LUND UNIVERSITY

Energi - Tidkurvan vid trästapelbrand. Modell- och fullskaleförsök

Nilsson, Leif

1977

Link to publication

Citation for published version (APA):
Nilsson, L. (1977). *Energi - Tidkurvan vid trästapelbrand. Modell- och fullskaleförsök*. (Bulletin of Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Bulletin 49; Vol. Bulletin 49). Lund Institute of Technology.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY · LUND · SWEDEN · 1977
DIVISION OF STRUCTURAL MECHANICS AND CONCRETE CONSTRUCTION · BULLETIN 49

LEIF NILSSON

ENERGI-TIDKURVAN VID TRÄSTAPELBRAND

MODELL- OCH FULLSKALEFÖRSÖK

LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY · LUND · SWEDEN · 1977
DIVISION OF STRUCTURAL MECHANICS AND CONCRETE CONSTRUCTION · BULLETIN 49

LEIF NILSSON

ENERGI-TIDKURVAN VID TRÄSTAPELBRAND

MODELL- OCH FULLSKALEFÖRSÖK

Rapport R40:1977

ENERGI-TIDKURVAN VID TRÄRIBBSTAPELBRAND

Modell- och fullskaleförsök

Leif G Nilsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730291-1 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för byggnadsstatik, Lund tekniska högskola, Lund.

Nyckelord:

brandforskning
brandförlopp
träbränder
dimensioneringsunderlag
försöksresultat

UDK: 614.84
691.11

R40:1977
ISBN 91-540-2706-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1977

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sid. nr.
SAMMANFATTNING	2
1 INTRODUKTION	3
2 BERÄKNINGSMODELL	8
3 TRÄRIBBSTAPELFÖRSÖK I MODELLSKALA	13
3.1. Försöksseriens omfattning	13
3.2 Summarisk beskrivning av experimentell försöksserie	15
3.3 Analys av experimentella resultat	16
4 MODELL- OCH FULLSKALEFÖRSÖK	21
4.1 Energi - tidkurvan vid modellförsök	21
4.2 Fullskaleförsök	22
4.3 Jämförelse mellan modell- och fullskaleförsök	24
4.4 Sammanfattat dimensioneringsunderlag för den per tidsenhet frigivna energins tidkurva vid fullständigt brandförlopp	25
LITTERATUR	29
TABELLTEXT	31
TABELLER	32
FIGURTEXT	43
FIGURER	53

SAMMANFATTNING

För att en funktionellt underbyggd brandteknisk dimensionering av bärande och brandavskiljande konstruktioner skall kunna bli en realitet, fordras bl a en nyanserad kartläggning av det fullständiga brandförloppets karakteristika i brandcell vid varierande egenskaper för bränsle och omslutande väggar, golv och tak. Härvid är ett klarläggande av den under brandförloppet utvecklade energin per tidsenhet fundamentalt för en bestämning av brandförloppets gastemperatur-tidkurva. För träbränslebränder föreligger emellertid betydande svårigheter att ange denna energiutveckling per tidsenhet, då för denna bränsletyp förbränningen sker samtidigt i de fasta beståndsdelarna och i de vid pyrolysen bildade gaserna på ett sätt som hittills ej kunnat klarläggas.

I en försöksserie i modellskala har därför studerats inverkan på brandförloppet och energi-tidkurvan av brandcellens karakteristika och brandbelastningens storlek och egenskaper. För varje försök bestämdes därvid energi-tidkurvan iterativt tills experimentellt uppmätt och via teoretisk modell beräknad gastemperatur-tidkurva gav nöjaktiv överensstämmelse. Resultaten kunde systematiseras, så att tidkurvan för per tidsenhet frigjord energi generellt kunde antagas approximativt känd, varefter det fullständiga brandförloppets gastemperatur-tidkurva kan beräknas vid varierande egenskaper hos brandcellen samt mängd och utformning hos bränslet.

Erhållna resultat jämförs med motsvarande, erhållna vid fullskaleförsök, varvid konstateras en mycket god överensstämmelse.

1 INTRODUKTION

Under de senaste åren har brandteknisk dimensionering av bärande och avskiljande konstruktioner i allt högre grad förskjutits från en tillämpning av schablonmässiga föreskrifter och rekommendationer till en dimensionering baserad på funktionella krav. Med en schablonmässig dimensionering avses därvid, att erforderlig brandmotståndstid för ingående bärverksdelar kan bestämmas ur gällande Svensk Byggnorm när verksamhet, byggnadens höjd och volym, samt konsekvenser av en kollaps är kända. Erforderliga minimidimensioner på i bärverket ingående konstruktioner kan därefter bestämmas genom jämförelse mellan den erforderliga brandmotståndstiden och motsvarande brandmotståndstid erhållen vid normenlig brandprovning vid en fastlåst gastemperatur-tidkurva. Förfarandet illustreras i FIG. 1, som visar principerna för den schablonmässiga brandtekniska dimensioneringen av bärverk.

Vid en nyanserad brandteknisk dimensionering måste först väljas representativa förbränningskarakteristika för i brandrummet förekommande brännbart material, den så kallade brandbelastningen. I kombination med brandcellens karakteristika kan därmed brandrummets gastemperatur-tidkurva, samt temperatur-tidfältet för brandpåverkat bärverk bestämmas. Med kännedom om tillhörande förändringar i de ingående materialens hållfasthets- och deformationsegenskaper kan därefter verkningssätt och bärförmåga för den belastade och brandpåverkade konstruktionen beräknas, varvid även skall beaktas ingående faktorer av typ verksamhet, byggnadens höjd och volym, brandsektionering, statistiska influenser etc. Ett flödesschema som visar principerna och beräkningsgången vid en sådan nyanserad brandteknisk dimensionering återges vad gäller bärverk i FIG. 2 hämtad ur den nyligen utkomna, av Planverket typgodkända, handboken "Brandteknisk dimensionering av stålkonstruktioner".

För att ett nyanserat brandtekniskt dimensioneringsförfarande enligt FIG. 2, utfört över teoretiska beräkningar skall

bli möjligt, fordras för bestämning av i brandcellen erhållen gastemperatur-tidkurva bland annat kännedom om tidsvariationen av bränslets energiutveckling under hela brandförloppet. Viktiga influenser är därvid art, typ, storlek och staplingstäthet hos brandbelastningen samt brandcellens ventilation och termiska egenskaper för omslutande konstruktioner. En sådan tidsvariation är förhållandevis lätt att ange för väldefinierade bränslen utan glödfas. För icke väldefinierade bränslen, t ex för i byggnadssammanhang högfrekventa träbränslen, är en bestämmning av tidsvariationen av per tidsenhet frigjord värmemängd förenad med stora svårigheter. För denna typ av bränslen kompliceras en teoretisk beskrivning, t ex av den fundamentala storheten förbränningshastigheten, genom att förbränningen sker samtidigt i de fasta beståndsdelarna och i de vid pyrolysen bildade gaserna på ett sätt vars återverkan på förbränningshastigheten för närvarande ej är klarlagd. Föreliggande publikation, som skall ses som en komplettering till författarens tidigare rapporter (1974), ägnas således åt en analys och diskussion av i första hand problemet per tidsenhet frigjord energi vid träbränslebrand i slutet rum med en fönsteröppning. Behandlingen bygger därvid på av författaren utförda experimentella modellstudier med brandbelastning av träribbstapel, där resultaten tidigare delvis redovisats i rapporterna

Nilsson L., 1971, Porositets- och luftflödesfaktorns inverkan på förbränningshastigheten vid brand i slutet rum,

Olsson B. - Sjöholm G., 1972, Väggegenskapernas inverkan på förbränningshastigheten vid brand i slutet rum med en fönsteröppning,

Nilsson L., 1974, Time Curve of Heat Release for Compartment Fires with Fuel of Wooden Cribs, samt

Nilsson L., 1974, Experimental and Theoretical Investigations on Compartment Fires.

Försöken från den experimentella undersökningen analyseras därvid i de båda sistnämnda rapporterna över brandrummets värme- och massbalansekvationer för en systematiserad bestämning av tidkurvan för per tidsenhet frigiven energi vid fullstän-

digt brandförlopp. För varje försök bestäms således energitidkurvan iterativt tills experimentellt uppmätt och via teoretisk modell beräknad gastemperatur-tidkurva ger nöjaktiv överensstämmelse. De på detta sätt erhållna resultaten visade sig vara möjliga att sammanfatta genom grupper av samband, som med olika grad av noggrannhet beskriver det fullständiga brandförloppets energi-tidkurva vid brandbelastning av träribbstapel. Redovisade samband möjliggör i sin tur teoretiska bestämningar av brandförloppets gastemperatur-tidkurva i enskilda fall vid varierande egenskaper hos brandcell och bränsle. Baserad på begreppet frigiven energi per tidsenhet - primärt dess maximivärde - genomförs i rapporterna vidare en nyanserad klassificering av rumsbränder med uppdelning på i sträng mening ventilationskontrollerat, i sträng mening brandbelastningskontrollerat samt träribbstapelkontrollerat brandförlopp.

Ett i sträng mening brandbelastningskontrollerat förlopp karakteriseras därvid av att förbränningshastigheten under flamfasen i helt dominerande omfattning bestäms av brandbelastningens storlek, medan vid förbränningen tillförd luftmängd genom fönster- och dörröppningar samt bränslets partikelform, läge och staplingstäthet är av underordnad betydelse.

Vid ett i sträng mening ventilationskontrollerat förlopp kommer i stället den för förbränningen tillgängliga luftmängden att bestämma förbränningshastigheten och därmed också brandcellens gastemperatur-tidkurva, medan brandbelastningens storlek och övriga egenskaper har mindre inverkan.

Vid ett träribbstapelkontrollerat förlopp slutligen gäller, att brandbelastningens läge, partikelform och staplingstäthet har störst inverkan på förbränningshastigheten, medan brandbelastningens storlek och brandcellens ventilationsförhållanden har mindre betydelse.

Ovan beskrivna analysteknik tillämpas systematiskt i de båda senare rapporterna för olika kombinationer av studerade försökskarakteristika. I stort behandlas därvid följande kombinationer,

där samtliga försök genomförts i en brandcell med de invändiga sidomåtten 750 x 750 x 750 mm:

a) Fem olika värden på staplingstätheten, uttryckt genom porositetsfaktorn ϕ, vid fem värden på öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t$. Konstant brandbelastning q, ribbtjocklek b och termiska egenskaper hos brandcellen omslutande konstruktioner,

b) För samma värden på öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t$, fem olika brandbelastningsvärden q. Konstant porositetsfaktor, ribbtjocklek och termiska egenskaper hos brandcellen omslutande konstruktioner,

c) För två värden på öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t$, varierande ribbtjocklek b för några olika porositetsfaktorvärden. Konstant brandbelastning och termiska egenskaper hos brandcellen omslutande konstruktioner,

d) Tre olika typer av brandcellen omslutande konstruktioner för samtliga studerade öppningsfaktorvärden. Konstant brandbelastning, porositetsfaktor och ribbtjocklek.

Porositetsfaktorn ϕ definieras därvid genom sambandet, Gross (1962),

$$\phi = N^{0,5}\, b^{1,1}\, \frac{A_v}{A_s} \qquad (1\text{-}1)$$

med

$$A_s = 2\, n\, b\, \{2\, N\, L + b[N - n\,(N - 1)]\} \qquad (1\text{-}2)$$

$$A_v = (L - n \cdot b)^2 \qquad (1\text{-}3)$$

I formeln betecknar b tjockleken (kvadratiskt tvärsnitt) och L längden av varje enskild träribba, n antalet ribbor per lager och N antalet lager av träribbstapel, A_s den mot luften initiellt exponerade ytan av samtliga i stapeln ingående ribbor samt A_v den för vertikal luftrörelse genom stapeln fria horisontalytan.

Öppningsfaktorn definieras analogt som $A\sqrt{H}/A_t$, varvid A_t betecknar den inre ytan av de väggar, golv och tak som avgränsar brandcellen från dess omgivning, $A(m^2)$ brandcellens sammanlagda

öppningsyta (fönster, dörrar etc), samt H(m) ett med hänsyn till öppningarnas storlek vägt medelvärde av deras utsträckning i höjdled.

Avsikten med föreliggande rapport är en punkt b) ovan kompletterande analys av cirka 90 försök i modellskala med brandbelastning av träribbstapel, vilka tidigare ej redovisats. För de öppningsfaktor- och brandbelastningsvärden som behandlas i den tidigare rapporten, breddas således försöksunderlaget med ytterligare 4 porositetsfaktorvärden utöver det värde som studerats för respektive kombination öppningsfaktor-brandbelastning. Dessutom genomförs en jämförande analys av resultaten dels redovisade i denna och författarens tidigare rapporter, dels erhållna vid noggrannt definierade fullskaleförsök med brandbelastning av träribbstapel, genomförda i annat sammanhang.

2 BERÄKNINGSMODELL

En teoretisk beräkningsmodell för bestämning av gastemperaturtidkurvan under ett brandförlopp bygger på att samband kan uppställas som vid varje tidpunkt beskriver balansen mellan per tidsenhet producerad och förbrukad värmeenergi i brandcellen. Detta värmebalanssamband angavs, med giltigheten begränsad till brandförloppets flamfas av Kawagoe - Sekine (1963) och Ödeen (1963), vilket samband senare utvecklats av Magnusson - Thelandersson (1970, 1971) att gälla brandförloppets samtliga faser, jfr FIG. 3. Ekvationen lyder i sin fullständiga form

$$I_C = I_L + I_W + I_R + I_B \qquad (2\text{-}1)$$

Därvid är

I_C = vid förbränningen frigjord värmeeffekt (MJ/h),

I_L = genom utbyte av varma gaser mot kall luft bortförd värmeeffekt (MJ/h),

I_W = genom vägg-, tak- och golvkonstruktioner bortförd värmeeffekt (MJ/h),

I_R = genom strålning ut genom brandcellens öppningar bortförd värmeeffekt (MJ/h), samt

I_B = i brandcellens gasvolym per tidsenhet lagrad värmemängd (MJ/h).

Ekvationen illustreras schematiskt i FIG. 3.

De olika termerna tecknas därvid under de förenklade förutsättningarna

- förbränningen är fullständig, och förutsätts helt ske inom brandcellen,

- temperaturen är inom brandrummet i varje ögonblick jämt fördelad,

- värmeövergångskoefficienten är i varje punkt lika för brandcellens inre begränsningsytor,

- värmeflödet genom brandrummets omslutande vägg-, golv- och takkonstruktioner är endimensionellt, och - eventuella fönster- och dörröppningar undantagna - likformigt fördelat.

Förutsättningarna ger tillfredsställande noggrannhet i ordinära praktiska fall.

Nedan kommenteras de i EKV. 2-1 ingående termerna mycket summariskt. För en mera detaljerad beskrivning av dessa hänvisas till Magnusson - Thelandersson (1970, 1971).

<u>Termen</u> I_B anger den värmemängd som lagras i brandcellens gasvolym. I förhållande till övriga under ett brandförlopp aktuella värmemängder är denna obetydlig, och kan därför med god approximation försummas.

<u>Termen</u> I_R anger den genom brandcellens öppningar bortförda värmeeffekten, som kan bestämmas genom Stefan - Bolzmanns strålningslag.

$$I_R = A\,(E_g - E_o) \qquad (2\text{-}2)$$

där

A = öppningarnas area (m^2)

$$E_g = 5{,}77\left(\frac{\vartheta_o + 273}{100}\right)^4 \qquad (W/m^2)$$

$$E_o = 5{,}77\left(\frac{\vartheta_o + 273}{100}\right)^4 \qquad (W/m^2)$$

ϑ_g = rökgasernas temperatur ($^\circ$ C)

ϑ_o = den yttre luftens temperatur ($^\circ$ C)

Termen I_W anger den värmemängd som per tidsenhet överföres till omslutande vägg-, golv- och takkonstruktioner. Det instationära värmeflödet till brandcellens omslutande konstruktioner erhålles genom att lösa den allmänna värmeledningsekvationen för det endimensionella fallet

$$c\,\gamma \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_x \frac{\partial \vartheta}{\partial x}\right) \qquad (2\text{-}3)$$

Här betecknar

ϑ = temperaturen i väggmaterialet ($^{\circ}$ C)

t = tiden (h)

x = lägeskoordinat (m)

c = väggmaterialets specifika värme för aktuell lägeskoordinat (MJ/kg $^{\circ}$ C)

γ = väggmaterialets densitet för aktuell lägeskoodinat (kg/m^3)

λ_x = väggmaterialets värmeledningstal för aktuell lägeskoordinat (W/m $^{\circ}$ C)

EKV. (2-3) kan lösas enligt ett numeriskt förfarande som i brandsammanhang angivits bl a av Odenmark (1935), och som senare utvecklats av Ödeen (1963) m fl.

Termen I_L anger den energi, som på grund av skillnad i täthet mellan kall omgivande luft och brandrummets varma gaser transporteras ut ur brandcellens öppningar genom konvektion. Följande uttryck används för att beskriva I_L:

$$I_L = Q \cdot c_p \cdot (\vartheta_g - \vartheta_o) \qquad (2\text{-}4)$$

där

Q = gasflödet från brandcellen (kg/h)

c_p = rökgasernas specifika värme (MJ/kg $^{\circ}$ C)

Gasflödet Q bestäms ur uttrycket

$$Q = \varphi \cdot A\sqrt{H} \qquad (2\text{-}5)$$

där φ är en proportionalitetsfaktor som är approximativt temperaturoberoende inom för brand aktuellt område.

Ekvationen (2-4) förutsätter att gasernas vertikalacceleration kan försummas, vilket i vissa fall är felaktigt. Inverkan av denna vertikalacceleration kan ske genom att ekvation (2-5) modifieras genom multiplikation med en faktor $C \leq 1$, d v s

$$Q_a = C \cdot \varphi \cdot A \sqrt{H} \qquad (2\text{-}6)$$

Teoretiska analyser av såväl modell- som fullskaleförsök visar, att en reduktion av gasflödet, d v s $C < 1$, blir aktuell först vid så stora värden på fönsteröppningen att öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t > 0{,}06\ m^{1/2}$, samt att även vid stora öppningar faktorn C endast i undantagsfall understiger värdet 0,7 à 0,8.

<u>Termen</u> I_C, som anger den under förbränningen per tidsenhet frigjorda energin, är, som ovan nämnts, synnerligen svår att bedöma för träbränslebränder då för denna bränsletyp förbränningen sker samtidigt i de fasta beståndsdelarna och i de vid pyrolysen bildade gaserna på ett sätt som hittills ej kunnat klarläggas. Som en temporär närmelösning på problemet applicerade Magnusson - Thelandersson (1970, 1971) följande analysteknik. För varje enskilt försök antas en rimlig energi-tidkurva I_C, varefter brandförloppets gastemperatur beräknas. Som villkor för ansatsen gäller att den totala under brandförloppet utvecklade energin skall vara lika med den vid brandens början tillgängliga totala energin, d v s

$$\int_0^\infty I_C \, dt = M \cdot W \qquad (2\text{-}7)$$

där

M = totala brandbelastningen i kg,
W = nominellt värmevärde i MJ/kg, och
t = tidskoordinat.

Beräknad gastemperatur-tidkurva jämförs med den vid försöket uppmätta. Om så bedömdes erforderligt, modifierades under brandförloppet antagen energifördelning, tills överensstämmelse erhålls mellan experimentellt uppmätt och teoretiskt beräknad temperaturkurva.

Beskriven analysteknik tillämpas i författarens tidigare rapporter (1974) för ett stort antal träribbstapelförsök i modellskala. I rapporterna redovisas bland annat funktionssamband för maximalvärdet av per tidsenhet frigiven energi I_{Cmax}, med variablerna bränslemängden M, bränslets porositetsfaktor ϕ, enskild träribbas tjocklek b och luftflödesfaktorn $A\sqrt{H}$. Erhållet underlag sammanfattas genom samband som beskriver storheterna, jfr FIG.4,

I_{Cmax}, som anger maximivärdet för frigjord energi per tidsenhet (MJ/h),

t_r, som anger tidsintervallet från antändning till tidpunkten, svarande mot värdet 0,75 I_{Cmax} på energi-tidkurvans nedåtgående del (h),

t_d, som anger tidsintervallet mellan tidpunkterna för värdena 0,75 I_{Cmax} på energi-tidkurvans växande respektive avtagande kurvdel (h),

t_1, som anger tidsintervallet mellan tidpunkterna för värdena 0,75 I_{Cmax} respektive 0,5 I_{Cmax} på energi-tidkurvans nedåtgående del (h),

t_2, som anger tidsintervallet mellan tidpunkterna för värdena 0,75 I_{Cmax} och 0,25 I_{Cmax} på energi-tidkurvans nedåtgående del (h), samt

t_g, som tillsammans med t_r definierar den totala brandvaraktighet då energi utvecklas (h).

I avsnitt 3 och 4 appliceras ovan summariskt beskrivna analysteknik på dels tidigare ej redovisade modellförsök, dels noggrannt preciserade fullskaleförsök, i båda fallen med brandbelastning av träribbstapel. Jämförande analys av resultaten, inklusive de som redovisas i författarens tidigare rapporter (1974), innebär därigenom en möjlighet till verifiering av om redovisade funktionssamband, baserade på resultaten erhållna vid modellförsök, förblir oförändrade vid övergång till fullskala.

3 TRÄRIBBSTAPELFÖRSÖK I MODELLSKALA

3.1 Försöksseriens omfattning

För att en nyanserad brandteknisk dimensionering av t ex bärande eller avskiljande konstruktioner skall kunna genomföras enligt de principer som redovisas i FIG. 2, fordras som ovan nämnts, bl a kännedom om tidsvariationen av brandbelastningens energiutveckling under hela brandförloppet. För träbränslebränder föreligger emellertid betydande svårigheter att ange denna energiutveckling på ett tillfredsställande sätt, då för denna bränsletyp förbränningen sker samtidigt i de fasta beståndsdelarna och i de vid pyrolysen bildade gaserna på ett sätt vars återverkan på förbränningshastigheten för närvarande ej är klarlagd. Detta innebär, att för bränslen med en förbränningsmekanism likartad den som gäller för träbränslen, saknas idag väsentligt kunskapsunderlag exempelvis för översättning från under ett brandförlopp registrerad viktsminskning per tidsenhet hos bränslet till per tidsenhet frigjord energi, eller vid uppdelning av det totala effektiva värmevärdet på brandförloppets olika faser. Vidareutvecklingar av nyligen publicerade laboratoriemetoder för en bestämning av frigiven energi per tidsenhet för små provkroppar av t ex beklädnader vid noggrannt definierade, termiska exponeringsförhållanden kan därvid bedömas som en sannolik möjlighet för en direkt experimentell lösning av problemet, Smith (1972,1973), Parker - Long (1972).

De viktigaste influenserna på brandförloppet i en brandcell är

a) mängden och typen av brännbart material i brandcellen,
b) brandbelastningens staplingstäthet och partikelform,
c) brandbelastningens fördelning i brandcellen,
d) brandcellens geometri,
e) termiska karakteristika för brandcellen omslutande konstruktioner, samt
f) till brandcellen per tidsenhet tillförd luftmängd.

I kombination avgör därvid brandbelastningens egenskaper, och

brandcellens ventilationsförhållanden om brandförloppet kommer att vara brandbelastnings-, ventilations- eller träribbstapel-kontrollerat.

Vid Institutionen för Byggnadsstatik, LTH, har under längre tid genomförts systematiska brandförloppsstudier i modellskala vid brandbelastning av träribbstapeltyp, varvid brandförloppet primärt beskrivs genom gastemperatur-tidkurvan, förbrännings-hastigheten samt strålningsförhållandena. Projektet har varit uppdelat i ett antal delserier, där i stort följande parametrar varierat och studerats:

1) Fem olika porositetsfaktorvärden i intervallet $0{,}1 < \phi < 1{,}1$ $cm^{1,1}$ för öppningsfaktorerna $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020$, 0,032, 0,040, 0,070 och 0,114 $m^{1/2}$. Konstant brandbelastning $q = 35$ MJ/m^2 omslutningsyta och ribbtjocklek $b = 25$ mm. Omslutande konstruktion av utifrån 1,5 mm stålplåt och 10 mm asbestskiva,

2) Fem olika brandbelastningsvärde q och sex olika porositets-faktorvärde ϕ i intervallen $17{,}5 \leq q \leq 87{,}5$ MJ/m^2 omslutningsyta respektive $0{,}02 \leq \phi \leq 1{,}1$ $cm^{1,1}$ för samtliga studerade öppnings-faktorer. Konstant ribbtjocklek $b = 25$ mm, och omslutande kon-struktioner bestående av utifrån 1,5 mm stålplåt och 10 mm as-bestskiva,

3) Varierande ribbtjocklek b i intervallet $10 \leq b \leq 50$ mm för de båda öppningsfaktorerna $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040$ och 0,114 för några porositetsfaktorvärden i intervallet $0{,}1 < \phi < 1{,}3$ $cm^{1,1}$. Kons-tant brandbelastning $q = 52{,}5$ MJ/m^2 omslutningsyta och omslu-tande konstruktion bestående av utifrån 1,5 mm stålplåt och 10 mm asbestskiva,

4) Tre olika typer av brandcellen omslutande konstruktioner för samtliga studerade öppningsfaktorvärden. Konstant brandbelast-ning $q = 35$ MJ/m^2 omslutningsyta och porositetsfaktor $\phi \approx 0{,}5 cm^{1,1}$. För den i storlek mellersta öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040$ $m^{1/2}$ kompletterades med försök omfattande ytterligare porositetsfak-torvärden ϕ.

I författarens tidigare rapporter (1974) redovisas resultat erhållna enligt den i avsnitt 2 summariskt beskrivna analysteknikken för försöken angivna under punkt 1, 3 och 4 ovan. I rapporten innefattas även försök enligt punkt 2 ovan, där i huvudsak kombinationer brandbelastning-öppningsfaktor vid porositetsfaktorn $\phi \approx 0,5$ behandlas. I föreliggande avsnitt kompletteras därför resultatframställningen med en analys av under punkt 2) angivna, tidigare ej redovisade försök.

3.2 Summarisk beskrivning av experimentell försöksserie

Den teoretiska analys av brandförlopp vid skilda förutsättningar, redovisad dels i författarens tidigare rapporter (1974) och dels i detta avsnitt, bygger på resultat erhållna vid experimentella brandförloppstudier i modellskala med brandbelastning av träribbstapel. Den experimentella försöksserien planerades därvid med målet att klarlägga inverkan av väsentliga influenser på tidkurvan för förbränningshastighet, energiutveckling och gastemperatur. Kravet på rimliga dimensioner av brandrummet - dikterat av dels att försöken skulle genomföras inomhus och dels att vid försöken förbrukad bränslemängd ur ekonomisk synpunkt skulle vara rimlig - ledde till val av tre kubiska slutna modellbrandrum med en fönsteröppning och med de invändiga dimensionerna 500, 750 respektive 1000 mm. Huvuddelen av försöken genomfördes emellertid i modellbrandrummet med de invändiga sidomåtten 750 mm, och här analyserade brandförlopp tillhör samtliga försöken i denna skala. I detta avsnitt redovisade försök är samtliga genomförda i brandcell, utförd av ett ytterhölje av 1, 5 mm stålplåt och en invändig beklädnad av 10 mm asbestskiva (densitet 1020 kg/m^3).

Vid försöken använt bränsle utgjordes av ribbor av furu med kvadratiskt tvärsnitt, 25 x 25 mm, med en fuktkvot av cirka 9,5 % räknat på torr volymvikt. Ribborna staplades i en korg, som vilade på en lastcell ansluten till en linjeskrivare. Härigenom möjliggjordes en bestämning av förbränningshastigheten enligt utbildad praxis som bränslets viktsförlust per tidsenhet.

Eftersom nyanserade kunskaper om vid försöken erhållet gastemperatur-tidförlopp vid varierande förutsättningar är fundamentala för en teoretisk bestämning av per tidsenhet frigjord värmemängd, är en kartläggning av i brandcellen erhållen gastemperatur-tidkurva synnerligen väsentlig. För dessa mätningar användes temperaturgivare av oskyddade termoelement av typ Chromel-Alumel, fabrikat Honeywell typ 9 B2 N2, 20 GA. De temperaturmätpunkter, på vilka här redovisad analys baseras, var placerade invändigt 30 mm från brandcellens inneryta i varje centrumsnitt av hela väggsidor, och så arrangerade att anslutningsledningen närmast lödstället följde en isoterm. För en mera detaljerad redovisning av försöksseriens mätkarakteristika hänvisas till författarens tidigare rapporter (1971, 1974).

Samtliga försök genomfördes inomhus i en stor laboratoriehall med en fri takhöjd på cirka 10 m, varigenom inverkan från störande och svårkontrollerbara faktorer som vind eller klimatvariationer eliminerades. Vid försöken utvecklade rökgaser ventilerades ut genom en över brandcellen belägen stor plåthuv, som via en plåtkanal mynnade ut i det fria. I FIG. 5 återges en skiss av brandcellen och i FIG. 6 ett översiktsfoto av försöksuppställningen, visande brandcell, mätinstrument för registrering av förbränningshastighet, plåthuv samt delar av plåtkanal.

3.3 Analys av experimentella resultat

Genom tillämpning av den beräkningsmetodik, som summariskt refererats i avsnitt 2, har den till respektive försök hörande energi-tidkurvan bestämts med redovisning i FIG. 7-36. På grundval av i dessa figurer återgivna samband har motsvarande i författarens tidigare rapporter, (1974), de olika brandförloppskarakteriserande storheterna beräknats med redovisning i TAB. I-V. Jämför även FIG. 4 vad gäller tillämpade beteckningar för vissa av de använda storheterna.

I det följande kommer de i FIG. 7-36 och TAB. I-V redovisade storheterna närmare att kommenteras. Behandlingen koncentreras därvid till storheterna I_{Cmax}, I_{Cm}, I_{Cr}, och I_{Cd} definierade

i FIG. 4. Parallellt berörs även sambanden mellan de tre storheterna frigiven energi per tidsenhet, I_C, bränslets viktsminskning per tidsenhet, R, och det effektiva värmevärdet W.

Övriga i TAB. I-V sammanställda brandförloppskarakteristika kommenteras endast exemplifierande.

Behandlingen av de olika storheterna sker därvid genomgående mot bakgrunden av den begreppsförklaring rörande brandbelastnings- respektive ventilationskontrollerad brand som redovisas i avsnitt 5 i den tidigare rapporten, (1974).

Vid studium av TAB. I-V kan inledningsvis konstateras, att vid oförändrat porositetsfaktorvärde växer storheterna I_{Cmax}, I_{Cm}, I_{Cr} och I_{Cd} - jämför FIG. 37-56 vid ökande öppningsfaktor, men att tillväxten inte är linjär utan asymptotisk. Beskrivet förhållande dokumenteras därvid entydigt för de högre porositetsfaktorvärdena. För de lägre värdena på porositetsfaktorn ϕ uppvisar de erhållna sambanden större oregelbundenhet, varvid emellertid samtidigt kan konstateras att behandlade storheter förblir approximativt konstanta för $A\sqrt{H}/A_t \gtrsim 0.07\ m^{1/2}$. Beskrivet förhållande ligger därvid väl i linje med vad som konstaterats i avsnitt 5 i den tidigare rapporten (1974).

Som framgår av FIG. 7-36 är för stora öppningsfaktorvärden, $A\sqrt{H}/A_t \gtrsim 0.07\ m^{1/2}$ faktorn $I_{Cmax}/330\ A\sqrt{H} \cdot 10{,}78$ lägre, i flertalet fall väsentligt lägre än ett, vilket innebär att brandförloppet vid dessa öppningsfaktorvärden är brandbelastningskontrollerat. Sammanställda resultat verifierar således i avsnitt 8 i den tidigare rapporten (1974) konstaterat förhållande att tre olika typer av brandförlopp kan särskiljas, nämligen strikt ventilationskontrollerat, strikt brandbelastningskontrollerat samt träribbstapelkontrollerat.

För de olika storheterna I_{Cmax}, I_{Cm}, I_{Cr} och I_{Cd} kan vidare konstateras, att bortsett från det lägsta värdet, ger variationer i porositetsfaktorn ϕ liten inverkan, oberoende av vilken öppningsfaktor som studeras. Emellertid skall observeras, att i försöks-

serien ej ingår sådan utformning hos träribbstapeln som ger ett högt värde på ϕ eller så gles stapling, att avståndet överskrider det gränsvärde, för vilket brandspridning inom stapeln ej längre är möjlig.

Av intresse i sammanhanget är även en koppling mellan de tre storheterna frigiven energi per tidsenhet, I_C, bränslets viktminskning per tidsenhet, R, och det effektiva värmevärdet W. För tidsperioden t_d, som beskriver brandens aktiva skede med avseende på frigiven energi, ligger vid studium av TAB. I-V huvuddelen av värdena samlade i intervallet 9-14 MJ/kg för det tillhörande effektiva värmevärdet W_d, bestämt som kvoten I_{Cd}/R_d. I tabellerna återfinns även enstaka högre värden på W_d, vilka i helt dominerande grad är kopplade till försök med liten öppningsfaktor, $A\sqrt{H}/A_t \leq 0.04\ m^{1/2}$, samt liten brandbelastning q och/eller låg porositetsfaktor ϕ. Det tillhörande medelvärdet uppgår till 12.3 MJ/kg. För tidsperioden t_r, som omfattar såväl antändnings- som övertändningsförloppet, jfr FIG. 62-66, ligger effektiva värmevärdet W_r för 105 av de totalt 144 redovisade försöken i intervallet 7.5 - 11.9 MJ/kg, med medelvärdet W_r = 9.6 MJ/kg. Vad gäller de värden som ligger utanför detta intervall gäller i stort samma mönster som för W_d. Av tabellerna framgår vidare att spridningen i effektivt värmevärde W_d eller W_r avtar med ökad öppningsfaktor. Dessutom kan noteras att det effektiva värmevärdet ligger på en högre nivå vid liten öppningsfaktor jämfört med en större. Sammanfattningsvis kan således konstateras, i överensstämmelse med vad som redovisats i den tidigare rapporten (1974), att angivna effektiva värmevärden stämmer väl överens med det värde på 10.78 MJ/kg, som Kawagoe (1958) beräknat över en analys av rökgasernas sammansättning. I förhållande till det värmevärde, som bestäms vid fullständig, intensiv förbränning i kalorimetrisk bomb, som för trä varierar mellan 17 och 20 MJ/kg, uppgår de redovisade W_d- och W_r-värdena till cirka 45-65%.

Vid studium av de olika redovisade effektiva värmevärdena kan även konstateras att $W_g = I_{Cg}/R_g$ och som anger effektiva värmevärdet under glöd- och avsvalningsfasen, beräkningstekniskt blir mycket högt, storleksordningen 50-100 MJ/kg, men där enstaka väsentligt högre värden kan noteras. Detta förklaras av en under

den aktuella tidsperioden hög frigiven strålningsenergi samtidigt som brandbelastningens viktminskning är långsam. Som framgår av tabellerna är spridningen i W_g dessutom väsentligt större än motsvarande spridning i de motsvarande storheterna W_r och W_g, vilket överensstämmer väl med vad som tidigare konstateras i den tidigare rapporten (1974).

Vid en jämförelse mellan de olika energi-tidkurvorna som redovisas i FIG. 7-36 framgår, att hastigheten för brandförloppets utveckling uppvisar betydande variationer. Förhållandet illustreras närmare i FIG. 57-66, som belyser sambandet mellan porositetsfaktorn ϕ, brandbelastningen q och tidsintervallet t_m, FIG. 57-61, respektive t_r, FIG. 62-66. Storheten t_m anger därvid tidsintervallet från antändning till medeltidpunkten för maximivärdet I_{Cmax} uppnående, medan t_r beskriver tidsintervallet från antändning till tidpunkten svarande mot 0.75 I_{Cmax} på energi-tidkurvans nedåtgående del, jfr FIG. 4. Som framgår av sammanställningen, varierar såväl t_m som t_r mycket kraftigt vid små värden på öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t$. Beroendet avtar emellertid med ökad öppningsfaktor, så att det för $A\sqrt{H}/A_t \geq 0.07\ m^{1/2}$ approximativt saknar betydelse i praktisk dimensioneringstillämpning. För de båda storheterna t_m och t_r kan konstateras, att bortsett från det lägsta värdet ger variationer i porositetsfaktorn ϕ liten inverkan, oberoende av vilken öppningsfaktor som studeras.

För tidsperioden t_d, som således omfattar den med hänsyn till frigiven energi per tidsenhet aktiva delen av brandförloppet, avtar t_d vid växande brandbelastning vid de lägre öppningsfaktorvärdena, d v s inom det ventilationskontrollerade området, jfr FIG. 67-71. Vid de högre öppningsfaktorvärdena, d v s inom brandbelastningskontrollerat område, är t_d approximativt konstant, oberoende av brandbelastningen q. Vidare gäller att för de lägre värdena på porositetsfaktorn ϕ och öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t$ minskar t_d med växande ϕ. Vid högre porositetsfaktorvärden ϕ är inverkan av variationer i öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t$ väsentligt mindre.

Vid studium av FIG. 7-36 kan vidare konstateras, att sedan

energi-tidkurvan passerat den tidsperiod då energiutvecklingen är maximal, faller till en början kurvan snabbt för att därefter successivt bromsas upp och därefter övergå i en flack del med låg energinivå. Beskrivet förhållande illustreras av de tre storheterna t_1, t_2 och t_g, vilka för energi-tidkurvans nedåtgående del anger tidsintervallen från 0.75 till 0.5 I_{Cmax}, från 0.75 till 0.25 I_{Cmax} respektive från 0.75 I_{Cmax} till nollenerginivå, jfr FIG. 4. På grundval av erhållna försöksresultat redovisas beräknade värden på t_1, t_2 och t_g i TAB. I-V, kolumn 17-19, och illustreras i FIG. 72-86. De redovisade sambanden ger därvid för tidsperioderna t_1 och t_2 ett beroende av öppningsfaktorn och brandbelastningens storlek, som principiellt överensstämmer med motsvarande förhållanden för de tidigare beskrivna storheterna t_m och t_r. Vid studium av FIG. 72-81 kan vidare konstateras, att i den tidigare rapporten (1974) redovisade närmesambandet för bestämning av storheterna t_1 och t_2 är tillämpliga även här. De grova riktvärdena som anges är

$$t_2 \approx t_r$$

och

$$t_1 \approx (\frac{1}{3} - \frac{1}{4})t_2$$

För tidsperioden t_g framgår av FIG. 82-86 att spridningen är väsentligt större än den som gäller de övriga tidsstorheterna. Denna spridning är naturlig vid beaktande av att storheten t_g bestäms genom extrapolation av I_C-t kurvan för att därigenom uppfylla energivillkoret enligt EKV. (2-7). Ett inom rimliga gränser felaktigt valt t_g-värde ger emellertid liten inverkan vid en teoretisk bestämning av brandförloppets gastemperaturtidkurva över brandcellens värme- och massbalansekvationer.

För funktionssambandet mellan kvoten $I_{Cav}/\vartheta_{80-30}$ och brandcellens öppningsfaktor $A\sqrt{H}/A_t$ överensstämmer försöksresultaten mot de som redovisas och kommenteras i den tidigare rapporten (1974), avsnitt 4 och 5.

4 MODELL- OCH FULLSKALEFÖRSÖK

4.1 Energi - tidkurvan vid modellförsök

I de tidigare rapporterna (1974), och i de tidigare avsnitten har över brandcellens värme- och massbalans-ekvationer analyserats energikurvans beroende av de för brandförloppets utveckling viktigaste influenserna vid träribbstapelbrand i slutet rum med en fönsteröppning. De influenser som studerats är brandbelastningens storlek, staplingstäthet, öppningsfaktor samt enskild ribbas tjocklek. På grundval av de erhållna resultaten presenteras ett sammanfattat dimensioneringsunderlag som möjliggör en bestämning med för praktisk tillämpning tillfredsställande noggrannhet av den per tidsenhet frigivna energins tidkurva vid fullständigt brandförlopp. På grundval av den mest differentierade resultatredovisningen, i vilken hänsyn tas till bränslets totala energiinnehåll M, porositetsfaktorn ϕ, och ribbtjockleken b, kan den under brandförloppet maximalt utvecklade energin per tidsenhet, I_{Cmax}, bestämmas enligt följande samband:

a/ för brandbelastningskontrollerat brandförloppsområde, d v s för $M \cdot b_{25}/A\sqrt{H} \cdot b < 500$ MJ/m$^{5/2}$

$$I_{Cmax} = 5{,}6\ M \sqrt{\frac{\phi}{\phi_{0.5}}}\ \left(\frac{b_{25}}{b}\right)\ \text{MJ/h} \qquad (4\text{-}1)$$

b/ för övergångsområdet mellan brandbelastnings- och ventilationskontrollerat brandförlopp, d v s för
$500 \leq M \cdot b_{25}/A\sqrt{H} \cdot b \leq 1000$ MJ/m$^{5/2}$

$$I_{Cmax} = \left(1.52\ M \frac{b_{25}}{b} + 2040\ A\sqrt{H}\right) \sqrt{\frac{\phi}{\phi_{0.5}}}\ \text{MJ/h} \qquad (4\text{-}2)$$

c/ för ventilationskontrollerat brandförloppsområde, d v s för $M \cdot b_{25}/A\sqrt{H} \cdot b > 1000$ MJ/m$^{5/2}$

$$I_{Cmax} = 3560\ A\sqrt{H} \sqrt{\frac{\phi}{\phi_{0.5}}}\ \text{MJ/h} \qquad (4\text{-}3)$$

För sambandens tillämpning gäller vissa bivillkor, som närmare berörs i avsnitt 4.4.

För att tidkurvan för den per tidsenhet frigivna energin I_C skall kunna uppritas vid praktiska tillämpningar, måste värdet på maximienergin enligt ovan kompletteras med ett underlag, som möjliggör en bestämning av ett antal karakteristiska tidsstorheter, definierade enligt FIG. 4. Ordinärt kan därvid tillfredsställande noggrannhet erhållas, om tidsstorheterna t_r, t_d, t_1 och t_2 anges. På grundval av genomförda experimentella försök redovisas följande samband:

$$t_r = \frac{0{,}7\ q\ A_t}{I_{Cmax}} \quad (h) \qquad (4\text{-}4a)$$

$$t_d/t_r = 0{,}55\ \left[1+11(A\sqrt{H}/A_t - 0{,}08)(\phi - 0{,}4)\right] \qquad (4\text{-}4b)$$

$$t_2 \approx t_r \qquad (4\text{-}4c)$$

$$t_1 \approx 0{,}3\ t_2 \qquad (4\text{-}4d)$$

Till det ovan sammanställda underlaget för en bestämning av nivån för den per tidsenhet frigivna maximienergin I_{Cmax}, samt av tidsstorheterna t_r, t_d, t_1 och t_2 skall fogas energivillkoret - jfr EKV. (2-7).

$$\int_0^{t_g} I_C\ dt = M \qquad (4\text{-}5)$$

där M är bränslets totala värmeinnehåll i MJ. Villkoret bestämmer I_C-t-kurvans avslutning genom tidsstorheten t_g enligt FIG. 4.

4.2 Fullskaleförsök

De i föregående avsnitt redovisade sambanden bygger helt på resultat erhållna genom en omfattande försöksserie i modellskala. I den tidigare rapporten har även genomförts vissa jämförande studier med resultat erhållna vid fullskaleförsök. Denna jämförelse koncentrerades emellertid helt till den för brandförloppets beskrivning väsentliga storheten I_{Cmax}, som anger maximivärdet för frigjord energi per tidsenhet. Anledningen härtill förklaras av att noggrant definierade och systematiskt genomförda och välrapporterade fullskaleförsök med brandbelastning av träribbstapeltyp nästan helt saknas i litteraturen.

Vid Institutionen för Byggnadsstatik, Tekniska Högskolan i Lund, har emellertid genomförts en omfattande försöksserie för att primärt studera risken för brandspridning i tät bebyggelse av småhus i lättbetong. Resultaten från försöken redovisas bl a i Magnusson et al (1973) samt Fredlund et al (1974, 1976).

För denna försöksserie utfördes två små envåningshus med yttermåtten 6,0 x 4,2 m, och med en invändig rumshöjd av 2,4 m. Husen var utformade med bottenbjälklag och väggar av lättbetong med densiteten 500 kg/m^3. I den delserie som här är aktuell utfördes även vindsbjälklaget av lättbetong, kompletterat med ett vattentak av trä, typ pulpettak. I det ena försökshuset - brandhuset - arrangerades väldefinierade bränder, så valda att de skulle vara representativa för verkliga förhållanden. För att söka uppnå möjligast väldefinierade förhållanden, utgjordes bränslet av noggrant staplade träribbor av furu med kvadratiskt tvärmått av 25 x 25 mm och med staplingstätheten ϕ = 0,25 cm^{1,1}. Samtliga fönster och dörrar förutsattes helt förstörda vid brandförloppets start, och vid försöken simulerades ett fullständigt brandförlopp.

De parametrar som varierades och som direkt påverkade brandförloppet var:

1/ mängden av brännbart material i brandcellen, uttryckt genom brandbelastningen q
2/ brandcellens ventilation uttryckt genom öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t$
3/ antalet fönsteröppningar
4/ hastigheten för yttre vind. För att få möjligast renodlade försöksbetingelser krävdes vid försöken genomgående approximativt vindstilla, definierat genom en största vindhastighet < 5 m/s. Inverkan av yttre vind studerades i stället genom att denna alstrades artificiellt genom kraftiga fläktar.

På grund av sin inriktning registrerades ett flertal storheter, bl a sådana karakteristiska som beskriver brandförloppet, nämligen:

1/ brandbelastningens viktminskning per tidsenhet, uttryckt genom förbränningshastigheten R
2/ rökgas-temperaturen θ i några utslagsgivande punkter i brandcellen

3/ strålningsintensiteten mot en distinkt punkt i en av brandcellens väggar.

I TAB. VI redovisas karakteristika för den här aktuella försöksserien samt exempel på erhållna resultat.

På grundval av vid försöken registrerad gastemperatur-tid-kurva har därefter genom tillämpning av den beräkningsmetodik, som summariskt refererats i avsnitt 2, den till respektive försök hörande energi-tid-kurvan bestämts. De erhållna resultaten har därefter bearbetats och systematiserats, och kan sammanföras i följande samband, jfr FIG. 87.

$$t_3 = t_5 - t_d \qquad (4\text{-}6a)$$

$$t_4 = 0{,}90\ t_5 \qquad (4\text{-}6b$$

$$t_5 = \frac{0{,}7\ q\ A_t}{I_{Cmax}} \qquad (4\text{-}6c)$$

$$t_6 = 0{,}3\ t_7 \qquad (4\text{-}6d)$$

$$t_7 = t_5 \qquad (4\text{-}6e)$$

Dessutom gäller givetvis energivillkoret

$$\int_0^{t_g} I_C\ dt = M \qquad (4\text{-}5)$$

där M är bränslets totala värmeinnehåll i MJ. Villkoret bestämmer I_C-t-kurvans avslutning genom tidstorheten t_g.

4.3 Jämförelse mellan modell- och fullskaleförsök

I de båda tidigare avsnitten 4.1 och 4.2 redovisas dimensioneringsunderlag för bestämning av den per tidsenhet frigivna energins tidkurva vid fullständigt brandförlopp. Angivet dimensioneringsunderlag baseras dels på en försöksserie genomförd i modellskala, jämför avsnitt 4.1, dels på en försöksserie genomförd i fullskala, jämför avsnitt 4.2. Försöksresultaten bygger därvid genomgående på försök med brandbelastning i form av reguljär träribbstapel. Vid en jäm-

förelse av resultaten, redovisade i FIG. 4 och EKV.(4-4)samt FIG. 87 och EKV.(4-6) framgår, att dimensioneringsunderlaget från modell- och fullskala genomgående visar god överensstämmelse. Den enda skillnad som därvid kan noteras hänför sig helt till brandförloppets avsvalningsfas. Vid studium av EKV.(4-4)och(4-6) kan således konstateras, att temperaturnedgången under avsvalningen sker snabbare vid fullskaleförsöken jämfört med modellförsöken. Storheterna t_r, t_1 och t_2 som hänför sig till modellförsöken, överensstämmer således helt med tidsintervallen t_5, t_6 resp. t_7. De tre tidstorheterna inträffar däremot på olika nivå på vertikalaxeln som anger I_C, nämligen för 0,75 I_{Cmax}, 0,50 I_{Cmax} och 0,25 I_{Cmax}, gäller modellförsöken respektive 0,60 I_{Cmax}, 0,30 I_{Cmax} och 0,25 I_{Cmax}, gäller fullskaleförsöken. En förklaring till denna skillnad är svår att ange. En tänkbar orsak är olika luftrörelser inuti brandcellen under avsvalningsfasen, som bl a karakteriseras av att gasmassans turbulens är mindre utpräglad jämfört med vad som är fallet under flamfasen. En annan tänkbar orsak kan vara att luftrörelsen utanför brandcellen ger olika inverkan i de båda fallen. Eftersom modellförsöken genomförts inomhus i en stor laboratoriehall, är luftrörelserna inuti hallen obetydliga. Fullskaleförsöken däremot, har genomförts utomhus, vilket innebär att eftersom vindstilla i ordets verkliga bemärkelse aldrig förelåg, kan inverkan på gasflödet inuti brandcellen tänkas förekomma av den omgivande luften.

4.4 Sammanfattat dimensioneringsunderlag för den per tidsenhet frigivna energins tidkurva vid fullständigt brandförlopp

I avsnitt 4.1 och 4.2 redovisas sammanfattat dimensioneringsunderlag för bestämning av den per tidsenhet frigivna energins tidkurva vid fullständigt brandförlopp, där underlaget baseras dels på modell-, dels på fullskaleförsök. Sammanfattningen bygger därvid genomgående på försök med brandbelastning i form av reguljär träribbstapel.

I sin mest differentierade form beaktas vid bestämningen av energitid-kurvan, primärt I_{Cmax}, de viktigaste egenskaperna hos brandbelastningen, nämligen bränslets totala energiinnehåll M, porositetsfaktorn ϕ och ribbtjockleken b. En bestämning av I_{Cmax} kan därvid ske enligt följande samband, jfr EKV. (4-1) - (4-3).

a/ för brandbelastningskontrollerat brandförloppsområde, d v s för

$M \cdot b_{25}/A\sqrt{H} \cdot b < 500\ MJ/m^{5/2}$

$$I_{Cmax} = 5{,}6\ M \sqrt{\frac{\phi}{\phi_{0,5}}}\ \left(\frac{b_{25}}{b}\right) \qquad MJ/h$$

b/ för övergångszonen mellan brandbelastnings- och ventilationskontrollerat brandförlopp, d v s för

$500 \leq M \cdot b_{25}/A\sqrt{H} \cdot b \leq 1000\ MJ/m^{5/2}$

$$I_{Cmax} = \left(1{,}52\ M \frac{b_{25}}{b} + 2040\ A\sqrt{H}\right)\sqrt{\frac{\phi}{\phi_{0,5}}} \qquad MJ/h$$

c/ för ventilationskontrollerat brandförloppsområde, d v s för

$M \cdot b_{25}/A\sqrt{H} \cdot b > 1000\ MJ/m^{5/2}$

$$I_{Cmax} = 3560\ A\sqrt{H}\ \sqrt{\frac{\phi}{\phi_{0,5}}} \qquad MJ/h$$

För sambandens tillämpning gäller därvid följande bivillkor: Om öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t < 0{,}04\ m^{1/2}$ sätts verklig porositetsfaktor genomgående till $\phi_{0,5} = 0{,}5\ cm^{1,1}$. Om öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t > 0{,}07^{1/2}$, insätts ϕ med verkliga värde inom området $\phi \leq 0{,}5\ cm^{1,1}$, medan verkligt ϕ ersätts med $\phi_{0,5} = 0{,}5\ cm^{1,1}$, för $\phi > 0{,}5\ cm^{1,1}$. Inom området $0{,}04 \leq A\sqrt{H}/A_t \leq 0{,}07\ m^{1/2}$ bestäms ϕ genom linjär interpolation, d v s ur formeln

$$\phi = \frac{1}{3}\left(7\ \phi_{0,5} - 4\ \phi_v\right) - \frac{A\sqrt{H}/A_t}{0{,}03}\left(\phi_{0,5} - \phi_v\right)$$

varvid ϕ_v är verkligt porositetsfaktorvärde. Formeln gäller för $\phi_v \leq 0{,}5\ cm^{1,1}$. För $\phi_v > 0{,}5\ cm^{1,1}$ väljs ϕ till $0{,}5\ cm^{1,1}$. Med avseende på ribbtjockleken b tillämpas verkligt värde, om $b \geq b_{25} = 25$ mm, medan b genomgående sätts till 25 mm för verkligt $b < 50$ mm. Sambandens tillämpning är verifierade experimentellt endast upp till $b \approx 50$ mm.

För samtliga ovan summariskt refererade I_{Cmax}-sambanden skall I_{Cmax}-värdena generellt uppförstoras, om öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t < 0{,}04\ m^{1/2}$. Den korrigerade multiplikatorn skall därvid väljas till 1,2 för

$A\sqrt{H}/A_t < 0{,}02\ m^{1/2}$, och därefter avta linjärt med ökad öppningsfaktor till värdet 1,0 vid $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}04\ m^{1/2}$. För att tidkurvan för den per tidsenhet frigivna energin I_C skall kunna uppritas vid praktiska tillämpningar, måste värdet för maximienergin enligt ovan kompletteras med ett underlag, som möjliggör en bestämning av ett antal karakteristiska storheter. Med hänsyn till vad som framkommit i avsnitt 4.3, varvid framgår att modell- och fullskaleförsök ger nära överensstämmande resultat, dock att temperaturnedgången under avsvalningsfasen sker snabbare i fullskaleförsöken, jämfört med modellförsöken, är det för en praktisk tillämpning rimligt att vid avvikelser basera ett dimensioneringsunderlag på de resultat som erhållits vid försöken i full skala. Bibehålls de i den tidigare rapporten (1974) och i avsnitt 3 använda beteckningarna, dock modifierade enligt de synpunkter som redovisas i avsnitt 4.3, kan energi-tid-kurvan definierad enligt FIG. 88 med tillfredsställande noggrannhet beskrivas om tidsstorheterna t_r', t_d', t_0, t_1' och t_2' anges. För tidsstorheten t_r', vilken beskriver tiden från antändning till tidpunkten för 0,60 I_{Cmax} på energi-tid-kurvans nedåtgående del, gäller sambandet

$$t_r' = \frac{0{,}7\ q\ A_t}{I_{Cmax}}$$

Under denna form kan en bestämning av t_r' utsträckas till att gälla såväl ventilationskontrollerade som brandbelastningskontrollerade förlopp. Således ger en övergång från ventilationskontrollerade till brandbelastningskontrollerade förhållanden vid en given bränslemängd ett lägre värde på I_{Cmax}, och därmed en motsvarande förlängning i t_r'.

Vid tidsstorheten t_d', vilken anger tiden mellan de punkter på energi-tid-kurvan som svarar mot 0,75 I_{Cmax} på uppåtgående resp. 0,60 I_{Cmax} på nedåtgående kurvdelen, gäller följande närmesamband:

$$t_d/t_r = 0{,}55\ \left[1+11(A\sqrt{H}/A_t - 0{,}08)(\phi - 0{,}4)\right]$$

Till angivet samband skall fogas bivillkoren att:

för $A\sqrt{H}/A_t > 0{,}08\ m^{1/2}$ insätts det mot $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}08\ m^{1/2}$ svarande värdet, samt att för $\phi > 0{,}5\ cm^{1,1}$ verkligt ϕ ersätts med $\phi = 0{,}5\ cm^{1,1}$

för tidsstorheten t_o, vilken uttrycker tiden från antändning till den tidpunkt då I_C-t-kurvan börjar falla, gäller relationen

$t_o \approx 0{,}90\ t_r'$

för tidsstorheterna t_1' och t_2', vilka enligt FIG. 88 beskriver energi-tid-kurvans nedåtgående del mellan punkterna $I_C = 0{,}60\ I_{Cmax}$ och $I_C = 0{,}30\ I_{Cmax}$ respektive $I_C = 0{,}60\ I_{Cmax}$ och $I_C = 0{,}20\ I_{Cmax}$ gäller sambanden

$t_2' \approx t_r'$

$t_1' \approx 0{,}3\ t_2'$

Till det ovan angivna underlaget för en bestämning av nivån för den per tidsenhet frigivna miximienergin I_{Cmax}, samt av tidsstorheterna t_r', t_d', t_o, t_1' och t_2' skall även fogas energivillkoret

$$\int_o^{t_g} I_C\, dt = M$$

där M är bränslets totala värmeinnehåll i MJ. Villkoret bestämmer I_C-t-kurvans avslutning genom tidsstorheten t_g.

Genom angivet sammanfattat dimensioneringsunderlag möjliggörs en bestämning av det fullständiga brandförloppets tidkurva för per tidsenhet frigiven energi I_C med en noggrannhet, som är godtagbar i ordinära fall. Bestämningen kan därvid genomföras med en förhållandevis långtgående differentiering för renodlad brandbelastning i form av reguljär träribbstapel med hänsyn till brandcellens öppningsfaktor $A\sqrt{H}/A_t$, samt brandbelastningens storlek q, porositetsfaktor ϕ och ribbtjocklek b. För praktisk representativ brandbelastning av möbler, textilier och annan inredning bör motsvarande differentieringsgrad kunna bli möjlig, sedan genom kompletterande, systematiskt upplagda kalibreringsförsök i fullskala ekvivalent porositetsfaktor ϕ_e och ekvivalent ribbtjocklek b_e bestämts för dominerande brandbelastningskomponenter.

LITTERATUR

Fredlund, B. - Magnusson, S.E. - Nilsson, L. - Pettersson, O. - Strandberg, S. - Thelandersson, S., 1974, Brandspridning i tät bebyggelse av småhus i lättbetong. Väg- och vattenbyggaren Nr 6-7, sid 42.

Fredlund, B. - Magnusson, S.E. - Nilsson, L. - Pettersson, O. - Strandberg, S. - Thelandersson, S., 1974, Fire Spread in Low Rise, High Density Areas of Small Houses, Built of Aerated Concrete. FoU-Brand, Fire Research and Development News, No. 1, Stockholm.

Gross, D., 1962, Experiments on the Burning of Cross Piles of wood. Journal of Research of the National Bureau of Standards. Vol. 66 C, No. 2, April-June.

Kawagoe, K., 1958, Fire Behaviour in Rooms. Building Research Institute. Report No. 27, Tokyo.

Kawagoe, K. - Sekine, T., 1963, Estimation of Fire Temperature - Time Curve in Rooms. Building Research Institute. Occasional Report. No. 11, Tokyo.

Magnusson, S.E. - Nilsson, L - Pettersson, O, - Thelandersson, S., 1973, Brandspridning i tät bebyggelse av småhus i lättbetong. Institutionen för Byggnadsstatik, LTH, stencil, Lund, 1973. - Jfr också Lättbetong Nr 3, 1973.

Magnusson, S.E. - Thelandersson, S., 1970, Temperature - Time Curves of Complete Process of Fire Development. Acta Polytechnica Scandinavia, Civil Engineering and Building Construction, Series No. 65, Stockholm.

Magnusson, S.E. - Thelandersson, S., 1971, Comments on Rate of Gas Flow and Rate of Burning for Fires in Enclosures. Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Lund Institute of Technology, Bulletin 19, Lund.

Nilsson, L., 1971, Porositets- och luftflödesfaktorns inverkan på förbränningshastigheten vid brand i slutet rum. Rapport från Byggforskningen R 22:1971, Stockholm.

Nilsson, L., 1974, Time Curve of Heat Release for Compartment Fires with Fuel of Wooden Cribs. Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Lund Institute of Technology, Bulletin 36, Lund.

Nilsson, L., 1974, Experimental and Theoretical Investigations on Compartment Fires. Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Lund Institute of Technology, Bulletin 37, Lund.

Odenmark, N. - Schlyter, S., 1935, Brandsäkerheten hos vissa bjälklagskonstruktioner jämte teoretisk bestämning av brandtemperaturer, uppkommande i byggnadskonstruktioner. Statens Provningsanstalt, Meddelande 65, Stockholm.

Olsson, B. - Sjöholm, G., 1972, Väggegenskapernas inverkan på förbränningshastigheten vid brand i slutet rum med en fönsteröppning. Examensarbete vid Institutionen för Byggnadsstatik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Parker, W.J. - Long, M.E., 1972, Development of a Heat Release Rate Calorimeter at NBS, ASTM Special Technical Publication 502, p. 135.

Smith, E.E., 1972, Heat Release of Building Materials, ASTM Special Technical Publication 502, p 119.

Smith, E.E., An Experimental Method for Evaluating Fire Hazard. 4th International Fire Protection Seminar, Zürich, 18-20 October, 1973.

Ödeen, K., 1963, Teoretisk bestämning av temperaturförloppet i några av brand påverkade konstruktioner. Institutionen för konstruktionslära, Kungl. Tekniska Högskolan, Bulletin No. 9, Stockholm.

Ödeen, K., 1963, Theoretical Study of Fire Characteristics in Enclosed Spaces. Division of Building Construction, Royal Institute of Technology. Bulletin No. 10, Stockholm.

TABELLTEXT

TAB. I Karakteristika, primärvärden med flera storheter sammanställda för försöken, omfattande ett studium av inverkan på brandförloppet av varierande brandbelastning och porositetsfaktor. Öppningsfaktor $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$

TAB. II Karakteristika, primärvärden med flera storheter sammanställda för försöken, omfattande ett studium av inverkan på brandförloppet av varierande brandbelastning och porositetsfaktor. Öppningsfaktor $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$

TAB. III Karakteristika, primärvärden med flera storheter sammanställda för försöken, omfattande ett studium av inverkan på brandförloppet av varierande brandbelastning och porositetsfaktor. Öppningsfaktor $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$

TAB. IV Karakteristika, primärvärden med flera storheter sammanställda för försöken, omfattande ett studium av inverkan på brandförloppet av varierande brandbelastning och porositetsfaktor. Öppningsfaktor $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$

TAB. V Karakteristika, primärvärden med flera storheter sammanställda för försöken, omfattande ett studium av inverkan på brandförloppet av varierande brandbelastning och porositetsfaktor. Öppningsfaktor $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$

TAB. VI Karakteristika och exempel på försöksresultat erhållna vid fullskaleförsök

ϕ cm^{1,1} (1)	q_{teor} MJ/m^{2}o.y. (2)	q MJ/m^{2}o.y. (3)	$Qa/\rho A\sqrt{H}$ (4)	$R=330A\sqrt{H}$ kg/h (5)	R_{80-30} kg/h (6)	I_{Cmax} MJ/h (7)	t_m h (8)	I_{Cm} MJ/h (9)	t_r h (10)	I_{Cr} MJ/h (11)	R_r kg/h (12)	$W_r=I_{Cr}/R_r$ MJ/kg (13)	t_d h (14)
0,026	17,5	18,7	1,0	22,3	6,5	98	1,017	43	1,106	46	3,21	14,2	0,309
0,096	"	17,3	"	"	16,7	170	0,150	92	0,210	112	12,88	8,7	0,105
0,288	"	17,1	"	"	19,9	209	0,133	124	0,190	144	14,06	10,2	0,110
0,479	"	17,1	"	"	21,1	216	0,125	133	0,170	151	17,26	8,7	0,095
0,692	"	17,1	"	"	22,7	228	0,125	130	0,173	152	16,19	9,4	0,095
1,056	"	18,7	"	"	17,6	221	0,167	99	0,245	133	13,39	9,9	0,115
0,117	35,0	37,0	"	"	26,5	305	0,196	196	0,312	230	19,00	12,1	0,207
0,276	"	36,4	"	"	25,1	288	0,233	170	0,309	193	19,42	10,0	0,120
0,495	"	35,3	"	"	27,1	252	0,309	159	0,365	178	16,02	11,1	0,203
0,688	"	35,3	"	"	26,2	288	0,276	152	0,316	166	18,39	9,0	0,072
1,092	"	37,0	"	"	26,9	300	0,279	149	0,317	165	19,00	8,7	0,065
0,029	52,5	52,2	"	"	11,0	168	0,675	74	1,073	103	7,68	13,4	0,598
0,098	"	52,2	"	"	21,5	228	0,400	127	0,548	146	15,55	9,4	0,298
0,262	"	52,0	"	"	25,3	251	0,367	149	0,465	166	19,15	8,7	0,169
0,451	"	48,5	"	"	25,1	264	0,362	176	0,413	184	19,82	9,3	0,173
0,782	"	49,7	"	"	28,3	305	0,475	132	0,520	144	16,45	8,8	0,118
1,016	"	51,0	"	"	29,1	312	0,417	120	0,498	144	17,76	8,1	0,096
0,026	70,0	66,7	"	"	14,1	217	0,737	110	1,145	137	9,13	15,0	0,660
0,106	"	67,7	"	"	31,6	284	0,392	161	0,567	194	20,36	9,6	0,310
0,293	"	70,9	"	"	29,3	329	0,500	139	0,531	149	22,94	6,5	0,073
0,489	"	67,3	"	"	26,9	276	0,550	137	0,693	158	17,03	9,3	0,191
0,712	"	63,9	"	"	30,3	288	0,567	156	0,700	178	17,04	10,4	0,307
0,988	"	62,6	"	"	30,4	284	0,525	144	0,668	168	17,66	9,5	0,255
0,028	87,5	83,1	"	"	15,8	218	0,350	132	0,965	166	14,44	11,5	0,789
0,096	"	82,7	"	"	26,9	283	0,592	130	0,756	158	18,14	8,7	0,319
0,263	"	80,5	"	"	25,2	245	0,750	130	0,975	149	14,92	10,0	0,412
0,504	"	88,3	"	"	31,8	312	0,717	156	0,842	175	19,86	8,8	0,297
0,741	"	86,2	"	"	31,0	304	0,783	113	0,955	144	17,25	8,4	0,353
0,865	"	85,4	"	"	30,7	323	0,858	122	1,000	146	16,26	9,0	0,333

TAB. I

I_{Cd}	R_d	$W_d = I_{Cd}/R_d$	t_1	t_2	t_g	I_{Cg}	R_g	$W_g = I_{Cg}/R_g$	I_{Cav}	W_{av}	ϑ_{80-30}	$\frac{R_{80-30}}{\vartheta_{80-30}}$	$\frac{I_{Cav}}{\vartheta_{80-30}}$	Försök nr
MJ/h (15)	kg/h (16)	MJ/kg (17)	h (18)	h (19)	h (20)	MJ/h (21)	kg/h (22)	MJ/kg (23)	MJ/h (24)	MJ/kg (25)	°C (26)	kg/°C·h (27)	MJ/°C·h (28)	(29)
77	4,98	15,5	0,121	0,231	0,333	38	0,16	239,1	29	4,46	190	0,034	0,15	BB1
155	13,02	11,9	0,048	0,408	0,707	50	0,90	55,6	142	8,50	446	0,037	0,32	BB2
186	18,18	10,2	0,047	0,350	0,580	53	1,09	48,7	194	9,75	596	0,033	0,33	BB3
196	17,35	11,3	0,030	0,237	0,722	44	0,50	88,0	166	7,86	489	0,043	0,34	BB4
203	17,33	11,7	0,033	0,203	0,805	39	0,61	64,8	204	8,99	598	0,038	0,34	BB5
196	12,67	15,5	0,042	0,260	0,513	60	0,64	94,8	197	11,19	581	0,030	0,34	BB6
283	23,02	12,3	0,045	0,323	0,679	76	1,73	44,0	295	11,16	836	0,032	0,35	C53
265	21,96	12,1	0,274	0,415	0,862	72	1,14	63,1	221	8,80	717	0,035	0,31	C51
240	22,17	10,8	0,066	0,422	0,740	72	1,25	57,6	218	8,05	724	0,037	0,30	C49
260	21,36	12,2	0,072	0,416	0,952	69	1,02	67,6	170	6,50	663	0,040	0,26	C47
281	24,45	11,5	0,049	0,309	0,927	77	1,16	66,4	173	6,43	660	0,041	0,26	C45
150	9,53	15,7	0,520	0,629	0,700	96	2,61	36,8	151	13,73	539	0,020	0,28	BB13
201	15,08	13,3	0,361	0,757	1,430	67	1,08	62,4	185	8,61	616	0,035	0,30	BB14
232	19,63	11,8	0,157	0,435	3,302	25	0,34	74,5	161	6,36	572	0,044	0,28	BB15
236	19,35	12,2	0,205	0,427	1,658	52	0,70	74,3	185	7,39	605	0,041	0,31	BB16
260	19,83	13,1	0,187	0,355	3,060	31	0,33	91,9	192	6,78	601	0,047	0,32	BB17
270	17,00	15,8	0,180	0,329	2,742	38	0,36	105,7	170	5,84	564	0,052	0,30	BB18
192	12,43	15,4	0,350	0,584	0,623	113	3,85	29,2	202	14,32	693	0,020	0,29	BB19
270	22,26	12,2	0,208	0,418	0,663	111	2,26	49,1	238	7,53	725	0,044	0,33	BB20
307	23,77	12,9	0,119	0,482	1,849	62	0,81	76,4	149	5,09	552	0,053	0,27	BB21
242	17,97	13,5	0,244	0,397	0,907	81	1,30	62,8	161	5,99	548	0,049	0,29	BB22
268	23,73	11,3	0,110	0,259	1,950	47	0,20	235,8	170	5,61	535	0,057	0,32	BB23
269	18,20	14,9	0,097	0,570	1,715	58	0,16	358,4	146	4,80	473	0,064	0,31	BB24
186	12,91	14,4	0,562	0,832	1,096	112	1,92	58,3	192	12,15	660	0,024	0,29	BB7
264	21,82	12,1	0,409	1,078	1,751	92	1,28	71,9	209	7,77	692	0,039	0,30	BB8
216	13,16	16,5	0,282	0,437	3,862	33	0,25	129,9	151	5,99	564	0,045	0,27	BB9
287	20,01	14,3	0,154	0,679	2,432	61	0,12	508,3	134	4,21	515	0,062	0,26	BB10
276	22,10	12,5	0,132	0,325	5,295	29	0,30	103,8	142	4,58	490	0,063	0,29	BB11
296	21,05	14,1	0,083	0,853	1,810	79	0,65	121,5	118	3,84	423	0,073	0,28	BB12

TAB. I Forts.

ϕ	q_{teor}	q	$Qa/\rho A\sqrt{H}$	$R=330A\sqrt{H}$	R_{80-30}	I_{Cmax}	t_m	I_{Cm}	t_r	I_{Cr}	R_r	$W_r=I_{Cr}/R_r$	t_d
$cm^{1,1}$	$MJ/m^2o.y.$	$MJ/m^2o.y.$		kg/h	kg/h	MJ/h	h	MJ/h	h	MJ/h	kg/h	MJ/kg	h
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
0,026	17,5	15,3	1,0	35,6	5,9	211	0,317	54	0,363	65	7,10	9,2	0,063
0,096	"	14,6	"	"	12,8	173	0,183	58	0,240	111	8,55	13,0	0,087
0,288	"	16,4	"	"	17,8	280	0,183	88	0,237	127	9,95	12,7	0,080
0,479	"	14,0	"	"	22,2	288	0,066	180	0,115	216	19,92	10,8	0,078
0,692	"	15,3	"	"	25,4	346	0,050	169	0,111	250	21,00	11,9	0,072
1,056	"	15,4	"	"	20,2	326	0,067	227	0,101	253	21,63	11,7	0,071
0,117	35,0	37,0	"	"	28,6	499	0,159	248	0,210	297	22,39	13,2	0,087
0,276	"	36,9	"	"	38,6	346	0,171	238	0,230	261	26,48	9,9	0,151
0,495	"	37,3	"	"	37,1	403	0,171	216	0,253	265	24,85	10,7	0,101
0,688	"	37,2	"	"	47,0	430	0,166	245	0,194	267	30,99	8,6	0,072
1,092	"	36,5	"	"	45,9	449	0,167	220	0,200	251	29,15	8,6	0,065
0,029	52,5	42,9	"	"	13,7	230	0,422	138	0,555	154	13,25	11,6	0,270
0,098	"	41,2	"	"	23,2	257	0,300	180	0,388	196	18,89	10,4	0,262
0,262	"	43,5	"	"	48,9	403	0,150	265	0,228	296	32,81	9,0	0,148
0,451	"	46,7	"	"	57,5	392	0,151	270	0,223	301	37,59	8,0	0,146
0,782	"	41,8	"	"	42,8	476	0,183	227	0,245	273	30,71	8,9	0,080
1,016	"	45,1	"	"	37,9	490	0,200	257	0,240	292	32,78	8,9	0,067
0,025	70,0	62,9	"	"	14,6	204	0,565	123	1,000	150	10,43	14,4	0,615
0,106	"	69,6	"	"	40,9	346	0,350	238	0,435	253	27,78	9,1	0,280
0,293	"	71,4	"	"	49,3	394	0,300	253	0,405	280	31,83	8,8	0,230
0,489	"	64,8	"	"	54,4	461	0,258	269	0,300	288	38.71	7.4	0,083
0,712	"	67,2	"	"	43,9	480	0,283	238	0,364	280	34,67	8,1	0,126
0,988	"	64,9	"	"	40,9	422	0,267	219	0,378	261	31,26	8,4	0,161
0,028	87,5	78,3	"	"	19,4	269	0,467	207	0,972	215	13,49	15,9	0,815
0,096	"	80,4	"	"	38,8	403	0,383	211	0,509	250	27,69	9,0	0,253
0,263	"	78,3	"	"	51,1	397	0,300	257	0,400	288	34,73	8,3	0,222
0,504	"	79,6	"	"	50,3	461	0,366	299	0,453	250	33,25	7,5	0,150
0,741	"	74,3	"	"	40,2	380	0,450	180	0,565	215	25,25	8,5	0,220
0,865	"	71,5	"	"	46,0	411	0,350	207	0,448	246	30,62	8,0	0,202

TAB. II

I_{Cd}	R_d	$W_d=I_{Cd}/R_d$	t_1	t_2	t_g	I_{Cg}	R_g	$W_g=I_{Cg}/R_g$	I_{Cav}	W_{av}	ϑ_{80-30}	$\frac{R_{80-30}}{\vartheta_{80-30}}$	$\frac{I_{Cav}}{\vartheta_{80-30}}$	Försök nr
MJ/h (15)	kg/h (16)	MJ/kg (17)	h (18)	h (19)	h (20)	MJ/h (21)	kg/h (22)	MJ/kg (23)	MJ/h (24)	MJ/kg (25)	°C (26)	kg/°C·h (27)	MJ/°C·h (28)	(29)
144	9,14	15,7	0,047	0,134	0,450	64	0,85	75,1	54	9,15	202	0,029	0,27	BB37
239	16,12	14,8	0,063	0,323	0,717	32	1,08	29,8	142	11,09	356	0,036	0,40	BB38
246	17,18	14,3	0,048	0,166	0,383	68	2,12	32,1	234	13,15	524	0,034	0,45	BB39
267	19,10	14,0	0,043	0,125	0,338	66	1,21	54,5	262	11,81	538	0,041	0,49	BB40
313	21,01	15,0	0,034	0,099	0,406	60	1,54	38,9	323	12,72	659	0,039	0,49	BB41
309	19,68	15,7	0,023	0,124	0,473	56	1,66	33,7	304	15,05	639	0,032	0,48	BB42
449	30,16	14,9	0,055	0,234	0,464	133	5,18	25,6	419	14,63	847	0,034	0,49	C42
324	32,90	9,9	0,070	0,243	0,713	89	1,40	63,5	326	8,46	740	0,052	0,44	C40
370	24,61	15,0	0,045	0,137	0,605	99	1,45	65,6	304	8,19	747	0,050	0,40	C38
389	34,86	11,2	0,031	0,296	0,784	93	1,44	64,5	315	6,70	689	0,068	0,46	C36
413	38,28	10,8	0,026	0,268	0,783	91	1,50	60,7	323	7,03	749	0,061	0,43	C34
197	13,85	14,2	0,255	0,415	0,577	103	1,61	64,2	165	12,04	442	0,031	0,37	BB36
241	20,76	11,6	0,192	0,308	1,062	61	0,58	103,9	238	10,26	574	0,042	0,41	BB35
357	37 91	9,4	0,081	0,213	1,602	50	0,57	86,7	350	7,16	711	0,069	0,49	BB34
366	36,16	10,1	0,082	0,215	2,560	35	0,25	140,0	331	5,76	699	0,082	0,47	BB33
412	42,38	9,7	0,082	0,164	1,262	60	0,44	136,1	327	7,64	720	0,059	0,45	BB32
461	40,52	11,4	0,067	0,177	1,893	44	0,44	99,4	300	7,92	678	0,056	0,44	BB31
184	12,71	14,5	0,305	0,600	0,880	73	1,96	37,5	177	12,12	498	0,029	0,36	BB30
323	28,93	11,1	0,162	0,377	1,882	67	0,72	93,0	300	7,33	697	0,059	0,43	BB29
362	35,41	10,2	0,091	0,280	2,478	52	0,36	142,6	327	6,63	772	0,064	0,42	BB28
415	29,82	13,9	0,111	0,245	4,163	32	0,22	148,5	300	5,51	677	0,080	0,44	BB27
424	32,98	12,9	0,098	0,189	2,783	45	0,12	365,4	234	5,33	562	0,078	0,42	BB26
369	27,76	13,3	0,089	0,212	2,752	44	0,26	168,3	250	6,11	587	0,070	0,43	BB25
232	15,41	15,0	0,125	0,398	0,665	84	3,01	27,8	246	12,68	612	0,032	0,40	BB43
360	29,13	12,4	0,178	0,336	2,274	64	0,63	102,3	307	7,91	712	0,054	0,43	BB44
370	36,85	10,0	0,133	0,333	2,597	58	0,47	123,6	327	6,40	721	0,071	0,45	BB45
239	19,23	12,4	0,080	0,180	3,060	50	0,10	500,0	194	3,85	548	0,092	0,35	BB46
354	28,91	12,2	0,072	0,149	3,858	34	0,21	163,7	184	4,58	508	0,099	0,36	BB47
385	31,39	12,3	0,055	0,137	4,188	22	0,21	117,5	196	4,26	472	0,085	0,42	BB48

TAB. II Forts.

ϕ	q_{teor}	q	$Qa/\rho A\sqrt{H}$	$R=330A\sqrt{H}$	R_{80-30}	I_{Cmax}	t_m	I_{Cm}	t_r	I_{Cr}	R_r	$W_r=I_{Cr}/R_r$	t_d
$cm^{1,1}$ (1)	MJ/m^2 o.y. (2)	MJ/m^2 o.y. (3)	(4)	kg/h (5)	kg/h (6)	MJ/h (7)	h (8)	MJ/h (9)	h (10)	MJ/h (11)	kg/h (12)	MJ/kg (13)	h (14)
0,026	17,5	14,8	1,0	44,6	6,1	158	0,517	38	0,567	48	4,39	10,9	0,065
0,096	"	14,3	"	"	13,9	168	0,134	84	0,220	110	10,82	10,2	0,127
0,288	"	16,0	"	"	19,0	312	0,158	106	0,206	149	11,21	13,3	0,077
0,479	"	15,6	"	"	25,5	336	0,112	111	0,161	166	15,50	10,7	0,075
0,692	"	16,3	"	"	27,8	394	0,059	249	0,100	293	22,52	13,0	0,069
1,056	"	14,8	"	"	19,9	360	0,100	144	0,141	194	15,33	12,7	0,062
0,117	35,0	37,1	"	"	27,1	456	0,163	301	0,229	336	23,94	14,0	0,154
0,276	"	37,8	"	"	41,7	408	0,148	275	0,200	303	29,88	10,2	0,128
0,495	"	37,5	"	"	43,6	480	0,140	285	0,193	327	30,57	10,7	0,093
0,688	"	34,8	"	"	51,6	504	0,117	306	0,152	340	35,99	9,5	0,077
1,092	"	38,0	"	"	51,2	528	0,127	289	0,160	330	37,38	8,8	0,066
0,029	52,5	47,5	"	"	13,3	199	0,525	110	0,929	144	9,66	14,9	0,611
0,098	"	42,2	"	"	31,3	312	0,167	169	0,350	220	21,23	10,4	0,183
0,262	"	46,7	"	"	56,3	490	0,154	307	0,219	346	37,24	9,3	0,140
0,451	"	42,8	"	"	61,9	504	-	-	-	-	-	-	-
0,782	"	45,5	"	"	52,7	552	0,158	365	0,208	403	38,80	10,4	0,100
1,056	"	52,2	"	"	53,0	528	0,200	272	0,262	321	36,74	8,7	0,108
0,026	70,0	68,8	"	"	15,8	240	0,700	158	1,048	182	11,91	15,3	0,806
0,106	"	64,7	"	"	42,1	370	0,242	242	0,411	289	27,79	10,4	0,281
0,293	"	66,0	"	"	55,7	528	0,267	350	0,300	365	39,17	9,3	0,165
0,489	"	64,7	"	"	62,3	456	0,196	294	0,265	327	43,28	7,6	0,151
0,712	"	76,5	"	"	59,8	552	0,317	202	0,380	250	36,40	6,9	0,105
0,988	"	63,3	"	"	50,9	528	0,300	211	0,382	268	30,46	8,8	0,135
0,028	87,5	84,7	"	"	21,5	254	0,532	175	0,945	204	16,48	12,4	0,717
0,096	"	75,3	"	"	42,7	422	0,325	266	0,471	305	29,03	10,5	0,314
0,263	"	85,5	"	"	56,9	528	0,283	254	0,348	298	43,55	6,8	0,156
0,504	"	79,4	"	"	55,3	504	0,283	265	0,394	320	37,74	8,5	0,176
0,741	"	86,0	"	"	51,0	490	0,400	221	0,502	269	32,22	8,3	0,164
0,865	"	86,9	"	"	65,3	552	0,325	217	0,417	277	38,07	7,3	0,139

TAB. III

I_{Cd}	R_d	$W_d = I_{Cd}/R_d$	t_1	t_2	t_g	I_{Cg}	R_g	$W_g = I_{Cg}/R_g$	I_{Cav}	W_{av}	ϑ_{80-30}	$\frac{R_{80-30}}{\vartheta_{80-30}}$	$\frac{I_{Cav}}{\vartheta_{80-30}}$	Försök nr
MJ/h (15)	kg/h (16)	MJ/kg (17)	h (18)	h (19)	h (20)	MJ/h (21)	kg/h (22)	MJ/kg (23)	MJ/h (24)	MJ/kg (25)	°C (26)	kg/°C·h (27)	MJ/°C·h (28)	(29)
139	9,74	14,3	0,056	0,328	0,516	44	0,73	60,5	48	7,87	166	0,037	0,29	BB55
152	9,97	15,3	0,097	0,268	0,415	57	0,89	64,0	131	9,48	305	0,046	0,43	BB56
282	18,26	15,4	0,037	0,140	0,294	81	2,61	31,2	274	14,42	503	0,038	0,54	BB57
313	20,39	15,4	0,036	0,139	0,250	100	2,09	47,8	302	11,86	543	0,047	0,55	BB58
359	26,96	13,3	0,028	0,125	0,247	106	3,64	29,0	370	13,31	659	0,042	0,56	BB59
322	19,36	16,6	0,030	0,082	0,175	99	4,01	24,7	295	14,79	542	0,037	0,54	BB60
418	25,92	16,1	0,047	0,196	0,378	125	4,36	28,6	418	15,40	775	0,035	0,53	C31
379	36,09	10,5	0,079	0,306	0,563	116	2,28	50,9	384	9,21	700	0,060	0,55	C29
453	39,49	11,5	0,037	0,251	0,474	131	2,73	48,0	427	9,82	732	0,059	0,58	C27
455	44,66	10,2	0,046	0,102	0,618	106	1,92	55,2	437	8,47	762	0,068	0,57	C25
485	40,71	11,9	0,026	0,244	0,631	118	2,10	56,2	398	7,78	716	0,071	0,55	C23
189	14,12	13,4	0,109	0,248	0,388	70	0,46	150,9	168	12,63	396	0,034	0,42	BB49
361	24,79	14,6	0,140	0,258	0,882	73	0,80	91,3	258	8,24	545	0,058	0,47	BB50
433	42,11	10,3	0,065	0,168	1,288	65	0,66	97,3	432	7,67	758	0,074	0,57	BB51
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BB52
517	45,75	11,3	0,046	0,149	1,185	60	0,60	100,5	437	8,29	738	0,071	0,59	BB53
483	30,48	15,8	0,055	0,147	2,169	42	0,21	200,0	304	5,72	586	0,090	0,52	BB54
218	13,19	16,5	0,235	0,303	0,369	121	2,15	56,1	221	13,99	497	0,032	0,44	BB67
351	37,39	9,4	0,112	0,277	1,947	50	0,55	90,9	352	8,36	724	0,059	0,48	BB68
470	41,36	11,4	0,060	0,300	1,123	102	0,87	117,6	423	7,59	764	0,073	0,55	BB69
421	40,98	10,3	0,070	0,141	3,204	41	0,31	132,3	338	5,43	678	0,092	0,50	BB70
482	34,64	13,9	0,112	0,212	3,267	50	0,28	178,8	274	4,58	568	0,105	0,48	BB71
480	31,53	15,2	0,068	0,185	3,300	34	0,17	200,0	288	5,66	575	0,089	0,50	BB72
246	15,04	16,3	0,212	0,670	1,118	82	0,61	135,2	250	11,63	560	0,038	0,45	BB61
384	28,26	13,6	0,087	0,263	1,463	74	0,58	127,6	344	8,06	698	0,061	0,49	BB62
471	42,95	11,0	0,105	0,259	2,979	63	0,45	139,3	370	6,50	746	0,076	0,50	BB63
465	31,70	14,7	0,077	0,242	2,691	52	0,16	325,0	277	5,01	548	0,101	0,50	BB64
453	34,27	13,2	0,062	0,162	3,048	52	0,13	394,3	259	5,08	545	0,094	0,48	BB65
499	35,44	14,1	0,108	0,216	2,603	68	0,34	200,0	263	4,02	503	0,130	0,52	BB66

TAB. III Forts.

ϕ	q_{teor}	q	$Qa/\sqrt{A}/\bar{H}$	$R=330A/\bar{H}$	R_{80-30}	$\dot{I}_{Cmax}$	t_m	I_{Cm}	t_r	I_{Cr}	R_r	$W_r=I_{Cr}/R_r$	t_d
$cm^{1,1}$ (1)	MJ/m^2 o.y. (2)	MJ/m^2 o.y. (3)	(4)	kg/h (5)	kg/h (6)	MJ/h (7)	h (8)	MJ/h (9)	h (10)	MJ/h (11)	kg/h (12)	MJ/kg (13)	h (14)
0,026	17,5	15,0	0,8	77,9	7,1	76	0,333	50	0,585	59	4,92	11,6	0,400
0,096	"	16,5	"	"	14,9	151	0,200	50	0,287	76	9,40	8,0	0,122
0,288	"	17,0	"	"	19,5	235	0,150	134	0,215	160	12,95	12,3	0 115
0,479	"	17,3	"	"	22,4	219	0,075	145	0,135	172	20,79	8,3	0 100
0,692	"	17,0	"	"	22,3	210	0,096	134	0,170	160	16,55	9,7	0,117
1,056	"	16,4	"	"	11,8	252	0,067	126	0,113	160	27,11	5,9	0,061
0,117	35,0	37,4	"	"	42,7	420	0,104	282	0,165	323	34,30	9,4	0,114
0,276	"	39,0	"	"	54,2	504	0,108	368	0,147	391	41,10	9,5	0,106
0,495	"	40,5	"	"	66,0	673	0,067	340	0,128	481	48,75	9,9	0,084
0,688	"	37,4	"	"	67,3	715	0,067	451	0,110	538	53,13	10,1	0,074
1,092	"	35,1	"	"	61,6	715	0,075	444	0,114	524	48,00	10,9	0,071
0,029	52,5	43,3	"	"	13,3	210	0,557	126	0,775	143	10,69	13,4	0,420
0,098	"	49,9	"	"	39,6	336	0,275	126	0,267	235	32,34	7,3	0,155
0,262	"	50,4	"	"	71,3	588	0,100	446	0,130	462	61,69	7,5	0,101
0,451	"	51,1	"	"	75,7	673	0,116	417	0,151	462	57,80	8,0	0,087
0,782	"	50,3	"	"	77,2	840	0,117	479	0,146	530	56,16	9,4	0,073
1,016	"	56,5	"	"	72,2	874	0,135	370	0,173	471	57,98	8,1	0,066
0,026	70,0	75,5	"	"	25,3	319	0,407	177	0,650	219	20,24	10,8	0,393
0,106	"	76,5	"	"	59,3	504	0,257	269	0,333	311	39,16	7,9	0,178
0,293	"	80,4	"	"	84,1	567	0,117	370	0,259	462	53,66	8,6	0,203
0,489	"	74,9	"	"	109,5	715	0,150	504	0,187	530	69,61	7,6	0,127
0,712	"	64,9	"	"	92,9	841	0,183	328	0,209	378	52,27	7,2	0,061
0,988	"	67,2	"	"	86,3	715	0,200	261	0,229	303	52,19	5,8	0,064
0,028	87,5	86,6	"	"	28,2	336	0,447	227	0,700	252	22,43	11,2	0,490
0,096	"	91,3	"	"	67,9	504	0,258	269	0,337	311	45,70	6,8	0,179
0,263	"	96,2	"	"	83,9	563	0,170	328	0,327	412	51,96	7,9	0,215
0,504	"	94,6	"	"	96,1	673	0,151	357	0,217	434	76,38	5,7	0,108
0,741	"	81,7	"	"	83,0	757	0,185	378	0,223	429	64,37	6,7	0,083
0,865	"	94,6	"	"	100,3	673	0,183	336	0,208	370	79,38	4,7	0,171

TAB. IV

I_{Cd}	R_d	$W_d=I_{Cd}/R_d$	t_1	t_2	t_g	I_{Cg}	R_g	$W_g=I_{Cg}/R_g$	I_{Cav}	W_{av}	ϑ_{80-30}	$\frac{R_{80-30}}{\vartheta_{80-30}}$	$\frac{I_{Cav}}{\vartheta_{80-30}}$	Försök nr
MJ/h (15)	kg/h (16)	MJ/kg (17)	h (18)	h (19)	h (20)	MJ/h (21)	kg/h (22)	MJ/kg (23)	MJ/h (24)	MJ/kg (25)	°C (26)	kg/°C·h (27)	MJ/°C·h (28)	(29)
70	7,00	9,9	0,200	0,420	0,605	30	0,30	120,5	25	3,52	49	0,145	0,51	BB73
132	10,43	12,7	0,093	0,411	0,803	42	0,61	69,1	118	7,92	234	0.064	0,50	BB74
215	16,24	13,2	0,061	0,191	0,355	72	1,48	48,6	210	10,77	376	0,052	0,56	BB75
198	17,46	11,4	0,068	0,201	0,799	45	0,67	67,2	190	8,48	323	0,070	0,59	BB76
195	17,81	11,0	0,046	0,297	0,568	54	0,80	66,7	202	9,06	374	0,060	0,54	BB77
218	16,49	13,2	0,067	0,223	0,680	55	0,14	338,8	151	12,80	79	0,149	1,91	BB78
398	38,07	10,5	0,035	0,329	0,706	103	2.16	47,6	412	9,65	591	0,072	0,70	C20
470	48,90	9,6	0,030	0,220	0,597	122	2,42	50,4	489	9,00	659	0,082	0,74	C18
631	59,61	10,6	0,014	0,165	0,606	122	2,54	47,9	647	9.81	753	0,088	0,86	C16
665	56,91	11,7	0,014	0,067	0,860	76	1,54	49,3	673	9,99	752	0,089	0,89	C14
675	54,34	12,4	0,012	0,067	0,546	107	2,31	46,3	681	11,05	748	0,082	0,91	C12
187	14,31	13,1	0,130	0,345	0,548	74	0,51	144,1	151	11,35	295	0,045	0,51	BB79
308	26,84	11,5	0,138	0,623	1,143	94	0,87	108,1	261	6,59	435	0,091	0,60	BB80
535	58,42	9,1	0,040	0,199	1,103	100	1,54	65,1	555	7,78	769	0,093	0,72	BB81
615	54,92	11,2	0 026	0,177	1,678	70	0,67	104,5	524	6,93	737	0,103	0,71	BB82
753	71,23	10,6	0,030	0,093	0,748	124	2,00	61,8	723	9,37	902	0,086	0,80	BB83
799	60,76	13,1	0,009	0,113	1,247	88	0,70	126,4	597	8,27	748	0,097	0,80	BB84
280	21,11	13,3	0,154	0,430	1,325	87	1,05	82,1	261	10,32	480	0,053	0,54	BB85
441	46,69	9,5	0,074	0,517	1,406	111	1,22	91,4	412	6,95	653	0,091	0,63	BB86
535	55,08	9,7	0,087	0,441	1,344	114	1,19	96,1	571	6,79	808	0,104	0,71	BB87
650	71,47	9,1	0,035	0,188	1,833	85	0,78	108,4	622	5,68	807	0,136	0,77	BB88
736	73,71	10,0	0,027	0,154	1,471	95	1,08	88,5	563	6,06	768	0,121	0,73	BB89
625	60,23	10,3	0,028	0,187	1,901	83	0,53	158,0	403	4,67	580	0,149	0,69	BB90
303	21,96	13,8	0,180	0,650	1,120	106	0,89	118,8	286	10,14	519	0,054	0,55	BB91
441	49,39	8,9	0,143	0,788	1,541	134	1,43	93,7	378	5,57	618	0,110	0,61	BB92
498	55,63	9,0	0,136	0,493	1,663	116	0,94	123,3	496	5,91	749	0,112	0,66	BB93
615	61,83	9,9	0,050	0,270	3,504	64	0,48	133,3	446	4,64	634	0,152	0,70	BB94
662	68,68	9,6	0,038	0,457	1,062	171	1,32	130,3	496	5,98	623	0,133	0,80	BB95
588	64,79	9,1	0,025	0,292	2,825	87	0,62	140,6	395	3,94	533	0,188	0,74	BB96

TAB. IV Forts.

ϕ	q_{teor}	q	$Q_a/A\sqrt{H}$	$R=330A\sqrt{H}$	R_{80-30}	$\dot{I}_{Cmax}$	t_m	I_{Cm}	t_r	I_{Cr}	R_r	$W_r=I_{Cr}/R_r$	t_d
$cm^{1,1}$ (1)	MJ/m^2 o.y. (2)	MJ/m^2 o.y. (3)	(4)	kg/h (5)	kg/h (6)	MJ/h (7)	h (8)	MJ/h (9)	h (10)	MJ/h (11)	kg/h (12)	MJ/kg (13)	h (14)
0,026	17,5	16,4	0,7	127,0	6,2	109	0,483	27	0,560	41	4,14	9,9	0,085
0,096	"	19,1	"	"	20,8	192	0,140	109	0,192	123	15,85	7,8	0,099
0,288	"	18,4	"	"	23,5	219	0,104	123	0,159	151	17,47	8,6	0,087
0,479	"	16,8	"	"	27,7	315	0,053	197	0,097	237	26,66	8,9	0,068
0,692	"	19,7	"	"	23,8	219	0,101	150	0,160	164	19,71	9,4	0,108
1,056	"	18,4	"	"	20,2	291	0,088	205	0,139	232	20,15	8,3	0,100
0,117	35,0	35,5	"	"	40,4	479	0,134	245	0,175	292	29,98	9,7	0,085
0,276	"	35,7	"	"	47,0	506	0,112	277	0,159	331	42,16	7,9	0,082
0,495	"	37,9	"	"	59,3	712	0,092	453	0,133	523	42,97	12,2	0,083
0,688	"	36,2	"	"	60,9	657	0,060	424	0,115	515	48,76	10,6	0,086
1,092	"	35,2	"	"	56,0	616	0,077	404	0,135	476	40,02	11,9	0,097
0,029	52,5	53,2	"	"	21,5	246	0,370	164	0,612	192	16,16	11,9	0,431
0,098	"	51,1	"	"	50,0	411	0,250	164	0,293	192	28,38	6,8	0,112
0,262	"	55,7	"	"	77,0	684	0,112	383	0,170	465	53,00	8,8	0,099
0,451	"	53,7	"	"	91,3	958	0,100	520	0,125	593	68,02	8,7	0,056
0,782	"	53,4	"	"	101,3	1026	0,102	643	0,145	725	62,55	11,6	0,098
1,016	"	53,7	"	"	100,4	1300	0,103	616	0,128	725	69,14	10,5	0,062
0,026	70,0	71,8	"	"	26,0	301	0,387	205	0,545	219	23,07	9,5	0,378
0,106	"	71,3	"	"	61,9	520	0,267	219	0,338	260	34,91	7,5	0,143
0,283	"	66,1	"	"	93,1	821	0,151	575	0,176	588	63,67	9,2	0,115
0,489	"	70,0	"	"	116,7	958	0,102	643	0,153	712	78,58	9,1	0,106
0,712	"	65,9	"	"	131,7	1163	0,183	588	0,194	602	61,71	9,6	0,057
0,988	"	71,3	"	"	119,2	958	0,100	561	0,136	657	94,21	7,0	0,074
0,028	87,5	89,4	"	"	29,5	328	0,514	219	0,705	246	23,50	10,5	0,492
0,096	"	92,0	"	"	76,1	520	0,191	260	0,297	328	53,17	6,2	0,155
0,263	"	89,4	"	"	107,6	194	0,152	534	0,263	575	75,32	7,6	0,138
0,504	"	89,2	"	"	134,0	1232	0,109	710	0,135	791	111,58	7,1	0,063
0,741	"	93,1	"	"	137,5	1026	0,119	506	0,151	588	108,28	5,4	0,060
0,865	"	84,0	"	"	138,8	985	0,119	656	0,147	698	102,45	6,8	0,090

TAB. V

I_{Cd}	R_d	$W_d=I_{Cd}/R_d$	t_1	t_2	t_g	I_{Cg}	R_g	$W_g=I_{Cg}/R_g$	I_{Cav}	W_{av}	ϑ_{80-30}	$\frac{R_{80-30}}{\vartheta_{80-30}}$	$\frac{I_{Cav}}{\vartheta_{80-30}}$	Försök nr
MJ/h (14)	kg/h (15)	MJ/kg (16)	h (17)	h (18)	h (19)	MJ/h (20)	kg/h (21)	MJ/h (22)	MJ/h (23)	MJ/kg (24)	°C (25)	kg/°C·h (26)	MJ/°C·h (27)	
97	7,55	12,8	0,073	0,207	2,027	18	0,40	43,4	55	8,87	105	0,059	0,52	BB109
177	14,26	12,4	0,036	0,214	1,328	30	0,48	63,3	157	6,59	233	0,089	0,59	BB110
192	17,70	10,8	0,053	0,318	0,798	49	0,98	50,7	192	8,17	312	0,075	0,61	BB111
289	22,71	12,7	0,021	0,086	0,909	35	0,72	48,6	286	10,33	340	0,082	0,84	BB112
209	20,37	10,3	0,025	0,335	0,665	60	0,96	62,2	205	8,61	319	0,075	0,64	BB113
279	19,36	14,4	0,022	0,074	0,639	48	1,18	40,2	274	13,56	372	0,054	0,74	BB114
443	37,20	11,9	0,024	0,241	0,688	99	2,28	43,4	424	10,49	448	0,090	0,94	C9
462	40,52	11,4	0,032	0,215	0,630	105	2,46	42,8	452	9,63	473	0,099	0,95	C5
676	52,31	12,9	0,016	0,067	0,464	120	3,36	35,7	698	11,77	641	0,092	1,09	C7
631	52,16	12,1	0,020	0,095	0,608	101	2,22	45,5	657	10,79	704	0,086	0,93	C3
586	43,69	12,0	0,026	0,091	0,482	111	2,80	39,6	634	11,01	590	0,095	1,07	C1
233	16,95	13,7	0,195	0,445	0,682	92	0,53	172,6	205	9,53	308	0,070	0,67	BB103
360	39,43	9,1	0,040	0,532	1,130	103	1,36	75,1	301	6,02	410	0,122	0,73	BB104
642	66,79	9,6	0,033	0,167	1,047	104	1,66	62,9	643	8,35	746	0,103	0,86	BB105
875	72,04	12,1	0,018	0,062	2,590	40	0,71	56,4	735	8,05	685	0,133	1,07	BB106
958	71,94	13,3	0,022	0,056	0,545	140	2,26	61,9	999	9,86	934	0,108	1,07	BB107
1166	83,55	13,7	0,012	0,024	0,905	99	1,66	59,8	999	9,95	879	0,114	1,14	BB108
274	20,83	13,1	0,154	0,725	0,672	73	0,76	95,0	246	9,46	354	0,073	0,69	BB102
467	50,25	9,3	0,077	0,265	1,895	81	1,03	78,4	424	6,85	529	0,117	0,80	BB101
739	73,44	10,1	0,027	0,125	1,178	102	1,31	78,0	712	7,65	801	0,116	0,89	BB100
870	80,44	10,8	0,042	0,082	0,985	180	1,50	86,8	821	7,04	804	0,145	1,02	BB99
1020	68,81	14,8	0,012	0,023	2,196	48	0,33	144,6	794	6,03	884	0,149	0,90	BB98
894	90,30	9,9	0,018	0,084	1,284	119	0,73	163,4	725	6,08	648	0,184	1,12	BB97
298	22,11	13,5	0,127	0,775	1,898	68	0,36	191,4	274	9,29	383	0,077	0,71	BB115
456	47,48	9,6	0,106	0,361	2,501	85	0,78	109,1	383	5,03	514	0,148	0,74	BB116
703	82,90	8,5	0,050	0,205	1,835	101	1,07	95,4	698	6,49	754	0,143	0,92	BB117
1122	93,46	12,0	0,019	0,038	1,958	97	1,09	88,9	799	5,96	773	0,173	1,03	BB118
899	96,67	9,3	0,031	0,141	2,393	94	0,67	141,6	657	4,78	618	0,222	1,06	BB119
902	93,56	9,6	0,027	0,142	1,839	100	0,62	160,2	794	5,72	729	0,190	1,09	BB120

TAB. V Forts.

Försök nr	$\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$	Antal fönster	Fläktar m/s	q	R^{80-30} kg/min	θ_{fl} °C	Avstånd mellan husen (m)	STRÅLNING, MAXIMALVÄRDEN kW/m² Brandrummets insida	Takstol	Fönster	Totalt	Anmärkning
1	0,04	2	-	20	21.7	1110	6	130	6.2	5.7	6.2	
2	0,04	2	-	20	26.6	1038	4	80	11.5	12.6	12.6	
3	0,04	2	-	30+B	28.6	1028	4	124	21.0	16.5	21.0	
4	0,04	2	-	20	24.2	1110	3	150	20	17.8	20	
5	0,08	4	-	20	34.8	1029	4	76	7.5	7.2	7.5	
6	0,08	4	-	10	15.5	697	4	28	2.0	2.2	2.2	
7	0,08	4	-	30+B	52.3	1081	4	134	27.9	18.5	27.9	Antändning takstol efter 10 min
8	0,08	4	10	20	33.4	631	6	49.8	1.4	1.9	1.9	Antändning gardin efter 13.5 min
9	0,08	4	> 10	20	40.0	667	4	35.5	10.2	6.8	10.2	
10	0,08	4	5	20	40.0	870	4	104	6.4	4.2	6.4	
11	0,08	4	10	20	44.5	663	4	50	8.7	2.9	8.7	Antändning takstol efter 10.5 min
12	0,08	4	10	20	49.5	771	4	96	7.8	3.6	7.8	Fläktarna påslagna efter 7 min
13	0,08	4	5	20	47.6	972	4	75	14.8	4.7	14.8	Antändning takstol efter 11 min
14	0,08	4	10	20	47.1	830	5	42.7	5.6	2.7	5.6	Fläktarna påslagna efter 5 min
15	0,08	2	-	20	31.8	926	6	125	3.1	4.8	4.8	Fläktarna påslagna efter 7 min
16	0,08	2	-	20	36.5	1115	4	108	20.9	15.1	20.9	
17	0,08	2	-	30	50.9	1061	6	157	11.3	10.3	11.5	
18	0,08	2	-	30+B	53.5	1095	6	104	9.1	10.0	10.0	

θ_{fl} = medelvärde av temperaturen i tre punkter i brandrummet under 6 min av brandens flamfas.

TAB. VI

FIGURTEXT

FIG. 1 Flödesschema för en schablonmässig brandteknisk dimensionering av bärverk

FIG. 2 Flödesschema för en nyanserad brandteknisk dimensionering av bärverk

FIG. 3 Schematisk illustration av i värmebalansekvationen ingående termer I_C, I_L, I_W och I_R

FIG. 4 Definition av de parametrar som karakteriserar energi-tidkurvan (Nilsson 1974)

FIG. 5 Skiss av det i undersökningen använda modellbrandrummet, sett framifrån

FIG. 6 Översiktsfoto av försöksuppställningen

FIG. 7 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$, porisitetsfaktorn $\phi \approx 0{,}025\ cm^{1,1}$

FIG. 8 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}100\ cm^{1,1}$

FIG. 9 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}250\ cm^{1,1}$

FIG. 10 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}500\ cm^{1,1}$

FIG. 11 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}750\ cm^{1,1}$

FIG. 12 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 1{,}000\ cm^{1,1}$

FIG. 13 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}025\ cm^{1/1}$

FIG. 14 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}100\ cm^{1,1}$

FIG. 15 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}250\ cm^{1,1}$

FIG. 16 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}500\ cm^{1,1}$

FIG. 17 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}750\ cm^{1,1}$

FIG. 18 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 1{,}000\ cm^{1,1}$

FIG. 19 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}025\ cm^{1,1}$

FIG. 20 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}100\ cm^{1,1}$

FIG. 21 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}250\ cm^{1,1}$

FIG. 22 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}500\ cm^{1,1}$

FIG. 23 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}750\ cm^{1,1}$

FIG. 24 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 1{,}000\ cm^{1,1}$

FIG. 25 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}025\ cm^{1,1}$

FIG. 26 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}100\ cm^{1,1}$

FIG. 27 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}250\ cm^{1,1}$

FIG. 28 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}500\ cm^{1,1}$

FIG. 29 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}750\ cm^{1,1}$

FIG. 30 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 1{,}000\ cm^{1,1}$

FIG. 31 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}025\ cm^{1,1}$

FIG. 32 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}100\ cm^{1,1}$

FIG. 33 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}250\ cm^{1,1}$

FIG. 34 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn
$A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}500\ cm^{1,1}$

FIG. 35 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 0{,}750\ cm^{1,1}$

FIG. 36 På grundval av experimentellt erhållna resultat teoretiskt beräknad energi-tidkurva vid varierande brandbelastning q. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$, porositetsfaktorn $\phi \approx 1{,}000\ cm^{1,1}$

FIG. 37 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan under brandförloppet maximalt utvecklad energi I_{Cmax} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktor $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$

FIG. 38 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan under brandförloppet maximalt utvecklad energi I_{Cmax} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktor $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$

FIG. 39 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan under brandförloppet maximalt utvecklad energi I_{Cmax} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktor $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$

FIG. 40 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan under brandförloppet maximalt utvecklad energi I_{Cmax} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktor $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$

FIG. 41 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan under brandförloppet maximalt utvecklad energi I_{Cmax} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktor $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}014\ m^{1/2}$

FIG. 42 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cm} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$

FIG. 43 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cm} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$

FIG. 44 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cm} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$

FIG. 45 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cm} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$

FIG. 46 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cm} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$

FIG. 47 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cr} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020^{1/2}$

FIG. 48 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cr} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$

FIG. 49 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cr} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$

FIG. 50 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cr} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$

FIG. 51 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cr} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$

FIG. 52 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cd} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$

FIG. 53 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cd} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$

FIG. 54 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cd} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$

FIG. 55 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cd} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$

FIG. 56 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan I_{Cd} och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$

FIG. 57 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_m och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$

FIG. 58 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_m och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$

FIG. 59 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_m och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}\ 040\ m^{1/2}$

FIG. 60 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_m och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$

FIG. 61 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_m och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$

FIG. 62 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_r och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$

FIG. 63 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_r och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$

FIG. 64 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_r och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$

FIG. 65 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_r och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$

FIG. 66 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_r och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$

FIG. 67 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_d och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$

FIG. 68 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_d och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$

FIG. 69 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_d och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$

FIG. 70 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_d och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$

FIG. 71 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_d och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$

FIG. 72 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_1 och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$

FIG. 73 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_1 och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$

FIG. 74 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_1 och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$

FIG. 75 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_1 och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$

FIG. 76 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_1 och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$

FIG. 77 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_2 och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$

FIG. 78 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_2 och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$

FIG. 79 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_2 och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$

FIG. 80 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_2 och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$

FIG. 81 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_2 och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$

FIG. 82 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_g och brandbelastningen q vid varierande poroistetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}020\ m^{1/2}$

FIG. 83 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_g och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}032\ m^{1/2}$

FIG. 84 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_g och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}040\ m^{1/2}$

FIG. 85 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_g och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}070\ m^{1/2}$

FIG. 86 Ur experimentellt erhållna resultat bestämt samband mellan t_g och brandbelastningen q vid varierande porositetsfaktor ϕ. Öppningsfaktorn $A\sqrt{H}/A_t = 0{,}114\ m^{1/2}$

FIG. 87 Definition av de parametrar som vid fullskaleförsök använts för att karakterisera energi-tidkurvan

FIG. 88 Definition av de parametrar som karakteriserar energi-tidkurvan i det sammanfattade dimensioneringsunderlaget.

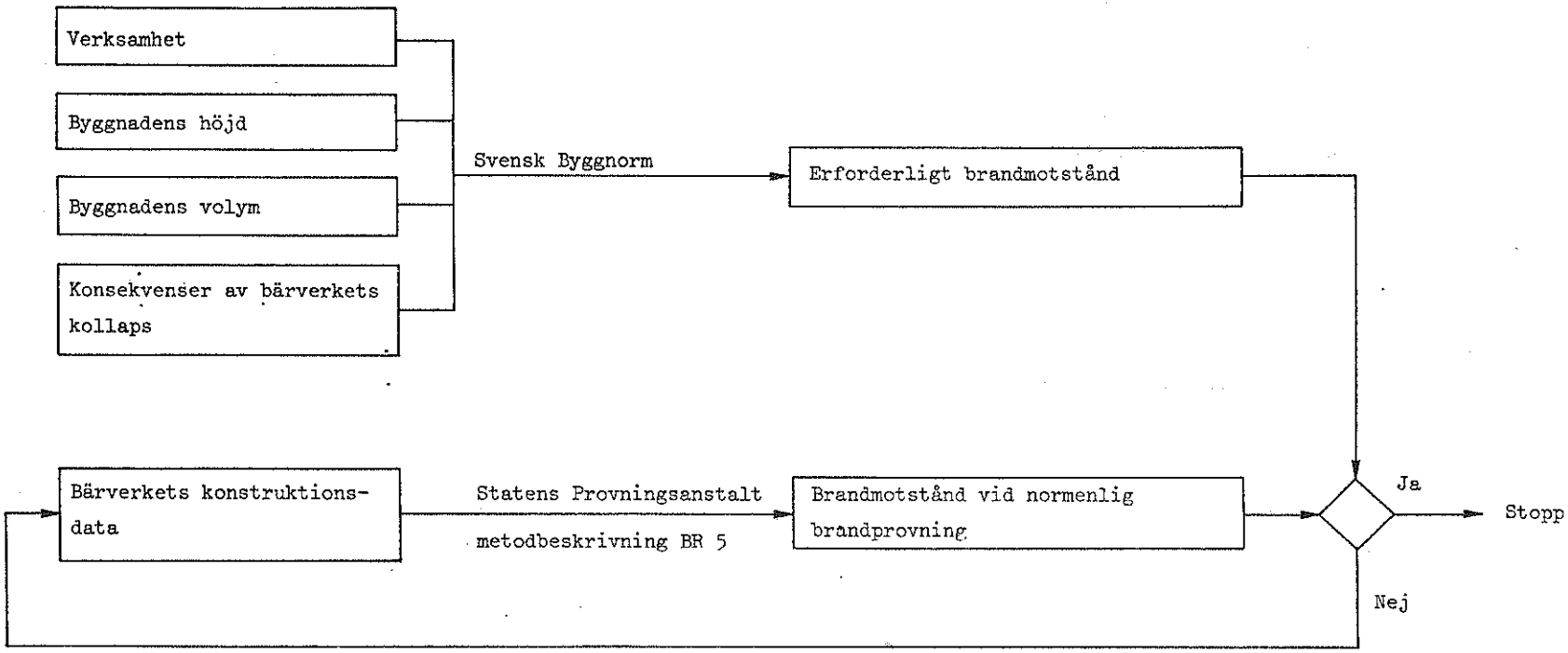

Verksamhet
Byggnadens höjd
Byggnadens volym
Konsekvenser av bärverkets kollaps
Svensk Byggnorm
Erforderligt brandmotstånd
Bärverkets konstruktions-data
Statens Provningsanstalt
metodbeskrivning BR 5
Brandmotstånd vid normenlig brandprovning
Ja
Stopp
Nej

FIG. 1

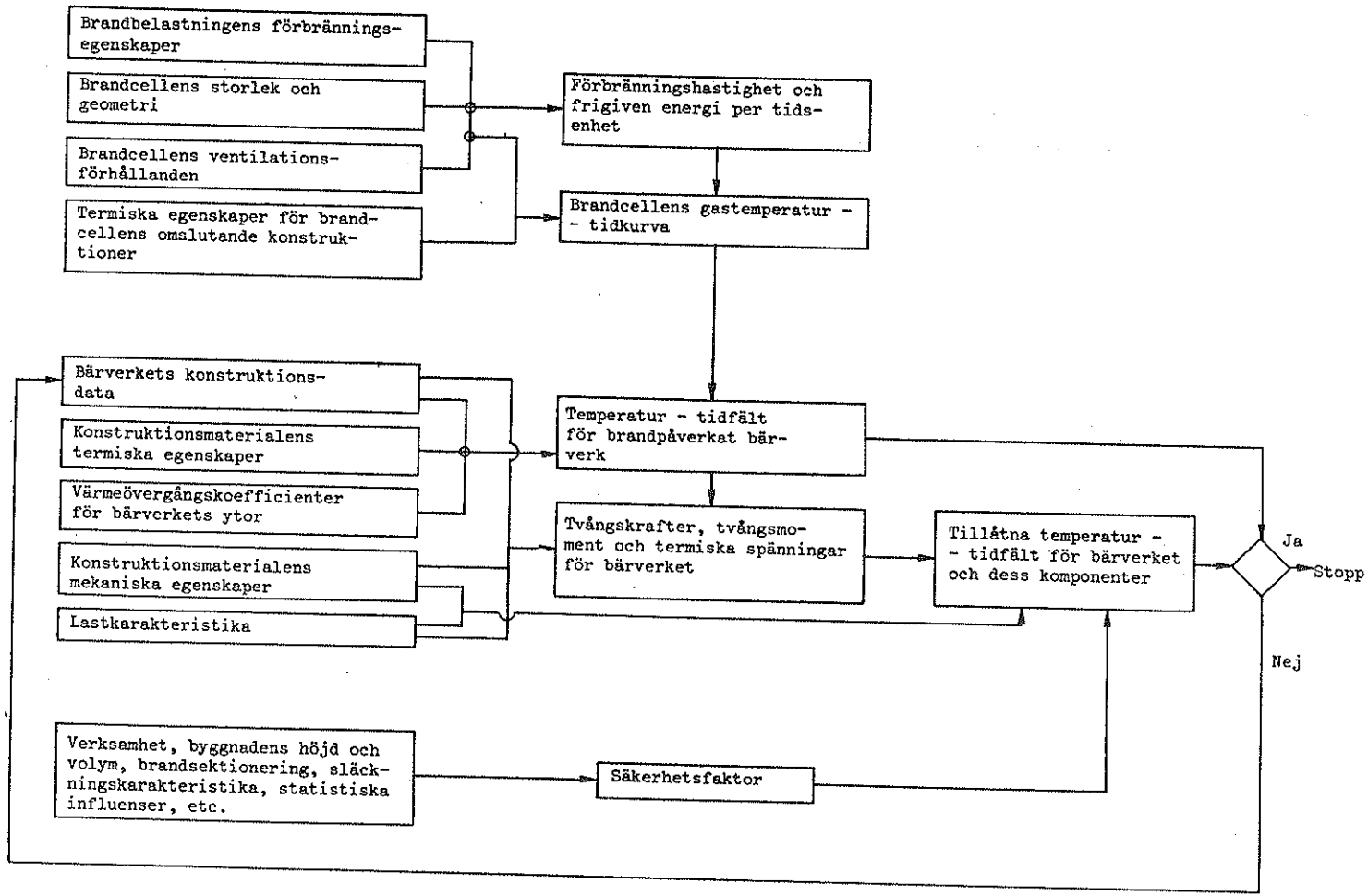

Brandbelastningens förbrännings-egenskaper
Brandcellens storlek och geometri
Brandcellens ventilations-förhållanden
Termiska egenskaper för brand-cellens omslutande konstruk-tioner
Förbränningshastighet och frigiven energi per tids-enhet
Brandcellens gastemperatur - - tidkurva
Bärverkets konstruktions-data
Konstruktionsmaterialens termiska egenskaper
Värmeövergångskoefficienter för bärverkets ytor
Konstruktionsmaterialens mekaniska egenskaper
Lastkarakteristika
Temperatur - tidfält för brandpåverkat bär-verk
Tvångskrafter, tvångsmo-ment och termiska spänningar för bärverket
Tillåtna temperatur - - tidfält för bärverket och dess komponenter
Ja
Stopp
Nej
Verksamhet, byggnadens höjd och volym, brandsektionering, släck-ningskarakteristika, statistiska influenser, etc.
Säkerhetsfaktor

FIG. 2

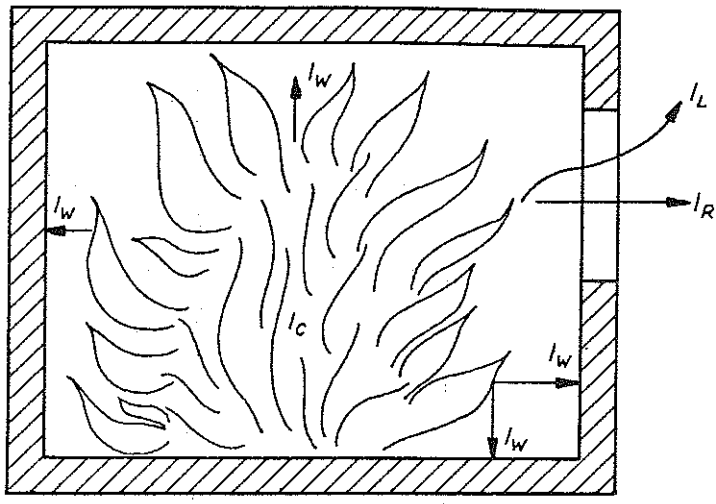

I_W
I_L
I_R
I_W
I_C
I_W
I_W

FIG. 3

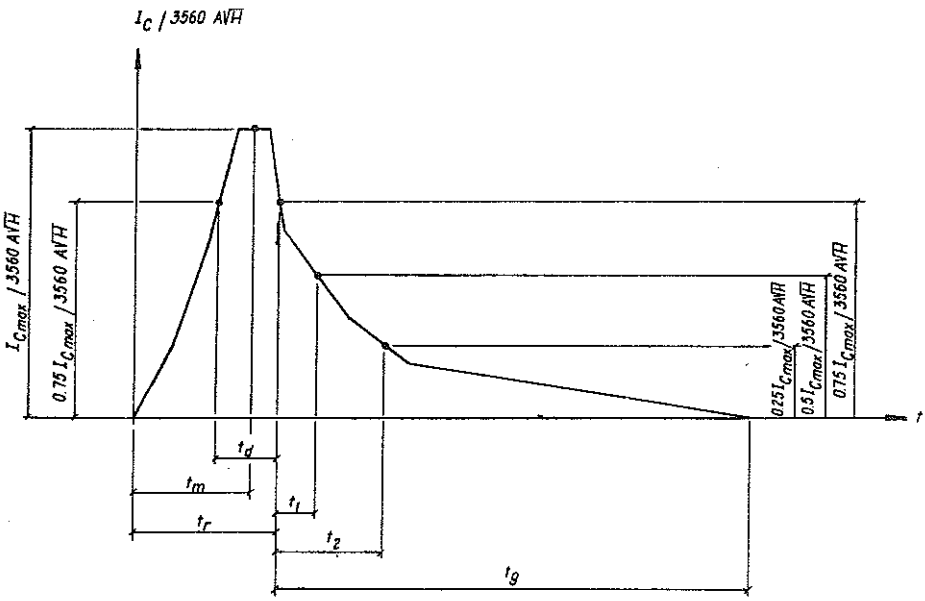

I_C / 3560 AVH
$I_{C,max}$ / 3560 AVH
0.75 $I_{C,max}$ / 3560 AVH
0.25 $I_{C,max}$ / 3560 AVH
0.5 $I_{C,max}$ / 3560 AVH
0.75 $I_{C,max}$ / 3560 AVH
t
t_d
t_m
t_r
t_1
t_2
t_g

FIG. 4

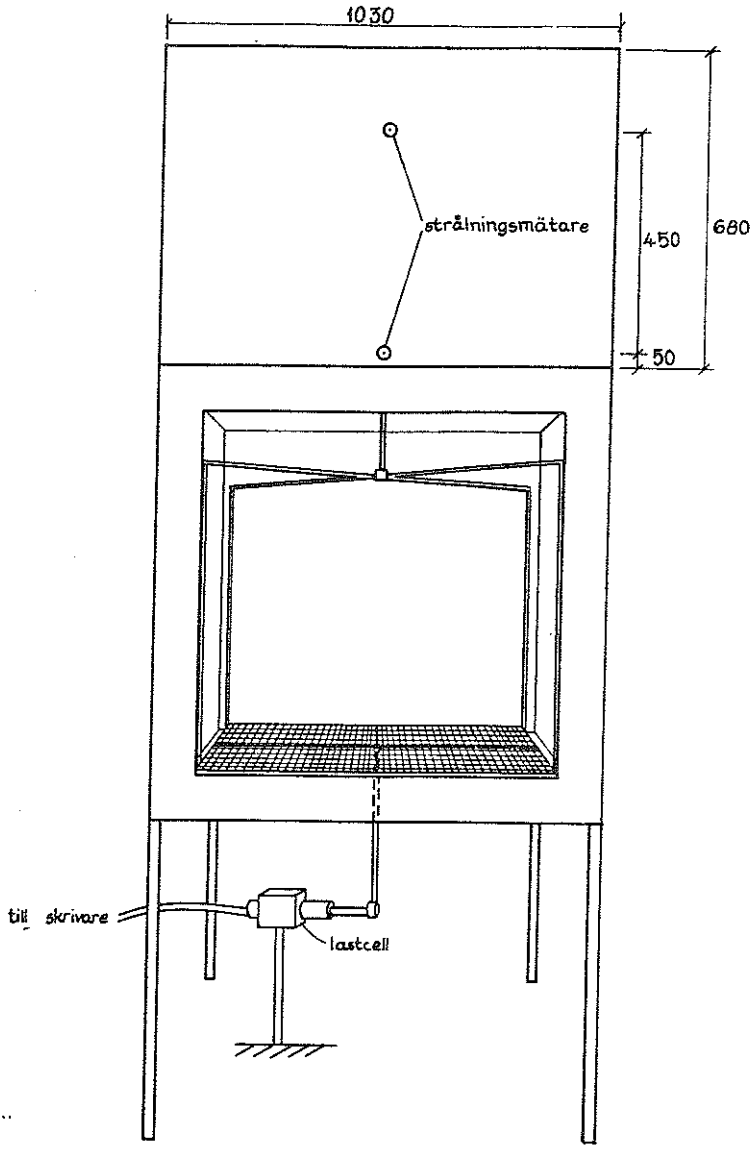


FIG. 5

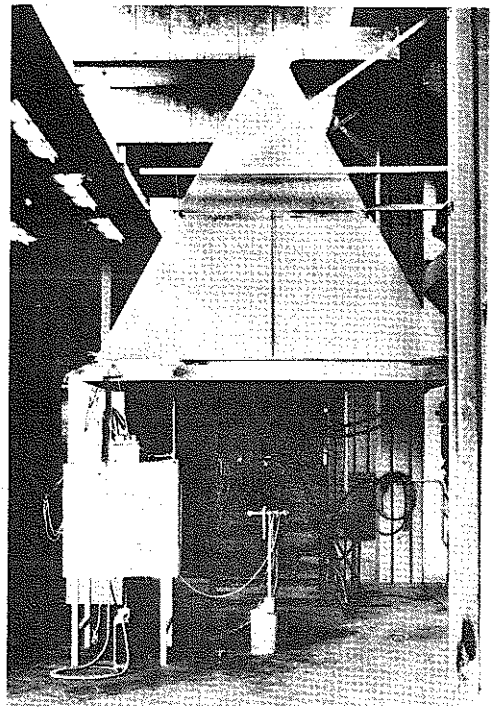


FIG. 6

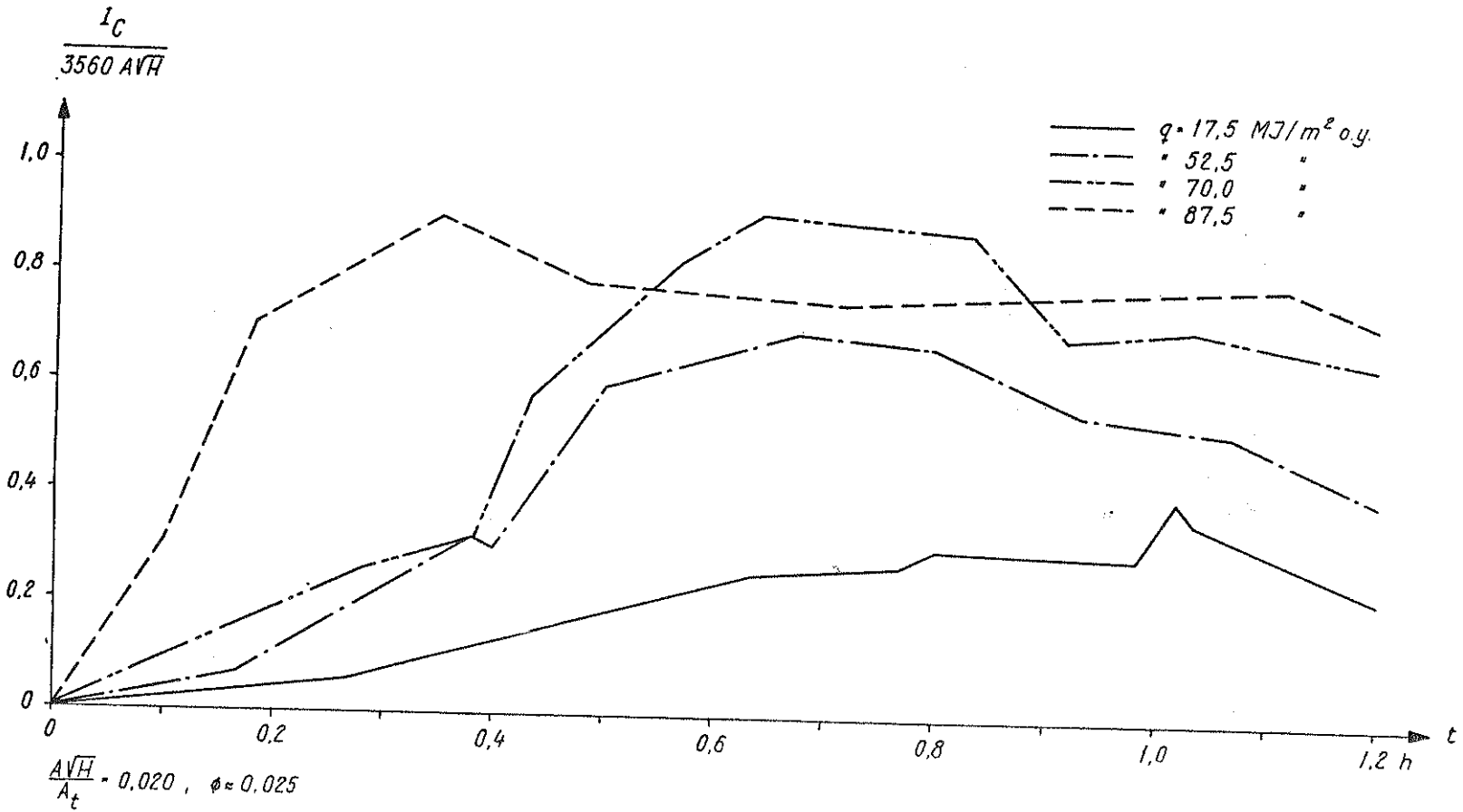

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.020$, $\phi \approx 0.025$

FIG. 7

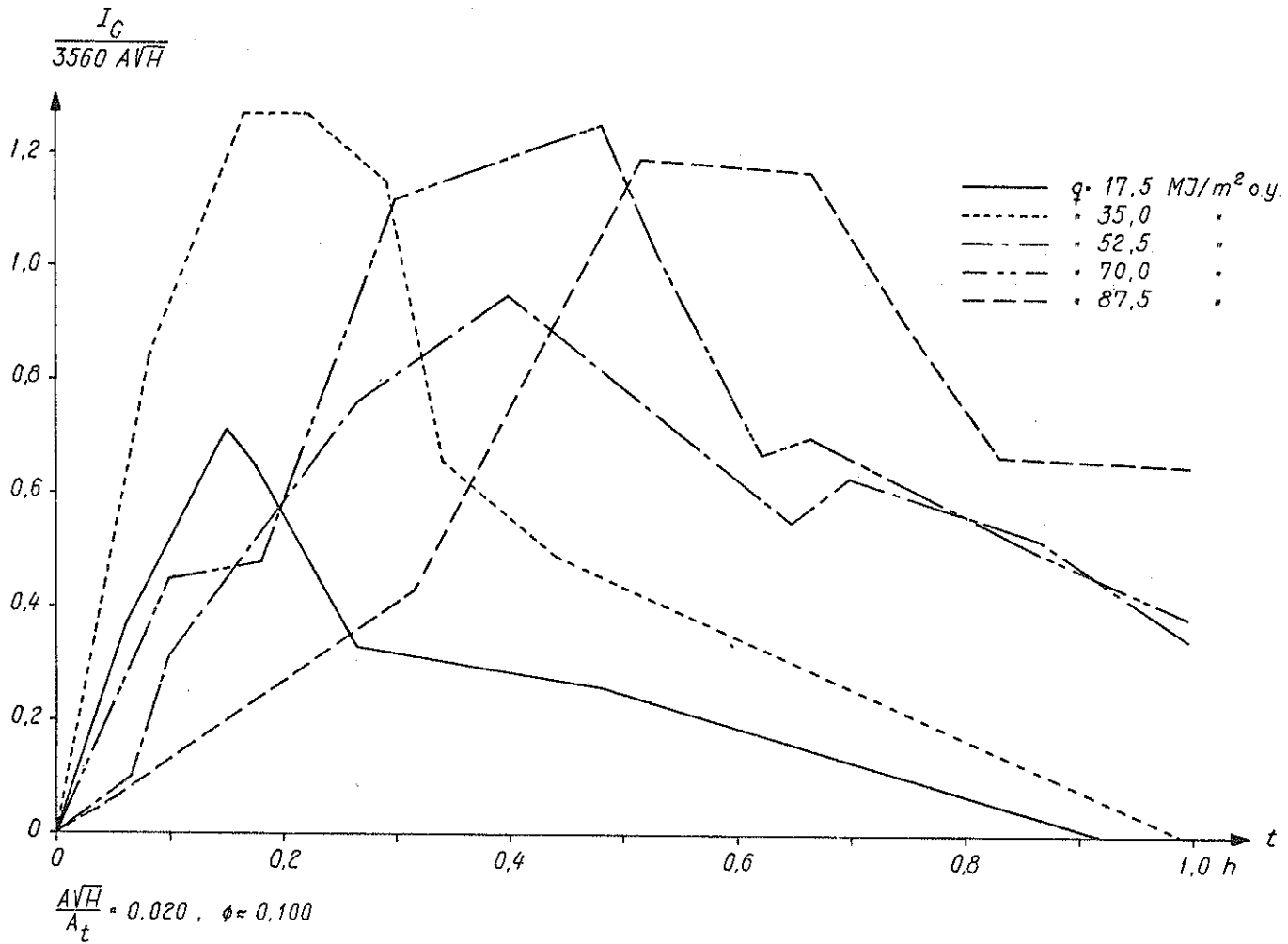

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.020$, $\phi \approx 0.100$

FIG. 8

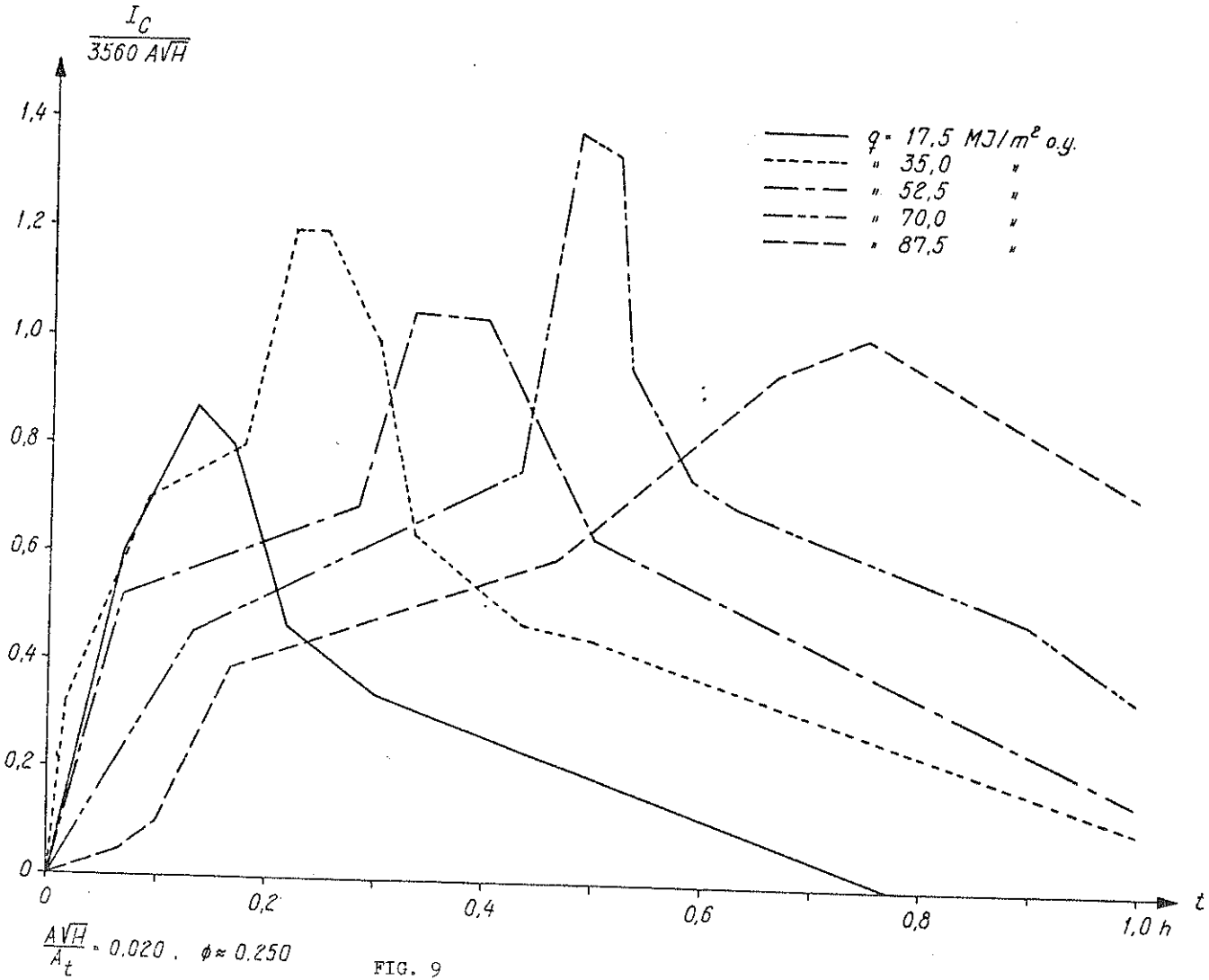

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0 h
t
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.020$, $\phi \approx 0.250$

FIG. 9

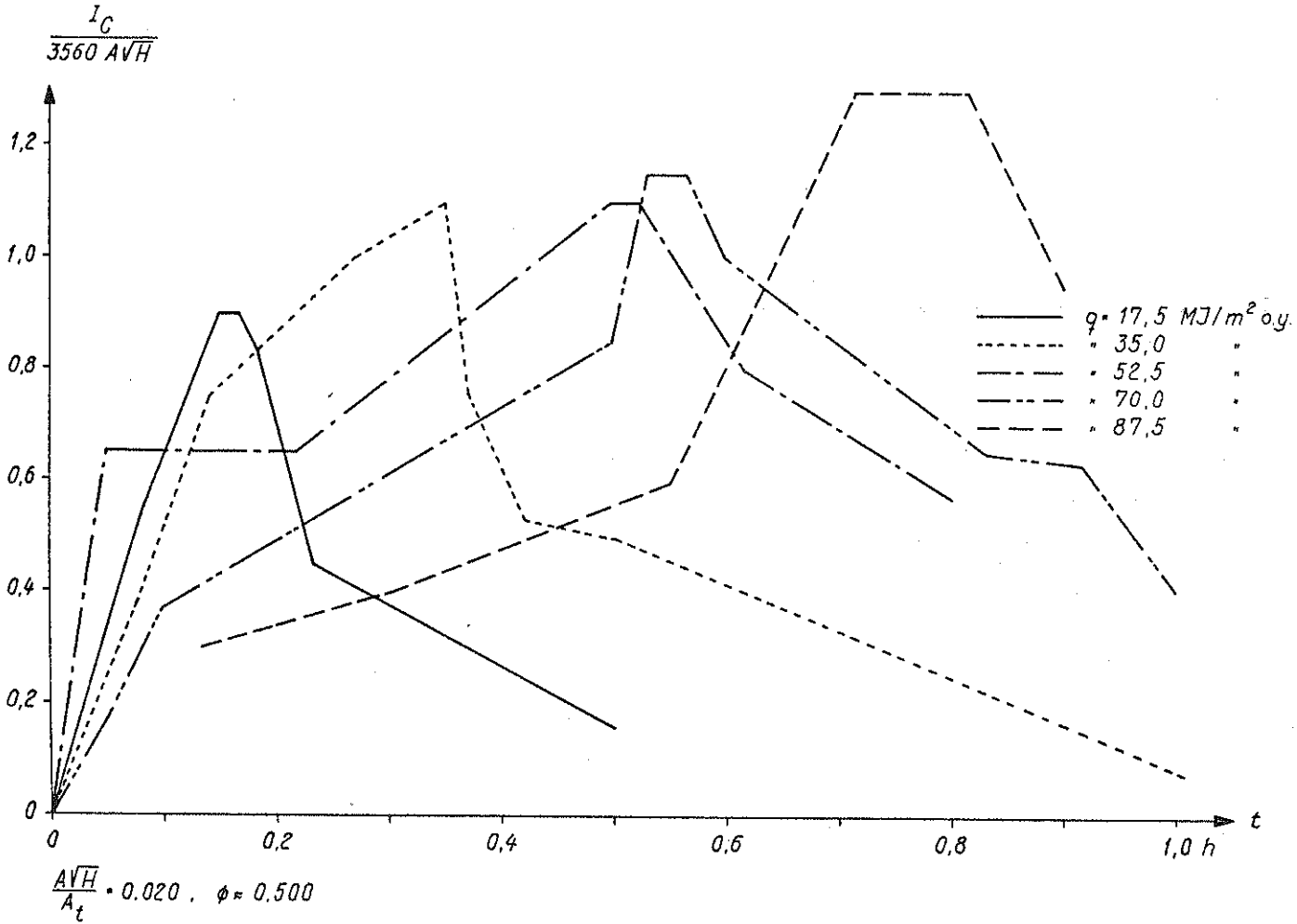

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.020$, $\phi = 0.500$

FIG. 10

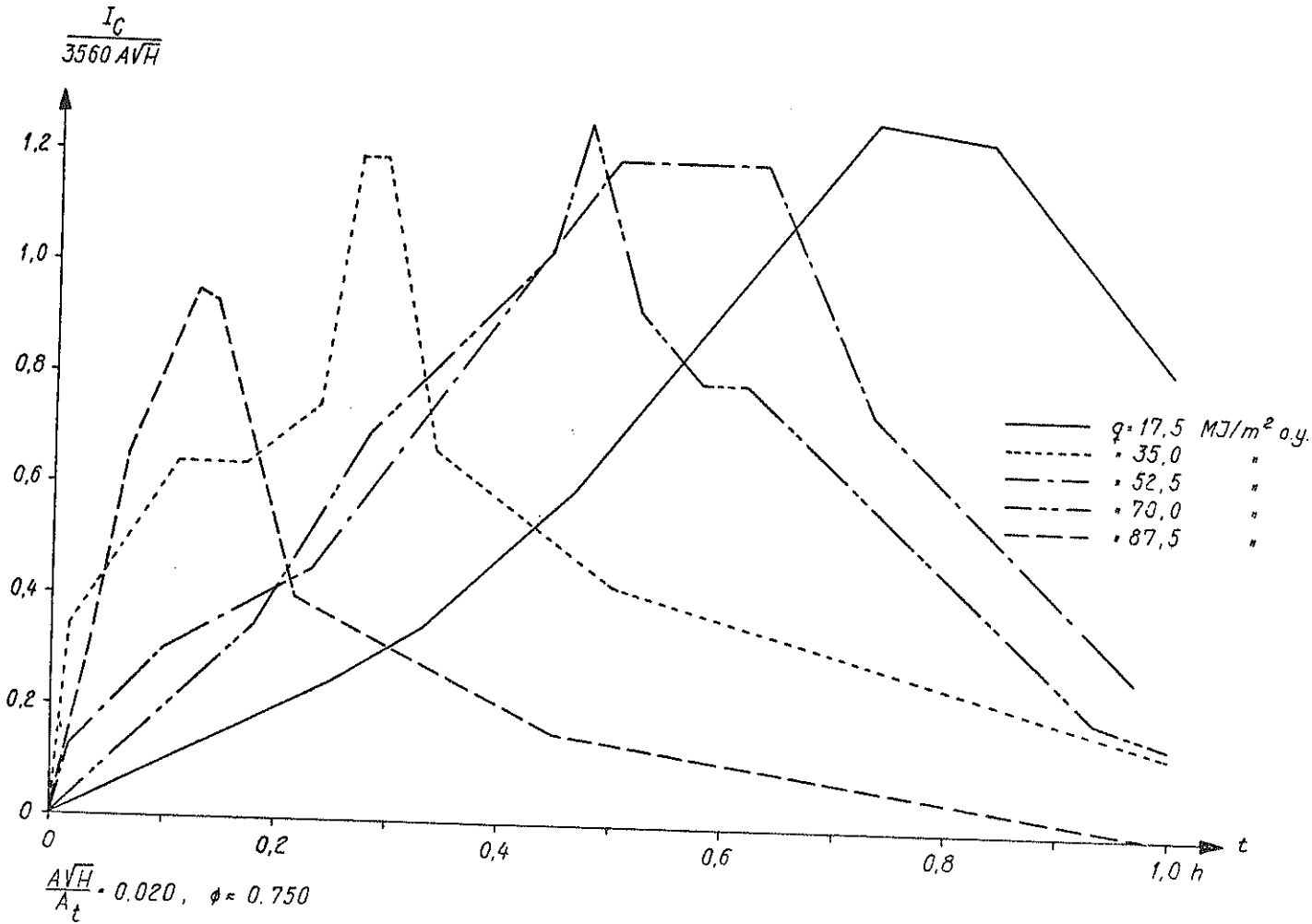

$\frac{I_C}{3560\,A\sqrt{H}}$
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.020$, $\phi = 0.750$

FIG. 11

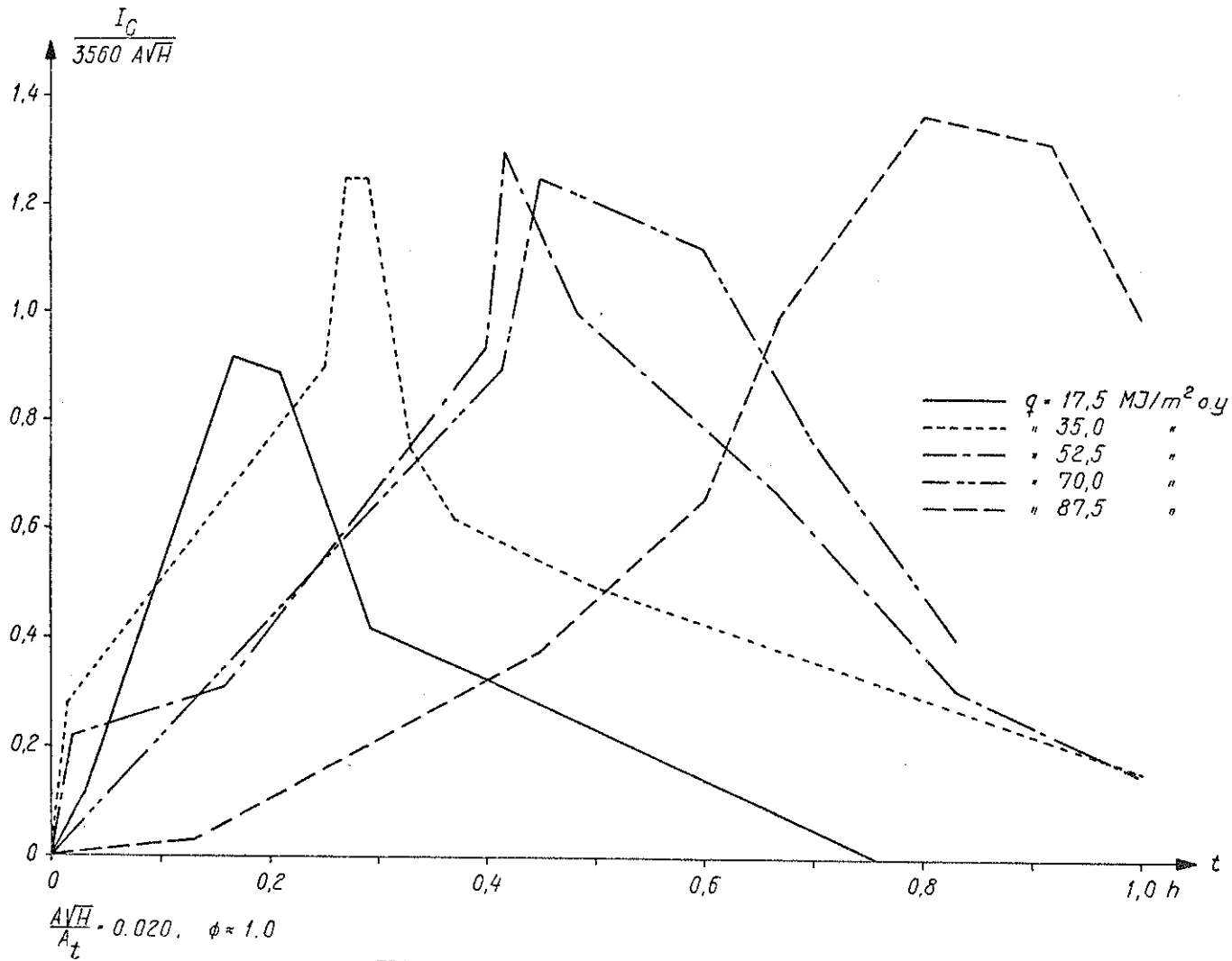

$\frac{I_G}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.020, \quad \phi \approx 1.0$

FIG. 12

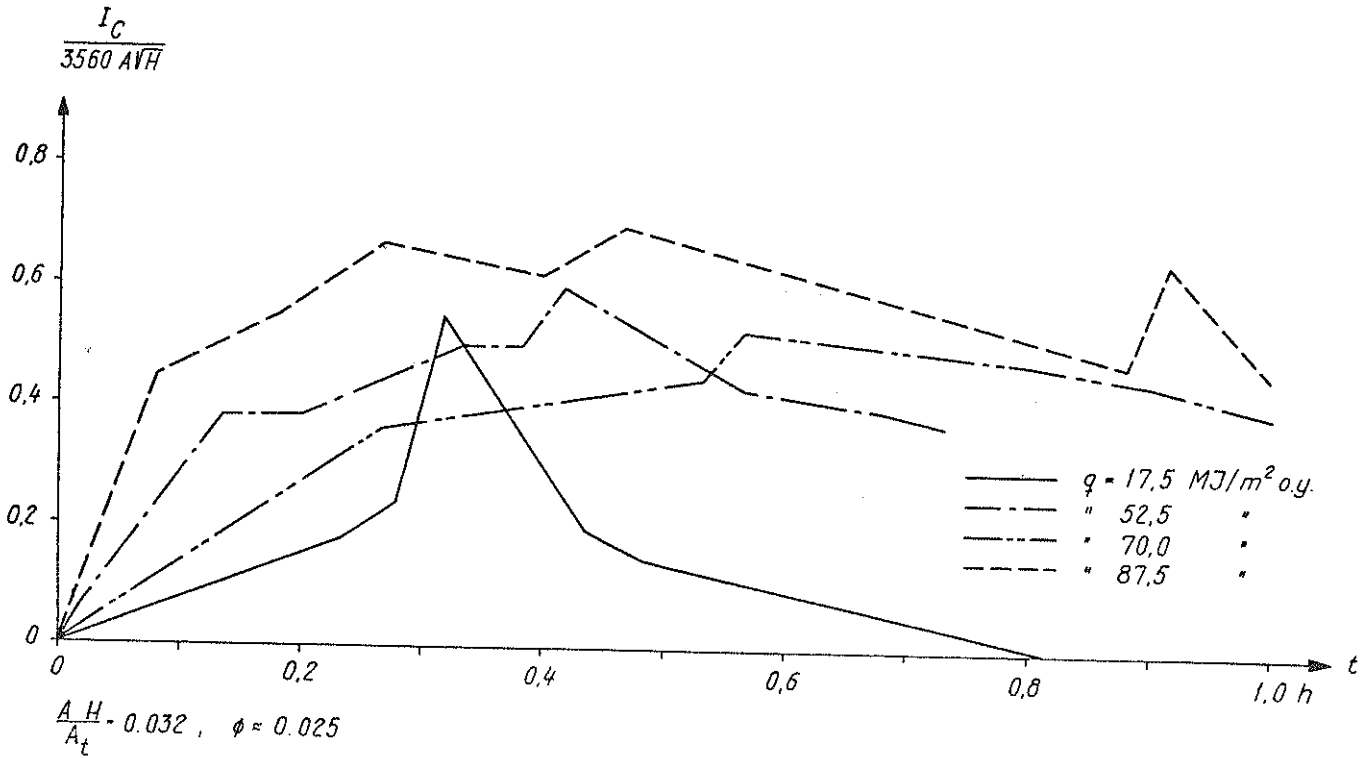

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A_H}{A_t} = 0.032$, $\phi \approx 0.025$

FIG. 13

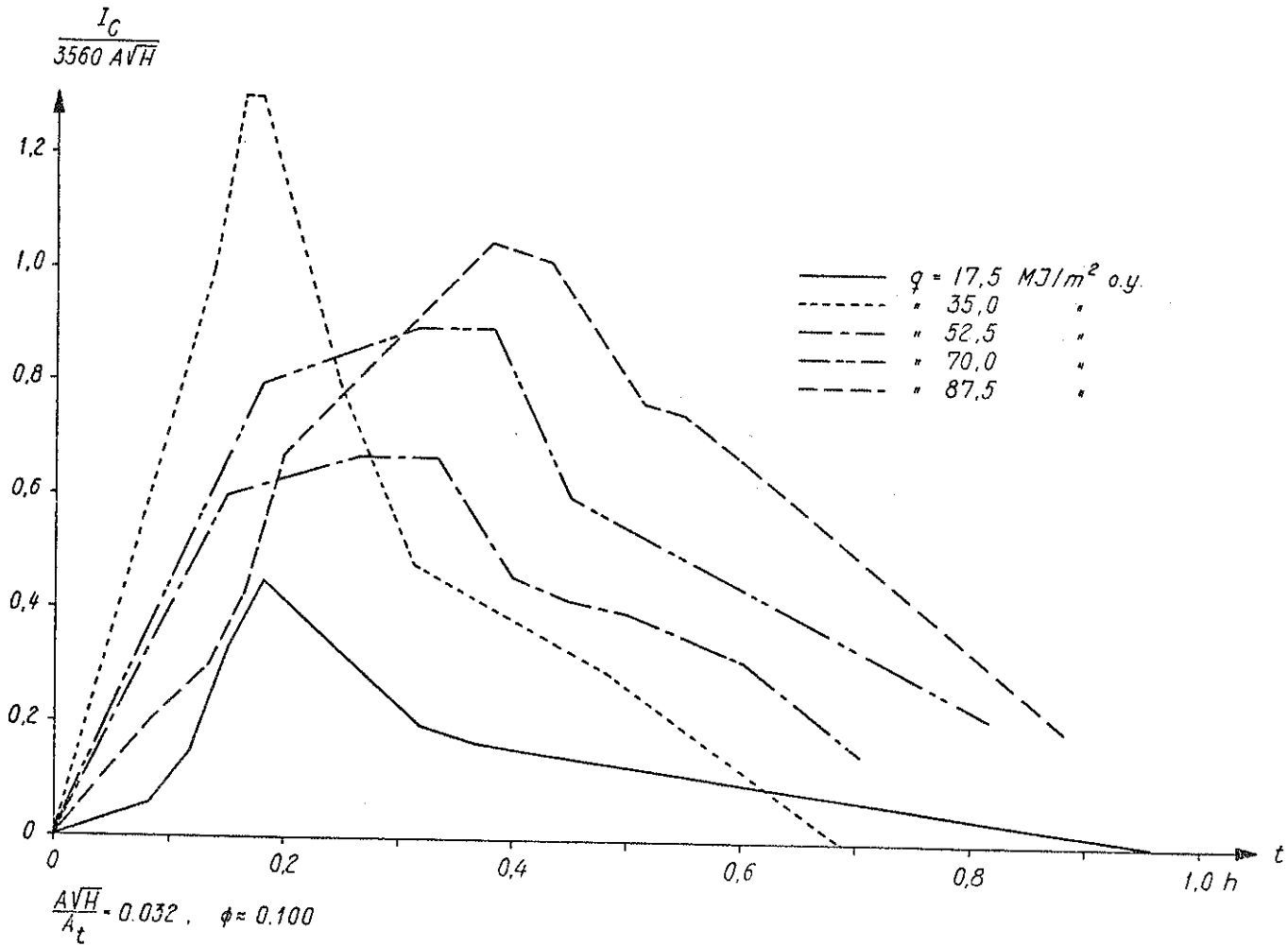

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.032$, $\phi \approx 0.100$

FIG. 14

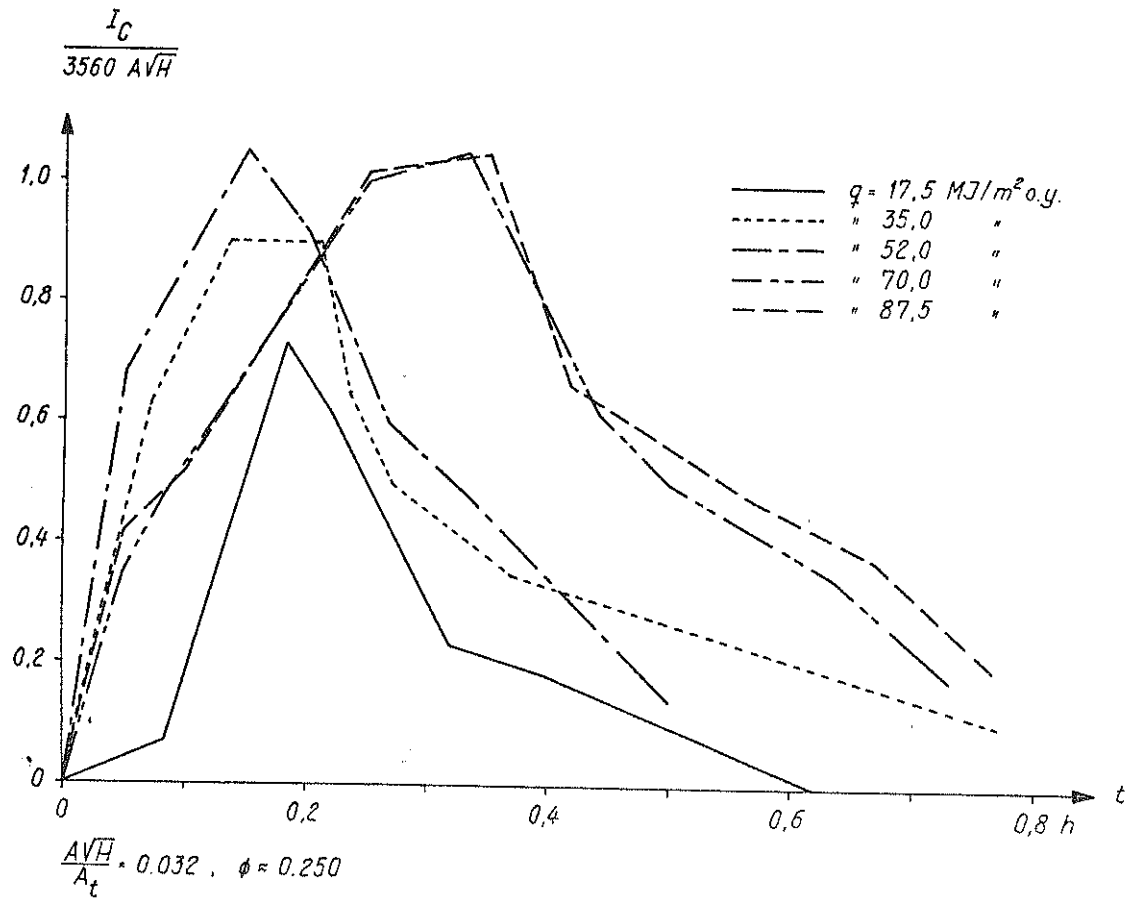

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,0 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.032$, $\phi \approx 0.250$

FIG. 15

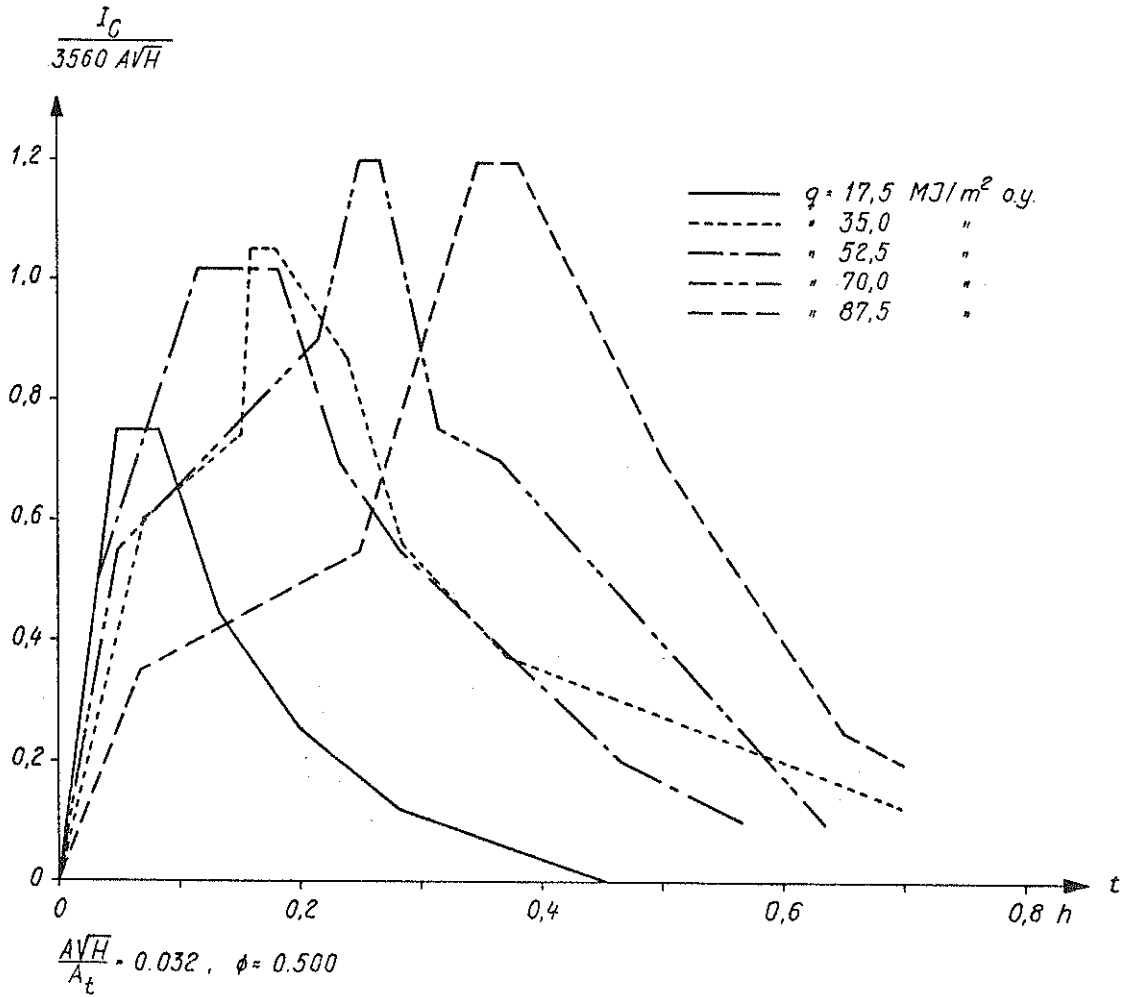
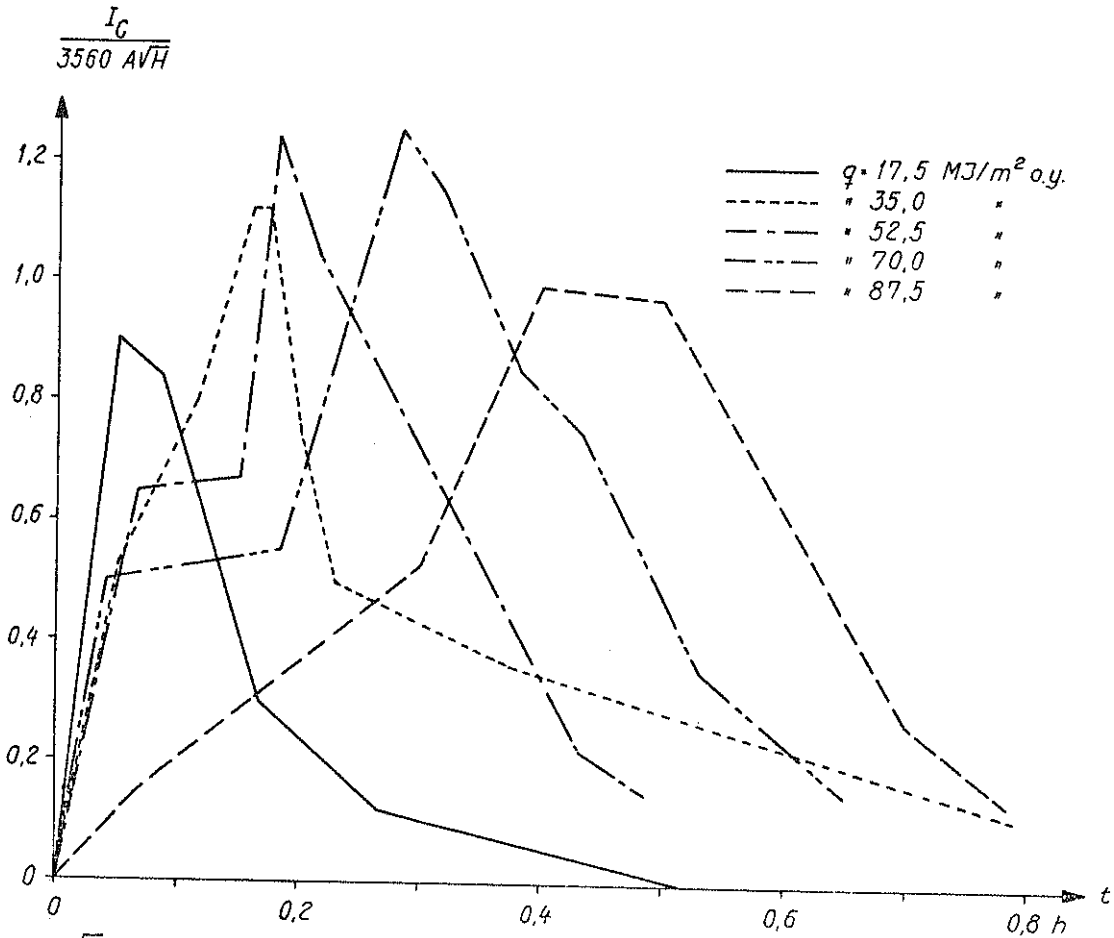

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.032$, $\phi = 0.500$

FIG. 16



$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.032$, $\phi = 0.750$

FIG. 17

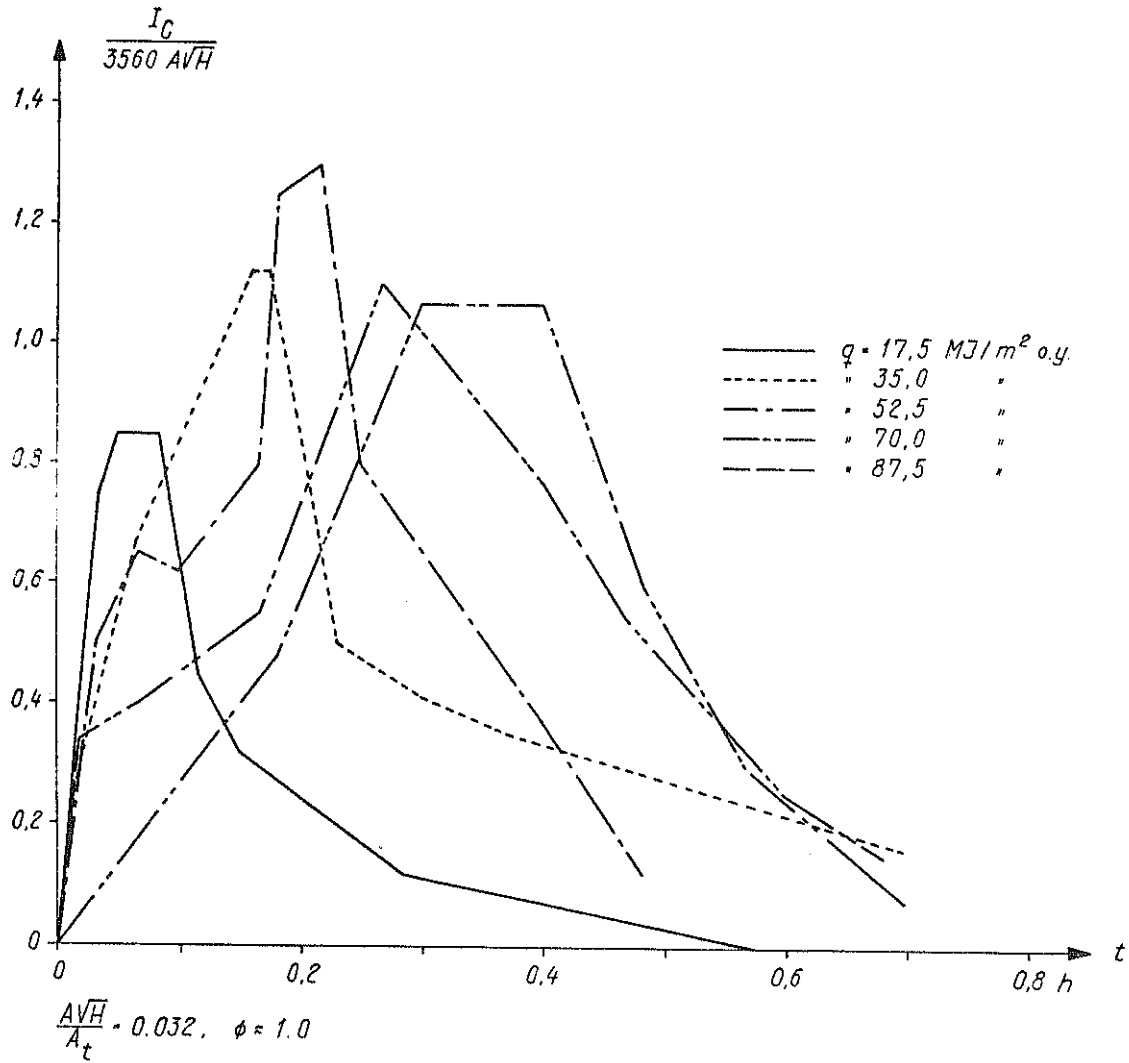

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.032$, $\phi = 1.0$

FIG. 18

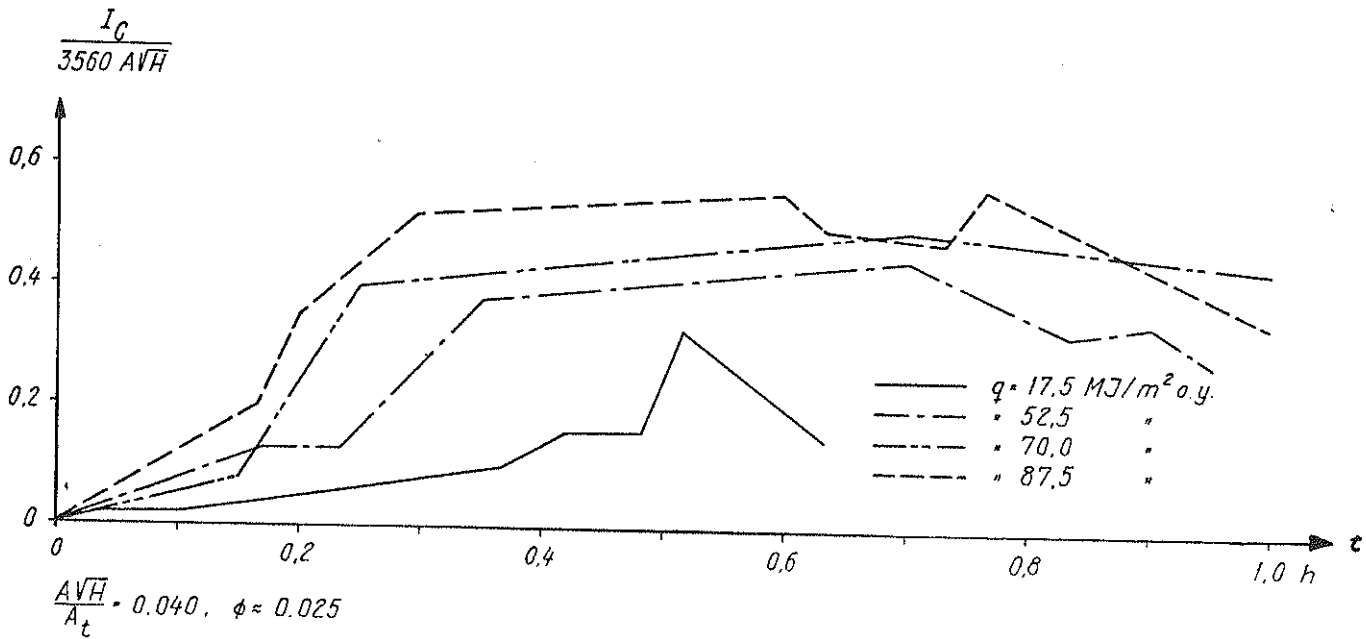

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0 h
τ
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.040$, $\phi \approx 0.025$

FIG. 19

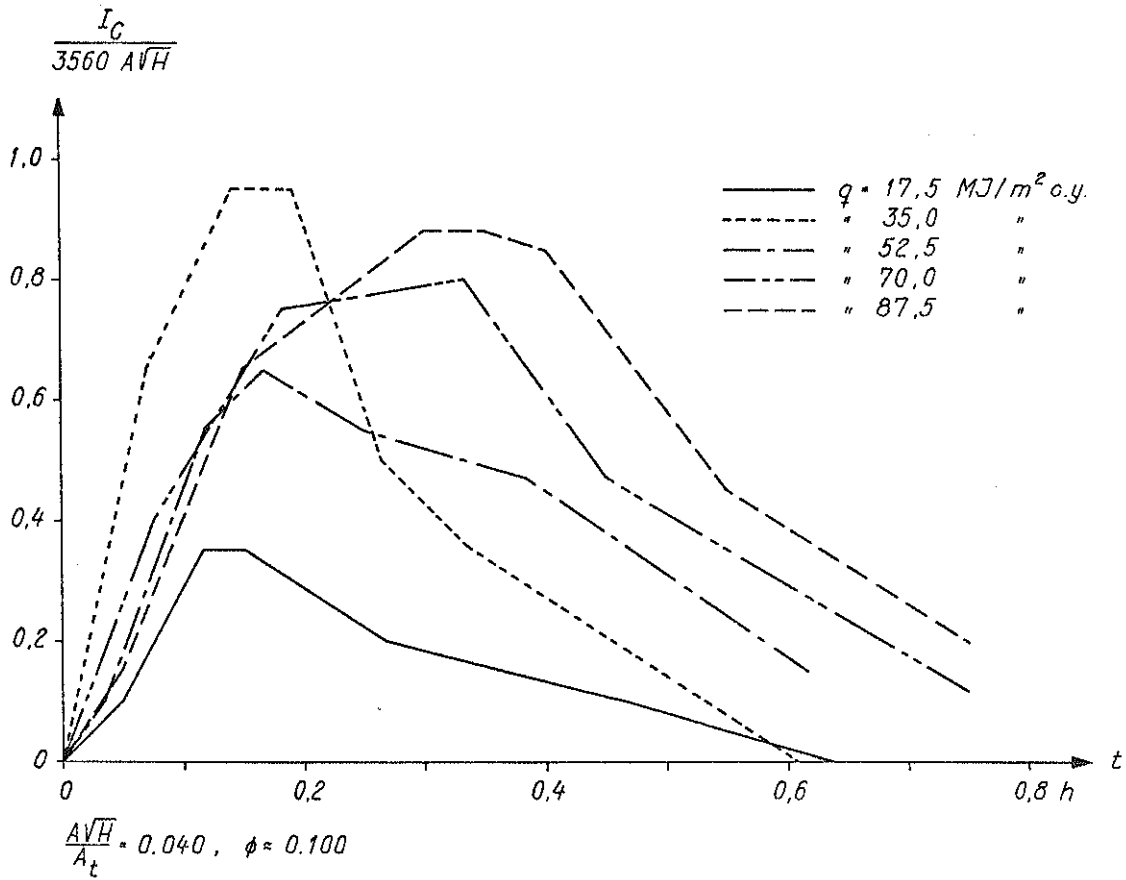

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.040$, $\phi = 0.100$

FIG. 20

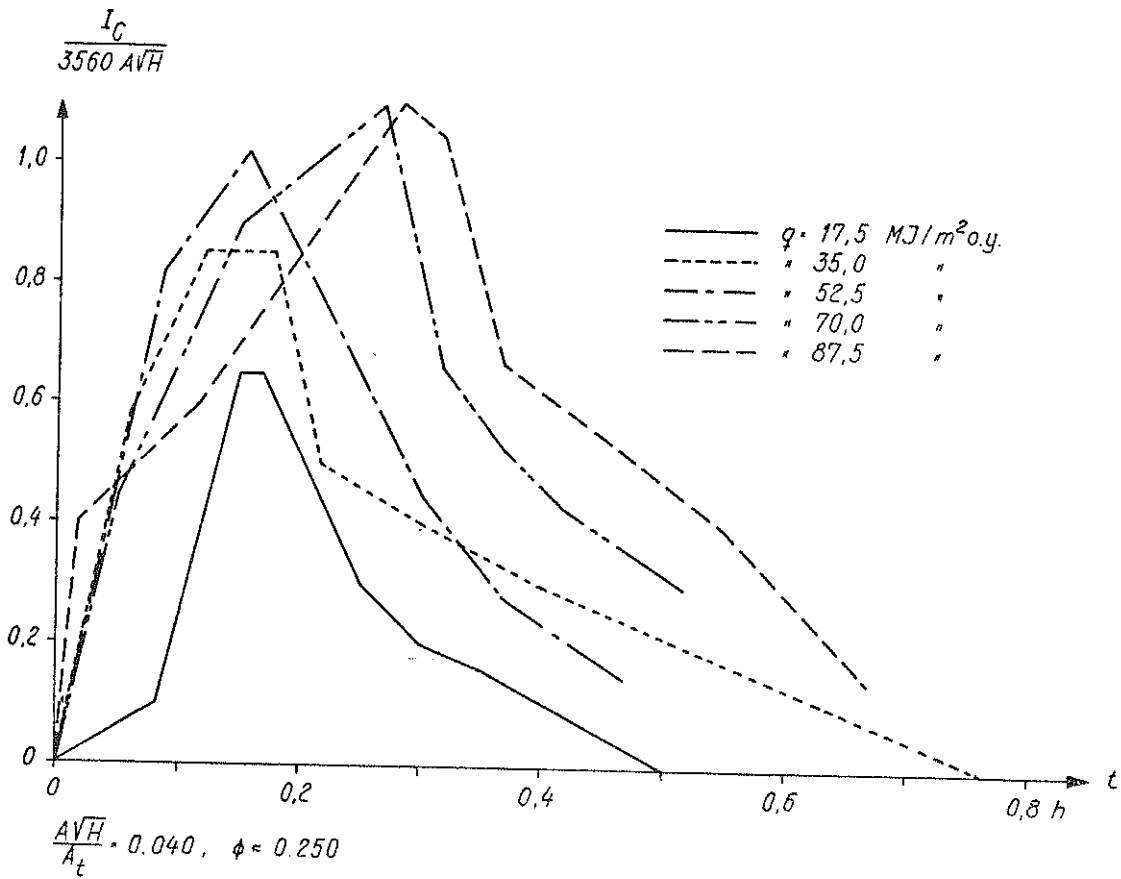

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8 h
t
q = 17,5 MJ/m²o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.040$, $\phi = 0.250$

FIG. 21

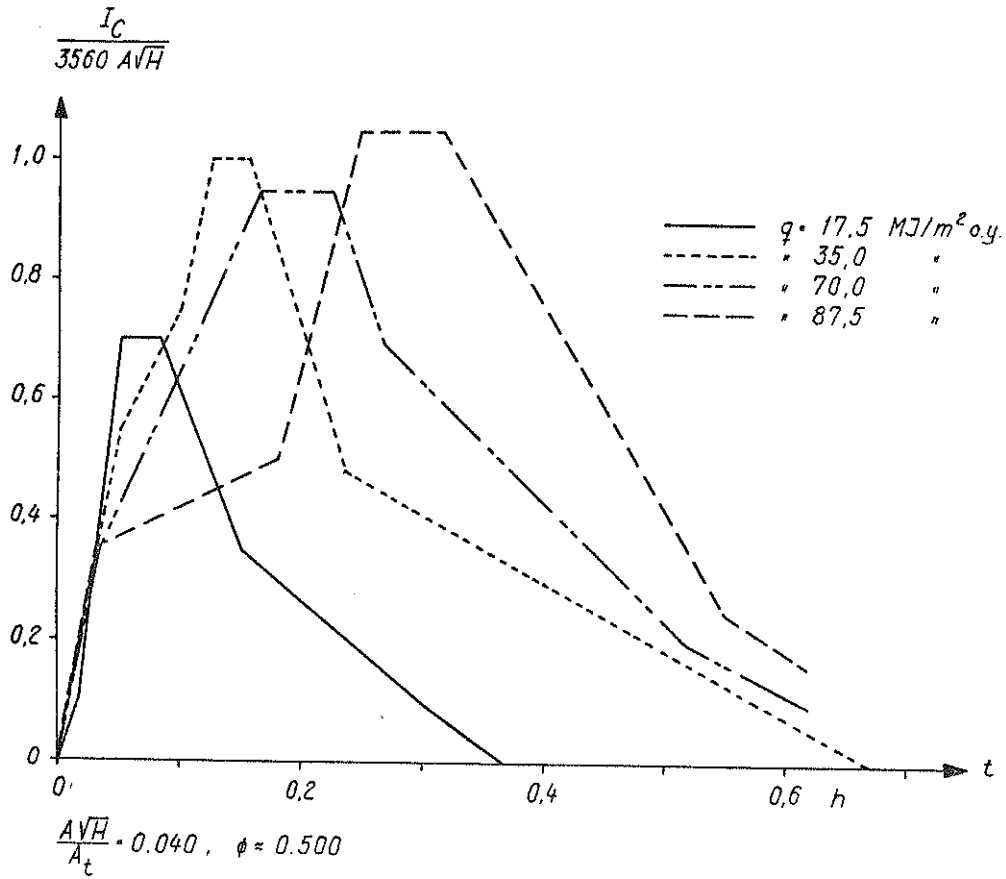

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.040$, $\phi \approx 0.500$

FIG. 22

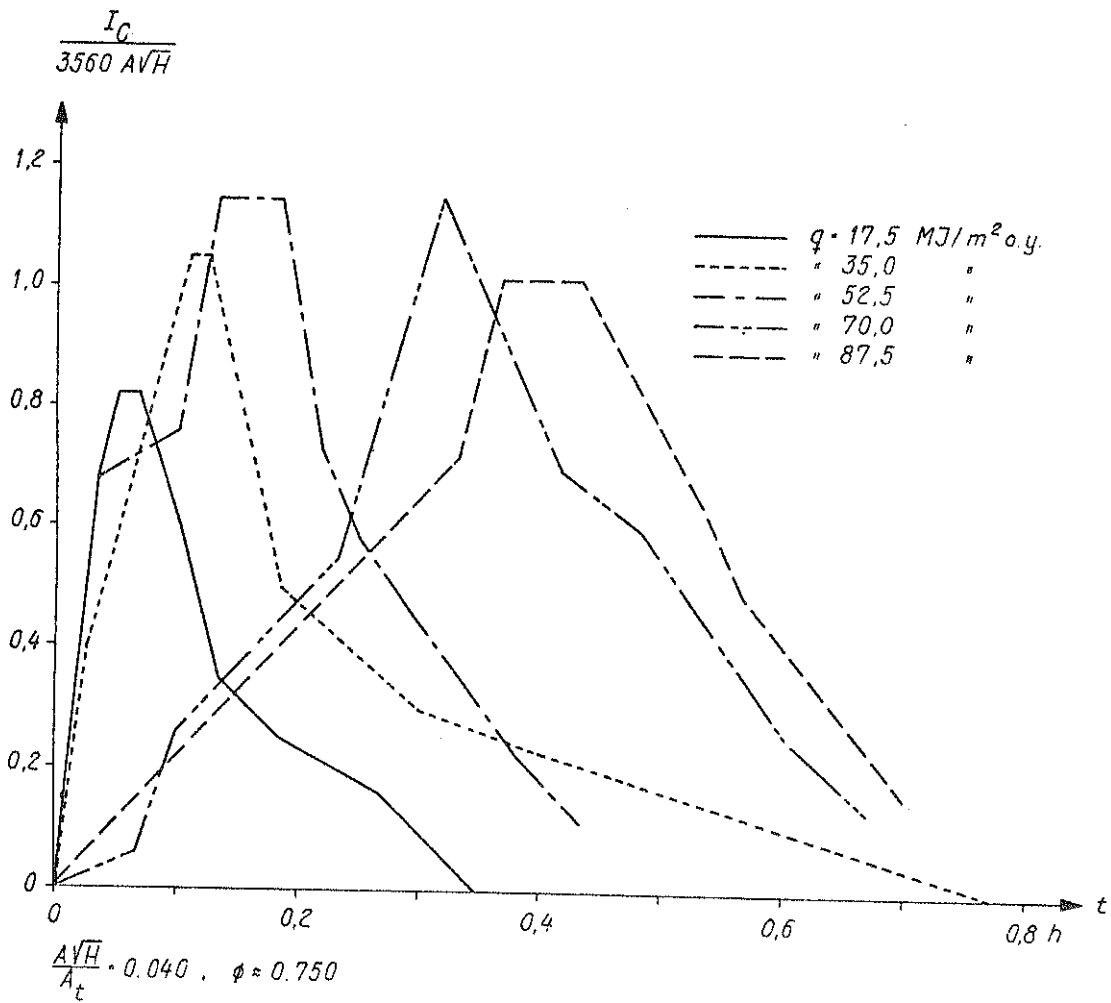

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8 h
t
q = 17,5 MJ/m² a.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.040$, $\phi \approx 0.750$

FIG. 23

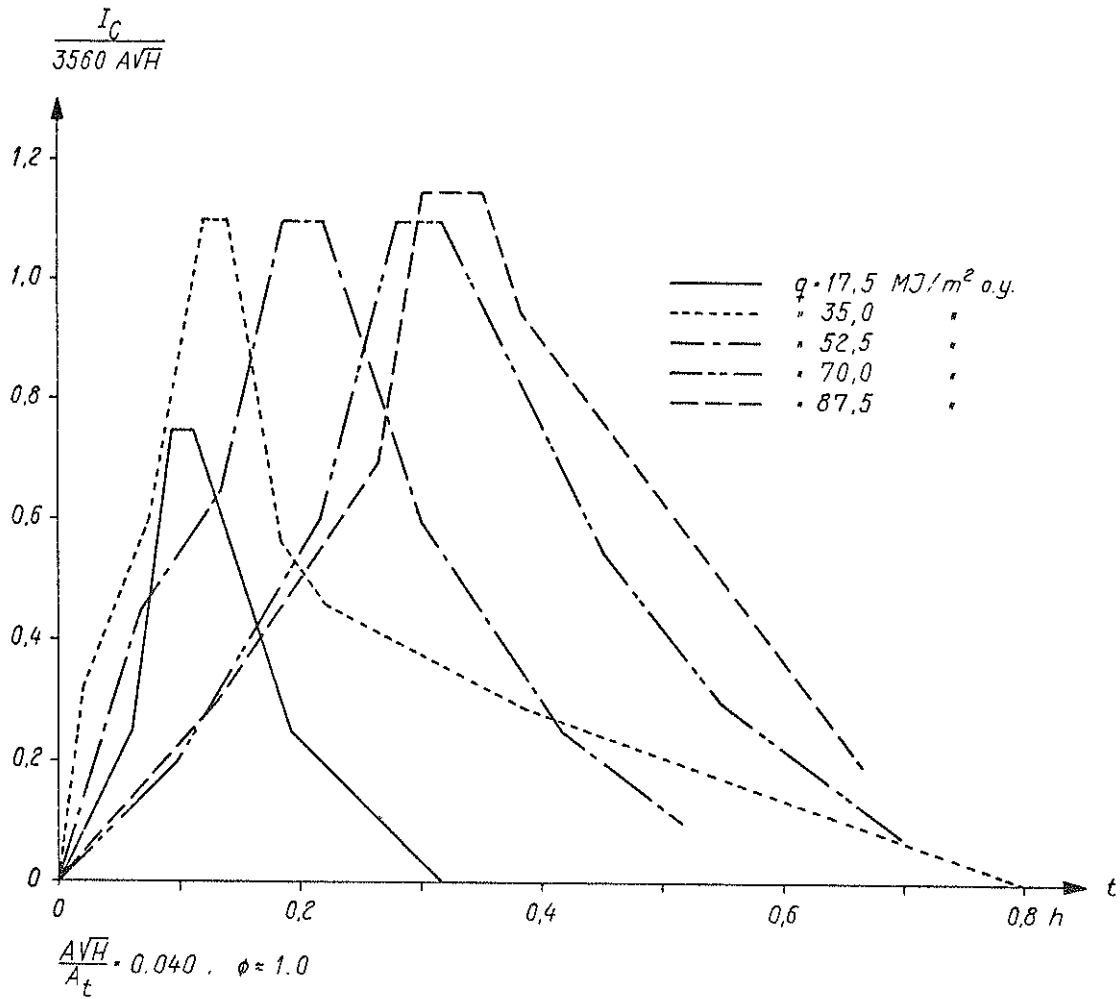

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.040$, $\phi \approx 1.0$

FIG. 24

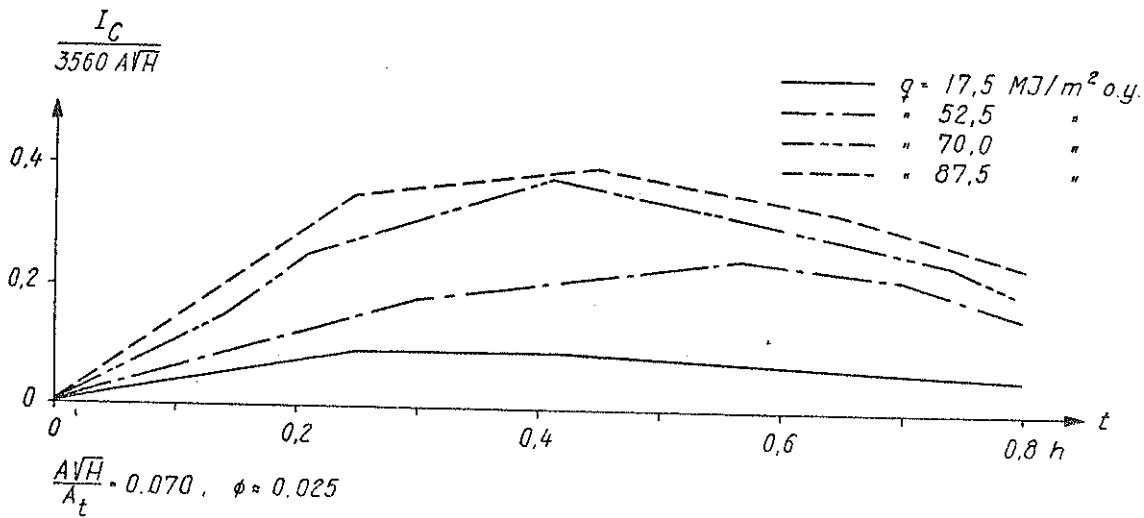

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.070$, $\phi = 0.025$

FIG. 25

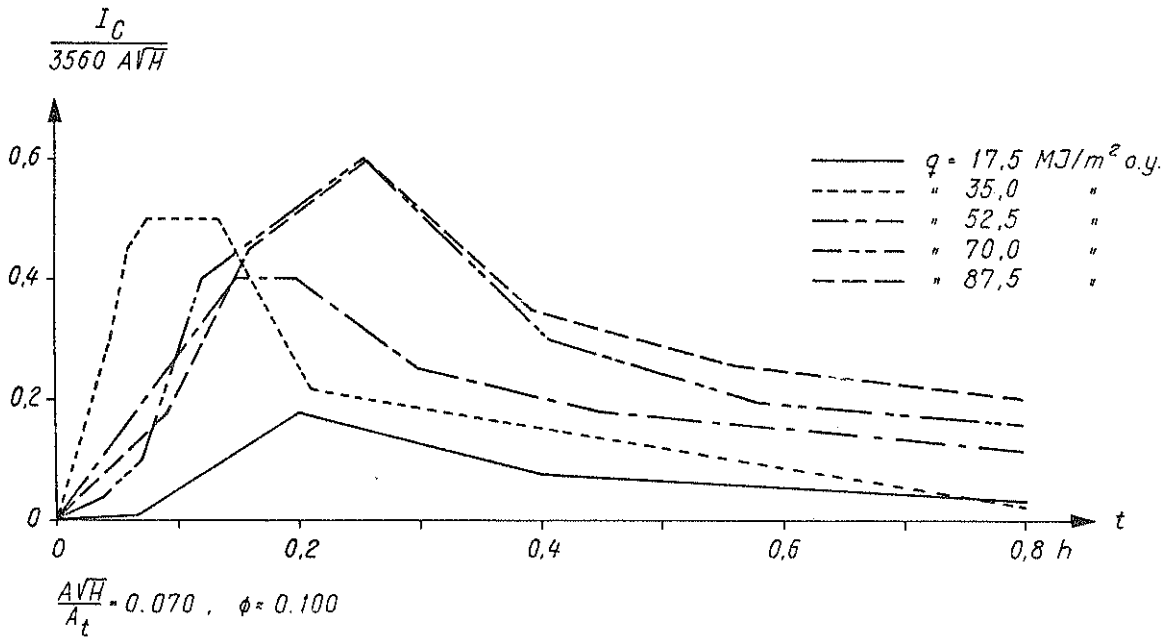

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.070$, $\phi = 0.100$

FIG. 26

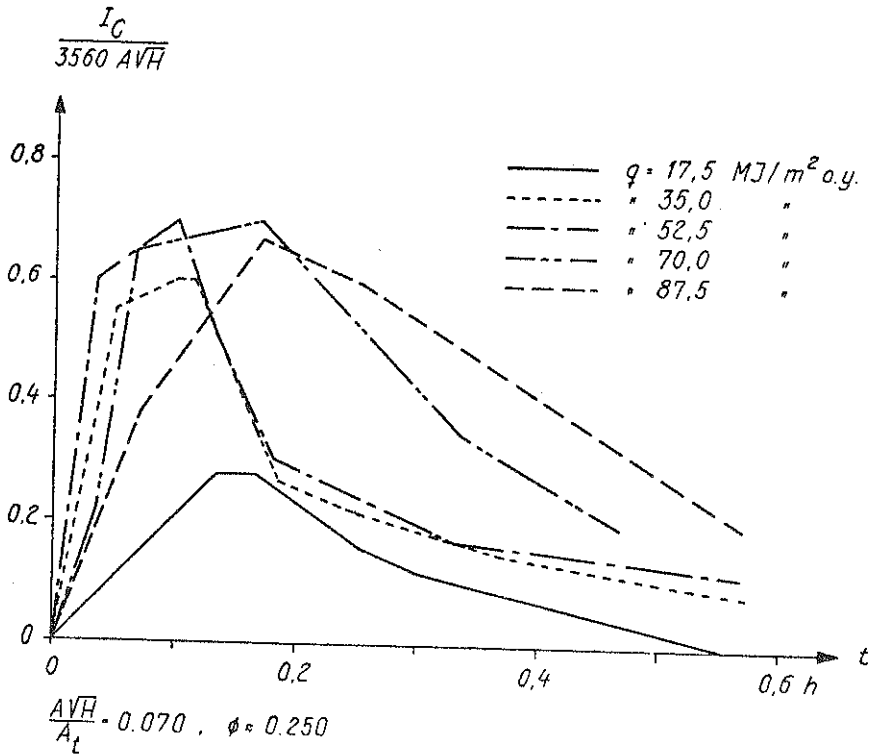

$\frac{I_C}{3560\ AVH}$
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{AVH}{A_t} = 0.070$, $\phi = 0.250$

FIG. 27

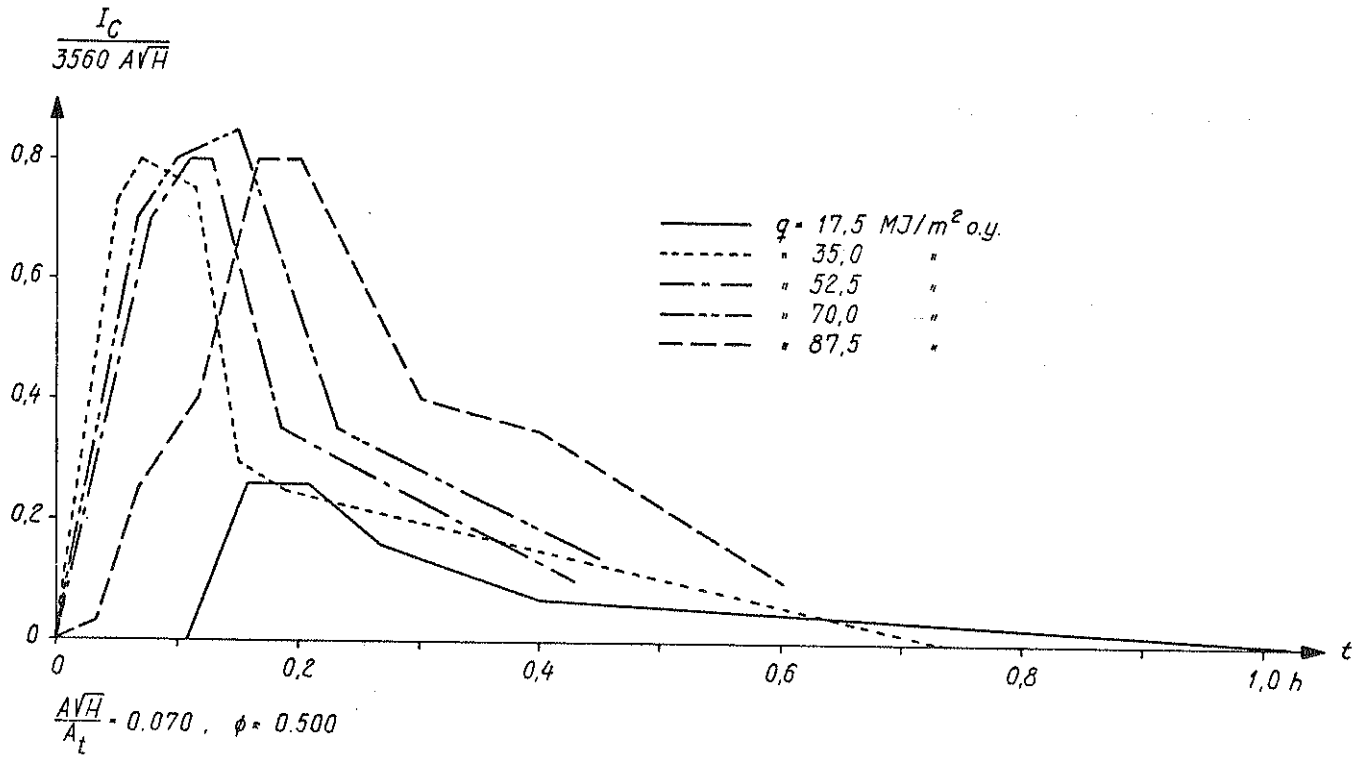

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.070$, $\phi = 0.500$

FIG. 28

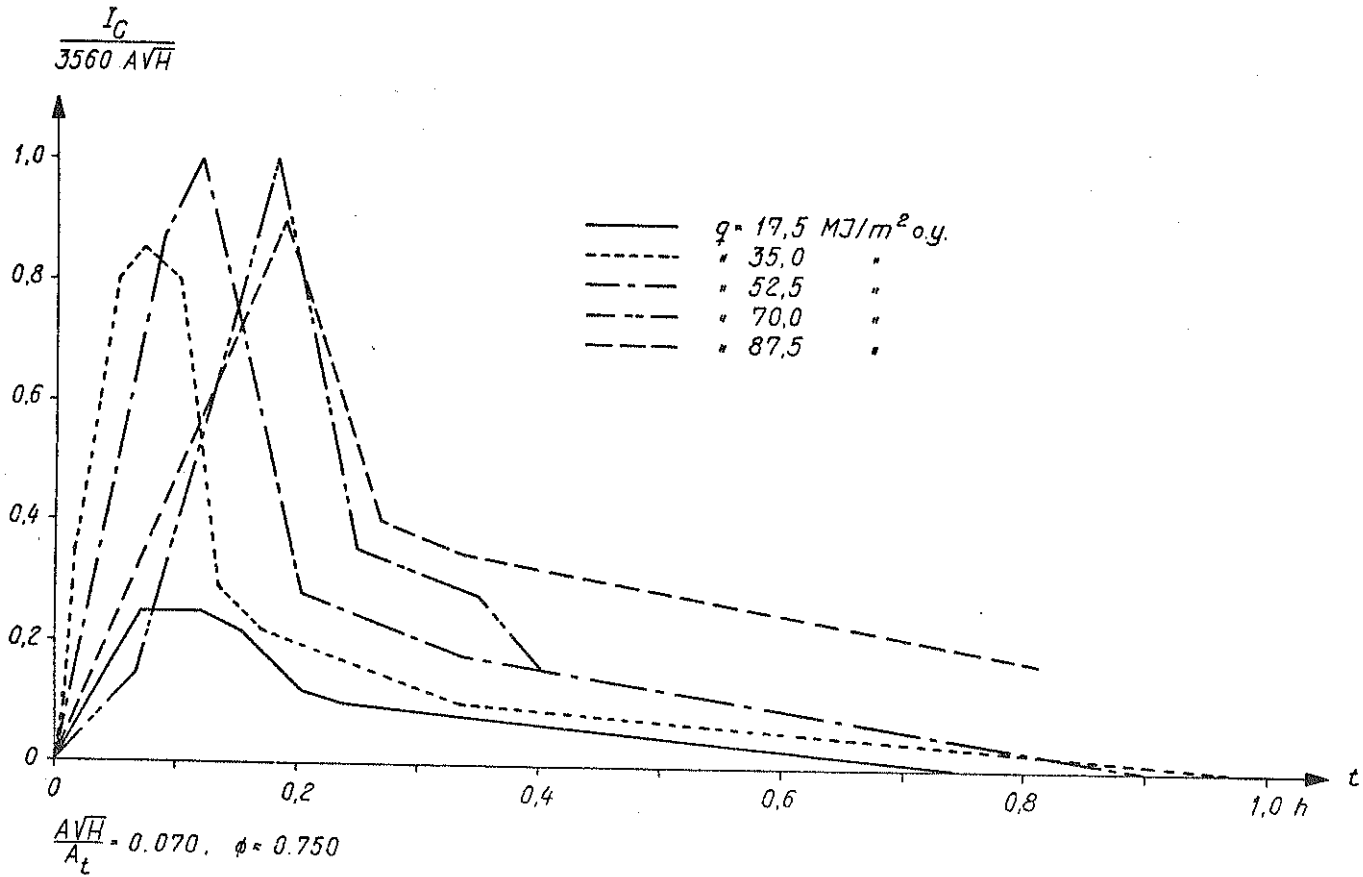

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.070,\ \phi = 0.750$

FIG. 29

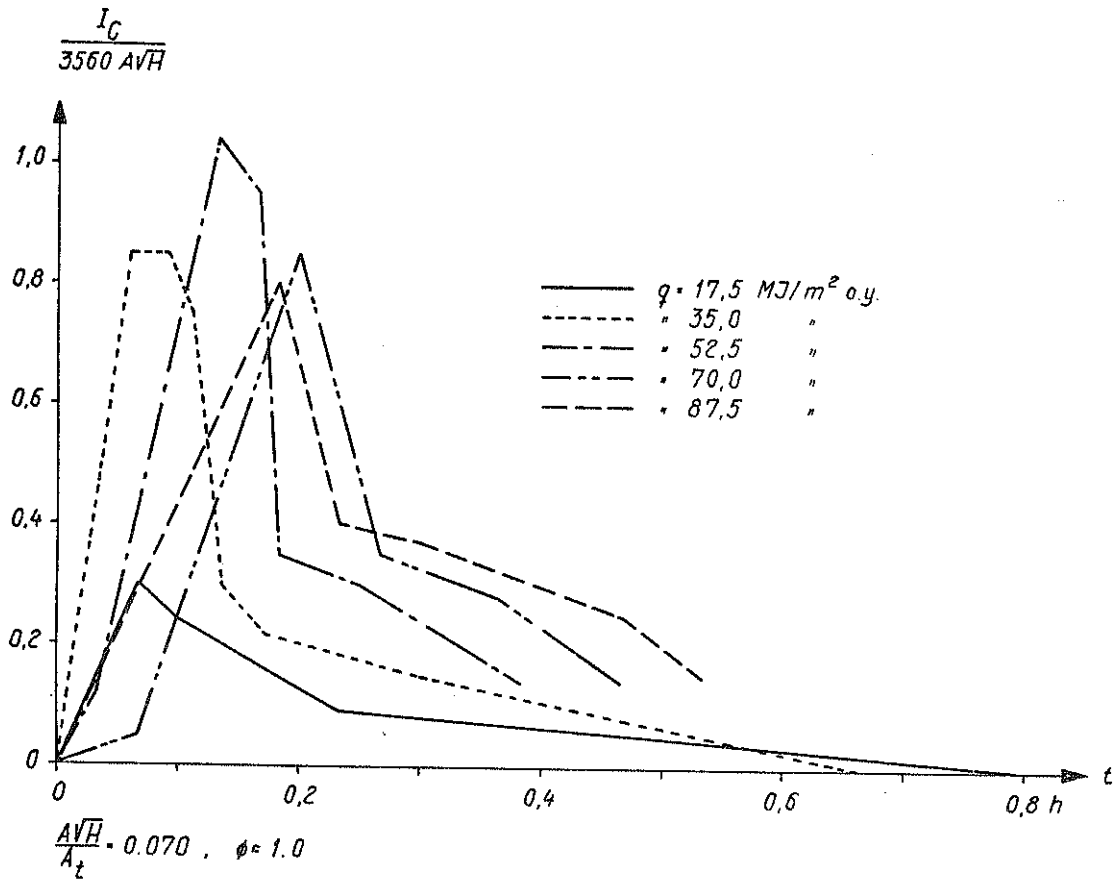

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.070$, $\phi = 1.0$

FIG. 30

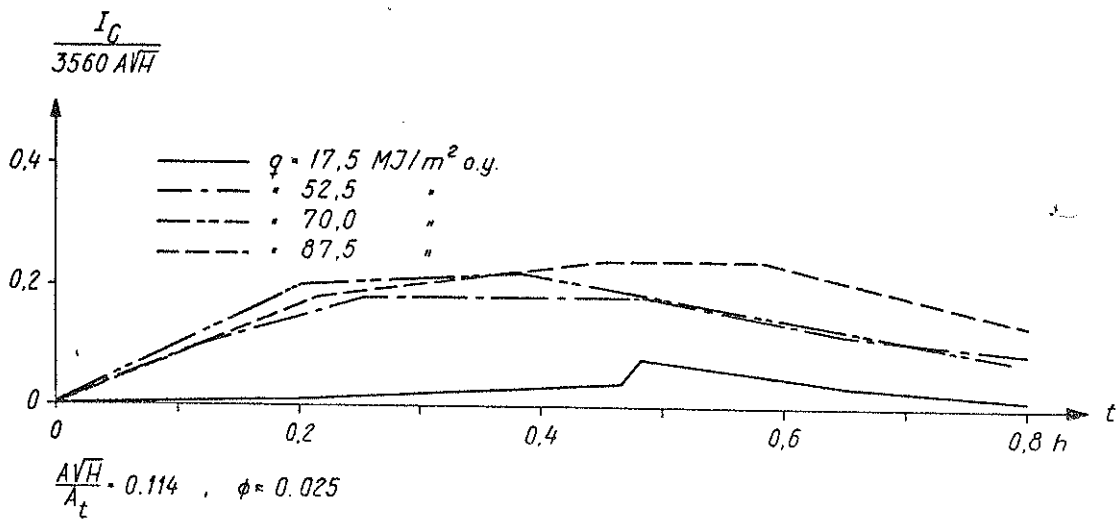

$\frac{I_G}{3560\ A\sqrt{H}}$
0,4
0,2
0
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
0
0,2
0,4
0,6
0,8 h
t
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.114$, $\phi = 0.025$

FIG. 31

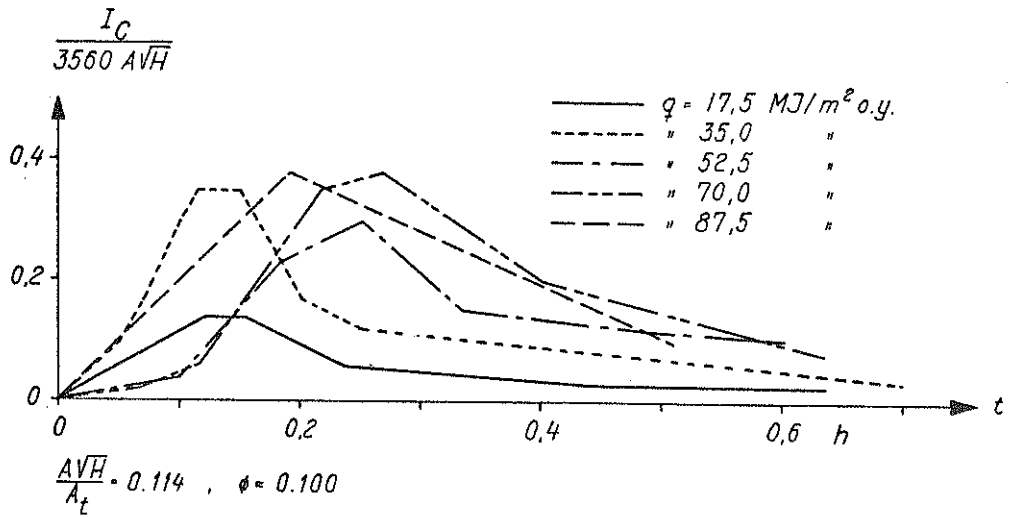

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
h
t
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.114$, $\phi = 0.100$

FIG. 32

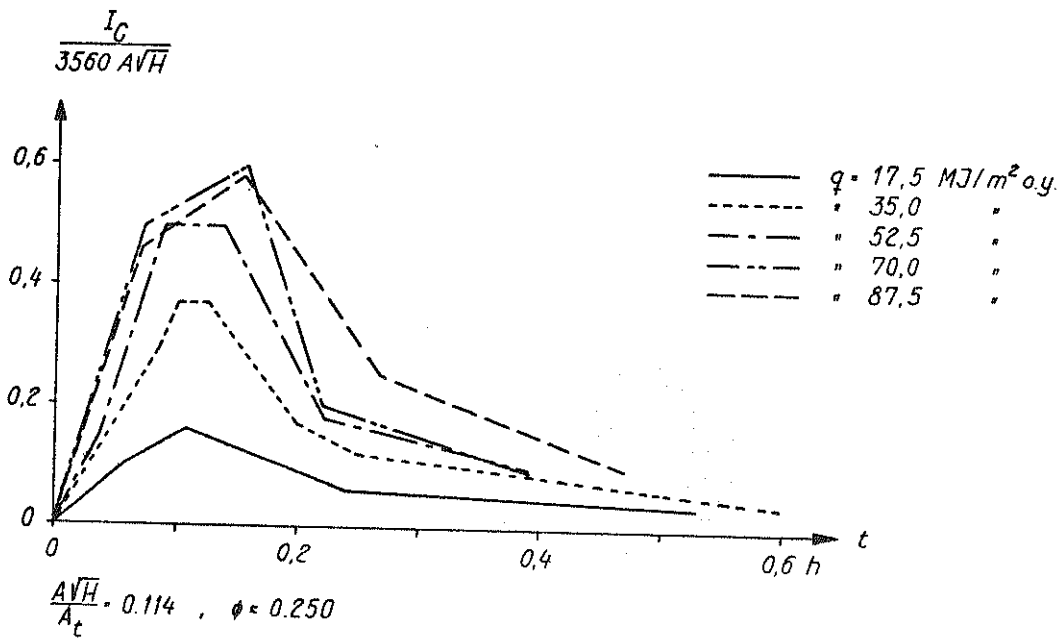

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.114$, $\phi = 0.250$

FIG. 33

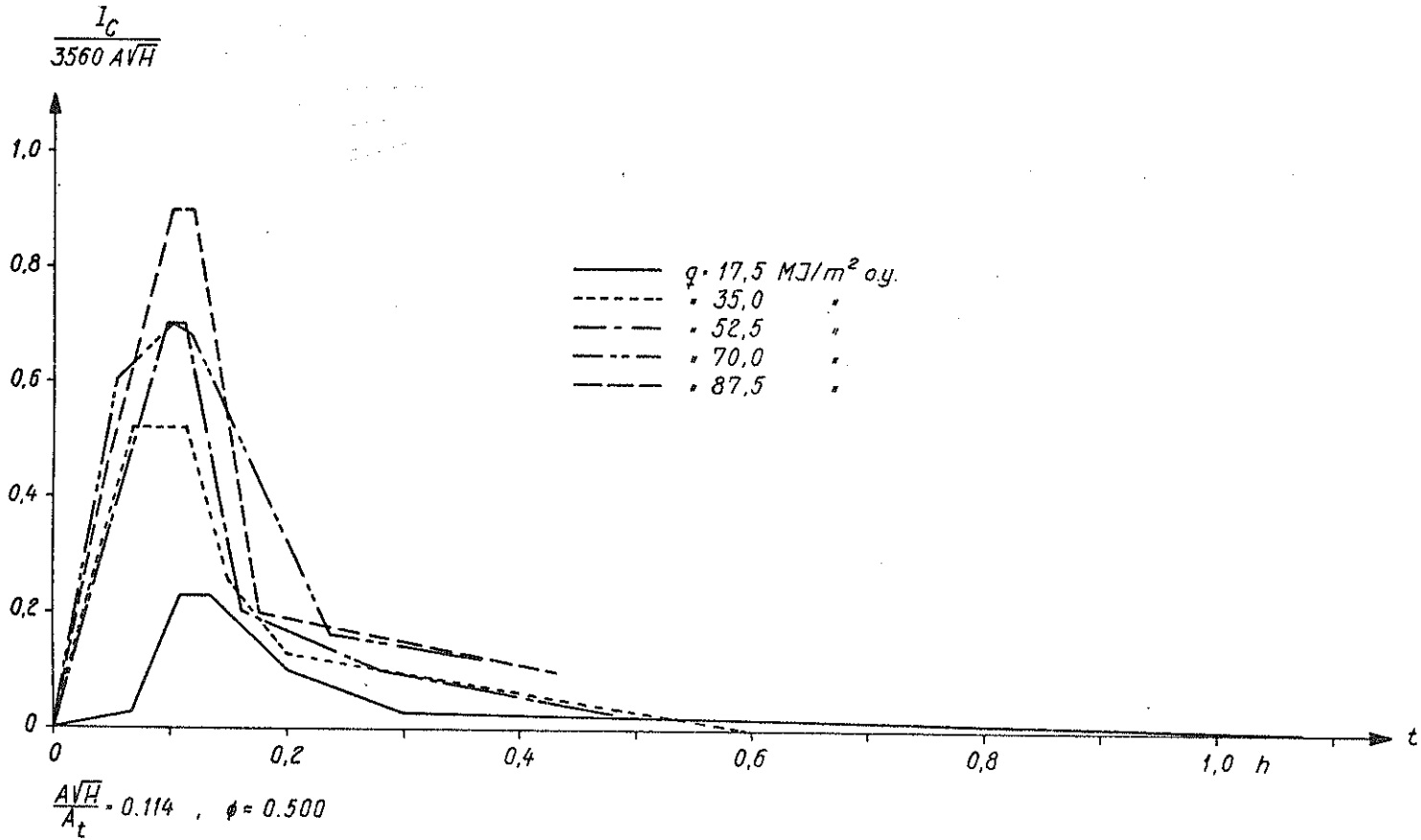

$\frac{I_C}{3560\,A\sqrt{H}}$
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.114$, $\phi = 0.500$

FIG. 34

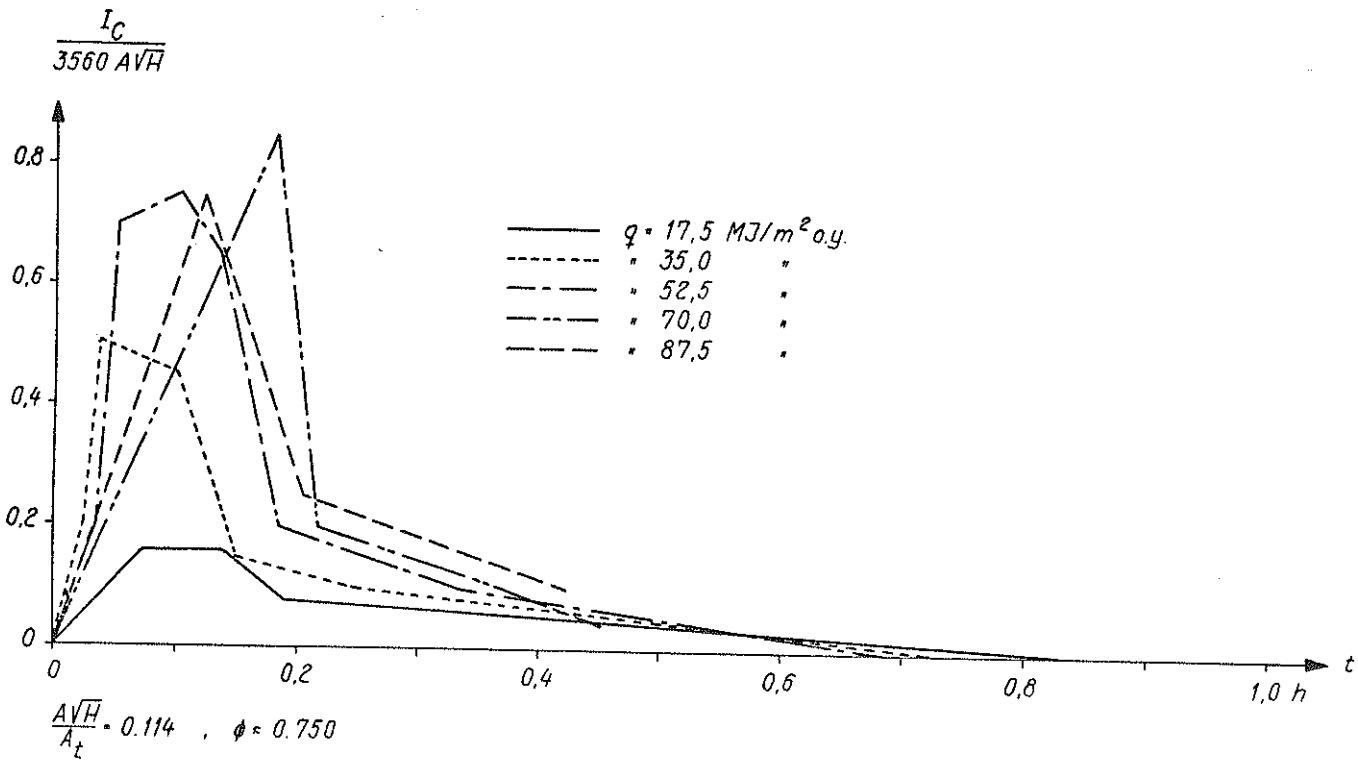

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" 35,0 "
" 52,5 "
" 70,0 "
" 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.114$, $\phi = 0.750$

FIG. 35

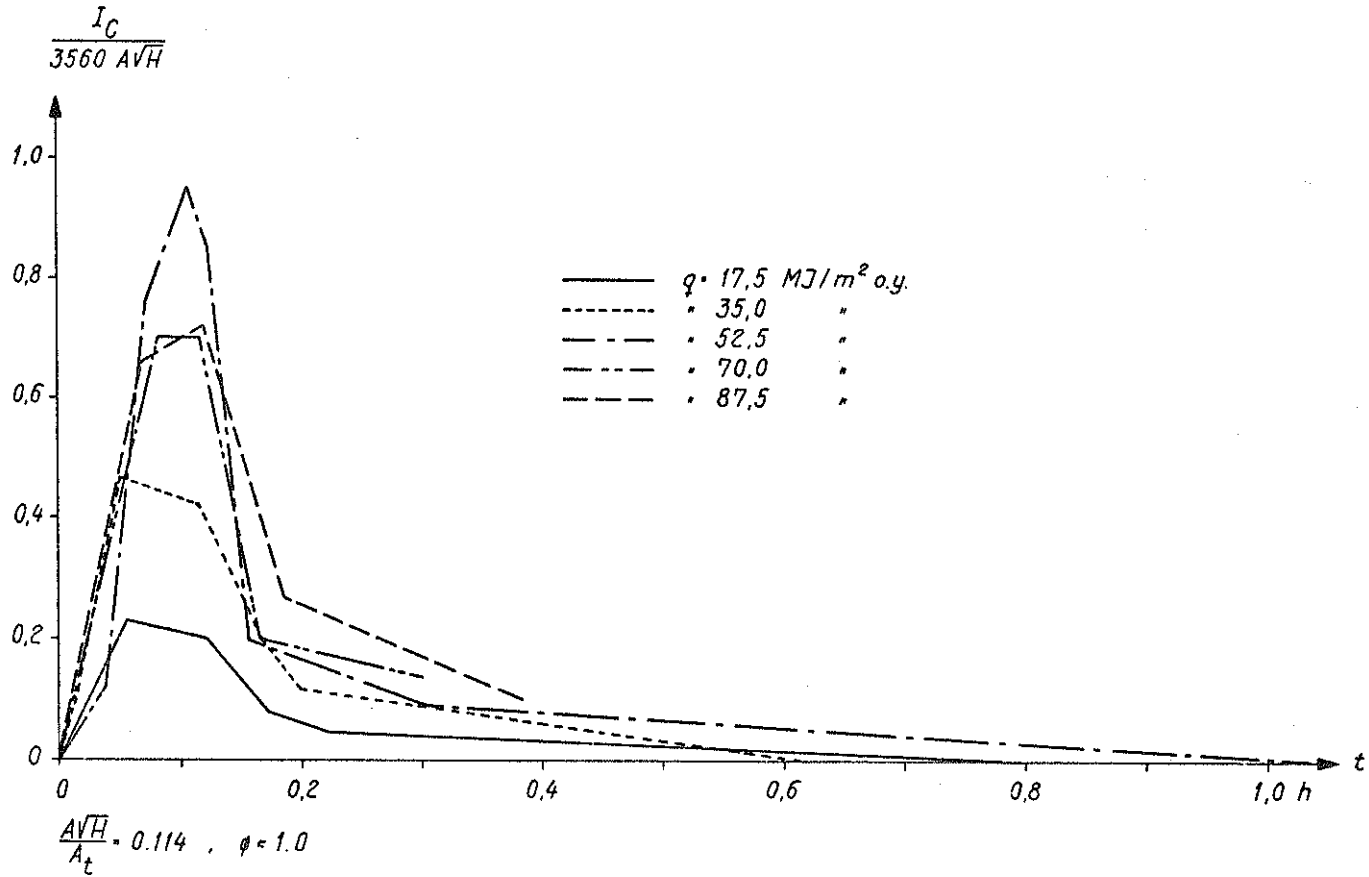

$\frac{I_C}{3560\ A\sqrt{H}}$
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0 h
t
q = 17,5 MJ/m² o.y.
" = 35,0 "
" = 52,5 "
" = 70,0 "
" = 87,5 "
$\frac{A\sqrt{H}}{A_t} = 0.114$, $\phi = 1.0$

FIG. 36

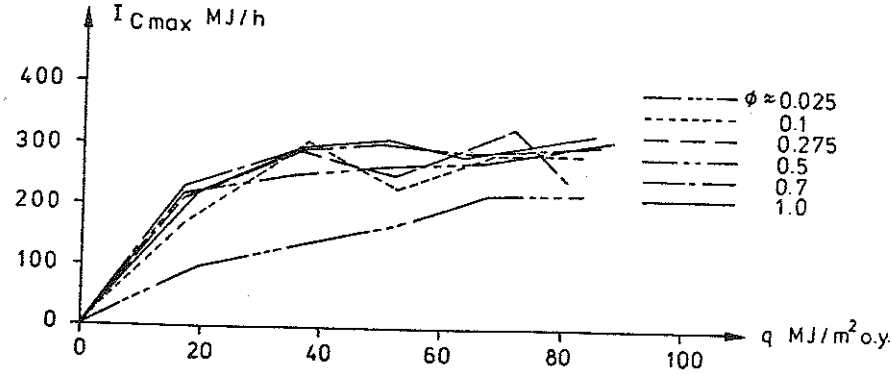

I Cmax MJ/h
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.
ϕ ≈ 0.025
0.1
0.275
0.5
0.7
1.0

FIG. 37

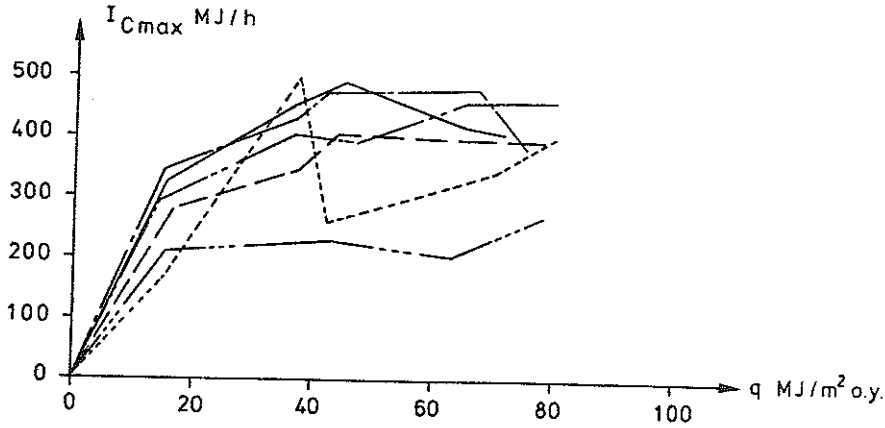

I Cmax MJ/h
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 38

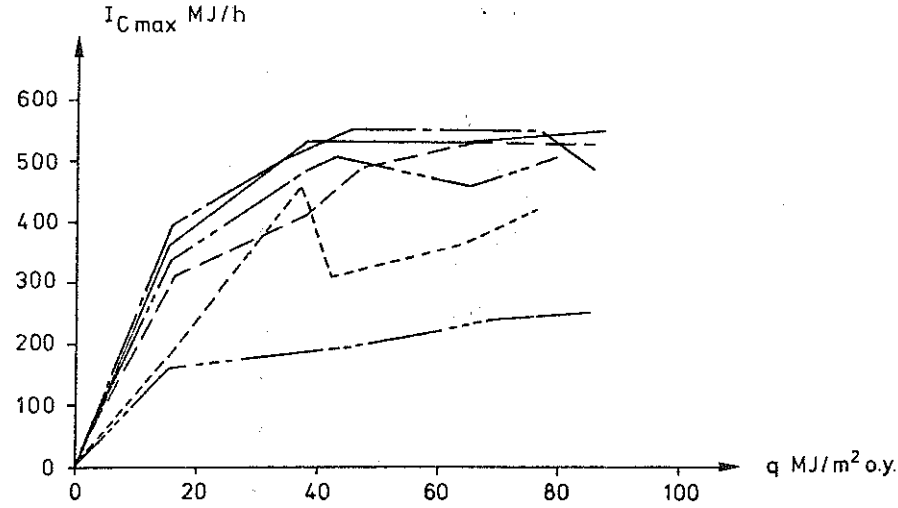

$I_{C\,max}$ MJ/h
600
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 39

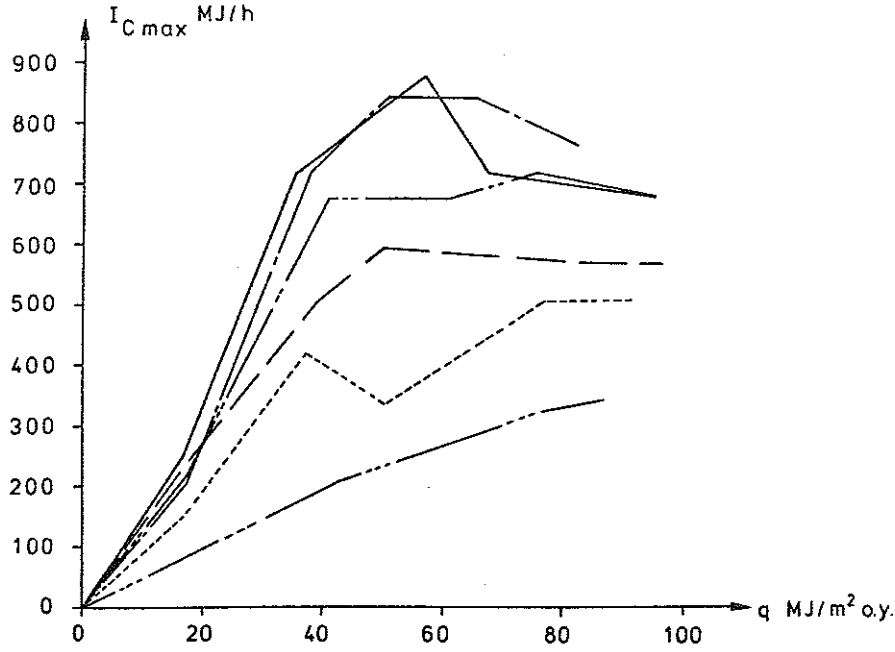

$I_{C\,max}$ MJ/h
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 40

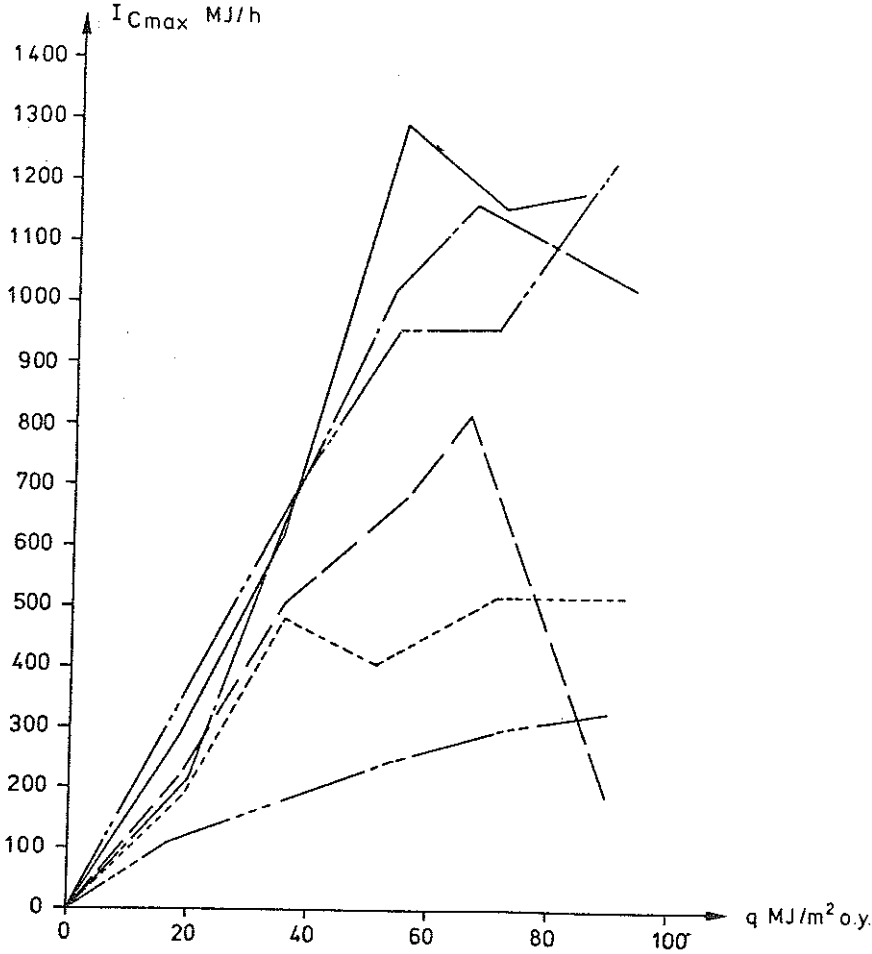

I Cmax MJ/h
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 41

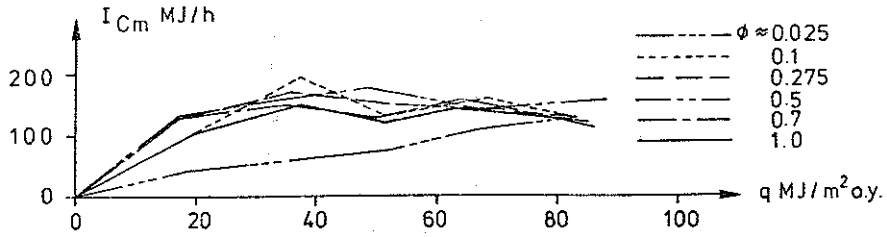


FIG. 42

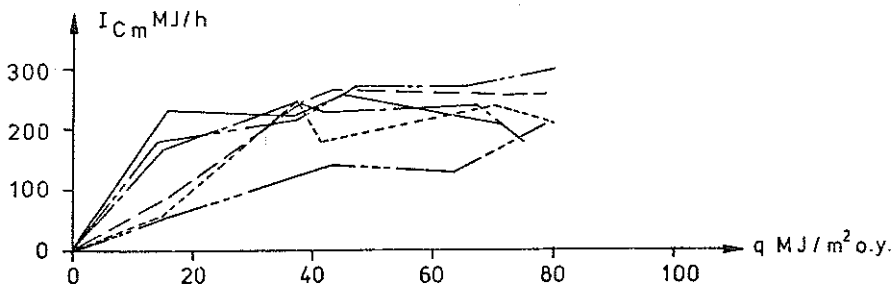


FIG. 43

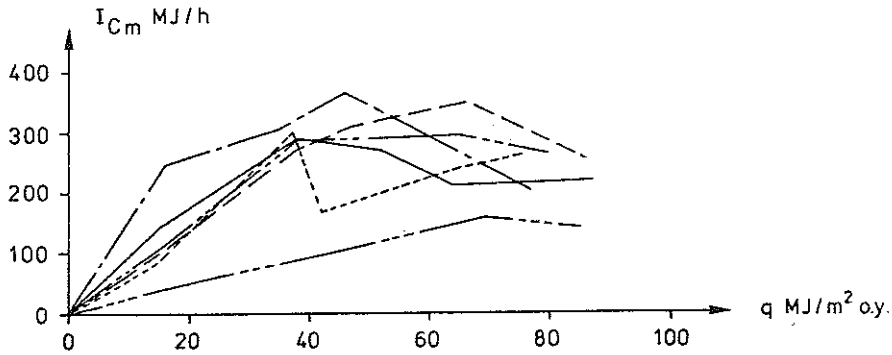


FIG. 44

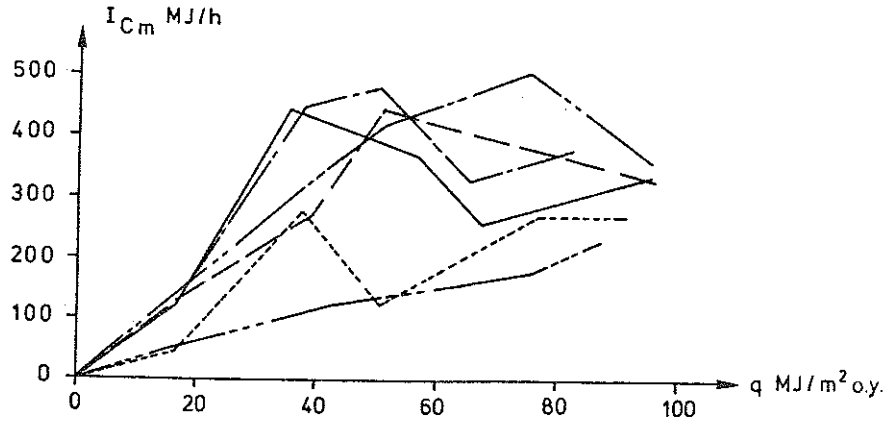

I Cm MJ/h
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 45

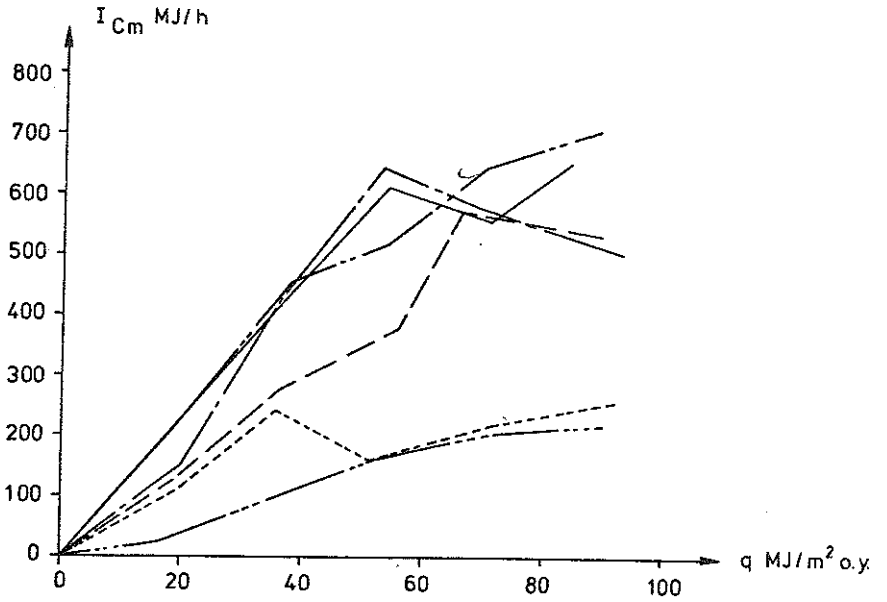

I Cm MJ/h
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 46

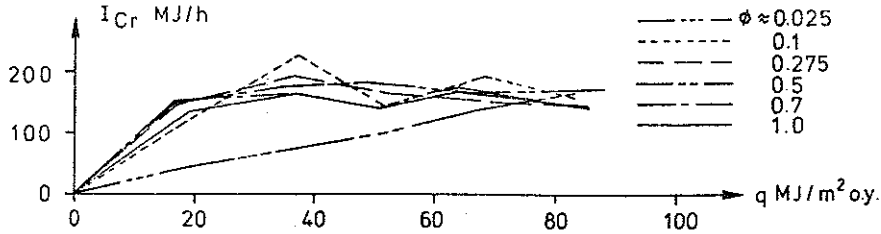


FIG. 47

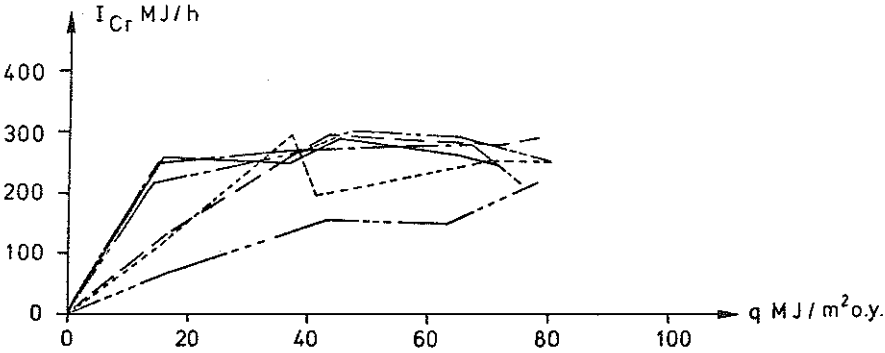


FIG. 48

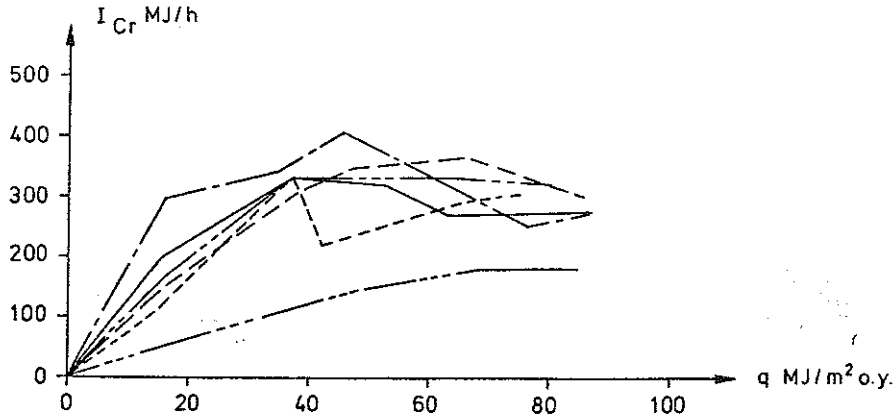


FIG. 49

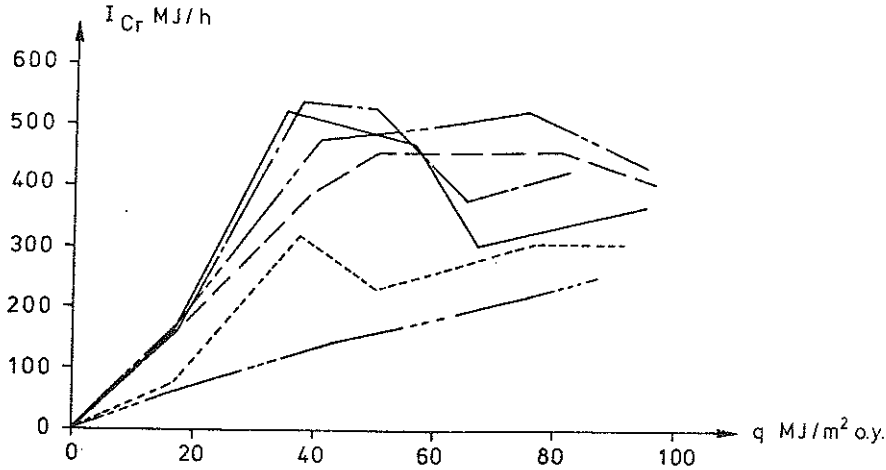

I Cr MJ/h
600
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 50

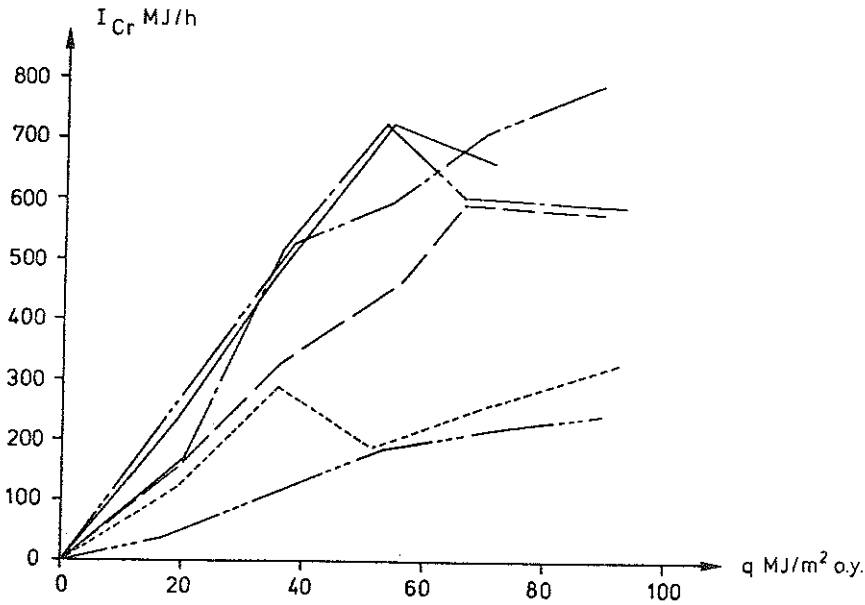

I Cr MJ/h
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 51

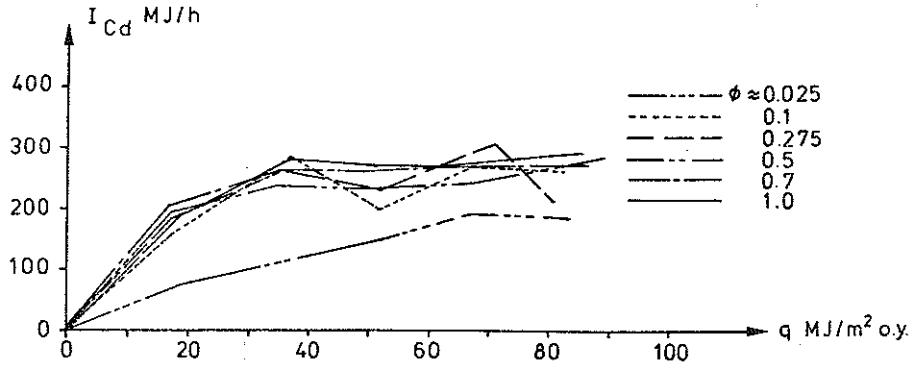

I Cd MJ/h
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.
ϕ ≈ 0.025
0.1
0.275
0.5
0.7
1.0

FIG. 52

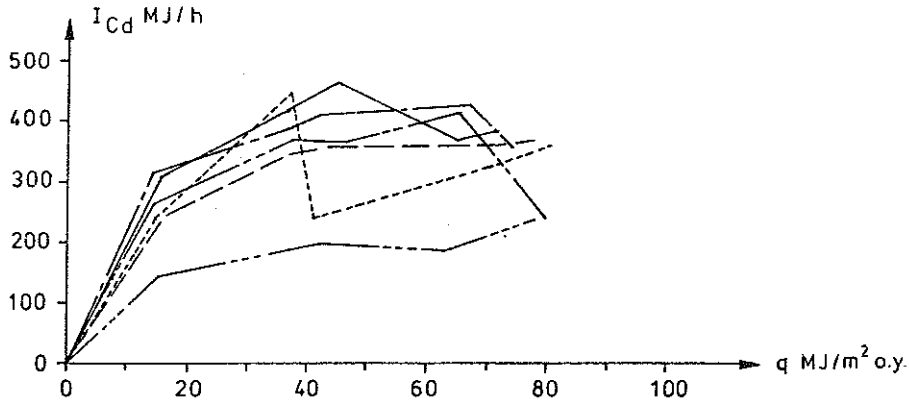

I Cd MJ/h
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 53

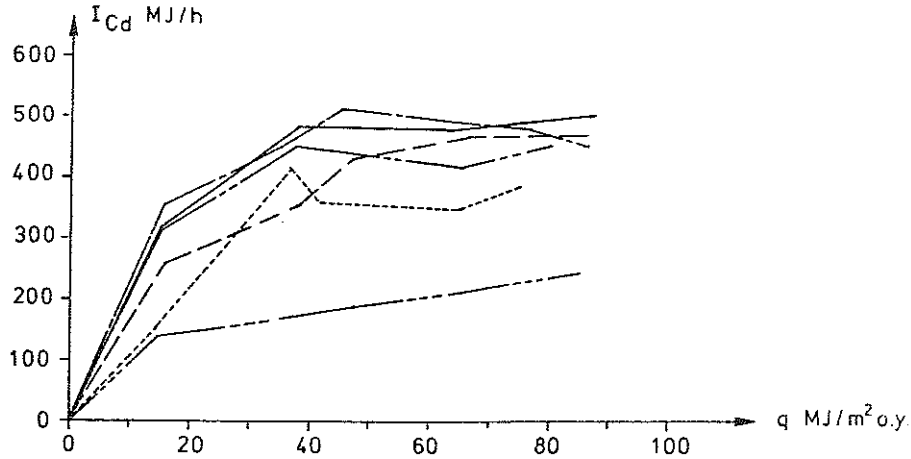

I Cd MJ/h
600
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 54

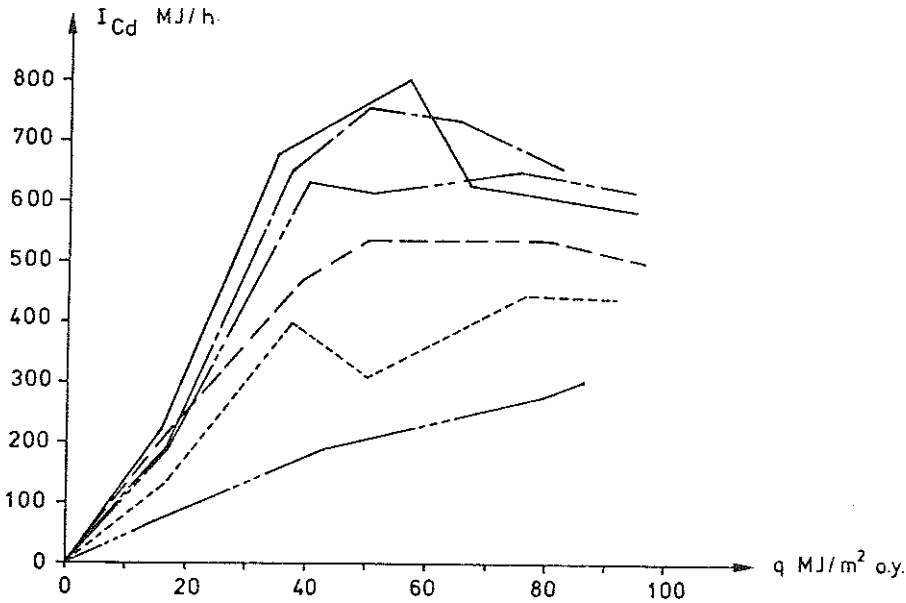

I Cd MJ/h
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 55

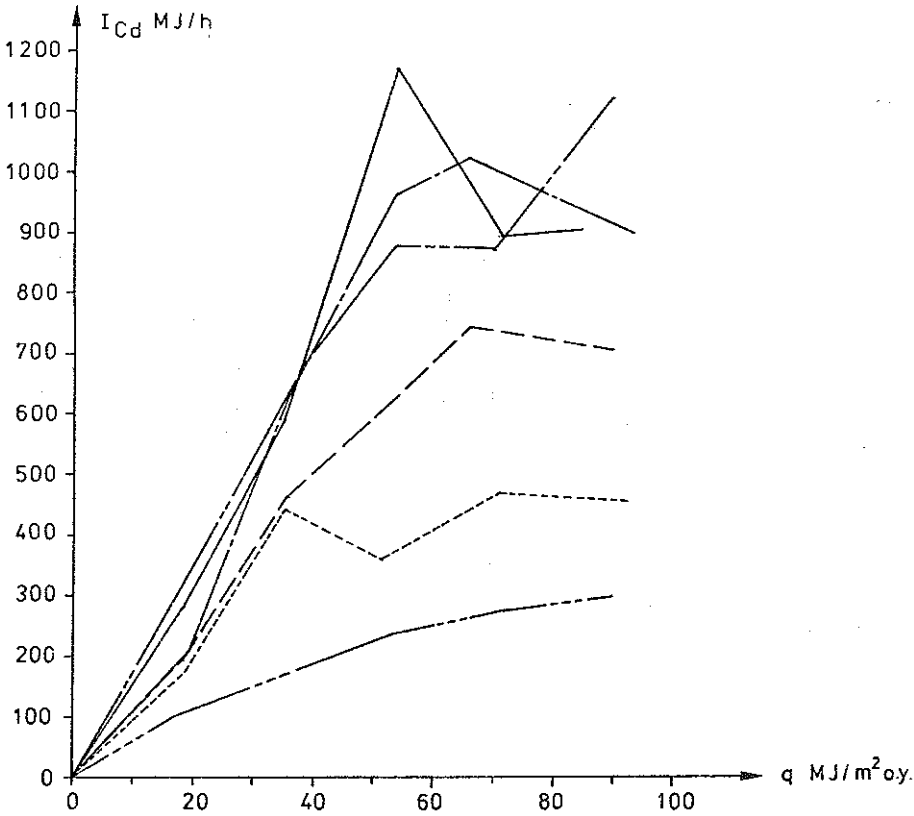

I_{Cd} MJ/h
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m²o.y.

FIG. 56

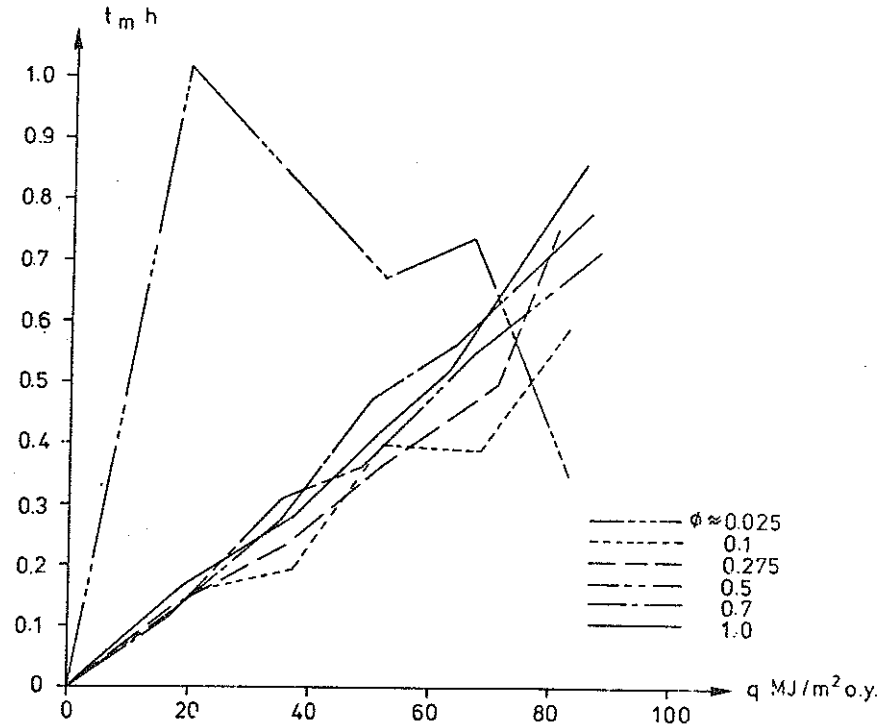

t m h
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.
φ ≈ 0.025
0.1
0.275
0.5
0.7
1.0

FIG. 57

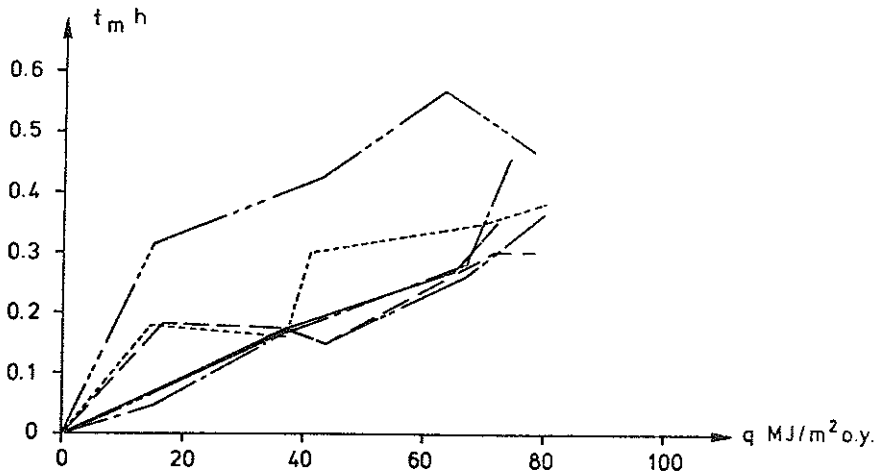

t m h
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 58

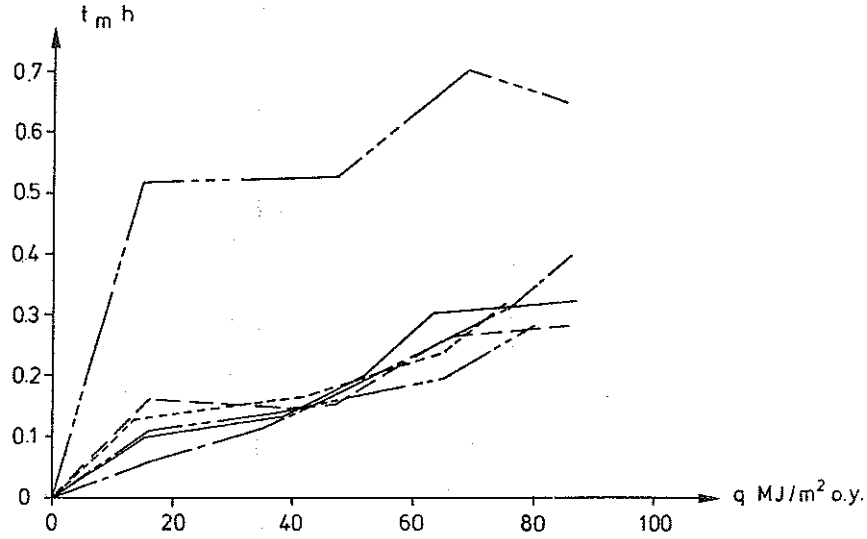

t m h
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 59

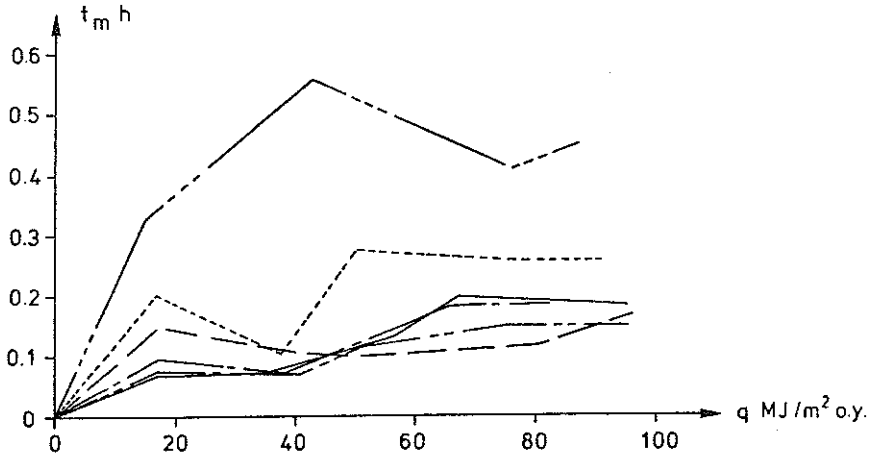

t m h
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 60

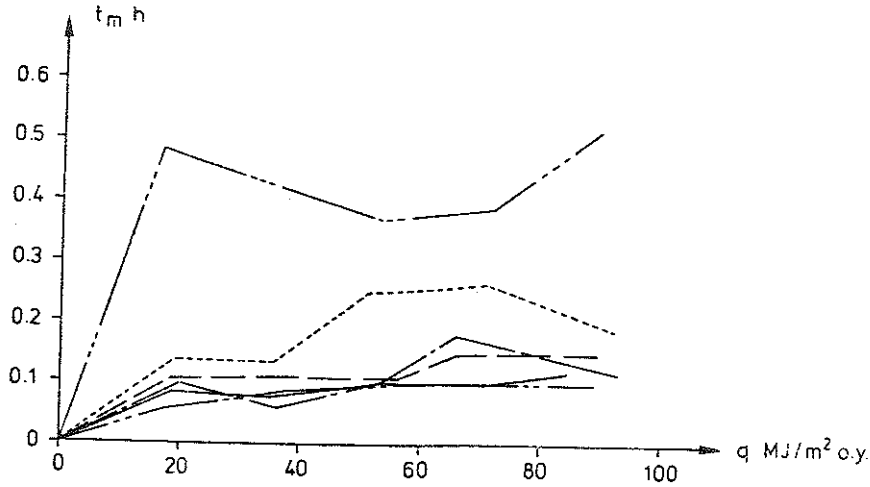

t_m h
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 61

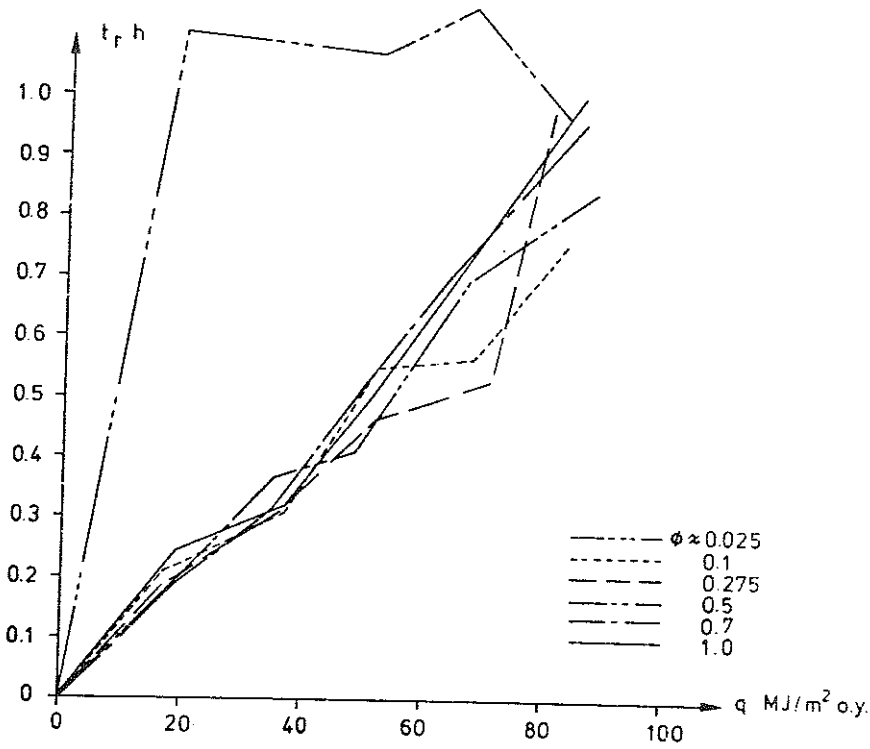

t_r h
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.
φ ≈ 0.025
0.1
0.275
0.5
0.7
1.0

FIG. 62

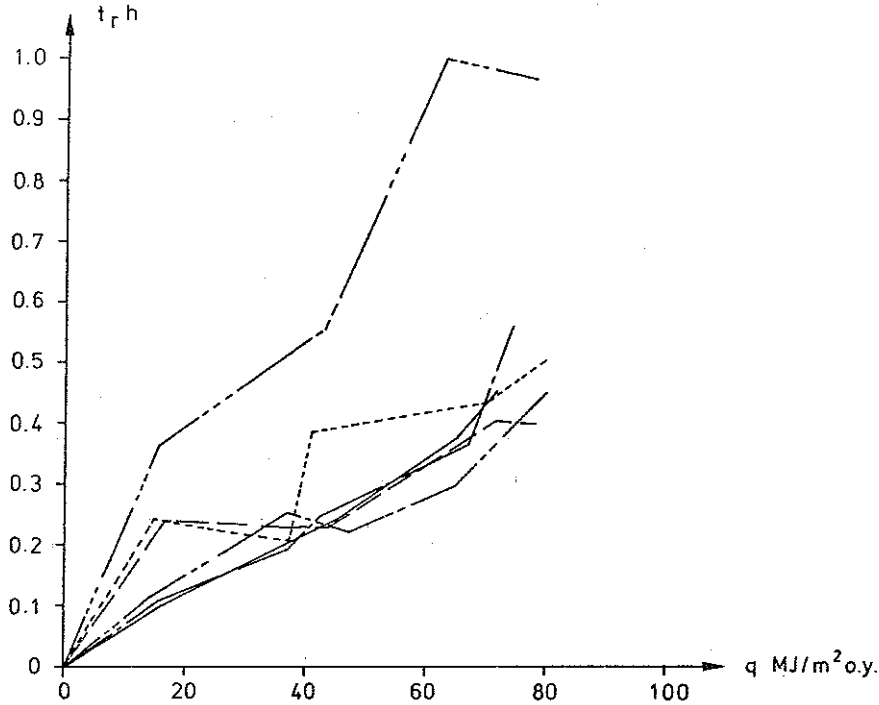

t_r h
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m^{2}o.y.

FIG. 63

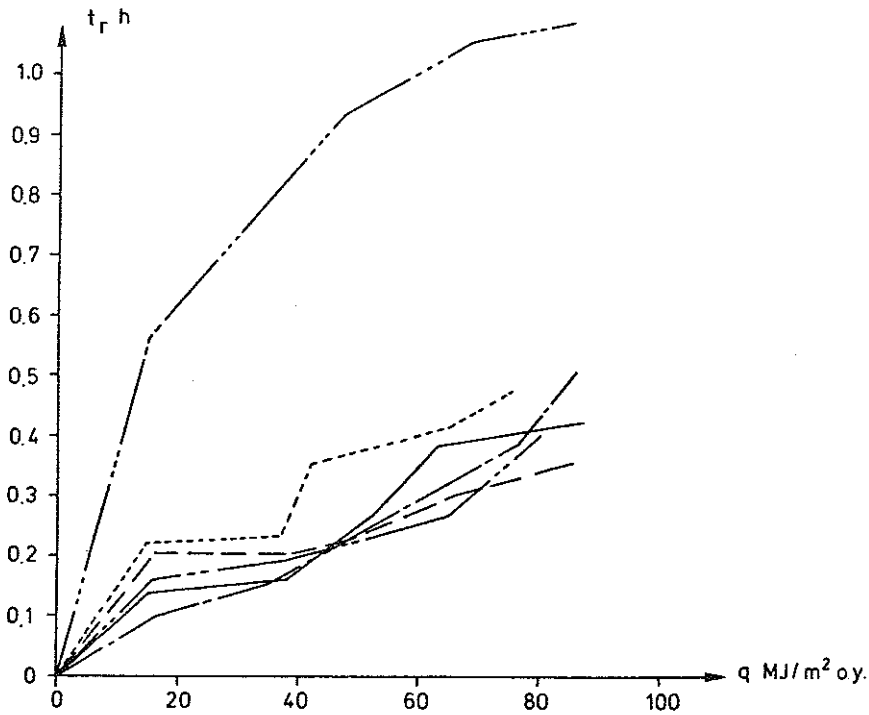

t_r h
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m^2 o.y.

FIG. 64

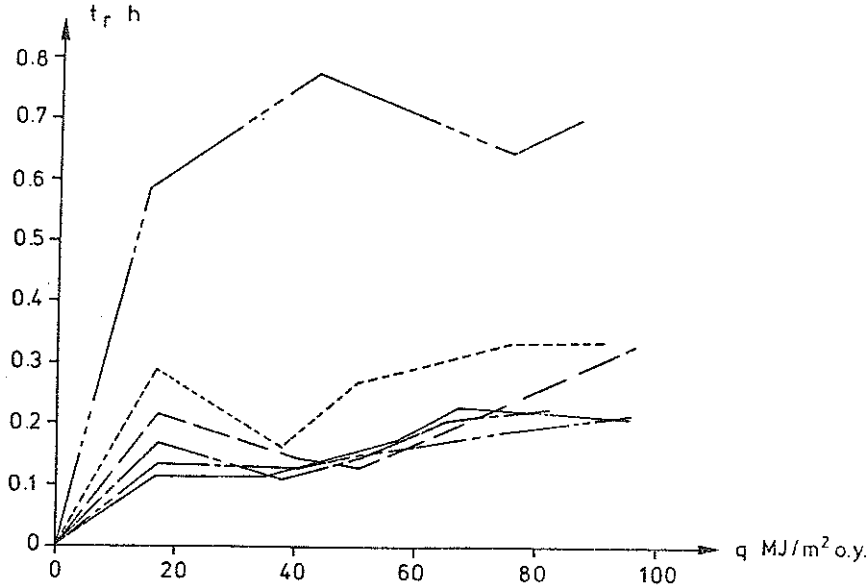

t_r h
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 65

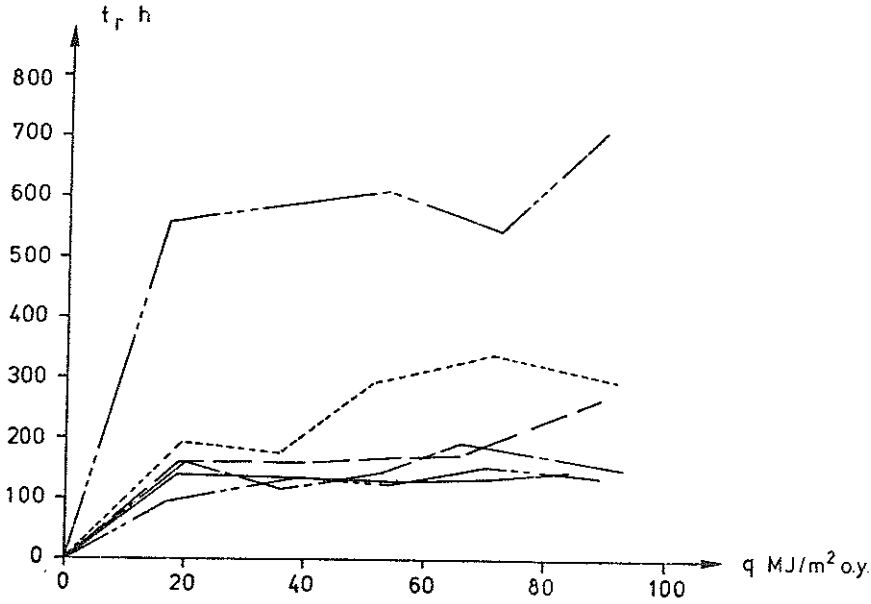

t_r h
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 66

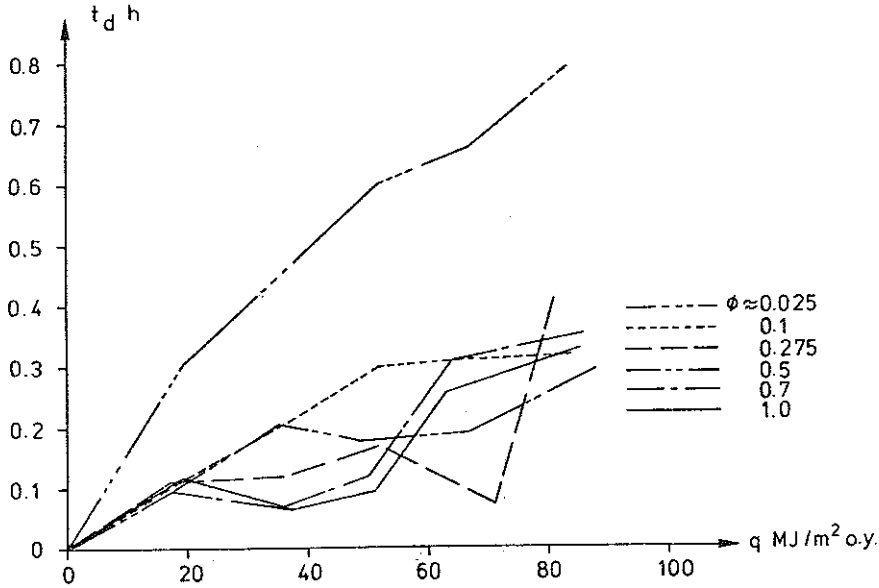

t_d h
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.
φ≈0.025
0.1
0.275
0.5
0.7
1.0

FIG. 67

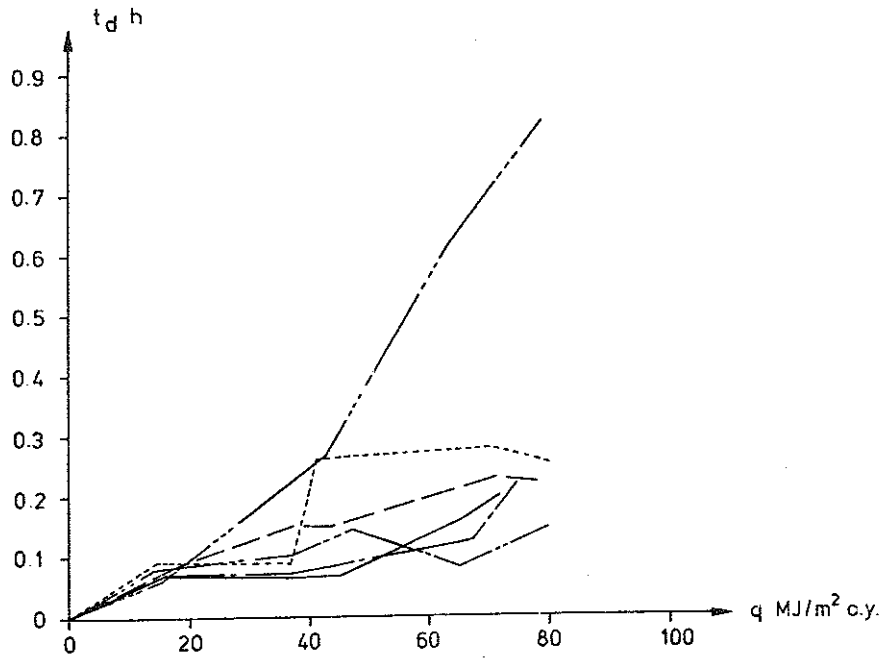

t_d h
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 68

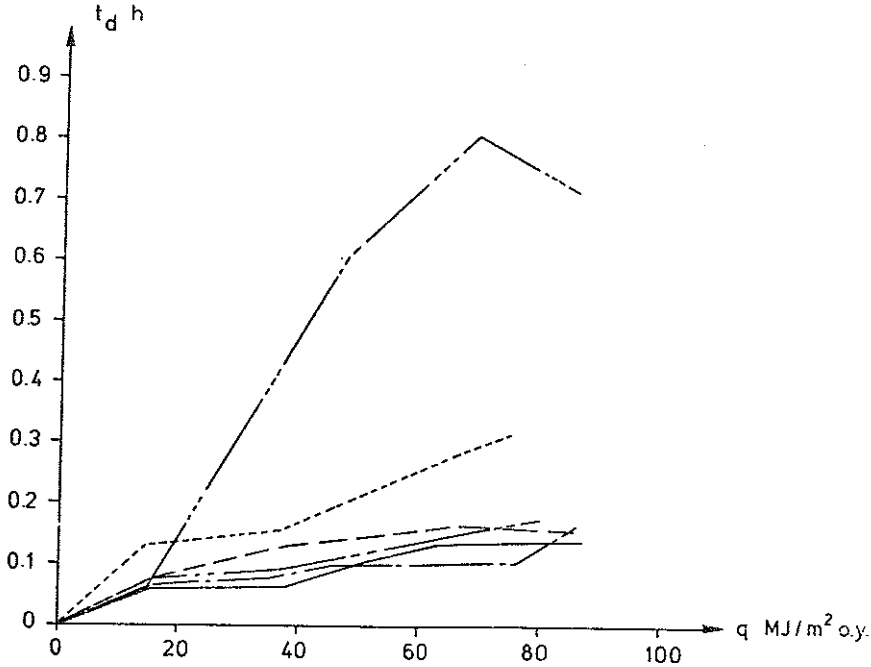


FIG. 69

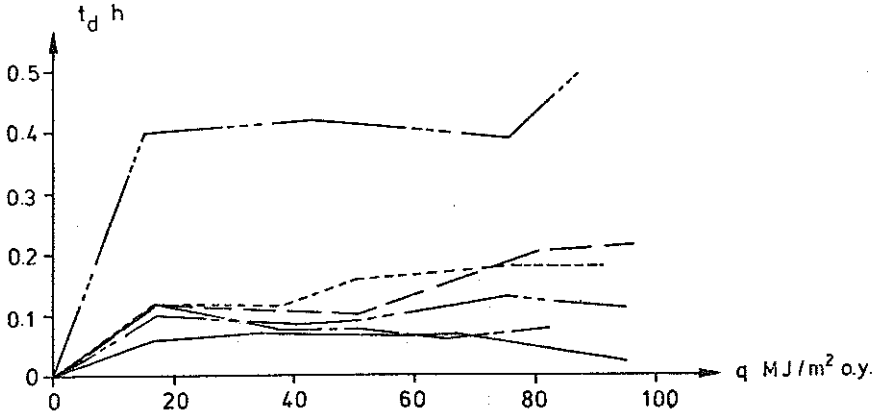

t_d h
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 70

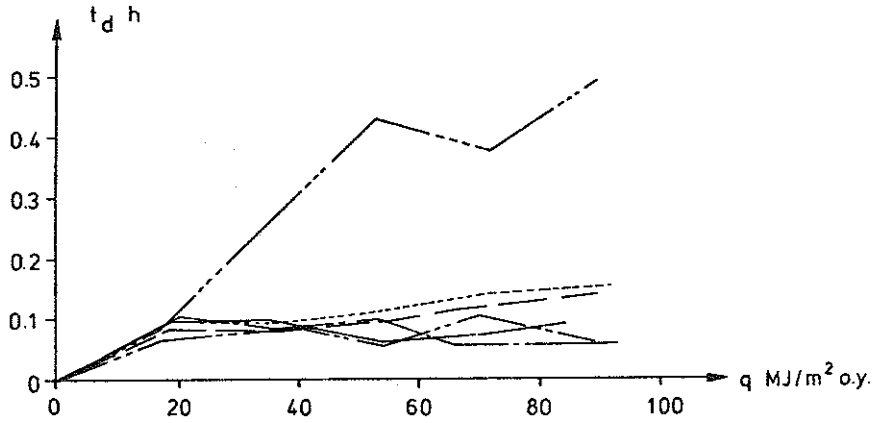

t_d h
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 71

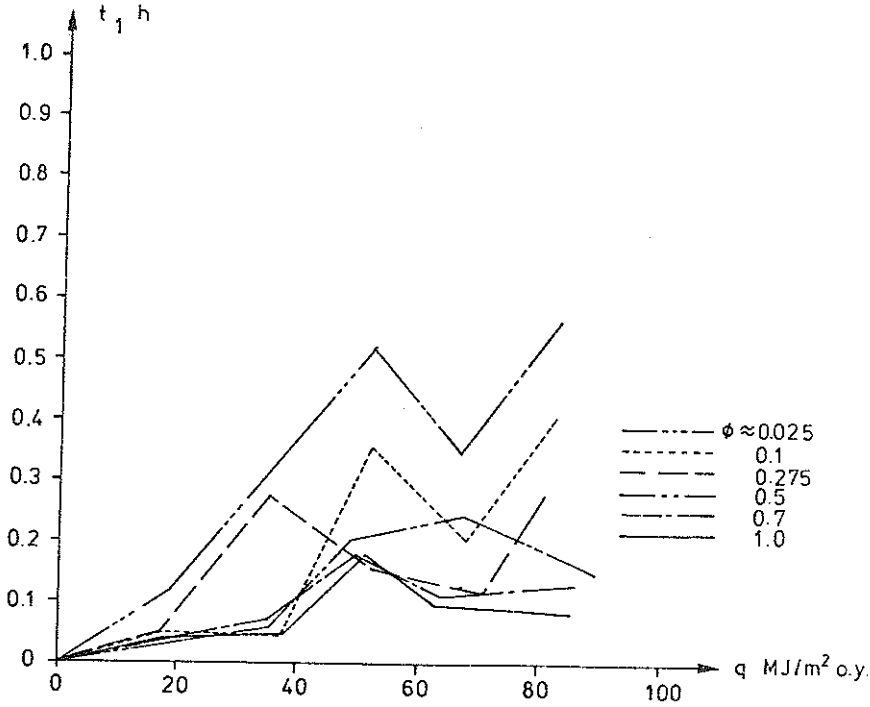

t 1 h
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.
ϕ ≈0.025
0.1
0.275
0.5
0.7
1.0

FIG. 72

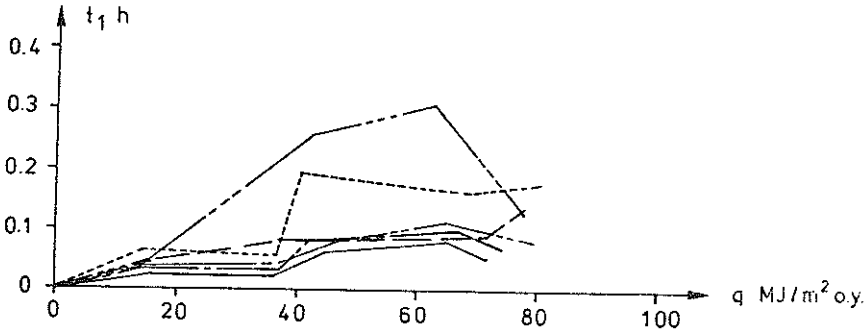

t1 h
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 73

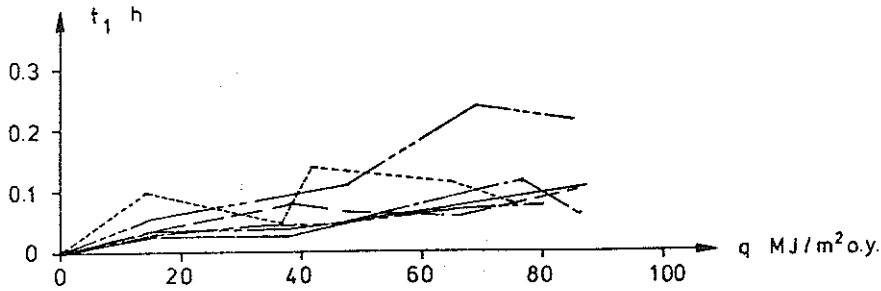


FIG. 74

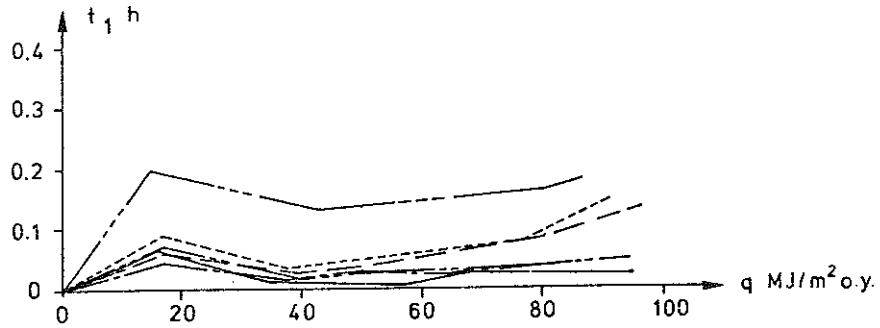


FIG. 75

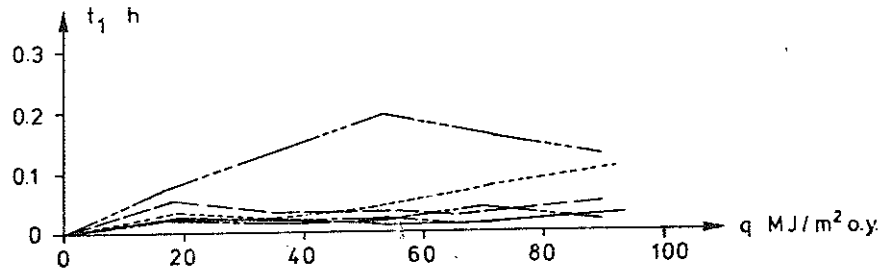


FIG. 76

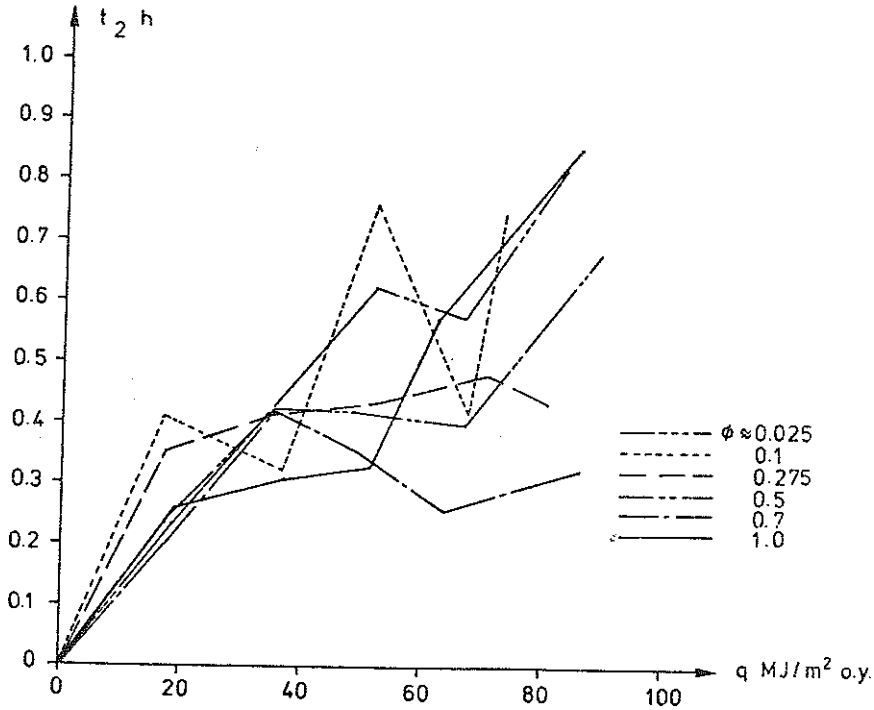

t 2 h
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.
φ ≈ 0.025
0.1
0.275
0.5
0.7
1.0

FIG. 77

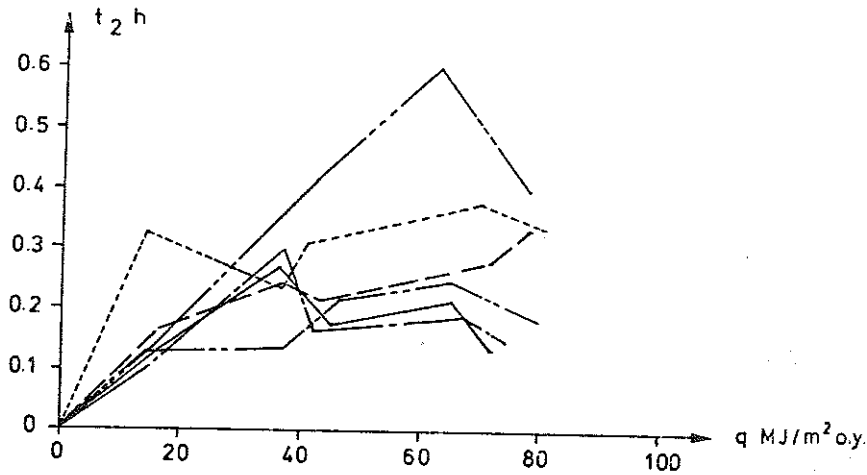

t 2 h
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 78

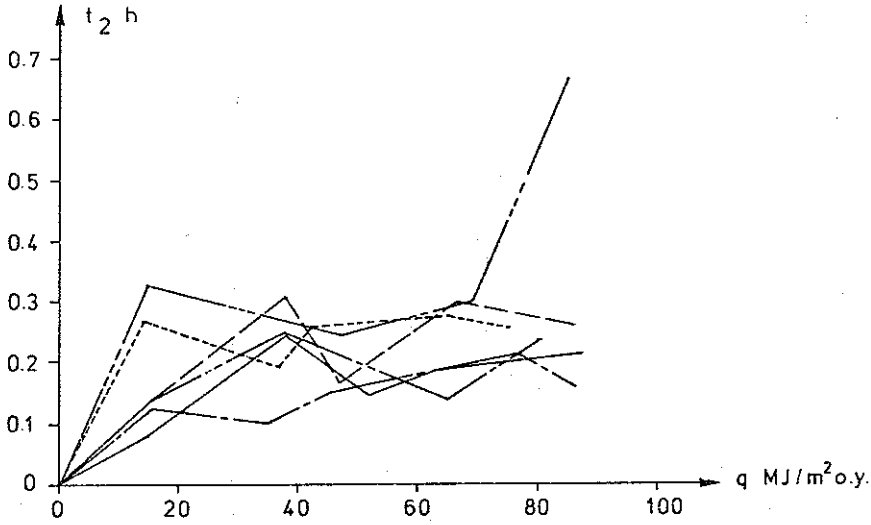

t 2 h
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m²o.y.

FIG. 79

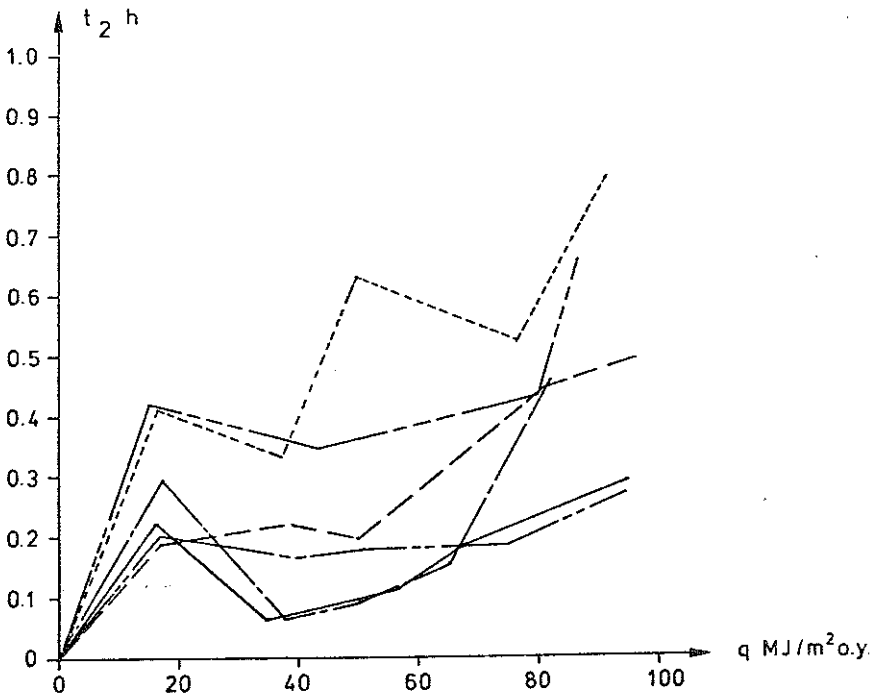

t 2 h
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m²o.y.

FIG. 80

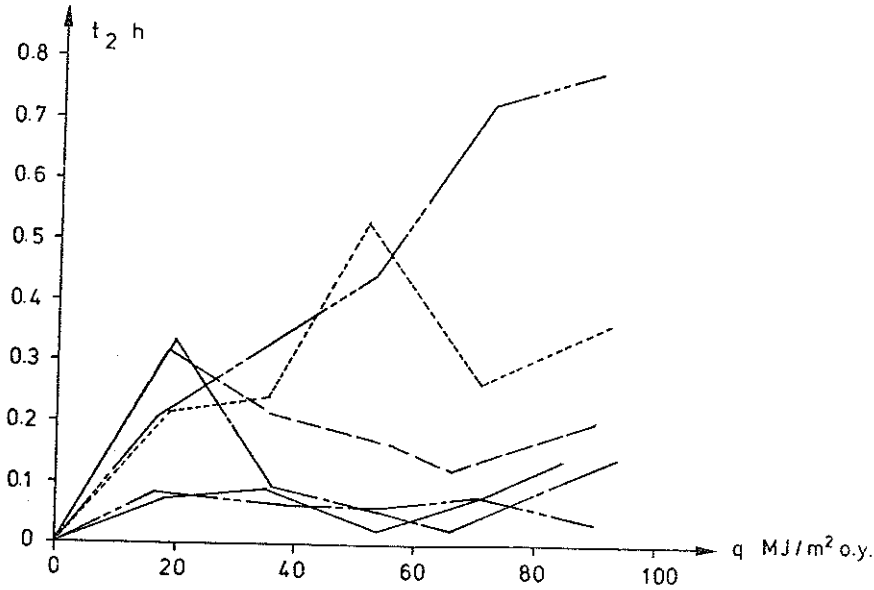


FIG. 81

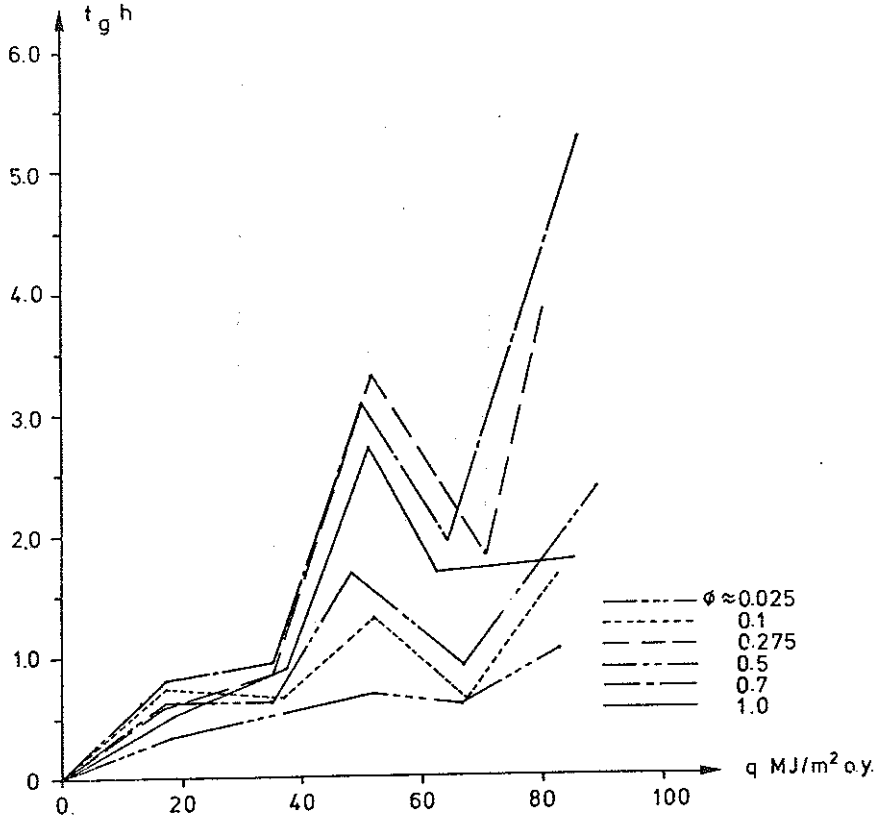

$t_g h$
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0
0.
20
40
60
80
100
q MJ/m² a.y.
φ ≈ 0.025
0.1
0.275
0.5
0.7
1.0

FIG. 82

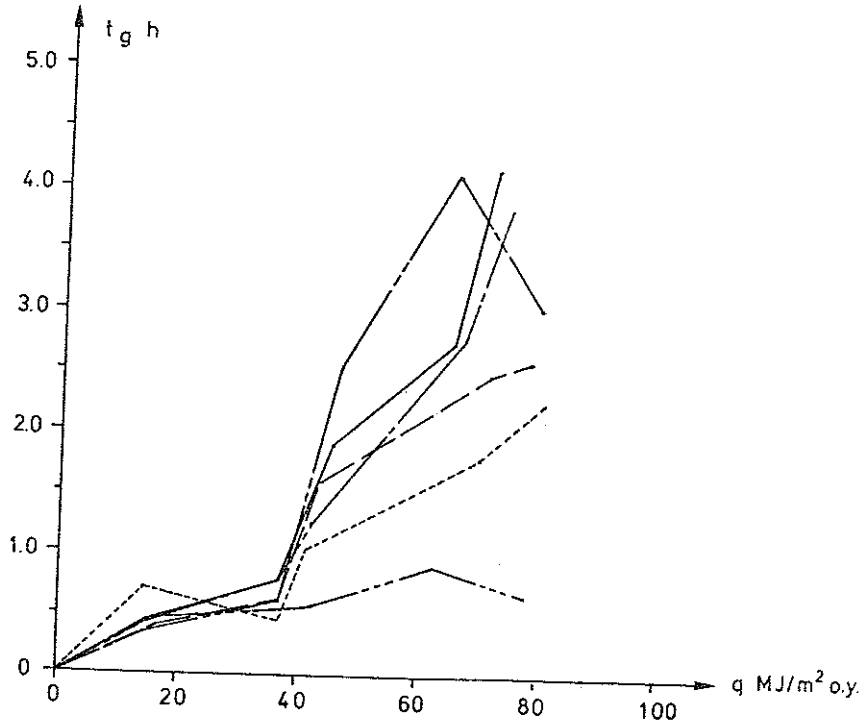

t_g h
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 83

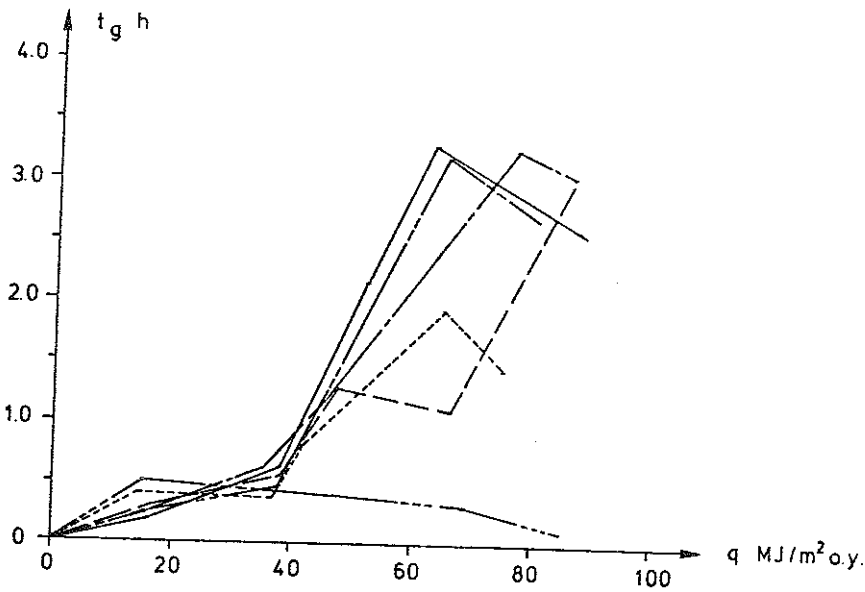

t_g h
4.0
3.0
2.0
1.0
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 84

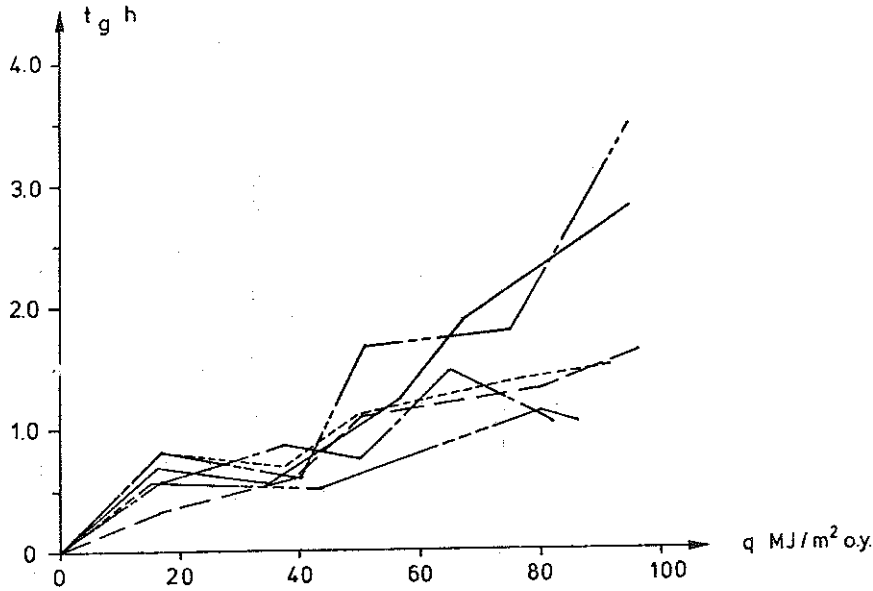

t g h
4.0
3.0
2.0
1.0
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 85

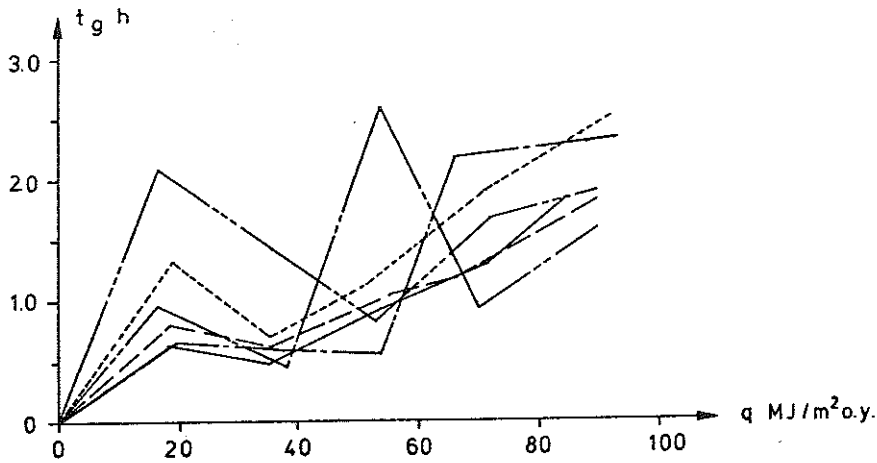

t g h
3.0
2.0
1.0
0
0
20
40
60
80
100
q MJ/m² o.y.

FIG. 86

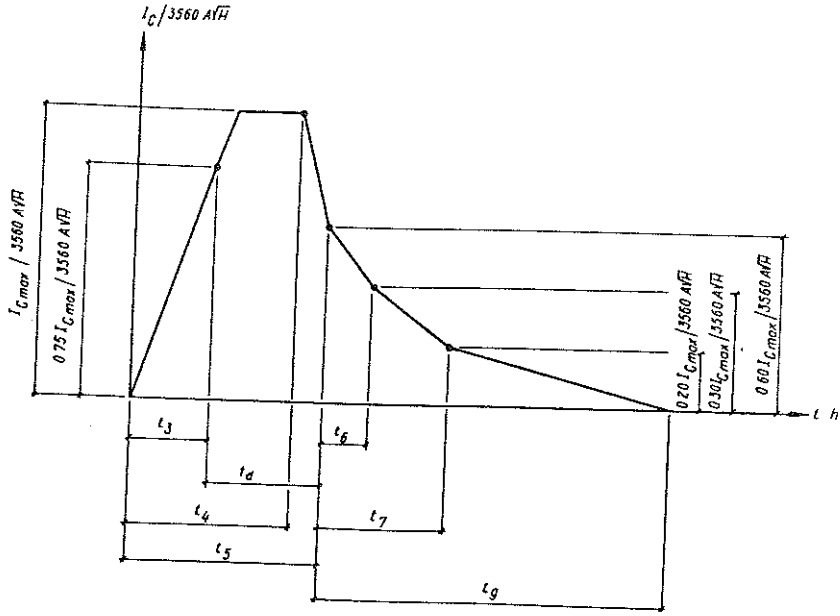

$I_C/3560\ AVH$
$I_{C\,max}/3560\ AVH$
$0.75\,I_{C\,max}/3560\ AVH$
$0.20\,I_{C\,max}/3560\ AVH$
$0.30\,I_{C\,max}/3560\ AVH$
$0.60\,I_{C\,max}/3560\ AVH$
$t\ h$
t_3
t_6
t_d
t_4
t_7
t_5
t_g

FIG. 87

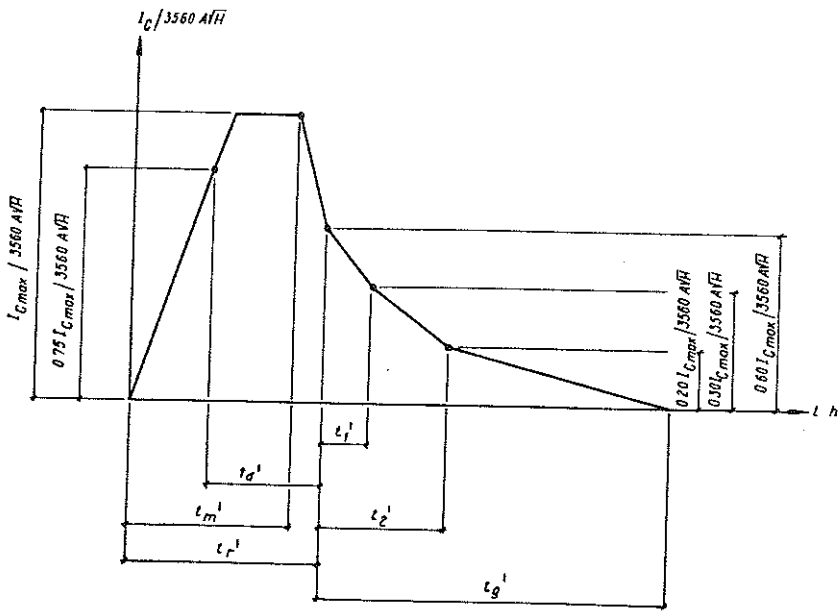

$I_C/3560\ AVH$
$I_{C\,max}/3560\ AVH$
$0.75\,I_{C\,max}/3560\ AVH$
$0.20\,I_{C\,max}/3560\ AVH$
$0.30\,I_{C\,max}/3560\ AVH$
$0.60\,I_{C\,max}/3560\ AVH$
$t\ h$
t_1'
t_d'
t_m'
t_2'
t_r'
t_g'

FIG. 88