

set-probl.

DK 697.33:697.003

ØKONOMISK
RØRDIMENSIONERING
VED CENTRALVARMEANLÆG

ECONOMICAL DIMENSIONING OF PIPES FOR CENTRAL HEATING SYSTEMS

WITH AN ENGLISH SUMMARY

POUL W. MARKE

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · RAPPORT NR. 22

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG KØBENHAVN 1957

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

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

er en selvstændig institution, der ledes af en bestyrelse udpeget af boligministeren, og 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 BYGGEFORSKNINGSINSTITUTT

(Oslo - Blindern, Tlf. 695990)

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

(Styransgatan 26, Stockholm Ö. Tel. 63 0065)

SNB sorterar under Socialdepartementet.

SNB overtog 1953 och utvidgade det arbete, som tidigare utförts av Statens Kommitte 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 broschyres samt genom artikler i facktidningar.

STATENS TEKNISKA FÖRSKNINGSANSTALT

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSLAITOS

(Lönnrotsgatan 37, Helsingfors. Tel. 11 151)

Anstalten som konstituerades 16. 1. 1942 (författningsamling 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 materialprovningssupdrag jämte andra forskningsupdrag samt att bistå tekniska högskolan i undervisnings- och forskningsarbete.

ØKONOMISK RØRDIMENSIONERING VED CENTRALVARMEANLÆG

ECONOMICAL DIMENSIONING OF PIPES FOR CENTRAL HEATING SYSTEMS

WITH AN ENGLISH SUMMARY

POUL W. MARKE

civilingeniør, dr. phil.

00859P
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
ex. 4
19 FEB. 1981

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · RAPPORT NR. 22

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG KØBENHAVN 1957

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
Forord	3
Oversigt over indholdet	4
Oversigt over de anvendte betegnelser og særlige begreber	6
Oversigt over figurer og tabeller	8
1. Indledning	9
2. Andre vigtige hensyn end den økonomiske rørdimensionering	11
3. Rørdimension og isoleringstykkelser, parametrene A og B	13
4. Primære og sekundære ledninger. Vægtfaktoren	16
5. Opstilling af økonomibetingelsen	20
6. Valg af grundmateriale	26
7. Spildfaktoren, a	28
8. Gradtidfaktoren, g	31
9. Parameteren A. Økonomisk rørisolering	33
10. Parameteren B	39
11. Uisolerede ledninger	41
12. Isolerede ledninger	43
13. Resultaternes økonomiske betydning	52
14. Prissvingningernes indflydelse	56
15. Materialets udformning til praktisk anvendelse	59
16. Primærledninger med varierende vandføring. Gennemregnede eksempler	65
17. Gennemregning af et forgrenet anlæg	71
18. Dimensioneringen af de sekundære kredsløb	75
19. Tillæg: Nomogram for varmeafgivelsen fra isolerede ledninger	77
English Summary	80
Litteraturhenvisninger	82

FORORD

Denne rapport er et af de arbejder, der udføres for de midler, der blev stillet til instituttets rådighed af den 2. Marshallbevilling til teknisk-videnskabelig forskning i maj 1954 for undersøgelser i forbindelse med planlægning af store opvarmningsanlæg.

Dr. Marke arbejder stadig videre med problemerne vedrørende centralvarmeanlægs dimensionering, og der kommer forhåbentlig flere rapporter fra denne hånd om emnet, først og fremmest om radiatorers varmeafgivelse.

Beregningen af rørene i centralvarmeanlæg er hidtil her i landet sket efter de principper, der er angivet af Rietschel, men som nu må anses for forældede. Det er navnlig efter at man er blevet klar over, at vandfordelingen i to-strengs

anlæg med de gammeldags radiatorventiler med lille gennemstrømningsmodstand i praksis ikke bliver, som den skulle, at tvivlen er opstået. Spørgsmålet er første gang rejst i dansk teknisk litteratur ved en artikel i VARME i 1952 af civilingeniør H. Peschardt-Hansen: "Sammenligning mellem forskellige rørsystemer for vandvarmeanlæg", og kort efter blev svenske radiatorventiler med forindstilling til stor modstand indført på det danske marked.

Den foreliggende rapport tænkes efterfulgt af en lille anvisning om økonomisk rørdimensionering til brug ved projektering af centralvarmeanlæg. Der vil dog gå nogen tid, inden den udkommer, idet rapportens tabeller og diagrammer først skal efterprøves i praksis på et større ingeniørkontor.

P. Becher
maj 1957.

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

EFTERTRYK TILLADT MED KILDEANGIVELSE

OVERSIGT OVER INDHOLDET

Den foreliggende undersøgelse omhandler økonomisk rørdimensionering ved centralvarmeanlæg med tvungen cirkulation, hvor varmemediet er varmt vand.

Opgaven er at bestemme den rørdimension, for hvilken de samlede driftsudgifter til

Forrentning og afskrivning af anlægsudgifter-
ne til rørledninger og isolering,
Pumpearbejde og
Varmetab fra ledningerne

bliver så små som muligt.

Heri ligger samtidig undersøgelsens begrænsning, idet der ikke er taget hensyn til andre, mindst lige så vigtige faktorer, som risikoen for generende støj i anlægget som følge af for store hastigheder og risikoen for en dårlig vandfordeling i anlægget.

Den sidste risiko kan i reglen imødegås ved indskydelsen af passende indreguleringsmodstande, men det må meget stærkt fremhæves, at

undersøgelsens resultater må anvendes med forsigtighed og omtanke, da anlæggene ellers kan blive både dårligere og dyrere i drift end anlæg, der er dimensionerede på traditionel måde.

Undersøgelsen fører til anvendelsen af større vandhastigheder, end det hidtil har været almindelig praksis her i landet, og i de fleste tilfælde vil der herved opnås en reduktion i anlægsudgiften, der mere end opvejer den merudgift, som fremkommer ved overgangen til økonomisk rørisolering.

I modsætning til de fleste undersøgelser af tilsvarende art er der her altså ikke tale om en forøgelse af anlægsudgiften for at opnå billigere drift, men om en reduktion af såvel anlægs- som driftsudgifter.

Den økonomiske rørdimension afhænger af følgende størrelser:

Driftstiden, u , døgn/år,

Elektricitetsprisen, E øre/kWh,

Procentsatsen, p , til afskrivning og forrentning af anlægsudgifterne,

Pumpens virkningsgrad, η ,

idet disse størrelser indgår i den anvendte parameter, B , jfr. afsnit 10.

Kalorieprisen har kun betydning for så vidt som elektriciteten omdannes til varme, og den giver der-

for en korrektion til elektricitetsprisen, E , jfr. afsnit 5.

Prisniveauet spiller også ind. Det karakteriseres ved byggeindex, og der tages hensyn til det gennem en korrektion til procentsatsen, p , jfr. afsnit 14.

Parameteren, B_0 , bestemt ved

$$B_0 = \frac{u E'}{p \eta}$$

bestemmer det "hastighedsniveau", der bør anvendes i anlægget.

Den økonomiske dimensionering er simplest for de primære ledninger, d.v.s. de ledninger, der gennemstrømmes af hele pumpens samlede vandføring.

For disse ledninger findes den økonomiske dimension direkte af nomogrammet i fig. 15 udfra værdien af parameteren B_0 og ledningens vandføring.

For andre ledninger er det nødvendigt at indføre en vægtfaktor, b , jfr. afsnit 4, hvorved man tager hensyn til, at når man formindsker dimensionen, må pumpetrykket og dermed pumpearbejdet forøges, ikke blot for ledningens egen vandføring, men for hele pumpens samlede vandføring.

Dette er en komplikation, men den ligger i sagens natur og kan principielt ikke undgås.

Bestemmelsen af vægtfaktoren er ofte vanskelig, og man må i reglen nøjes med et groft skøn over dens omtrentlige værdi. Dette giver en vis usikkerhed i bestemmelsen af den økonomiske dimension, når der er tale om forgrenede anlæg, men hele problemet er i sig selv så kompliceret for sådanne anlæg, at en sådan usikkerhed var at vente på forhånd.

Disse andre ledninger dimensioneres også ved hjælp af nomogrammet i fig. 15, men her anvendes parameterens værdi:

$$B = b B_0,$$

hvor b er vægtfaktoren.

Af hensyn til de mange fittings og afgreninger på strengledninger er disse behandlet for sig, og de svarer til de punkterede mærker på nomogrammet midterskala, medens hovedledninger og fordelingsledninger svarer til de fuldt optrukne mærker.

Ligeledes er undersøgelsen gennemført dels for

isolerede ledninger, dels for uisolerede ledninger, idet man er gået ud fra, at varmetabet fra en uisoleret ledning udnyttes fuldt ud til rumopvarmning.

Der anføres en del gennemregnede eksempler på hovedledninger i afsnit 16, samt en undersøgelse af hovedledninger, hvor vandføringen varierer gennem fyringssæsonen.

Afsnit 17 indeholder gennemregningen af et fuldstændigt anlæg, og det ses, at i det betragtede tilfælde medfører den økonomiske rørdimensionering, at anlægsudgiften til selve de isolerede rørledninger reduceres med en trediedel.

Det er ikke muligt at sige noget generelt om besparelsernes størrelsesorden, men dette eksempel viser tydeligt, at de absolut ikke er uvæsentlige.

Anvendelsen af den økonomiske rørdimensionering medfører en betydelig forøgelse af projekteringsarbejdet, men udgiften herved er lille i sammenligning med de opnåede besparelser.

Det er imidlertid, - som allerede nævnt ovenfor, - meget vigtigt, at materialet ikke anvendes kritisk, da det i ukyndige hænder kan ødelægge et anlæg totalt.

OVERSIGT OVER DE ANVENDTE BETEGNELSER OG SÆRLIGE BEGREBER

a	rent tal	<u>Spildfaktoren</u> , d.v.s. den del af varmeafgivelsen fra en rørledning, der ikke kan udnyttes hensigtsmæssigt, jfr. afsnit 7. For karreer regnes $a = 0,85$, for villaer $a = 0,5$.	g	$^{\circ}\text{C}\cdot\text{døgn}$	<u>Gradtidsfaktoren</u> , bestemt ved $g = \int \frac{(T - t)}{u} d\tau = (T_m - t_m) u,$ hvor T er temperaturen i rørledningen, t temperaturen i omgivelserne, τ tiden i døgn, og hvor integralet skal udstrækkes over driftsperioden, u. T_m og t_m er de tilsvarende middeltemperaturer over driftsperioden.
		en parameter, der er afgørende for den økonomiske isoleringstykkel, jfr. afsnit 9.			<u>Trykfaldet</u> i rørledningerne.
		For primære ledninger er $b = 1$.			Forskellen i trykfald, når samme vandmængde strømmer gennem de to rørdimensioner, der sammenlignes.
		en parameter, der viser sig at være afgørende for den økonomiske rørdimension.			<u>Transmissionstallet</u> for den isolerede rørledning.
					<u>Anlægsudgiften</u> for selve rørledningen.
					<u>Anlægsudgiften</u> for rørisoleringen.
					jfr. ovenfor under ΔJ .
					<u>Kalorieprisen</u> . 1 Mcal = 1000 kcal.
					<u>Længde</u> af rørledningen.
					indre overgangsmodstand.
					ydre overgangsmodstand.
					<u>Kraftforbrug</u> for pumpen.
					<u>Procentsatsen</u> til forrentning og afskrivning af anlægsudgiften. For så vidt man ønsker at tage hensyn til vedligeholdelsen, må denne indregnes i procentsatsen, p.
					Areal.

$$A = \frac{24 a g K}{p' 10^3 v}$$

$$B = b \cdot B_0$$

$$B_0 = \frac{u E'}{p' \eta}$$

p'	%	<u>den korrigerede procentsats</u> . Når prisniveauet varierer, kan korrektionen herfor simplest indføres som en korrektion på procentsatsen, p, jfr. afsnit 14.	v	m/sec	<u>Vandhastigheden</u> i rørene.
					Pumpens <u>virkningsgrad</u> .
					Tiden som integrationsvariabel.
					Varmeledningstal.
q, Q		<u>Vandføringen</u> i ledningerne eller i anlægget som helhed. De kan måles i l/h, m ³ /h, eller i kcal/h ved 15 ^o eller 20 ^o afkøling. Hvor der dels er tale om den betragtede ledningsstrækning vandføring, dels om vandføringen i anlægget som helhed (pumpens vandføring), betegnes den første med q, den sidste med Q.	Grænsehastigheden		for en rørdimension er den største hastighed, det kan betale sig at anvende i den pågældende dimension. Hvis hastigheden overstiger denne værdi, er det økonomisk gunstigere at anvende en større dimension.
					<u>Primære ledninger</u> hovedledninger, der gennemstrømmes af hele pumpens vandmængde, og som derfor har vægtfaktoren $b = 1$.
					<u>Sekundære ledninger</u> hovedledninger (og fordelingsledninger, men ikke strenge), der kun gennemstrømmes af en del af pumpens vandmængde.
					Temperaturer.
					den påregnede <u>stuetemperatur</u> .
					den <u>udvendige temperatur</u> .
					<u>Anlæggets driftstid</u> .

OVERSIGT OVER FIGURER OG TABELLER

- Fig. 1. Principskitse af forgrenet anlæg.
- Fig. 2. Korrektion af elektricitetsprisen.
- Fig. 3. Nomogram for vandstrømning i sædvanlige centralvarmerør.
- Fig. 4. Procentsatsens afhængighed af rentefod og afskrivningstid.
- Fig. 5. Kalorieprisens indflydelse på parameteren A.
- Fig. 6. Økonomiske isoleringstykkelser for isolering med måtter.
- Fig. 7. Sammenhængen mellem parameteren B_0 og den korrigerede elektricitetspris E' .
- Fig. 8. Grænsehastighedens værdi for uisolerede ledninger.
- Fig. 9. Grænsehastighedens værdi for måtteisolation, $A = 30$.
- Fig. 10. Grænsehastighedens værdi for måtteisolation, $A = 40$.
- Fig. 11. Grænsehastighedens værdi for måtteisolation, $A = 60$.
- Fig. 12. Grænsehastighedens værdi for måtteisolation, $A = 90$.
- Fig. 13. Grænsehastighedens værdi for måtteisolation, $A = 120$.
- Fig. 14. Grænsehastighedens værdi for isolation med skåle, $A = 40$.
- Fig. 15. Grænsehastighedens værdi for måtteisolation, når måttetykkelserne svarer til $A = 40$, medens reelt $A = 60$.
- Fig. 16. Middelkurver for grænsehastighederne for isolerede ledninger.
- Fig. 17. Korrektion af procentsatsen for pris-svingninger.
- Fig. 18. Kurveblad for uisolerede ledninger, $B_0 = 600$.
- Fig. 19. Kurveblad for isolerede ledninger, $B_0 = 600$.
- Fig. 20. Nomogram for økonomisk rørdimensionering.
- Fig. 21. Eksempel på tilslutning af lokalt anlæg.
- Fig. 22. Eksempel på tilslutning af lokalt anlæg.
- Fig. 23. Principskitse af hovedledninger til 10 blokke.
- Fig. 24. Diagram af kedelrum.
- Fig. 25. Diagram af fordelingsledninger.
- Fig. 26. Snit i isoleret rørledning.
- Fig. 27. Nomogram for bestemmelse af varmetabet fra isolerede rørledninger.
- Tabel 1. Anlægsudgift for rørledninger.
- Tabel 2. Oversigt over normerede isoleringstykkelser.
- Tabel 3. Påregnede isoleringstykkelser.
- Tabel 4. Grænsehastigheder for $B = 600$.
- Tabel 5. Oversigt over anlægsudgifterne.
- Tabel 6. Grænsehastighedens variation med vægtfaktoren for $B_0 = 600$.
- Tabel 7. Dimensionering af hovedledninger.
- Tabel 8. Beregning af middelværdien af temperatordifferensernes potenser.
- Tabel 9. Økonomisk dimensionering af fordelingsledninger.
- Tabel 10. Betydningen af afvigelse i m_u .

I. INDLEDNING

I tidligere tid, hvor de fleste centralvarmeanlæg havde naturlig cirkulation, var rørdimensionerne i det store og hele bestemt ved størrelsen af det naturlige drivtryk.

De problemer, der knyttede sig til rørberegningen, var i hovedsagen at finde den bedste fordeling af det forhåndenværende drivtryk mellem hovedledninger og strenge.

Noget ganske tilsvarende gjaldt for de anlæg, der ganske vist havde cirkulationspumpe, men hvor man ikke helt turde stole på denne, og hvor det derfor blev forlangt, at anlægget skulle kunne fungere med naturlig cirkulation, om end med nedsat varmeafgivelse.

I de senere år har billedet fuldstændig skiftet, og man nærer ikke mere nogen betænkelighed ved at stole på cirkulationspumpernes driftssikkerhed, selv om man ved større anlæg i reglen har to pumper i reserve for hinanden eller i det mindste har en reservemotor stående.

Vanskelighederne med, at støjen fra pumperne kunne høres op i huset, er også faldet bort, idet der nu findes pumper, der er praktisk talt lydløse.

Det kan foreskrives i betingelserne, at dersom man uden for det rum, hvor pumperne står, kan høre, om pumperne er i gang eller ikke, så skal pumperne kasseres.

Det burde i dag være en sjældenhed, at et centralvarmeanlæg udførtes med naturlig cirkulation, idet der opnås mange væsentlige fordele gennem anvendelsen af cirkulationspumpe:

1. Rørdimensionerne bliver mindre. Dette gør anlægget billigere, idet det mere end opvejer pumpens pris. Samtidig bliver installationen også fikser.

2. Anlægget bliver stabilere, idet der er mulighed for at sikre vandfordelingen ved indskydning af passende enkeltmodstande.

3. Anlægget reagerer hurtigere, bl.a. ved opfyrding, idet der ikke først skal opbygges et naturligt drivtryk, inden cirkulationen rigtigt kommer i gang.

Når varmeanlæggene udføres med tvungen cirkulation, foreligger der imidlertid ikke noget kriterium for, hvilke rørdimensioner man bør anvende.

Hvis man anvender store rørdimensioner, bliver pumpetrykket lille, og hvis man anvender små rørdimensioner, bliver pumpetrykket stort.

I bestræbelserne på at rationalisere og billiggøre byggeriet kommer man derfor ikke uden om spørgsmålet om økonomisk rørdimensionering i centralvarmeanlæg, altså den rørdimensionering, som alt i alt giver de mindste udgifter til afskrivning og forrentning af anlægsudgiften, varmetab fra rørledningerne og elektricitetsforbrug i cirkulationspumpen.

Undersøgelsen af dette spørgsmål ligger ganske på linie med undersøgelserne af økonomisk varmeisolerings af bygninger[1] og økonomisk rørisolering[2].

Disse undersøgelser var ret simple at gennemføre, og resultaterne var meget overskuelige. De viste klart, at den traditionelle udførelsesform var uhensigtsmæssig, og at en beskeden forøgelse af anlægsudgiften ville føre til meget væsentlige besparelser i det lange løb.

I visse tilfælde kunne den økonomiske varmeisolerings af bygningerne endda gennemføres uden forøgelse af anlægsudgiften, idet man sparede lige så meget på varmeanlægget, som man skulle betale for den ekstra isolering af huset.

Den foreliggende undersøgelse byder også, - for de fleste ingeniører, - på et brud med den traditionelle dimensionering, og den har den yderligere fordel, at der ikke i noget tilfælde vil være tale om en forøgelse af anlægsudgiften, tværtimod vil i mange tilfælde udgiften til rørledningerne, - i hvert fald for de udprøvede hovedledningers vedkommende, - kunne reduceres med op imod 30 %.

Ved at gå over til økonomisk rørdimensionering opnår man således på en gang en formindskelse af anlægs- og driftsudgifterne.

I reglen vil nedgangen i anlægsudgifterne være så stor, at den mere end opvejer den forøgel-

se i anlægsudgiften, der fremkommer ved overgangen til økonomisk rørisolering.

Disse to foranstaltninger bør derfor følges ad, således at man opnår en moderat nedgang i anlægsudgifterne og samtidig får driftsudgifterne sat meget stærkt ned.

Som for så mange andre teoretiske undersøgelser gælder det også for denne, at dens resultater skal anvendes med omtanke og med en vis forsigtighed.

Ved den økonomiske rørdimensionering kommer man over til mindre rørdimensioner og til større hastigheder og større tryktab.

Hvis dette gennemføres kritikløst, kan det let føre til støj i anlægget, og det kan samtidig næsten ikke undgå at føre til en så dårlig vandfordeling i anlægget, at dette kan blive ganske uanvendeligt.

Hvis resultaterne kun anvendes på de udprægede hovedledninger, (der nedenfor betegnes primærledninger) d.v.s. de ledninger, som gennemstrømmes af anlæggets totale vandmængde, vil det ikke kunne ske nogen skade for vandfordelingen, men på andre dele af anlægget må resultaterne kun anvendes med måde og kun i forbindelse med de nødvendige særlige foranstaltninger for at sikre en god vandfordeling.

For de sekundære ledninger, som kun gennemstrømmes af en del af pumpens vandmængde, er det i reglen nødvendigt at bestemme den såkaldte vægtfaktor, for at den økonomiske dimensionering skal kunne gennemføres.

Et andet forhold, som er værd at lægge mærke til, er, at anvendelsen af den økonomiske rørdimensionering betyder en udpræget forøgelse af projekteringsarbejdet.

Som så mange andre rationaliseringsforanstaltninger foreøger det ingeniørens arbejde, uden - efter de tidligere gældende honorarregler - at medføre en tilsvarende forøgelse af honoraret, som tværtimod vil reduceres, når anlægsudgiften går ned.

Derfor må resultatet nødvendigvis udformes på en sådan måde, at det bliver så let tilgængeligt og så hurtigt at arbejde med som overhovedet muligt.

Dette kan imidlertid ikke ændre selve problemet, og det er vigtigt, at dette løses på en tilfredsstillende måde, så det ikke går ud over den samvittighedsfulde ingeniør, der følger med i udviklingen og tager de nye resultater i anvendelse.

Den foreliggende undersøgelse falder til en vis grad sammen med en tilsvarende svensk undersøgelse, foretaget af professor John Rydberg[3].

Ved den svenske undersøgelse er det forudsat, at varmetabet fra rørledningerne ikke har nogen indflydelse på den økonomiske rørdimension.

Ved den her foreliggende undersøgelse er der ikke gjort nogen sådan forudsætning, idet man ikke mente på forhånd at kunne vide, om en sådan forudsætning var rigtig eller ikke.

Det har imidlertid, - som et led i undersøgelsen, - vist sig, at når rørledningerne isoleres med den økonomisk rigtige isoleringstykkelse, vil den økonomiske rørdimension være uafhængig af varmetabet fra rørledningerne.

Den svenske undersøgelse omfatter tillige en diskussion af pumpernes placering etc., spørgsmål, der endnu ikke er færdig undersøgt herhjemme.

2. ANDRE VIGTIGE HENSYN END DEN ØKONOMISKE RØRDIMENSIONERING

Næsten alle problemer i forbindelse med centralvarmeanlæg viser sig ved nærmere studium at være yderst komplicerede.

Dette gælder ikke mindst spørgsmålet om, hvorledes man opnår en god driftsøkonomi i anlægget.

Det er selvfølgelig en betingelse, at man vælger en rimelig balance mellem rørdimensioner og pumpetryk, men dette er langt fra nok, og det er vel ikke engang det vigtigste.

Først og fremmest må varmetabene være beregnet så korrekt som muligt, og radiatorstørrelserne må svare hertil. Det er det helt grundlæggende, men allerede det kan være vanskeligt at få opfyldt, ikke mindst fordi varmetabsberegninger behæftet med temmelig stor usikkerhed.

Dernæst skal vandfordelingen i anlægget være stabil og korrekt, for hvis en radiator ikke gennemstrømmes af den påregnede vandmængde, afgiver den for lidt varme.

Når disse forhold har så stor indflydelse på anlæggets driftsøkonomi, skyldes det, at man altid er nødt til at afpasse fremløbstemperaturen efter det eller de rum, som er vanskeligst at varme op, enten fordi de har en for lille radiator, i forhold til de andre, eller fordi radiatoren får for lidt vand.

Når fremløbstemperaturen af denne grund holdes højt, vil dels varmetabene fra rørledningerne stige, men især vil alle de gunstigere stillede rum få tilført for megen varme, hvilket er et direkte varmespild.

I princippet kan folk lukke helt eller delvis for radiatorerne, når det bliver for varmt, men for det første skal overtemperaturen i reglen være ret høj, inden dette sker, - og så vælger man undertiden at lukke vinduet op i stedet, - for det andet er det langt fra altid, at der er folk i det pågældende rum, og endelig er det meget vanskeligt at regulere ned på de gængse radiatorventiler og -haner.

Disse forhold ændres noget, når man har automatisk styring af de enkelte radiatorer, hvilket er temmelig dyrt, og der er også en del andre forhold, der kan spille ind, men det vil føre for

vidt at komme nærmere ind på det her.

Når man gennemfører en økonomisk rørdimensionering, er det meget vigtigt, at man ikke af den grund taber de andre forhold af syne.

Hensynet til rørdimensionerne må aldrig overskygge hensynet til den gode vandfordeling, for denne er langt vigtigere for anlæggets driftsøkonomi.

Det er derfor absolut nødvendigt, når man anvender resultaterne af den foreliggende undersøgelse, at man samtidig, - og først og fremmest - sørger for:

1. at vandfordelingen bliver tilfredsstillende og
2. at vandhastigheden intet steds bliver så stor, at den giver anledning til generende støj.

Begge disse forhold ved man alt for lidt om.

Det er ikke i og for sig vandhastigheden, som er afgørende for, om der opstår støj, for i en passende udformet enkeltmodstand kan man uden vanskelighed optage endog meget store trykfald, selv om dette medfører, at der optræder meget store hastigheder.

Årsagen til støj synes i de fleste tilfælde at være en stor vandhastighed i forbindelse med uregelmæssigheder i rørvægge eller i armatur, der kan forårsage vibrationer, kavitation el. lign..

Forhåbentlig vil man i de kommende år få noget mere rede på disse forhold.

Her må vi nøjes med at henlede opmærksomheden på, at problemet eksisterer og let kan blive aktuelt.

De hastigheder, der anbefales i det følgende, vil dog som regel ikke give anledning til vanskeligheder, hvis anlægget ellers er udført fornødt og af en habil håndværker, så der ikke er væsentlige grater etc. i rørene. Det vil dog være klogt, ikke at benytte alt for store hastigheder i de helt små dimensioner, jfr. det gennemregnede eksempel i afsnit 17.

Derimod kommer man ikke uden om, at hensynet til vandfordelingen vil kræve ganske særlige for-

anstaltninger.

Hvis man anvender den økonomiske rørdimensionering på den forgrenede del af anlægget, vil der opstå store trykfald i fordelingsledningerne, og hvis der ikke træffes særlige forholdsregler, vil de nærmeste strenge kunne kortslutte anlægget, så de fjernere liggende strenge praktisk talt intet vand får.

De trykfald, der er tale om, vil kunne være væsentlig større end dem, man kan optage ved den traditionelle form for indregulering, og der ligger på dette punkt meget store problemer, som endnu ikke er fuldstændig klarlagt.

Det er især dette forhold, der bevirker, at den økonomiske rørdimensionering er et værdifuldt hjælpemiddel for den erfarne og kyndige ingeniør, men et farligt redskab i ukyndige hænder.

3. RØRDIMENSION OG ISOLERINGSTYKKELSE, PARAMETRENE A OG B

Hvis man sammenligner den her foreliggende undersøgelse med de tidligere undersøgelser over

økonomisk varmeisolering af bygninger og økonomisk rørisolering,

vil man se, at begge disse to undersøgelser i princippet er ret enkle, da de kun indeholder een variabel, nemlig isoleringstykkelsen, altså kun een "frihedsgrad".

Opgaven var simpelthen at bestemme, hvilken isoleringstykkelse der førte til de mindste samlede driftsudgifter.

Ved den foreliggende undersøgelse er det først og fremmest rørdimensionen, der skal varieres, men samtidig må der tages hensyn til, at rørene kan være mere eller mindre stærkt isolerede, og problemet kommer derfor til at indeholde to variable:

rørdimension og isoleringstykkelse,

altså to frihedsgrader.

Det komplicerer en undersøgelse meget stærkt, når der er flere variable, og resultaterne bliver som regel også vanskeligere at overskue og besværligere at arbejde med.

Man skulle umiddelbart tro, at det ville forenkle sagen væsentligt, hvis man gik ud fra, at der altid anvendtes den økonomiske rigtige isoleringstykkelse.

Så ville sammenhængen mellem rørdimensionen og isoleringstykkelsen være lagt fast, og problemet indeholdt i virkeligheden kun een variabel, nemlig rørdimensionen.

Dette ville have været rigtigt, hvis den økonomiske rørisolering var den samme for alle anlægstyper, uanset temperaturforhold, prissvingninger, forskellig driftstid etc., men det er ikke tilfældet.

Den økonomiske isoleringstykkelse afhænger især af

kalorieprisen,
rentefoden,
driftstiden og
temperaturforholdene,

og da disse størrelser er forskellige for de forskellige anlæg, er det ikke nok at gennemføre undersøgelsen for en enkelt, fast sammenhæng mellem rørdimensioner og isoleringstykkelser.

Ved undersøgelsen af økonomisk rørisolering, jfr. afsnit 5, består driftsudgifterne kun af to led:

1. Forrentning og afskrivning af anlægsudgifterne,
2. varmetabet fra rørledningerne.

Når der kun indgår to led i driftsudgifterne og dermed i økonomibetingelsen, bliver det forholdet mellem disse led, som er afgørende, og dette medfører, at alle de størrelser, der varierer fra anlæg til anlæg, nemlig

kalorieprisen,
rentefoden,
driftstiden og
temperaturforholdene,

kan samles i en enkelt parameter, A, således at resultatet, den økonomiske isoleringstykkelse for hver rørdimension, kun afhænger af parameteren, A.

De økonomiske isoleringstykkelser vil altså være de samme for to anlæg, dersom disse svarer til samme parameterværdi, uanset om de størrelser, der indgår i parameteren, slet ikke er ens for anlæggene.

Derved bliver forholdene lettere at overse, når man indfører parameteren, A.

Ved undersøgelsen af den økonomiske rørdimension optræder der, jfr. afsnit 5, et nyt led i driftsudgifterne:

3. Elektricitetsforbruget til cirkulationspumpen.

Hvis man specielt ser på uisolerede ledninger, hvor hele varmetabet kommer til nytte, falder led nr. 2 bort, og der er atter kun to led i driftsudgifterne og dermed i økonomibetingelsen.

Så er det igen forholdet mellem disse led, der er afgørende, og de størrelser, der varierer fra anlæg til anlæg,

elektricitetsprisen,

rentefoden,
driftstiden og
pumpens virkningsgrad,
kan samles i en parameter, B, ganske svarende til ovenfor.

Hvis man kender værdien af parameteren, B, ligger sammenhængen mellem vandføring og rørdimension fast.

For de uisolerede ledninger er undersøgelsen altså lige så simpel som undersøgelsen af den økonomiske rørisolering (jfr. dog afsnit 4).

Ser man nu på det almindelige tilfælde med isolerede rørledninger, så er det ganske vist vedtaget, at der skal anvendes den økonomiske rørisolering, men det afhænger af parameteren, A, hvor stor denne isoleringstykkelse er, så undersøgelsen må gennemføres for alle mulige værdier af parameteren, A.

Derved kommer resultatet principielt til at afhænge af begge parametrene A og B.

Disse parametre kan variere uafhængigt af hinanden, idet A afhænger af kalorieprisen og af temperaturforholdene, hvilket B ikke gør, og B afhænger af elektricitetsprisen, der ikke indgår i A.

I stedet for de to variable rørdimensionen og isoleringstykkelsen, har man ændret problemet, så man er kommet over til de to parametre, A og B.

Når undersøgelsen gennemføres med disse to parametre, viser det sig, at rørdimensionen i virkeligheden er praktisk talt uafhængig af parameteren A.

Derved bliver endelig problemet forenklet så stærkt, at resultatet kan fremstilles på en overskuelig måde.

Der er så en parameter, A, der bestemmer den økonomiske isoleringstykkelse, og en anden parameter, B, der bestemmer den økonomiske rørdimension.

Parameteren B er dog ikke så simpel som ønskeligt, med mindre der er tale om udprægede hovedledninger, jfr. afsnit 4.

Problemerne er ovenfor behandlet ud fra den - i og for sig naturlige - forudsætning, at man i hvert enkelt tilfælde gennemfører den økonomiske rørisolering.

I praksis vil denne forudsætning som regel kun være opfyldt med en vis tilnærmelse.

Dette skyldes, at man ud fra undersøgelsen over økonomisk rørisolering har opstillet visse

"normerede" isoleringstykkelser, hvor også andre hensyn har spillet ind.

1. Man har ønsket, at alle rør med blot nogenlunde samme temperaturforhold isoleres ens. Derved er værdiområdet for parameteren A blevet opdelt i ret store intervaller, og for hvert interval er der valgt eet sæt isoleringstykkelser. Disse kan imidlertid højst svare til een af parameterværdierne i intervallet, selv om de anvendes for dem alle.

2. Selv om prisforholdene ligger temmelig forskelligt for isolering med måtter og med skåle, har man ønsket at foreskrive samme isoleringstykkelser for begge tilfælde.

Dette medfører, at hvis de foreskrevne tykkelser svarer til samme parameterværdi for alle rørdimensioner, når der er tale om måtteisolering, vil de ikke gøre det, når der er tale om isolering med skåle, og vice versa.

I realiteten kan man altså ikke vente, at sættet skal svare til en bestemt parameterværdi.

3. Man har ønsket ikke at have alt for mange måttetykkelser på en byggeplads, idet dette gør det vanskeligere både for monterer og tilsyn at undgå fejltagelser.

Derfor er i en del tilfælde en isoleringstykkelse enten foretaget eller formindsket for at reducere antallet af anvendte måttetykkelser.

Det tilsvarende gør sig ikke gældende ved isolering med skåle, hvor der alligevel må købes specielle skåle til hver rørdimension.

De foretagne ændringer forstærker den under pkt. 2 omtalte virkning, at de foreskrevne isoleringstykkelser ikke svarer til samme parameterværdi for alle rørdimensioner.

4. Man har bestemt de økonomiske isoleringstykkelser ud fra en ret beskeden rentefod og har så bagefter reduceret dem en del.

Dette er en lidt inkonsekvent fremgangsmåde, idet det ville have været rimeligere at opnå reduktionen ved at vælge en højere rentefod, jfr. bemærkningerne nedenfor i afsnit 9.

Konsekvensen bliver, at de foreskrevne tykkelser i visse tilfælde svarer til ret

spredte værdier af A.

Hvis man ved den foreliggende undersøgelse skulle drage konsekvensen af den foretagne "Normering" af isoleringstykkelserne, ville det medføre, at resultaterne kom til at afhænge effektivt både af parameteren A og af parameteren B, og resultaterne ville da blive ganske uoverskuelige.

De angivne "normisoleringer" passer imidlertid ret godt for de almindelige centralvarmeanlæg, og der sker derfor ikke stor skade ved, at man ser

bort fra variationen med parameteren A, - hvilket som nævnt ovenfor simpelt hen er nødvendigt.

I det følgende skal dette spørgsmål tages op et par steder, og dets betydning skal nærmere undersøges ved nogle gennemregnede tilfælde.

Ved anlæg af mere speciel karakter, bl.a. ved ledningerne i særlig varme kedelrum o. lign., må det erindres, at de normerede isoleringstykkelser ikke er de økonomisk gunstigste, og ved sådanne anlæg bør man derfor bestemme værdien af parameteren A og isolere tilsvarende.

4. PRIMÆRE OG SEKUNDÆRE LEDNINGER. VÆGTFAKTOREN

Den største og alvorligste vanskelighed ved gennemførelsen af den foreliggende undersøgelse og - især - ved udnyttelsen af dens resultater ligger i, at anlæggene altid er stærkt forgrenede.

For ikke at komplicere redegørelsen for disse vanskeligheder mere end højst nødvendigt, betragtes i denne paragraf kun uisolerede ledninger, hvor varmetabet kan udnyttes fuldt ud, således at økonomibetingelsen kun indeholder to led:

1. Forrentning og afskrivning af anlægsudgiften, og
2. elektricitetsforbrug til cirkulationspumpen.

Denne forenkling har ikke nogen reel betydning i denne forbindelse, og alle de anførte betragtninger har lige så vel gyldighed i det almindelige tilfælde, men formuleringen bliver simple, når man ikke hele tiden skal tage hensyn til det tredje led, og derved bliver det lettere at bevare overblikket.

For at opnå en klar terminologi ved de forgrenede anlæg skelnes der mellem følgende tre typer rørledninger:

Hovedledningerne, som opdeles i

primære ledninger, d.v.s. ledninger, der gennemstrømmes af anlæggets (eller rettere pumpens) totale vandmængde, og

sekundære ledninger, der kun gennemstrømmes af en del af denne vandmængde, samt

Der synes ikke tidligere at have været brug for en klar adskillelse mellem de to typer hovedledninger, og der foreligger vist ikke nogen egnede betegnelser, der allerede er indgået i normal sprogbrug.

Strengledningerne.

Ved bedømmelsen af vægtfaktoren, jfr. nedenfor, indtager de primære ledninger en særstilling, idet det viser sig, at de får vægtfaktoren 1.

Ved bedømmelsen af anlægsudgifterne, jfr. afsnit 6, indtager strengledningerne en særstilling, idet det kun er for disse ledninger, der ta-

ges hensyn til afgreninger, etagegennemføringer etc..

Hvis det skal kunne betale sig at forøge pumpetrykket, må der opnås en så væsentlig reduktion af anlægsudgiften, at der er balance eller besparelse i økonomibetingelsen.

Når man forøger pumpetrykket og til gengæld nedsætter dimensionen på en primærledning som f. eks. BC, fig. 1, altså en ledning, der gennemstrømmes af hele den cirkulerede vandmængde, er det ret let at opstille økonomibetingelsen, for der kommer kun to led, eet for stigningen i elektricitetsforbruget og eet for nedgangen i anlægsudgifterne for den pågældende ledningsstrækning.

For primærledningerne kan man altså uden videre bestemme den økonomiske rørdimension.

Langt vanskeligere bliver det, hvis man ikke ser på en primærledning, men på den mere forgrenede del af anlægget.

Når man forøger pumpetrykket, bliver der et større drivtryk til disposition for alle kredsløbene i anlægget, og dette skal man udnytte ved at

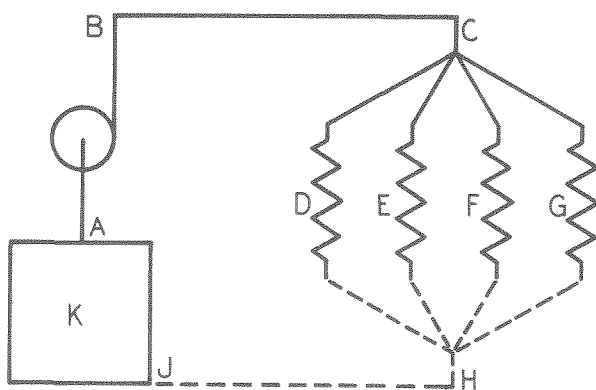


Fig. 1. Principskitse af forgrenet anlæg.

Strækningerne AB, BC og HJ er primærledninger, idet de gennemstrømmes af hele pumpens vandmængde.

formindske rørdimensionen på en passende ledningsstrækning i hvert enkelt af kredsløbene, på fig. 1 altså både i CDH, CEH, CFH og CGH.

Derved kommer økonomibetingelsen til at indeholde eet led for det forøgede elektricitetsforbrug og et led for den reducerede anlægsudgift i hvert af kredsløbene.

Dette er højst uheldigt, for ikke alene har økonomibetingelsen fået mange led, så den bliver vanskelig at behandle, men den har fået en form, der ganske afhænger af anlæggets art.

Ud fra en økonomibetingelse af denne form vil man aldrig kunne gennemføre en undersøgelse, som skal have gyldighed for alle mulige anlæg.

Denne vanskelighed ligger i selve problemets natur, og i virkeligheden er det derfor umuligt at komme ud over den.

Det eneste, man kan gøre, er at anvende et kunstgreb, der formelt gør sagen enklere, og så søge at udnytte resultaterne så godt som muligt i praksis.

Dette sker ved indførelse af vægtfaktorer.

Hvis de enkelte kredsløb gennemstrømmes af vandmængderne q_i , og den samlede cirkulerede vandmængde betegnes Q , er

$$\sum q_i = Q$$

Dersom besparelsen på anlægsudgiften i hvert enkelt kredsløb kan opveje pumpearbejdet

$$q_i \Delta h,$$

hvor Δh er forøgelsen i pumpetrykket, så vil den samlede besparelse kunne opveje pumpearbejdet

$$\sum q_i \Delta h = Q \Delta h,$$

altså den samlede forøgelse i pumpearbejde, og økonomibetingelsen vil være opfyldt.

I dette tilfælde, - som er meget specielt, - kan man altså lige så godt se på økonomibetingelsen for de enkelte kredsløb som for anlægget som helhed.

Som regel vil der være nogle af kredsløbene, hvor man enten slet ikke kan udnytte det forøgede pumpetryk eller i hvert fald kun kan udnytte det med ret dårlig "nyttevirkning" i form af besparelse. Dette gælder ofte de korte kredsløb, hvor hastigheden i ledningerne ville blive for stor, hvis hele pumpetrykket skulle udnyttes i selve ledningerne.

For disse kredsløb kan besparelsen ikke opveje pumpearbejdet

$$q_i \Delta h,$$

men kun

$$\beta_i q_i \Delta h, \quad \text{hvor } \beta_i < 1.$$

Hvis økonomibetingelsen for anlægget som helhed skal kunne opfyldes, må der findes andre kredsløb, hvor man opnår en ekstra stor besparelse ved udnyttelsen af det forøgede pumpetryk, således at denne besparelse kan opveje et pumpearbejde på

$$\beta_i q_i \Delta h, \quad \text{hvor } \beta_i > 1.$$

Dette er ofte tilfældet for de lange kredsløb, der ved den normale dimensionering er afgørende for valget af pumpetryk.

Når økonomibetingelsen skal være tilfredsstillende for anlægget som helhed, må det gælde, at

$$\sum \beta_i q_i \Delta h \geq Q \Delta h,$$

altså at

$$\sum \beta_i q_i \geq \sum q_i = Q.$$

Hvis man specielt ser på det r -te kredsløb og løser uligheden med hensyn til β_r , fås betingelsen:

$$\beta_r \geq 1 + \frac{1}{q_r} \sum_{i \neq r} q_i (1 - \beta_i) = b_r$$

Denne størrelse, b_r , kaldes vægtfaktoren for det r -te kredsløb.

Økonomibetingelsen kan nu udtrykkes på den simple måde, at besparelsen i det r -te kredsløb mindst skal kunne opveje pumpearbejdet

$$b_r q_r \Delta h,$$

altså vægtfaktoren b_r gange så stort pumpearbejde som normalt.

Den største værdi, som vægtfaktoren b_r kan antage, fremkommer, når alle de øvrige værdier, β_i , er = 0, og den bliver

$$b_r = \frac{Q}{q_r},$$

altså den totale cirkulerede vandmængde divideret med vandmængden gennem det pågældende kredsløb.

Dette er helt naturligt, for når der ikke opnås nogen besparelse i de øvrige kredsløb, må det r -te kredsløb bære den samlede forøgelse af pumpearbejdet, $Q \Delta h$.

Principielt kan vægtfaktorerne antage alle værdier i intervallet

$$0 \leq b_r \leq \frac{Q}{q_r}.$$

Det er vigtigt at lægge mærke til, at hver enkelt vægtfaktor afhænger af hele anlæggets udformning.

Hvis man ændrer på dimensionen i et enkelt kredsløb, kan dette have indflydelse på alle vægtfaktorerne.

Det er let at se, at selv om man ved indførelsen af vægtfaktorer har kunnet formulere økonomibetingelsen ganske simpelt, så den kun indeholder led for det r-te kredsløb, er hele problemet ganske det samme som før.

Man har blot kunstigt trukket de mange led i økonomibetingelsen sammen og skjult dem i vægtfaktoren.

I stedet for en økonomibetingelse, der var næsten umulig at behandle generelt, har man fået en formelt simpel økonomibetingelse, som til gengæld indeholder en "vægtfaktor", der kan være næsten umulig at bestemme nøjagtigt.

Vanskelighederne er altså tilsyneladende blot flyttet.

Alligevel er der opnået noget ved kunstgrebet.

For det første er økonomibetingelsen blevet så simpel, at den uden videre kan behandles generelt, og det er en afgørende betingelse for, at undersøgelsen overhovedet kan gennemføres.

For det andet er det ganske vist meget ofte umuligt at bestemme vægtfaktoren nøjagtigt, men det vil dog i mange tilfælde være muligt at danne sig et rigtigt godt skøn over, hvor stor den omtrent kan være.

Selv om man ikke finder den helt rigtige værdi, betyder det ikke så forfærdelig meget for rørdimensionen, for i nærheden af det økonomiske optimum er alle variationer ret små.

Det springende punkt er bestemmelsen af vægtfaktoren, og dette skal nu behandles lidt nærmere.

Der er ingen grund til at hefte sig ved de kredsløb, for hvilke vægtfaktoren er < 1 , for i disse kredsløb er gevinsten ved en forøgelse af pumpetrykket for lille.

Så vidt muligt ser man på det eller de kredsløb, hvor vægtfaktoren er størst. Det er disse kredsløb, der skal "bære" økonomien, og det er de store vægtfaktorer, som er lettest at bedømme nogenlunde nøjagtigt.

Idet man nu går over til at betragte et specielt kredsløb, betegnes vægtfaktoren fremtidig

$$b \text{ i stedet for } b_r.$$

Det vides da, at

$$1 \leq b \leq \frac{Q}{q},$$

hvor q er den vandmængde, der gennemløber det pågældende kredsløb.

Der har hidtil været anvendt den lidt misvisende betegnelse "kredsløb", selv om de strækninger, der var tale om, f.eks. CFH på fig. 1, i realiteten ikke var et kredsløb, men en ledningsstrækning.

Det var en bekvem sprogbrug, så længe man umiddelbart skulle sammenligne de forskellige dele af anlægget, men ved den videre undersøgelse er det naturligere at tale om ledningsstrækninger.

Hvis den betragtede ledningsstrækning er en del af en primærledning, har vi tidligere set, at økonomibetingelsen var simpel.

Dette resultat genfindes her, idet for primærledningen

$$q = Q, \text{ d.v.s. } q_i = 0 \text{ for } i \neq r,$$

og altså udtrykket for vægtfaktoren kun får eet led:

$$b = 1.$$

Det er bekvemt af hensyn til det følgende også at tale om en vægtfaktor også for primærledningerne, og denne har altså værdien 1.

Hvis der ikke er tale om en primærledning, men om en sekundær ledning, der fører f.eks. halvdel af anlæggets cirkulerende vandmængde, er

$$q = \frac{1}{2} Q$$

og

$$1 \leq b \leq 2.$$

Intervallerne for b er altså ikke ret stort, og ved at se nærmere på den del af anlægget, som resten af vandet passerer, kan man som regel indsnævre det yderligere.

Hvis resten af vandet passerer igennem en tilsvarende ledningsstrækning, kan man opnå samme besparelse her, og så bliver

$$b = 1.$$

Det var det første tilfælde, der blev behandlet ovenfor, hvor hvert kredsløb gav en besparelse, der netop svarede til

$$q_i \Delta h,$$

og hvor altså $\beta_i = 1$.

Hvis man ser på een af strengene i et anlæg med mange ens strenge, vil man kunne opnå samme besparelse ved alle strengene, forudsat at der er "vendt retur", eller at man på anden måde har opnået, at det disponible trykfald er ens for alle strengene.

Er der n ens strenge, alle med vandføringen q , kan man let se, at

$$1 \leq b \leq \frac{Q}{nq},$$

og hvis n er stor, har man atter fået indsnævret intervallet væsentligt.

Det er ikke blot opad, man på denne måde kan indsnævre intervallet for vægtfaktoren.

Hvis man f.eks. ved, at vandmængden q' passerer gennem kredsløb, hvor man ikke kan opnå nogen besparelse ved at forøge pumpetrykket, må de øvrige kredsløb, der repræsenterer vandmængden $Q - q'$, bære hele det ekstra pumpearbejde, og den største af de optrædende vægtfaktorer må da mindst være så stor, at

$$b(Q - q') = Q,$$

altså

$$b \geq \frac{Q}{Q - q'}.$$

Sådanne betragtninger giver en begrænsning nedad.

Hvis man ved, at den betragtede ledningsstrækning er den eneste, hvor der bliver en besparelse, og den har vandføringen q , bliver

$$b = \frac{Q}{q}.$$

Hvis der er n ens sådanne strækninger, og det er de eneste, hvor der opnås besparelse, bliver

$$b = \frac{Q}{nq}.$$

Ved de i praksis forekommende anlæg søger man at skønne, hvorledes forholdene i anlægget er i sammenligning med sådanne simple tilfælde.

Selv om bestemmelsen af vægtfaktoren er et meget vanskeligt problem, kan man altid finde et interval, indenfor hvilket den må ligge, og derved kommer man til et vist antal rørdimensioner, der kan komme i betragtning, og blandt hvilke den økonomisk gunstigste ligger.

Jo mindre intervallet er, desto sikrere bliver dimensioneringen.

Denne vanskelighed og denne usikkerhed i dimensioneringen er noget, der ligger meget dybt i hele sagen. Usikkerheden på vægtfaktoren er identisk med en tilsvarende usikkerhed på den økonomiske rørdimension, og det er principielt udelukket at komme uden om dette forhold.

Når vægtfaktoren ikke er bestemt nøjagtigt, betyder det, at man ved for lidt om anlægget til at kunne afgøre, hvilken rørdimension der er den økonomiske.

Der er næppe andet at sige om dette spørgsmål, end at man får en vis rutine i at skønne over vægtfaktorerne, når man til stadighed beskæftiger sig med projektering af centralvarmeanlæg, og at jo dygtigere man bliver, desto bedre bliver anlægget dimensioneret.

5. OPSTILLING AF ØKONOMIBETINGELSEN

I det følgende betragtes en bestemt ledningsstrækning med konstant dimension, og det forudsættes, at alle de karakteristiske størrelser, incl. vægtfaktoren, er bekendt.

Der ses bort fra, at anlægsudgiften til cirkulationspumpen i nogen grad afhænger af pumpetryk, idet denne variation i de fleste tilfælde vil være uvæsentlig.

Ligeledes ses der bort fra anlægsudgiften til ventiler etc.. Hvor denne udgift spiller en væsentlig rolle, må der enten foretages en særlig undersøgelse, eller man må skønmæssigt korrigere for ventilernes indflydelse. Som regel vil anlægsudgifterne til armatur vokse meget stærkt med rørdimensionen, og på de strækninger, hvor der er store mængder armatur, vil det derfor være rigtigt at anvende en noget mindre rørdimension, end den normale undersøgelse fører til.

Der indføres nu følgende betegnelser for den betragtede ledningsstrækning:

D øre/år pr. m driftsudgiften

K_r kr/m anlægsudgiften for selve rørledningen.

K_{is} kr/m anlægsudgiften for isoleringen (for så vidt en sådan findes).

p % p.a. Den til forrentning og afskrivning nødvendige procent af anlægsudgiften. For så vidt man ønsker at tage hensyn til vedligeholdelsesudgifter, må disse indregnes i denne procentsats.

K_v øre/Mcal Prisen for en udnyttet megakalorie (1 Mcal = 1000 kcal).

a rent tal Spildfaktoren, den del af varmeafgivelsen fra rørledningen, der ikke udnyttes hensigtsmæssigt.

g °C.døgn Gradtidsfaktoren, defineret ved

$$g = \int (T - t) dt,$$

hvor T er temperaturen i rørledningen, t temperaturen i omgivelserne og t tiden målt i døgn. Integralet skal udstrækkes over den tid, hvor anlægget er i drift.

k kcal/h.m.°C Transmissionstallet for rørledningen.

η rent tal Virkningsgraden for cirkulationspumpen.

E øre/kWh Elektricitetsprisen.

b rent tal Vægtfaktoren for den betragtede ledningsstrækning.

Q m³/h Vandføringen i den betragtede ledningsstrækning.

J mmVS/m Trykfaldet i ledningsstrækningen.

v m/sec Hastigheden i ledningsstrækningen.

u døgn/år Driftstiden for anlægget.

Driftsudgifterne kommer nu til at bestå af følgende led:

1. Forrentning og afskrivning af anlægsudgifterne til rørledning og isolation

$$p [K_r + K_{is}],$$

hvor nævneren loo p opvejes af, at anlægsudgifterne er angivet i kr/m, medens der ellers regnes med øre. Som alle udgifterne i det følgende er også denne udregnet pr. m af den betragtede ledningsstrækning.

Hvis rørledningen ikke er isoleret, falder K_{is} bort.

2. Varmetabet fra rørledningen, idet der ta-

ges hensyn til, at en del af dette varmetab kan udnyttes effektivt, således at det ikke repræsenterer noget tab:

$$24 \cdot 10^{-3} a g K_v k$$

Hvis rørledningen er uisoleret, og hele varmetabet udnyttes til rumopvarmning, falder dette led helt bort.

3. Elektricitetsforbruget til cirkulationspumpen. Her skal vægtfaktoren indgå, da besparelsen i anlægsudgift for denne ledningsstrækning skal bære en tilsvarende større andel i pumpearbejdet.

Idet

$$1 \text{ kgm} = 2,723 \cdot 10^{-6} \text{ kWh},$$

bliver dette led

$$24 \cdot 2,723 \cdot 10^{-6} b u J Q \frac{E'}{\eta}$$

Hertil kommer en lille korrektion, for praktisk talt al den elektricitet, der bruges til pumpen, bliver til varme, enten i pumpen eller senere i ledningerne, og pumpen virker derfor i al beskedenhed som en lille hjælpekedel.

E skal derfor i virkeligheden være den pris, man betaler for meget, når man fremstiller varmen gennem pumpearbejde i stedet for at fremstille den i kedlen.

1 kWh svarer til 860 kcal, og prisen for disse kalorier, fremstillet på normal måde, er med det benyttede prisniveau, jfr. nedenfor,

$$2,9 \frac{860}{1000} = 2,5 \text{ øre.}$$

Som følge heraf skal man i stedet for den virkelige elektricitetspris regne med elektricitetsprisen

$$E' = E - 2,5.$$

I det almindelige tilfælde sættes

$$E' = E - K_v \cdot \frac{860}{1000}.$$

Denne sammenhæng er afbildet i fig. 2, hvor man kan aflæse værdien af den korrigerede elektricitetspris, når man kender elektricitetsprisen, E, og kalorierprisen, K_v .

I det følgende forudsættes det, at denne korrektion er foretaget.

De samlede driftsudgifter kan da skrives på formen

$$D = p [K_r + K_{is}] + 24 \cdot 10^{-3} a g K_v k + 24 \cdot 2,723 \cdot 10^{-6} b u J Q \frac{E'}{\eta}$$

For at bestemme den økonomisk gunstigste rør-

dimension kan man sammenligne enhver rørdimension med den nærmeste større dimension.

Denne større dimension har de karakteristiske størrelser

$$D', K'_r, K'_{is}, k'; \text{ og } J',$$

idet størrelserne

$$p, a, g, K_v, b, u, E', \eta \text{ og } Q$$

er ens for begge dimensioner.

Driftsudgifterne for den større dimension bliver da

$$D' = p [K'_r + K'_{is}] + 24 \cdot 10^{-3} a g K_v k' + 24 \cdot 2,723 \cdot 10^{-6} b u J' Q \frac{E'}{\eta}$$

og betingelsen for, at det kan betale sig at vælge den mindste af dimensionerne, er, at

$$\Delta D = p [\Delta K_r + \Delta K_{is}] + 24 \cdot 10^{-3} a g K_v \Delta k + 24 \cdot 2,723 \cdot 10^{-6} b u Q \frac{E'}{\eta} \Delta J \geq 0$$

hvor

$$\Delta D = D' - D, \Delta K_r = K'_r - K_r, \Delta K_{is} = K'_{is} - K_{is},$$

$$\Delta k = k' - k \quad \Delta J = J' - J.$$

Nu indføres de to parametre, der er omtalt i afsnit 3:

$$A = \frac{24 a g K_v}{p 10^3} \quad \text{og} \quad B = \frac{b u E'}{p \eta}$$

og betingelsen kan derefter skrives på formen

$$\Delta K_r + \Delta K_{is} + A \Delta k + 24 \cdot 2,723 \cdot 10^{-6} B Q \Delta J \geq 0$$

Ved gennemførelsen af undersøgelsen er det bekvæmest at se på de tilfælde, hvor de to rørdimensioner er lige gunstige, altså hvor driftsudgifterne bliver de samme i begge tilfælde.

Så er

$$\Delta D = 0$$

eller

$$\Delta K_r + \Delta K_{is} + A \Delta k = -24 \cdot 2,723 \cdot 10^{-6} B Q \Delta J$$

$$- B Q \Delta J = 1,530 \cdot 10^4 (\Delta K_r + \Delta K_{is} + A \Delta k)$$

Det bemærkes, at da trykfaldet er mindst ved den største rørdimension, vil ΔJ være negativ, og begge sider af ligningen er derfor i realiteten positive.

Som specielt eksempel kan man se på bestemmelsen af den økonomiske isoleringstykkelse. Her er rørdimensionen konstant, så anlægsudgiften for

selve rørledningen varierer ikke, og trykfaldet er konstant, så elektricitetsforbruget varierer heller ikke. Det første og det sidste led ovenfor falder altså bort, og betingelsen bliver

$$\Delta K_{is} + A \Delta k = 0.$$

Ligeledes kan man se på det specielle tilfælde, hvor rørledningerne er uisolerede, og hvor varmetabet udnyttes fuldstændigt. I så fald er det de to midterste led, der falder bort, og betingelsen bliver

$$- B Q \Delta J = 1,530 \cdot 10^4 \Delta K_r.$$

I begge disse tilfælde er økonomibetingelsen simpel, idet den kun indeholder to led og kun in-

deholder een parameter, nemlig A, resp. B, således som det er omtalt i afsnit 3.

Når man skal karakterisere strømmingen i rørledningen, er det bekvemt at se på hastigheden i stedet for på vandmængden og trykfaldet.

Spørgsmålet bliver da: hvor store hastigheder kan det betale sig at anvende i den mindste af de betragtede rørdimensioner?

Den største hastighed, altså den hastighed, ved hvilken man lige så godt kan vælge den store rørdimension, betegnes grænsehastigheden.

Det er vigtigt at få dette begreb lagt helt fast.

Når man sammenligner to rørdimensioner, er det

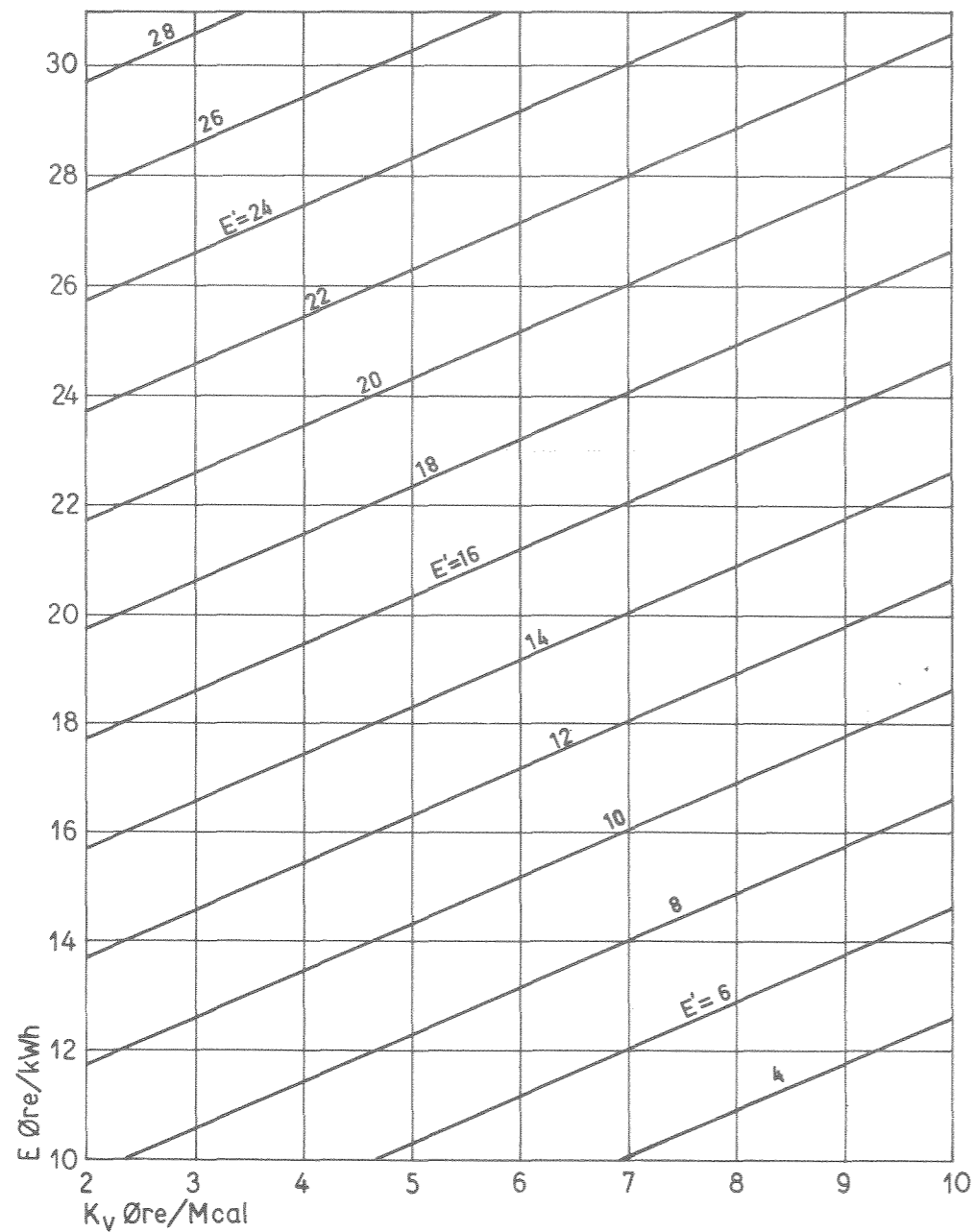


Fig. 2. Korrektion af elektricitetsprisen af hensyn til elektricitetens varmeværdi.

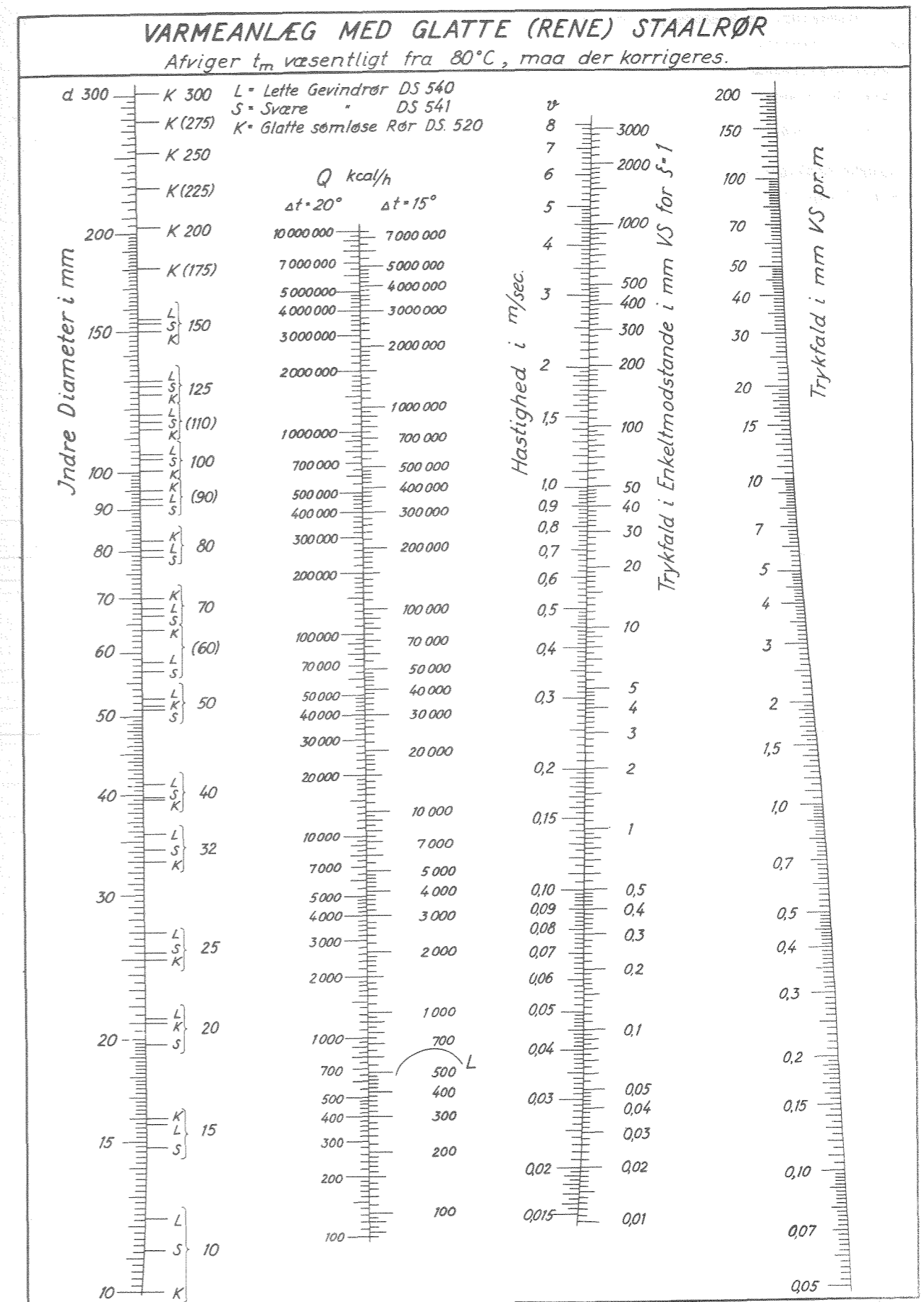


Fig. 3. Nomogram for vandstrømning i sædvanlige centralvarmeanlæg.

en forudsætning, at vandmængden er den samme i begge dimensioner.

Både hastigheden og trykfaldet vil da have forskellige værdier for de to dimensioner:

v og J resp. v' og J' .

Grænsehastigheden er hastigheden i den mindste af dimensionerne, når de to dimensioner giver samme driftsudgifter.

Det følger heraf, at man egentlig ikke bør tale om grænsehastigheden for dimensionen 25 mm, men om grænsehastigheden ved overgangen 25/32 mm.

Denne grænsehastighed har da den betydning, at hvis hastigheden i et 25 mm rør ville komme op over grænsehastigheden, vil det være gunstige-re at anvende et 32 mm rør i stedet.

Sammenhængen mellem

rørdimension,
vandmængde,
hastighed og
trykfald

kan findes af nomogrammet i fig. 3, jfr. 5.

Ved hjælp af dette nomogram kan man finde størrelsen $Q \Delta J$, når man kender de to rørdimensioner og hastigheden i den mindste af dem.

Dette gøres således:

Ud fra den mindste rørdimension, d , og hastigheden, v , kan vandmængden, Q , og trykfaldet, J , i den mindste dimension findes.

Derefter kan man ud fra den største rørdimension, d' , og den fundne vandmængde, Q , bestemme trykfaldet, J' , i den store dimension.

Herefter findes umiddelbart

$$Q \Delta J = Q (J' - J).$$

Eks. For overgangen 15/20 mm ønskes $Q \Delta J$ bestemt svarende til $v = 0,5$ m/sec.

Når hastigheden i et 15 mm rør er 0,5 m/sec, finder man af nomogrammet i fig. 3, at kalorieføringen ved 20° afkøling er

$$Q_{20} = 6800 \text{ kcal/h,}$$

og at trykfaldet er $J = 22,5$ mmVS/m.

Når et 20 mm rør fører en vandmængde svarende til

$$Q_{20} = 6800 \text{ kcal/h,}$$

bliver trykfaldet $J' = 5,0$ mmVS/m.

Da Q skal måles i m^3/h , bliver

$$Q_{20} = 20\,000 Q,$$

og

$$Q \Delta J = \frac{6 \cdot 800}{20 \cdot 000} (5,0 - 22,5) = -5,95.$$

På denne måde kan $Q \Delta J$ bestemmes for alle rørdimensioner og for alle hastigheder indenfor de grænser, der sættes af nomogrammet udstrekning.

Ved en undersøgelse af de således fundne værdier af $Q \Delta J$ kan man konstatere, at der med temmelig stor nøjagtighed gælder relationen

$$Q \Delta J = -c_d v^{2,8}$$

hvor konstanten c_d afhænger af de betragtede rørdimensioner.

Eksponenten synes at variere noget fra dimension til dimension, men ved de hastigheder, der kommer i betragtning i det følgende, synes afvigelserne at være af samme størrelsesorden som den usikkerhed, hvormed nomogrammet kan aflæses.

Dette er i sig selv et bevis for, at relationen er tilstrækkelig nøjagtig til at kunne anvendes de steder, hvor det er en væsentlig fordel at have en matematisk formel at operere med, bl.a. ved ekstrapolation, jfr. afsnit 15, og ved konstruktion af nomogrammer.

Hvis denne relation indsættes, får økonomibetingelsen i det almindelige tilfælde formen

$$B = 1,530 \cdot 10^4 \frac{1}{c_d} v^{-2,8} [\Delta K_r + \Delta K_{is} +$$

$$A \Delta k],$$

og specielt for de uisolerede ledninger

$$B = 1,530 \cdot 10^4 v^{-2,8} \frac{\Delta K_r}{c_d}$$

Bestemmelsen af den mest økonomiske rørisolering er gennemført andetsteds, og resultaterne herfra udnyttes i det følgende.

Inden selve hovedopgaven, bestemmelsen af de hastigheder, ved hvilke man bør skifte dimension, kan løses, må de størrelser, der indgår i økonomibetingelsen, fastlægges nærmere, dels de størrelser, der optræder direkte, og dels de størrelser, der er bestemmende for parameterværdierne.

Der er omtalt i afsnit 3, at når man anvender den økonomiske rørisolering, viser det sig, at parameteren A ikke får nævneværdig indflydelse på rørdimensionen.

Dette er et vigtigt forhold, idet det, som nævnt ovenfor, i virkeligheden er en nødvendig betingelse for, at undersøgelsen kan gennemføres på så simpel måde, at resultaterne bliver nogenlunde overskuelige, og det kan derfor være rimeligt at sige lidt mere om dette.

Ved en umiddelbar betragtning kunne det være

nærliggende at slutte således:

Når man anvender den økonomiske rørisolering, vil

$$\Delta K_{is} + A \Delta k \approx 0,$$

for ellers er det ikke den rigtige isolering, der er valgt, og da man er i omegnen af et minimum, vil værdien af differencen ovenfor sikkert ikke være ret stor, således at disse to led nogenlunde ophæver hinanden også i den større økonomibetingelse. Derfor får A ikke indflydelse på dimensionen.

Denne slutning ville ikke være rigtig.

Ved bedømmelsen af den økonomiske isolering holder man rørdimensionen fast og sammenligner forskellige isoleringstykkelser.

Hvis den økonomiske isoleringstykkelse f.eks. er

40 mm for 32 mm rør og
30 mm for 25 mm rør,

så ved man, at for $d = 32$ mm er

$$K_{is} + A k$$

mindre for $e = 40$ mm end for $e = 50$ mm eller for $e = 30$ mm, og man kan måske tillade sig at slutte, at disse tre værdier af

$$K_{is} + A k$$

ikke afviger ret meget fra hinanden, da man er i omegnen af et minimum.

Ligeledes ved man, at for $d = 25$ mm er

$$K_{is} + A k$$

mindre for $e = 30$ mm end for $e = 25$ mm eller for $e = 40$ mm, og også her kan man måske slutte, at de tre værdier ikke er meget forskellige.

Når man skal bestemme den økonomiske rørdimension, sammenligner man imidlertid følgende to tilfælde:

$d = 32, e = 40$ og $d = 25, e = 30$,

altså et tilfælde fra hver af de to grupper, og der var ikke nogen mulighed for a priori at slutte, at de to grupper gav omtrent samme værdi for

$$K_{is} + A k.$$

Den kendsgerning, at parameteren A ikke får væsentlig indflydelse på den økonomiske rørdimension, er derfor ikke en simpel følge af, at der er regnet med økonomisk isolering, men er et resultat, som ikke kunne vides på forhånd, men som følger af de regninger, der gennemføres nedenfor.

Når man i stedet anvender fixerede isoleringstykkelser, der ikke svarer til den rigtige værdi af parameteren A , kan værdien af A få temmelig stor indflydelse på grænsehastighederne og dermed på den økonomiske rørdimension.

Dette er heldigvis ikke i særlig høj grad tilfældet, når man anvender de "normerede" isoleringstykkelser for sædvanlige centralvarmeanlæg.

6. VALG AF GRUNDMATERIALE

De størrelser, der skal fastlægges, inden hovedundersøgelsen kan foregå, falder i to grupper, eftersom de indgår direkte i ligningerne eller er indeholdt i parametrene.

Den første gruppe omfatter:

1. Anlægsudgiften pr. m for rørledningerne i de forskellige dimensioner.
2. Anlægsudgiften pr. m for rørisoleringen.
3. Transmissionstallet i de forskellige tilfælde.

Disse størrelser indgår ikke i parametrene, men forekommer direkte i økonomibetingelserne.

De to første kan variere en hel del med tiden på grund af prissvingninger, jfr. afsnit 14, men bortset herfra varierer de normalt ikke væsentligt fra anlæg til anlæg.

Denne gruppe skal behandles i denne paragraf.

Den anden gruppe omfatter de størrelser, der indgår i parametrene, og som normalt kan variere fra anlæg til anlæg.

Disse størrelser behandles i de følgende paragraffer.

1. Anlægsudgifterne for rørledningerne er beregnet af byggeriets beregningsinstitut ud fra prisniveau oktober 1952, og der er gennemført to sæt beregninger:

A. Hovedledninger (primær- og sekundærledninger). Beregningerne er gennemført for rørlængder på 4,0 m og omregnede til priser pr. m. I dimensionerne til og med 50 mm er der regnet med lette gevindrør (sorte rør) og i de større dimensioner med glatte sømløse rør (kedelrør). Der er ikke regnet med bæringer eller afgreninger, men på hver længde af 4,0 m er der regnet med 1 gennemføring med rørbøsning gennem en 1 stens mur og med 1 samling, der til og med 50 mm rør er udført med langgevind, derover ved svejsning.

B. Strengledninger. Beregningerne er gennemført for rørlængder på 2,8 m og omregnede til priser pr. m. Der er regnet med lette gevindrør (sorte rør), ingen bæringer, 1 samling pr. længde og 2 afgreninger med + GF + fittings, endvidere med 1 gennemføring gennem etageadskillelse. Denne er til og med 40 mm rør regnet udført med PAK-bøsning type I, ved 50 mm rør med 70 mm etagebøsning med udboret slutmuffe.

Når undersøgelsen gennemføres ud fra disse ret specielle forudsætninger, vil dens resultater strengt taget kun gælde for ganske enkelte, specielle anlæg.

Der kan bl.a. rettes følgende indvendinger:

1. Der er ikke medregnet noget armatur, f.eks. strengventiler. Dette ville have kompliceret undersøgelsen stærkt, idet det ville have medført, at der skulle skelnes mellem lange og korte strenge. Da armaturprisen varierer ret stærkt med dimensionen, vil hensynet til armaturet nærmest betyde en nedsættelse af den økonomiske rørdimension.
2. Der er regnet med 2 afgreninger pr. etagehøjde, hvilket kun findes ved enstrengede anlæg, - og her har mellemstikket ofte en anden dimension end strengen selv.
3. Der er regnet med lodrette strenge.

Disse indvendinger er fuldt berettigede, men det var nødvendigt at foretage væsentlige forenklinger, hvis det skulle blive muligt at gennemføre undersøgelsen.

Der er ikke gjort noget forsøg på at bestemme, hvor stor indflydelse disse forhold har på resultatet, men det forekommer sandsynligt, at de kun har en ganske forsvindende indflydelse.

Der drages kun sammenligning mellem en rørdimension og den nærmeste større eller mindre, og ved så små ændringer i dimensionen kan det næppe have stor indflydelse på prisdifferencen, om der er regnet med een eller to afgreninger.

Anlægsudgifterne, beregnet ud fra disse forudsætninger, fremgår af tabel 1.

2. Anlægsudgifterne for isoleringen er ligeledes beregnet af byggeriets beregningsinstitut for prisniveau oktober 1952.

Priserne tages her direkte fra undersøgelsen over økonomisk isoleringstykkelser, [2], idet der normalt regnes med isolering med uorganiske måtter.

Der er en lille inkonsekvens i materialet, idet der i isoleringspriserne er medregnet maling af den færdige isolering, medens der ved uisolerede rør ikke er taget hensyn til, at også disse skal males.

Malingen af rørene vil næppe have væsentlig indflydelse, da forskellen i udgift til maling er meget lille i forhold til forskellen i anlægsudgift for selve rørledningen. Derimod betyder malingsudgiften væsentlig mere ved isolerede rør, hvor overfladen er mangedoblet gennem isoleringen, og hvor udgiften til maling skal sammenlignes med den langt lavere isoleringspris.

Ligeledes er det inkonsekvent, at der ikke er beregnet et særligt sæt isoleringspriser, hvor der er taget hensyn til afgreningerne på strenge.

Dette ville have medført et meget stort regnearbejde, og det ville næppe have haft værdi, idet det kun er forskellen mellem tillæggene for afgreninger, der kom til at spille ind.

Dimension	Hovedledninger	Strenge
15		7,61
20	5,83	8,88
25	7,33	10,86
32	9,26	13,43
40	11,16	16,32
50	14,37	20,44
70	18,26	
80	22,55	
100	33,71	
125	45,20	
150	60,81	
175	85,38	
200	117,05	

Tabel 1. Anlægsudgift for rørledninger. Anlægsudgiften er beregnet ud fra prisniveauet oktober 1952 (byggeindex 277). De nærmere forudsætninger er omtalt i afsnit 6.

3. Transmissionstallene er taget direkte fra undersøgelsen over økonomisk rørisolering, [2].

7. SPILDFAKTOREN, a

Spildfaktoren er defineret som den brøkdelen af varmeafgivelsen fra den betragtede rørledning, der ikke kan udnyttes hensigtsmæssigt, men går til spilde.

Hvis ledningen ligger i opvarmede rum og er med til at opvarme dem, er $a = 0$, idet hele varmeafgivelsen udnyttes hensigtsmæssigt.

Hvis ledningen ligger i det fri, går al den afgivne varme til spilde, og her er derfor $a = 1$, - med mindre der gør sig særlige hensyn gældende, ønsker om snesmeltning el. lign..

Ligger ledningen i et kælder- eller tagrum, vil varmeafgivelsen fra ledningen bevirke, at temperaturen i dette rum hæves noget, og derved vil varmetabet fra de tilstødende opvarmede rum reduceres tilsvarende. På denne måde udnyttes noget af varmeafgivelsen hensigtsmæssigt, idet den indvindes som reduceret varmetab fra de opvarmede rum. I disse tilfælde bliver $a < 1$.

Ved villaer er man ofte interesseret i at holde kælderen en lille smule lunet. Det er svært at sætte dette ønske i regning, men det svarer til en nedsættelse af værdien på a .

Et særligt forhold gør sig gældende i kædelrum, ingeniørgange o. lign., hvor varmeafgivelsen kan være så stor, at den bliver direkte generende, først og fremmest i rummet selv, men i mange tilfælde også i de tilstødende, opvarmede rum, så den må bortskaffes.

Her er al den afgivne varme ren spildvarme, så efter definitionen er $a = 1$.

Udgiften pr. kalorie af den afgivne varme er i dette tilfælde ikke produktionsprisen, men tilige bortskaffelsesprisen, og principielt må man derfor i disse tilfælde regne med en større værdi af K_v end normalt.

Da spildfaktoren og kalorieprisen kun indgår i parameteren A og her er multipliceret, er det i reglen bekvemmere at fastholde kalorieprisen og i stedet tillægge spildfaktoren a en værdi større end 1, således at produktet får den korrekte værdi. Hvor stor en værdi, man skal tillægge spildfaktoren, vil blive belyst nedenfor ved et eksempel.

Normalt vil temperaturen, t , i ledningens omgivelser være bestemt ved følgende varmemstrømme:

1. Varmeafgivelsen gennem yderfladen til det fri, hvor temperaturen betegnes t_u . Betegnes den samlede yderflade F_u og den gennemsnitlige transmissionskoefficient k_u , bliver denne varmemstrøm

$$k_u F_u (t - t_u)$$

2. Varmetilgangen fra de opvarmede rum, hvor temperaturen er t_i . Med analoge betegnelser bliver denne varmemstrøm

$$k_i F_i (t - t_i),$$

idet alle varmemstrømme regnes med fortegn, så de er positive, når det rum, ledningen ligger i, afgiver varme.

3. Varmeudvekslingen gennem eventuelt kælder-gulv til jord, hvor temperaturen i en passende dybde regnes nogenlunde konstant til 8° . Denne varmemstrøm bliver

$$k_g F_g (t - 8).$$

Ved ledninger i kælderrum regnes en del af kældervæggen imod jord med som væg imod det fri, og resten regnes med under kældergulvet. Derved kan man skønmæssigt opnå en temmelig god tilnærmelse til de virkelige forhold, uden at udtrykkene bliver for komplicerede. Det medfører imidlertid, at den flade, der regnes som "kældergulv", kan blive større end gulvets virkelige areal.

4. Varmeafgivelsen fra den betragtede ledning, fra andre ledninger i samme rum, fra eventuelle beholdere etc..

Ved regningerne her vil der kun blive taget hensyn til rørledningerne, der nummereres, idet den betragtede rørledning har nummer 1. I det længderne for rørledningerne indenfor det pågældende rum betegnes L_1, L_2, \dots og temperaturerne i rørledningerne T_1, T_2, \dots , bliver varmemstrømmen

$$\sum_1^n k_r L_r (t - T_r)$$

Varmebalancen for det betragtede rum er nu bestemt ved ligningen:

$$k_u F_u (t - t_u) + k_i F_i (t - t_i) + k_g F_g (t - 8) + \sum_1^n k_r L_r (t - T_r) = 0$$

og heraf findes rumtemperaturen:

$$t = \frac{k_u F_u t_u + k_i F_i t_i + 8 k_g F_g + \sum_1^n k_r L_r T_r}{k_u F_u + k_i F_i + k_g F_g + \sum_1^n k_r L_r}$$

Hvis rørledning nr. 1 ikke havde været der, ville temperaturen have været

$$t' = \frac{k_u F_u t_u + k_i F_i t_i + 8 k_g F_g + \sum_2^n k_r L_r T_r}{k_u F_u + k_i F_i + k_g F_g + \sum_2^n k_r L_r}$$

Forskellen mellem t og t' bevirker for det første, at varmetabet fra de opvarmede rum reduceres med

$$k_i F_i (t - t'),$$

og desuden, at varmetabet fra alle de andre rørledninger reduceres med

$$\sum_2^n k_r L_r (t - t').$$

Da varmetabet fra ledning nr. 1 er

$$k_1 L_1 (T_1 - t),$$

bliver spildfaktoren bestemt ved

$$a = 1 - \frac{k_i F_i (t - t') + \sum_2^n k_r L_r (t - t')}{k_1 L_1 (T_1 - t)}$$

Ved indsættelse af de fundne udtryk for rumtemperaturerne t og t' og reduktion fås

$$a = 1 - \frac{k_i F_i + \sum_2^n k_r L_r}{k_u F_u + k_i F_i + k_g F_g + \sum_2^n k_r L_r}$$

eller

$$a = \frac{k_u F_u + k_g F_g}{k_u F_u + k_i F_i + k_g F_g + \sum_2^n k_r L_r}$$

Det er interessant at lægge mærke til, at spildfaktoren er ganske uafhængig af temperaturforholdene.

Hvis der ikke er andre rørledninger af betydning, reduceres udtrykket til

$$a = \frac{k_u F_u + k_g F_g}{k_u F_u + k_i F_i + k_g F_g}$$

og hvis ledningen ligger i et tagrum eller lign., så der ikke er transmission til jord, reduceres det yderligere til

$$a = \frac{k_u F_u}{k_u F_u + k_i F_i}$$

Ved behandlingen ovenfor er alle flader med transmission til samme temperaturniveau samlet i eet led.

Når man i praksis skal udregne spildfaktoren, kan dette undertiden være ubekvem, og det er ikke nødvendigt.

Nævneren i udtrykket for a indeholder produktsummen af transmissionskoefficient og areal for samtlig varmemstrømme. For rørledninger træder i stedet produktet af transmissionskoefficient og længde, men det er blot et definitionsspørgsmål.

Tælleren indeholder de samme led for alle de varmemstrømme, der er direkte tabsgivende.

Dette er en simpel og direkte måde at udregne spildfaktoren på, og bortset fra rørledningerne kan de indgående tal tages fra varmetabsberegningen, hvis denne er gennemført for de pågældende rum, - hvad den imidlertid kun sjældent er.

Man kan kort sagt vælge den af metoderne, der hurtigst og simplest vil føre tilstrækkelig nøjagtigt til resultatet.

Eks. 1. Hvis ledningen ligger i et utæt tagrum, hvor taget har $k_u = 5$, etageadskillelsen $k_i = 0,5$, og hvor der for hver meter rørledning findes 12 m^2 etageadskillelse og 18 m^2 tagflade, fås

$$k_u F_u = 5 \cdot 18 = 90$$

$$k_i F_i = 0,5 \cdot 12 = 6 \quad a = \frac{90}{96} = 0,94.$$

Eks. 2. Hvis ledningen ligger i et tæt tagrum, hvor $k_u = 2$, medens de øvrige værdier svarer til eks. 1, bliver

$$k_u F_u = 2 \cdot 18 = 36, \quad a = \frac{36}{42} = 0,86.$$

Eks. 3. Hvis ledningen ligger i et kælderrum, hvor der pr. m af rørledningen er 2 m^2 ydervæg med gennemsnitlig $k_u = 2$, 5 m^2 gulv med $k_g = 1,5$

og 4 m² etageadskillelse til opvarmet rum med k_i = 0,6, bliver

$$k_{uF_u} = 2 \cdot 2 = 4, \quad k_{iF_i} = 4 \cdot 0,6 = 2,4,$$

$$k_{gF_g} = 5 \cdot 1,5 = 7,5,$$

$$a = \frac{11,5}{13,9} = 0,83.$$

Værdierne af a vil i de fleste tilfælde ligge mellem 0,80 og 0,95, og medens der ved undersøgelsen over økonomisk rørisolering er regnet med en normal værdi på 0,80, vil der i det følgende blive regnet med en gennemsnitlig værdi på

$$a = 0,85.$$

Ved villaer vil man, som nævnt, ofte have en vis interesse i at holde kælderrum lidt lunede, selv om man ikke af denne grund vil undlade at isolere, og i disse tilfælde bør der regnes med en mindre a-værdi, f.eks.

$$a = 0,5.$$

Det bemærkes dog, at dette kun gælder for ledningerne i kælderrum, ikke for ledninger i tagrum, hvor man i reglen bør bruge den normale værdi for a, a = 0,85.

Ved kedelrum o. lign., hvor varmen er direkte generende, vil bortskaffelsen normalt ske ved ventilation.

Det afhænger ganske af de lokale forhold, hvor meget varmeafgivelsen i kedelrummet varierer med den udvendige temperatur, og da ventilationen normalt sker med yderluft, afhænger det stærkt af den udvendige temperatur, hvor mange kalorier en bestemt luftmængde kan borttransportere.

Det er derfor meget vanskeligt at give generelle regler for sammenhængen mellem det antal kalorier, der skal føres bort i løbet af et år, og den luftmængde, der må anvendes for at opnå dette.

Et enkelt eksempel fra praksis kan dog belyse forholdene og føre til en værdi for spildfaktoren, som sikkert ikke vil være meget forkert i

en hel række andre tilfælde, og som i hvert fald kan give et vist holdepunkt.

Et anlæg med fjernvarme med en maksimal kapacitet på ca. 4000 Mcal/h havde en varmecentral, der blev for varm, og hvor der i det meste af fyringssæsonen skulle bortskaffes ca. 27 Mcal/h, hvilket skete ved ventilation med ca. 6000 m³/h.

Ventilationsanlægget kunne udføres ret primitivt, men anlægsudgiften blev dog ialt ca. kr. 18.000,-.

Til forrentning og afskrivning af anlægget regnes 8% eller

$$1.440 \text{ kr./år.}$$

De egentlige driftsudgifter var elektricitetsforbruget i ventilatoren, der havde en trykhøjde på ca. 20 mmVS. Dette svarer til et elektricitetsforbrug på ca. 0,47 kW, og med en elektricitetspris på 20 øre/kWh til en årlig elektricitetsudgift på

$$\text{ca. } 512 \text{ kr./år.}$$

Det antal kalorier, der skulle fjernes, var

$$27 \cdot 24 \cdot 227 = \text{ca. } 147000 \text{ Mcal/år,}$$

og selv om driftsudgifterne kunne reduceres noget ved polomkobling i den kolde tid, hvor der ikke behøvedes så megen luft, bliver dog størrelsesordenen for bortskaffelsesudgifterne

$$\frac{190000}{147000} = \text{ca. } 1,3 \text{ øre/Mcal.}$$

Hvis produktionsprisen er

$$2,9 \text{ øre/Mcal,}$$

svarer dette til en spildfaktor med værdien

$$a = \frac{2,9 + 1,3}{2,9} = 1,45.$$

Selv om dette er et specielt eksempel, kan man dog formentlig slutte, at når den afgivne varme skal bortskaffes, får spildfaktoren ofte en værdi af størrelsesordenen

$$a = \text{ca. } 1,5.$$

8. GRADTIDSFAKTOREN, g

Bedømmelsen af gradtidsfaktorens størrelse er her gennemført på en anden måde end i undersøgelsen over økonomisk rørisolering.

Denne nye behandling af emnet frembyder væsentlige fordele fremfor den tidligere, men den fremkom ikke så tidligt, at den kunne nå at komme med i den første rapport.

Gradtidsfaktoren, g, er defineret ved integralet

$$g = \int (T - t) d\tau,$$

hvor T er temperaturen i rørledningerne, t temperaturen i deres omgivelser og τ tiden, målt i døgn. Integralet skal udstrækkes over hele den tid, hvor anlægget er i drift.

Dette integral kan skrives

$$g = (T_m - t_m) u,$$

hvor

T_m middeltemperaturen i rørledningerne over driftsperioden,

t_m middeltemperaturen i omgivelserne over driftsperioden,

u driftsperioden i døgn pr. år.

For at bestemme gradtidsfaktoren behøver man altså blot at kende disse størrelser.

I. Fyringssæsonens længde sættes normalt til

$$u_{20} = 227 \text{ døgn/år}$$

for anlæg med 20° rumtemperatur.

For anlæg med rumtemperatur 10° foreligger der - så vidt mig bekendt - ikke noget tilsvarende, almindeligt anerkendt tal, men man kan formentlig regne med

$$u_{10} = \text{ca. } 150 \text{ døgn/år.}$$

Ved specielle anlæg kan u have andre værdier, der så må fastsættes i hvert enkelt tilfælde.

Som eksempel kan nævnes, at hvis varmeafgivelsen fra en ledning med konstant temperatur året igennem udnyttes effektivt i fyringssæsonen, men går til spilde udenfor denne, bliver

$$u = 365 - 227 = 138 \text{ døgn/år.}$$

II. Omgivelsernes middeltemperatur, t_m, kan variere en hel del efter forholdene.

Hvis ledningen ligger i fri luft, bliver t_m = t_{u,m}, og denne middeltemperatur er

$$3,88^\circ \text{ i fyringssæsonen svarende til } t_i = 20^\circ,$$

$$\text{ca. } 1,5^\circ \text{ i fyringssæsonen svarende til } t_i = 10^\circ,$$

$$8,11^\circ \text{ i hele året.}$$

Hvis ledningen ligger i kælder- eller tagrum, kan man finde t_m ud fra formler, der svarer til de i afsnit 7 udledte, og man finder derved for den normale fyringssæson

$$\begin{array}{ll} \text{for luftige tagrum} & t_m = \text{ca. } 5^\circ \\ \text{for tætte tagrum} & t_m = \text{ca. } 6,5^\circ \\ \text{for kælderrum} & t_m = \text{ca. } 8,5^\circ. \end{array}$$

Hvis ledningen er i brug hele året igennem, fås tilsvarende

$$t_m = 9 - 10^\circ \text{ for alle 3 tilfælde.}$$

Hvis ledningen ligger i opvarmede rum, men er i brug hele året med konstant temperatur, vil varmetabet være unyttigt udenfor fyringssæsonen, og det er da denne tid, der skal tages hensyn til; så bliver t_m = 20° og u = 138.

III. Middeltemperaturen i rørledningerne kan umiddelbart fastslås, hvis der er tale om ledninger med konstant temperatur.

I alle andre tilfælde er den behæftet med en ret stor usikkerhed.

Hvis man ved, at et varmeanlæg er dimensioneret for 90/75; 20, d.v.s.

$$\begin{array}{ll} \text{fremløbstemperatur} & 90^\circ \\ \text{returtemperatur} & 75^\circ \\ \text{stuetemperatur} & 20^\circ \end{array}$$

svarende til en udvendig temperatur på - 15°, kan man til en vis grad beregne middeltemperaturen for fremløbs- og returledningen, og man finder

$$T_{m,f} = \text{ca. } 58^\circ \quad T_{m,r} = \text{ca. } 51^\circ.$$

Analogt findes for andre dimensioneringstemperaturer:

$$\begin{array}{ll} 80/60;20 & T_{m,f} = \text{ca. } 52^{\circ}, \quad T_{m,r} = \text{ca. } 43^{\circ} \\ 90/75;10 & T_{m,f} = \text{ca. } 50^{\circ}, \quad T_{m,r} = \text{ca. } 35^{\circ} \end{array}$$

Disse værdier er imidlertid meget usikre, og da dette måske ved første øjekast kan forekomme besynderligt, skal de vigtigste årsager kort omtales.

1. Ved beregningerne har man måttet gå ud fra, at varmebehovet varierede udelukkende med den udvendige temperatur. For denne foreligger der en varighedskurve, og det er denne, der er lagt til grund.

Herved ser man ganske bort fra vindens indflydelse, idet varighedskurven udelukkende tager hensyn til den ydre temperatur.

Vinden betyder imidlertid meget for varmebehovet og dermed for fremløbs- og returtemperaturerne.

Ved varmetabsberegningen er der regnet med -15° og nogen blæst.

Hvis det er stille vejr, kan fremløbstemperaturen derfor holdes noget lavere end det svarer til den teoretiske sammenhæng med ydertemperaturen, medens den må holdes noget højere, når det stormer. Det er ikke sikkert, at disse afvigelser opvejer hinanden.

2. Solens indflydelse er der ikke taget hensyn til ved varmetabsberegningen, og hvis den udnyttes effektivt, kan fremløbstemperaturen sænkes en hel del i solskin, især hvis der er tale om fritbeliggende huse med store vinduer og med facadeopdelte varmeanlæg.

3. Mange anlæg er overdimensionerede, så fremløbstemperaturen ikke behøver at være så høj som påregnet.

Adskillige mennesker tror, at et anlæg er særlig godt, når fremløbstemperaturen aldrig behøver at komme op over $60 - 70^{\circ}$, medens realiteten er, at anlægget har været unødigt dyrt i anlægsgift, uden at driften derved bliver hverken bedre eller billigere. Tværtimod forøges måske tæringsfaren i kedlerne på grund af de lave temperaturer.

4. Balancen i anlægget lader ofte meget tilbage at ønske, og som det er omtalt i afsnit 2,

vil en dårlig balance i anlægget nødvendiggøre anvendelsen af en højere fremløbstemperatur.

5. Anvendelse af varmemålere bevirker ofte, at folk lukker for radiatorerne, når de går, og lukker op igen, når de kommer hjem. Så forlanger de, at der hurtigt skal blive varmt, og dette nødvendiggør, at fremløbstemperaturen må holdes højt på denne tid af døgnet.

Hvis man i mellemtiden kunne have sat den ned, ville middeltemperaturen måske nok være blevet den samme, men det kan man ikke tillade sig af hensyn til de mennesker, der er hjemme hele dagen.

Alt i alt bliver derfor den gennemsnitlige fremløbstemperatur hævet ved varmemålerne.

Det er let at se, at når alle disse forhold spiller ind, vil graddtidsfaktoren kunne variere meget fra anlæg til anlæg, selv hvor der er dimensioneret for samme temperaturforhold.

For de sædvanlige varmeanlæg vil man formentlig i reglen kunne regne med en graddtidsfaktor, både for fremløbs- og returledninger, på omkring

$$227 (52 - 7) = \text{ca. } 10.000.$$

Hvor der er tale om hovedledninger med høj temperatur hele året, kan den blive meget højere, f.eks.

$$365 (90 - 7) = \text{ca. } 30.000.$$

Takket være omskrivningen til middeltemperaturer er det altid ret let at bedømme graddtidsfaktorens omtrentlige størrelse.

For varmtvandsledninger er normalt fremløbstemperaturen ca. $50 - 55^{\circ}$, og returtemperaturen ca. $45 - 50^{\circ}$, og da disse ledninger normalt bruges hele året, kan man i gennemsnit regne med en graddtidsfaktor på ca.

$$g = 365 (48 - 10) = \text{ca. } 14000,$$

altså noget større end ved centralvarmeanlæg.

Man vil ofte i praksis foretrække at anvende samme isoleringstykkelse for centralvarmeledninger som for varmtvandsledninger, selv om det ikke er helt konsekvent, og i sådanne tilfælde vil det formentlig være bedst at isolere efter centralvarmeledninger, d.v.s. at regne med en fælles graddtidsfaktor på

$$g = 10000.$$

9. PARAMETEREN A. ØKONOMISK RØRISOLERING

Parameteren A er defineret ved udtrykket

$$A = \frac{24 a g K_v}{10^3 p}$$

Spildfaktoren, a, og graddtidsfaktoren, g, er behandlet ovenfor.

Kalorieprisen, K_v , kan variere meget stærkt fra anlæg til anlæg og fra år til år.

Svingningen fra anlæg til anlæg beror dels på anvendelsen af forskellige brændselskvaliteter, dels på variationer i nyttevirkningen, der i denne forbindelse skal måles over en hel fyringssæson.

Svingningerne fra år til år skyldes de meget varierende brændselspriser, og i nogen grad kan man tage hensyn til dette spørgsmål ved udregningen af parameterværdien, men iøvrigt henvises til afsnit 14, hvor spørgsmålet om prissvingningernes indflydelse behandles nærmere.

Hvis man ud fra prisniveauet fra oktober 1952 regner med en kulpris på 130 kr./t for en effektiv brændværdi på 6.500 kcal/kg, og hvis man regner med en nyttevirkning på 0,7, bliver kalorieprisen

$$K_v = 2,9 \text{ øre/Mcal.}$$

Denne værdi lægges til grund de fleste steder i det følgende, men det er let at overse, hvad en ændring i kalorieprisen medfører, for den indgår kun to steder:

For det første indgår den i parameteren A, som det fremgår af formlen ovenfor og af fig. 5, og for det andet indgår den i korrektionen til elektricitetsprisen, jfr. afsnit 5, fig. 2.

Procentsatsen, p, til afskrivning og forrentning af anlægssummen må fastsættes på grundlag af rentefod og afskrivningstid.

Hvis man regner med en rentefod på 6 % p.a. og en afskrivningstid på 25 år, bliver

$$p = 7,8.$$

Den rentefod, der skal regnes med, må være rentefoden for de "yderste", dyreste penge, idet der er tale om foregelse eller formindskelse af

anlægssummen med relativt beskedne beløb.

Med de øjeblikkelige renteforhold vil det for en del byggeri være rigtigere at regne med en rentefod på ca. 8 % p.a., og med en afskrivningstid på 25 år svarer dette til

$$p = 9,4.$$

Ved en del industri anlæg o. lign. kan det være nødvendigt at regne med en væsentlig kortere afskrivningstid, f.eks. 10 år, og med en rentefod på 8 % p.a. svarer dette til

$$p = 14,9.$$

Ved anvendelsen af resultaterne fra undersøgelser af denne art er der en vis tilbøjelighed til at fastsætte p udfra en normal rentefod, for så på ret vilkårlig måde at ændre slutresultatet, så anlægsgiften ikke bliver helt så stor.

Hvis man har et vist disponibelt beløb, der skal fordeles mellem

bygningsisolering,
rørisolering og
rørdimensionering,

risikerer man ved en sådan, irrationel fremgangsmåde, at dette beløb anvendes et sted, hvor det kun forrentes med 8 % p.a., medens det et af de andre steder ville forrentes med f.eks. 12 % p.a..

Det forhold, at man er bange for, at anlægsgiften skal blive for stor, skyldes i virkeligheden, at den normale rentefod af en eller anden grund ikke giver et korrekt billede af, hvor vanskeligt det er at skaffe kapital.

Den naturlige udvej er at regne med en rentefod, der er så meget større, at den svarer til de reelle kapitalvanskeligheder. Så undgår man ganske den slags "korrektioner" til resultatet.

Hvis man i alle de tre ovennævnte tilfælde anvender samme procentsats, p, vil man være sikker på, at alle tre hensyn bliver afvejet efter hinanden, således at det disponible beløb bliver anvendt på bedste måde.

Hvis det er absolut nødvendigt at reducere anlægssummen, kan det gøres ved, at man forøger

værdien af p som udtryk for, at kapitalen er meget dyr.

Der er ikke noget i vejen for, at man i sådanne specielle tilfælde kan regne med endog meget store p -værdier.

Dersom der er andre områder end de tre her nævnte, hvor man kan opstille en økonomibetingelse og gøre rede for, hvor stor driftsbesparelse

man opnår ved en forøgelse af anlægsudgifterne, kan alle sådanne områder inddrages på linie med de her omtalte, og man bør da i almindelighed regne med samme procentsats, p , ved dem alle.

Det kan imidlertid ske, at man i stedet skal regne med samme rentefod for alle områderne, men med forskellige afskrivningsperioder og derigennem med forskellige værdier af p .

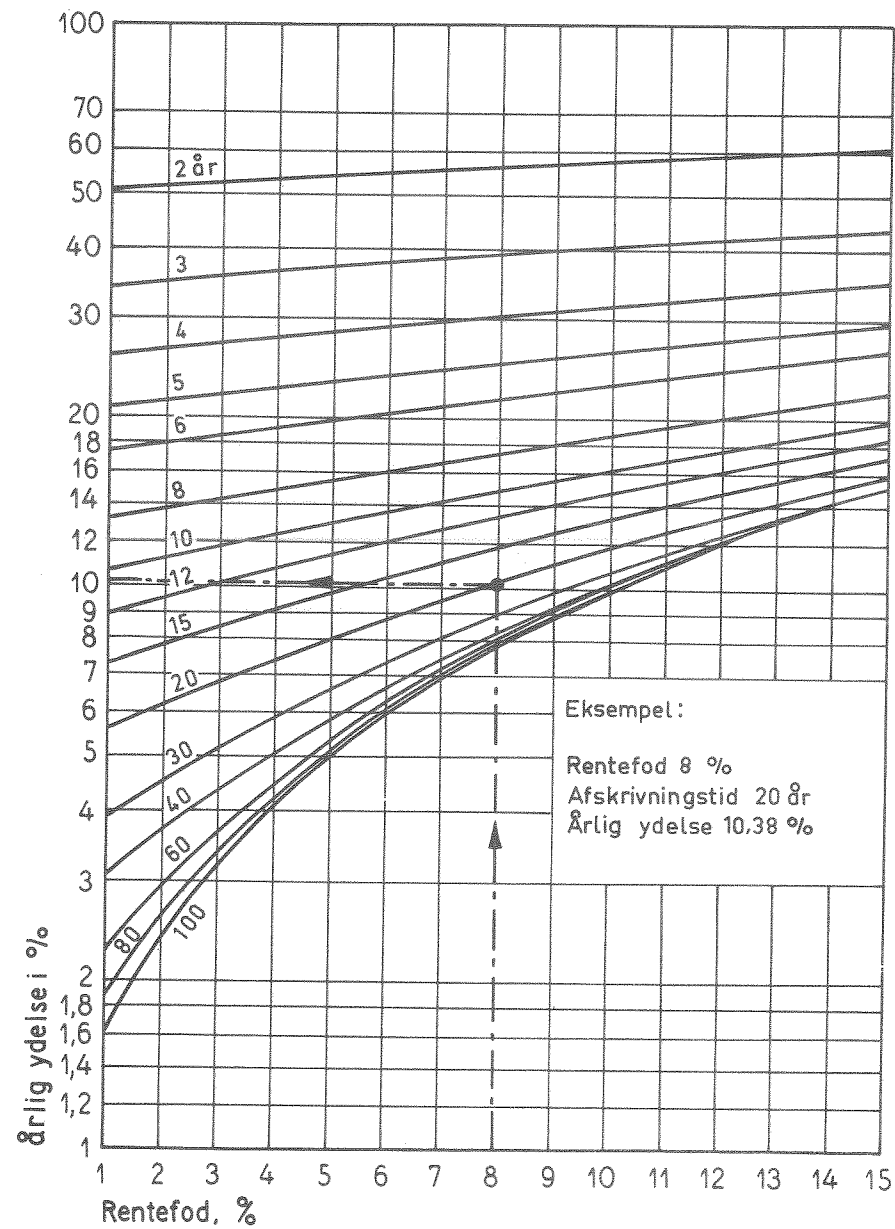


Fig. 4. Procentsatsens afhængighed af rentefod og afskrivningstid.

For de sædvanlige centralvarmeanlæg regnes med, at

$$a = 0,85 \quad \text{og} \quad g = 10.000,$$

og hvis man for p regner med en af værdierne

$$p_1 = 7,8 \quad \text{eller} \quad p_2 = 9,4,$$

får parameteren A følgende værdier:

$$A_1 = \frac{24 \cdot 0,85 \cdot 10000 \cdot 2,9}{1000 \cdot 7,8} = 75,8 \sim 76.$$

resp.

$$A_2 = \frac{24 \cdot 0,85 \cdot 10000 \cdot 2,9}{1000 \cdot 9,4} = 62,9 \sim 63.$$

For andre anlæg bestemmer man let de tilsvarende parameter værdier.

Sammenhængen mellem kalorieprisen, K_v , og parameteren, A , er fremstillet grafisk på fig. 5, idet der er regnet med forskellige værdier af spildfaktoren:

$$a = 0,85 \quad \text{resp.} \quad a = 0,5,$$

og forskellige værdier af procentsatses:

$$p = 8, \quad p = 10 \quad \text{og} \quad p = 15.$$

Gradtidsfaktoren, g , er sat til 10.000.

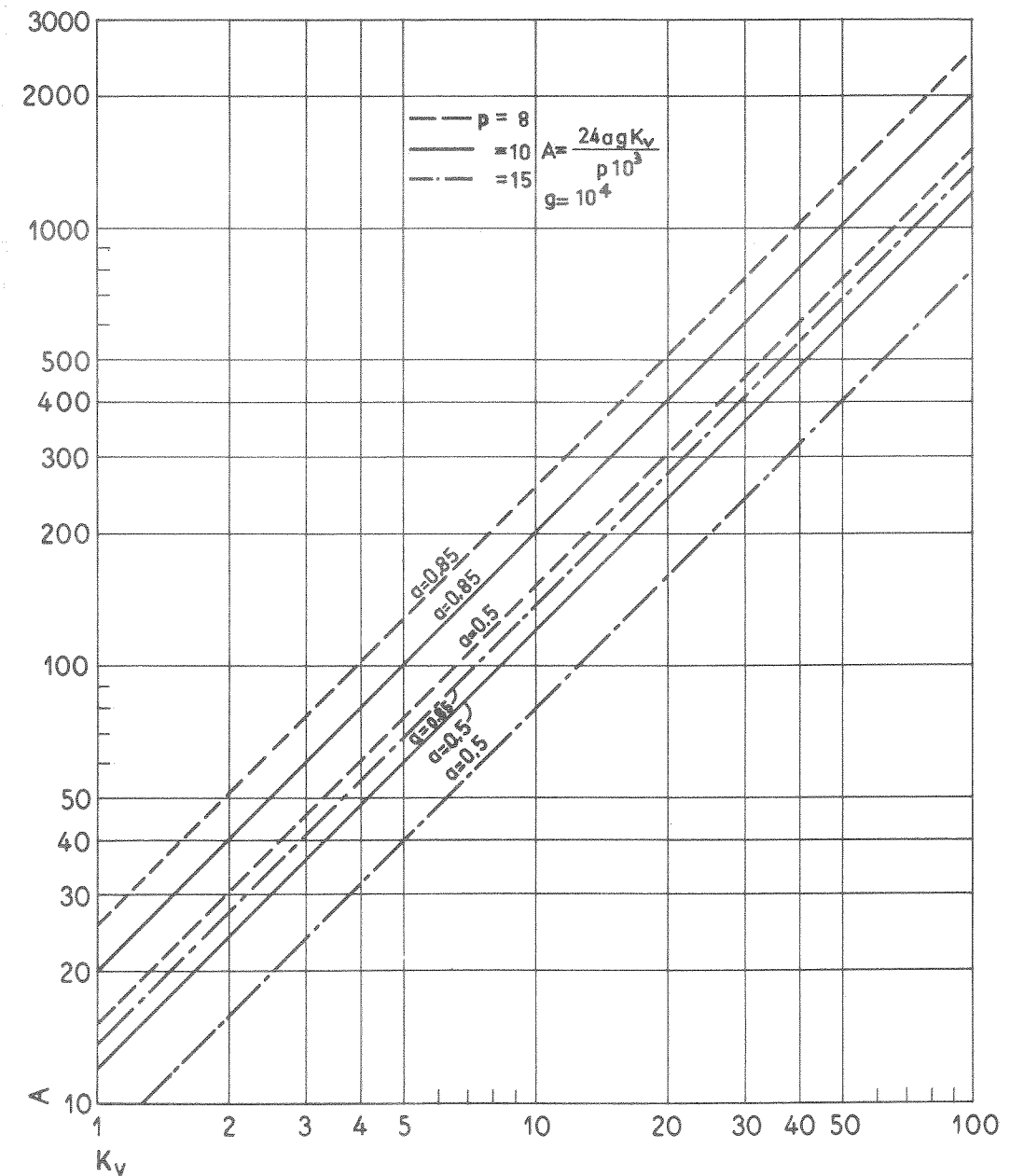


Fig. 5. Kalorieprisens indflydelse på parameteren A .

Som omtalt i afsnit 3 og afsnit 5 er det parameteren A, der bestemmer den økonomiske isoleringstykkelser.

På fig. 6 er angivet den økonomiske rørisolering for de forskellige rørdimensioner som funktion af parameteren A, idet der er regnet med isolering med mineraluldsmåtter.

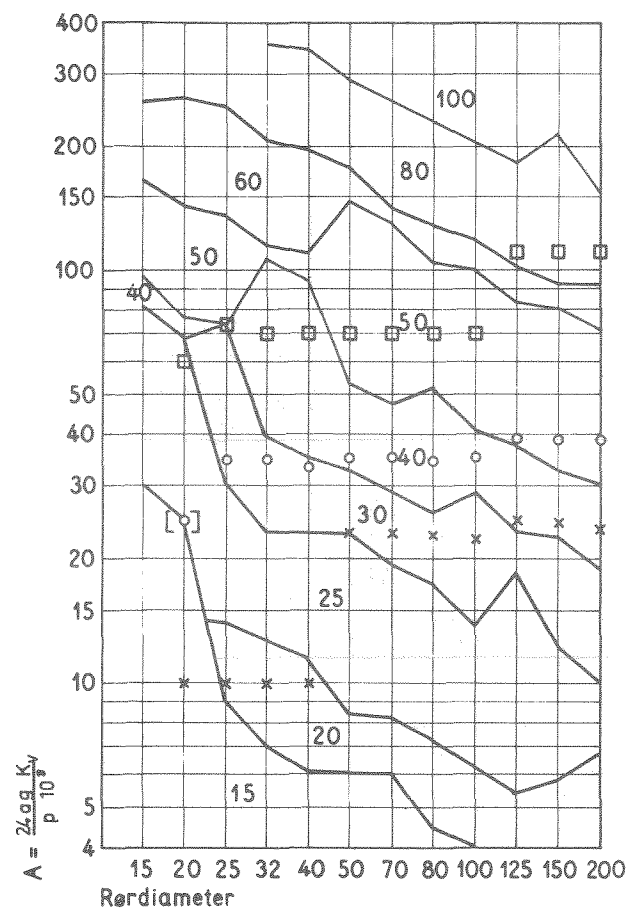


Fig. 6. Økonomiske isoleringstykkelser for isolering med måtter.

Rørdiameteren er anvendt som abskisse, og som ordinat er anvendt parameteren

$$A = \frac{24 \cdot g \cdot K_v}{p \cdot 10^3}$$

De normerede isoleringstykkelser (jfr. (2)) er indtegnede med følgende signaturer:

- X Tykkelser svarende til $g = 4000$
- O - - - $g = 7000$
- - - - $g = 15.000-35.000$

Denne figur svarer nøje til fig. 5 i rapporten om økonomisk rørisolering 2, idet man dog i den nævnte rapport ikke har ønsket at indføre parameteren A, men har foretrukket at gå ind i kurvebladet direkte med procentsatsen, p, og graddtidsfaktoren, g.

Denne fremgangsmåde medfører den direkte fordel, at man ikke behøver at regne parameterens værdi ud og altså undgår dette (beskedne) arbejde.

Til gengæld synes det at medføre en del skavanker:

1. Det er ikke helt let at gå ind i kurvebladet med procentsats og graddtidsfaktor. Man skal trække en skrå linie til skæring med kurvebladets lodrette midterlinie, og gennem skæringspunktet skal lægges en vandret linie, der bestemmer tykkelserne. Denne linie får man umiddelbart, når man går ind med parameteren.
2. Fremgangsmåden tilslører, at "isoleringsniveauet" ikke alene afhænger af graddtidsfaktor og procentsats, men også af spildfaktor og kaloriepris. Navnlig denne sidste har meget stor indflydelse, således som det fremgår af fig. 5. Når disse størrelser ikke direkte skal bruges, fristes man til at glemme deres indflydelse.
3. Hvis man vil inddrage f.eks. kalorieprisen, må dette ske gennem en ret kunstig "korrektions" af f.eks. graddtidsfaktoren, og denne korrektion svarer i realiteten meget nær til udregningen af parameterens værdi. Hvis der er nogen forskel, må det nærmest blive, at risikoen for "fejlkorrektion" er større end risikoen for fejlretning i parameterbestemmelsen.

4. Man får ikke noget direkte mål for "isoleringsniveauet".

Dette medfører bl.a., at når man skal angive de "normerede" isoleringstykkelser for de forskellige rørdimensioner, så bliver de, jfr. 2, karakteriserede ved en graddtidsfaktor, uanset at denne alene absolut ikke er afgørende for den økonomiske isoleringstykkelser.

Man får heller ikke noget indtryk af, hvornår to anlæg skal have samme isolering, uanset at både graddtidsfaktor og procentsats har forskellige værdier.

Det er synspunkter af denne art, som har medført, at der i den foreliggende undersøgelse er indført såvel parameteren A som parameteren B.

Det giver et ekstra arbejde at regne parameterens værdier ud, men dette arbejde er yderst beskedent, og til gengæld får man et klart overblik over forholdene og er sikker på at have fået alle de faktorer med, der virkelig har indflydelse på forholdene.

Det vil umiddelbart være muligt at ændre også de andre kurveblade i rapporten over økonomisk rørisolering, således at de kommer til at svare til parameteren A.

I rapporten over økonomisk rørisolering, 2, er der fremsat et forslag til normering af bestemte isoleringstykkelser for de vigtigste i praksis forekommende anlæg.

Disse anlæg er opdelt i tre grupper:

1. Vandvarmeanlæg for rum under 12°C , samt interimistiske anlæg.
Graddtidsfaktor $g = \text{ca. } 4000$.
2. Vandvarmeanlæg for rum over 12°C , varmtvandsforsyningsanlæg, kondensledninger, graddtidsfaktor $g = \text{ca. } 7000$.
3. Ledninger for vand og damp, der stadig holdes mellem 75°C og 120°C , graddtidsfaktor $g = \text{ca. } 15 - 25000$.

Da der i rapporten er regnet med

$$a = 0,80, \quad p = 7,8 \quad \text{og} \quad K_v = 2,9,$$

bliver de tilsvarende parameterens værdier:

$$A_1 = 28,5 \quad A_2 = 50 \quad \text{og} \quad A_3 = 107 - 178.$$

Normforslaget angiver følgende tykkelser:

Gruppe	nominel rørdiameter i mm			
	10 - 20	25 - 40	50 - 100	større rør og beholdere
1	15	20	30	40
2	20	30	40	50
3	25	40	50	80

Disse isoleringstykkelser er angivet på fig. 6, idet de for gruppe 1 er betegnet ved kryds, for gruppe 2 ved cirkler og for gruppe 3 ved firkanter.

Det fremgår af figuren, dels at de tykkelser, der er normeret for en og samme gruppe, ikke helt svarer til samme parameterens værdi og altså heller

ikke til samme "isoleringsniveau", dels at tykkelserne gennemgående svarer til lavere parameterens værdier end de ovenfor angivne.

Dette skyldes hovedsagelig følgende synspunkter:

1. Ved normeringen tilstræber man ikke at fastsætte de økonomisk gunstigste isoleringstykkelser, men at fastsætte rimelige minimumstykkelser, som man i statslånsregler og i evt. lovgivning kan forlange overholdt.

Det står den enkelte bygherre frit for, - og det må i høj grad anbefales, - at anvende de reelt gunstigste isoleringstykkelser, hvor disse afviger væsentligt fra normerne.

2. Det er upraktisk at have alt for mange forskellige måttetykkelser på en byggeplads, og dette er der taget hensyn til ved valget af normtykkelserne, selv om det har medført, at de fik en vis spredning over parameterens værdierne.

3. Normerne bliver lettere at overse og at administrere, når springene i isoleringstykkelserne sker ved samme rørdimensioner i alle grupperne.

4. Ved de små dimensioner er det vanskeligt at få en isolering i flere lag til at ligge fast og pænt, og ved disse dimensioner må man derfor i reglen hellere nøjes med en mindre tykkelse, som kan pålægges i et enkelt lag.

Det første synspunkt kan gøre det rimeligt at isolere svarende til f.eks. 70 % af den påregnede parameterens værdi, altså

$$A_1 = 20, \quad A_2 = 35 \quad \text{og} \quad A_3 = 70,$$

og man ser af fig. 6, at normtykkelserne for grupperne 2 og 3 ligger ret nær disse værdier. Den væsentligste afvigelse skyldes, at "større rør og beholdere" meget ofte mest er beholdere, og at man derfor her har normeret en relativ stor tykkelse.

For gruppe 2 har man ved 20 mm rør normeret 20 mm isolering, der aldrig er økonomisk gunstigst, når der er tale om måtteisolering, hvad der hyppigst er.

Det ville efter fig. 6 at domme have været bedre at anvende 25 mm isolering, men der er svært at isolere et 20 mm rør med 25 mm isolering i eet lag, og det er endnu vanskeligere ved et 15 mm rør (10 mm rør isoleres kun sjældent).

Derfor er det i praksis rimeligt at vælge de 20 mm.

De normerede tykkelser i gruppe 1 viser meget stor spredning over parameterverdierne, og det fremgår af fig. 6, at det ville være rimeligere at anvende 25 mm isolering i stedet for 20 mm ved rørdimensionerne 25 - 40 mm.

Herved ville normforslaget komme til at se således ud:

Gruppe	nominel rørdiameter i mm			
	10 - 20	25 - 40	50 - 100	større rør og beholdere
1	15	25	30	40
2	20	30	40	50
3	25	40	50	80

Det ses, at forslaget kun omfatter ret få tilfælde, hvor isoleringen ikke kan pålægges i eet lag, nemlig i gruppe 3:

25 mm rør med 40 mm isolering og formentlig

(10 og) 15 mm rør med 25 mm isolering.

Ved anlæg, hvor den samlede rørlængde i dimensionerne 10 og 15 mm er lille (i hvert fald den rørlængde, som skal isoleres), spiller varmetabet fra disse rør ingen væsentlig rolle, og man vil da ofte nøjes med 1 lag isolering på disse rør.

I tabel 2 er der angivet dels de normerede isoleringstykkelser, dels de økonomiske gunstig-

Nominel rørdiameter	Gruppe 1			Gruppe 2			Gruppe 3			
	norm	A = 20	A = 28,5	norm	A = 35	A = 50	norm	A = 70	A = 107	A = 178
15	15	15	15	20	25	25	25	25	50	60
20	15	15	25	20	25	25	25	40	50	60
25	20(25)	25	25	30	30	30	40	30	50	60
32	20(25)	25	30	30	30	40	40	40	50	60
40	20(25)	25	30	30	30	40	40	40	50	60
50	30	25	30	40	40	40	50	50	50	80
70	30	30	30	40	40	50	50	50	50	80
80	30	30	40	40	40	40	50	50	60	80
100	30	30	40	40	40	50	50	50	60	80
125	40	30	40	50	40	50	80	50	80	80
150	40	30	40	50	50	50	80	50	80	80
200	40	40	40	50	50	50	80	50	80	100

Tabel 2. Sammenligning mellem normforslaget og de økonomisk gunstigste isoleringstykkelser, jfr. fig. 6. I parentes er anført de foreslåede ændringer til normforslaget.

De tre grupper svarer til grædtsfaktorerne 4000, 7000 og 15 - 25000, og hertil svarer parameterverdierne 28,5, 50 og 107 - 178, idet der er regnet med spildfaktor $a = 0,8$, procentsatsen

ste tykkelser for de tilsvarende og de reducerede parameterverdier.

Det blev fremhævet ovenfor, at normforslaget var et sæt minimumstykkelser, og det er derfor naturligt at se lidt på, hvilke tykkelser man reelt bør anvende, når man ønsker en rationel isolering.

Det generelle svar herpå er selvfølgelig, at man bør bestemme parameterværdien, A, for anlæget og så anvende den hertil svarende isolering, måske modificeret, så der ikke optræder alt for mange forskellige måttetykkelser.

Da parameterværdien, A, kan variere meget stærkt fra anlæg til anlæg, bl.a. med grædtsfaktoren og kalorieprisen, er dette det eneste helt tilfredsstillende svar, der kan gives.

Hvis man ser på en boligkarre, kan man formentlig svarende til de nugældende brændselspriser m.m. sætte:

$$g = 10.000, \quad a = 0,85, \quad K_v = 5, \quad p = 10$$

og man finder da

$$A = \frac{24 \cdot 0,85 \cdot 10.000 \cdot 5}{10 \cdot 10^3} = 102.$$

Denne parameterværdi svarer til væsentlig større isoleringstykkelser end de normerede i gruppe 2, ja endda end i gruppe 3.

Det vil altså i hvert fald være rationelt at isolere sådanne centralvarmeanlæg efter gruppe 3 i stedet for efter gruppe 2.

$p = 7,8$ og kalorieprisen $K_v = 2,9$.

Normforslaget, der angiver minimumstykkelser, svarer ret nær til parameterverdier, der er reduceret 30 %, altså til parameterverdierne 20, 35 og 70.

Reelt vil det for sædvanlige centralvarmeanlæg være økonomisk rigtigere at isolere svarende til gruppe 3 end til gruppe 2.

10. PARAMETEREN B

Parameteren B, jfr. afsnit 5, er defineret ved udtrykket

$$B = \frac{b u E'}{p \eta}$$

Vægtfaktoren, b, er omtalt i afsnit 4.

Driftstiden, u, er omtalt i afsnit 8. For anlæg med rumtemperatur 20° regnes $u = 227$, mens den for anlæg med rumtemperatur 10° regnes til $u = 150$.

Procentsatsen, p, er omtalt i afsnit 9. Der regnes i det følgende dels med $p = 7,8$, svarende til undersøgelsen af økonomisk rørisolering, dels med $p = 11$, der vel må siges at være det normale og dels med $p = 15$, der svarer såvel til de i afsnit 9 omtalte industrieanlæg med hurtig afskrivning, dels til de normerede isoleringstykkelser, jfr. ligeledes afsnit 9.

Virkningsgraden, η , for pumpen kan normalt sættes til ca. 0,7.

Elektricitetsprisen, E, og dermed også den korrigerede elektricitetspris, E', kan variere en del fra anlæg til anlæg, dels efter hvilket værk elektriciteten leveres fra, dels efter hvilken tarif der anvendes. Det vil i almindelighed være nødvendigt på forhånd at skaffe sig oplysning om, hvad elektricitetsprisen bliver for det anlæg, der skal dimensioneres.

Af disse størrelser er det kun vægtfaktoren, b, der kan variere fra rørstrækning til rørstrækning. Alle de andre har samme værdi indenfor anlægget som helhed.

Det er derfor hensigtsmæssigt at indføre "grundparameteren" B_0 , bestemt ved

$$B_0 = \frac{u E'}{p \eta}$$

således at B_0 har een og samme værdi overalt i et anlæg, og således at man heraf kan finde parameteren, B, for de enkelte ledningsstrækninger ved

$$B = b B_0.$$

For primærledninger er $b = 1$ og altså $B = B_0$.

I denne paragraf er det værdien af B_0 , der skal diskuteres nærmere.

Det fremgår af fig. 7, hvorledes grundparameteren, B_0 , varierer med den korrigerede elektricitetspris, E', idet der på figuren er indtegnet kurver for følgende driftstider:

$u = 150$, svarende til anlæg med $t_i = 10^\circ$,

$u = 227$, - - - - $t_i = 20^\circ$,

$u = 360$, - - - - helårsdrift,

og for følgende procentsatser:

$p = 8$, $p = 10$ og $p = 15$.

Hovedtilfældet må siges at være det, hvor der er tale om sædvanlige centralvarmeanlæg med $u = 227$, elektricitetspriser omkring 20 øre/kWh, og hvor man benytter den store værdi, $p = 11$, for at holde anlægsudgiften lidt nede. Her er

$$B_0 = 590 \sim 600.$$

Denne værdi af B anses derfor for at være "normalværdien", når $b = 1$.

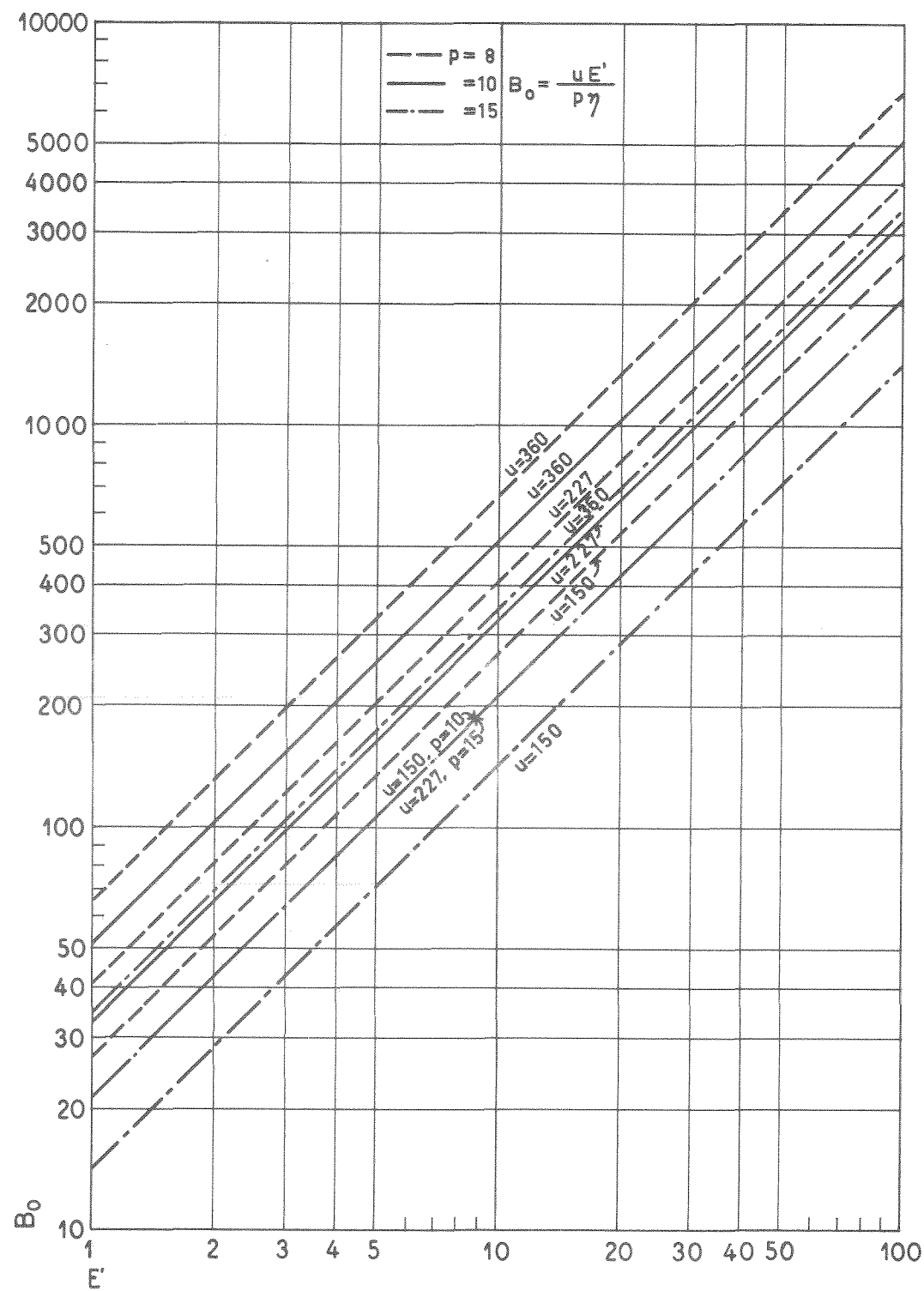


Fig. 7. Sammenhængen mellem parameteren B_0 og den korrigerede elektricitetspris, E' , (jfr. afsnit 5), optegnet for følgende driftstider

- $u = 150$, svarende til anlæg med $t_1 = 10^\circ$.
- $u = 227$, - - - - - $t_1 = 20^\circ$.
- $u = 360$, - - - - - helårsdrift.

For procentsatsen, p , er anvendt værdierne $p = 8, 10$ og 15 . Pumpens virkningsgrad er sat til $0,7$.

II. UISOLEREDE LEDNINGER

Som det fremgår af overvejelserne i afsnit 3 er de uisolerede ledninger simplest at behandle, idet økonomibetingelsen for disse ledninger kun indeholder parameteren B .

Økonomibetingelsen kan skrives:

$$\frac{b u E}{p \eta} = B = + 1,530 \cdot 10^4 \cdot \frac{\Delta K_r}{Q \Delta J}$$

Resultatet er afbildet grafisk på fig. 8, hvor den nominelle rørdiameter er afsat som absicse, parameterens værdi som ordinat, og hvor der er indtegnet kurver for $v = \text{konst.}$

Som tidligere omtalt er den hastighed, der afløses af fig. 8, den største, som det kan betale sig at anvende i den pågældende rørdimension.

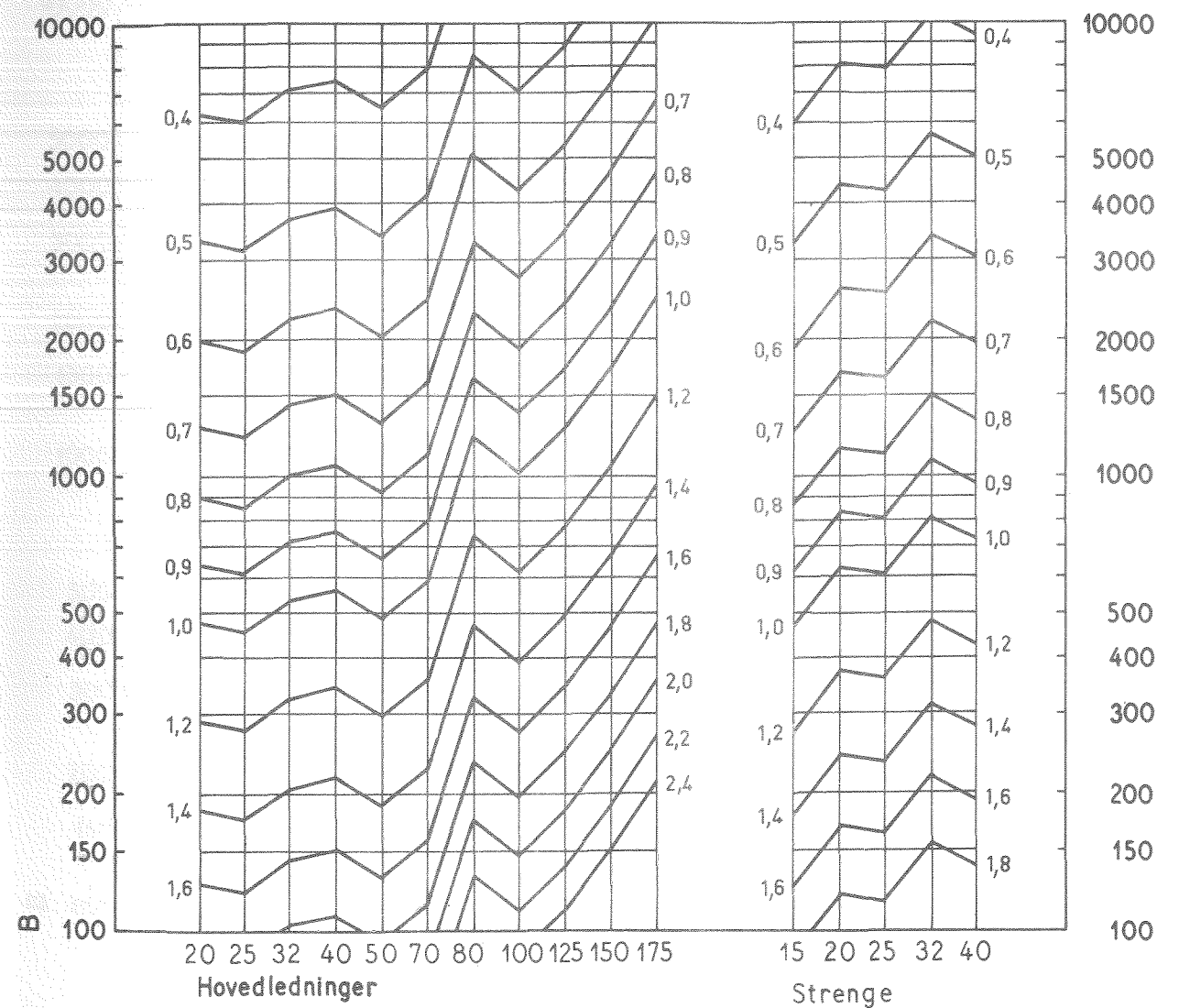


Fig. 8. Grænsehastighedens værdi for uisolerede ledninger. Rørdimensionen er afsat som absicse, som ordinat er anvendt parameteren:

$$B = \frac{b u E}{p \cdot \eta}$$

Når hastigheden overstiger den på figuren afløste værdi, bør der anvendes en større dimension.

Hvis parameteren, B, har "normalværdien", B = 600, ser man, at den økonomiske maksimalhastighed for de små dimensioner ligger mellem 0,9 og 1,0 m/sec, medens den for de større dimensioner stiger til lidt over 1,6 m/sec.

Ved strengledninger ligger den mellem 0,9 og 1,1 m/sec.

Alt i alt er dette noget større hastigheder, end der gennemgående er blevet anvendt hidtil, u-

den at der dog skulle være væsentlig risiko for støj ved disse hastigheder, hvis rørarbejdet er udført ordentligt.

Det må dog bemærkes, at ved strengene i to-strengede anlæg er ganske vist i reglen $b > 1$, så man kommer til mindre hastigheder, men da der her i de fleste tilfælde skal være ret stor modstand i indreguleringsmodstandene, kan der alligevel være risiko for generende støj i disse, med mindre de er hensigtsmæssigt udformet.

12. ISOLEREDE LEDNINGER

For det almindelige tilfælde, de isolerede ledninger, kan økonomibetingelsen, jvf. afsnit 5, skrives på formen

$$B = -1,530 \cdot 10^4 \frac{1}{Q \Delta J} [\Delta K_r + \Delta K_{is} + A \Delta k]$$

og behandlingen gennemføres i princippet som i afsnit 11.

Det er imidlertid nødvendigt her at tage hensyn til, at parameteren A, der bestemmer den økonomiske isoleringstykkelse, kan variere temmelig meget, og undersøgelsen er derfor gennemført for parameterværdierne

$$A = 30, 40, 60, 90 \text{ og } 120.$$

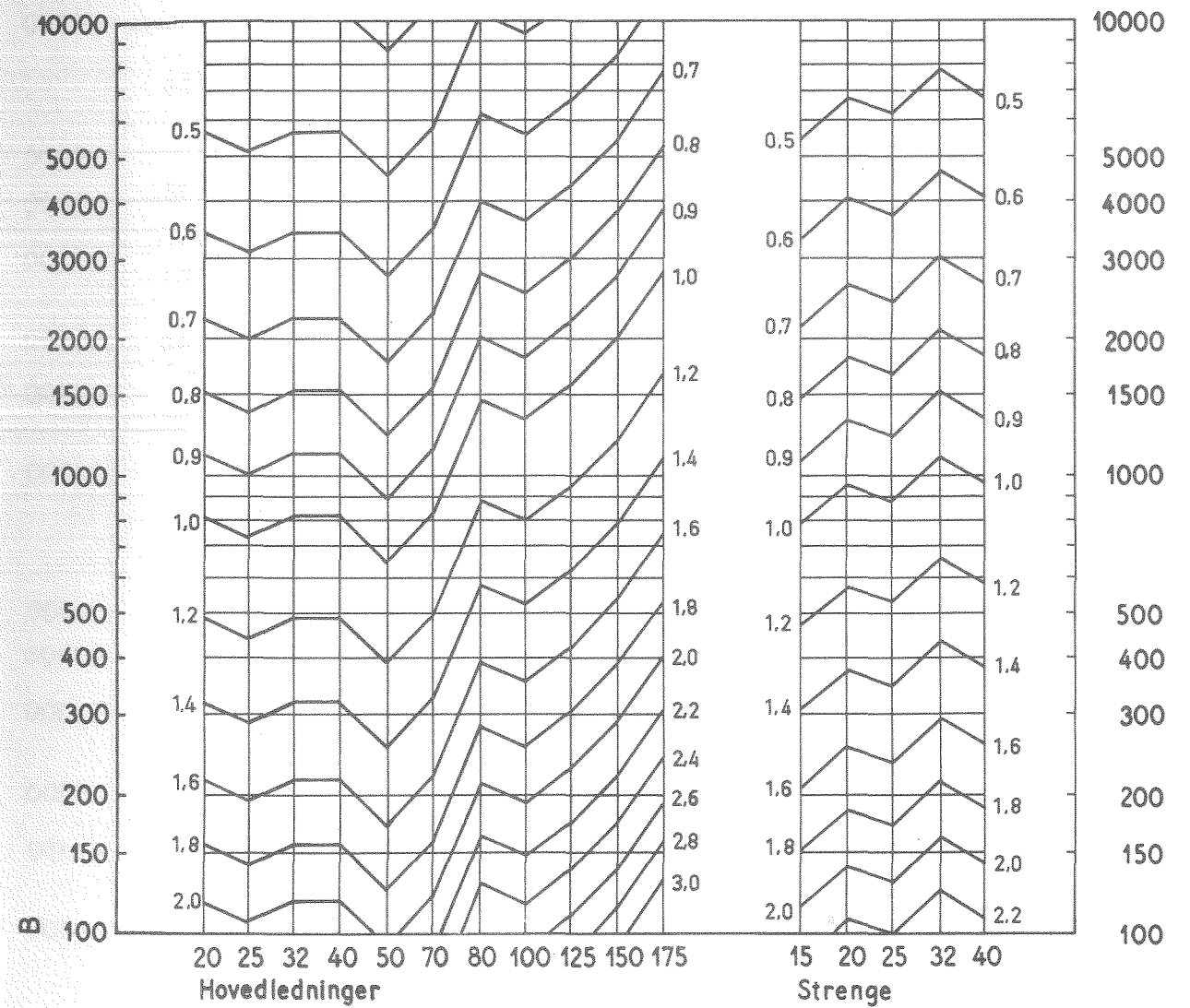


Fig. 9. Grænsehastighedens værdi for måtteisolation, A = 30. Rørdimensionen er afsat som absclisse; som ordinat er afsat parameteren

$$B = \frac{b u E'}{p \eta}$$

Der er regnet med isoleringstykkelser svarende til tabel 3.

Når hastigheden overstiger den i figuren aflæste værdi, bør der anvendes en større dimension.

Der er normalt regnet med måtteisolering, som er det billigste, men til sammenligning er undersøgelsen også gennemført for isolering med skåle, svarende til $A = 40$.

Som omtalt i afsnit 3 blev det principielt forudsat, at der anvendtes den økonomiske isoleringstykkelser, men man kan ikke i praksis regne med, at denne forudsætning er helt opfyldt, bl.a. fordi der i reglen vil blive anvendt de normerede isoleringstykkelser, jfr. afsnit 9 og [2].

For at give et indtryk af, hvad afvigelser fra denne forudsætning medfører, er undersøgelsen gennemført for det tilfælde, hvor man i økonomibetingelsen har $A = 60$, men hvor den valgte isoleringstykkelser kun svarer til $A = 40$.

De påregnede isoleringstykkelser er angivet i tabel 3.

Der er taget et vist hensyn til, at man ikke ønsker at anvende alt for mange materialetykkelser, og enkelte isoleringstykkelser er derfor ændret lidt (angivet ved understregning i tabellen).

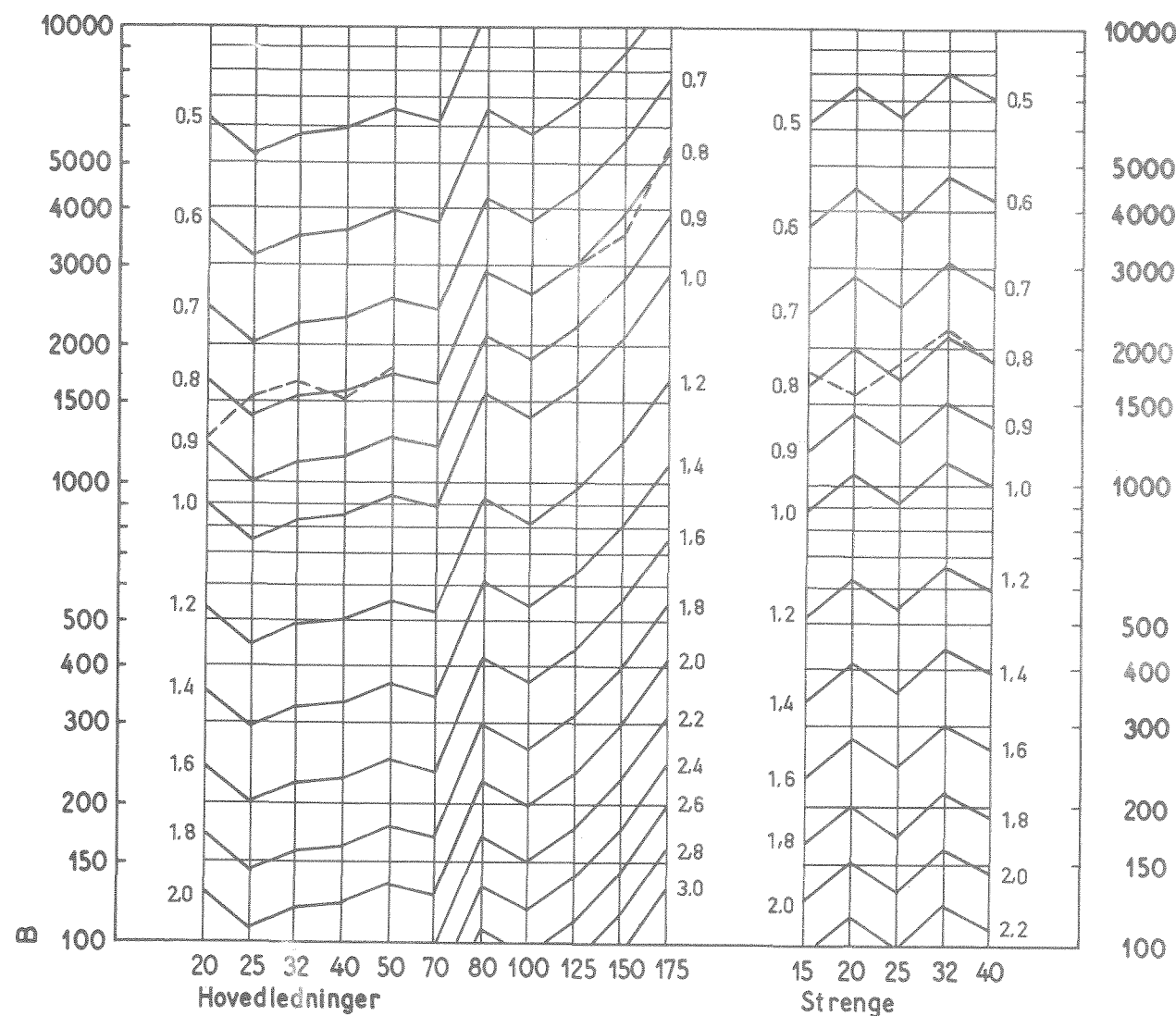


Fig. 10. Grænsehastighedens værdi for måtteisolation, $A = 40$, iøvrigt svarende til fig. 9.

Den punkterede kurve svarer til den midterste, normerede isoleringstykkelser, jfr. tabel 2, for grænsehastigheden $v = 0,8$ m/sec. Det ses, at afvigelserne er ret små.

Ved de store værdier for A , $A = 90$ og $A = 120$, optræder der spring i isoleringstykkelser, som tilsyneladende er ganske urimelige, idet f. eks. ved $A = 90$ et 25 mm rør skal isoleres med 50 mm, medens et 32 mm rør kun skal isoleres med 40 mm.

Dette tilsyneladende misforhold hænger sammen med, at ved et 25 mm rør kan isoleringer til og med 30 mm udføres i eet lag, medens sværere isoleringer må udføres i to lag. Arbejdslønnen er derfor ganske uforholdsmæssig stor, hvis et 25 mm rør skal isoleres med 40 mm, og forbedringen i isoleringsevne kan slet ikke opveje denne arbejds løn.

Et 25 mm rør skal derfor enten isoleres med 30 mm eller med 50 mm, men aldrig med 40 mm.

Ved et 32 mm rør må en isolering på 50 mm udføres i to lag, og selv om det her ikke gælder, at 50 mm aldrig er den økonomisk gunstigste isolering, ses det dog af fig. 6, at dette kun er tilfældet for ganske få A -værdier, nemlig mellem $A = 105$ og $A = 115$.

Det kan derfor med en vis ret siges, at uregelmæssighederne skyldes, at man "egentlig" skulle have isoleret 25 mm røret med 40 mm og 32 mm røret med 50 mm, men da disse isoleringstykkelser er særlig ugunstige, har de måttet erstattes af andre, og for 25 mm røret har det været gunstigt

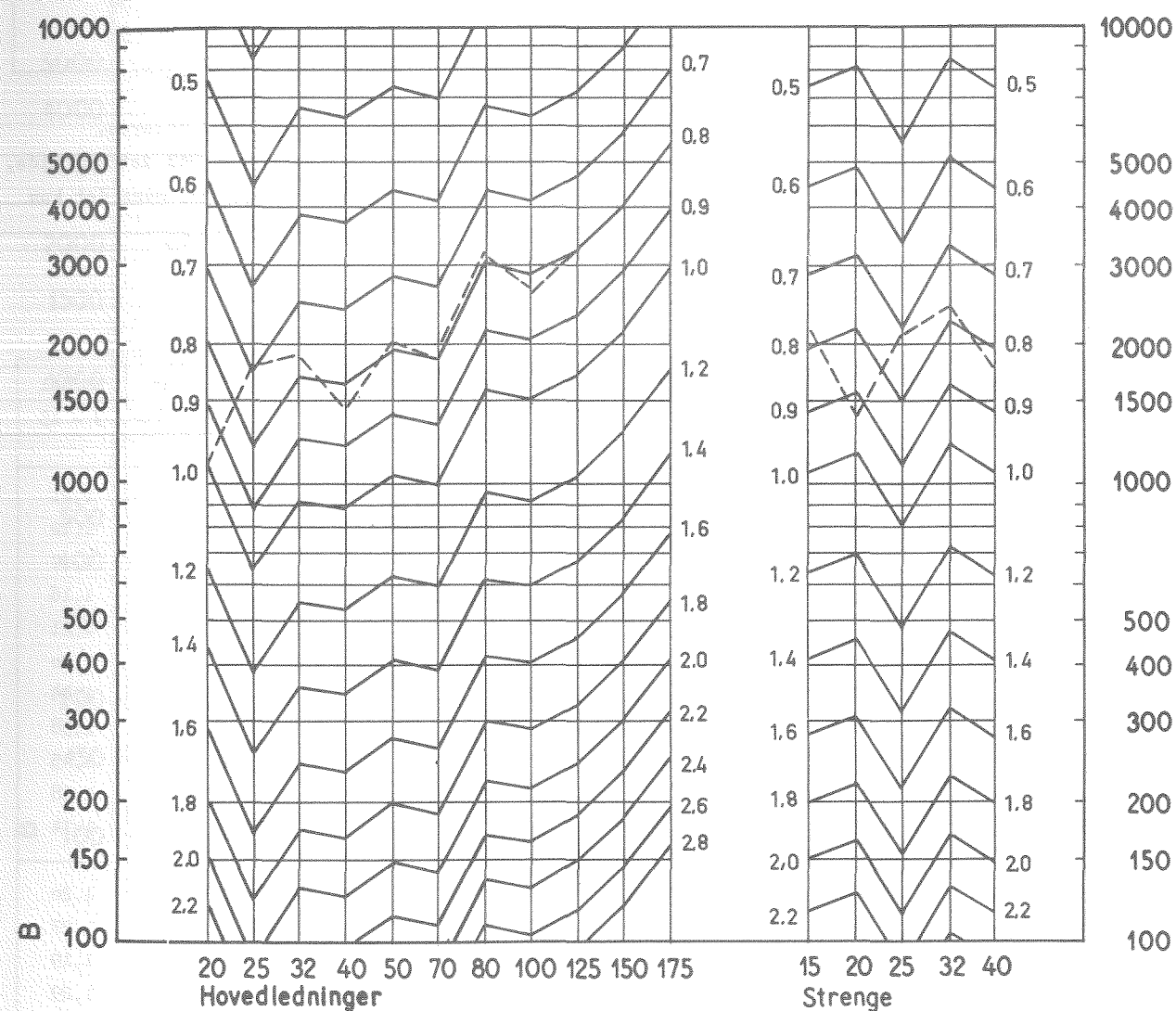


Fig. 11. Grænsehastighedens værdi for måtteisolation, $A = 60$, iøvrigt svarende til fig. 9.

Den punkterede kurve svarer til de midterste, normerede isoleringstykkelser, jfr. tabel 2. Selv om disse tykkelser nærmest svarer til $A = 37$, og der her er anvendt $A = 60$, ses det dog, at afvigelserne ikke er særlig store på nær de to mindste dimensioner.

d_n	A = 30 Fig. 9	40 Fig. 10	Måtter 60 Fig. 11	90 Fig. 12	120 Fig. 13	Skåle A = 40 Fig. 14	Måtter A = 40 ellers A = 60 Fig. 15
15	<u>25</u>	25	25	40	50	15	25
20	25	25	25	50	50	15	25
25	25	<u>25</u>	<u>25</u>	50	50	25	25
32	30	40	40	40	60	25	40
40	30	40	40	40	60	30	40
50	30	40	50	50	50	(30)	40
70	40	40	50	50	50	30	40
80	40	40	50	50	60	40	40
100	40	40	50	50	80	40	40
125	40	50	50	60	80	40	50
150	40	50	50	60	80	50	50
175	40	50	50	60	80	50	50
200	40	50	50	60	80	60	50

Tabel 3. Påregnede isoleringstykkelser.

De anførte isoleringstykkelser svarer til fig. 8 - 14. De understregede tykkelser er ikke de økonomisk gunstigste, men de er ændrede, så antal- let af anvendte måttetykkelser reduceres. Den sidste kolonne refererer til det tilfælde, hvor parameteren A har værdien 60, mens der kun er isoleret svarende til A = 40.

d_n	Fig. 8 uisoleret	Fig. 9 A = 30 måtter	Fig. 10 A = 40 måtter	Fig. 11 A = 60 måtter	Fig. 12 A = 90 måtter	Fig. 13 A = 120 måtter	Fig. 14 A = 40 skåle	Fig. 15 A = 40/60 måtter	Middel 9 - 15
20	0,92	1,12	1,16	1,24	1,22	1,30	1,18	1,24	1,21
25	0,91	1,08	1,09	1,03	1,18	1,27	1,18	1,03	1,12
32	0,96	1,12	1,13	1,17	1,22	1,24	1,17	1,17	1,17
40	0,98	1,12	1,13	1,16	1,15	1,20	1,19	1,18	1,16
50	0,93	1,03	1,17	1,22	1,29	1,35	1,19	1,22	1,21
70	1,00	1,13	1,15	1,20	1,26	1,27	1,18	1,19	1,20
80	1,29	1,39	1,41	1,42	1,46	1,50	1,43	1,44	1,44
100	1,21	1,34	1,34	1,40	1,43	1,43	1,38	1,35	1,38
125	1,32	1,41	1,43	1,46	1,49	1,50	1,44	1,45	1,45
150	1,45	1,54	1,55	1,58	1,60	1,62	1,57	1,57	1,58
175	1,66	1,73	1,74	1,75	1,63	1,81	1,75	1,76	1,74
15	0,91	1,11	1,15	1,23	1,22	1,27	1,22	1,23	1,20
20	1,02	1,18	1,22	1,27	1,29	1,35	1,25	1,30	1,27
25	1,01	1,15	1,16	1,12	1,24	1,33	1,23	1,11	1,19
32	1,12	1,24	1,25	1,29	1,34	1,35	1,29	1,29	1,29
40	1,08	1,19	1,20	1,22	1,22	1,27	1,26	1,25	1,23

Tabel 4. Grænsehastigheder for B = 600.

Grænsehastighederne er aflæst af fig. 8-15. Det ses, at for de isolerede ledninger afhænger

grænsehastigheden kun meget lidt af parameteren, A. Derfor er det tilladeligt i stedet at regne med de i sidste kolonne anførte middelværdier.

at sætte tykkelsen op, medens det for 32 mm røret har været gunstigt at sætte tykkelsen ned.

Medens der ved måtter er taget hensyn til, at man ikke ønsker at anvende måttetykkelser, der kun optræder ved en enkelt dimension, gør dette hensyn sig ikke gældende ved skåle, hvor der under alle omstændigheder må indkøbes skåle for

hver af de optrædende rørdimensioner. Ved gennemregning af de ovennævnte eksempler fremkommer figurerne 9-15. Ved fig. 15 er isoleringstykkelsen valgt svarende til A = 40, medens der i økonomibetingelsen er regnet med A = 60. Som tidligere omtalt, aflæses på kurverne for

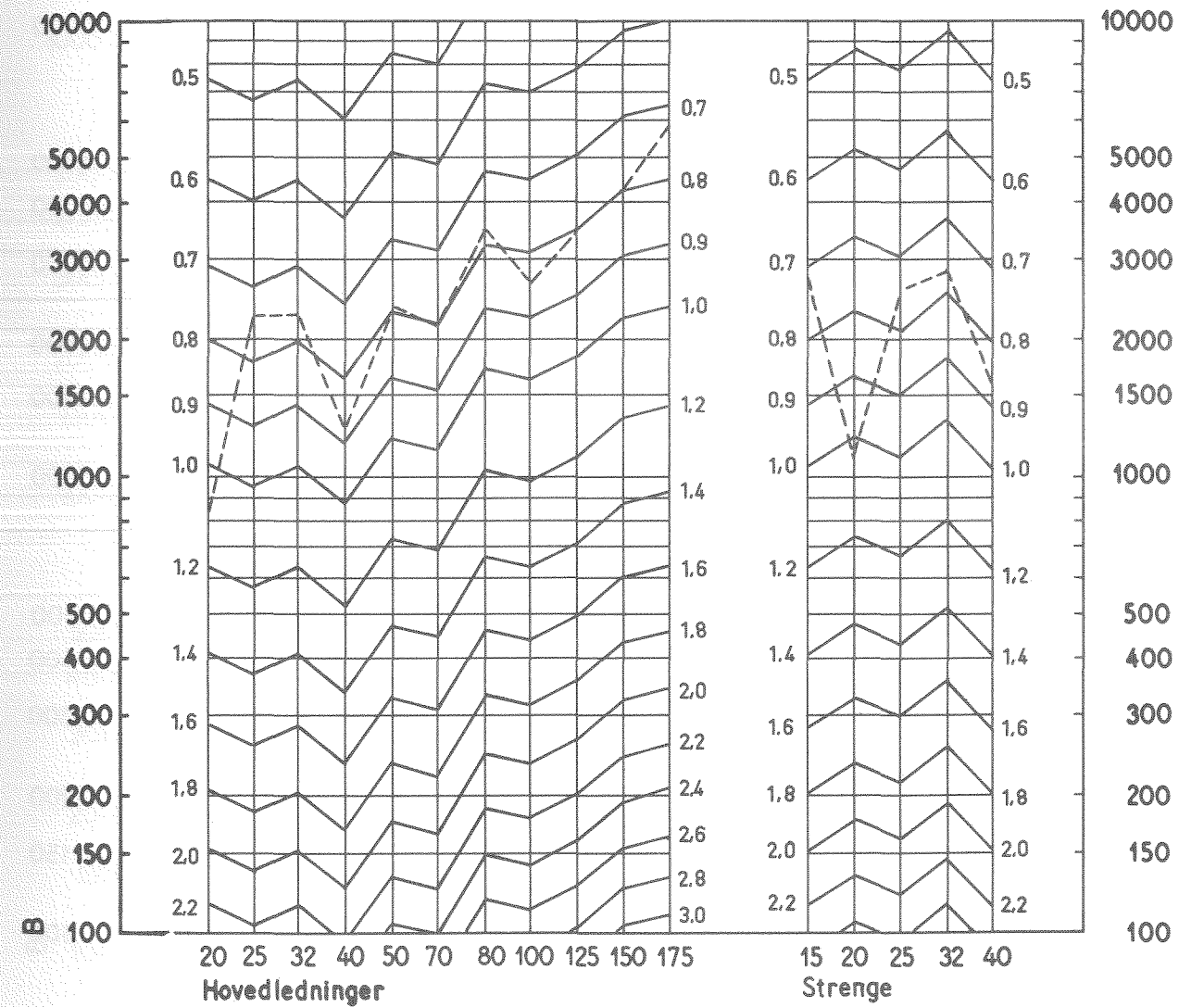


Fig. 12. Grænsehastighedens værdi for måtteisolation, A = 90, iøvrigt svarende til fig. 9.

Den punkterede kurve svarer til de midterste, normerede isoleringstykkelser, jfr. tabel 2. Her er der ret væsentlige afvigelser som følge af, at de normerede tykkelser nærmest svarer til A = 37, medens der her er regnet med A = 90. Afvigelserne har dog vekslende fortegn, og der er ikke tale om nogen systematisk afvigelse, således at man f.eks. generelt finder for små hastigheder el.lign.

hver værdi af B og for hver rørdimension den største hastighed, det er økonomisk at anvende i den pågældende dimension. Hvis hastigheden bliver større, bør dimensionen forøges.

Et klart indtryk af, hvor meget parameteren A betyder for disse grænsehastigheder, fås af tabel 4, hvor grænsehastighederne for de forskellige

tilfælde er sammenstillede, idet der alle steder er regnet med $B = 600$.

Det ses heraf, at hastighederne vokser noget med værdien af A, men ikke særlig stærkt. En firdobling af A, fra 30 til 120, giver en variation i hastigheden, der for de små dimensioner ligger omkring 15 % og for de større aftager til

ca. 5 %. Afvigelserne fordeler sig ret uregelmæssigt over dimensionerne.

Når materialet skal anvendes i praksis, er det væsentligt, at det har en så enkelt og overskuelig form som muligt, og dette gør det rimeligt at danne et sæt middelkurver, der anvendes for alle værdier af A.

Tilsyneladende går der herved en del af nøjagtigheden tabt, men det må i denne forbindelse erindres, at hele det anvendte talmateriale, såvel de beregnede anlægsudgifter, som - især - de skønnede parameterværdier, er behæftede med væsentlig usikkerhed, og der sker derfor næppe nogen reel skade ved at gå over til middelkurverne.

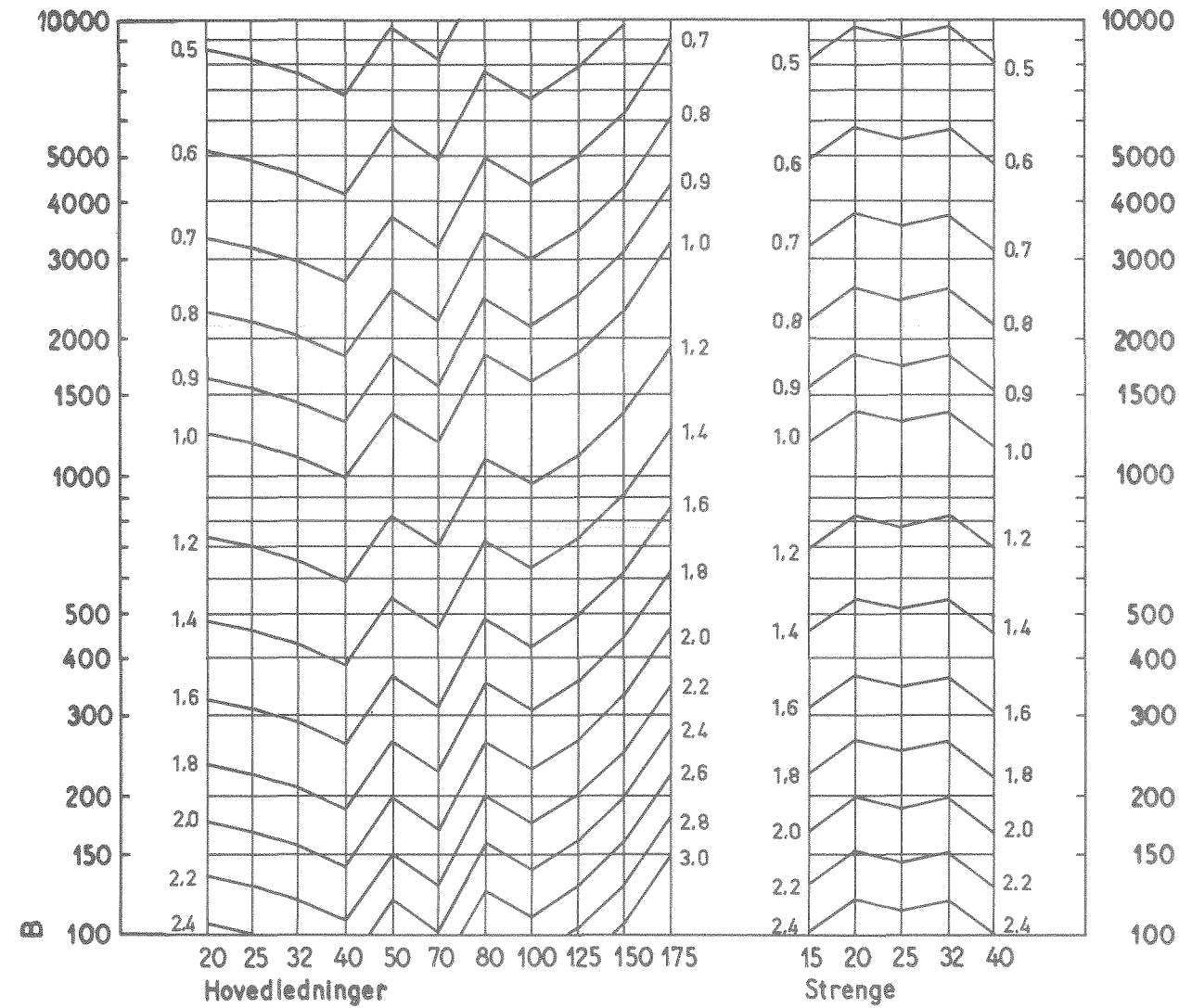


Fig. 13. Grænsehastighedens værdi for måtteisolation, $A = 120$, iøvrigt svarende til fig. 9.

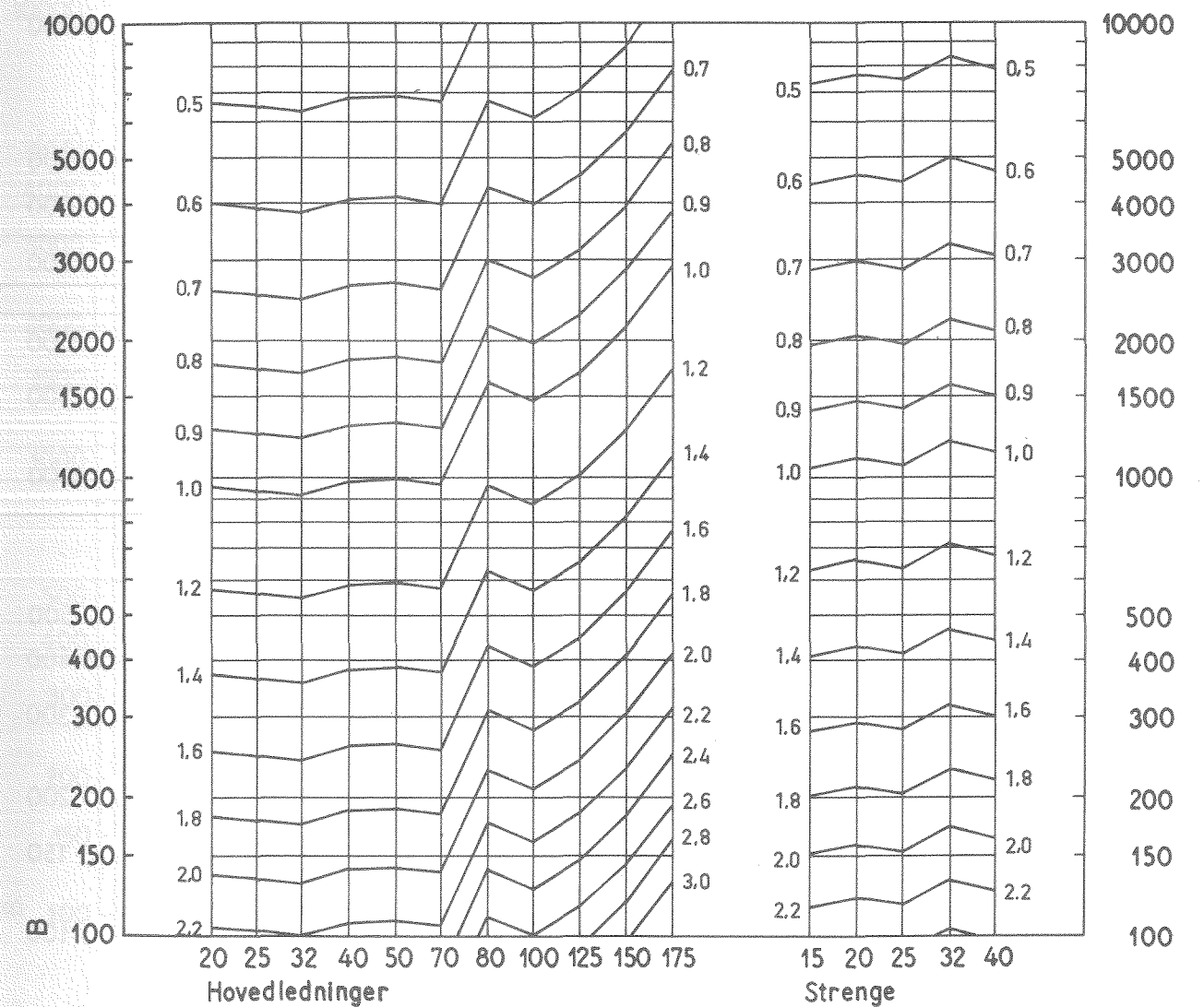


Fig. 14. Grænsehastighedens værdi for isolation med skåle, $A = 40$, iøvrigt svarende til fig. 9.

Foruden at disse kurver bliver fælles for alle A-værdier, udjævnes de også, således at en del af de uregelmæssige variationer fra dimension til dimension negligeres.

Disse middelkurver er angivet på fig. 16.

En præcisere middelkurve for $v = 1,0$ m/sec er punkteret ind på fig. 16, og den giver en mulig-

hed for at bedømme, hvor væsentlig den sidstnævnte udjævning er.

Hermed er materialet for de isolerede ledninger bragt på en form, der meget nær svarer til fig. 8 for de uisolerede ledninger.

Hidtil har der ikke været taget hensyn til de normerede isoleringstykkelser.

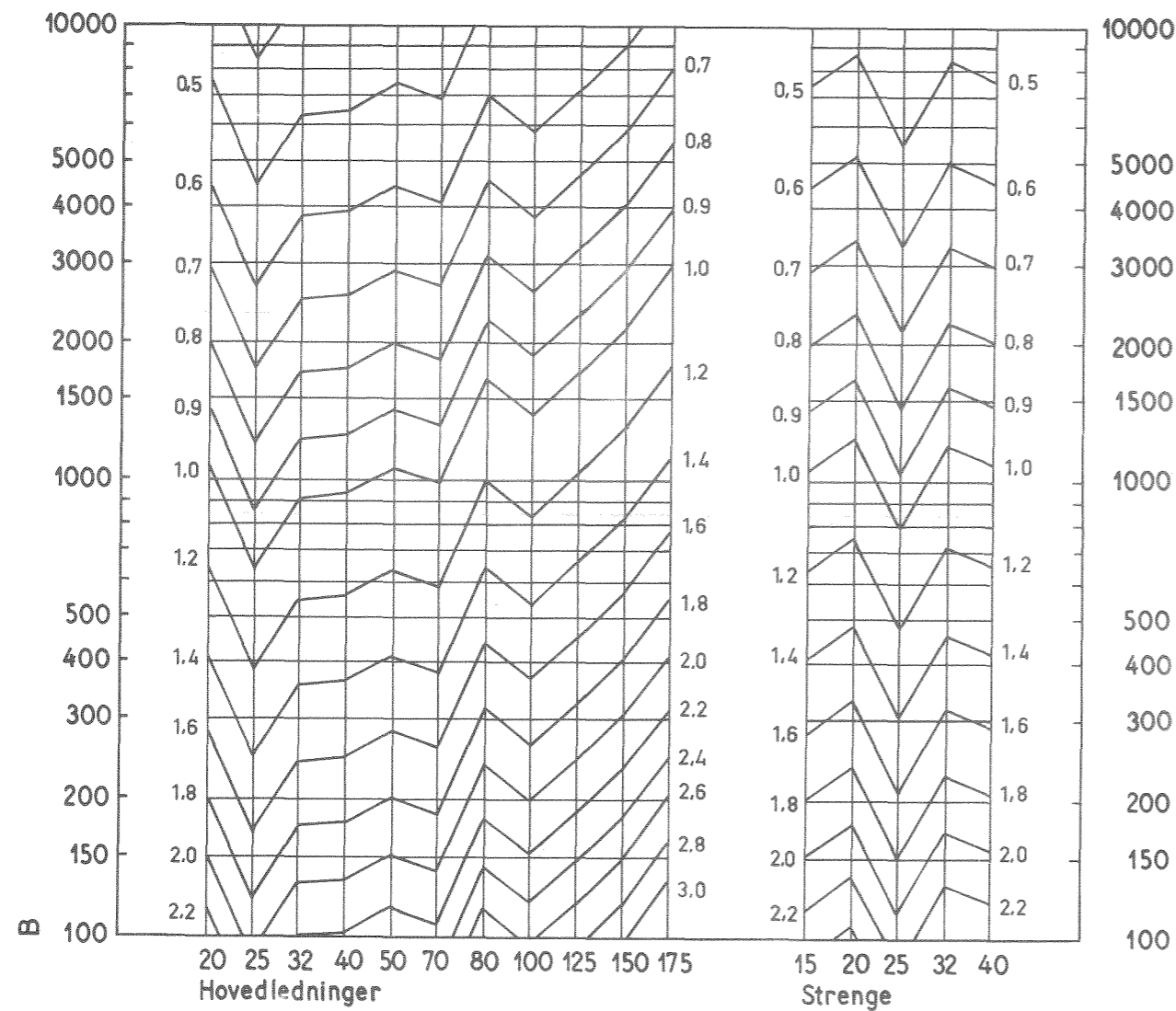


Fig. 15. Grænsehastighedens værdi for måtteisolation, når måttetykkelsen svarer til $A = 40$, medens reelt $A = 60$, iøvrigt svarende til fig. 9.

På fig. 10, 11 og 12 er der imidlertid angivet (punkteret) de kurver for grænsehastigheden $v = 0,8$ m/sec, som fremkommer, når man anvender den midterste af de normerede isoleringstykkelser, og det ses, at selv om der er visse, ret store afvigelser, forløber kurverne dog i det store og hele lige som den fuldt optrukne.

Der kan næppe ske større skade ved, at man ser bort fra disse afvigelser, navnlig i betragtning af, at materialet under alle omstændigheder må udjævnes gennem dannelsen af middelværdier over de forskellige A-værdier, for at det overhovedet skal blive så overskueligt, at det kan anvendes i praksis.

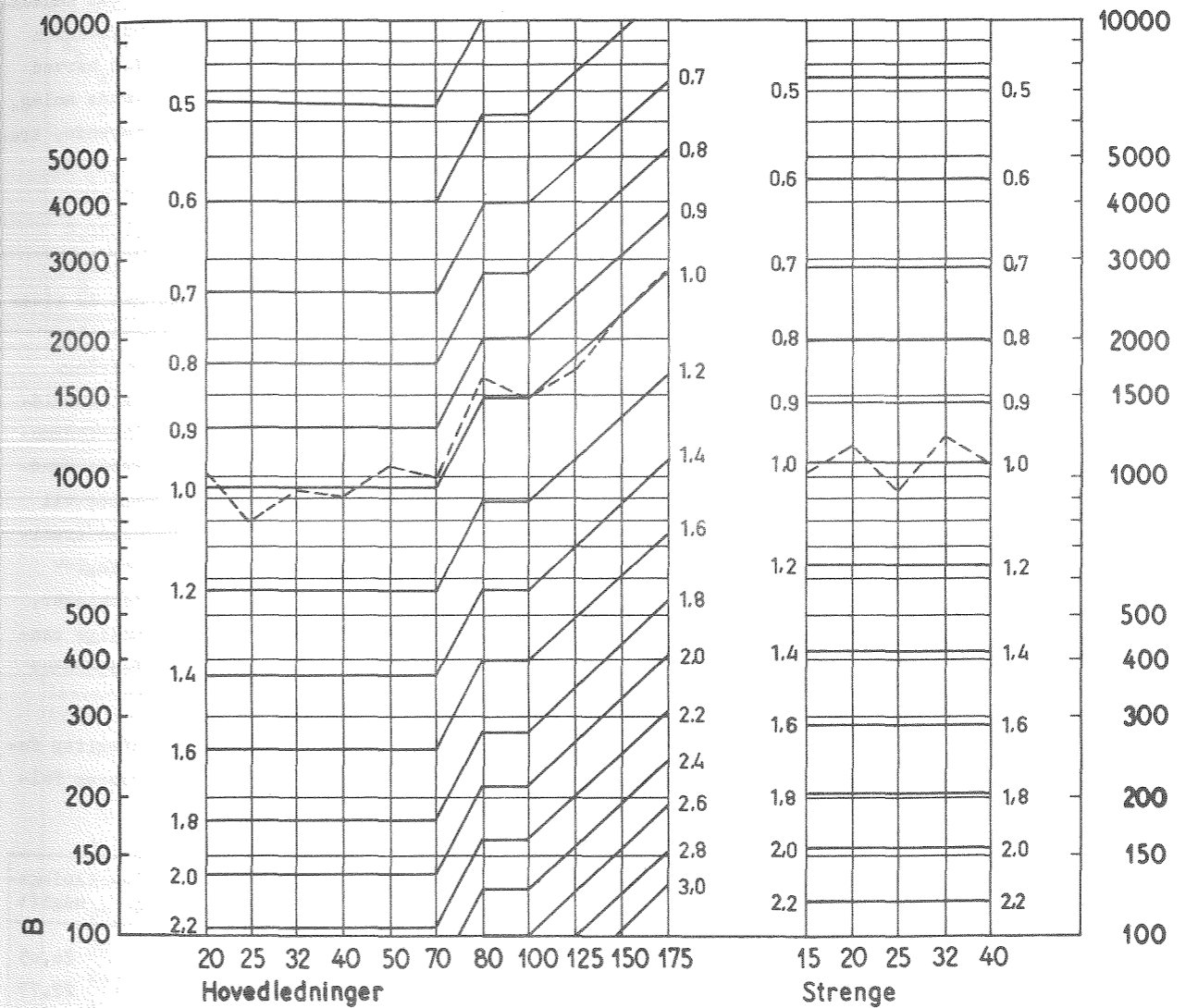


Fig. 16. Middelkurver for grænsehastigheden for isolerede ledninger. Som abscisse er anvendt rørdimensionen og som ordinat parameteren

$$B = \frac{b u E'}{p \eta}$$

Den punkterede kurve svarer til middeltallene i tabel 4, og det ses, at disse er jævnet noget ud i figuren.

13. RESULTATERNES ØKONOMISKE BETYDNING

Gennemgående vil overgangen fra een rørdimension til den nærmeste lavere dimension medføre, at hastigheden vokser med ca. 50 %, og hvis grænsehastigheden ligger omkring 1,2 m/sec, vil derfor de hastigheder, der bør anvendes, ligge i området

$$0,8 - 1,2 \text{ m/sec.}$$

Hvis hastigheden kommer ned under ca. 0,8 m/sec, vil den nemlig kunne forøges med 50 %, uden at den derved kommer op over grænsehastigheden.

Hvis der anvendes den nærmeste større rørdimension, vil hastigheden komme til at ligge i området

$$0,5 - 0,8 \text{ m/sec.}$$

og disse hastigheder anvendes i et meget stort antal af de traditionelt dimensionerede anlæg, også for ledninger, for hvilke $b = 1$.

Hvis man ser bort fra de ledninger, for hvilke $b > 1$, kan det derfor fastslås, at det rationelle valg af rørdimension meget ofte vil medføre en nedgang i dimension i forhold til den traditionelle dimensionering, og herved vil ikke alene driftsudgiften, men også anlægsudgiften gå ned.

Tabel 5 angiver anlægsudgifterne for de forskellige kombinationer af rørdimension og isoleringstykkelser, og det fremgår klart af tabellen, at der opnås væsentlige besparelser ved, at rørdimensionen sættes ned, når isoleringstykkelser bevares.

Hvis man ser på valget af isoleringstykkelser, vil det rationelle valg ganske vist formindskes driftsudgifterne, men dette må betales med en forøgelse af anlægsudgifterne, som undertiden kan være generende.

Betragtes derimod det rationelle valg af rørdimension og isoleringstykkelser under eet, vil man ikke blot opnå den størst mulige nedsættelse af driftsudgiften, men som det fremgår af tabel 5, vil i de fleste tilfælde samtidig anlægsudgiften dale, og alt i alt medfører derfor den ratio-

nelle dimensionering en væsentlig nedgang i driftsudgifterne uden nogen generende stigning i anlægsudgifterne, tværtimod opnås ofte for anlæget som helhed en reduktion af disse.

Det må derfor stærkt anbefales, at man sammenkæder disse to spørgsmål, valg af rørdimension og valg af isoleringstykkelser, idet man herved kommer frem til de mest tilfredsstillende anlæg, uden at disse bliver dyrere end tilsvarende, traditionelt beregnede anlæg.

De gennemførte undersøgelser viser klart, hvor det økonomiske optimum ligger, men de giver ikke noget indtryk af, hvor store besparelser der opnås ved den rationelle dimensionering.

Det er ikke praktisk muligt at give et fuldstændigt billede af dette, idet kombinationsmulighederne er utallige, ikke mindst fordi vandmængden spiller ind, men et par eksempler vil give et indtryk af forskellen mellem den traditionelle og den rationelle dimensionering.

Som ovenfor betragter vi her kun ledninger, for hvilke $b = 1$, og der ses på sædvanlige centralvarmeanlæg med maksimal fremløbstemperatur 90° og rumtemperatur 20° .

Eks. 1. En ledning skal ved 20° afkøling føre 100.000 Kcal/h. Der skal undersøges følgende tilfælde:

	Rørdimension	Isolering	Anlægsudgift
1. Traditionelt	50	20	20,05
2. Bedre isoleret	50	40	22,77
3. Mindre dimension	40	20	16,41
4. Rationelt	40	40	19,02

Det ses, at anlægsudgiften bliver ca. 5 % lavere ved den rationelle dimensionering end ved den traditionelle, men at den selvfølgelig er lavest i det tilfælde, hvor man har formindsket rørdimensionen uden at forøge isoleringstykkelserne.

For driftsudgifterne anvendes udtrykket

$$D = p[K_R + K_{IS}] + p A k + 24 \cdot 2,723 \cdot 10^{-6} \cdot p B Q J$$

$$= 11 [K_R + K_{IS}] + 11 \cdot 54 k + 24 \cdot 2,723 \cdot 10^{-6} \cdot 11 \cdot 600 \cdot 5 J$$

$$D = 11 [K_R + K_{IS}] + 594 k + 2,16 J$$

og udregningerne fremgår af følgende tabel.

	1	2	3	4
$K_R + K_{IS}$	20,05	22,77	16,41	19,02
k	0,384	0,254	0,339	0,227
J	8,2	8,2	28	28
$11 [K_R + K_{IS}]$	221	250	181	209
594 k	228	151	201	135
2,16 J	18	18	60	60
D	467	419	442	404

Det ses heraf, at isoleringstykkelser betyder væsentligt mere for driftsudgifterne end rørdimensionen, idet der fremkommer en større nedgang i D, når isoleringstykkelser forøges til 40 mm, end når rørdimensionen formindskes.

Den mindste driftsudgift fremkommer imidlertid ved den rationelle dimensionering, og her er nedgangen i driftsudgiften kombineret med en nedgang

Isolerings- tykkelse mm	Rørdimension mm										
	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	200
0	5,83	7,33	9,26	11,16	14,37	18,26	22,55	33,71	45,20	60,81	117,05
15	9,42	11,77	13,90	16,03	19,61	24,25	29,14	40,93	53,41	70,30	129,19
20	10,48	12,14	14,28	16,41	20,05	24,81	29,62	41,45	53,97	71,01	129,99
25	10,89	12,56	14,72	16,88	20,47	25,33	30,15	41,98	54,58	71,77	131,01
30	12,59	13,20	15,35	17,54	21,23	26,17	31,05	42,96	56,04	73,04	132,37
40	13,73	15,50	16,76	19,02	22,77	27,96	32,93	45,28	58,46	75,73	135,49
50	14,97	16,73	19,20	21,38	24,39	29,84	35,24	47,56	60,98	78,43	138,69
60	16,68	18,63	21,16	23,37	27,34	33,37	38,71	51,27	64,92	82,67	144,49
80	20,63	22,89	25,72	28,47	32,66	38,55	44,12	57,24	71,36	89,58	153,10
100			30,67	33,62	37,86	44,48	50,34	63,76	78,32	99,29	162,42

Tabel 5. Oversigt over anlægsudgifterne dels for uisolerede rørledninger, dels for rørledninger isolerede med måtter.

i anlægsudgiften, medens man i tilfælde 2 måtte betale nedgangen i driftsudgift med en stigning i anlægsudgift.

Eks. 2. En ledning skal ved 20° afkøling føre 2.000.000 kcal/h. Her behandles de analoge tilfælde.

	Rørdimension	Isoleringstykkelser	Anlægsudgift
1. Traditionelt	200	30	132,37
2. Bedre isoleret	200	50	138,69
3. Mindre dimension	150	30	73,04
4. Rationelt	150	50	78,43

Det ses her, at dimensionen springer helt fra 200 mm til 150 mm ved overgangen til rationel dimensionering. Der er derfor en meget betydelig besparelse i anlægsudgift.

Beregningen af driftsudgifterne foregår som ovenfor, idet dog koefficienten til J er 20 gange så stor, svarende til den 20 gange så store vandmængde.

Tabellen omfatter kun hovedledninger, ikke strenge. Den optrukne linie afgrænser de isoleringstykkelser, der forudsættes at kunne pålægges i eet lag.

	1	2	3	4
$K_r + K_{is}$	132,37	138,69	73,04	78,43
k	0,857	0,587	0,658	0,456
J	2,7	2,7	12,6	12,6
11 [$K_r + K_{is}$]	1456	1526	803	863
594 k	509	349	391	271
43,2 J	117	117	544	544
D	2082	1992	1738	1678

I dette tilfælde, hvor nedgangen i rørdimensionen er så betydelig, er det denne, som har størst indflydelse på driftsudgiften, og medens i eks. 1 den traditionelle dimensionering gav ca. 15 % større driftsudgifter, er forskellen her ca. 24 %.

Anlægsudgifterne, som i eks. 1 dalede med ca. 5 %, er her reduceret til ca. 59 %, nemlig fra 132,37 kr. til 78,43 kr.

En typisk forskel mellem de to eksempler er, at medens i eks. 1, hvor der var tale om små dimensioner, elektricitetsforbruget var væsentligt mindre end varmeafgivelsen, når de begge udregnes i penge, er her de to størrelser af samme størrelsesorden, og i de to sidste tilfælde er elektricitetsforbruget langt det største.

De valgte eksempler er selvfølgelig ret vilkårlige, og der kan uden tvivl findes mange eksempler, hvor besparelserne er mindre. Eksemplerne er dog ikke udsøgt med særligt hensyn til store besparelser.

Desuden kan det med rette indvendes, at begrebet "traditionel dimensionering" er et meget vagt og uklart begreb, og der er uden tvivl mange ingeniører, der allerede i nogen grad er gået over til at anvende store vandhastigheder, således at der ikke for deres anlæg kan opnås væsentlige besparelser.

I afsnit 17 gennemregnes et anlæg fra praksis, og det ses her, at anlægsudgiften reduceres med ca. 34 % for de isolerede rørledninger excl. armatur.

Den foretagne bestemmelse af den økonomisk gunstigste rørdimension giver ikke direkte nogen mulighed for at bedømme, om der er stor eller lille forskel mellem driftsudgifterne.

Selvfølgelig kan man undersøge dette i hvert enkelt tilfælde, således som det er gjort ovenfor, men kurverne i afsnit 11 og 12 oplyser kun, hvilken dimension der er gunstigst, ikke hvor meget gunstigere den er.

Dette kan med en vis ret siges at være en skavank ved den måde, undersøgelsen er gennemført på, men det ville komplicere undersøgelsen meget stærkt, hvis den også skulle vise besparelsens størrelse, da der indgår så mange parametre.

Dersom man foreskrev, at man ville vælge den mindste rørdimension, hvis denne kun medførte 5 % større driftsudgifter, ville økonomibetingelsen for de uisolerede ledninger få følgende form:

$$p K_r + 24 b u J Q 2,723 \cdot 10^6 \frac{E}{\eta}$$

$$= 1,05 (p K_r' + 24 b u J' Q 2,723 \cdot 10^6 \frac{E}{\eta})$$

hvor K_r' og J' svarer til den store dimension.

I stedet for differenserne ΔK_r og ΔJ ville der indgå differenserne

$$K_r - 1,05 K_r' \quad \text{og} \quad J - 1,05 J'$$

Selve grundmaterialet måtte altså behandles anderledes, og behandlingen ville være forskellig, eftersom hvilken grænse man satte. Valget af de 5 % er jo ret vilkårligt.

Formålet med en sådan udformning af undersøgelsen måtte være at få reduceret anlægsudgiften på driftsudgiftens bekostning i de tilfælde, hvor dette var overkommeligt.

Dette svarer imidlertid til, at man tillægger anlægsudgiften større betydning, end det har fundet udtryk ved fastsættelsen af afskrivnings- og forrentningsparameteren, p, og i praksis kan man opnå akkurat det samme resultat ved at vælge en større værdi for denne parameter.

Denne sammenhæng kan let eftervises ved nogle simple regnemæssige betragtninger.

Taget som et meget groft gennemsnit vil det gælde, at

$$K_r' = 1,30 K_r \quad \text{og} \quad J = 3,00 J'$$

De differenser, der indgår i den normale økonomibetingelse, bliver da

$$K_r - K_r' = -0,30 K_r$$

$$J - J' = 2,00 J'$$

Differenserne i den ændrede økonomibetingelse bliver

$$K_r - 1,05 K_r' = -0,365 K_r$$

$$J - 1,05 J' = 1,95 J'$$

Den første differens er blevet forøget med 21,5 %, den anden formindsket med 2,5 %.

Hvis den ændrede økonomibetingelse er opfyldt, må det gælde, at

$$- p_1 0,365 K_r + C 1,95 J' = 0,$$

og dette skal svare til, at den oprindelige betingelse er opfyldt med en ændret p-værdi, p_2 , altså at

$$- p_2 0,30 K_r + C 2,00 J' = 0.$$

Det ses umiddelbart, at disse to relationer er identiske, hvis

$$p_1 \frac{0,365}{1,95} = p_2 \frac{0,30}{2,00}$$

eller

$$p_2 = 1,25 p_1.$$

Med andre ord:

I stedet for at tillade, at driftsudgifterne stiger med 5 %, kan man regne med en p-værdi, som er 25 % større.

Hvis man ønsker på denne måde at "betale for" en nedsettelse af anlægsudgifterne gennem en 5 % forøgelse af driftsudgifterne, skal man i stedet for $p = 11$ anvende

$$p = 11 \cdot 1,25 = 13,7.$$

Dette er en simpel og bekvem måde at opnå resultatet på, idet det blot betyder, at man skal anvende en anden værdi for parameteren B.

Betragtningen er ret "grov", idet forholdet mellem differenserne langt fra er konstant, men svinger en hel del med dimensionen, men den er dog sikkert tilstrækkelig nøjagtig til formålet.

Det må imidlertid fremhæves, at selv om der antagelig kan opstilles en tilsvarende relation for isoleringstykkelserne, vil denne relation næppe føre til samme faktor til p, idet denne ikke skal bestemmes ud fra

$$\Delta K_r \quad \text{og} \quad \Delta J,$$

men ud fra

$$\Delta k \quad \text{og} \quad \Delta K_{is}.$$

14. PRISSVINGNINGERNES INDFLYDELSE

Den foreliggende undersøgelse er, som tidligere omtalt, gennemført svarende til priseniveauet fra oktober 1952.

Dette medfører, at priserne allerede har ændret sig ganske væsentligt, inden det tidspunkt, hvor resultaterne skal anvendes, og i de kommende år er der al mulig grund til at vente fortsatte stærke prisvariationer.

Det er derfor i høj grad påkrævet, at der i nogen grad gøres rede for, hvorledes prisvariationer influerer på gyldigheden af undersøgelsesresultater.

Hvis man kun interesserer sig for de størrelser, der varierer med priseniveauet, kan udtrykket for driftsudgiften skrives på formen

$$D = p [K_r + K_{is}] + c_1 K_v + c_2 E'$$

Først og fremmest kan det slås fast, at en generel, ensartet forøgelse af priserne ingen indflydelse har.

Hvis

$$K_r, K_{is}, K_v \text{ og } E$$

alle vokser i samme forhold, vil D vokse i samme forhold, og de hastigheder, ved hvilke man bør ændre dimension, vil blive ganske de samme.

Det er derfor kun den indbyrdes variation mellem størrelserne, der får betydning.

Hvis anlægsudgiften var konstant, men en eller flere af størrelserne K_v , p eller E varierede, var forholdene simple, for disse størrelser indgår i parametrene, og variationen medførte da blot, at man skulle anvende lidt ændrede parameterverdier.

Når anlægsudgiften varierer og vel at mærke varierer på ensartet måde, således at der i det store og hele er tale om en procentvis stigning (eller nedgang!) for samtlige dimensioner, kan man korrigere for disse ændringer på følgende måde:

Da økonomibetingelsen, jfr. afsnit 5, indeholder leddet

$$p (K_r + K_{is}),$$

er det ligegyldigt, om man regner med de større værdier for K_r og K_{is} , eller om man i stedet for forøger procenten p , tilsvarende.

Det sidste er en langt lettere fremgangsmåde. Normalt er man ikke i stand til at bedømme, hvor meget anlægsudgiften er steget, og man må så nøjes med den temmelig grove tilnærmelse, der fremkommer, når man lægger byggeindex til grund.

Hvis f.eks. byggeindex er steget fra 277 i oktober 1952 til 300, skal man i stedet for procenten p regne med den korrigerede procenten, p' , bestemt ved

$$p' = p \frac{300}{277}$$

Den korrigerede procenten er på fig. 17 afbildet grafisk som funktion af procenten p , og af byggeindex.

Hvis man normalt ville regne med $p = 7,8$, og byggeindex er steget til 300, skal man i stedet regne med $p' = 8,5$.

Denne korrigerede værdi indgår så i parametrene i stedet for p .

Det er ovenfor forudsat, at anlægsudgiften varierede på ensartet måde, altså i princippet med samme procentvise stigning for alle dimensioner og for både rørpris og isoleringspris, resp. - hvor usandsynligt det kan lyde - med samme fradrag.

Helt nøjagtigt vil dette ikke gælde i praksis, men hidtil har det formentlig været tilfældet med tilstrækkelig stor tilnærmelse.

Hvis der kommer prisændringer, der på afgørende måde forrykker balancen mellem de forskellige dimensioner eller isoleringstykkelser, er det umuligt på simpel måde at korrigere for disse ændringer, og der vil ikke være andet at gøre end at gennemføre undersøgelsen på ny med det ændrede prisgrundlag.

Der er næppe tvivl om, at en sådan situation før eller senere vil opstå, og en undersøgelse som den foreliggende har derfor kun begrænset levetid.

Jo flere år der går, jo større vil forskydningerne mellem anlægsudgifterne indbyrdes blive, og når de har nået en vis størrelse, må revisionen gennemføres.

Det vil imidlertid netop være en revision, i det hele behandlingen vil kunne overføres uændret, og blot det talmateriale, der er lagt til grund, må erstattes med det nye.

Når resultaterne skal anvendes på et konkret anlæg, vil tiden fra projekteringen til udførelsen i reglen være så kort, at man enten kan se bort fra prisstigningerne i løbet af denne tid eller i nogen grad kan tage hensyn til dem på forhånd.

Ganske anderledes ligger forholdene både for brændselspriserne og for elektricitetspriserne,

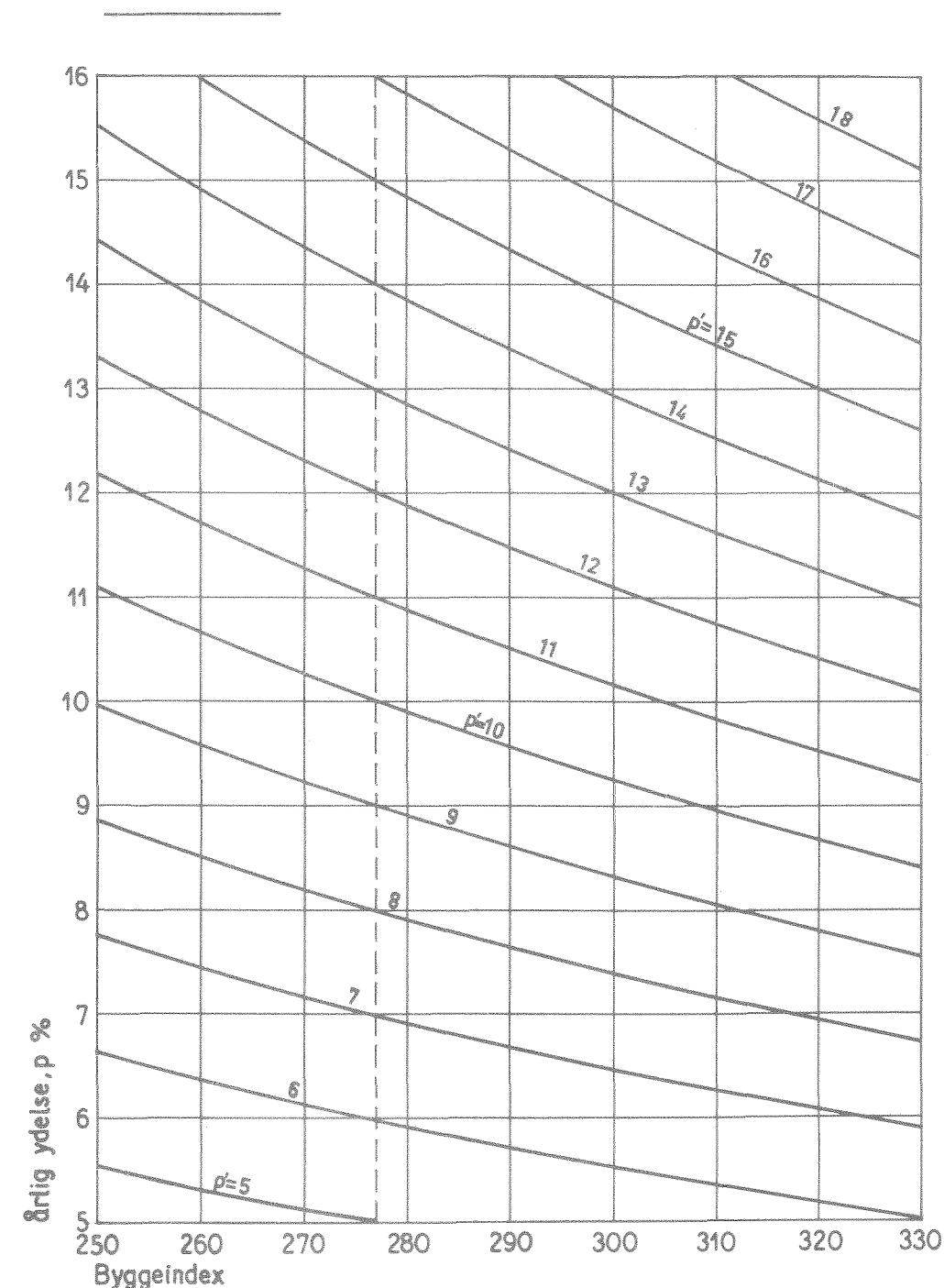


Fig. 17. Korrektion af procenten p for prissvingninger. Det er bekvemt at indregne prissvingninger i anlægsudgiften som en korrektion i den procenten p , der regnes til afskrivning og forrentning. Prissvingningerne bestemmes ved byggeindexets variationer ud fra værdien 277.

Den korrigerede procenten p' , er afbildet som funktion af procenten p , og af byggeindex.

for her er det ikke afgørende, hvordan priserne ligger, når anlægget tages i brug, men hvordan de ligger f.eks. i de første 20 år af anlæggets levetid. Dette giver nødvendigvis en meget stor usikkerhed.

Med de erfaringer, der foreligger, kan det anses for overvejende sandsynligt, at disse priser i det store og hele stadig vil stige, men at elektricitetsprisen vil stige forholdsvis mindre end brændselsprisen.

Da anlægsudgiften ligger fast, så snart anlægget er udført, vil forholdene svare til det tilfælde, der blev betragtet først ovenfor, og man kan direkte se, hvad stigningen betyder, ved at indføre den i parameterverdierne.

Stigningen i brændselsprisen vil medføre en stigning i parameteren A og dermed en stigning i den økonomiske isoleringstykkelse.

Det forhold, at brændselsprisen kan forventes at stige i løbet af anlæggets driftstid, medfører altså, at man normalt kommer til at isolere for tyndt. Den rationelle isolering, set ud fra priserne på projekteringstidspunktet - eller anlægstidspunktet - vil som regel i virkeligheden være lovlig tynd.

Stigningen i elektricitetsprisen vil forøge værdien af parameteren B og vil altså reducere grænsehastighedernes størrelse.

Hvis man vil tage hensyn til denne stigning, skal man altså regne med lidt mindre grænsehastigheder, end diagrammerne angiver.

Hvis man ville gå nærmere ind på disse spørgsmål, kom man ikke uden om problemerne i forbindelse med pengenes realværdi, dels på anlægstidspunktet, dels i driftsperioden.

For så vidt pengenes realværdi vedbliver at aftage i de kommende år, vil dette betyde, at anlægsudgifterne og driftsudgifterne ikke skal sammen - lignede direkte, men med korrektion for den forskellige realværdi.

Dette kan enten tages i betragtning ved, at man ser bort fra, at elektricitets- og brændselspriserne vil stige i driftsperioden, men regner med, at realudgiften bliver uforandret, eller det kan tages med som en forøgelse af procentsatsen, p, som udtryk for, at der skal spares på anlægsudgiften, der har den større realværdi.

Hele denne fremtidige udvikling er imidlertid så usikker og uoverskuelig, at den ikke skal behandles nærmere her.

15. MATERIALETS UDFORMNING TIL PRAKTISK ANVENDELSE

Det dimensioneringsmateriale, der er udviklet ovenfor, kan udformes på flere forskellige måder.

I. Direkte anvendelse af grænsehastighederne.

Der er ikke noget i vejen for direkte at foretage den økonomiske rørdimensionering ud fra grænsehastighederne, altså for de uisolerede ledninger fig. 8 og for de isolerede ledninger fig. 16.

Når trykfaldsberegningen f.eks. sker efter nomogrammet på fig. 3, kan man her direkte aflæse hastigheden og bedømme, om denne ligger rigtigt i forhold til grænsehastigheden, eller om dimensionen bør være større eller mindre.

Vanskeligheden ved denne fremgangsmåde er, at man for hver ledningsstrækning først skal bestemme vægtfaktoren, b, derefter udregne B, og så finde den tilsvarende grænsehastighed. Tillige har man ved denne metode intet overblik over, hvor nøjagtigt det er nødvendigt at kende vægtfaktoren.

Ved ledninger med en meget stor vægtfaktor kan det indtræffe, at parameteren, B, bliver større end forudsat i fig. 8 og 16.

Disse tilfælde behandles således:

I stedet for selve parameteren, B, går man ind i fig. 8 resp. 16 med værdien

$$B' = \frac{1}{7} B,$$

og hvis man herved finder grænsehastigheden v', vil den rigtige grænsehastighed være

$$v = \frac{1}{2} v',$$

Om fornødent kan B divideres med 49 og den fundne grænsehastighed derefter divideres med 4 o.s.v..

Rigtigheden af denne fremgangsmåde følger af, at parameterværdien er proportional med $Q \Delta J$, og at denne størrelse, som omtalt i afsnit 5 er proportional med

$$v^{-2,8}.$$

Hvis man f.eks. kommer til $B = 14.000$, kan man i stedet anvende $B = 2000$ og så halvere den fund-

ne grænsehastighed.

For strenge aflæses her $v = 0,8$ m/sec, og den virkelige grænsehastighed bliver derfor $v = 0,4$ m/sec.

Idet man sætter

$$B = b B_0,$$

jfr. afsnit 10, er der i nedenstående tabel anført værdier for grænsehastighederne for $B_0 = 600$, når vægtfaktoren b varierer.

d	b=1	b=2	b=3	b=4	b=5	b=10
20 - 70	1,2	0,9	0,8	0,7	0,67	0,52
80 - 100	1,4	1,1	0,95	0,85	0,78	0,6
125	1,5	1,2	1,0	0,9	0,85	0,65
150	1,6	1,2	1,1	1,0	0,9	0,7
175	1,7	1,3	1,2	1,05	1,97	0,75
strenge	1,2	1,0	0,85	0,75	0,7	0,55

Tabel 6. Grænsehastighedens variation med vægtfaktoren for $B_0 = 600$.

II. Udformning som kurveblad.

Hvis man kun ser på anlæg, for hvilke grundparameteren,

$$B_0 = \frac{u E'}{p \eta},$$

jfr. afsnit 10, har en ganske bestemt værdi, f. eks.

$$B_0 = 600,$$

kan materialet bekvemt udformes i to kurveblade, et for uisolerede rør og et for isolerede rør, således som det er gjort i fig. 18 og fig. 19.

For enhver anden værdi af B_0 kan der optegnes tilsvarende kurveblade, men det er vigtigt at erindre, at hvert kurveblad kun gælder for en ganske bestemt værdi af B_0 .

Når B_0 ligger fast, vil den økonomiske rørdimensionering være bestemt alene ved rørstrækningens vandføring, q l/h, og ved vægtfaktoren, b.

Vægtfaktoren kan antage alle mulige værdier i intervallet

$$1 \leq b \leq \frac{Q}{q},$$

hvor Q l/h er anlæggets totale vandføring. Det bemærkes, at man, jfr. afsnit 4, ikke arbejder med de ledninger, hvis vægtfaktor er mindre end 1.

De enkelte rørstrækninger afbildes på kurvebladet i det punkt, hvis koordinater er

$$(b \cdot q, q).$$

Dette punkt ligger på det vandrette liniestykke mellem punkterne

$$(q, q) \quad \text{og} \quad (Q, q),$$

og når vægtfaktoren varierer, vil netop alle punkter af dette liniestykke komme med.

Hvis man ikke kender den præcise værdi af vægtfaktoren, kan man optegne hele liniestykket, og man kan så se, hvor nøjagtigt det er nødvendigt at kende vægtfaktoren, for at få fastslået den økonomiske dimension.

De linier, der danner grænserne mellem de forskellige dimensioner, er bestemt ved grænsehastighederne.

Til hver værdi af b og dermed af $B = b \cdot B_0$, svarer der for hver rørdimension en ganske bestemt grænsehastighed, v , og dermed en ganske bestemt vandføring, q .

Dimensionerne afgrænses derfor ved linier, tegnet gennem de således fremkomne punkter

$$(bq, q)$$

Dette bliver, som det ses af figuren, rette linier, hvilket kan indses på følgende måde:

Under behandlingen af økonomibetingelsen i afsnit 5 så man, at parameteren, B , og dermed i dette tilfælde vægtfaktoren, b , var proportional med

$$v^{-2,8},$$

og da q er proportional med v , altså også med

$$q^{-2,8}.$$

Der består altså en sammenhæng af formen

$$b = c \cdot q^{-2,8}$$

eller

$$b \cdot q = c \cdot q^{-1,8}.$$

De linier, der afgrænser de enkelte rørdimensioner på kurvebladet, får derfor ligninger af formen

$$x = c \cdot y^{-1,8}.$$

Eks. 1. Uisolerede ledninger. $q = 4000$ l/h,

$$Q = 100\,000$$
 l/h

Her er

$$1 \leq b \leq 25,$$

og det ses af fig. 18, at for små b -værdier skal rørdimensionen være 40 mm, for mellemstore b -værdier 50 mm og for de størst mulige b -værdier 70 mm.

Det er altså blot nødvendigt at gøre sig klart, indenfor hvilket af disse tre områder vægtfaktoren ligger i det betragtede tilfælde.

Eks. 2. Isolerede ledninger. $q = 1000$ l/h,

$$Q = 10\,000$$
 l/h.

Her er

$$1 \leq b \leq 10,$$

og der kan jfr. fig. 19 kun være tale om dimensionerne 20 mm og 25 mm. Skillelinien mellem de to dimensioner ligger ved $b = \text{ca. } 3$.

Det er altså blot nødvendigt at skønne over, om vægtfaktoren er større end 3 eller ikke.

Hvis man må skønne, at vægtfaktoren netop ligger i nærheden af 3, betyder det ikke ret meget, om man vælger den ene eller den anden af dimensionerne, idet de er praktisk talt lige gunstige i omegnen af $b = 3$.

Denne udformning af materialet giver større mulighed for at se, hvor nøjagtigt det er nødvendigt at bedømme vægtfaktoren og letter derved denne, den vanskeligste del af opgaven.

På de angivne figurer er vandmængden angivet i liter pr. time, men man kan lige så godt angive den i kcal/h svarende til en bestemt afkøling, f. eks. 20° eller 15° .

Ved den praktiske anvendelse bør dette sikkert foretrækkes.

Vanskeligheden ved at anvende denne fremstilling af materialet er, at man i praksis ikke kan nøjes med at betragte en enkelt værdi af B_0 , dels fordi elektricitetsprisen varierer fra anlæg til anlæg, dels på grund af variationer i driftstid og i procentsats.

Så bliver det nødvendigt at konstruere et temmeligt stort antal kurveblade, dels svarende til de forskellige parameter-værdier, dels svarende til de forskellige afkølinger.

Det er let at konstruere disse kurveblade, idet de fremgår af hinanden ved parallelforskydning, men det kan være upraktisk at arbejde med mange forskellige blade i praksis.

III. Udformning af materialet i nomogram.

Denne udformning er formentlig den mest praktiske, idet man har en del af de fordele, der var ved kurvebladene, og samtidig kan behandle alle mulige tilfælde med et enkelt nomogram.

Konstruktionen af nomogrammet er lidt forskellig, eftersom det drejer sig om uisolerede eller om isolerede ledninger.

A. Uisolerede ledninger, hvor varmetabet udnyttes

fuldt ud.

Her tager man sit udgangspunkt i ligningen (jfr. afsnit 5).

$$B = b B_0 = 1,530 \cdot 10^4 \cdot v^{-2,8} \frac{\Delta K_r}{c_d}$$

I stedet for hastigheden, v , indføres kalorie-

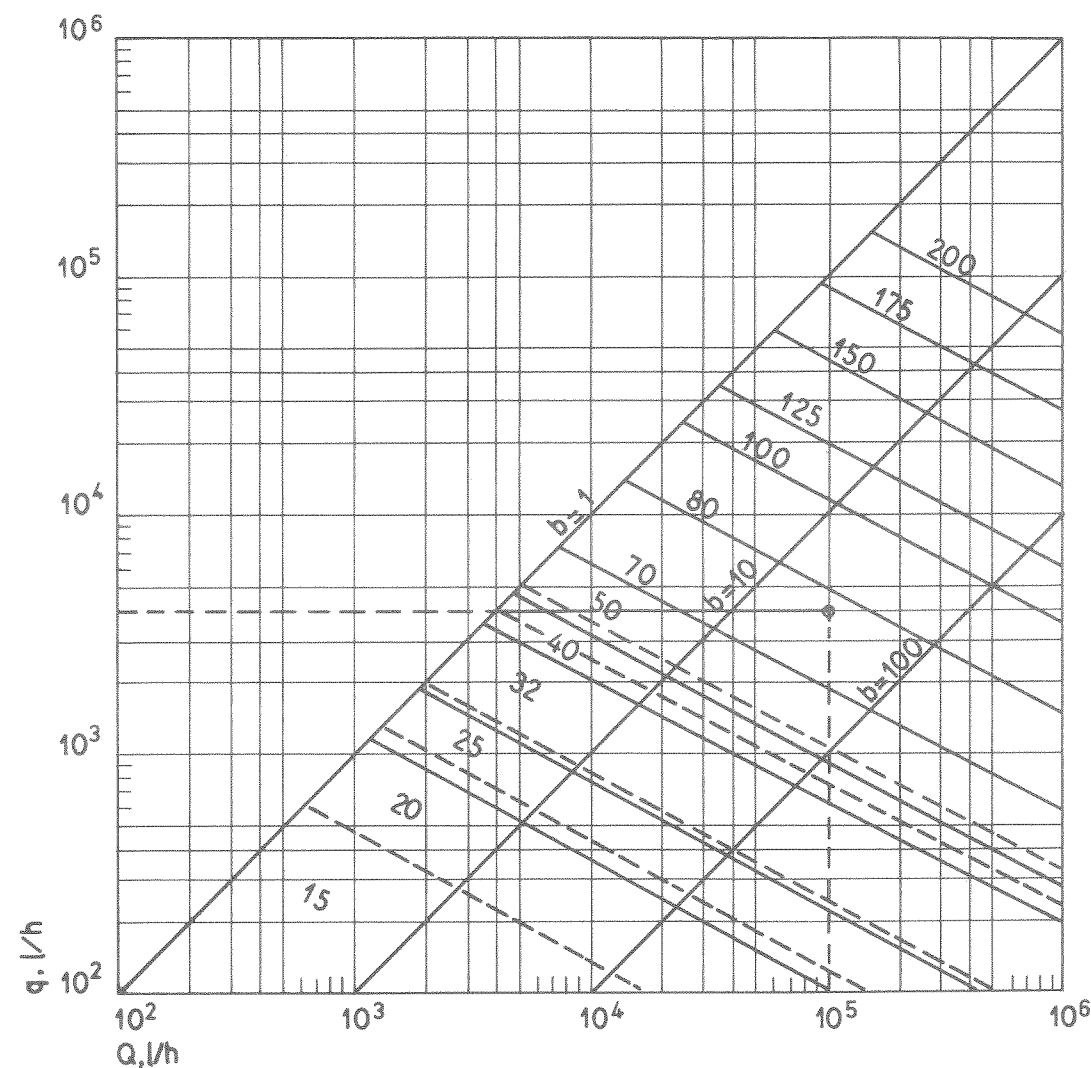


Fig. 18. Kurveblad for uisolerede ledninger, $B_0 = 600$. Som ordinat afsættes ledningens vandføring, q l/h. Som abscisse afsættes $b \cdot q$, hvor b er vægtfaktoren. Denne størrelse er højst lig Q , anlæggets totale vandføring.

Skæringspunktet mellem de to linier, altså punktet med koordinaterne $(b \cdot q, q)$, bestemmer den økonomiske rørdimension.

De fuldt optrukne linier svarer til hovedledninger (primære og sekundære ledninger, jfr. afsnit 4), de punkterede til strengledninger.

For primærledninger, der gennemstrømmes af pumpens totale vandmængde, er $b = 1$, og det karakteristiske punkt vil ligge på diagonalen.

For praktisk anvendelse må der optegnes et sådant kurveblad for hver forekommende værdi af B_0 .

Eks. For $q = 4.000$, $Q = 10.000$, kan der være tale om dimensionerne 40, 50 og 70 mm. Hvis vægtfaktoren, b , er nær ved 1, skal der anvendes 40 mm rør, hvis den er nær ved $Q/q = 2,5$, skal der vælges 70 mm.

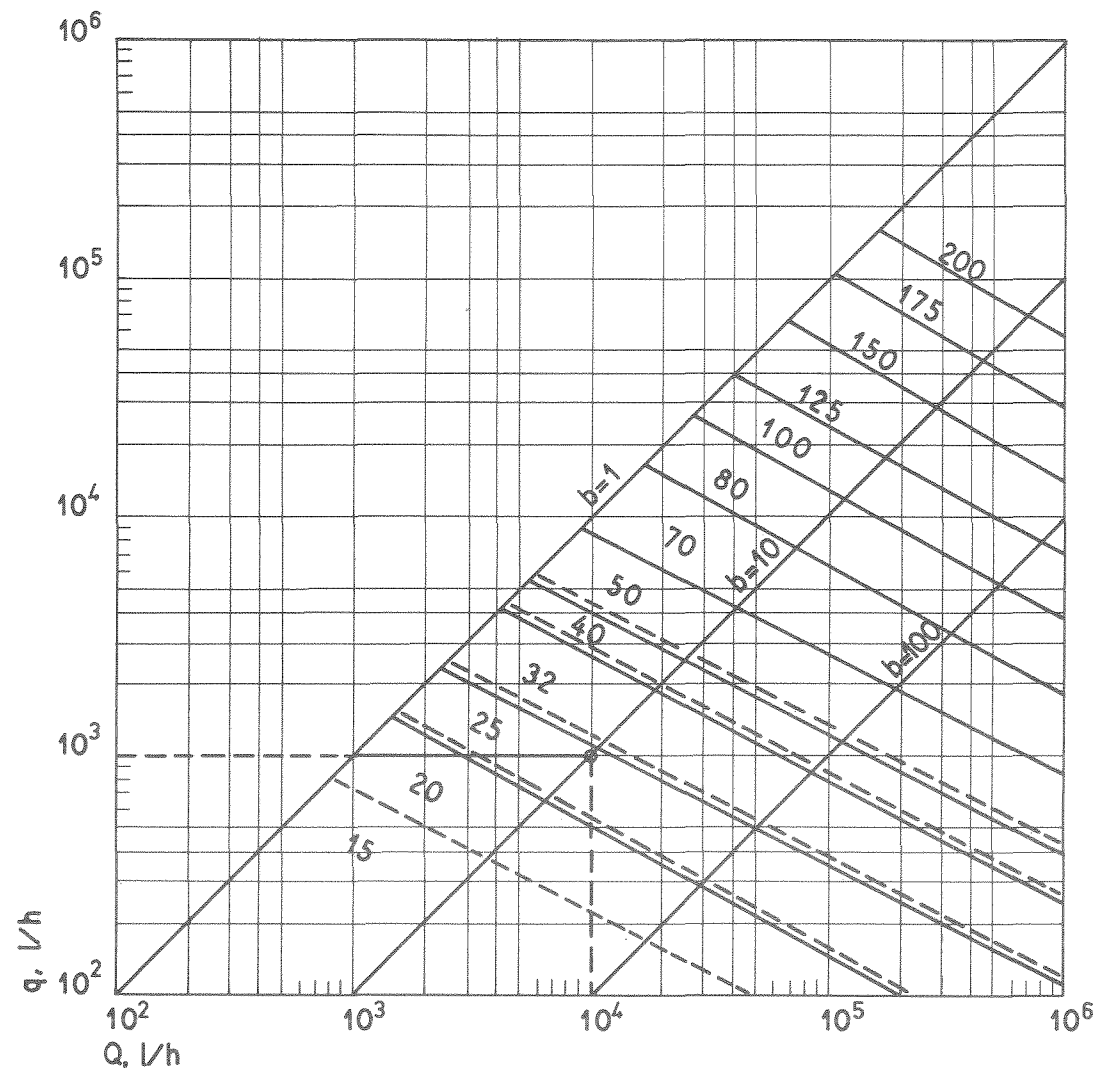


Fig. 19. Kurveblad for isolerede ledninger, $B_0 = 600$. Dette kurveblad svarer nøje til fig. 18. Også her må der for praktisk anvendelse optegnes et kurveblad for enhver forekommende værdi af B_0 .

Eks. For $q = 1000$, $Q = 10.000$, kan der være tale om dimensionerne 20 og 25 mm. Grænsen ligger omkring $b = 3$, således at hvis b er mindre end denne værdi, skal der anvendes 20 mm rør, ellers 25 mm

Fig. 20. Nomogram for økonomisk rørdimensionering. Den økonomiske rørdimension afhænger af vandføringen, q , der på skalaen helt til venstre er angivet som kalorieføring for 15° , resp. 20° afkøling, og af parameteren

$$B = \frac{b u E'}{p \eta}$$

som afsættes på skalaen yderst til højre.

Værdien af parameteren B kan for primærledninger aflæses af fig. 7 i afsnit 10. For sekundærledninger og strenger må den der aflæste værdi, B_0 , multipliceres med vægtfaktoren, b , jfr. afsnit 4.

Den midterste skala bærer til venstre en inddeling, svarende til uisolerede ledninger, hvor varmetalet er udnyttet helt, og til højre en inddeling, der svarer til isolerede ledninger.

De fuldt optrukne mærker svarer til hovedledninger (primærledninger og sekundærledninger, jfr. afsnit 4), de punkterede til strengledninger.

Eks. En hovedledning med $B = 600$ skal føre $q = 60.000$ kcal/h ved en afkøling på 15° . Af den stiplede linie ses, at dimensionen skal være 40 mm, hvis ledningen er uisoleret, 32 mm, hvis den er isoleret.

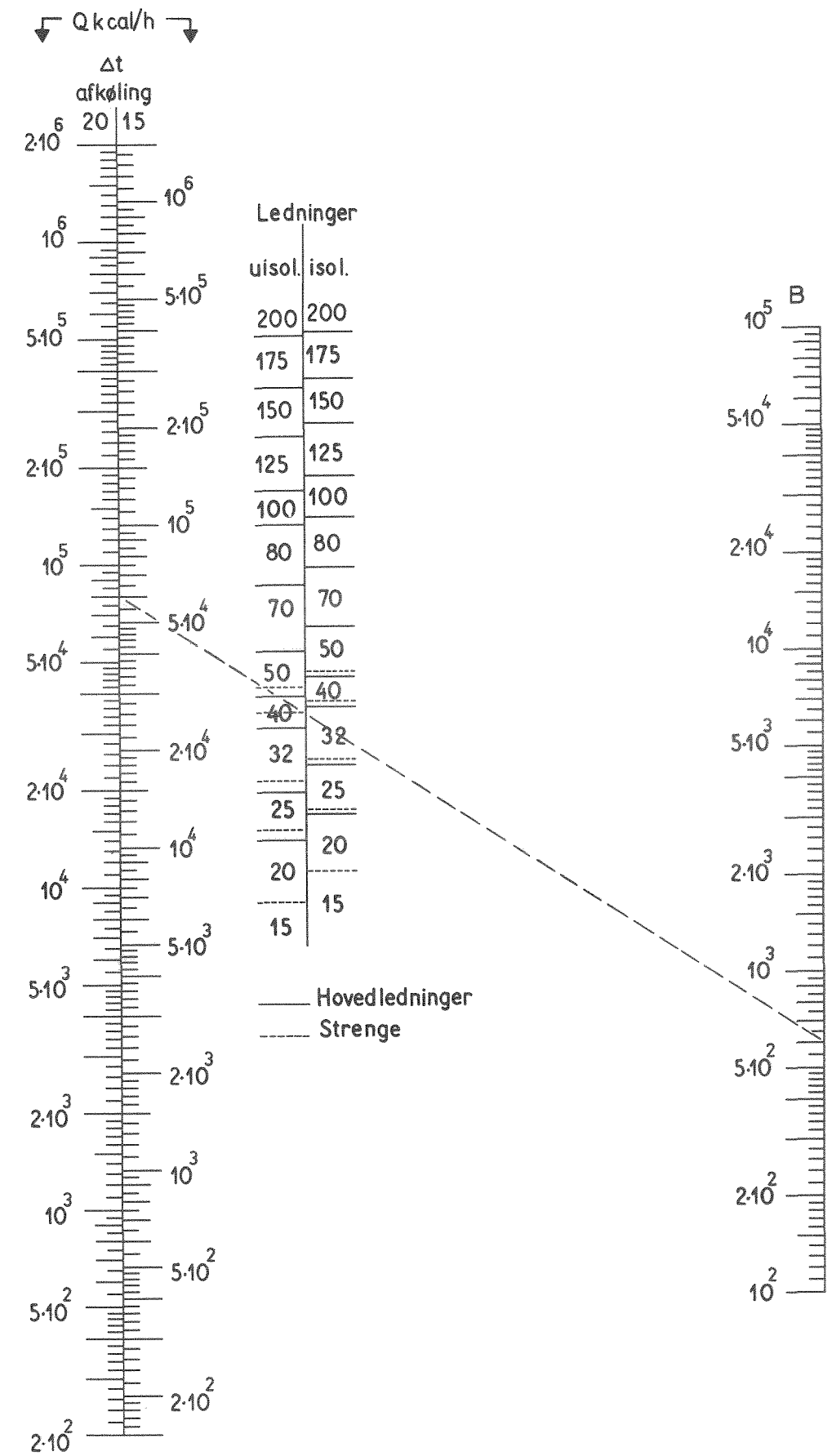


Fig. 20. Nomogram

føringen, q , ved afkølingen Δt , og når diameteren måles i mm, gælder relationen

$$q = 3600 \Delta t v \frac{\pi}{4} d^2 10^{-3} \text{ koal/h.}$$

Når dette indsættes, fås

$$B = q^{-2,8} \cdot f_d,$$

hvor

$$f_d = 1,530 \cdot 10^4 \frac{\Delta K_r}{c_d} \left[\frac{3600 \Delta t \frac{\pi}{4} d^2}{10^3} \right]^{2,8}$$

Denne størrelse afhænger kun af rørdimensionen, ikke af kalorieføringen.

Ligningen har derved fået en form, så den umiddelbart kan afbildes i nomogram med retlinede, parallelle skalaer, der for B og q bliver logaritmiske, medens skalaen for rørdimensionen afhænger af f_d 's variation.

B. Isolerede ledninger.

Ved de isolerede ledninger kan man ikke direkte gå ud fra økonomibetingelsen. Denne var temmelig kompliceret for disse ledninger, og disse komplikationer blev ophævet ved, at man gik over til at regne med grænsehastighedernes middelværdi, jfr. tabel 4.

Det er derfor nødvendigt at tage sit udgangspunkt i disse middelværdier.

Disse middelværdier blev bestemt for $B = 600$, og for at komme over til andre parameterverdier benytter man, at B er proportional med $v^{-2,8}$.

Der må da gælde følgende sammenhæng:

$$B = 600 v_m^{-2,8} v_m^{2,8},$$

hvor v_m er den omtalte middelværdi.

I stedet for v indføres nu kalorieføringen,

$$q, \quad B = q^{-2,8} \cdot f_d,$$

hvor denne gang

$$f_d = 600 v_d^{2,8} \left[3600 \Delta t \frac{\pi}{4} d^2 10^{-3} \right]^{2,8},$$

og nomogrammet kan optegnes ganske som ovenfor.

De to nomogrammer kan tegnes sammen, så man på samme blad får behandlet både uisolerede og isolerede ledninger og både 15° og 20° afkøling.

Dette nomogram er afbildet i fig. 20.

Nomogrammet kan først og fremmest anvendes til bestemmelse af den økonomiske rørdimension, når man kender vandføringen, q , og parameterverdien, B , hvilket forudsætter, at man kender vægtfaktoren, b .

Fordelen ved nomogrammet er, at det viser, hvor meget B kan variere, uden at rørdimensionen ændres, og deraf kan man se, hvor nøjagtigt det er nødvendigt at kende vægtfaktoren.

Dette er lidt af den samme fordel, som man havde ved kurvebladene, men man kan ikke direkte af nomogrammet se, hvor store vægtfaktorer der kan være tale om i det betragtede tilfælde; dette må udregnes direkte udfra q og Q .

Det er ligesom disse forhold fremgår mere "håndfast" af kurvebladene, men til gengæld kan man nøjes med eet nomogram i stedet for et stort antal kurveblade.

I virkeligheden kan først den praktiske anvendelse gennem længere tid afgøre, hvilken udformning der er lettest at arbejde med.

Herved må det dog erindres, at hvis man arbejder med kurvebladene, er det fristende at anvende samme kurveblad og dermed samme parameterverdi, B_0 , uanset om f.eks. elektricitetsprisen varierer, medens det måske ved nomogrammet er mere nærliggende at beregne den rigtige parameterverdi i hvert enkelt tilfælde.

16. PRIMÆRLEDNINGER MED VARIERENDE VANDFØRING. GENNEMREGNEDE EKSEMPLER

De gennemregneede eksempler falder i to afsnit, nemlig

de primære ledninger,

der behandles i denne paragraf, og

de sekundære ledninger og strengledninger,

der behandles i afsnit 17, hvor et forgrenet anlæg fra praksis gennemregnes.

Den væsentlige årsag til denne opdeling er, at de primære ledninger, der gennemstrømmes af hele pumpens vandføring, har vægtfaktoren 1, og i realiteten udskydes altså alle spørgsmål vedrørende vægtfaktorer til afsnit 17.

Lidt kommer man dog ind på vægtfaktorer allerede i denne paragraf i forbindelse med det gennemregneede eksempel på hovedledninger med varierende vandføring.

I denne paragraf skal dels bestemmelsen af parameteren

$$B_0 = \frac{u E'}{p' \eta}$$

og dels dimensioneringen af primære ledninger herudfra behandles.

Som det fremgår af det foregående, er for de primære ledninger

$$B = B_0,$$

medens i det almindelige tilfælde

$$B = b B_0.$$

I afsnit 17 kan man altså bestemme B_0 ganske som her, men den skal så multipliceres med vægtfaktoren, så man kommer over til den parameter, B , ud fra hvilken selve dimensioneringen sker.

Gennemførelsen af den økonomiske rørdimensionering falder i 4 dele

1. Fastlæggelse af grundmaterialet:

vandføring, q ,
driftstiden, u , jfr. afsnit 8,
procentsatsen, p , jfr. afsnit 9, fig. 4,
elektricitetsprisen, E øre/kWh,

pumpevirkningsgraden, η , (ofte sat til 0,7),
byggeindex,
kalorieprisen, K_v øre/Mcal.

2. Korrektion af E og p .

Elektricitetsprisen, E , korrigeres for elektricitetsforbrugets varmekvivalent ved anvendelse af fig. 2.

Den korrigerede elektricitetspris betegnes E'

Procentsatsen, p , korrigeres for ændringen i prisniveauet, således som denne finder udtryk i byggeindex' variation ud fra 277, ved hjælp af fig. 17. Den korrigerede procentsats betegnes p' .

3. Bestemmelse af parameteren B_0 .

Dette kan enten ske ved beregning ud fra formelen

$$B_0 = \frac{u E'}{p' \eta}$$

eller det kan ske ved interpolation på fig. 7.

4. Selve rørdimensioneringen.

Denne kan enten foretages direkte ud fra grænsehastighederne i fig. 8 og fig. 16, eller - såfremt netop $B_0 = 600$, - ud fra kurvebladene i fig. 18 og fig. 19.

Som regel vil man formentlig foretrække at foretage dimensioneringen ud fra nomogrammet i fig. 20.

Hvor der er tale om sekundære ledninger eller om strengledninger, skal man inden selve dimensioneringen bestemme vægtfaktoren, b , for de enkelte strækninger, og ved at multiplicere B_0 med denne kommer man over til parameteren, B , hvorefter nomogrammet i fig. 20 benyttes.

Der skal nu gennemregnes et par taleksempler, begge gældende for primære ledninger, altså for ledninger, der gennemstrømmes af pumpens hele vandføring.

Eks. 1. For et villaanlæg er

driftstiden $u = 227$ døgn/år, svarende til $t_1 = 20^\circ$.

Procentsatsen, p , = 10,4 %, svarende til rentefoden 8 % og afskrivning over 20 år, jfr. fig. 4.

Elektricitetsprisen, E = 25 øre/kWh.

Pumpevirkningsgraden, η = 0,7.

Byggeindex 310.

Kalorieprisen K_v = 6 øre/Mcal.

Ved hjælp af fig. 2 og fig. 17 findes de korrigerede værdier

$$E' = 19,8 \quad p' = 11,6.$$

Ved direkte udregning fås heraf

$$B_0 = \frac{227 \cdot 19,8}{11,6 \cdot 0,7} = 553.$$

Ved interpolation i fig. 7 ville man have fået

$$B_0 = \text{ca. } 560,$$

og dette må anses for fuldt ud tilstrækkelig nøjagtigt.

Den betragtede ledning skal føre $q = 20.000$ kcal/h ved 15° afkøling, og det ses af nomogrammet i fig. 20, at dimensionen skal være 20 mm, idet ledningen forudsættes isoleret.

Eks. 2. For et fabriksanlæg er

driftstiden, u = 150 døgn/år, svarende til $t_i = 10^\circ$.

Procentsatsen, p = 16 %, svarende til rentefoden 10 % og afskrivning over 10 år.

Elektricitetsprisen, E = 10 øre/kWh.

Pumpevirkningsgraden η = 0,7.

Byggeindex 290.

Kalorieprisen K_v = 3 øre/Mcal.

Ved hjælp af fig. 2 og fig. 17 findes de korrigerede værdier

$E' = 7,45$ øre/kWh og $p' = 16,75$ %, og heraf fås

$$B_0 = 95,5.$$

Ledningen, der er uisoleret, skal føre

$$q = 300.000 \text{ Kcal/h}$$

ved 15° afkøling.

Af nomogrammet i fig. 20 ses da, at dimensionen skal være 70 mm.

Det ses, at de to eksempler fører til meget forskellige værdier af parameteren B_0 .

Den lille værdi i eksempel 2 fører til små rørdimensioner, og dette skyldes

1. Den lave elektricitetspris bevirker, at

selv et ret stort pumpearbejde bliver økonomisk forsvarligt.

2. Den høje rentefod og den korte afskrivningstid bevirker, at anlægsudgiften skal holdes nede.

3. Den korte driftstid bevirker, at pumpen bliver billigere i drift, og derved at dens løftehøjde kan gøres større.

Der er næppe grund til at anføre flere eksempler af denne art, idet fremgangsmåden er den samme i alle tilfælde.

I stedet kan det være rimeligt at betragte et specielt problem, der ikke har været behandlet ovenfor, nemlig det tilfælde, hvor vandmængden i ledningerne varierer over fyringsperioden.

Det er et eksempel af en helt anden art, men det har temmelig stor praktisk interesse, og det viser sig, at når vandmængden varierer over fyringsperioden, skal man ikke vælge rørdimensionen ud fra den maksimale vandføring, men ud fra en reduceret vandføring.

Derved får man mindre rørdimension og mindre anlægsudgift.

Der skal undersøges det tilfælde, hvor en hovedledning skal forsyne lo ens blokke, der ligger på række.

Varmecentralen tænkes placeret ved den ene ende af rækken, en placering, der bliver mere naturlig, hvis man tænker sig andre rækker af blokke strålende ud til de andre sider fra varmecentralen, enten med egne pumper, eller med ledningsnet, der så nær svarer til det betragtede, at de kan undersøges hver for sig, uden at der herved begås nogen væsentlig fejl.

Der regnes kun med driften i den egentlige fyringssæson, idet man går ud fra, at der findes særlige sommerpumper, af hensyn til varmtvandsforbruget udenfor fyringsperioden. Da her vandmængden i hovedledningerne kan være stærkt nedsat, får sommerperioden ikke væsentlig indflydelse på rørdimensionerne.

Hovedsystemet har maksimal fremløbstemperatur 110° og maksimal afkøling 40° . De lokale anlæg har maksimal fremløbstemperatur 90° og 20° afkøling.

Der indføres nu betegnelserne:

Q_1 det maksimale kaloriebehov til opvarmning i de lo blokke.

Q_2 kaloriebehovet til varmtvandsproduktion i de lo blokke. Dette betragtes i det føl-

gende som konstant gennem fyringsperioden.

$Q_0 = Q_1 + Q_2$ det samlede maksimale kaloriebehov.

Q det øjeblikkelige kaloriebehov.

W_1 den til Q_1 svarende vandføring i hovedledningerne.

W_2 den til Q_2 svarende vandføring.

$W_0 = W_1 + W_2$ den samlede maksimale vandføring.

W den øjeblikkelige vandføring i hovedledningerne.

Når kaloriebehovene måles i kcal/h, og vandføringerne i l/h, vil det gælde, at

$$Q_1 = 40 W_1$$

og de analoge.

Kaloriebehovet varierer med den udvendige temperatur, og denne variation angives ved

$$Q = Q_1 \frac{20 - t_u}{35} + Q_2$$

idet som nævnt kaloriebehovet til varmtvandsproduktion for simpelhed skyld regnes konstant.

Hovedsystemet kan nu drives på 3 principielt forskellige måder, der svarer til forskellige former for tilslutning af de lokale anlæg.

1. Hvis tilslutningen af de lokale anlæg er udført som på fig. 21, vil vandcirkulationen i hovedsystemet være uafhængig af de lokale anlægs varmebehov.

Der regnes i dette tilfælde med en konstant vandmængde gennem hele fyringsperioden, og kun fremløbstemperaturen varierer med varmebehovet.

Man kan også tænke sig dette anlæg drevet med konstant fremløbstemperatur, f. eks. af hensyn til, at der i blokkene skal fremstilles særlig hedt brugsvand til et eller andet formål. Dette er imidlertid ganske underordnet for det følgende.

Det afgørende er, at vandmængden er konstant. Fremløbstemperaturen er selvfølgelig ret afgørende for størrelsen af gradtidsfaktoren og dermed for isoleringstykkelsen, men den indgår ikke i parameteren B , og det er ene og alene denne, der bestemmer rørdimensionen.

2. Hvis tilslutningen af de lokale anlæg er udført som vist på fig. 22, vil vandføringen i hovedledningerne afhænge dels af fremløbstemperaturen, dels af varmebehovet i de lokale anlæg.

Hvis man varierer fremløbstemperaturen således, at vandføringen bliver konstant, svarer dette tilfælde til tilfælde 1 og behøver ikke at undersøges nærmere.

Hvis man derimod holder fremløbstemperaturen konstant, f.eks. af hensyn som nævnt ovenfor, vil vandmængden variere med den udvendige temperatur, og der kommer de ganske interessante forhold frem.

Her skal betragtes det tilfælde, hvor hovedcirkulationen sker ved en pumpe med konstant omløbstal gennem hele fyringsperioden.

3. Dette tilfælde svarer nøje til tilfælde 2, bortset fra, at pumpe n forudsættes at have kommutatormotor, således at omløbstallet kan varieres kontinuert, og det tænkes reguleret således, at man holder et konstant trykfald over den yderste blok.

I dette tilfælde vil pumpen altså ikke yde større tryk end til enhver tid påkrævet.

Disse tre tilfælde skal nu undersøges nærmere.

Når vandcirkulationen er konstant, er den

$$W = W_0 = W_1 + W_2.$$

Når den varierer med den udvendige temperatur, bliver den

$$W = W_1 \frac{20 - t_u}{35} + W_2.$$

Trykfaldet i ledningerne regnes proportionalt med vandføringens kvadrat, og pumpearbejdet bliver altså proportionalt med 3. potens af vandføringen.

Ved fuldlast bliver da kraftforbruget:

$$N_0 = a \cdot W_0^3.$$

Når vandføringen er konstant, bliver gennem hele fyringsperioden

$$N = N_0.$$

Hvis vandføringen varierer, og pumpen har konstant omløbstal, kan man regne med, at kraftforbruget varierer retlinet med vandmængden og bliver omtrent halveret ved tomgang.

Dette gælder for en hel del pumper med ret god tilnærmelse, og hvor det ikke gælder, kan man i reglen ret let erstatte det med en anden, tilsvarende simpel sammenhæng.

Det svarer til

$$N = \frac{1}{2} a W_0^3 + \frac{1}{2} a W_0^2 W = \frac{1}{2} a W_0^2 (W_0 + W).$$

Når pumpens omløbstal varierer, så den ikke yder større tryk end påkrævet, bliver

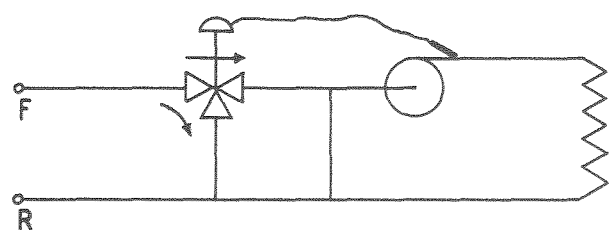


Fig. 21. Eksempel på tilslutning af lokale anlæg, hvor den vandmængde, der cirkuleres i hovedledningerne, er konstant.

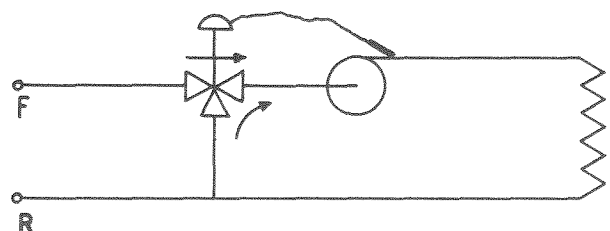


Fig. 22. Eksempel på tilslutning af lokale anlæg, hvor der kun cirkuleres den nødvendige vandmængde i hovedledningerne.

$$N = a W^3,$$

og selv om der ved de små vandmængder er en vis nedgang i virkningsgrad, vil den i reglen være ret beskeden, og der ses bort fra den i det følgende.

Det afgørende for rørdimensioneringen var, hvor stort pumpearbejdet gennem fyringssæsonen var, og i de tre betragtede tilfælde skal derfor det gennemsnitlige kraftforbrug over fyringsperioden beregnes.

I første tilfælde er trivielt

$$N_{m,1} = N_0 = a W_0^3.$$

I andet tilfælde er

$$N_{m,2} = \frac{1}{u} \int N d\tau = \frac{1}{2} a W_0^2 \left(W_0 + \frac{1}{u} \int W d\tau \right) \\ = \frac{1}{2} a W_0^2 \left(W_0 + W_1 \frac{1}{u} \int \frac{20 - t_u}{35} d\tau + W_2 \right)$$

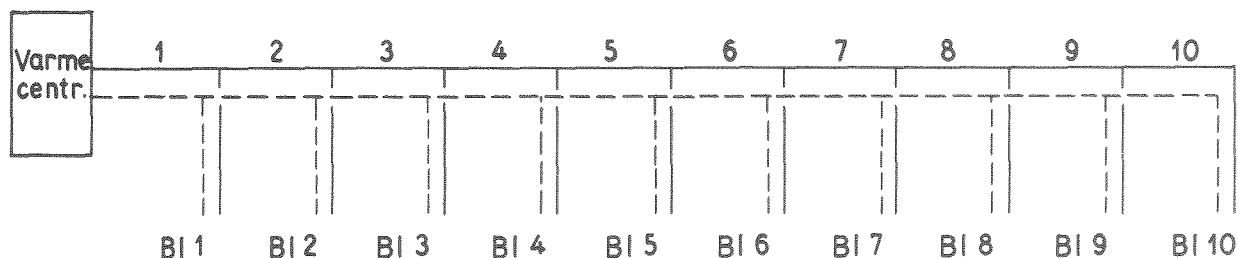


Fig. 23. Principskitse af hovedledninger til 10 blokke.

$$= \frac{1}{2} a W_0^2 (W_0 + 0,46 W_1 + W_2)$$

I tredje tilfælde er

$$N_{m,3} = \frac{1}{u} \int N d\tau = a \frac{1}{u} \int (W_1 \frac{20 - t_u}{35} \\ + W_2)^3 d\tau \\ = a \left\{ W_1^3 \frac{1}{u} \int \left(\frac{20 - t_u}{35} \right) d\tau + \right. \\ \left. 3 W_1^2 W_2 \frac{1}{u} \int \left(\frac{20 - t_u}{35} \right)^2 d\tau \right. \\ \left. + 3 W_1 W_2^2 \frac{1}{u} \int \frac{20 - t_u}{35} d\tau + W_2^3 \right\} \\ = a \left\{ 0,12 W_1^3 + 0,69 W_1^2 W_2 + 1,38 W_1 W_2^2 + W_2^3 \right\}$$

Udregningen af integralerne fremgår af tabel 8.

For at kunne sammenligne disse værdier kan man sætte

$$W_2 = 0,1 W_1,$$

og får da, idet

$$W_0 = 1,1 W_1,$$

at

$$N_{m,1} = a W_0^3$$

$$N_{m,2} = 0,5 a W_0^2 (W_0 + 0,56 W_1) = 0,754 a W_0^3$$

$$N_{m,3} = 0,2038 a W_1^3 = 0,153 a W_0^3$$

Det ses altså, at kraftforbruget er langt mindre i tilfælde 3 end i de to andre.

Hovedundersøgelsen af den økonomiske rørdimensionering forudsatte konstant vandføring, men ved en nærmere gennemgang af afsnit 5 vil man konstatere, at denne forudsætning ikke er væsentlig, men at det netop er kraftforbruget over fyringsperioden, der indgår i økonomibetingelsen.

Derfor kan undersøgelsens resultater uden videre anvendes på alle de tre betragtede tilfælde.

Man skal blot i de to sidste tilfælde ikke regne med den fulde vandføring, W_0 , men med den vandføring, der ville give samme kraftforbrug over hele fyringssæsonen, hvis den konstant var til stede.

Man skal følgelig regne med følgende vandmængder:

$$W_1^x = W_0 \\ W_2^x = \sqrt[3]{0,754} W_0 = 0,91 W_0 \\ W_3^x = \sqrt[3]{0,153} W_0 = 0,535 W_0.$$

Det ses, at vandmængden i det andet tilfælde skal reduceres med ca. 9%, medens den i tredje tilfælde skal reduceres med ca. 46%.

Den førstnævnte reduktion får kun på et enkelt sted indflydelse på rørdimensionen, medens den anden overalt giver anledning til en dimensionsnedgang.

Der kan udmærket tænkes andre udformninger af hovedpumperne.

Man kan f.eks. have pumper med polomkøbbelbare motorer, så omløbstallet kan nedsættes trinvis, eller man kan have flere pumper parallelt, hvoraf kun det nødvendige antal er i drift.

Disse tilfælde kan behandles på analog måde, men de er mere komplicerede, da sammenhængen mellem vandføring og kraftforbrug ikke følger en simpel lov, men varierer diskontinuert.

Når man først har foretaget den nødvendige reduktion af vandmængderne, er selve rørdimensioneringen ganske normal.

Hvis man regner med, at $B_0 = 600$, og at hver blok har et maksimalt varmebehov på

100.000 Kcal/h,
svarende til
2.500 l/h,

vil de forskellige ledninger få de i tabel 7 angivne vandføringer.

For tilfælde 1 skal vandføringerne ikke reduceres, men i de andre tilfælde skal de reduceres med resp. ca. 9% og ca. 46%.

De nederste linier i tabellen angiver dels vægtfaktoren for de forskellige strækninger og dels de tilsvarende parameterverdier, B.

Der er her regnet med, at man ikke i de lokale anlæg kan udnytte de overskydende trykfald fra hovedledningerne, således at vægtfaktorerne bliver bestemt ved

$$b = \frac{Q}{q},$$

forholdet mellem den totale og den lokale vandføring.

Da der er foretaget samme procentvise reduktion af alle vandmængderne, ændrer reduktionen ikke vægtfaktorerne, som bliver de samme i alle tre tilfælde.

Det ses, at anvendelsen af kommutatormotoren helt igennem har reduceret rørdimensionerne et trin.

Til slut skal anføres nogle generelle bemærkninger vedrørende undersøgelsens anvendelse på hovedledninger.

Der er ikke ved undersøgelsen taget hensyn til de særlige forhold, der knytter sig til hovedledninger i terræn.

Tilf.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	W_1^x	25.000	22.500	20.000	17.500	15.000	12.500	10.000	7.500	5.000	2.500
	d	80	80	80	80	80	70	70	70	50	40
2	W_2^x	22.750	20.475	18.200	15.925	13.650	11.375	9.100	6.825	4.550	2.275
	d	80	80	80	80	70	70	70	70	50	40
3	W_3^x	13.400	12.060	10.720	9.380	8.040	6.700	5.360	4.020	2.680	1.340
	d	70	70	70	70	70	50	50	50	40	32
	b	1,0	1,11	1,25	1,43	1,67	2,0	2,5	3,33	5	10
	B	600	666	750	858	1000	1200	1500	2000	3000	6000

Tabel 7. Dimensionering af hovedledninger.

t_u	Δt	$20-t_u$	$\frac{\Delta t}{35}$	$(\frac{\Delta t}{35})^2$	$(\frac{\Delta t}{35})^3$
- 17					
- 16	0,02	36,5	1,0429	1,0876	1,1343
- 15	0,03	35,5	1,0143	1,0288	1,0435
- 14	0,05	34,5	0,9857	0,9716	0,9577
- 13	0,03	33,5	0,9571	0,9160	0,8767
- 12	0,05	32,5	0,9266	0,8623	0,8007
- 11	0,15	31,5	0,9000	0,8100	0,7290
- 10	0,13	30,5	0,8714	0,7593	0,6617
- 9	0,37	29,5	0,8429	0,7105	0,5989
- 8	0,55	28,5	0,8143	0,6631	0,5400
- 7	0,77	27,5	0,7857	0,6173	0,4850
- 6	1,25	26,5	0,7571	0,5732	0,4340
- 5	1,92	25,5	0,7286	0,5309	0,3868
- 4	2,75	24,5	0,7000	0,4900	0,3430
- 3	4,93	23,5	0,6714	0,4508	0,3027
- 2	6,82	22,5	0,6428	0,4132	0,2656
- 1	9,37	21,5	0,6143	0,3774	0,2318
0	11,85	20,5	0,5857	0,3430	0,2009
1	17,20	19,5	0,5571	0,3104	0,1729
2	20,82	18,5	0,5286	0,2794	0,1477
3	20,85	17,5	0,5000	0,2500	0,1250
4	19,12	16,5	0,4714	0,2222	0,1047
5	19,37	15,5	0,4429	0,1962	0,0869
6	16,18	14,5	0,4142	0,1716	0,0711
7	15,77	13,5	0,3857	0,1488	0,0574
8	13,83	12,5	0,3571	0,1275	0,0455
9	10,42	11,5	0,3286	0,1080	0,0355
10	9,13	10,5	0,3000	0,0900	0,0270
11	7,12	9,5	0,2714	0,0737	0,0200
12	6,40	8,5	0,2428	0,0590	0,0143
13	4,48	7,5	0,2143	0,0459	0,0098
14	2,52	6,5	0,1857	0,0345	0,0064
15	1,42	5,5	0,1571	0,0247	0,0039
16	0,60	4,5	0,1286	0,0165	0,0021
17	0,45	3,5	0,1000	0,0100	0,0010
18	0,20	2,5	0,0714	0,0051	0,0004
19	0,05	1,5	0,0429	0,0018	0,0001
20	0,03	0,5	0,0143	0,0002	0,0000

$$\frac{1}{u} \int_u \frac{\Delta t}{35} d\tau = 0,4591 \quad \frac{1}{u} \int_u \left(\frac{\Delta t}{35}\right)^2 d\tau = 0,2301$$

$$\frac{1}{u} \int_u \left(\frac{\Delta t}{35}\right)^3 d\tau = 0,1202.$$

Tabel 8. Beregning af middelværdier af temperaturdifferensernes potenser.

Der er regnet med en stuetemperatur på 20°C. Δt angiver det antal døgn pr. år, hvor den udvendige temperatur ligger i det tilsvarende interval, f.eks. ligger temperaturen i 11,85 døgn pr. år mellem 0° og - 1°.

De udregnede middelværdier anvendes i det gennemregnede eksempel på hovedledninger med varierende vandføring.

For det første vil ledningsdimensionen ofte have indflydelse på kanalstørrelsen, og anlægsudgiften til kanalen spiller så meget stærkt ind i den økonomiske balance.

Dette vil medføre, at der gennemgående skal anvendes mindre rørdimension, end man får af kurveblad eller nomogram.

Anlægsudgifterne til varmekanaler varierer imidlertid så stærkt med kanaltypen og med spørgsmålet, om kanalen også skal indeholde andre ledninger, at det er umuligt at behandle dette generelt.

For det andet er der ikke taget hensyn til, at jorden uden om kanalen virker som en forøget isolering, eller til at man ofte anvender helt andre former for isolering ved ledninger i jordkanaler, eller til at al den afgivne varme går tabt.

Det må imidlertid formodes, at disse forhold kun har ret lille indflydelse på den økonomiske rørdimension, og hvis man i de enkelte tilfælde er i tvivl om rigtigheden heraf, må en særlig undersøgelse gennemføres ud fra de i det konkrete tilfælde foreliggende forhold.

Ved behandlingen af de særlige eksempler er der ikke taget hensyn til, at det i nogle tilfælde kan betale sig at opdele hovedpumperne, så de egentlige hovedpumper i varmecentralen kun skal sende vandet ud til f.eks. blok nr. 5, hvor der så findes en trykforøgerpumpe, som sender den halve vandmængde videre ud til de sidste blokke.

Dette spiller en væsentlig rolle for rørdimensioneringen, idet man ved de yderste strækninger kun får halvt så store vægtfaktorer og derved i almindelighed også mindre dimension.

En ret detaljeret undersøgelse af sådanne forhold er udarbejdet af professor John Rydberg [3].

17. GENNEMREGNING AF ET FORGRENET ANLÆG

Som eksempel på anvendelsen af den økonomiske rørdimensionering skal et anlæg fra praksis gennemregnes.

Anlægget er projekteret i 1954 og må anses for at være et udmærket eksempel på god ingeniørpraksis.

Det ville være ganske urimeligt at bebrejde den, der har projekteret anlægget, at han ikke har haft adgang til egnet materiale vedrørende økonomisk dimensionering, men det viser sig, at der næsten ikke er en ledningsstrækning, der ikke skal ændres.

Kedelrummet er udformet som vist på fig. 24, idet der er to kedler, facadeopdeling med en cirkulationspumpe for hver facade og en særlig cirkulationspumpe for varmtvandsbeholderen.

I almindelighed må det anbefales at anvende "vendt retur" ved kedlerne, så der bliver samme trykfald gennem begge kedler.

Det var der imidlertid ikke ved det betragtede anlæg.

De tal, der står over ledningerne, er de maksimale kalorieføringer ved 15° afkøling.

Tallene under ledningerne angiver den økonomiske rørdimension og, i parentes, den virkelige anvendte.

Da pumpetrykket er bestemt ved det tilfælde, hvor hele vandmængden skal passere gennem kedlerne, er ledningerne ved kedlerne dimensioneret som primære ledninger, altså med vægtfaktor $b = 1$.

Der er regnet med $B_0 = 600$.

Da ledningen til varmtvandsbeholderen har egen cirkulationspumpe, må også denne behandles som primær ledning.

Ledningerne til facaderne er også primære ledninger, idet de gennemløbes af pumpernes totale vandmængder.

Da alle de betragtede ledninger har $b = 1$, og da B_0 er kendt, foretages selve dimensioneringen umiddelbart ud fra nomogrammet i fig. 20.

Der er to særlige synspunkter, som man må tage i betragtning ved et kedelanlæg af denne type.

For det første skal ledningerne ved kedlerne være så store, at der ikke kommer alt for store trykfald gennem blandeventilerne.

I det foreliggende tilfælde vil disse trykfald

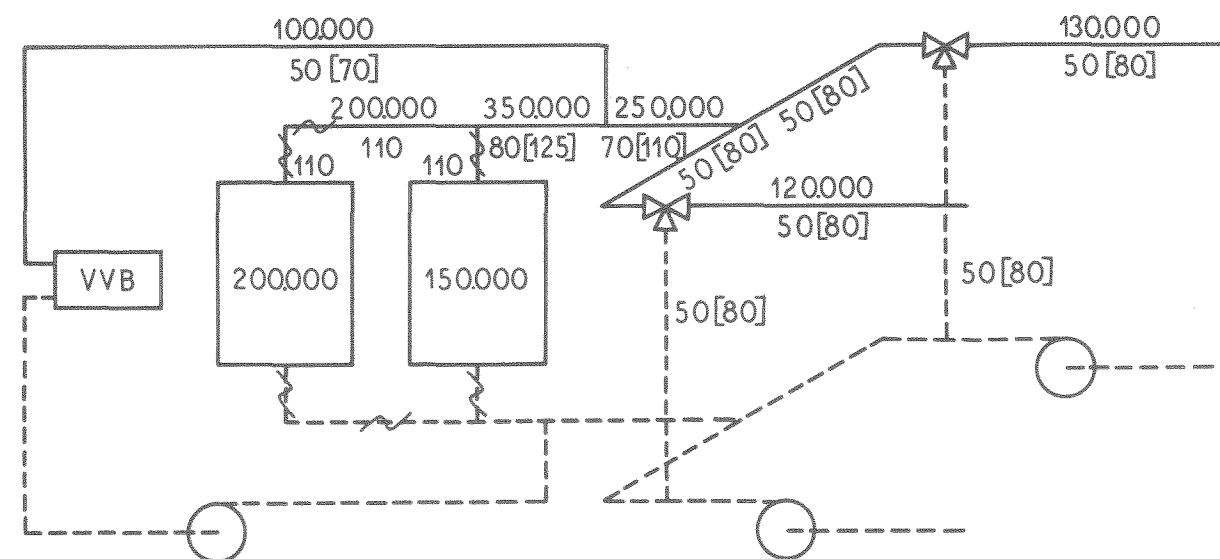


Fig. 24. Diagram af kedelrummet i det gennemregnede eksempel.

Oven over ledningerne er angivet de maksimale kalorieføringer ved 15° afkøling. Under ledningerne står i parentes den reelt valgte dimension, medens der uden for parentesen står den økonomiske rørdimension.

Det ville formentlig have været bedre, om der ved kedlerne havde været "vendt retur", så der var kommet samme trykfald gennem begge kedler.

med den økonomiske rørdimensionering ligge nede på

ca. 3 - 400 mmVS,

hvilket ikke kan siges at være afskrækkende.

For det andet er det vigtigt, at vandfordelingen mellem de to kedler bliver nogenlunde korrekt, så kedlerne kan udnyttes fuldt og få omtrent samme afgangstemperatur.

Dette sikrer man sig ved at vælge store dimensioner for kedelaf- og -tilgang og for "samlerne" på fremløb og retur. Dette er særlig vigtigt, når afgang fra samleren sker fra den ene ende i stedet for fra midten.

Disse ledningsstrækninger er mærket med ~ på fig. 24, og selv om den økonomiske dimension for disse ledninger er 70 mm, vil det være rigtigt at lægge dem i større dimension.

Bortset fra dette ser man, at samtlige ledninger har fået væsentlig mindre dimension ved den økonomiske dimensionering.

Opspædningsledningen fra returen til blandeventilen er valgt til 50 mm ligesom fremløbsledningerne til facaderne.

Dette er i og for sig ikke økonomisk korrekt, idet denne ledning burde dimensioneres, så den gav samme trykfald som ledningerne gennem kedlerne.

Dette ville imidlertid give ret store hastigheder, og det ville nødvendiggøre overgangsstykker

ke ved blandeventilen, såfremt denne reelt har dimensionen 50 mm; ofte skal blandeventiler jo have mindre dimension end de tilsluttende rørledninger.

Det må afhænge af de lokale forhold, om det kan betale sig at sætte dimensionen på dette ledningsstykke ned, så man udnytter det fulde trykfald.

Varmeanlægget er enstrenget med øvre fordeling, og da kedelanlægget ligger midt under huset, er hovedstigledningerne sluttet til midt på facaderne.

Da hver facade har sin egen pumpe, kan facaderne betragtes som selvstændige anlæg.

Endvidere falder hver facade i to halvdele, en til venstre og en til højre for stigledningen, og disse to halvdele er så nær symmetriske, at de hver for sig kan behandles som selvstændige anlæg.

En stigning i pumpetrykket vil kunne udnyttes lige godt i begge halvdele.

Fig. 25 viser den ene halvdel af den øvre fordelingsledning i en facade.

Alle disse strækninger dimensioneres nu, som om anlæggets samlede kaloriebehov var

64.130 kcal/h,

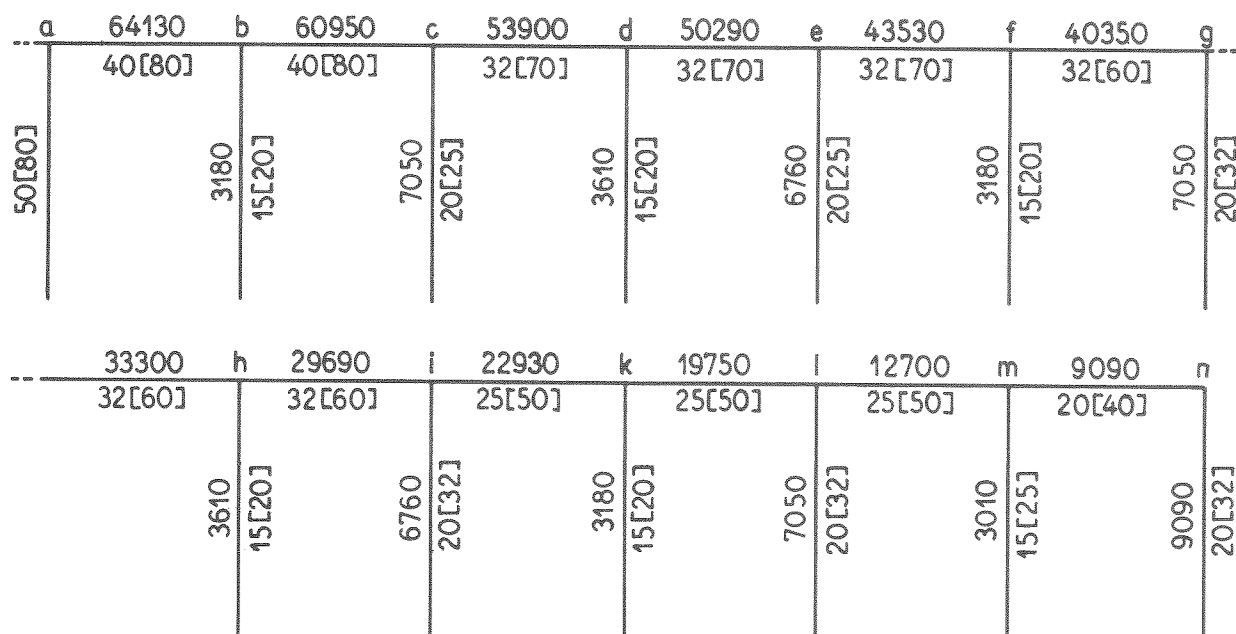


Fig. 25. Diagram af fordelingsledninger og strenge i det gennemregnede eksempel.

Oven over ledningerne er angivet de maksimale kalorieføringer ved 15° afkøling. Under ledningerne er i parentes anført de reelt valgte dimensioner; uden for parentesen står de økonomiske rørdimensioner.

og der regnes med størst mulig vægtfaktor, idet man ikke i væsentlig grad kan udnytte en forøgelse af pumpetrykket i strengene.

Hvis man anvender kurvebladet, skal alle dimensioneringspunkterne ligge på den lodrette linie, der svarer til

$$Q = 64.130 \text{ kcal/h} \sim 4.275 \text{ l/h,}$$

og højden er bestemt ved de enkelte strækningers maksimale kalorieføring.

Hvis man anvender nomogrammet, bliver vægtfaktorerne

$$\frac{64.130}{60.950}, \frac{64.130}{53.900}, \text{ o.s.v.,}$$

og parameterverdierne fås heraf ved multiplikation med $B_0 = 600$, jfr. tabel 9.

Det ses, at også her ligger de økonomiske dimensioner væsentligt under de anvendte.

Dimensioneringen af strengene skal ikke gennemføres i detaljer her.

Ved at tillægge de tre yderste strenge maksimal vægtfaktor ser man, at de højst skal være 20, 15 og 20 mm.

Hermed er da pumpetrykket bestemt, og alle andre strengdimensioner kan da findes ud fra de disponible drivtryk.

Det vil være nødvendigt at indsætte afpassede enkeltmodstande i praktisk talt alle strenge for at sikre den rigtige vandfordeling.

Det vil kun være et par af de yderste strenge, der kan undvære en sådan enkeltmodstand.

Enkeltmodstandenes størrelser vil fremgå af rørberegningen, der ikke skal gennemføres her.

Det vil næppe være rimeligt at lægge alle strengene i 15 mm, selv om dette ud fra rent økonomiske synspunkter vil være rigtigt, bortset fra de to - tre yderste, idet man herved ville få hastigheder på ca. 1 m/sec i disse små ledninger, og det muligvis kunne give anledning til støj.

De strenge, som har stor vandføring, - f.eks. over 6000 kcal/h, - bør formentlig lægges som 20 mm.

Det er vanskeligt uden en udførlig, tilbudsmæssig gennemregning at bedømme, hvor meget anlægget bliver billigere ved den økonomiske rørdimensionering, men hvis man skønner over de optrædende rørlængder og ganske ser bort fra armaturpriser og fra de besparelser, der ligger i, at armaturernes dimension går ned, kan man ud fra prisniveau oktober 1952 anslå anlægsudgifterne til rørledninger og isolering til

med de virkelige dimensioner: ca. kr. 17.000,- med de økonomiske dimensioner: ca. kr. 11.200,-

Dette svarer til en reduktion på

ca. 34 %.

og den reelle besparelse vil formentlig blive endnu større, når der tages hensyn til armaturpriserne.

Det valgte eksempel var for så vidt heldigt, som den økonomiske dimensionering kunne gennemføres til bunds uden vanskelige skøn over vægtfaktorerne.

Derimod er der ingen grund til at tro, at eksemplet også skulle være særlig heldigt, hvad besparelsen angår, og man vil formentlig kunne regne med, at

anlægsudgiften til rørarbejde og isolering i langt de fleste tilfælde vil kunne reduceres med op imod en trediedel, når den økonomiske rørdimensionering anvendes.

Hvis man undersøger, hvorledes besparelsen fordeles sig mellem primære og sekundære ledninger på den ene side og strenge på den anden side, viser det sig, at besparelsen på strengene kun er

ca. 25 %.

Strækning	q	b	B	d _ø	d _r
a - b	64.130	1,000	600	40	80
b - c	60.950	1,052	631	40	80
c - d	53.900	1,190	714	32	70
d - e	50.290	1,275	765	32	70
e - f	43.530	1,473	884	32	70
f - g	40.350	1,589	953	32	60
g - h	33.300	1,926	1156	32	60
h - i	29.690	2,160	1296	32	60
i - k	22.930	2,797	1687	25	50
k - l	19.750	3,247	1948	25	50
l - m	12.700	5,050	3030	25	50
m - n	9.090	7,055	4233	20	40

Tabel 9. Økonomisk dimensionering af fordelingsledninger.

Tabellen henviser til eksemplet i fig. 25.

Der er regnet med $B_0 = 600$, og alle strækninger har fået de maksimale vægtfaktorer,

$$b = \frac{Q}{q}.$$

Den økonomiske rørdimension er betegnet $d_ø$, den reelt benyttede d_r .

således at hovedparten af besparelsen ligger på de primære og sekundære ledninger. Dette skyldes uden tvivl, at prisforskellene er størst ved de store dimensioner, medens det prismæssigt ikke betyder stort, om en ledning lægges som 15 eller 20 mm.

Når man anvender den økonomiske rørdimensionering, vil gennemgående trykfaldene stige ganske

væsentligt, og

det er derfor ganske afgørende, at man sikrer vandfordelingen ved indskydelse af passende enkeltmodstande.

Hvis man ikke er meget omhyggelig med dette, vil det være aldeles uforvarsligt at anvende økonomisk rørdimensionering af sekundære ledninger.

18. DIMENSIONERINGEN AF DE SEKUNDÆRE KREDSLØB (Et afsnit, som ikke vil blive anvendt i praksis)

Det dimensioneringsmateriale, der er udviklet ovenfor, kan umiddelbart anvendes til de primære ledninger, og med en vis usikkerhed ved bedømmelsen af vægtfaktoren giver det også mulighed for en rationel dimensionering af det eller de længste kredsløb, de kredsløb, der er afgørende for pumpetrykket.

Herved får man da også pumpetrykket fastlagt.

Dimensioneringen af de øvrige ledningsstrækninger i anlægget kan også foretages på rationel måde, men det er væsentlig mere kompliceret, og det må derfor anses for meget tvivlsomt, om det vil blive gjort i praksis.

Når hovedkredsløbet eller hovedkredsløbene er blevet fastlagt, vil resten af ledningsnettet i reglen kunne spaltes op i enkelte dele, der begynder og ender i punkter af hovedkredsløbet.

Disse dele vil vi for nemheds skyld betegne "sekundære kredsløb", uanset at der egentlig ikke er tale om sluttede kredsløb, med mindre man medregner en del af hovedkredsløbet, hvilket ikke skal gøres her.

For et sådant sekundært kredsløb kendes vandmængderne og det disponible drivtryk.

I de fleste tilfælde vil det disponible drivtryk være ret rigeligt til disse kredsløb, således at de forholdsvis skal have mindre dimensioner end tilsvarende dele af hovedkredsløbet. I modsat fald ville det nemlig have været disse kredsløb, der var bestemmende for pumpetrykket.

Da det samlede drivtryk ligger fast, må økonomibetingelsen nødvendigvis blive en anden end tidligere, idet elektricitetsprisen ikke spiller ind.

Hvis det sekundære kredsløb ikke er forgrenet, er dimensioneringen af det ganske trivielt. Det har da overalt samme vandføring, og der skal vælges en eller to dimensioner, der er så små som muligt, således at netop det forhåndenværende drivtryk forbruges. Hertil behøver man ingen andre hjælpemidler end et nomogram til rørberegning, jfr. fig. 3.

Af hensyn til det følgende er det imidlertid hensigtsmæssigt at behandle dette simple tilfælde ret udførligt, idet det sekundære kredsløb betragtes som bestående af en del ledningsstrækninger, der nummereres fortløbende.

Driftsudgifterne bliver da

$$D = p \sum_n (K_{r,n} + K_{is,n}) L_n + 24 \cdot 10^{-3} a g K_v \sum_n k_n L_n$$

Når det samlede drivtryk ligger fast, vil

$$\sum_n J_n L_n = J_0$$

være konstant, og hvis faktoren b_0 har samme værdi for alle ledningsstrækningerne, kan man lige så godt søge minimum for det længere udtryk

$$D' = p \sum_n [K_{r,n} + K_{is,n}] L_n + 24 \cdot 10^{-3} a g K_v \sum_n k_n L_n + 24 \cdot 2,723 \cdot 10^{-6} \frac{b_0 u E}{\eta} \sum_n Q_n J_n L_n$$

idet det sidste led er konstant. (Q_n er i realiteten uafhængig af n).

Denne omskrivning af driftsudgifterne bevirker, at man kan anvende diagrammerne fra afsnit 14, når blot vægtfaktoren, b_0 , vælges, så man får det rigtige samlede driftstryk.

Medens det, som nævnt, vil være en urimelig kompliceret fremgangsmåde for uforgrenede sekundære kredsløb, bliver den tilsvarende fremgangsmåde aktuel, når der er tale om forgrenede kredsløb.

Ved sådanne kredsløb indføres foruden den ovennævnte fælles vægtfaktor, b_0 , også den sædvanlige vægtfaktor, b , og ved bedømmelsen af dennes størrelse går man frem på sædvanlig måde, idet Q dog kun skal være den totale vandmængde i det sekundære kredsløb.

Driftsudgifterne bliver da

$$D = p \sum_n (K_{r,n} + K_{is,n}) L_n + 24 \cdot 10^{-3} a g K_v \sum_n k_n L_n + 24 \cdot 2,723 \cdot 10^{-6} \frac{b b_0 u E}{\eta} \sum_n Q_n J_n L_n$$

Disse forgrenede sekundære kredsløb kan nu behandles ganske som det oprindelige anlæg, blot med den forskel, at i stedet for at man finder pumpetrykket ud fra dimensioneringen, skal man her bestemme den fælles vægtfaktor, b_0 , så drivtrykket får den rigtige værdi.

Herved får man indenfor det sekundære kredsløb dimensioneret det partielle "kredsløb", der stiller størst krav til drivtrykket.

Når dette kredsløb er dimensioneret, vil det betragtede sekundære kredsløb være spaltet op i mindre "sekundære kredsløb", der igen kan behandles på tilsvarende måde.

Hvis det anlæg, der skal dimensioneres, er

stærkt forgrenet, kan det blive nødvendigt at betragte adskillige på hinanden følgende sådanne opdelinger, og projekteringsarbejdet kan herved blive ganske urimeligt.

I praksis vil det atter højst være rimeligt at gennemføre den angivne fremgangsmåde så langt, at samtlige større ledninger i anlægget er dimensionerede, og herefter vil man tilstrækkelig godt kunne skønne over de rimelige dimensioner for resten af anlægget.

Det må erindres, at alene det forhold, at pumpetrykket fastlægges på et rationelt niveau, i høj grad vil præge valget af dimensioner i de sekundære kredsløb.

19. TILLÆG: NOMOGRAM FOR VARMEAFGIVELSEN FRA ISOLEREDE LEDNINGER

Der foreligger allerede visse nomogrammer til bestemmelse af varmetabet fra isolerede rør, jfr. f.eks. J. Winther-Nielsen [4].

Disse nomogrammer er imidlertid ret omstændelige at arbejde med, og man har indtryk af, at nøjagtigheden derved ofte i praksis bliver ret problematisk.

Det nomogram, der skal udarbejdes nedenfor, er særdeles bekvemt at arbejde med, og for næsten alle praktiske tilfælde er det fuldt ud tilstrækkelig nøjagtigt. På den anden side er nomogrammets enkelthed opnået på bekostning af den principielle nøjagtighed, og ved usædvanlige opgaver må det anvendes med forbehold.

Varmetabet fra en isoleret rørledning kan angives ved

$$Q = S (T - t) \text{ kcal/h.m.},$$

hvor T er temperaturen i rørledningen, t omgivelsernes temperatur og S transmissionskoefficienten pr. lb.m.

Nomogrammet skal give oplysning om størrelsen

$$q = S \text{ kcal/h.m. } ^\circ\text{C},$$

således at man, når denne størrelse multipliceres med temperaturdifferensen, finder varmeafgivelsen pr. lb.m.

For S gælder formlen

$$\frac{1}{S} = \frac{m_i}{\pi d} + \frac{m_u}{\pi(d + 2e)} + \frac{e}{\pi\lambda d_m}$$

hvor m_i er den indre og m_u den ydre overgangsmodstand, λ varmeledningstallet for isoleringen, d rørdiameteren og e isoleringstykkelsen, jfr. fig. 26. Der skelnes ikke mellem indre og ydre rørdiameter eller rettere, man begår den tilnærmelse at regne med den ydre rørdiameter og at se bort fra varmeledningsmodstanden i rørvæggen. d_m er mideldiameteren, altså

$$d_m = d + e.$$

Både ved stål- og kobberør er det uden videre tilladeligt at se bort fra rørvæggens varmeledningsmodstand. Ved plasticør er dette mere

tvivlsomt, og hvis isoleringen er tynd, vil det give anledning til, at man finder lidt for store varmetab.

For yderligere at forenkle forholdene ser man bort fra den indre overgangsmodstand fra det strømmende medium til rørvæggen.

For ledninger, der fører vand eller mættet damp er denne overgangsmodstand meget lille i forhold til isoleringsmodstanden, og for ledninger, der fører overhødet damp, er overgangsmodstanden vel større, men samtidig er isoleringstykkelsen normalt temmelig stor, så overgangsmodstanden alligevel ikke spiller nogen rolle.

Hvis der undtagelsesvis er tale om ledninger, hvor den indre overgangsmodstand er stor (f.eks. ledninger for svær olie), og hvor isoleringen er tynd, vil nomogrammet give for store varmetab.

Hvad den ydre overgangsmodstand angår, vil det være ret sjældent, at ledningerne befinder sig i det fri og er udsat for direkte blæst.

Som regel vil de være indendørs, og varmeafgivelsen fra overfladen vil skyldes stråling og konvektion.

For sådanne rør kan man (jfr. eks. Hütte I, 27. opl. side 595) regne med en varmeafgivelse på

$$Q = 3,5 \cdot \sqrt[4]{D^3 \Delta t^5},$$

hvor Δt er temperaturforskellen mellem isole-

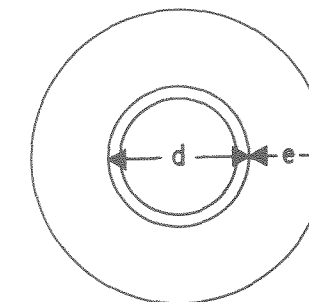


Fig. 26. Snit i isoleret rørledning.

ringens overflade og den omgivende luft. Dette svarer til

$$m_u = \frac{\pi}{3,5} \left(\frac{D}{\Delta t}\right)^{\frac{1}{4}} = 0,9 \left(\frac{D}{\Delta t}\right)^{\frac{1}{4}},$$

hvor D måles i m og betegner den ydre diameter af rør med isolering, altså med de tidligere benyttede betegnelser størrelsen $d + 2e$.

Som eksempler kan anføres

$$\begin{aligned} D = 0,1 \text{ m} & \quad t = 20^\circ\text{C} & \quad m_u = 0,24 \\ D = 0,2 \text{ m} & \quad t = 10^\circ\text{C} & \quad m_u = 0,34 \\ D = 0,1 \text{ m} & \quad t = 40^\circ\text{C} & \quad m_u = 0,20. \end{aligned}$$

Det er ikke muligt at fastsætte en værdi for m_u , der er korrekt i alle tilfælde, men hvis man sætter $m_u = 0,20$, er man i de fleste tilfælde lidt på den sikre side, (d.v.s. man finder lidt for store varmetab), og det må iøvrigt erindres, at jo større isoleringstykkelsen er, desto mindre vil fejlen blive.

Indføres denne værdi for m_u , fås

$$\frac{1}{S} - \frac{200}{\pi(d + 2e)} - \frac{e}{\pi\lambda(d + e)} = 0,$$

hvor d og e måles i mm.

Hvis man vil undersøge, hvor meget en fejl på m_u betyder, kan man sammenligne de to sidste led ovenfor, idet man f.eks. sætter $\lambda = 0,04$ og ser på den midterste gruppe af normerede isoleringstykkelser.

Det ses af tabel 10, at for de små rørdimensioner vil en ændring på 50 % i m_u give op til 10 % afvigelse på varmetabet, men ved de større dimensioner vil denne afvigelse ligge nede omkring 6 - 7 %.

Afviselserne i m_u optræder især, når Δt er lille, og så er også varmetabet lille.

Derfor vil man i reglen kunne tillade sig at se bort fra disse afviselser.

Den fundne relation kan skrives på formen

$$a(e,d) \cdot f(S) + b(e,d) \cdot g(\lambda) + c(e,d) = 0$$

(jfr. Børge Jessen: Lærebog i Geometri, 2. udg. II side 286-287), hvor

$$a(e,d) = 1, \quad b(e,d) = -\frac{e}{\pi(d + e)},$$

$$c(e,d) = -\frac{200}{\pi(d + 2e)}$$

$$f(S) = \frac{1}{S} \quad g(\lambda) = \frac{1}{\lambda}$$

og relationen kan fremstilles ved et nomogram med to retlinede skalaer og et system af kurver for hver af de variable d og e .

Ligningerne for skalaerne og kurverne bliver

$$(\alpha, \beta) = \left[\frac{l_1}{f(S)}, 0 \right] = (l_1 S, 0)$$

$$(\alpha, \beta) = \left(0, \frac{l_2}{g(\lambda)} \right) = (0, l_2 \lambda)$$

$$(\alpha, \beta) = \left[-\frac{l_1 a(e,d)}{c(e,d)}, -\frac{l_2 b(e,d)}{c(e,d)} \right]$$

$$= \left[\frac{\pi l_1}{200} (d + 2e), -\frac{l_2 e}{200} \frac{d + 2e}{d + e} \right]$$

Ved optegning af nomogrammet står man sig ved at vælge et skævvinklet koordinatsystem, f. eks. med enhedsvektorerne

$$i: (5; 12,5) \quad j: (0; 100),$$

og hvis man sætter

$$l_1 = l_2 = 1,$$

får de kurver, der svarer til $d = \text{konst.}$ resp. $e = \text{konst.}$ i det retvinklede koordinatsystem ligningerne

$$(x, y) = \left[\frac{\pi}{40} (d + 2e) ; (d + 2e) \left(\frac{\pi}{16} - \frac{e}{d + e} \right) \right]$$

Det resulterende nomogram ses på fig. 27.

d	e	A	B	A + B	50 % af A
20	20	1,06	3,98	5,04	10,5 %
25	30	0,75	4,32	5,07	7,4 %
40	30	0,64	3,40	4,04	7,9 %
50	40	0,49	3,54	4,03	6,1 %
100	40	0,35	2,27	2,62	7,7 %
125	50	0,28	2,27	2,55	6,2 %
400	50	0,13	0,88	1,01	6,4 %

$$A = \frac{200}{\pi(d + 2e)}$$

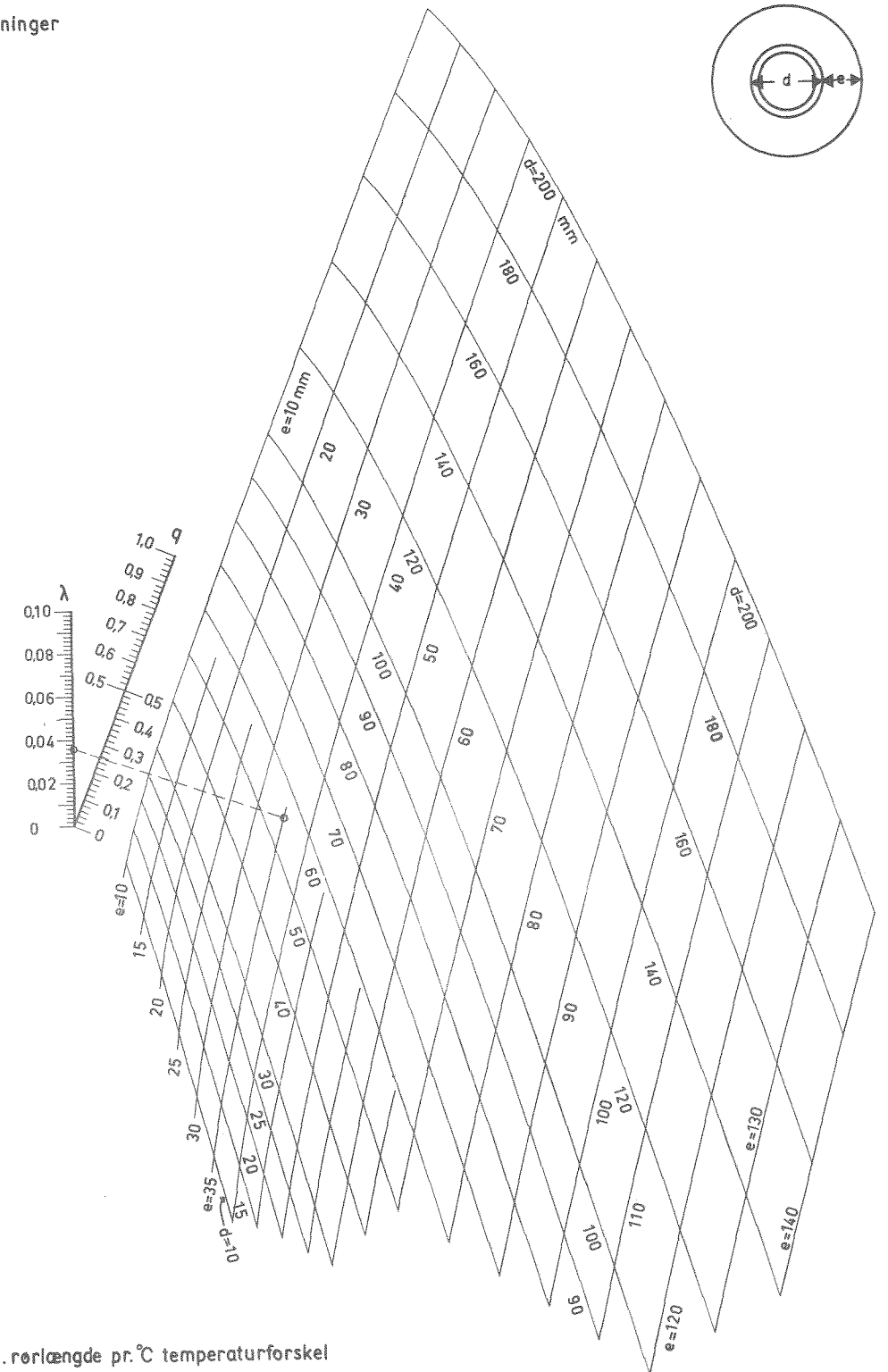
$$B = \frac{e}{\pi\lambda(d + e)}$$

Tabel 10. Betydningen af afviselser i m_u .

Tabellen henviser til nomogrammet i fig. 27, hvor der er regnet med $m_u = 0,20$, og den viser, hvor meget det betyder for varmetabet, om den ydre overgangsmodstand m_u varierer enten til 0,10 eller til 0,30.

Det ses, at en sådan ændring, eller om man vil et sådant fejlskøn, betyder fra 6 til 10 % på varmetabet. Den største indflydelse har det på de små dimensioner med relativt lille isoleringstykkelse.

Varmetab fra isolerede ledninger



d = ydre rørdiameter

e = isoleringstykkelse

q = varmetab i kcal/h pr. m. rørlængde pr. °C temperaturforskel

λ = varmeledningstal

Fig. 27. Nomogram for bestemmelse af varmetabet fra isolerede rørledninger.

Ud fra isoleringsmaterialets λ -værdi, den ydre rørdiameter, d mm, og isoleringstykkelsen, e mm, kan man finde varmeafgivelsen, q , målt i kcal/h pr. m rørlængde pr. °C temperaturforskel.

Eks. Et rør med ydre diameter 55 mm isoleres med 35 mm måtter, $\lambda = 0,036$. Varmetabet bliver 0,25 kcal/h pr. m rørlængde pr. °C temperaturforskel.

Hvis temperaturen i rørledningen er 90°C og temperaturen udenfor er 10°C, bliver varmetabet altså 20 kcal/h pr. m rør.

ENGLISH SUMMARY

The present investigation treats the economical dimensioning of pipes for a central heating system with forced circulation, the heating medium being water.

The task at hand is to decide upon the dimensioning of pipes which reduces to a minimum the running cost in all for:

Interest and amortisation of expenses for installation of pipes and insulation,
Pump work, and
Heat loss from the pipes.

Here lie at the same time the limitations of the investigation, as no account is taken of other factors at least just as important, such as the risk of disturbing noises in the system as a result of excessively high velocities, and the risk of poor water distribution in the system.

This latter risk can normally be countered by the mounting of suitable regulating resistances, but it must be strongly pointed out that:

The results of the investigation must be used with care, as the systems could otherwise not only become worse, but also more expensive to run than systems having traditional dimensions.

The investigation leads to a use of greater water velocities than have up to now been customary in Denmark, and in most cases one will here be able to bring about a reduction in installation expenses that more than counterbalances the extra expense involved in changing over to economical insulating of pipes.

Contrary to most investigations of a corresponding nature, there is thus no question here of an increase in installation expenses to obtain cheaper running, but of a reduction of both installation expenses and running expenses.

The economical pipe dimensioning depends on the following factors:

Time of running, u , day/year,
Cost of electricity, E øre/kWh,

Rate per cent, p , for amortisation and rentability of installation expenses,
The efficiency of the pump,
as these appear in the parameter used, B_0 , see section 10.

The price per unit of heat is only of importance in that the electricity is transformed into heat, and it therefore gives a correction to the cost of electricity, E , see section 5.

The price level also plays a role. It is characterized by the building index, and attention is paid to it by a correction in the rate per cent, p , see section 14.

It would be presupposed that
the temperature conditions in the pipe,
the temperature conditions in the ambient air,
and the thickness of insulation applied
would also affect the economical pipe dimension considerably.

It appears that this is not the case and that in practice it is sufficient to make allowance for the quantities mentioned above.

The parameter, B_0 , given by the formula

$$B_0 = \frac{u E'}{p \eta} ,$$

gives the "degree of velocity" which should be used in the system.

The economical dimensioning is simplest for the primary pipes, that is the pipes carrying the total water being pumped.

The economical dimensioning for these pipes can be found directly from the nomograph in fig.15, going from the value of the parameter B_0 and the flow of water in the pipe.

For other pipes, it is necessary to introduce a weight factor, b , see section 4. This takes into account the fact that, when the dimension is reduced, the pump pressure, and correspondingly the work effect of the pump is increased, not only for the rate of flow in the pipe itself, but also for the whole rate of flow through the pump.

This represents a complication, but one which lies in the nature of the task and cannot principally be avoided.

The determination of the weight factor is often difficult, and one must generally manage with a rough calculation of its approximate value. This gives a degree of uncertainty in the determination of the economical dimension in the case of branching systems, but the whole problem is in itself so complicated for such systems that a degree of uncertainty as that just mentioned was to be expected.

These other pipes are also dimensioned by means of the nomograph in fig. 15, but one uses here the value of the parameter:

$$B = b B_0,$$

where b is the weight factor.

Due to the many fittings and branches on the risers, these are treated apart and correspond to the dotted lines on the middle scale of the nomograph, whilst the main pipes and distributing pipes correspond to the full-drawn lines.

The investigation also covers insulated and non-

insulated pipes, assuming that the heat loss from the non-insulated pipes is utilized for space heating.

A number of worked-out examples are given for main pipes, section 16, as well as an investigation of main pipes where the rate of flow varies through the heating season.

Section 17 contains calculations for a complete system, and it can be seen that in this particular case the economical pipe dimensioning results in a reduction of 1/3rd of the installation expenses in the case of the insulated pipes.

It is not possible to generalise on the size of the economy, but this example clearly shows that it is of no small importance.

Use of economical pipe dimensioning results in a considerable increase of the work in connection with planning, but the expense arising from this is small compared to the ensuing economy.

Nevertheless, as already mentioned above, it is most important that the material should not be used without careful thought, as in unskilled hands, a system may be completely ruined.

LITTERATURHENVISNINGER

- [1] Poul Becher: Økonomisk Varmeisolering. Statens Byggeforskningsinstitut, Rapport nr. 1, 1949.
- [2] K. Engelsen og Poul Becher: Økonomisk rørisolering. Statens Byggeforskningsinstitut, rapport nr. 13, 1957.
- [3] John Rydberg: Økonomisk dimensionering av pumpvarmvattensystem för värmeanläggningar, Svenska värme- och sanitetstekniska föreningens handlinger VIII, 1952.
- [4] J. Winther-Nielsen: Centralvarme og ventilation. 2. udg. Selskabet til udgivelse af kulturskrifter, København. Intet årstal angivet.
- [5] Poul W. Marke: Varmeledninger for vand og damp I-II. Ingeniøren, 1949, side 921-927, 961-963.

SBI anvisninger

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

- 5: Bedre varmeisolering er billigere. 1950. 47 p. A₄. Kr. 3,-.
- 6: Fugt i nye huse. Plakat til ophængning. 1949. 3. udg. 1957. A₄. Kr. 5,- pr. 100 expl.
- 8: Brug og valg af betonblandere, Niels H. Krarup og K. Malmstedt-Andersen. 1951. 66 p. A₅. Kr. 3,-.
- 10: Kunstig belysning på byggepladsen, Jens Thorsen og Mogens Voltelen. 1951. 2. udg. 1953. 20 p. A₄. Kr. 2,-.
- 11: Omsetningsmål for trædimensioner. 1951. 1 p. A₄. (Udsolgt). Udsendt 1957 som DS 1002: Normaldimensioner på hoviet fyretre.
- 12: Valg af lak, Fleming Nielsen. 1952. 48 p. A₂. Kr. 2,-.
- 13: Byggeprisens bestanddele beregnet ved et 3-etagers boligbyggeri i provinsen i april 1951. 1952. 4. udgave 1957. 28 p. A₆. Kr. 2,-.
- 14: Forbedring af stalde, varmeisolering og ventilering, Poul Becher og Vagn Korsgaard. 1952. 2. reviderede udgave 1955. 51 p. A₅. Kr. 2,-.
- 15: Dakforme i boligbyggeri. 1955. 62 p. A₂. Kr. 3,-.
- 16: Mekaniseret håndværktøj på byggepladsen, Fleming Nielsen. 1955. 48 p. A₂. Kr. 4,-.
- 17: Betonstøbning om vinteren, Poul Nerenst, Erik Rastrøb og Gunnar M. Idorn. 1953. 108 p. A₂. Kr. 8,-.
- 20: Undgå fugt. Folder til ophængning. 1954. 3 p. A₄. 1 stk.: kr. 0,40. 100 stk.: kr. 25,-.
- 21: Hvilket dæk? Folder til ophængning. 1954. 20 p. A₂. Kr. 2,50.
- 22: Normalvinduer af træ, Poul Kjergaard. 1955. 128 p. A₄. 10 stk. tillæg A₄. Pris incl. tillæg: kr. 30,-. Excl. tillæg: kr. 22,-. Tillæg pr. stk. kr. 1,50.
- 23: Vinterbyggeri. Folder til ophængning. 1953. 16 p. A₂. 1 stk.: kr. 1,-. 100 stk.: kr. 50,-.
- 24: Udarbejdelse af instruks for varmemestre, Poul Becher og Frederik Olsen. 1953. 16 p. A₄. 1 stk.: kr. 2,-. 50 stk.: kr. 50,-.
- 25: Simpelt regnskabsystem for murermestre, Fleming Nielsen. 1954. 2. udgave 1956. 24 p. A₄. 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. A₂. Kr. 4,-.
- 27: Vejledning i betankontrol. 1956. 122 p. A₂. Kr. 12,-.
- 28: Bygningsfundering, ved Geoteknisk Institut. 1955. 62 p. A₂. Kr. 4,-.
- 29: SBI betonberegner, Poul Nerenst og Johannes Landho. 1955. Plastskyder med tilhørende vejledning. A₄ og A₂. Kr. 4,-.
- 30: Beslaglister til normalvinduer af træ, Klaus Blach og Johannes Brisen. 1956. 28 p. A₂. Kr. 4,-.
- 31: Møbleringsplaner, ved »Byggebogen«. 1956. 24 p. A₂, med indlagte fortegninger i mål 1 : 100, 4 ark A₅. Kr. 4,-.
- Fortegninger i mål 1 : 50, 4 ark A₂, kan købes særskilt for kr. 4,- pr. sæt.
- 32: Tårnkraner ved traditionelt boligbyggeri, John Brøndum Hillers. 1956. 78 p. A₂. Kr. 4,-.
- 33: Luftindblandet beton, Erik V. Meyer. 1955. 32 p. A₂. Kr. 2,50.
- 34: Byggeriets modul-ABC, SBI's modulkomite ved Edward Heberg. 1957. 24 p. A₂. Kr. 4,-.
- 35: Teglprodukter. 1956. 105 p. A₂. Kr. 8,-.
- 36: Rudsstørrelser. Folder til ophængning. 1956. 14 p. A₂. Kr. 4,-.
- 37: Udvendig buds på letbeton. Folder. 1957. 8 p. A₂. Gratis.
- 38: Oversigtsplansplanen og skitseplansplanen ved traditionelt etagebyggeri. 1957. 16 p. A₂. Kr. 4,-.
- Blokke med 20 stk. skemablade og datostokke, format A₂, kan købes særskilt for kr. 4,- pr. blok.

Alle institutets publikationer kan købes gennem boghandlerne eller hos Teknisk Forlag, Vester Farinagsgade 31, København V. BY. 9288.

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.

SBI rapporter

er beretninger om selvstændige forskningsarbejder, som udføres for eller af institutter referater af byggetekniske møder afholdt af instituttet m. m.
Fortegnelsen omfatter kun rapporter, der endnu ikke er udsolgt.

- 11: Økonomisk varmeisolerings (Economic Heat Insulation), Poul Bøcher. 1949. 2. udgave 1950. 61 p. A₄. Kr. 7,-.
- 11: Mørteltilsætningsstoffer til brug ved vinterbyggeri (Mortar Admixtures for Winter Construction), Henry Dührkop. 1953. 40 p. A₄. Kr. 3,-.
- 12: Luftlyd i beboelsesjendomme (Airborne Sound in Dwellings), Fritz Ingerslev og Jørgen Petersen. 1954. 40 p. A₄. Kr. 7,-.
- 13: Byggetiden ved 10 eenfamiliehuse (The Construction Time of 10 Single-family Houses). 1955. 33 p. A₄. Kr. 12,-.
- 14: Prøving af tre kontinuerlige betonblandere (Testing of Three Continuous Concrete Mixers). For Breitsdorff, Johannes Landbo, Poul Nørrest og Niels Munk Plum. 1956. 146 p. A₄. Kr. 16,-.
- 15: Tragttersperslag til parcel- og rækkehusebyggeri. 1956. 37 p. A₄. Kr. 8,-.
- 16: Nye stægeboligplaner. Planstypekatalog og forslag til planvurdering (Contemporary Plans of Flats. A Catalogue of Plans, with Suggested Criteria for Comparative Evaluation), Aage Dalgaard Rasmussen og Finn Vedel-Petersen. 1956. 92 p. A₄. Kr. 26,-.
- 17: Projektørers spisepladser i stægeboliger, Gerthe Meyer. 1956. 126 p. A₄. Kr. 24,-.
- 18: Økonomisk rørisolering (Economic Pipe Insulation), Poul Bøcher og Kristian Engelsen. 1957. 93 p. A₄. Kr. 12,-.
- 19: Problemer vedrørende installation og drift af sløjfingsanlæg, Otto Juul Jørgensen og Frederik Olsen. 1957. 42 p. A₄. Kr. 12,-.
- 20: El-installationer i boligbyggeri, H. Justesen. 1957. 36 p. A₄. Kr. 8,-.
- 21: Fejl og mangler ved betonelementer i montagebyggeri, B. J. Rasmussen. 1957. 24 p. A₄. Kr. 8,-.
- 22: Økonomisk rørdimensionering ved centralvarmeanlæg (Economic Dimensioning of Pipes for Central Heating Systems), Paul W. Mørke. 1957. 62 p. A₄. Kr. 20,-.
- 23: Akustiske problemer i skolebygninger (Acoustics in School Buildings), Fritz Ingerslev, Jørgen Petersen og Jørgen Christensen. 1957. 45 p. A₄. Kr. 12,-.

SBI studier (serien afsluttet 1956)

er en blandet publikationsrække, der spænder fra litteraturgengivelser og diskussioner til forskningsprogrammer, foreløbige beretninger og lignende.
Fortegnelsen omfatter kun studier, der endnu ikke er udsolgt.

- 11: Brandtekniske fejl og mangler i bygninger, H. Hoeg. 1954. 20 p. A₄. Kr. 3,-.
- 12: Fejl ved protektion af centralvarmeanlæg, Poul Bøcher. 1954. 2. udgave 1955. 38 p. A₄. Kr. 3,-.
- 14: Fejl og mangler i forbindelse med bygningsmaling, Svend Andersen og H. K. Raaschou Nielsen. 1954. 2. udgave 1955. 20 p. A₄. Kr. 3,-.
- 16: Staldrenovering - hvordan? Hans R. Jørgen. 1955. 43 p. A₄. Kr. 2,50.
- 17: Bibliography on Winter Concreting, Poul Nørrest. 1955. 16 p. A₄. Kr. 1,50.
- 18: Nye betonformer, Knud E. C. Nielsen. 1955. 68 p. A₄. Kr. 4,-.
- 19: Typisering af affaldskøkken, Sven Lindholm. 1956. 49 p. A₄. Kr. 12,-.
- 20: Varmeløstvarmning af småhuse, Niels Didriksen og Vagn Korsgaard. 1955. 3. udgave 1957. 38 p. A₄. Kr. 8,-.
- 21: Fejl og mangler ved teglstensmurværk, Henry Dührkop. 1956. 44 p. A₄. Kr. 12,-.
- 22: Fejl og mangler ved tagdekninger, E. Frimand Klansen. 1955. 39 p. A₄. Kr. 5,-.
- 23: Reg fra centralvarmeskorstene. 1956. 30 p. A₄. Kr. 8,-.
- 24: Problemer ved byggepladsledelse, Bent Gregersen. 1956. 19 p. A₄. Kr. 4,-.

PRIS KR. 20,—