelse

$$p = 7,8\% \text{ p.a.}$$

Ved specielle anlæg, f.eks. ved industrianlæg og ventilationsanlæg i biografer er det dog muligt, at dette ikke slår til, og at der må regnes med en kortere afskrivningstid. Dette må nøje overvejes i hvert enkelt tilfælde.

### Gradtidsfaktoren

Gradtidsfaktoren, der er et udtryk for, hvor lange og intensivt anlægget udnyttes, er bestemt ved udtrykket

$$g = \sum_{\text{år}} \Delta T \cdot J ,$$

hvor



Afskrivningstid år	Rente i procent pro anno						
	4	5	6	7	8	9	10
2	53	54	55	55	56	57	58
3	36,0	36,7	37,4	38,1	38,8	39,5	40,2
4	27,5	28,2	28,9	29,5	30,2	30,9	31,5
5	22,5	23,1	23,7	24,4	25,0	25,7	26,4
6	19,1	19,7	20,3	21,0	21,6	22,3	23,0
7	16,7	17,3	17,9	18,6	19,2	19,9	20,5
8	14,9	15,5	16,1	16,7	17,4	18,1	18,7
9	13,4	14,1	14,7	15,3	16,0	16,7	17,4
10	12,3	13,0	13,6	14,2	14,9	15,6	16,3
12	10,7	11,3	11,9	12,6	13,3	14,0	14,7
14	9,5	10,1	10,8	11,4	12,1	12,8	13,6
16	8,6	9,2	9,9	10,6	11,3	12,0	12,8
18	7,9	8,6	9,2	9,9	10,7	11,4	12,2
20	7,4	8,0	8,7	9,4	10,2	11,0	11,7
25	6,4	7,1	7,8	8,6	9,4	10,2	11,0
30	5,8	6,5	7,3	8,1	8,9	9,7	10,6
35	5,4	6,1	6,9	7,7	8,6	9,5	10,4

Tabel 24. Årlig ydelse (renter plus afdrag) af en investeret kapital ved forskellige rentesatser og afskrivningsperioder. Det forudsættes, at de årlige ydelser er lige store gennem hele afskrivningsperioden. Ydelsen er opgivet i procent af den totale, investerede kapital.

hvor

$\Delta T = t_i - t_u$  er temperaturforskellen mellem rørets indre og omgivelserne i  $^{\circ}\text{C}$ , og

$J$  er det antal døgn, i hvilke anlægget drives med temperaturforhold svarende til hvert enkelt  $\Delta T$ .

Der må skelnes mellem følgende tre driftstilfælde:

1. Rør, hvis temperatur holdes konstant i hele driftsperioden, f.eks. varmtvandsforsyningsrør og damprør.
2. Rør, hvis temperatur varierer med temperaturen i det fri, f.eks. fordelingsledninger for opvarmningsanlæg med vand (vandvarmeanlæg).
3. Kanaler for varm luft.

#### 1. Rørtemperaturen konstant

Dette tilfælde er det enkleste at behandle. Røromgivelsernes temperatur kan variere, men denne variation er som regel så lille i forhold til temperaturforskellen, at

$$g = \sum_{\text{år}} \Delta T \cdot J = \Delta T_{\text{middel}} \cdot J_{\text{år}},$$

hvor

$\Delta T_{\text{middel}}$  er temperaturforskellen mellem rørets indre og omgivelserne i gennemsnit i  $^{\circ}\text{C}$ , og

$J_{\text{år}}$  antal driftsdøgn pr. år, døgn/år.

Ledninger af denne kategori er hovedsagelig:

dampledninger,

varmtvandsforsyningsledninger,

hovedledninger for varmeanlæg med vand med opspædning på forbrugsstedet.

Eksempelvis skal her beregnes graddidsfaktoren for varmtvandsforsyningsledninger i en boligblok.

Driftstiden  $J_{\text{år}}$  er 350 døgn/år, fremløbstemperaturen  $55^{\circ}\text{C}$  og returløbstemperaturen  $50^{\circ}\text{C}$ . Sættes røromgivelsernes middeltemperatur til  $10^{\circ}\text{C}$ , bliver graddidsfaktoren

$$g_{\text{frem}} = 350 (55 - 10) = 15700 \quad ^{\circ}\text{C} \cdot \text{døgn/år}$$

$$g_{\text{retur}} = 350 (50 - 10) = 14000 \quad "$$

De to tal afviger 6% fra middeltallet 14800, som det derfor må være tilfældigt alene at regne med. Det kan synes noget inkonsekvent at regne med en middelværdi, hvorved fremledningen vil blive isoleret for lidt og returen for meget. Men som det vil fremgå af de senere betragtninger, vil de afvigelser, der kan blive tale om, ikke påvirke beregningsresultaterne så meget, at den mest økonomiske isoleringstykkelser findes forskellig for frem og retur. En anden sag er, at man i praksis aldrig ville isolere frem og retur forskelligt, men det har naturligvis intet at gøre med de teoretiske overvejelser.

Denne beregningsmåde vil straks blive mødt af den indvending, at gradtidsfaktoren må da blive vidt forskellig, om ledningen ligger på loft eller i kælder. Det er ikke tilfældet. Fejlvurderingen skyldes vist nok bl.a., at middeltemperaturen over varmesæsonen eller året i et tagrum ligger meget højere, end man umiddelbart forestiller sig.

Med samme dimensioner som i eksemplet side 46 fås for:

<u>Tagrummet</u>	gulvet	$k_1 = 0,65$	$F_1 = 10 \text{ m}^2$
	taget	$k_2 = 4,0$	$F_2 = 14 \text{ "}$

Den udvendige døgnmiddeltemperatur i varmesæsonens 227 dage er  $+ 3,9^\circ\text{C}$  og i sommersæsonen  $+ 15,1^\circ\text{C}$  <sup>x)</sup>. For varmesæsonen findes tagrummets temperatur af (10) med et 32 mm rør med  $s = 30 \text{ mm}$  til

$$t = \frac{1}{6,5 + 56} \left[ 20 \cdot 6,5 + 3,9 \cdot 56 + 0,25 \cdot 50 \right]$$

$$t = 6^\circ\text{C} \text{ i varmesæsonen.}$$

For sommersæsonen anslås  $t = 18^\circ\text{C}$ .

$$g = 227 (55 - 6) + (350 - 227) (55 - 18) = 11100 + 4550 = \underline{15650}$$

<u>Kælderen</u>	loft	$k_1 = 0,65$	$F_1 = 10 \text{ m}^2$
	gulv	$k_2 = 1,2$	$F_2 = 10 \text{ "}$
	ydevægge	$k_3 = 2,0$	$F_3 = 4,5 \text{ "}$

$$t = \frac{1}{6,5 + 12 + 9} \left[ 20 \cdot 6,5 + 3,9 \cdot 9 + 8 \cdot 12 + 0,25 \cdot 50 \right]$$

$$t = 10^\circ\text{C} \text{ i varmesæsonen.}$$

For sommersæsonen anslås  $t = 14^\circ\text{C}$ .

x) P. Becher, Døgnmiddeltemperaturernes fordeling over året, SBI særtryk nr. 42, VARME nr. 3, 1954.

$$g = 227 (50 - 10) + (350 - 227) (50 - 14) = 9100 + 4420 = \underline{13520}$$

Middeltallet for  $g$  bliver 14600 med 7% afvigelser, altså meget nær det samme som for.

Det er bemærkelsesværdigt, at graddidsfaktoren kan beregnes på grundlag af et ret groft skøn, og at den for rør i samme anlægstype praktisk taget er uafhængig af, hvor røret er placeret. Ved de høje temperaturer i damp- og hedtvandsledninger bliver dette endnu mere udpræget. I tabel 28 findes graddidsfaktorerne for forskellige typer anlæg.

## 2. Rortemperaturen varierer

Ledninger af denne art forekommer navnlig ved vandvarmeanlæg, og dette tilfælde er mere uoverskueligt end det første, idet sammenhængen mellem rortemperaturen og den udvendige temperatur er ret kompliceret.

Her sættes graddidsfaktoren til

$$g = \sum_{\text{år}} \Delta T \cdot J = \Delta T_{\text{max}} \cdot J_{\text{max}} \quad \text{eller} \quad J_{\text{max}} = \sum_{\text{år}} \frac{\Delta T}{\Delta T_{\text{max}}} \cdot J \quad (12)$$

hvor

$\Delta T_{\text{max}}$  er temperaturforskellen mellem rørets indre og omgivelserne ved maximal ydelse af anlægget, °C, og  
 $J_{\text{max}}$  maksimaldøgnallet - det antal døgn, hvori anlægget skal drives med maximal ydelse for at afgive lige så store varmemængder som i løbet af et normalår (normal varmesæson), døgn/år.

Det gælder herefter om at beregne maksimaldøgnallet ud fra de forudsætninger, varmeanlægget er beregnet for, samt kendskabet til, hvorledes temperaturen i fri luft varierer gennem varmesæsonen.

Regnes der med, at fremløbsledninger og returledninger henholdsvis vil have samme temperatur som ovnstikkene, kan deres temperaturvariation udtrykkes ved følgende formel, angivet af Korsgård<sup>x)</sup>:

$$t_i = t_{st} + \Theta_{m,\text{max}} \left( \frac{\Delta t}{\Delta t_{\text{max}}} \right)^{0,82} + \frac{J_{\text{max}}}{2} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t_{\text{max}}} \quad (13)$$

hvor

<sup>x)</sup> V. Korsgaard, Fremløbstemperaturens afhængighed af vejret, VARME, nr. 6, 1951.

- $t_i$  = temperaturen i røret,  
 $t_{st}$  = temperaturen i rummet, hvor radiatorens varme afgives,  
 $\Theta_{m,max}$  = forskellen mellem middelradiatortemperaturen og stuetemperaturen,  
 $\Delta t$  = forskellen mellem stuetemperaturen minus  $3^{\circ}\text{C}$  og ydertemperaturen,  
 $\Delta t_{max}$  = forskellen mellem stuetemperaturen minus  $3^{\circ}\text{C}$  og ydertemperaturen  $-15^{\circ}\text{C}$ ,  
 $v_{max}$  = radiatortemperaturfald ved ydertemperatur  $-15^{\circ}\text{C}$ , + for fremløbsledninger, - for returledninger.

Da rørttemperaturen ikke varierer proportionalt med ydertemperaturen, men efter den mere komplicerede formel (13), kan det sædvanlige graddagtal, som er proportionalt med temperaturforskellen inde-ude og bruges ved bestemmelse af brændselsforbruget til opvarmning, ikke anvendes ved beregning af gradtidsfaktoren. Gradtidsfaktoren kommer derfor til at afhænge af anlæggets art og de forudsætninger, der er gjort over driftstemperaturerne ved anlæggets beregning.

Ved beregning af det almindelige graddagtal er udgangspunktet som regel en stuetemperatur på  $17^{\circ}\text{C}$  som døgn gennemsnit, idet det skønnes, at varmeafgivelse fra beboere, belysning, madlavning og solvarme præsterer det resterende varmebehov op til de  $20^{\circ}\text{C}$ , der regnes for den normale stuetemperatur om dagen; yderligere er stuetemperaturen om natten reduceret på grund af diskontinuert drift, lukning af radiatorer etc. Varmeanlægget skal således kun præstere opvarmning til stuetemperatur  $20^{\circ}\text{C}$  minus  $3^{\circ}\text{C}$ .

For boliganlæg sættes i overensstemmelse hermed

$$\Delta t = t_{st} - 3 - t_{ydre}$$

hvor  $t_{ydre}$  = temperaturen i fri luft.

Heraf fås

$$\Delta t_{max} = t_{st} - 3 - t_{ydre,min} = 20 - 3 - (-15) = 32^{\circ}\text{C}.$$

Af (13) fås

$$\Delta T = t_i - t_u = (t_{st} - t_u) + \Theta_{m,max} \left( \frac{\Delta t}{\Delta t_{max}} \right)^{0,82} \pm \frac{v_{max}}{2} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t_{max}} \quad (14)$$

hvor

$t_u$  er røromgivelsernes temperatur i °C, f.eks. temperaturen i kælderen eller på loftet.

Når der regnes med, at forholdet mellem den aktuelle og den maksimale forskel mellem stuens og røromgivelsernes temperatur er lig med forholdet mellem den aktuelle og maksimale forskel mellem opvarmningstemperaturen og temperaturen i fri luft, haves:

$$t_{st} - t_u = (t_{st} - t_{u,min}) \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t_{max}} \quad (15)$$

Denne tilnærmelse er tilladelig, da (15) indsat i (14) indgår i et underordnet led, således at man får:

$$\Delta T = \Theta_{m,max} \left( \frac{\Delta t}{\Delta t_{max}} \right)^{0,82} + (t_{st} - t_{u,min} \pm \frac{J_{max}}{2}) \frac{\Delta t}{\Delta t_{max}}$$

Indsættes  $\Delta T = \Delta t_{max}$ , findes

$$\Delta T_{max} = \Theta_{m,max} + t_{st} - t_{u,min} \pm \frac{J_{max}}{2}$$

og ved indsættelse i (12):

$$J_{max} = \sum_{\text{år}} \frac{\Theta_{m,max} \left( \frac{\Delta t}{\Delta t_{max}} \right)^{0,82} + (t_{st} - t_{u,min} \pm \frac{J_{max}}{2}) \frac{\Delta t}{\Delta t_{max}}}{\Theta_{m,max} + t_{st} - t_{u,min} \pm \frac{J_{max}}{2}} \cdot J \quad (16)$$

For at beregne maksimaldøgntallet  $J_{max}$ , må sammenhængen mellem følgende størrelser kendes:  $\Delta t$  = forskellen mellem opvarmningstemperaturen inde og ydertemperaturen, og  $J$ , antallet af døgn, hvori de forskellige temperaturforskelle kan forventes at indtræffe i løbet af en normal varmesæson. I tabel 25 er vist hyppigheden af de forskellige døgnmiddeltemperaturer over året<sup>x)</sup>. Med 1°C interval er angivet, hvor hyppigt vedkommende døgnmiddeltemperaturer forekommer i løbet af varmesæsonen i et normalår, beregnet på basis af årene 1901-1940. Varmesæsonen strækker sig fra 24/9, hvor døgnmiddeltemperaturen går under +12°C til 8/5, hvor den går over +10°C, ialt 227 døgn.

Ved at indsætte tabel 25's værdier for  $J$  i (16) findes maksimaldøgntallet  $J_{max}$ , idet det erindres, at temperaturforskellen inde-ude er lig med  $\Delta t = t_{st} - 3 - t_{ydre}$ . Resultatet ses i tabel 26.

x) P. Becher, Døgnmiddeltemperaturernes fordeling over året. SBI særtryk nr. 42, VARME nr. 3, 1954.

En døgnmiddeltemperatur i intervallet $t_{ydre}$ °C	vil gennemsnitlig indtræffe i J døgn
-18,0 - -17,1	0,00
-17,0 - -16,1	0,02
-16,0 - -15,1	0,03
-15,0 - -14,1	0,05
-14,0 - -13,1	0,03
-13,0 - -12,1	0,05
-12,0 - -11,1	0,15
-11,0 - -10,1	0,13
-10,0 - -9,1	0,37
-9,0 - -8,1	0,55
-8,0 - -7,1	0,77
-7,0 - -6,1	1,25
-6,0 - -5,1	1,92
-5,0 - -4,1	2,75
-4,0 - -3,1	4,93
-3,0 - -2,1	6,82
-2,0 - -1,1	9,37
-1,0 - -0,1	11,85
0,0 - 0,9	17,20
1,0 - 1,9	20,82
2,0 - 2,9	20,85
3,0 - 3,9	19,12
4,0 - 4,9	19,37
5,0 - 5,9	16,18
6,0 - 6,9	15,77
7,0 - 7,9	13,83
8,0 - 8,9	10,42
9,0 - 9,9	9,13
10,0 - 10,9	7,12
11,0 - 11,9	6,40
12,0 - 12,9	4,48
13,0 - 13,9	2,52
14,0 - 14,9	1,42
15,0 - 15,9	0,60
16,0 - 16,9	0,45
17,0 - 17,9	0,20
18,0 - 18,9	0,05
19,0 - 19,9	0,03
20,0 - 20,9	0,00
	227,00

Tabel 25. Døgnmiddeltemperaturernes hyppighed over normalvarmesæsonen 24/9 til 8/5 i gennemsnit for årene 1901-40.



Røromgivelsernes temperatur °C		+5 (kælder)			-10 (tagrum)			
Max. radiatortemperaturfald °C		20		15	20		15	
Max. fremløbstemperatur °C		90	80	90	90	80	90	
$J_{\max}$	Stuetemp. $t_{st}=10^{\circ}\text{C}$	Fremløb	48,3	48,1	48,7	47,0	46,7	47,3
	Fabrikker	Retur	51,0	51,2	50,6	48,9	48,7	48,7
	Stuetemp. $t_{st}=20^{\circ}\text{C}$	Fremløb	104,4	103,8	104,8	102,8	102,2	103,2
	Boliger	Retur	107,6	107,4	107,2	105,1	104,5	104,9

Tabel 26. Maksimaldøgntal  $J_{\max}$  for varmetabet fra rør i vandvarmeanlæg i døgn/år. Maksimaldøgntallet angiver det antal døgn, varmeanlægget skal drives ved maksimal temperatur, for at varmetabet fra rørene skal blive det samme som ved normal drift over en varmesæson, hvori fremløbstemperaturen naturligvis ikke er konstant.  $J_{\max}$  varierer i nogen grad med anlæggets beregningsforudsætninger og rørenes beliggenhed. For varmeanlæg i boliger er varmesæsonen regnet til 227 døgn/år med en gennemsnitlig opvarmnings-temperatur for stuerne på  $17^{\circ}\text{C}$ . For fabrikker er varmesæsonen regnet til 170 døgn/år med opvarmning til  $7^{\circ}\text{C}$ .

Af tabel 26 ses, at maksimaldøgntallet varierer meget lidt med den påregnede maksimale fremløbstemperatur og temperaturfaldet i radiatorerne. I det følgende regnes der derfor ved almindelige vandvarmeanlæg med følgende afrundede værdier:

boliger:  $J_{\max} = 100$  døgn/år og

fabrikker:  $J_{\max} = 50$  døgn/år.

I tabel 27 bringes en oversigt over graddidsfaktoren for forskellige anlægstyper med varierende rørtemperatur gennem driftsperioden.

### 3. Blikrør for varm luft

Hvor der indblæses varm luft i et lokale, vil det altid være således, at indblåsningstemperaturen er proportional med varmetabet, enten der er tale om et rent luftvarmeanlæg eller et friskluftsanlæg, der kun skal yde et vist varmetilskud. Indblåsningstemperaturen eller temperaturen på luften i blikrøret vil derfor variere proportionalt med den ydre temperatur, og forud-

Grp.	Varmeanlæg med varierende rørtemperatur i driftsperioden	Frem-løb max °C	Retur max °C	Omgivelses-temperatur min °C	Maksimaltemperaturforskelle $\Delta T_{\max}$ °C	Maksimaldøgntallet $J_{\max}$ °C·døgn/år	Gradtidsfaktoren $G = \Delta T_{\max} \cdot J_{\max}$	
							°C·døgn	middel for frem og retur °C·døgn
1	fabriksanl. varmt vand	90	75	0	90	50	4500	4100
	hedt vand	120	90	0	120	50	6000	5300
2	boliganlæg varmt vand	80	60	-10 +5	90 55	100 100	9000 5500	7300
	varmt vand	90	75	-10 +5	100 70	100 100	10000 7000	8500
	hedt vand	120	90	0 0	120 90	100 100	12000 9000	10500

Tabel 27. Gradtidsfaktoren for forskellige typer varmeanlæg for varmt vand med varierende rørtemperatur i varmesæsonen.

sættes det, at temperaturen på blikrørets omgivelser varierer proportionalt med den ydre temperatur, vil maksimaldøgntallet være proportionalt med det sædvanlige graddagtal. Maksimaldøgntallet er jo blot det antal døgn, blikrøret skal være i drift ved maksimalbelastning, for at varmetabet fra røret skal være det samme som over en normal sæson. Kaldes gradtallet  $G$ , bliver

$$J_{\max} = \frac{G}{\Delta t_{\max}} \quad (17)$$

idet det erindres, at  $\Delta t_{\max}$  er forskellen mellem temperaturen inde i  $3^{\circ}\text{C}$  og den laveste ydertemperatur, anlægget er dimensioneret for.

Her må der dog reduceres for eventuelle stilstandsperioder under hensyntagen til, at efter en stilstandsperiode kræves der en vis overtemperatur den første del af driftstiden for at varme anlæg m.v. op.

Gradtidsfaktoren bliver

$$g = \frac{H}{24} \cdot \frac{G}{\Delta t_{\max}} \cdot \Delta T_{\max} \quad (18)$$

Gruppe	Anlæg med konstant rørtemperatur i hele driftsperioden	Fremløb	Retur	Omgivelsernes middeltemp. °C	Middeltemp.-forskellen $\Delta T_{mid}$ °C	Driftsdøgn pr. år, Jår	Gradtidsfaktoren $\Delta T_{mid} \cdot Jår$ °C·døgn
2	Varmt brugsvand og kondensledning	55	50	10	42,5 <sup>x)</sup>	227	9.700
350						15.000	
3	Hovedledning for varme	90	75	10	72,5 <sup>x)</sup>	227	16.400
350						25.400	
3	Hedt brugsvand	100	80	10	80 <sup>x)</sup>	227	18.100
350						28.000	
3	Hovedledning for hedtvandsopvarmning	120	90	10	95 <sup>x)</sup>	227	21.500
350						33.200	
4	Lavtryksdamp, 2 ato	120		10	110	227	25.000
350						38.000	
4	Mellemptryksdamp, 8 ato	175		20	155	227	35.000
350						54.000	
5	Højtryksdamp, 20 ato	215		20	195	227	45.000
350						68.000	
6	Overhedet damp	250		20	230	350	80.000
6	" "	300		20	280	350	100.000
7	" "	400		20	380	350	130.000
7	" "	500		20	480	350	170.000

Tabel 28. Gradtidsfaktoren for forskellige anlægstyper for varmt vand og damp med konstant rørtemperatur.

x) Fremløbs- og returledning under eet.

hvor

$H$  er driftstiden pr. døgn i timer, og  
 $\Delta t_{\max}$  forskellen mellem temperaturen af luften i røret og omgivelserne ved den laveste ydertemperatur, anlægget er dimensioneret for.

Ved blikrør for returluft må  $g$  reduceres, hvis ikke al luften recirkuleres. Det vil ikke være økonomisk forsvarligt at isolere et blikrør fuldt ud, hvis en del af returluften blæses ud i det fri alligevel.

For de forskellige anlægstyper fås:

Ventilationsanlæg for 20°C rum

Graddagtallet er i middel af skygge og sol 3033 °C·døgn og den laveste ydertemperatur, der regnes med, -10°C, hvoraf

$$g = 4,7 \cdot H \cdot \Delta T_{\max} \text{ °C} \cdot \text{døgn} \quad (19)$$

Luftvarmeanlæg for fabrikker

Af hensyn til den diskontinuerte drift dimensioneres sådanne anlæg ofte for -15°C, rumtemperaturen sættes til +10°C og basistemperaturen dermed til +7°C. Graddagtallet bliver for denne basistemperatur  $G = 819 \text{ °C} \cdot \text{døgn}$ , hvorefter

$$g = 1,5 \cdot H \cdot \Delta t_{\max} \text{ °C} \cdot \text{døgn} \quad (20)$$

I tabel 29 findes graddagsfaktorerne for forskellige typer ventilationsanlæg.

Anlægstype		Ledningens anvendelse	Rørets lufttemperatur max. °C	Omgivelsernes temperatur min. °C	Driftstid H timer/døgn	Maksimal temperaturforskel $\Delta T_{max}$ °C	Maksimal døgtallet $J_{max}$ · døgn/år	Gradtidsfaktoren g °C · døgn/år	Gruppe
Kontorer Banker Skoler	luftopvarmning	indblæsn.	50	0	10	50	110	2400	9
		retur, 75%	20	5		15		530	8
	kun ventilation	indblæsn.	25	0	8	25		940	9
		retur, 60%	20	5		15		340	8
Restauranter	luftopvarmning	indblæsn.	50	5	14	45	110	3000	9
		retur, 60%	20	10		10		400	8
	kun ventilation	indblæsn.	25	0	10	25		1200	9
		retur, 40%	20	5		15		280	8
Biografer	luftopvarmning	indblæsn.	50	5	8	45	110	1700	9
		retur, 60%	20	10		10		230	8
	kun ventilation	indblæsn.	25	0	4	25		470	8
		retur, 40%	20	5		15		110	8
Teatre Forsamlingslokaler	luftopvarmning	indblæsn.	50	5	6	45	110	1300	9
		retur, 60%	20	10		10		170	8
	kun ventilation	indblæsn.	25	0	4	25		470	8
		retur, 40%	20	5		15		110	8
Sports- haller	luftopvarmning	indblæsn.	50	0	8	50	110	1900	9
		retur, 80%	20	5		15		450	8
	kun ventilation	indblæsn.	20	0	2	20		200	8
		retur, 60%	20	0		20		110	8
Fabrikker	luftopvarmning	indblæsn.	50	5	20	45	37	1400	9
		retur, 80%	10	5		5		120	8
	kun ventilation	indblæsn.	20	0	8	20		240	8
		retur, 60%	10	0		10		70	8

Tabel 29. Gradtidsfaktorer for forskellige typer luftvarme- og ventilationsanlæg. Der er regnet med, at blikrørene lægges i rum, der i hvert fald holdes frostfri, og at returluftkanaler som oftest lægges i forholdsvia lunde kælderrum, bl.a. for at hindre kondensation i rørene.

## BEREGNINGSRISULTATERNE

Indsættes de foranstående værdier i formlen for driftsudgifterne (1), fås for

centralvarmerør for varmt vand

$$D = 0,078 K_{is} + 3,9 k \quad (1a)$$

varmtvandsforsyningsanlæg

$$D = 0,078 K_{is} + 8,4 k \quad (1b)$$

For de andre anlægstyper varierer forudsætningerne så meget, at der ikke kan gives almengyldige formler. Det må blot erindres, at den fulde formel lyder

$$D = \frac{p}{100} K_{is} + 24 \cdot a \cdot k \cdot K_v \cdot g \quad \text{kr/lb.m}\cdot\text{år}$$

hvor

$p$  er kapitallydelsen % p.a.

$K_{is}$  isoleringsprisen kr/lb.m

$a$  spildfaktoren

$k$  transmissionstallet kcal/m.h.°C

$K_v$  kalorieprisen kr/kcal

$g$  grædidsfaktoren °C.døgn/år.

Betingelsen for, at en isoleringstykkelse  $s_n$  giver mindre årlige udgifter end tykkelsen  $s_m$ , er som tidligere nævnt

$$\frac{K_{is,n} - K_{is,m}}{k_m - k_n} < 24 \cdot a \cdot K_v \cdot g \cdot \frac{100}{p} \quad (5)$$

Den største isoleringstykkelse  $s_n$ , der tilfredsstillende (5), er den mest økonomiske. Sammenligningen mellem de forskellige isoleringstykkelser foretages lettest grafisk ved hjælp af eet diagram for hver isoleringstype. Diagrammet konstrueres på følgende måde:

Venstre side af (5), brøken  $\frac{K_{is,n} - K_{is,m}}{k_m - k_n}$  (prisen for en forøgelse af transmissionstallet med een), afbildes i et koordinatsystem med rørdiameteren på den vandrette akse og logaritmen til brøken på den lodrette akse. Der bliver een kurve for hvert sæt tykkelser  $s_m$  og  $s_n$ , der sammenlignes, se fig. 3.

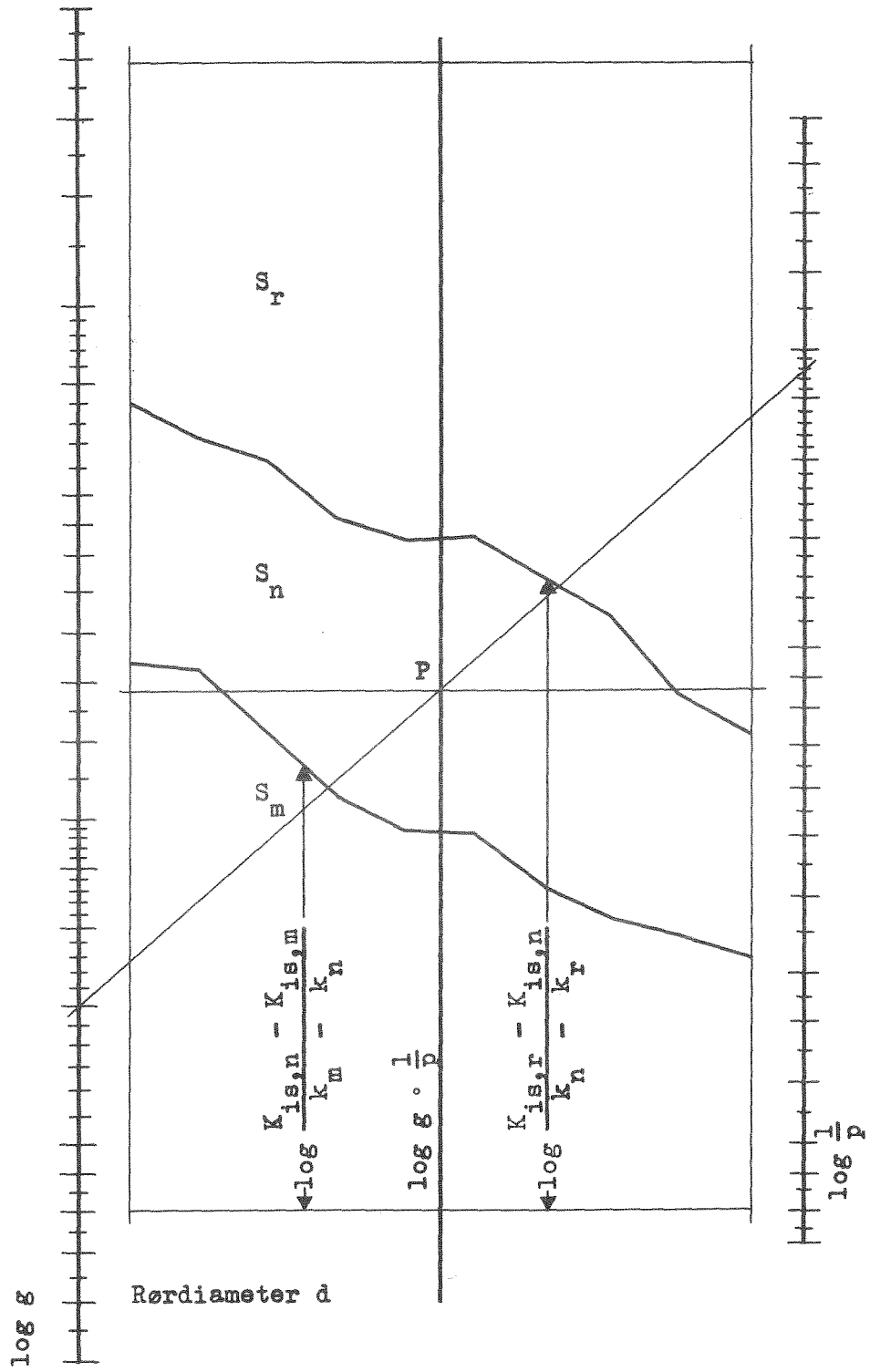


Fig. 3. Konstruktion af diagram til bestemmelse af den mest økonomiske tykkelse på rørisolering.



Hvis de i forrige afsnit bestemte talværdier indsættes, kan højre side af (5) skrives

$$C \cdot g \cdot \frac{1}{p}$$

hvor  $C$  er en konstant.

Hvis  $\log g$  afsættes på akse yderst til venstre i koordinatsystemet fig. 3, og  $\log \frac{1}{p}$  afsættes på akse yderst til højre, begge med logaritmisk enhed, der er dobbelt så stor som den logaritmiske enhed, hvormed kurverne for  $\log \frac{K_{is,n} - K_{is,m}}{k_m - k_n}$  er afsat, så kan logaritmen til produktet  $g \cdot \frac{1}{p}$  aflæses som ordinat til det punkt  $P$ , hvor en linie gennem aksepunkterne for  $g$  og  $\frac{1}{p}$  skærer den lodrette midterakse i koordinatsystemet. Da den logaritmiske enhed for  $\log (g \cdot \frac{1}{p})$  på midteraksen bliver den samme som for kurverne, kan nulpunkterne for akserne anbringes således i forhold til hinanden, at en direkte sammenligning mellem højre og venstre side af (5) kan foretages i koordinatsystemet.

Opsøges for hver rørdiameter den nærmeste kurve i koordinatsystemet, der har lavere ordinat end skæringspunktet  $P$  på midteraksen, er den mest økonomiske isoleringstykkelser den største af de til denne kurve svarende tykkelser  $s_m$  og  $s_n$ . Hvis denne tykkelse skrives på det areal, der ligger oven over kurven mellem denne og den næste kurve, så vil en vandret linie gennem skæringspunktet  $P$  stedse gennemskære arealer, der er benævnt med de mest økonomiske isoleringstykkelser for de tilsvarende rørdiameter på koordinatsystemets vandrette akse.

På fig. 4-9 er tegnet et diagram for hver isoleringstype.

Ved optagningen af diagrammerne viser det sig enkelte steder, at kurverne krydser hinanden og ikke ligger pænt over hinanden ved stigende isoleringstykkelser. Dette skyldes uregelmæssigheder i priserne, navnlig i arbejds lønningerne. På diagrammerne er disse intervaller markerede ved punkterede kurver; kurverne må her erstattes af de fuldt optrukne, der er beregnet for de to tilgrænsende isoleringstykkelser over og under krydsningsstedet, se fig. 10.

I visse tilfælde kan gradtidsfaktoren tænkes at være så lille eller amortiseringsudgiften så stor, at det ikke kan betale sig at isolere. Det første vil navnlig indtræffe ved blikrørskanaler for anlæg, der bruges meget lidt. Det sidste kunne tænkes at fremkomme ved interimistiske varme anlæg eller fabriks anlæg, der skal afskrives meget hurtigt. I praksis vil det dog næppe ske, og man vil formodentlig af andre end økonomiske grunde isolere al ligevel.

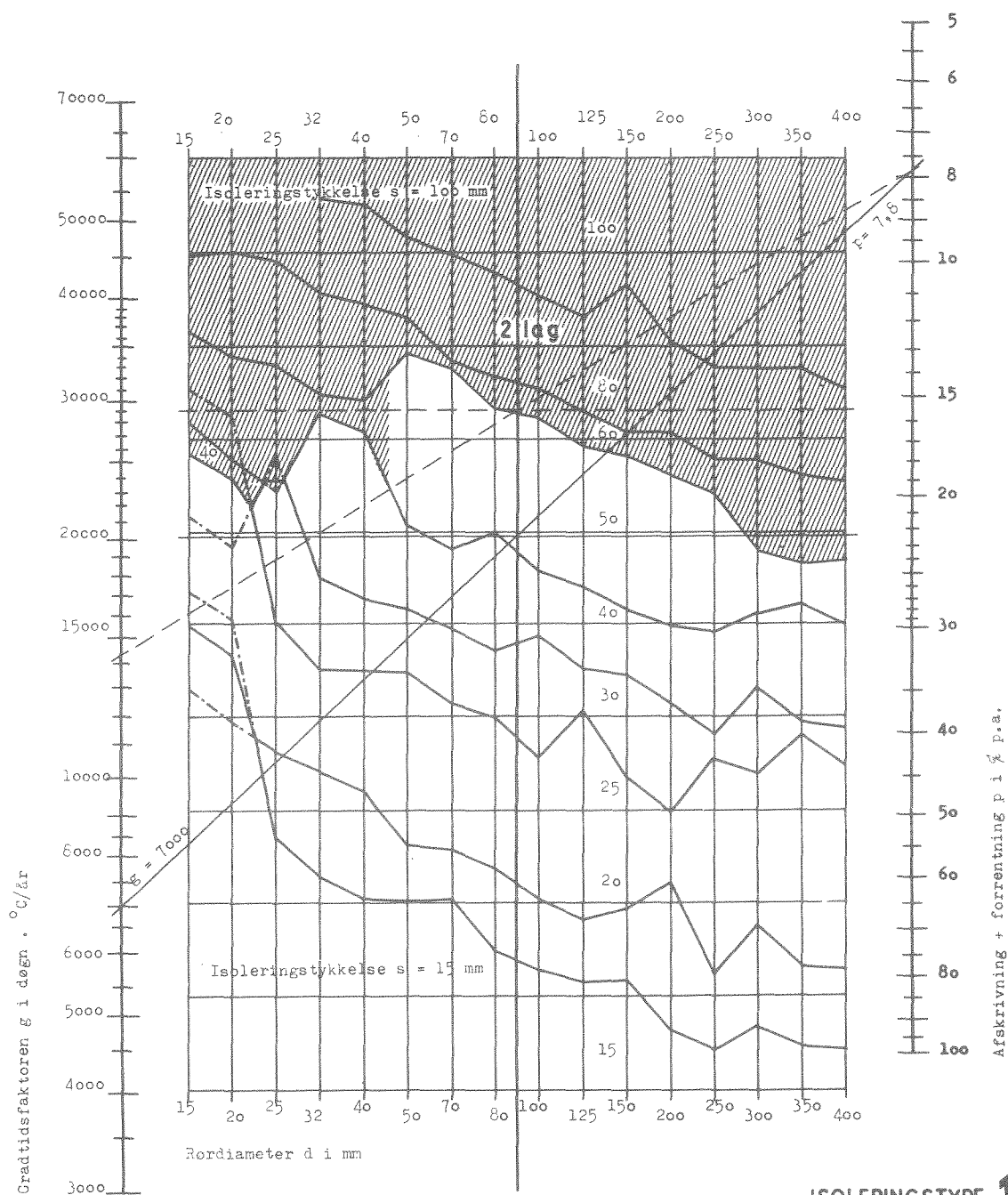


Fig. 4. Grafisk afbildning af økonomibetingelsen  $\frac{K_{is,n} - K_{is,m}}{k_m - k_n} < 24 \cdot a \cdot K_v \cdot g \cdot \frac{100}{p}$  for op-

varmnings- og varmtvandsforsyningsrør isoleret med uorganiske måtter i papir. Kalorieprisen er sat til 2,9 øre/Mcal, kul 130,- kr/t, og spildfaktoren  $a$  til 0,8. Byggeprisindekset er 277. Kurverne fremstiller logaritmen til venstre side af uligheden, idet måttetykkelsen  $s$  med indeks  $n$ , svarende til den største af de to betragtede tykkelser, er påskrevet arealet over den tilsvarende kurve, og tykkelsen  $s$  med indeks  $m$ , svarende til den mindste, er påskrevet arealet under kurven, begge tykkelser målt i mm. Logaritmen til højre side af uligheden fremstilles ved ordinaten til skæringspunktet mellem skrålinien gennem aksepunkterne for  $g$  og  $p$  og midteraksen. En vandret linie gennem skæringspunktet gennemløber arealer, der er påskrevet de mest økonomiske isoleringstykkelser for de rørdiameter, der er afsat på koordinatsystemets vandrette akse. Eksempelvis bliver for  $g = 7000$ , almindelige centralvarmeanlæg, og  $p = 7,8\%$ , den mest økonomiske isoleringstykkelser for 40 mm rør 40 mm og for 150 mm rør 50 mm. Punkterede kurver følger efter hinanden i "omvendt" rækkefølge, således at tykkelse  $s_n$  må overspringes i det uregelmæssige interval. I det skraverede areal er isoleringstykkelserne så store, at der må isoleres i flere lag.

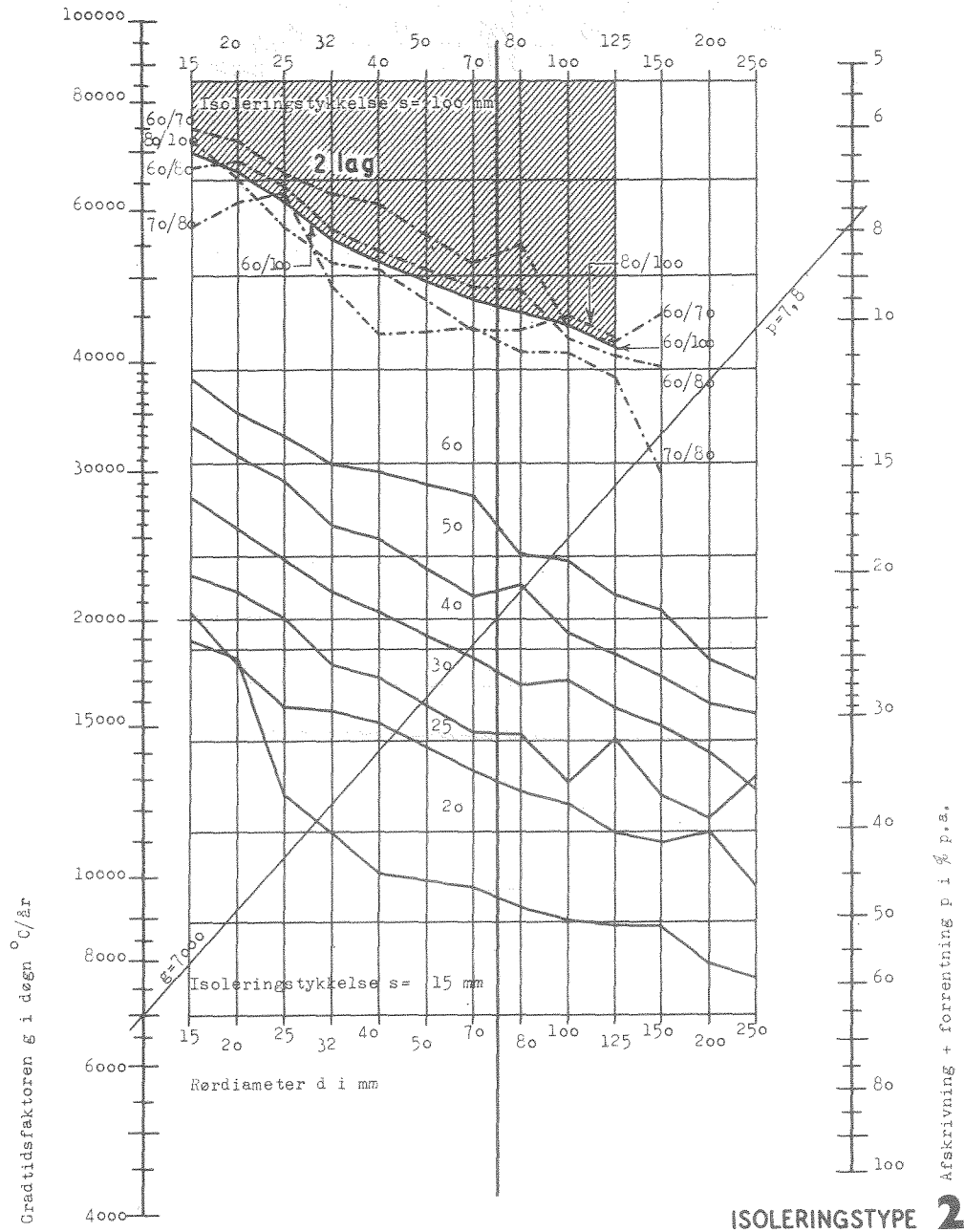


Fig. 5. Grafisk afbildning af økonomibetingelsen for opvarmnings- og varmtvandsforsyningsrør i-soleret med glasuldsskåle. Kalorieprisen er sat til 2,9 øre/Mcal og spildfaktoren  $\alpha$  til 0,8. Byggeprisindekset er 277. De påskrevne isoleringstykkelser er nominelle skåiltykkelser i mm. Se iverigt teksten til fig. 4.

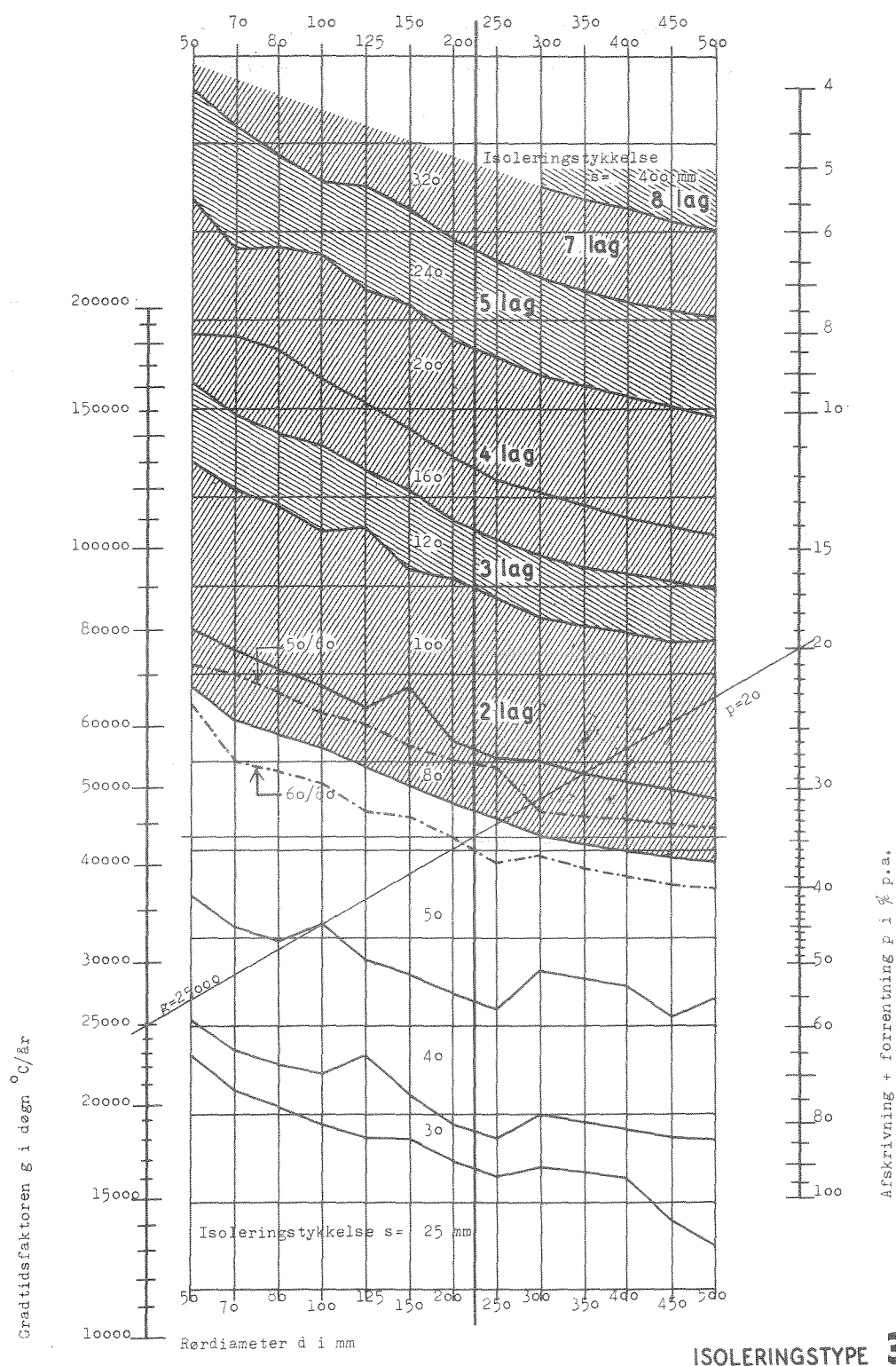


Fig. 6. Grafisk afbildning af økonomibetingelsen for højtryksrør isoleret med Rockwool-måtter med trådvæv på een side. Kalorieprisen er sat til 2,5 øre/Mcal, og hele varmetabet regnes at gå til spilde  $a = 1$ . Byggeprisindekset er 277. De påskrevne isoleringstykkelser er nominelle måtetykkelser i mm. Se løvrigt teksten til fig. 4.

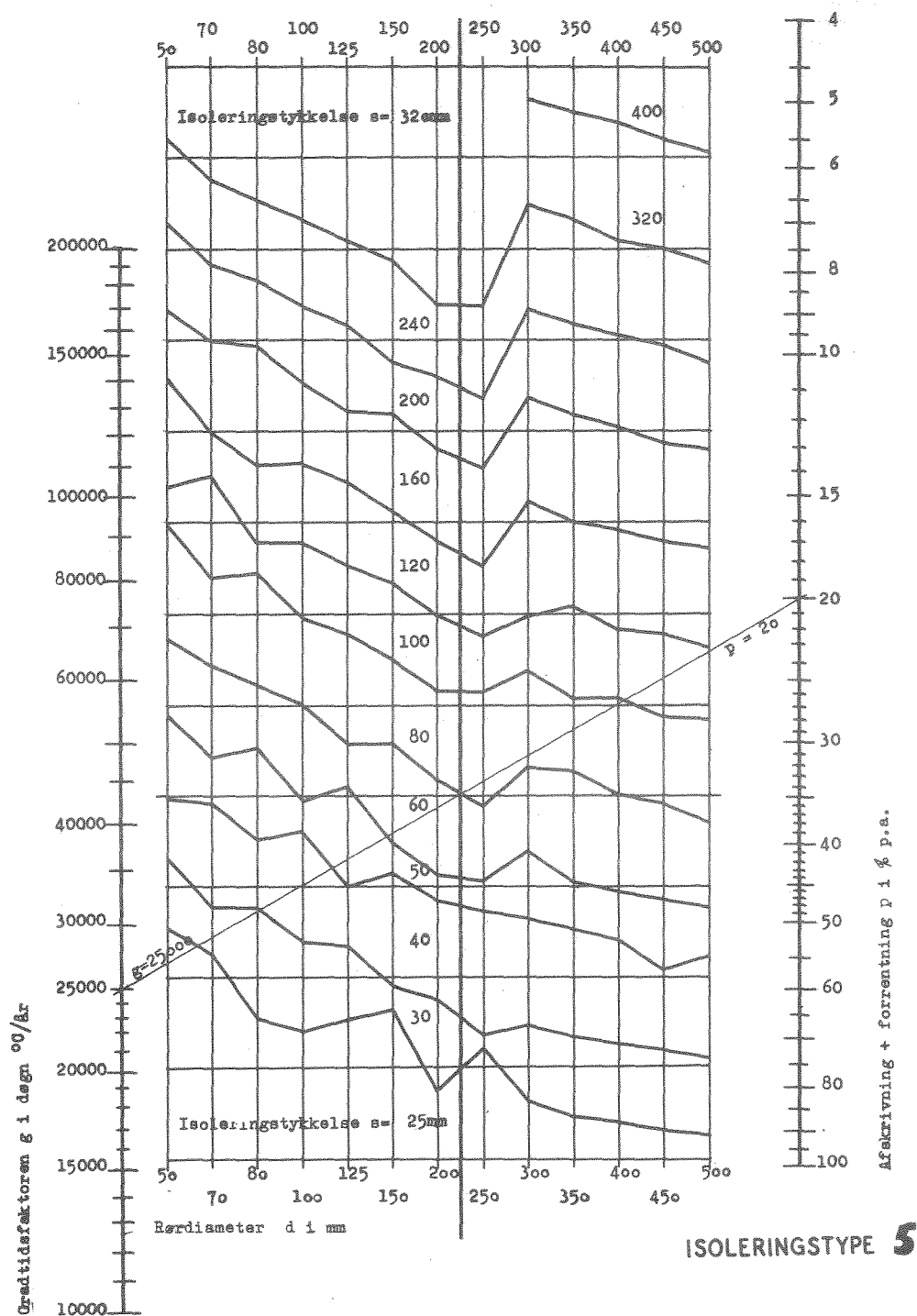


Fig. 8. Grafisk afbildning af økonomibetingelsen for højtryksrør isoleret med blikkappe udstoppet med løs Rockwool. Kalorieprisen er sat til 2,5 øre/Mcal, og hele varmetabet regnes at gå til spilde  $a = 1$ . Byggeprisindekset er 277. De påskrevne tykkelser er færdige isoleringstykkelser i mm. Se iverigt teksten til fig. 4.

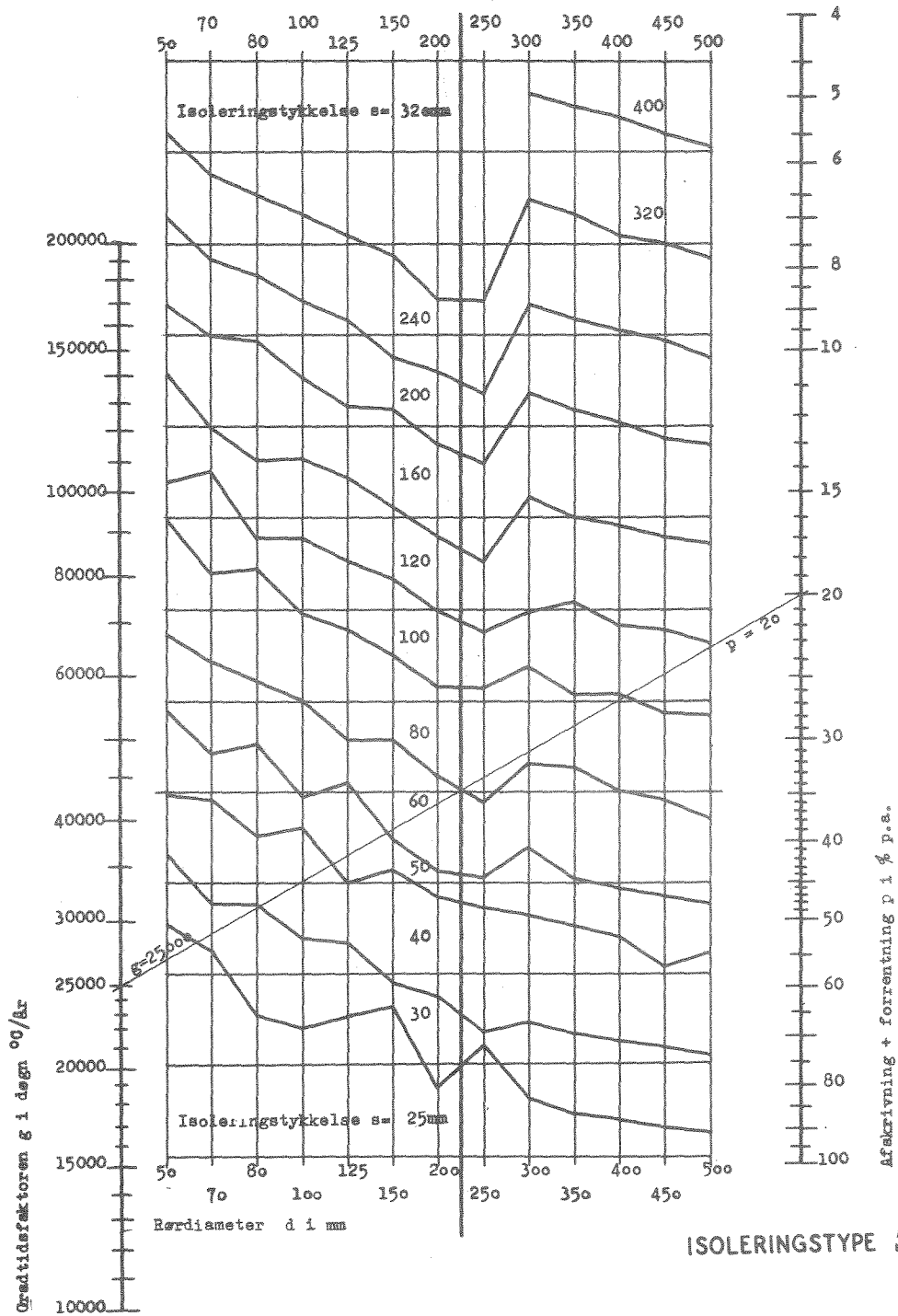
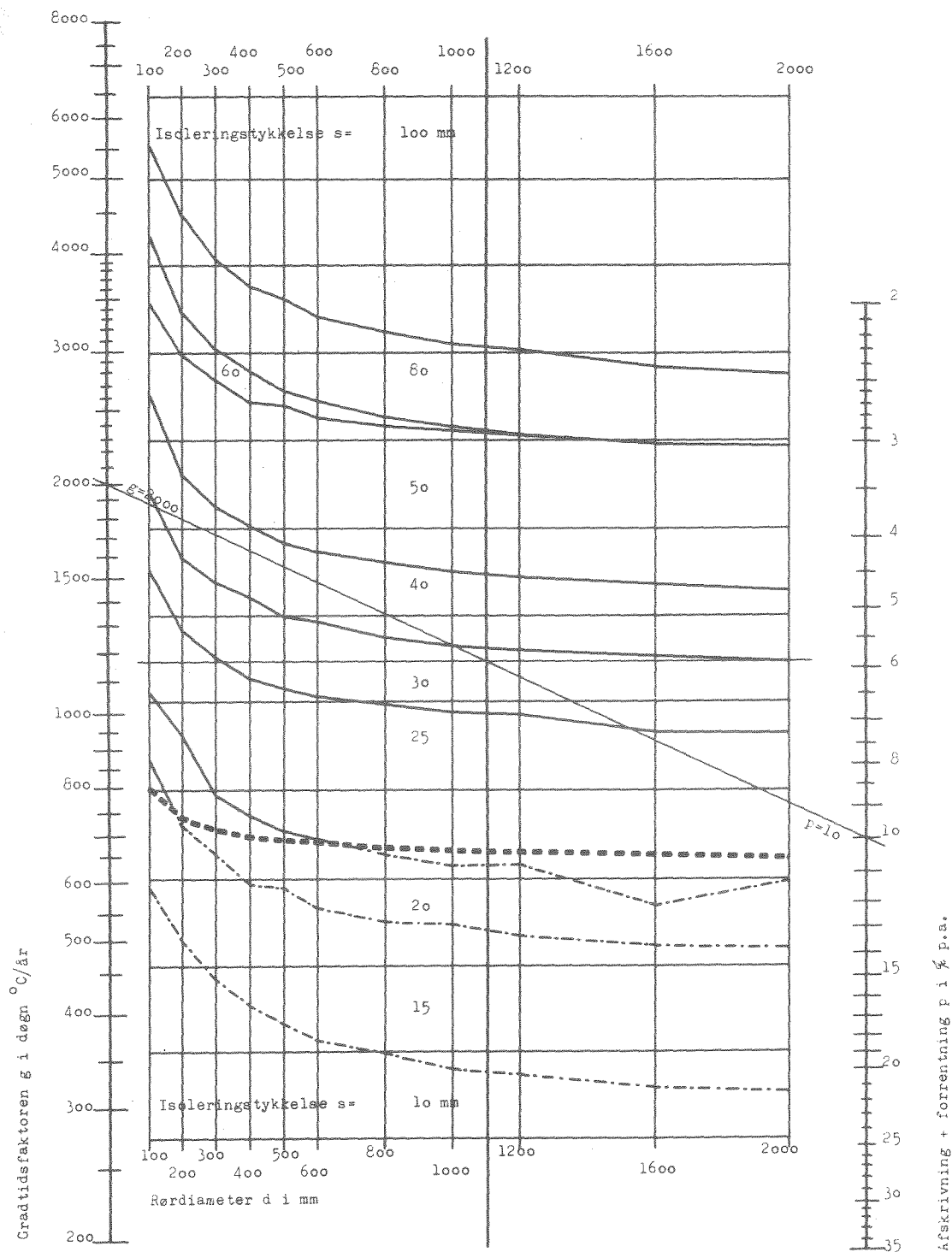


Fig. 8. Grafisk afbildning af økonomibetingelsen for højtryksrør isoleret med blikkappe udstoppet med løs Rockwool. Kalorieprisen er sat til 2,5 øre/Mcal, og hele varmetabet regnes at gå til spilde  $\alpha = 1$ . Byggeprisindekset er 277. De påskrevne tykkelser er færdige isoleringstykkelser i mm. Se iøvrigt teksten til fig. 4.





## ISOLERINGSTYPER 6

Fig. 9. Grafisk afbildning af økonomibetingelsen for blikrør til varm luft isoleret med uorganiske måtter i papir. Kalorieprisen er sat til 2,9 øre/Mcal, og hele varmetabet regnes at gå til spilde  $a = 1$ . Byggeprisindekset er 277. De påskrevne isoleringstykkelser er nominelle måttetykkelser i mm. Ved sammenhørende værdier af  $g$  og  $p$ , der giver skæringspunkter lavere end den tykke punkterede linie, kan isolering ikke betale sig for vedkommende rørdiameter. Se iøvrigt teksten til fig. 4.



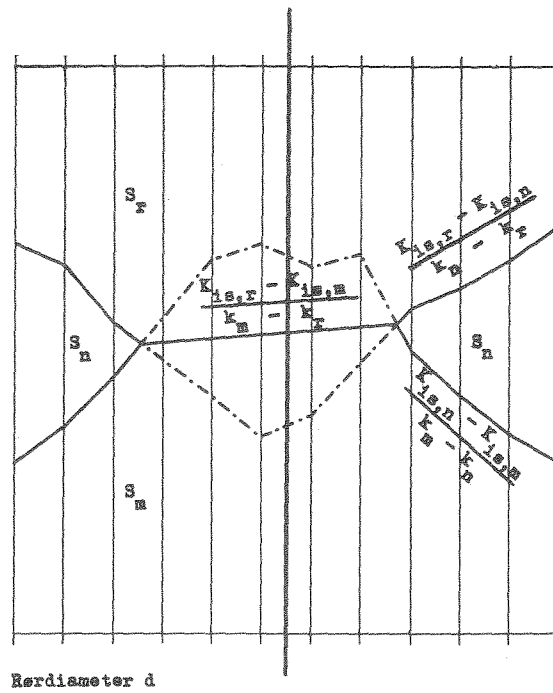


Fig. 10. Hvor kurverne krydser hinanden, må de erstattes af den fuldt optrukne, der er beregnet for de to tilgrænsende tykkelser over og under krydsningsstedet.

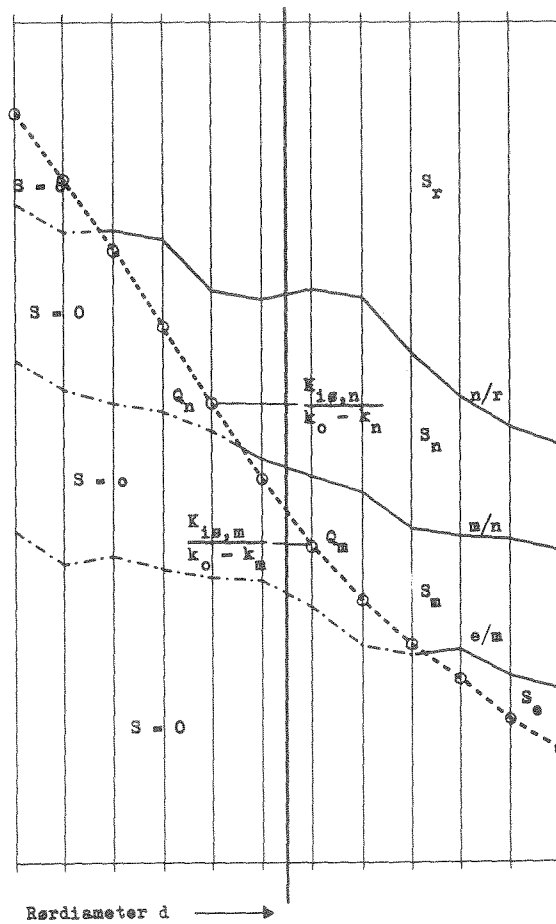


Fig. 11. Konstruktion af den kurve, hvorunder det af varmesøkonomiske grunde ikke kan betale sig at isolere.

Ved blikrør kan det ved de korte benyttelsestider ske, at driftsudgifterne for det uisolerede rør bliver mindre end den mest økonomiske isoleringstykkelse, der findes umiddelbart på diagrammet fig. 9.

Dette sker, når

$$K_{w,o} < K_{w,n} + K_{is,n} \cdot \frac{p}{100} \quad (21)$$

hvor  $K_w$  som sædvanlig betyder prisen i kr. for den varme, der går tabt gennem een lb. m rør,  $K_{is}$  isoleringsprisen i kr. pr. lb. m rør,  $p$  amortiseringsydelsen i procent, og indeks  $o$  og  $n$  henviser til henholdsvis uisoleret rør og en isolering med tykkelsen  $s_n$ , der er fundet som værende den mest økonomiske.

Ved at indsætte udtrykket for varmetabet

$$K_w = 24 \cdot a \cdot k \cdot K_v \cdot g \quad \text{kr/år} \cdot \text{lb.m}, \quad (4)$$

bliver ulighed (21):

$$\frac{K_{is,n}}{k_o - k_n} > 24 \cdot a \cdot K_v \cdot g \cdot \frac{100}{p} \quad (22)$$

For hver isoleringstykkelse kan findes de værdier af venstre side i (22), som falder i det pågældende tykkelsesinterval på diagrammet, punkterne  $o$ . Alle punkterne kan forbindes med en  $o$ -kurve, og på fig. 11 ses, at falder et punkt  $P_{n,d}$ , der skulle angive den mest økonomiske isoleringstykkelse for en bestemt diameter  $d$ , under  $o$ -kurven, vil (22) være tilfredsstillet for dette punkts vedkommende, og det kan altså ikke betale sig at isolere under  $o$ -kurven.

$o$ -kurven kan også forklares på en anden måde. Den er nemlig angivet ved minimumsværdierne for venstre side af (22), de isoleringstykkelser, der har den mindste pris pr. isoleringsenhed. Diagrammet har ingen mening under disse værdier.

På diagrammet på fig. 9 for blikrør er  $o$ -kurven trukket tykt op, og de andre kurver har ingen gyldighed under denne.

## Ændringer i forudsætningerne

Den her anvendte optegningsmetode for diagrammerne har den ulempe, at det ikke kan aflæses, hvor store forskelle der er i driftsudgifterne ved de forskellige isoleringstykkelser, således som ved eksemplet på fig. 12. Men optegningsmetoden har den uvurderlige fordel, at man uden videre kan aflæse de mest økonomiske isoleringstykkelser ved ændrede forudsætninger, således at diagrammerne har gyldighed ud i al fremtid. Betingelsen er blot, at forholdet mellem priserne for de forskellige isoleringstykkelser på et bestemt rør ikke ændres væsentligt.

Hvis forudsætningerne ændres, kan man blot gå ind i diagrammerne med en korrigeret værdi for gradtidsfaktoren  $g$ , hvilket umiddelbart ses af formel (5). Hvis brændselsprisen  $K_V$  forøges  $x\%$ , skal man gå ind med en gradtidsfaktor  $g \left(1 + \frac{x}{100}\right)$ , hvor  $g$  er den aktuelle værdi (hvis brændselsprisen forøges, vokser den mest økonomiske isoleringstykkelse).

Hvis isoleringsprisen  $K_{is}$  forøges  $y\%$ , skal som indgang anvendes et dermed proportionalt reduceret  $g$ , nemlig  $g \frac{1}{1 + \frac{y}{100}}$  (hvis isoleringsprisen forøges, aftager den mest økonomiske isoleringstykkelse). Tilsvarende kan de andre størrelser, der indgår,  $a$  og  $k$ , behandles.

## Resultaternes gyldighed

Når rørene i en nybygning isoleres, er det meningen, at denne isolering skal holde i en lang årrække, og de prisændringer, der efter alt at dømme vil ske, skulle ikke gerne bevirke, at den valgte isoleringstykkelse viser sig at være uøkonomisk. De normer, der opstilles, skulle også helst ligge fast i en lang årrække; selvfølgelig kunne man regulere dem, f.eks. hvert andet år, men det må dog vist siges at være upraktisk og i nogen grad mod normgivningens princip.

Men heldigvis er det således, at der skal meget store prisændringer til for at ændre på den tykkelse, der efter de her foretagne beregninger siges at være den mest økonomiske. Dette kan belyses med nogle eksempler ved brug af diagrammerne fig. 4 til 9.

Som tidligere nævnt, kan virkningen af en ændring i de forudsætninger, der er gjort ved diagrammernes konstruktion, bestemmes ved at gå ind i diagrammerne med en korrigeret gradtidsfaktor  $g$ .

Diagrammerne er konstruerede for en

brændselspris	130,- kr/t,
rentefod	6%,
afskrivningstid	25 år og
byggeprisindeks for isoleringsarbejderne	277.

#### Eksempel 1

På fig. 4 findes under de givne forudsætninger for måtteisolering af almindelige centralvarmerør, at den mest økonomiske isoleringstykkelser for 32 mm rør er 40 mm. De punkterede linier viser, at  $g$  skal ændres fra 7000 til 14200, før isoleringstykkelser skal ændres. Dette svarer f.eks. til en stigning i brændselsprisen på 100%, så selvom brændselspriserne er steget stærkt, siden diagrammerne blev konstrueret, er der endnu langt igen, før 40 mm isolering kan siges at være utilstrækkelig.

For normforslagets vedkommende har man yderligere den sikkerhed, at en stigning i brændselspriserne altid vil blive fulgt af en stigning i byggepriserne, som vil virke modsat, større brændselspriser, større isolering, større byggepriser, mindre isolering.

#### Eksempel 2

På fig. 4 findes, at 100 mm rør bør isoleres med 50 mm. Af diagrammet aflæses, at hvis rentefoden falder fra 6 til 2%, d.v.s. at kapitaludgifterne ændres fra 7,8 til 5,1%, vil den mest økonomiske isoleringstykkelser stadig ligge på 50 mm.

Diagrammerne er iøvrigt tegnede, således at afstanden mellem kurverne i middel er nogenlunde den samme som afstanden mellem de tynde vandrette linier. Denne afstand svarer til en ændring i  $g$  på ca. 70% (målestoksenheden for  $g$  er dobbelt så stor som for kurverne!! se side 62). Dette betyder stort set, at for at få en ændring på en dimension i den mest økonomiske isoleringstykkelser, skal forholdet

$$\frac{K_v}{K_{is} \cdot p} = \frac{\text{brændselspris}}{\text{isoleringspris} \cdot \text{kapitaludgift}}$$

ændres mere end 70%.

Diagrammerne fig. 4 til 9 siger desværre ikke noget om driftsudgifternes variation med isoleringstykkelser. Det fremgår derimod af det eksempel, der

er gennemregnet i tabel 3o, og som er optegnet på fig. 12.

Heraf ses, at omkring minimum for driftsudgiften varierer denne meget lidt med isoleringstykkelsen, kurverne er meget flade. Driftsøkonomisk set spiller det altså en meget lille rolle, om isoleringstykkelsen vælges een à to dimensioner mindre end den mest økonomiske bestemt ved beregning.

Nominel rørdia- meter	Isole- rings- tykkel- se	Trans- missi- onstal	Pris	Årlig kapital- udgift	Centralvarme		Varmtvands- forsyning	
					varme- tab	drifts- udgift	varme- tab	drifts- udgift
mm	mm	$\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$	kr/m	kr/m·år	kr/år	kr/år	kr/år	kr/år
20 <sup>Ø</sup> norm	15	0,262	3,59	0,28	1,02	1,30	2,17	2,45
	20	228	4,65	36	0,89	1,25	1,89	2,25
	25	204	5,06	40	70	1,19	1,69	2,09
	30	187	6,76	53	73	1,26	1,55	2,08
	40	163	7,90	62	63	1,25	1,35	1,97
	50	147	9,14	71	57	1,28	1,22	1,93
	60	135	10,85	85	53	1,38	1,12	1,97
	80	120	14,80	1,15	47	1,62	1,00	2,15
	100	110			43		0,91	
32 <sup>Ø</sup> norm	15	0,362	4,64	0,36	1,41	1,77	3,00	3,36
	20	308	5,02	39	1,20	1,59	2,56	2,95
	25	273	5,46	44	1,06	1,50	2,26	2,70
	30	246	6,09	47	0,96	1,43	2,04	2,51
	40	210	7,50	59	82	1,41	1,74	2,33
	50	187	9,94	78	73	1,51	1,55	2,33
	60	170	11,90	93	66	1,59	1,41	2,34
	80	148	16,46	1,28	58	1,86	1,23	2,51
	100	134	21,41	1,67	52	2,19	1,11	2,78
70 <sup>Ø</sup> norm	15	0,568	5,99	0,47	2,21	2,68	4,71	5,18
	20	476	6,55	51	1,85	2,36	3,95	4,46
	25	413	7,07	55	1,61	2,16	3,43	3,98
	30	369	7,91	62	1,44	2,06	3,06	3,68
	40	308	9,70	76	1,20	1,96	2,55	3,31
	50	268	11,58	90	1,04	1,94	2,22	3,12
	60	241	15,11	1,18	0,94	2,12	2,00	3,18
	80	204	20,29	1,58	79	2,37	1,69	3,27
	100	181	26,22	2,04	70	2,74	1,50	3,54
150 <sup>Ø</sup> norm	15	1,079	9,49	0,74	4,20	4,94	8,95	9,69
	20	0,894	10,20	80	3,48	4,28	7,41	8,21
	25	763	10,96	86	2,98	3,84	6,32	7,18
	30	658	12,23	96	2,55	3,51	5,46	6,42
	40	539	14,92	1,16	2,09	3,25	4,46	5,62
	50	456	17,62	1,38	1,78	3,16	3,78	5,16
	60	403	21,89	1,71	1,57	3,28	3,34	5,05
	80	329	28,77	2,24	1,28	3,52	2,73	4,97
	100	284	38,48	3,00	1,10	4,10	2,36	5,36

Tabel 30. Driftsudgifternes variation med isoleringstykkelsen. Det ses, at de tykkelser, der på denne måde findes som de mest økonomiske, nemlig de, der giver de mindste driftsudgifter, stemmer overens med de i tabel 1 angivne. På fig. 12 er tabellen givet i kurveform. Brændselsprisen er sat til 130,- kr/t og kapitaludgiften til 7,8%, isoleringstype 1 eller 2. Ved centralvarme er regnet med en graddidsfaktor på  $g = 7000$  og ved varmtvandsforsyning  $g = 15000$ .

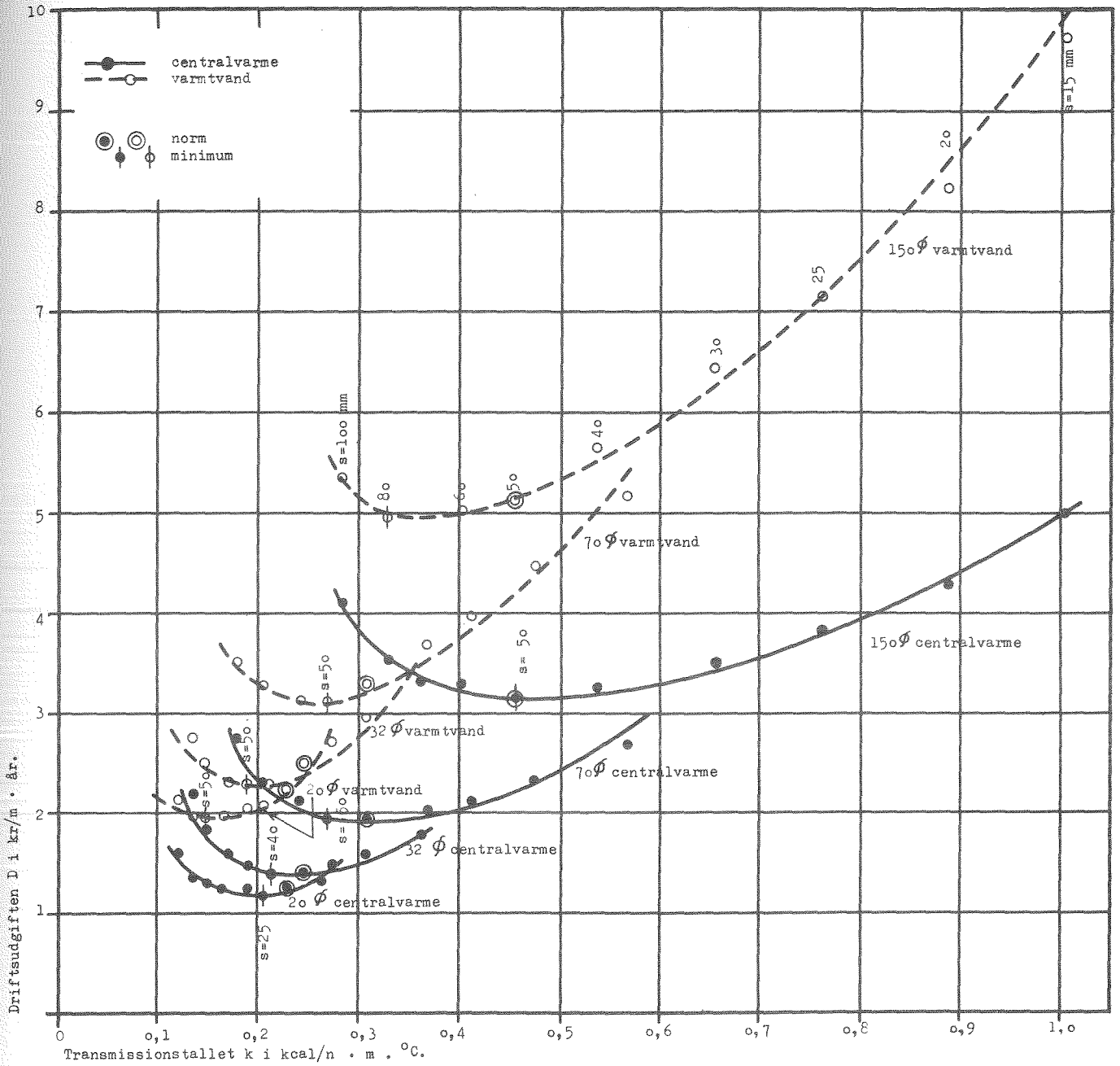


Fig. 12. Driftsudgifternes variation med isoleringstykkelsen for centralvarme- og varmtvandsforsyningsrør isolerede med uorganiske måtter eller glasuldsskåle. Tallene er taget fra tabel 30.



# ISOLERING AF „KOLDE“ RØR

## KOLDTVANDSRØR ISOLERET MOD DRYP

### Isoleringstype 7

Koldtvandsrør, der er anbragt i fugtige rum, hvis temperatur er højere end rørenes overfladetemperatur, vil være udsat for at blive våde og dryppe, som følge af at luftens vanddamp fortættes på den kolde røroverflade. For at undgå disse gener må rørene varmeisoleres, således at temperaturen på den overflade, der kommer i kontakt med rumluften, hæves op over dennes dugpunkt.

Det er desuden nødvendigt, at varmeisoleringen på ydersiden omgives af et damptæt lag (f.eks. asfaltpap), da vanddampen ellers vil trænge gennem isoleringslaget, fortætte omkring stålrøret og i løbet af nogen tid helt gennemvåde isoleringen, der bliver værdiløs.

Til denne form for isolering mod dryp anvendes uorganiske måtter eller glasuldsskåle. Den fornødne isoleringstykkelse kan bestemmes som vist i det følgende.

Den varmemængde, der strømmer ind gennem rørvæggen på een lb.m isoleret rør, kan udtrykkes på følgende to måder:

$$W = k \cdot (t_u - t_i) = \alpha_2(t_u - t_2) \cdot \pi \cdot d \cdot \left(1 + \frac{2s}{d}\right), \quad (23)$$

hvor som sædvanlig

- k er transmissionstallet i kcal/m·h·°C
- $t_u$  luftens temperatur i °C
- $t_i$  vandets temperatur i røret i °C
- $t_2$  isoleringens overfladetemperatur i °C
- $\alpha_2$  det ydre overgangstal i kcal/m<sup>2</sup>·h·°C
- d rørets udvendige diameter i m og
- s isoleringstykkelsen i m.

Indsættes i (23) værdien for k fra side 35:

$$k = \frac{\sqrt{\pi}}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d} + \frac{1}{2\lambda} \cdot \ln\left(1 + \frac{2s}{d}\right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d \cdot \left(1 + \frac{2s}{d}\right)}} \quad (7)$$

hvor

$\alpha_1$  er det indre overgangstal i kcal/m<sup>2</sup>·h·°C og  
 $\lambda$  isoleringens varmeledningstal i kcal/m·h·°C,

bliver

$$t_u - t_2 = \frac{t_u - t_i}{\frac{1}{2\lambda} \cdot \alpha_2 \cdot d \left(1 + \frac{2s}{d}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{2s}{d}\right) + 1}, \quad (24)$$

idet  $\alpha_1$  er så stor, at leddet  $\frac{1}{\alpha_1 \cdot d}$  kan sættes lig med nul.

Temperaturdifferensen  $t_u - t_2$  er den undertemperatur, røroverfladen antager i forhold til luftens temperatur. For at få sikkerhed mod dryp, regnes med den maksimale undertemperatur, der kan tænkes at fremkomme under de givne omstændigheder.

Den laveste vandtemperatur antages at være

$$t_i = 7^{\circ}\text{C}$$

Den højeste  $\lambda$ -værdi, der kan påregnes, forekommer ved en gennemsnits-temperatur i isoleringslaget på 19°C (7° indvendig, 30° udvendig) og en gennemsnitsfugtighed på 1 vol.%. Dette giver

$$\lambda = 0,042 \text{ kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$$

De laveste  $\alpha_2$ -værdier, der regnes med, er

$$\begin{array}{l} \alpha_2 = 5 \quad (\text{ved } 10^{\circ}\text{C udvendig, og undertemperatur ca. } 1^{\circ}\text{C}) \\ \alpha_2 = 5,5 \quad ( \quad " \quad 20^{\circ}\text{C} \quad " \quad " \quad " \quad " \quad 2^{\circ}\text{C}) \\ \alpha_2 = 6,0 \quad ( \quad " \quad 30^{\circ}\text{C} \quad " \quad " \quad " \quad " \quad 2^{\circ}\text{C}) \end{array}$$

Isoleringstykkelsen  $s$ , der skal indføres med sin mindste forekommende værdi, antages at kunne blive indtil 20% mindre end den nominelle måttetykkelse  $s_0$  ved isolering med uorganiske måtter. Der regnes derfor med

$$s = 0,8 \cdot s_0$$

Indsættes disse værdier for de variable i formel (24), fås:

for  $t_u = 10^{\circ}\text{C}$ :

$$t_2 = 10 - \frac{3}{60 \cdot d \cdot \left(1 + \frac{1,6 \cdot s_0}{d}\right) \cdot \ln \left(1 + \frac{1,6 \cdot s_0}{d}\right) + 1} \quad (25)$$

for  $t_u = 20^\circ\text{C}$ :

$$t_2 = 20 - \frac{13}{66 \cdot d \cdot \left(1 + \frac{1,6 \cdot s_0}{d}\right) \cdot \ln \left(1 + \frac{1,6 \cdot s_0}{d}\right) + 1} \quad (26)$$

og for  $t_u = 30^\circ\text{C}$ :

$$t_2 = 30 - \frac{23}{72 \cdot d \cdot \left(1 + \frac{1,6 \cdot s_0}{d}\right) \cdot \ln \left(1 + \frac{1,6 \cdot s_0}{d}\right) + 1} \quad (27)$$

Overfladetemperaturerne for forskellige isoleringstykkelser kan nu beregnes, og de dertil svarende tilladelige fugtighedsgrader i luften kan bestemmes ved hjælp af et I-X diagram. Resultaterne er opført i tabel 31, hvor beregningerne er foretaget dels for een af de mindste i praksis forekommende rørdiameter, 15 mm, dels for een af de største, 150 mm.

Ved hjælp af tallene i tabel 31 kan de isoleringstykkelser, der er nødvendige for at undgå kondensation, bestemmes for lufttemperaturerne 10, 20 og 30°C, kombineret med de relative fugtighedsgrader 60, 70, 80 og 90%. I tabel 32 er disse tykkelser opført for 15 og 150 mm rør. Det ses, at isoleringstykkelsen er praktisk taget uafhængig af rørdimensionen. I normforslaget kan derfor angives samme tykkelse for alle rørdimensioner, men tykkelsen vokser stærkt med luftens fugtighed, som det fremgår af tabel 32.

De gamle normer angiver for alle rørdimensioner og alle forhold en isoleringstykkelse på 15,5 mm.

#### AFTRÆKSRØR ISOLERET MOD INDVENDIG DUGDANNELSE

##### Isoleringstype 8

Ved aftræk fra fugtige rum gennem kanaler, der er udluftet over taget, fremkommer undertiden generende kondensvand indvendigt i ventilationsrøret, f.eks. når dette føres gennem kolde tagrum. Vandet flyder da ned gennem kanalen, hvor det forurennes, og kan danne grimme skjolder på lofterne ved indmundingen, og galvaniserede eller forblyede jernpladerør kan ødelægges af rust på få år.

Nominel indre rørdiameter mm	15			150		
	Luftens temperatur °C	Overflade- temp., t <sub>2</sub> °C	Største til- ladelige rel. fugtigh. %	Luftens temperatur °C	Overflade- temp., t <sub>2</sub> °C	Største til- ladelige rel. fugtigh. %
uisoleret	10	7	82	10	7	82
	20	7	43	20	7	43
	30	7	23	30	7	23
10	10	8,7	91	10	8,5	90
	20	14,6	71	20	13,8	67
	30	20,8	58	30	19,5	54
15	10	9,0	94	10	8,8	92
	20	16,1	78	20	15,2	74
	30	23,4	67	30	22,1	62
20	10	9,2	95	10	9,0	94
	20	17,0	83	20	16,1	78
	30	25,0	74	30	23,4	67
25	10	9,4	96	10	9,2	95
	20	17,5	85	20	16,7	80
	30	26,0	79	30	24,5	73
30	10	9,5	96	10	9,3	95
	20	18,0	88	20	17,2	84
	30	26,7	83	30	25,3	77
40	10	9,6	97	10	9,5	96
	20	18,5	91	20	17,8	87
	30	27,6	87	30	26,4	81
50	10	9,7	98	10	9,6	97
	20	18,9	93	20	18,3	90
	30	28,1	90	30	27,2	85

Tabel 31. Isolering af rør med 7°C koldt vand mod dryp med uorganiske måtter eller glasuldsskåle. Tabellen angiver overfladetemperaturen og den tilsvarende tilladelige relative fugtighed, når kondensation skal undgås, ved forskellige isoleringstykkelser, lufttemperaturer og rørdiameter.

Højeste relative fugtighed %	Lufttemperatur			Isoleringstype 7
	10°C	20°C	30°C	
60	0-0	10-10	15-15	tørt
	0	15	25	
70	0-0	10-15	20-25	fugtigt
80	0-0	20-25	30-40	
	15	40	60	
90	10-10	40-50	50-60	meget varmt
	koldt	varmt	meget varmt	

Tabel 32. Isolering af koldtvandsrør, 7°C, mod dryp med uorganiske måtter eller glasuldsskåle. Det første af tallene i parrene er den nødvendige nominelle tykkelse i mm for at forhindre kondensation på 15 mm rør, det andet på 150 mm rør. De midterste enkelte tal er normforslagets tykkelser, ligeledes i mm.

En passende isolering af kanalen vil have kanalens indvendige overfladetemperatur op over luftens dugpunkt, så fortætning ikke længere finder sted. Den isoleringstykkelse med uorganiske måtter, som er fornøden hertil, kan beregnes som vist i det følgende.

Varmestrømmen gennem rørvæggen kan udtrykkes på følgende to måder:

$$W = k \cdot (t_i - t_u) = \alpha_1 \cdot (t_i - t_1) \cdot \pi \cdot d \quad (28)$$

hvor betydningen af de anvendte betegnelser er som på side 76, og

$\alpha_1$  = det indre overgangstal, kcal/m<sup>2</sup>·h·°C og

$t_1$  = den indvendige rørvægs temperatur, °C

Den indvendige rørdiameter  $d$  antages at være lig med den udvendige, som tilfældet er ved blikrør. Med denne forudsætning vil de isoleringstykkelser, der findes af de følgende beregninger, være rigeligt tykke for eternit-

eller betonrør. Indsættes udtrykket (7) for  $k$ , bliver den indvendige rør-  
vægs undertemperatur i forhold til rørluften

$$t_i - t_1 = \frac{t_i - t_u}{1 + \frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \left(1 + \frac{2s}{d}\right) \cdot \alpha_1 \cdot d + \frac{\alpha_1}{\alpha_2 \left(1 + \frac{2s}{d}\right)}} \quad (29)$$

For at få sikkerhed mod kondens bestemmes den maksimale undertemperatur, der kan fremkomme under de givne ydre forhold, dels for små rør,  $d = 100$  mm, og dels for store,  $d = 500$  mm.

Omgivelsernes temperatur sættes til  $t_u = -5^\circ\text{C}$  og rørluftens temperatur, altså for luften i rummet, hvorfra aftrækket finder sted, til henholdsvis  $t_i = 10, 20$  og  $30^\circ\text{C}$ .

For varmeledningstallet regnes værdien ved isoleringens middeltemperatur

$$\lambda = 0,032 \text{ kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}.$$

Isoleringens tykkelse sættes lig den nominelle.

Ved fastsættelsen af det indvendige overgangstal må der regnes med ret lave lufthastigheder, efter Cammerer sættes  $\alpha_1 = 7 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ .

Det udvendige sættes til  $\alpha_2 = 7 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ .

Indsættes værdierne i (33), fås

$$t_1 = t_i - \frac{t_i + 5}{1 + 110 \cdot d \cdot \ln \left(1 + \frac{2s}{d}\right) + \frac{1}{1 + \frac{2s}{d}}} \quad (30)$$

og ved hjælp heraf er tabel 33 beregnet.

I tabel 34 er angivet de nødvendige isoleringstykkelser beregnet efter tabel 33 ved forskellige temperaturer og fugtighed i det ventilerede rum. Det ses, at isoleringstykkelsen er praktisk taget uafhængig af aftræksrørets dimension, mens tykkelsen vokser stærkt ved stigende fugtighed.

Denne isoleringsform anvendes mest ved aftræk fra køkkener og badeværelser i boliger. Trods alt vil det være sjældent, at luftens fugtighed i sådanne rum kommer op omkring de 90%, og da kun i ganske korte tidsrum, så røret hurtigt tørres igen af den gennemstrømmende luft. Ved aftræksrør fra beboelsesrum er det derfor kun nødvendigt med en moderat isolering på 20 mm.

Aftræksrør fra rum i badanstalter og vaskerier i boligkomplekser og mange industrier, hvor der både er varmt og fugtigt hele dagen, er det nødvendigt at isolere meget kraftigt, her foreslås som norm 50 mm.

I de gamle normer findes ingen angivelser for isolering af denne type rør.

Rørdiameter mm	100			500		
	Rørluftens temperatur °C	Indv.rør- overflades temperatur °C	Største til- ladelige rel. fugtigh. %	Rørluftens temperatur °C	Indv.rør- overflades temperatur °C	Største til- ladelige rel. fugtigh. %
uisoleret	10	2,5	59	10	2,5	59
	20	7,5	43	20	7,5	43
	30	12,5	34	30	12,5	34
10	10	6,4	78	10	6,5	79
	20	14,0	68	20	14,1	70
	30	21,7	61	30	21,7	61
15	10	7,1	83	10	7,1	83
	20	15,1	73	20	15,2	74
	30	23,1	67	30	23,3	68
20	10	7,5	84	10	7,6	85
	20	15,9	77	20	16,1	78
	30	24,3	72	30	24,5	73
25	10	7,9	86	10	8,0	87
	20	16,4	79	20	16,6	80
	30	25,0	74	30	25,3	76
30	10	8,1	88	10	8,2	89
	20	16,8	81	20	17,0	82
	30	25,5	77	30	25,8	78
40	10	8,4	89	10	8,5	90
	20	17,3	84	20	17,6	85
	30	26,2	80	30	26,6	82
50	10	8,6	90	10	8,8	92
	20	17,6	86	20	17,9	87
	30	26,7	82	30	27,1	85
60	10	8,7	91	10	8,9	92
	20	17,9	87	20	18,2	89
	30	27,1	85	30	27,5	86
80	10	8,9	92	10	9,1	93
	20	18,2	89	20	18,6	96
	30	27,5	86	30	28,0	89
100	10	9,1	93	10	9,3	94
	20	18,4	90	20	18,8	92
	30	27,8	87	30	28,3	90

Tabel 33. Isolering af aftrækskanaler i tagrum mod indvendig kondens med uorganiske måtter. Tabellen angiver den indvendige overfladetemperatur og den tilsvarende tilladelige relative fugtighed for rørluften ved forskellige isoleringstykkelser, rørdimensioner og  $-5^{\circ}\text{C}$  i tagrummet og forskellige temperaturer i det ventilerede rum.



Højeste relative fugtighed %	Lufttemperatur			Isoleringstype 8
	10°C	20°C	30°C	
60	0-0	10-10	10-10	tørt
	20	20	20	
70	10-10	15-10	20-20	
80	15-15	30-25	40-40	fugtigt
	20	50	50	
90	50-40	100-80	150-100	
	koldt	varmt	meget varmt	karakte- ristik

Tabel 34. Isolering af aftræksrør af pladejern i kolde tagrum mod indvendig kondensati- on med uorganiske måtter. Det første af tal- lene i parrene er den nødvendige nominelle tykkelse i mm for et 100 mm aftræksrør og det andet for et 500 mm rør. De mindste orkol- te tal er normforslagets tykkelser ligeledes i mm.

#### ISOLERING AF FALDSTAMMER MOD DRYP

##### Isoleringstype 9

Indvendige faldstammer, der fører tagvand, må isoleres mod dryp, enten de ligger frit eller i nicher. Der anvendes så godt som altid uorganiske måtter. Sådanne faldstammer vil næsten altid blive udført af 10<sup>ø</sup> støbe- jernsrør med en indvendig diameter på 105 mm og en udvendig på 113. Større rør skal teoretisk set ikke isoleres så kraftigt, så det er på den sikre side som i det følgende kun at regne med 10<sup>ø</sup> rør.

Varmestrømmen gennem rørvæggen kan som ved koldtvandsrør udtrykkes på to måder.

$$W = k (t_u - t_i) = \alpha_2 (t_u - t_2) \cdot \pi \cdot d \cdot \left(1 + \frac{2s}{d}\right) \quad (23)$$

Tagvandets temperatur  $t_1$  kan sættes til  $0^\circ\text{C}$  og diameteren  $d$  er  $0,113$  m. Varmeledningstallet  $\lambda$  sættes til  $0,042$  kcal/m·h· $^\circ\text{C}$  og det udvendige overgangstal  $\alpha_2$  til  $5,0$  kcal/m<sup>2</sup>·h· $^\circ\text{C}$ . Transmissionstallet  $k$  kan udtrykkes ved (7), og der kan ses bort fra leddet med  $\alpha_1$ . Isoleringens indvendige side sættes til  $0^\circ\text{C}$ , og isoleringens tykkelse  $s$  sættes lig den nominelle. (23) kan herefter skrives:

$$t_2 = t_u - \frac{t_u}{6,7 (1 + 17,7s) \cdot \ln (1 + 17,7s) + 1} \quad (31)$$

Sættes rumtemperaturen  $t_u$  til  $10$ ,  $20$  og  $30^\circ\text{C}$ , kan tabel 35 beregnes, og tabel 36 derefter opstilles.

I boliger og tørre rum i industrier vil den relative luftfugtighed sjældent komme over  $60\%$ , det må derfor være tilstrækkeligt i sådanne rum at kræve en isolering på  $15$  mm og en tilsvarende om mufferne på  $30$  mm.

I fugtige rum i industribygninger, f.eks. i vævesale med indblæsning af befugtning luft, er det nødvendigt at forlange en isolering på  $50$  mm og tilsvarende om mufferne på  $60$  mm.

## KOLDTVANDSRØR ISOLERET MOD FROST

### Isoleringstype 10

I boligbyggeri sker det forholdsvis sjældent, at koldt vandsrør ligger udsat for frost i permanente anlæg, men i interimistiske anlæg og industrianlæg forekommer det ret hyppigt.

Det er selvfølgelig noget, der helst bør undgås, da det er umuligt at beskytte rørene fuldstændigt, hvis de med stillestående vand udsættes for frost i længere tid. Som regel vil det dog være således, at rørene kun skal kunne tåle at stå natten over, mens der ingen fare er om dagen, når der tappes regelmæssigt fra rørene hele dagen igennem.

Ud fra denne tankegang er det muligt at opstille en beregning af den minimale isoleringstykkelse mod frysning, idet man blot skal udtrykke, at varmetabet fra røret med stillestående vand skal være mindre end den varmemængde, der frigøres ved nedkølingen af rør og vand og frysning af en vis del af vandet i samme tidsrum. Varneakkumuleringen i stålrøret og isoleringen er forsvindende i forhold til isens smeltevarme, så der kan ses bort herfra, hvilket yderligere er på den sikre side.

Nominel måttetykkelse mm	Isoleringens udvendige overfladetemp. °C		Største tillad- elige rel. luftfugtighed %	
0	0	0	48	27
	0	0	15	
10	5,7	11,3	73	57
	17,0		46	
15	6,8	13,6	80	66
	20,4		57	
20	7,3	14,6	83	71
	21,9		62	
25	7,8	15,5	85	75
	23,3		67	
30	8,1	16,3	87	78
	24,4		72	
40	8,6	17,2	90	83
	25,8		78	
50	8,9	17,8	92	86
	26,6		82	
60	9,0	18,0	93	88
	27,0		84	
80	9,3	18,7	95	91
	28,0		89	
100	9,5	19,0	96	94
	28,5		92	

Tabel 35. Isolering mod dryp af indvendige faldstammer for tagvand med uorganiske måtter. Tabellen angiver isoleringens udvendige overfladetemperatur ved tre forskellige rumtemperaturer 10, 20 og 30°C sammen med den største tilladelige luftfugtighed.

Højeste relative fugtighed %	Lufttemperatur			Isoleringstype 9
	10°C	20°C	30°C	
60	10	15	20	tørt
	15	15	15	
70	10	20	30	
80	15	40	50	fugtigt
	50	50	50	
90	40	80	100	
	koldt	varmt	meget varmt	karakte- ristik

Tabel 36. Isolering mod dryp af indvendige faldstammer for tagvand med uorganiske måtter. De midterste tal i den øverste og nederste gruppe angiver normforslagets værdier i mm.

Idet isens smeltevarme er 80 kcal/kg, fås:

$$k \cdot \Delta t \cdot h \leq 80 \cdot f \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \cdot 1000 \quad \text{eller}$$

$$k \leq 63000 \frac{f}{\Delta t \cdot h} \cdot d^2 \quad (32)$$

hvor

- k er rørets transmissionstal i kcal/m·h·°C
- $\Delta t$  temperaturforskellen mellem vandet og rørets omgivelser i °C
- h tiden i timer, hvor vandet står stille
- f den del af tværsnittet, som tillades at fryse til is i løbet af de h timer og
- d rørets indvendige diameter i m.

For at få et overblik over de isoleringstykkelser, der kan blive tale om, beregnes der en

maksimal tykkelse (på en byggeplads) ved

$\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$ , vandets temperatur sættes til  $0^{\circ}\text{C}$  og omgivelsernes til  $-20^{\circ}\text{C}$ .

$h = 24$  timer og

$f = 0,75$  samt

minimal tykkelse (i et beboelseshus) ved

$\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$ , idet omgivelsernes temperatur sættes til  $-10^{\circ}\text{C}$

$h = 10$  timer

$f = 0,5$

Transmissionstallet og de dertil svarende isoleringstykkelser tages fra tabel 21 for uorganiske måtter, og tabel 37 kan opstilles.

Isoleringstype 10

Indv. diam. nominal mm	Reel mm	Maksimum		Minimum		Normforslag for isoleringstykkelse mm
		maks. $k = 100 \cdot d^2$ $\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	isoleringstykkelse s mm	maks. $k = 315 \cdot d^2$ $\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	isoleringstykkelse s mm	
15	14,75	0,02	100	0,06	100	bør ikke udsættes for frost
20	19,75	0,04	100	0,12	80	
25	25,5	0,065	100	0,2	40	50
32	34,25	0,12	120	0,37	15	
40	39,75	0,16	80	0,50	15	
50	51,5	0,26	40	0,84	15	
70	70	0,49	20	1,55	15	20
80	82,5	0,68	15	2,15	0	
100	100,5	1,0	15	3,2	0	
125	125	1,5	15	4,9	0	
150	150	2,2	15	7,1	0	

Tabel 37. Beregning af den nødvendige isoleringstykkelse til beskyttelse af vandrør mod frost. Maksimum ved  $-20^{\circ}\text{C}$  og en stilstandsperiode på 24 timer, minimum ved  $-10^{\circ}\text{C}$  udvendig og 10 timer.

Af tabellen fremgår, at jo større røret er, jo mindre risiko er der for frysning, og de små dimensioner bør aldrig udsættes for frost. Hvis en lille ledning udsættes for frost, må der sørges for, at der stadig løber vand igennem. Dimensionerne fra 25 til 50 mm bør isoleres med 50 mm og ikke lægges helt ubeskyttede. For rør fra 70 mm og opad vil 20 mm isolering være tilstrækkelig. Hvis ledningerne ligger i det fri, udsat for vind, må der isoleres yderligere, f.eks. med en kasse om ledningen. Hvor der er mulighed for, at ledningen er ude af drift i mere end et døgn, må der ligeledes træffes særlige foranstaltninger, f.eks. ved elektrisk frostbeskyttelse, eller ved at man til stadighed lader en lille vandstrøm løbe igennem ledningen.

De gamle normer angiver for alle rørdimensioner 24,5 mm isoleringstykkelse.

## ENGLISH SUMMARY

The present investigation constitutes an attempt to set up rational calculations of the thicknesses of insulation which should be applied at the various pipe lines in ordinary house and office building and small industrial plants. A proposal for new Danish standards for thicknesses of pipe insulation has been advanced based upon these calculations (see table 38 page 93).

The method of calculation for the first six types of insulation for "warm" pipes is of economic nature, the consideration being that there must be an economic optimum for the thickness of the insulation for any pipe from which there is a heat loss. At this optimum, the most economic thickness of insulation, the total annual expenses for the payment of the heat loss, interests and depreciation of the cost of insulation are the lowest possible.

As it is finally shown, this optimum is very stable, almost regardless of the price movements. If this were not the case there would not be much sense in calculating the most economic thickness of insulation, firstly because the calculations would have to be corrected from one year to the next, secondly because the houses will stand for many years and the fuel prices to all appearances will change considerably during the lifetime of the houses.

As far as the last four types of insulation for "cold" pipes are concerned, the calculations have been based on purely physical considerations.

## "Warm" Pipes

The result of the calculations for the most economic thicknesses of insulation for "warm" pipes is shown in the diagrams, fig. 4-9, page 63-68. By means of these diagrams the thicknesses are determined when the following factors are known:

the "degree time factor"  $g$ , expressing how long and intensively the plant is used, defined as the product sum over a year of the time in days and the corresponding difference of temperature between the interior of the pipe and the surrounds (tables 27-29, page 56-57 and 59), and

the annual capital expense  $p$ , determined by the rate of interest and the time of depreciation.

The total annual working expenses may briefly be written as



$$D = \frac{p}{100} \cdot K_{is} + K_w \quad \text{Dan.Cr./year} \cdot \text{meter} \quad (1)$$

where

$p$  is the annual payment of the initial expenditure, %,  
 $K_{is}$  the price of insulation, Dan.Cr./meter, and  
 $K_w$  the expenses to cover the heat loss, Dan.Cr./meter  $\cdot$  year.

Since  $D$  can not be expressed as a differential function of the thickness of insulation, the thickness should not be determined directly by differentiation. If the thickness of insulation is increased from  $s_m$  to  $s_n$ , the condition of a more favourable working economy is that

$$D_n < D_m \quad (2)$$

or by application of (1):

$$\frac{K_{is,n} - K_{is,m}}{K_{w,m} - K_{w,n}} < \frac{100}{p} \quad (3)$$

the marks  $m$  and  $n$  referring to the thicknesses  $s_m$  and  $s_n$ , respectively, these immediately following each other in table 13, page 24, so that  $s_n > s_m$ .

The heat loss  $K_w$  is determined by

$$K_w = 24 \cdot a \cdot k \cdot K_v \cdot \sum_{\Delta r} \Delta T \cdot J \quad \text{Dan.Cr./year} \cdot \text{meter} \quad (4)$$

where

$a$  is the "loss factor", i.e. the fraction of the wasted heat conducted away through the insulation. The heat loss from the pipe is consequently reduced if the heat is partially utilized for the heating of the house. The loss factor becomes higher than one if it costs money to remove the heat. Through an analysis it appears that the loss factor is independent of the type of pipe and the temperature conditions and that it neither varies much with the type or location of the room.  $a$  is here fixed at 0,8.

$k$  is the coefficient of transmission in kcal/m $\cdot$ h $\cdot$ °C, i.e. the volume of heat in kcal conducted through the insulation per running meter per hour when the

	difference of temperature between the interior of the pipe and the ambient air is 1°C.
$K_v$	is the price of the utilized heat in the plant in Dan.Cr./kcal.
$\Delta T$	is the difference of temperature between the interior of the pipe and the surrounds in °C.
$J$	is the number of days per year during which the difference of temperature between the interior of the pipe and its surrounds is $\Delta T$ .
$g = \sum_{\Delta T} \Delta T \cdot J$	is called the "degree time factor" and is the sum over one year of the number of days during which the interior of the pipe and its surrounds have the difference of temperature $\Delta T$ , multiplied with the corresponding $\Delta T$ . The "degree time factor" is called $g$ .

By insertion of the expression (4), page 90, for  $K_w$ , the inequality (3) will assume the form of:

$$\frac{K_{is,n} - K_{is,m}}{K_m - K_n} < 24 \cdot a \cdot K_v \cdot g \cdot \frac{100}{p} \quad (5)$$

The largest thickness of insulation  $s_n$  satisfying (5), is the most economic. The comparison of the various thicknesses of insulation are most easily performed graphically by means of one diagram for each type of insulation. The diagram is constructed as follows:

Left side of (5), the fraction  $\frac{K_{is,n} - K_{is,m}}{k_m - k_n}$  (the price of an increase of the coefficient of transmission by one), is depicted in a system of coordinates with the diameter of the pipe on the horizontal axis and the logarithm to the fraction on the vertical axis. There will be one curve for each set of thicknesses  $s_m$  and  $s_n$ , which are compared, see fig. 3, page 61.

If the numerical values of the preceding paragraph are inserted, the right side of (5) may be written

$$C \cdot g \cdot \frac{1}{p}$$

where  $C$  is a constant.

If  $\log g$  is marked on the axis to the very left in the system of coordinates, fig. 3, and  $\log \frac{1}{p}$  is marked on the axis to the very right, both with a

unit twice as big as that of the curves for  $\log \frac{K_{is,n} - K_{is,m}}{k_m - k_n}$ . then the logarithm to the product  $g \cdot \frac{1}{p}$  may be read as ordinate to the point P, at which a line through the points for g and  $\frac{1}{p}$  of the axis intersects the vertical centre axis.

If, for each diameter of pipe, the nearest curve is found in the system of coordinates, having lower ordinate than the point of intersection P in the centre axis, the most economic thickness of insulation is the largest of the thicknesses  $s_m$  and  $s_n$  corresponding to this curve. If this thickness is marked in the area lying above the curve between this and the next curve, a horizontal line through the point of intersection P will always intersect areas which are designated the most economic thicknesses of insulation for the corresponding diameters in the horizontal axis of the system of coordinates.

#### "Cold" Pipes

In calculating the necessary thickness of the types of insulation 7, 8, and 9, the condition is that condensation is prevented.

In estimating the necessary thickness of insulation of cold water pipes against freezing (type 10), the assumption is that the pipes must be capable of lying exposed to freezing before all the water in them freezes.

Type of pipe	Type of plant	Type No.	Insulation	Prices Table No.	Coefficient of transmission Table No.	Determination of most economic thickness Diagram No.	Determination of necessary thickness Table No.	Standard proposal Table No.
warm	heating and hot water supply plants	1	inorganic batts in paper	15	21	4	-	4
		2	fiber glass blocks	16	21	5	-	4
	steam plants	3	inorganic batts, metal reinforced	17	22	6	-	4
		4	85% magnesia	18	22	7	-	-
		5	metal jackets with Rockwool	19	22	8	-	-
		6	inorganic batts in paper	20	23	9	-	5
cold	cold water pipes against sweating	7a	inorganic batts in paper	-	-	-	31 - 32	6
		7b	fiber glass blocks	-	-	-	31 - 32	6
	ventilation ducts in attics against sweating	8	inorganic batts in paper	-	-	-	33 - 34	7
		9	inorganic batts in paper	-	-	-	35 - 36	8
	cold water pipes against freezing	10a	inorganic batts in paper	-	21	-	37	9
		10b	fiber glass blocks	-	21	-	37	9

Table 38. List of the most important tables and diagrams.



## SBI anvisninger

er byggeforskningens resultater i praktisk form til brug ved projektering og byggeri. Fortegnelsen omfatter kun anvisninger, der endnu ikke er udsolgt.

- 5: *Bedre varmeisolering er billigere*. 1950. 47 p. A<sub>4</sub>. Kr. 3,-.
- 6: *Fugt i nye huse* (plakat til ophængning). 1949. 7. udg. 1953. A<sub>4</sub>. Kr. 5,- pr. 100 expl.
- 8: *Brug og valg af betonblandere*, N. H. Krarup og K. Malmstedt-Andersen. 1951. 66 p. A<sub>5</sub>. Kr. 3,-.
- 10: *Kunstig belysning på byggepladser*, J. Thorsen og Mogens Voltelen. 1951. 2. udgave. 1953. 20 p. A<sub>5</sub>. Kr. 2,-.
- 11: *Omsætningsmål for trædimensioner*. 1951. 1 p. A<sub>4</sub>. (Gratis).
- 12: *Valg af dek*, Fleming Nielsen. 1952. 48 p. A<sub>5</sub>. Kr. 2,-.
- 13: *Byggeprisens bestanddele beregnet ved et 3-etagers boligbyggeri i provinsen i april 1951*. 1952. 28 p. A<sub>5</sub>. Kr. 2,-.
- 14: *Forbedring af stalde, varmeisolering og ventilering*, Poul Becher og Vagn Korsgaard. 1952. 2. reviderede udgave. 1955. 51 p. A<sub>6</sub>. Kr. 2,-.
- 15: *Dækforme i boligbyggeri*. 1955. 62 p. A<sub>5</sub>. Kr. 3,-.
- 16: *Mekaniseret håndværktøj på byggepladsen*, Fleming Nielsen. 1955. 48 p. A<sub>5</sub>. Kr. 4,-.
- 17: *Betonstøbning om vinteren*. Poul Nerenst, Erik Rastrup og Gunnar M. Idorn. 1953. 108 p. A<sub>5</sub>. Kr. 8,-.
- 20: *Undgå fugt*. 1954. 3 p. A<sub>6</sub>. 1 stk.: kr. 0,40. 100 stk.: kr. 25,-.
- 21: *Hvilket dek?* (folder til ophængning). 1954. 20 p. A<sub>5</sub>. Kr. 2,50.
- 22: *Normalvinduer af træ*, Poul Kjergaard. 1955. 128 p. A<sub>4</sub>. 10 stk. tillæg A<sub>4</sub>. Pris incl. tillæg: kr. 30,-. Excl. tillæg: kr. 22,-. Tillæg pr. stk. kr. 1,50.
- 23: *Vinterbyggeri* (folder til ophængning). 1953. 16 p. A<sub>5</sub>. 1 stk. kr. 1,-. 100 stk.: kr. 50,-.
- 24: *Udarbejdelse af instruks for varmemestre*, Poul Becher og Frederik Olsen. 1953. 19 p. A<sub>5</sub>. 1 stk.: kr. 2,-. 50 stk.: kr. 50,-.
- 25: *Simplet regnskabsystem for murermestre*, Fleming Nielsen. 1954. 2. udg. 1956. 24 p. A<sub>6</sub>. Pris incl. prøvesæt af formularer i samlemappe kr. 5,-. Blokke med regnskabsblade til for- og efterkalkulation kan købes særskilt.
- 26: *Plan over byggepladsen*. 1956. 30 p. A<sub>5</sub>. Kr. 4,-.
- 27: *Vejledning i betonkontrol*. 1956. 122 p. A<sub>5</sub>. Kr. 12,-.
- 28: *Bygningsfundering*, ved Geoteknisk Institut. 1955. 82 p. A<sub>5</sub>. Kr. 4,-.
- 29: *SBI betonberegner*, Poul Nerenst og Johannes Landbo. 1955. Plasticskyder med tilhørende vejledning. A<sub>6</sub> og A<sub>5</sub>. Kr. 4,-.
- 30: *Beslaglister til normalvinduer af træ*, Klaus Blach og Johannes Brixen. 1956. 28 p. A<sub>5</sub>. Kr. 4,-.
- 31: *Møbleringsplaner* ved »Bygebogen.« 1956. 24 p. A<sub>5</sub>, med indlagte fortegninger i mål 1:100, 4 ark A<sub>5</sub>. Kr. 4,-. Fortegninger i mål 1:50, 4 ark A<sub>3</sub>, kan købes særskilt for kr. 4,- pr. sæt.
- 32: *Tårnkraner ved traditionelt boligbyggeri*, John Brøndum Hillers. 1956. 78 p. A<sub>5</sub>. Kr. 4,-.
- 33: *Luftindblandet beton*, Erik V. Meyer. 1955. 32 p. A<sub>5</sub>. Kr. 2,50.
- 35: *Teglærksprodukter i byggeindustrien*. 1956. 168 p. A<sub>5</sub>. Kr. 8,-.
- 36: *Rudestørrelser* (folder til ophængning). 1956. 14 p. A<sub>5</sub>. Kr. 4,-.

TEGN ABONNEMENT – ring BY 9288 og De får fremtidig alle SBI anvisninger ind ad døren – med 25 pct. rabat og opkrævning een gang om året. Alle instituttets publikationer kan købes gennem boghandlerne eller hos Teknisk Forlag, Vester Farimagsgade 31, København V. By 9288.



## SBI rapporter

er de originale, komplette beregninger om selvstændige forskningsarbejder, som udføres for eller af instituttet.

Fortegnelsen omfatter kun rapporter, der endnu ikke er udsolgt.

- 1: *Økonomisk varmeisolering (Economical Heat Insulation)*, Poul Becher. 1949. 2. udgave 1950. 61 p. A<sub>4</sub>. Kr. 7,-.
- 11: *Mortelliusætningsstoffer til brug ved vinterbyggeri (Mortar Admixtures for Winter Construction)*, Henry Dührkop. 1953. 40 p. A<sub>4</sub>. Kr. 3,-.
- 12: *Luftlyd i beboelsesejendomme (Airborne Sound in Dwellings)*, Fritz Ingerslev og Jørgen Petersen. 1954. 40 p. A<sub>4</sub>. Kr. 7,-.
- 13: *Byggetiden ved 10 een-familiehuse (The Construction Time of 10 Single-family Houses)*. 1956. 54 p. A<sub>4</sub>. Kr. 12,-.
- 14: *Prøving af tre kontinuerlige betanblandere (Testing of Three Continuous Concrete Mixers)*, Per Bredsdorff, Johannes Landbo, Poul Nerenst og Niels Munk Plum. 1956. 146 p. A<sub>4</sub>. Kr. 16,-.
- 15: *Tregiturspørgsmål til parcel- og rækkehusbyggeri*. 1956. 40 p. A<sub>4</sub>. Kr. 8,-.
- 16: *Nyere etageboligplaner. Plantypekatalog og forslag til planvurdering (Contemporary Plans of Flats. A Catalogue of Plans, with Suggested Criteria for Comparative Evaluation)*, Aage Dalgas Rasmussen og Finn Vedel-Petersen. 1956. 92 p. A<sub>4</sub>. Kr. 28,-.
- 17: *Projekterede spisepladser i etageboliger*, Grethe Meyer. 1956. 126 p. A<sub>4</sub>. Kr. 24,-.
- 18: *Økonomisk rørsisolering (Economic Pipe Isulation)*, Poul Becher og Kristian Engelsen. 1957. 92 p. A<sub>4</sub>. Kr. 12,-.

## SBI studier

er en blandet publikationsrække, der spænder fra litteraturgengivelser og diskussioner til forskningsprogrammer, foreløbige beregninger og lignende.

Fortegnelsen omfatter kun studier, der endnu ikke er udsolgt.

- 11: *Brandtekniske fejl og mangler i bygninger*, H. Haeg. 1954. 20 p. A<sub>4</sub>. Kr. 3,-.
- 12: *Fejl ved projektering af centralvarmeanlæg*, Poul Becher. 1954. 38 p. A<sub>4</sub>. 2. udgave 1955. Kr. 3,-.
- 14: *Fejl og mangler i forbindelse med bygningsmaling*, Svend Andersen og H. K. Raaschou Nielsen. 1954. 30 p. A<sub>4</sub>. 2. udgave 1955. Kr. 3,-.
- 16: *Staldventilering - hvordan?* Hans R. Junge. 1955. 43 p. A<sub>5</sub>. Kr. 2,50.
- 17: *Bibliography on Winter Concreting*, Poul Nerenst. 1955. 16 p. A<sub>5</sub>. Kr. 1,50.
- 18: *Nyere betonforme*, Knud E. C. Nielsen. 1955. 68 p. A<sub>4</sub>. Kr. 4,-.
- 19: *Typisering af affaldsskaktten*, Sven Lindholm. 1956. 49 p. A<sub>4</sub>. Kr. 8,-.
- 21: *Fejl og mangler ved teglstensmurværk*, Henry Dührkop. 1956. 42 p. A<sub>4</sub>. Kr. 12,-.
- 22: *Fejl og mangler ved tagdekninger*, E. Frimand Klausen. 1955. 38 p. A<sub>4</sub>. Kr. 5,-.
- 23: *Røg fra centralvarmeskorstene*. 1956. 30 p. A<sub>4</sub>. Kr. 8,-.
- 24: *Problemer ved byggepladsledelse*, Bent Gregersen. 1956. 19 p. A<sub>4</sub>. Kr. 4,-.

PRIS KR. 12,—