



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport R67:1977**

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

# **Glas i byggnader. Glaset's tjocklek**

**Bertil Jonsson**

**Byggforskningen**

R67:1977

CENTERLOF & HOLMBERG AB

GLAS I BYGGNADER. GLASETS TJOCKLEK

Bertil Jonsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740352-1 från Statens råd för byggnadsforskning till Inst. för byggnadskonstruktionslära, LTH, Lund.

Nyckelord:  
glasrutor  
fönsterglas  
vindbelastningar  
hållfasthet  
dimensionering  
statistiskt underlag

UDK 624.012.6  
69.028.2

R67:1977

ISBN 91-540-2741-7  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1977

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Bakgrund	9
1.1	Glasetts egenskaper (resumé)	9
2	Dimensionering av ett sprött material	10
2.1	Dimensionering av en platta	10
2.2	Hållfasthet i material	11
2.3	Ekonomisk dimensionering	13
3	Vindbelastning, upplag	15
4	Förundersökning	16
4.1	Provningsapparat	16
4.2	Provningsförfarande	17
4.3	Beteckningar	17
4.4	Resultat	18
4.5	Fördelningsfunktioner	19
4.6	Nedböjning	20
4.7	Spänningsfördelning	21
4.8	Falsbredd	22
4.9	Nedböjningsvolym	22
5	Undersökningens uppläggning	22
5.1	Provningsmetod	22
5.2	Provinsamling	23
5.3	Antalet glas	24
6	Resultat	25
6.1	Glasetts tjocklek	25
6.2	Mittnedböjning - brottryck	26
6.3	Brottställets fördelning över glasytan	28
6.4	Fördelningsfunktionen	29
6.5	Statistiska bearbetningar	31
6.6	Kurvanpassning	33
7	Befintliga dimensioneringsmetoder	34
7.1	Utländska normer	34
7.2	Sverige (Bygg-AMA)	37

7.3	Rekommendationer från glastillverkare	38
7.4	Små utböjningar	39
7.5	Approximativ formel	39
7.6	Jämförelse	39
8	Diskussion	40
9	Förslag till svenska normer	42
	Referenser	47
	Tabeller	49
	Figurer	60

## Beteckningar

$\sigma$	spänning	MPa
$\sigma_{till}$	tillåten spänning	MPa
$\sigma_d$	dragspänning	MPa
$\sigma_u$	lägesparameter	MPa
$\sigma_o$	skalparameter	MPa
$p$	vindtryck	Pa
$v$	vindhastighet	m/s
$v_m$	medelvindhastighet	m/s
$\mu$	formfaktor	
$p_f$	fiktiv vindlast	kPa
$p_{akt}$	aktuell vindlast	kPa
$q$	jämnt fördelad belastning	kPa
$q_{stat}$	statisk vindlast	kPa
$q_{stöt}$	belastning av vindstöt	kPa
$q_p$	belastning vid sannolikheten P för brott	kPa
$\eta$	korrektionsfaktor	
$B_f$	brottfaktor	
$g_f$	glasfaktor	
$\beta$	belastningshastighet	Pa/s
$A$	area	m <sup>2</sup>
$l$	längd	m
$a$	korta sidan	m
$b$	långa sidan	m
$h$	tjocklek	mm
$\delta$	nedböjning	mm
$\delta_o$	mittnedböjning	mm
$\alpha_1$	faktor som beror på sidoförhållandet b/a	
$\nu$	kontraktionstal	
$E$	elasticitetsmodul $E = 7.1 \cdot 10^4$ MPa för glas	kPa
$M$	moment	

$\theta = \sigma_0/B^{-m}$	konstant	
B,C,D	konstanter	
k	antal år	
N	antal	
c=0.577216	konstant	
n	konstant, antal	
x,t	variabler	
T	totalkostnad	kr
B	kapitalkostnad + underhållskostnad	kr
$K_v$	totala kostnaden för skadetyper v	kr
$P_v$	sannolikheten för skadetyper v	
$S_s$	konsekvensen av bräckage	
P	sannolikhet	
F(x)	fördelningsfunktion för x	
n.d	normalfördelningen	
typ I	fördelningsfunktion typ I	
typ II	fördelningsfunktion typ II	
$\phi(x)$	normalfördelningen	
$t_{\alpha/2}(n-1)$	t-fördelningen	
m	medelvärde	
$m_v$	medelvärde för årsvinden	m/s
$m_g$	medelvärde för glasets brottbelastning	kPa
s	standardavvikelse	
$s_v$	standardavvikelse för årsvinden	kPa
$s_g$	standardavvikelse för glasets brottbelastning	kPa
$C_v$	variationskoefficient	
	skevhet	
$m_2$	andra momentet	
$m_3$	tredje momentet	
I	konfidensintervall	
$\alpha$	signifikansnivå	
r	korrektionsfaktor	

## Glasbeteckningar

- M Maskinglas
- E Emmaboda Glasverk
- S Scanglas
- F Floatglas

1000x1000x3            Format 1000mm x 1000mm, tjocklek 3 mm

(S1000x1000x3),2-1 Maskin nr 2, 15 mm till 1015 mm från bandets kant

,2-2 Maskin nr 2, 1015 mm till 2015 mm från bandets kant



## 1 Bakgrund

På initiativ av kommittén "TK21/AG1, Glas i byggnader" inom Byggstandardiserings utarbetades vid Byggnadskonstruktionslära, LTH ett arbetsprogram angående utredning om glastjocklekar för olika plandimensioner. Detta projekt "Glas i byggnader, Glasets tjocklek" angriper problemet att dimensionera glastjockleken för vindbelastningar ur ett statistiskt synsätt. Därvid gäller det att bestämma en acceptabel nivå för antalet glasbrott under påverkan av vindbelastning (50-årsvinden). Från denna nivå kan erforderlig glastjocklek bestämmas.

Genom att ta fram relevanta glasdata skapas underlag för en dimensionering av glastjocklekar vid olika belastningar enligt ovanstående modell. Som slutprodukt för detta projekt skall ett diagram för beräkning av glastjocklekar konstrueras.

### 1.1 Glasets egenskaper (resumé)

Glas är ett sprött material och ger därför ingen varning om förestående brott.

För samma typ av glas uppvisar hållfastheten avsevärda variationer. Detta gör det nödvändigt att använda ganska stora säkerhetsmarginaler.

Hållfastheten för korttidsbelastningar är ungefär dubbelt så stor som för långtidsbelastningar. Detta faktum måste observeras då maximala vindtrycket beräknas, dvs vindbyarna som är korttidsbelastning.

Draghållfastheten är liten för glas och tryckhållfastheten stor. Brott uppstår därför nästan alltid på grund av att dragspänningen i någon punkt på den dragna ytan överskrider draghållfastheten.

Vid hållfasthetsberäkningar gäller vanligtvis inte teorierna för små nedböjningar utan en särskild metod baserad på statistiska principer måste användas. Vid denna är det möjligt att vid ett givet tryck fastställa vilken risk det är för brott av rutan.

## 2 Dimensionering av ett sprött material

### 2.1 Dimensionering av en platta

Traditionellt innebär en dimensionering av en platta dels (a) en spänningsberäkning enligt den elementära platteorin som gäller för små utböjningar dels (b) en jämförelse mellan maximal spänning och tillåten spänning, där den senare framräknas genom att dividera böjbrottsspänningen med en säkerhetsfaktor. Detta beräkningssätt medför för glas några olika problem.

- (a) Från elasticitetsteorin kan man härleda en ofta använd formel för spänningen i centrum (kvadratisk ruta)

$$\sigma = 308 q/h^2$$

där  $q$  = jämnt fördelad belastning (kPa)

$h$  = plattans tjocklek (mm)

$\sigma$  = spänning (MPa)

Detta innebär att spänningen ökar proportionellt mot trycket samt att maximala spänningen inträffar i centrum av plattan. För plattor med stora utböjningar gäller ej förhållandena ovan om maximala spänningen och dess placering. För fönsterglas gäller vanligtvis för kvoten mellan nedböjning vid brott och tjocklek att  $2 < \delta/h < 10$ , dvs antaganden enligt teorin för små utböjningar är ej korrekta. Detta innebär att konventionella beräkningar ligger mycket på den säkra sidan. För stora utböjningar verkar i plattan både böjspänningar och membranspänningar. Då membranverkan är proportionell mot  $\delta_0$  (nedböjning i centrum) och böjmomentverkan är proportionell mot  $\delta_0^3$  har membrankrafterna större belastningskapacitet vid stora utböjningar. Dessutom inverkar mikroskopiska blåsor eller repor på ytan genom att ge lokala spänningstillskott vilket gör att glaset brister vid lägre belastningar.

- (b) Genom att glasdefekter (fel i glasmassan, fabrikationsfel, mekaniska skador) och karakteristiska element i strukturen (mikro- och makrosprickor) i hög grad påverkar glashållfastheten är det mycket vanskligt att få ett representativt värde på brotthållfastheten. Då glasdefekterna kan antas vara slumpmässigt fördelade över glasytan

beror brotthållfastheten även på storleken. Då glas är ett sprött material, där den svagaste länken bestämmer hållfastheten, är spridningen av hållfastheten mycket stor. Detta medför att valet av säkerhetsfaktor och värde på brotthållfastheten innehåller moment av godtycklighet.

För att klara av detta dimensioneringsproblem behövs en ny dimensioneringsfilosofi. Den innebär att man ur glasdata försöker finna en fördelningsfunktion, som godtagbart beskriver sannolikheten att glaset håller för en viss belastning. Dimensionering av glastjockleken innebär då val av sannolikheten för glasbrott, som påverkas av faktorerna glaskostnad, konsekvensen vid brott och säkerhet. Belastningen vid denna sannolikhet skall då vara större än det aktuella dimensionerande vindtrycket, dvs

$$q_{\text{stat}} + q_{\text{stöt}} \leq \eta \cdot q_p$$

där

$q_{\text{stat}} + q_{\text{stöt}}$  = dimensionerande vindtryck, enligt SBN 1975  
50-årsvinden förstorad av vindstöt

$\eta$  = korrektionsfaktor  $\eta \leq 1$ , faktorer som ligger utanför laboratorieprov, t.ex transporter, olikheter i belastningar, inverkan av väder och vind

$q_p$  = belastningen vid sannolikheten P för brott

## 2.2 Hållfasthet i material

Vid en statistisk studie av hållfasthetsproblemet krävs, för att härleda olika fördelningsfunktioner, kännedom om hur ett material uppför sig då det blir belastat. Man kan därvid särskilja extremfallen sprött material och plastiskt material. I ett sprött material sker brottet plötsligt, utan att föregås av flytning i materialet. Brottet sker då den lastupptagande förmågan i någon punkt överskrides, det blir den svagaste länken som bestämmer hållfastheten. Då den maximala spänningen i ett plastiskt material har uppnåtts sker en flytning i denna punkt. Materialet förlorar därvid inte sin lastupptagande förmåga, utan först efter stora deformationer sker brottet.

### Sprött material

För att statistiskt beskriva ett sprött material har Weibull härlett en fördelningsfunktion. Två grundläggande brottkriterier används: storlek och normalspänning. Därvid behövs för att fullt beskriva ett isotropiskt homogent material tre materialparametrar: hållfastheten vid sannolikheten noll ( $\sigma_u$ ), förekomst av felställen ( $n$ ) och en skalparameter ( $\sigma_0$ ).

För ett material där brottet styrs av felställen i materialytan blir sannolikheten för brott vid en given dragspänning  $\sigma_d$  enligt nedan (typ II)

$$\text{TYP II, } P(\xi \leq x) = F(x) = 1 - \exp \left[ - \int_A \left( \frac{\sigma_d - \sigma_u}{\sigma_0} \right)^n dA \right], \quad \sigma_d \geq \sigma_u$$

$$F(x) = 0, \quad \sigma_d < \sigma_u$$

Enligt fördelningsfunktionen är sannolikheten för brott integralen över alla infinitesimala ytelement med dragspänningar. För att bestämma funktionen måste provkroppens dimensioner samt belastningstypen vara kända, så att spänningsfördelningen och därmed konstanten B kan bestämmas, dvs

$$F(x) = 1 - \exp \left[ - B \left( \frac{\sigma_d - \sigma_u}{\sigma_0} \right)^n \right]$$

### Plastiskt material

Enligt Johnsson är det troligt att hållfastheten i en given tvärsektion av ett perfekt plastiskt material beskrivs av normalfördelningen (n.d)

$$\text{(n.d) } P(\xi \leq x) = F(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-(t-m)^2/2s^2} dt$$

Undersökningar visar att normalfördelningen och en fördelningsfunktion typ I i många fall bildar begränsande funktioner för typ II.

$$\text{typ I } P(\xi \leq x) = F(x) = \exp \left[ - \exp \left( - \frac{\pi}{s\sqrt{6}} (x-m) - C \right) \right]$$

eller

$$P(\xi \leq x) = F(x) = 1 - \exp \left[ -\exp \left( -\frac{\pi}{s\sqrt{6}}(m-x) - C \right) \right]$$

där

$s$  = standardavvikelse

$m$  = medelvärde

$C$  = konstant = 0.577216

### 2.3 Ekonomisk dimensionering

I de svenska reglerna för beräkning av glastjockleken (HUSAMA) finns endast 3 och 4 mm glastjocklek med samt valet dem emellan är mycket schematiserat. Dessa regler är ej tillräckliga för en ekonomisk dimensionering.

För en ekonomisk dimensionering skall hållfastheten vägas mot motsvarande risk så att totalkostnaden blir minimal. Totalkostnaden kan uttryckas enligt

$$T = B + \sum K_V \cdot P_V$$

där

$B$  = kapitalkostnad + underhållskostnad

$K_V$  = totala kostnaden för skadetyper  $V$

$P_V$  = sannolikheten för denna skadetyper

Genom att minimera totalkostnaden fås den ekonomiska hållfastheten som beror på fördelningsfunktionen för olika typer av belastningar samt kapitalkostnaden och kostnaden för brott för olika skadetyper.

Ett försök till deloptimering av glaskostnaden görs av Robertson. För denna optimering krävs kännedom om (a) vindtrycksfördelningen samt (b) fördelningsfunktionen för glasbrott.

(a) Johnson har försökt att finna en fördelningsfunktion för den maximala vindhastigheten under ett år. Han fann att normalfördelningen och fördelningsfunktion typ I visade bra överensstämmelse med uppmätta data. Genom vindtunnelförsök kan man vid komplicerade fall erhålla

vindtryckskoefficienten och den dynamiska koefficienten för den aktuella byggnaden.

- (b) Glashållfastheten kan beskrivas med dess medelhållfasthet  $m$  och dess variationskoefficient  $c_V$ , dvs normalfördelningen antas gälla.

Enligt fördelningsfunktion typ I är sannolikheten att maximala vindtrycket är mindre än  $x$  under ett år

$$P(\xi \leq x) = F(x) = e^{-e^{-\frac{\pi}{s_V \sqrt{6}}(x-m_V)-C}}$$

där  $m_V$  = medelvärde för årsvinden vid den aktuella byggnaden  
 $s_V$  = standardavvikelse för årsvinden  
 $C$  = konstant

Sannolikheten att maximala vindbelastningen är större än  $x$  under  $K$  år blir

$$1 - (F(x))^K = 1 - e^{-Ke^{-\frac{\pi}{s_V \sqrt{6}}(x-m_V)-C}}$$

Med antagandet att glasets hållfasthet kan beskrivas med normalfördelningen fås då sannolikheten för bräckage av ett glas inom  $K$  år

$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{s_g \sqrt{2\pi}} e^{-(x-m_g)/2s_g^2} (1 - e^{-Ke^{-\frac{\pi}{s_V \sqrt{6}}(x-m_V)-C}}) dx$$

där  $m_g$  = medelvärde för brottbelastningen  
 $s_g$  = standardavvikelse

Om man antar att det finns  $N$  fönster med identiska egenskaper blir det förväntade antalet bräckage inom  $K$  år  $N \cdot P$ . Då sannolikheten för brott samt kostnaderna för skadetyper  $V$  (=vindbelastning) är kända kan en deloptimering för vindbelastningen göras enligt uttrycket  $T = B + \sum S_V P_V$

För att ta hänsyn till faktorerna säkerhet och goodwill används ibland uttrycket  $P \cdot S_S = \text{konstant}$ , där  $P$  är sannolikheten för brott

$S_S$  = konsekvensen av brott med avsikt på säkerheten. Detta innebär att där olycksriskerna ökar vid ett brott, där måste man ha lägre sannolik-

het för brott. I de Kanadensiska normerna diskuteras problemet säkerhet och goodwill. Där föreslås att sannolikheten för brott skall sjunka vid större byggnader (med hänsyn till säkerhet och goodwill) enligt följande

Antal fönster i byggnaden	Antal brott under 30 år	Sannolikhet för brott
100	1 per 10 byggnader	0.001
1 000	1 per 3 byggnader	0.0003
10 000	1 per byggnad	0.0001

### 3 Vindbelastning, upplag

Vindhastigheten uppvisar stora fluktuationer med tiden, detta beskrivs ibland enligt

$$p = 0.6 \cdot (v \pm 50\%)^2$$

p = vindtrycket (Pa)

v = medelhastighet (m/s)

$\pm 50\%$  = representerar vindbyar

Vid de meteorologiska stationerna uppmättes med anemometrar medelvindhastigheten under 100 s eller 5 min. Genom dessa kontinuerliga mätningar kan sannolikheten för att en viss vindhastighet överskrides beräknas. Därvid beskriver normalfördelningen eller fördelningsfunktionen typ I väl de uppmätta värdena. I SBN-1975 är dessa kurvor förenklade till vindlaster som inträffar i medeltal vart femtionde år.

Att på ett korrekt sätt simulera vindens statiska och dynamiska karakter är mycket vanskligt. Därför användes i försöken enbart statisk belastning, som kontinuerligt ökades under provningen. Denna belastningshastighet bör vara relativt hög, för att simulera kraftiga vindbyar, samt konstant, ty enligt Brown inverkar belastningshastigheten ( $\beta$ ) på brottspänningen med en faktor  $\beta^{1/17}$ . I försöken valdes belastningshastigheten till cirka 100 - 150 Pa/s (10 - 15 kp/m<sup>2</sup>s).

För upplaget gäller det att välja ett glasningssystem som väl simulerar

verkliga förhållanden. Dessutom måste följande synpunkter beaktas.

1. Testproceduren måste vara repeterbar, dvs upplagsförhållandena måste vara identiska från prov till prov.
2. Glasningssystemet måste kunna ta upp alla belastningar, dvs även mycket höga sådana.
3. Testproceduren måste vara överförbar, dvs olika försöksupställningar måste kunna jämföras.

I allmänhet antas att fritt upplagda rutor efterliknar verkliga förhållanden. För ordinära fönsterglas, där förhållandet utböjning till glastjocklek är stort, spelar det liten roll om glaset är fast inspänt, elastiskt inspänt eller fritt upplagt (jfr kap. Nedböjning: Förundersökningar).

För att få fritt upplagd ruta, samt villkoren enligt punkterna 1 - 3 valdes en glasningslist (Nordsjö E-profil 10x5 mm, EPDM-gummi) med stor lastupptagande förmåga.

#### 4 Förundersökning

För att få en allmän uppfattning om hur glasrutor uppför sig under en jämnt fördelad belastning, provades ca 180 rutor av formatet 1000x1000 mm och tjockleken 3 mm. Faktorer som speciellt studerades var glasets fördelningsfunktion för hållfastheten, effekten av olika inspänningsförhållanden, spänningsfördelning, falsbredd, nedböjningsvolym samt hållfasthetens variation vid olika åtgärder.

##### 4.1 Provningsapparat

I en undertryckslåda (FIG.1) med en provningsyta på 1 m x 1 m skapas ett undertryck med en vakuumpump. En arm med en potentiometer mäter rutans mittnedböjning, som registreras på en X-Y-skrivares y-axel. Trycket mätes med hjälp av en manometer med mätområdet 0 till 1000 kp/m<sup>2</sup>. På manometern sitter en vinkelgivare, vars utslag registreras på skrivarens x-axel. Upplagsförhållande för fritt upplagd, elastiskt inspänd och fast

inspänd framgår av FIG.2.

#### 4.2 Provningsförfarande

Innan provningen mättes glastjockleken med mikrometer 1.5 cm från kanten på varje sidas mittpunkt. Glaset tejpades på ovansidan så att brottsprickan kunde upptäckas. Vid inläggningen av glaset observerades dragriktningen så att den alltid var parallell med mätarmen till klockan. Eventuella skador eller andra defekter vid glasytan eller dålig skärning av kanterna noterades. Laborrietemperaturen höll sig kring 22 °C samt relativa fuktigheten ca 40%. Då glaset är fritt upplagt längs fyra sidor och belastningen är jämnt fördelad fås en brottbild där sprickorna strålar ut från brottsprickan. Vid denna typ av belastning böjer sig glaset längs diagonalerna och maximala momentet blir längs diagonalen mot hörnet. Brottet startar vanligtvis vid någon blåsa eller spricka. Denna omges vid brottet av spegeln, en jämn yta fri från markeringar av något slag. Längs alla sprickor uppträder "revbensmärken", dvs fina vågmärken. De indikerar riktningen för sprickans framåtskridande, som är vinkelrät mot vågfronten mot den konvexa sidan (FIG.3). Även "sågtandsmärken", en serie av nålliknande sprickor vid den tryckta kanten för brottytan, uppträder vid böjbrott. Dessa sågtandsmärken är parallella och vinkelräta mot glasytan samt av ungefär samma längd. Därigenom är det möjligt att härleda var brottet började samt approximativt riktningen för spegeln. Vid brottsprickan uppmäts koordinaterna och glastjockleken.

#### 4.3 Beteckningar

Glasrutorna har levererats i två omgångar 721027 samt 730427. Beteckningarna på rutorna är enligt typen D4A, där första bokstaven innebär följande:

- D = fritt upplagd, leverans 721027
- E = fritt upplagd, leverans 730427
- F = fritt upplagd, leverans 730427, slipad kant
- G = elastiskt inspänd, leverans 730427
- H = fast inspänd, leverans 730427

Den andra symbolen markerar dragmaskinnumret. Den sista bokstaven betecknar var på bandet glaset är taget. Från kanten räknat är rutorna tagna i ordningsföljden A, B, C.

#### 4.4 Resultat

Av TAB.1 framgår resultatet för brottryck samt nedböjning.

För att testa om medelvärdena för brottbelastning skiljer sig mellan olika dragmaskiner har ett tvåsidigt test använts. Hypotesen att medelvärdena är lika har förkastats om

$$m_1 - m_2 > a$$

där

$$a = t_{\alpha/2}(f) s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

$$f = (n_1 - 1) + (n_2 - 1)$$

$m_1, m_2$  = medelvärden (kPa)

$n_1, n_2$  = antalet prov

$s$  = standardavvikelse

$\alpha$  = testets signifikansnivå

Vid en test mellan olika dragmaskiner, t.ex. E6A och E3A, fås testkvantiteten  $a = 45$ . Då skillnaden i medelvärde är 74 innebär detta att man med en felrisk på 5% kan säga att medelvärdena är olika.

Även mellan olika prov från samma dragmaskin, t.ex. D3A och D3B, visar stor variation mellan medelvärdena. I detta fall  $a = 71$  och  $m_1 - m_2 = 81$ , dvs hypotesen förkastas på signifikansnivån 5%.

En jämförelse för samma dragmaskin, t.ex. D3A, visar att rutor som är uttagna vid olika tidpunkter (ca 6 månaders intervall) får stora variationer för medelvärdena. I detta fall  $a = 59$  och  $m_1 - m_2 = 89$ , dvs hypotesen förkastas på signifikansnivån 5%.

För dragmaskin 6C har en jämförelse mellan fritt upplagd (F6C) och fast inspänd (H6C) givit följande värden  $a = 39$  och  $m_1 - m_2 = 55$ .

En jämförelse mellan alla rutor vars brott startat vid kanten och serien med slipad kant ger  $a = 41$  och  $m_1 - m_2 = 87$ . Den slipade serien har för övrigt ungefär samma proportion kantbrott som totala materialet.

Vid jämförelse mellan kantbrotten och övriga framgick att det inte fanns någon statistisk skillnad (kantbrott  $m = 564$ ,  $C_V = 14\%$ ,  $n = 28$ ).

Ur dessa data kan utläsas att variationerna mellan olika dragmaskiner, olika prov från samma dragmaskin samt olika tidpunkt för samma dragmaskin är så stora att skillnaden mellan olika infästningsförhållanden är av samma storleksordning.

#### 4.5 Fördelningsfunktioner

Det totala materialet har plottats på normalfördelningspapper, där även normalfördelningskurvan har lagts in enligt

$$F(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-(t-m)^2/2s^2} dt \dots\dots\dots \text{FIG.4}$$

Weibulls fördelningsfunktion beskriver ett sprött material där den svagaste länken bestämmer hållfastheten. Kurvanpassningen har gjorts okulerat för att få en bra anpassning till låga belastningsvärden. Fördelningsfunktionen blev då

$$F(x) = 1 - \exp \left[ -\left(\frac{q}{5.5}\right)^{6.14} \right] \dots\dots\dots \text{FIG.4}$$

Vid en jämförelse mellan de olika funktionerna kan det konstateras att sannolikheten för brott beskrivs på ett utmärkt sätt av normalfördelningen.

#### 4.6 Nedböjning

För det fritt upplagda materialet har även ett samband mellan brottbelastningen ( $q$  kPa) och mittnedböjningen ( $\delta_0$  mm) vid brott erhållits enligt

$$q = 0.477 \delta_0 - 4.62 \quad \dots\dots\dots \text{FIG.5}$$

Denna ekvation, med korrelationskoefficient  $r = 0.938$ , gäller ungefär vid brott, dvs för stora utböjningar ( $\delta_0 > 15$  mm).

Längs linjen från ena sidans mittpunkt till motstående sidas mittpunkt har nedböjningskurvan uppmätts, därav kan ses att centrumnedböjningen för fritt - samt elastiskt upplagd - är av samma storleksordning (FIG. 6,7), samt att kurvformen i stort sett är lika. Vinkeländringen vid upplag är lika stor för de två inspänningsförhållandena (FIG.8,9).

Dessa mycket små skillnader i nedböjningskurvorna för de olika uppläggningsförhållandena tyder på att denna faktor spelar en sekundär roll.

Att approximera utböjningskurvan med en andragsgradskurva eller en sinuskurva leder vid stora belastningar till dålig överensstämmelse. Då konstanterna i ekvationen ändras med utböjningen har för att få en förbättrad noggrannhet i ekvationen

$$y = Ax^4 + Bx^2$$

antagits att A och B är en funktion av mittnedböjningen. För detta försöks förhållanden blir konstanterna

$$A(\delta_0) = 0.39 \delta_0^2 + 1.38 \delta_0$$

$$B(\delta_0) = -0.098 \delta_0^2 + 3.65 \delta_0$$

Maximal avvikelse sker vid  $X/L = 0.4$ , där felet är ca 10% (TAB.2).

Timoshenko har teoretiskt härlett ett samband mellan belastning och ned-

böjning:

$$\frac{q}{16E} \left(\frac{1}{h}\right)^4 = 1.37 \left(\frac{\delta_0}{h}\right) + A \left(\frac{\delta_0}{h}\right)^3$$

där

$$A = 1.94.$$

Vid Bowles och Sugermans försök erhöles  $A = 0.17$ . I detta försök varierade  $A$  ungefär mellan 0.17 och 0.20 (FIG.10).

#### 4.7 Spänningsfördelning

Den elementära platteorin för små utböjningar blir i detta fall för centrumspänningen

$$\sigma_{x=0} = 308 q/h^2$$

dvs spänningen är proportionell mot belastningen. För belastningen  $q = 3.6$  kPa blir  $\sigma_{x=0} = 123$  MPa, dvs ett värde som kraftigt överskrider brottspänningen.

För att få en uppskattning om spänningsfördelningen gjordes några jämförande kalkyler genom att använda platttekvationen

$$M = - \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right)$$

Spänningen i centrum ligger då approximativt på samma nivå 4 - 7 MPa (TAB.3). Värdet inom parentes är spänningsbidraget från riktningen vinkelrät mot diagonalen. Spänningsmaximum längs diagonalen ligger ungefär 30-50 cm från mittpunkten, med en förskjutning mot hörnet för högre belastningar.

Detta framgår klart i FIG.11, som visar var brottet har börjat samt dess riktning.

Av detta inses att platteorin för små utböjningar i allmänhet inte kan användas på glas.

#### 4.8 Falsbredd

Genom att beräkna nedböjningskurvans längd från uppmätta data kan en jämförelse fås med den teoretiska kurvslängden enligt

$$l = 1000 \sqrt{1 + \left(\frac{2 \delta_0}{1000}\right)^2} + \frac{1000^2}{2 \delta_0} \ln \operatorname{tg} \left( \frac{\operatorname{arctg} \left( \frac{2 \delta_0}{1000} \right)}{2} + \frac{\sqrt{11}}{4} \right)$$

(med antagandet att kurvan är en andragskurva).

Även en förenklad modell, där utböjningen är konstant på mitten fram till 20 cm från kanten samt därefter en rät linje, ger för detta fallet bra resultat (TAB.4).

#### 4.9 Nedböjningsvolym

Nedböjningsvolymen är ungefär proportionell mot mittnedböjningen (FIG. 12) vilket innebär att förhållandet nedböjningsvolym ( $\text{cm}^3$ )/mittenböjning (mm) är ca 490-500. För en andragskurva erhålles konstanten till 445.

### 5 Undersökningens upplägning

#### 5.1 Provningsmetod

För provtryckning av glasrutor användes dels den tidigare nämnda undertryckslådan (för formatet 1000 mm x 1000 mm, FIG.1) dels ett system av olika ramar på en betongplatta (FIG.13). Liksom tidigare mättes rutans mittnedböjning med en lineär potentiometer (SWEMA, RLP 50). Undertrycket mättes med 3 olika manometrar:

TDP 160 H&B mätområde - 1000  $\text{kp/m}^2$  till 0  $\text{kp/m}^2$

TDP	160	H&B	mätområde	- 4000 kp/m <sup>2</sup>	till	0 kp/m <sup>2</sup>
TDB	160	H&B	mätområde	- 10000 kp/m <sup>2</sup>	till	0 kp/m <sup>2</sup>

Samtliga manometrar är försedda med vinkelgivare (TGE 270 H&B).

Manometern samt potentiometern är anslutna till en X-Y-skrivare (Servogor), som därvid registrerar hela tryck-nedböjningsförloppet (FIG.14). För hela uppställningen för mätning av undertryck (manometer, givare, skrivare) har kalibreringskurvor upprättats för alla manometrar.

För att få ett upplagssystem, som uppfyller tidigare nämnda villkor, valdes att använda en glasningslist av EPDM-gummi (Nordsjö E-profil 10x5mm) - FIG.15. Vid glasningen komprimerades listen ungefär 30% till 3.5 mm.

På grund av olika glasformat varierade volymen i undertryckslådan och därmed kunde inte evakueringshastigheten hållas konstant för alla format. Den varierade mellan 80 och 150 Pa/s, dvs detta inverkar på hållfastheten med en faktor av ungefär  $2^{1/17} \approx 1.04$ .

## 5.2 Provinsamling

I FIG.16 finns en sammanställning över provade typer av glas. För maskin-glas 1000x1000x6 från Emmaboda Glasverk (antal = 148) togs varje dag ut 6 rutor från samma maskin till dess totala antalet var uppnått. Leveransen skedde i fyra omgångar. Glasnumreringen hänför sig till leveransnumret, dvs glasnummer 1-40 är från den första leveransen, 41-80 från den andra, 81-120 från den tredje samt 121-160 från den fjärde. För leveranserna från Scanglas togs glas ut från olika maskiner samt olika placering på bandet under ca 2 månaders tid. Beteckningen Scanglas 4 - 21/2 - 1 innebär sålunda glas från Scanglas, maskin nr 4, uppskuret den 21/2-75 samt plats 1 på bandet (glaset taget 15 mm från kant, plats 2 1015 mm från kant). För övriga maskinglas togs en ruta ut per dag av varje format. Leveransen skedde i fem omgångar, vilket innebär att nummerbeteckningen på glaset är grupperat efter leveranstillfälle, dvs nr 1-5 är från den första leveransen, 6-10 från den andra, 11-15 från den tredje, 16-20 från den fjärde samt 21-25 från den femte. Floatglasen är importerade från S:t Gobains glasbruk i Belgien (Overlei, S:t Roche)

samt Frankrike (Chantéreine). Glastillskärning har skett genom Emmaboda Glasverks, Söderberg och Cleves samt Trempex AB:s försorg. Leveranserna har skett i fem omgångar. I varje omgång har fyra rutor av varje format levererats utom för 1000x1000x3 där 30 rutor har levererats. Numreringen hänför sig till leveranstillfället, dvs glasnumren 1-4 samt 1-30 för 1000x1000x3 är från den första leveransen, 5-8 samt 31-60 från den andra osv. I FIG.16 finns även en sammanställning över floatglasen.

### 5.3 Antalet glas

Om normalfördelningen beskriver glasets brotthållfasthet på ett godtagbart sätt, behövs ca 20 rutor för att med konfidensgraden 10% få medelhållfastheten inom  $\pm 7.7\%$  för variationskoefficienten  $C_V = 0.20$  samt för  $C_V = 0.25$  hållfastheten inom  $\pm 9.7\%$ . Sålunda krävs åtminstone 20 rutor samt att dessa på ett slumpmässigt sätt tas ur produktionen.

I denna undersökning valdes att låta tiden vara den slumpmässiga faktorn. Frågan var då: under hur lång tid måste insamlandet av glas ske för att ge en någorlunda rättvisande bild av glashållfastheten.

Samtidigt uppstår många praktiska problem med att låta provinsamlandet dra ut på tiden, så därför valdes i allmänhet att ta ut 1 ruta per dag.

Under provens gång kontrollerades hur mycket medelhållfastheten samt variationskoefficienten varierade (TAB.5) för att få ett begrepp om hur lång tid (antal) som behövdes för att få stabila värden. I FIG.17 är några format för 3 mm:s tjocklek utritade. Där kan ses att för de flesta format har värdena stabiliserats innan slutet på provperioden. Större förändringar sker med E1700x1700x3 (medelhållfastheten ändras med ca 7% på slutet) samt E1400x1400x3 (variationskoefficienten ändras från 0.18 till 0.235 på slutet). I FIG.18 för 6 mm:s tjocklek visar alla maskinglas ändringar med mindre än 5% på slutet. För floatglasen är bilden mycket oroligare, detta beror antagligen på att de olika provade serierna kommer från olika leverantörer och tillverkare. Då undersökningen av floatglas gjordes (nov.1975 till mars 1976) var de anlitade leverantörerna i huvudsak de enda som förde floatglas.

## 6 Resultat

### 6.1 Glasets tjocklek

För maskinglas mättes tjockleken längs en av de mot dragriktningen vinkelräta sidorna ca 1 cm från kanten. Med mikrometer uppmättes tjockleken i tre punkter. Dessa var ungefärligt jämnt fördelade längs sidan. För floatglas mättes tjockleken enligt föregående längs valfri sida. Medeltjockleken blev då enligt nedanstående.

	Tjocklek längs en sida på genomsnittsrutan	Medeltjocklek vid brottstället	Variationskoefficient för medeltjockleken	
Maskinglas	3 mm	2.87 ± 0.06	2.85	2.4%
	4 mm	3.80 ± 0.05	3.78	1.7%
	5 mm	4.79 ± 0.06	4.83	1.4%
	6 mm	5.55 ± 0.06	5.55	1.8%
Floatglas	3 mm	3.00 ± 0.01	2.98	2.0%
	4 mm	4.01 ± 0.02	4.00	2.9%
	5 mm	4.89 ± 0.01	4.89	0.8%
	6 mm	5.89 ± 0.02	5.90	0.6%

Av tabellen framgår att skillnaden mellan medeltjockleken längs en sida och medeltjockleken vid brottstället är mycket liten. Detta innebär att brottet inte tenderar att ske där glasrutan är tunnare, utan det är andra faktorer som styr brottstället. Detta kan även visas genom att studera brottbelastning som funktion av glastjockleken vid brottstället. Därvid används lineär regressionsanalys, vilket innebär att den lineära ekvationen

$$q = C h + D$$

där

$q$  = brottbelastning (kPa)

$h$  = glastjocklek vid brottställe (mm)

$C, D$  = konstanter

ansätts.

För Scanglas 1000x1000x3 blev ekvationen

$$q = -0.72 h + 7.0$$

med korrelationskoefficienten  $r = 0.054$ , dvs det finns praktiskt taget inget samband mellan tryck och tjocklek, samt att det eventuella sambandet i så fall är negativt.

I FIG.19 visas den lineära regressionslinjen för E1000x1000x6. Även för denna är som synes sambandet mellan brottryck och glastjocklek mycket svagt.

Studium av andra format visar ungefär samma bild. Det kan då konstateras att brottstället inte styrs av tjockleksvariationerna, dvs att brottet sker företrädesvis där glastjockleken är minst, utan att andra faktorer såsom glasstrukturen i ytan är avgörande.

## 6.2 Mittnedböjning - brottryck

I FIG.20-27 finns nedböjningen som funktion av undertrycket utritat. Där finns även markerat där brott har skett. Den utritade kurvan är en medelkurva, som går igenom punkten för medelvärdet för brottnedböjningen och medelvärdet för brottrycket. För formatet E500x2000 kan observeras att kurvorna är räta, vilket tyder på att teorin för små utböjningar börjar gälla här. Den maximala nedböjningen enligt denna teori är

$$\delta_0 = \alpha_1 \cdot \frac{qa^4 \cdot 12(1-\nu^2)}{Eh^3}$$

där

$\alpha_1$  = faktor som beror på sidoförhållandet

$q$  = belastning (kPa)

$a$  = kortaste sidan (m)

$\nu$  = kontraktionstal

$E$  = elasticitetsmodul (kPa)

$h$  = tjocklek (m)

Med data för formatet 500x2000x6 blir nedböjningen

$$\delta_0 = 0.01282 \frac{0.5^4 \cdot 12(1-0.3^2)}{7.2 \cdot 10^7 \cdot 0.00555^3} q = 7.1 \cdot 10^{-4} q$$

dvs vid  $q = 3 \text{ kPa}$  blir  $\delta_0 = 2.1 \text{ mm}$ , vilket är detsamma som uppmätt värde. För övriga tjocklekar stämmer även beräkning enligt teorin för små utböjningar. För detta format 500x2000 samt även 580x1730, där kurvorna är räta linjer gäller teorin för små utböjningar.

För övriga format gäller att ju större glasrutorna blir desto mer tenderar kurvorna att bli böjda, dvs teorien måste ta hänsyn till den stora nedböjningen. Approximativt kan sambandet mellan last och nedböjning skrivas under formen

$$\frac{q}{E} \left(\frac{a}{h}\right)^4 = C \left(\frac{\delta_0}{h}\right) + D \left(\frac{\delta_0}{h}\right)^3$$

där

$q$  = jämnt fördelad belastning (kPa)

$a$  = sidomått (m)

$h$  = tjocklek (mm)

$\delta_0$  = mittnedböjning (mm)

$C, D$  = konstanter

$E$  = elasticitetsmodul (kPa)

I Bygg 166:921 anges konstanterna då  $\nu = 0.3$  till  $C = 22.6$  och  $D = 38$  (förhindrad förskjutning i plattans plan) samt  $C = 22.6$  och  $D = 4.0$  (oförhindrad förskjutning). Genom att sätta  $C$  till 22.6 kommer konstanten  $D$  att variera beroende på vilken nivå trycket räknas, för högre tryck minskar  $D$ . Koefficienten  $D$  har uträknats för tryck större än halva medelbrottrycket och då befunnits vara av ungefär följande storleksordning.

Tjocklek	1000x1000	1400x1400	1700x1700
3	2.4 - 1.9	3.9 - 2.8	4.1 - 2.7
4	3.0 - 2.3	4.0 - 2.9	4.4 - 3.0
5	2.9 - 2.5	4.0 - 3.1	4.8 - 3.3
6	2.3 - 2.6	4.0 - 3.3	4.8 - 3.3

I allmänhet ligger således värdena lägre än 4.0, som gäller för oförhindrad förskjutning i plattans plan. Då koefficienten  $D$  hänför sig till membranverkan, beror antagligen dessa lägre värden på större förskjutningar i sidoled under belastningen. Plattan får under belastningens gång en mer utpräglad skålform.

I TAB.6 finns medelvärdena för nedböjningen vid brott redovisade. Man kan observera att för formaten 1000x1000, 1400x1400 och 1700x1700 är skillnaderna relativt små, trots stora skillnader i area och tjocklek.

### 6.3 Brottställets fördelning över glasytan

För att få information var brottet uppstår lades en masonitskiva i undertryckslådan så att brottbilderna blev något så när intakt. I FIG.28-56 är brottets begynnelse inprickat, dessutom markeras med ett kryss om brottet kommer från kanten.

För de kvadratiska formaten (1000x1000, 1400x1400, 1700x1700) övergår brottställena från att ha varit koncentrerade inom ca 20 cm avstånd från hörnen för 3 mm tjocklek till att bli utspridda inom 40x40 cm rutor vid hörnen. För formatet 710x1410 gäller även där ju tjockare ju större koncentration till mitten. Ingen större skillnad mellan de olika tjocklekarna för formatet 580x1730 kan däremot iakttas. Vid mycket avlång format (500x2000) är brottbilderna koncentrerade till ett ca 15 cm brett och ca 1 m långt bälte mitt på rutorna. Detta tyder då på att den maximala spänningen är i närheten av mitten, samt att teorin enligt små utböjningar gäller.

Vid en jämförelse mellan floatglas och maskinglas (1000x1000) kan observeras den markanta skillnaden i antalet kantbrott. Vid förundersökningen jämfördes för 1000x1000x3 skillnaden i hållfasthet mellan rutor med kantbrott och övriga. Ingen statistisk skillnad kunde då noteras.

Konfidensintervallet för skillnaden mellan två medelvärden är

$$I = (m_1 - m_2) \pm t_{\alpha/2} (n_1 - 1 + n_2 - 1) s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

där

$$s = \frac{s_1^2 (n_1 - 1) + s_2^2 (n_2 - 1)}{n_1 - 1 + n_2 - 1}$$

$s_1, s_2$  = standardavvikelse

$n_1, n_2$  = antal

För floatglasen med följande data

	n	m (kPa)	s
Kantbrott	35	8.22	1.41
Övriga	45	6.74	1.78

fås att med  $\alpha = 0.001$ , dvs med 1<sup>0</sup>/oo konfidensgrad, blir konfidensintervallet

$$I = (0.22, 2.75)$$

Man kan alltså med en felrisk av 1<sup>0</sup>/oo påstå att skillnaden i medelvärden mellan de olika brottyperna ligger inom intervallet 0.22 till 2.75 kPa, dvs kantbrotten sker vid ett högre tryck.

En teori till detta skulle vara att stora spänningar uppnås först inne på glasytan. Om inte något felställe förmår utlösa ett brott fortsätter trycket att öka och spänningen ökar även vid hörnen. Där är det antagligen lättare att finna utlösade ställen längs kanten. Det skulle alltså vara frågan om en balans mellan stora spänningar - få felställen inne på glasytan och lite mindre spänningar - fler felställen vid kanten.

#### 6.4 Fördelningsfunktionen

Den första delen av undersökningen var att undersöka vilken fördelningsfunktion som på ett godtagbart sätt beskriver glashållfastheten. I denna delen var det alltså 3 olika typer av glas som testades

149 st maskinglas (Scanglas) 1000x1000x3

148 st maskinglas (Emmaboda) 1000x1000x6

148 st floatglas (S:t Gobain) 1000x1000x3

Av resultatet för formatet 1000x1000x3 (FIG.58,59) framgår att normalfördelningen på ett godtagbart sätt överensstämmer med glasets hållfasthetsfördelning. Genom att kombinera ihop samtliga provade 3 mm maskinglas (inkl. förundersökningen) fås en utmärkt överensstämmelse med normalfördelningen. För 6 mm maskinglas (FIG.57) är ej fördelningen en rät linje utan tenderar att närma sig den tidigare nämnda begränsade funktionen typ I.

Samtliga fyra olika typer har dessutom kompletterats med Weibulls fördelningsfunktion. Denna funktion har ansatts till

$$F(x) = 1 - \exp \left[ -B \left( \frac{\sigma - \sigma_0}{\sigma_0} \right)^n \right]$$

där B är en konstant som beror på spänningsfördelningen. För 6 mm maskinglas gav följande uttryck bäst korrelation

$$F(x) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{\sigma - 5.89}{7.72} \right)^{2.36} \right]$$

med korrelationskoefficient = 0.994. Som kan ses i FIG.57 ligger Weibulls funktion mellan de begränsande funktionerna: normalfördelningen och fördelningsfunktion typ I. För de andra typerna blev resultatet

	$\sigma_u$	n	$\theta$	r
F1000x1000x3	0	4.80	8.37	0.991
S1000x1000x3	0.98	5.58	4.44	0.993
E+S1000x1000x3	0.98	5.26	4.56	0.995

$$\theta = \frac{\sigma_0}{B^{-n}}$$

I FIG.58-60 framgår att de ovan framräknade funktionerna inte visar bättre överensstämmelse än normalfördelningen.

För floatglasen (1000x1000x3) utvaldes slumpmässigt 26 st, som lades

med floatsidan (sidan som dras över tennsmältan) uppåt. Dessa jämfördes med 94 st som hade floatsidan nedåt (se tabellen nedan). Därvid framgår att det är en mycket obetydlig skillnad mellan de olika tillvägagångs-sätten.

	n	m	$C_V$
Float upp	26	7.83	25.4
Övriga	94	7.74	24.6

### 6.5 Statistisk bearbetning

Projektet hade som delmål bestämning av parametrarna för glashållfastheten. Detta innebär bestämning av statistiska data (t.ex. medelhållfasthet och variationskoefficient) för varierande bredd/längdförhållande samt olika ytförhållande för maskinglas och floatglas. För maskinglas innebar detta att arean varierades mellan  $1 \times 1 = 1 \text{ m}^2$ ,  $1.4 \times 1.4 = 1.96 \text{ m}^2$  samt  $1.7 \times 1.7 = 2.89 \text{ m}^2$ . För att undersöka hur förhållandet mellan bredd och längd inverkar på glasets brotthållfasthet varierades förhållandet 1:1, 1:2, 1:3 samt 1:4. För samtliga förhållanden var arean  $1 \text{ m}^2$ . Då produktionen av floatglas ännu så länge är obefintlig inom Sverige valdes att endast prova två olika format. En sammanställning finns nedan.

b/a	Maskinglas	Floatglas
1:1 1 x 1 m	3,4,5,6 mm	3,4,5,6 mm
1:2 0.71 x 1.41 m	3,4,5,6 mm	3,4,5,6 mm
1:3 0.58 x 1.73 m	3,4,5,6 mm	-
1:4 0.50 x 2.00 m	3,4,5,6 mm	-

För varje typ provades ca 20-25 rutor, med undantag för det föregående

avsnitt nämnda format där antalet var ca 150 rutor. I FIG.61-91 är alla mätvärde avsatta på sannolikhetspapper. Sannolikheten är avsatt såsom

$$P = ( \xi \leq q_n ) = 100 \cdot \frac{n-0.3}{N+0.4}$$

där

$n$  = ordningsnummer

$N$  = antal prov

$P(\xi \leq q_n)$  = sannolikheten att brottbelastningen är mindre än  $q_n$

Som kan ses av kurvorna är det svårt att behandla området under tio procent sannolikhet på grund av det ringa antalet rutor. Såsom komplement är i TAB.6 redovisat kurvornas skevhet, denna definieras såsom

$$\gamma = \frac{m_3}{m_2^{3/2}}$$

där

$$m_3 \text{ (tredje momentet)} = \frac{1}{n} \sum q_i^3 - \frac{3}{n} \bar{q} \sum q_i^2 + 2\bar{q}^3$$

$$m_2 \text{ (andra momentet)} = \frac{1}{n} \sum q_i^2 - \bar{q}^2$$

För kurvor som tenderar att vara konvexa såsom för FIG.57 är skevheten negativ, konkav kurva - positiv skevhet, samt då skevheten är noll gäller normalfördelningen.

För att få uppfattning inom vilka gränser medelhållfastheten varierar återfinns även konfidensintervall i TAB.6. Detta är upprättat för 10% konfidensgrad, dvs med en felrisk av 10% ligger medelvärdet inom det framräknade intervallet och definieras enligt

$$I = ( m \pm t_{\alpha/2}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}} )$$

$m$  = medelvärde

$t_{\alpha/2}(n-1)$  = t-fördelningen

$s$  = standardavvikelse

$n$  = antal

I TAB.3 redovisas även variationskoefficienten

$$C_V = \frac{s}{\bar{m}}$$

Om man kan anta att brottsannolikheten enligt FIG.61-91 beskrives av normalfördelningen går det att extrapolera kurvorna enligt den heldragna linjen. För jämförelses skull har för varje tjocklek samtliga format inritats i FIG.92-95.

### 6.6 Kurvanpassning

Först har areans inverkan på brotthållfastheten undersökts. Anpassning har för kvadratiska rutor skett med kurvan

$$q = C A^D$$

där

q = medelbrottrycket (kPa)

A = area (m<sup>2</sup>)

C,D= konstanter

I FIG.96 finns fyra kurvor med mycket god anpassning. Konfidensintervallet för  $\alpha = 0.10$  finns inlagt såsom staplar. Kurvorna blev

tjocklek	ekvation	korrelationskoefficient
6 mm	$q = 12.44 \cdot A^{-1.023}$	r = 0.9998
5 mm	$q = 10.56 \cdot A^{-0.980}$	r = 0.997
4 mm	$q = 8.10 \cdot A^{-0.964}$	r = 0.9993
3 mm	$q = 5.43 \cdot A^{-1.113}$	r = 0.9994

dvs i medeltal blir medelhållfastheten omvänt proportionell mot arean, dvs  $q = \frac{C}{A}$ .

Anledningen till att kurvanpassningarna görs för medelhållfastheten är att denna är den statistiskt bäst belagda faktorn. Genom beräkning av konfidensintervallet fås osäkerheten av medelvärdet. Att behandla brott-

tryck vid en viss låg sannolikhet är mycket vanskligt med så små populationer för varje format. Vid små brottsannolikheter t.ex. 0.8% kan det beräknade trycket ändras radikalt vid små förändringar av medelhållfasthet och variationskoefficient.

Hur tjockleken inverkar på medelbrottrycket kan ses i FIG.97-100. Där visar de kvadratiska formaten god anpassning med korrelationskoefficient 0.983 till 0.998. Dessutom är för den lineära anpassningen lutningskoefficienten (a) ungefärligt proportionell mot arean. Jämförelsen mellan lineär anpassning ( $q = Ch + D$ ) och enligt kurvan  $q = Ch^D$  visar ingen påtaglig skillnad (FIG.100). För de avlånga formaten är bilden lite oroligare, det är speciellt för 710x1410x6 och 580x1730x6 som värdena ligger lågt. Om dessa medelvärden hade varit 3-4 kPa större hade kurv-anpassningen varit bättre, kurvorna hade varit ungefärligt parallella, vilket FIG.99 för floatglas visar.

Denna oroliga situation för olika bredd/längd-förhållanden visas även i FIG.101. Där kan även ses att för tjockleken 6 mm gör kurvan en kraftig djupdykning vid  $b/a = 2$  och  $b/a = 3$ . Med undantag för tjockleken 6 mm visar en approximativ betraktelse att för mer avlånga format sjunker medelhållfastheten.

Som tidigare kunde konstateras av nedböjningskurvorna (FIG.25) är för formatet 500x2000, tjocklekarna 4, 5, 6 mm kurvorna nästan räta linjer, vilket tyder på att teorier för små utböjningar gäller. Detta innebär att trycket är proportionellt mot tjockleken i kvadrat, dvs  $q = \text{konst} \cdot h^2$ . Dessutom måste denna prop.konstant vara densamma för de olika tjocklekarna. Om medelhållfastheten användes i detta uttryck blir förhållandet mellan konsterna 1:0.91:1.02 för tjocklekarna 4, 5 samt 6 mm, dvs ungefär desamma.

## 7 Befintliga dimensioneringsmetoder

### 7.1 Utländska normer

#### Storbritannien

Glazing Manual 1968

Dimensionering indelas i 3 steg.

Steg 1. Bestämning av maximal vindbelastning på glaset under en period av 3 sekunder. Vindhastigheten på 10 meters höjd och inget hinder erhålles från meteorologiska byrån. Med hjälp av korrektionsfaktor för höjd och typ av bebyggelse omkring erhålles maximala 3-sekunders vindhastigheten. Med formeln

$$p = 1.5 \cdot \frac{v^2}{1.6}$$

där

p = vindbelastning (Pa)

v = vindhastighet (m/s)

erhålles "sannolika maximala vindbelastning som förväntas under den värsta kombination av omständigheter".

Steg 2. Glasfaktorerna beräknas.

$$\text{Glasfaktor} = \frac{a \cdot b}{100 \cdot 2(a+b)}$$

a, b = bredd, längd (cm)

Steg 3. I tabellform kan man med ingångsvärdena maximala vindbelastningen och glasfaktorn för olika typer av glas erhålla glastjockleken.

#### Kommentar

Bredd/längd-förhållandet inverkar måttligt för normala format. För b/a = 1 är gf = 0.25 och för b/a = 1:4 är gf = 0.20, men för extremt långsmalt b/h = 1:10 är gf = 0.10. Då glasfaktorn är omvänt proportionell mot roten ur trycket, innebär de nämnda glasfaktorerna att de tillåtna trycken har relationen 100:64:16. Detta blir en stark undervärdering av de mycket avlånga formaten. Trycket är omvänt proportionellt mot arean för kvadratiska rutor.

En jämförelse mellan olika tjocklekar för formatet 1000x1000

	Brittisk norm	Enl.förslag
6 mm (7/32 in)	3.75 kPa	3.72 kPa
5 mm (3/16 in)	2.65 "	3.10 "
4 mm (32 oz)	2.20 "	2.32 "
3 mm (26 oz)	1.40 "	1.58 "

Dessutom finns en multiplikationsfaktor 1.3 för kopplat fönster med maximalt luftmellanrum på 7.5 cm samt en faktor 2.0 för 2-glas isoler-rutor.

Ingenting nämns om brottrisk samt alla diagram gäller för fyra sidor upplagda.

#### Australien (Australien Standard 1288 - 1973)

Vindtrycket beräknas ungefär som enligt SBN-1975, dvs trycket påverkas av faktorerna terräng, höjd och byggnadens utformning.

I ett diagram anges för sidoförhållanden mindre än 3 förhållandet mellan area, tjocklek och vindtryck. Där är trycket omvänt proportionellt mot arean. Trycket för formatet 1000x1000 och tjocklekarna 3, 4, 5 och 6 mm är 1.58, 2.32, 3.47, 4.9 kPa, dvs högre tillåtna för tjockare glas än i denna undersökning.

För sidoförhållande större eller lika med 3 följer beräkningar enligt teorier för små nedböjningar med  $\sigma_{till} = 17.2$  MPa.

Diagrammen är baserade på en variationskoefficient för glashållfastheten på 25% samt att sannolikheten för glasbrott är 0.20% för 50-årsvinden.

#### Kanada (Canadian Building Digest CBD132)

Diagrammet (sidoförhållandet mindre än 4) för bestämning av glastjockleken är uppbyggt på ungefär samma sätt som de Australiska normerna.

Det finns här också ett diagram för bestämning av en tjockleksfaktor för val av olika brottsannolikheter. För formatet 1000x1000 med tjocklekarna 3, 4, 5 och 6 mm blir tillåtet tryck (med brottsannolikheten 0.2%) 0.85, 1.25, 1.80 respektive 2.10 kPa.

På grund av vindbyar blir rutorna utsatta för ungefär 50% högre belastning än statiska trycket. Dessutom bör glastjocklek för hörnfönster väljas tjockare än som utläses ur diagrammet.

### Västtyskland (DIN 18 056)

Denna norm gäller för fönsterväggar med en yta av minst  $9 \text{ m}^2$  och en sidlängd på minst 2 m. I diagramform kan med ingångsdata bredd och längd glastjockleken avläsas.

Tillåten belastning är ungefär proportionellt mot  $A^{-0.9}$ . För belastningar ( $q$ ) större än 0.6 kPa multipliceras glastjockleken med faktorn

$$\sqrt{\frac{q}{0.6}}$$

### 7.2 Sverige (Bygg-Ama 07.2)

En tabell med ingångsvärden på area, längd och bredd avgör om tjockleken 3 eller 4 mm bör väljas.

Maximala formatet för 3 mm är 1040x2040 mm (1:2.3) =  $2.5 \text{ m}^2$ . Enligt denna undersökning är arean avgörande för detta förhållande på b/a. För arean  $2.5 \text{ m}^2$  fås med brottrisk 0.8% en tillåten belastning 0.62 kPa. För 4 mm är maximala arean  $4.32 \text{ m}^2$  (2700x1600), detta innebär ett tillåtet tryck på 0.55 kPa. Då vindlasten enligt SBN-1975 kan variera mellan  $0.35 \cdot 1.5 \cdot 1.32 = 0.69 \text{ kPa}$  och  $1.4 \cdot 1.5 \cdot 1.32 = 2.77 \text{ kPa}$ , medför detta att på ingen plats i Sverige kan fönster glasas med Bygg-AMA:s maximala storlekar. Dessutom skall naturligtvis hänsyn tas till att vindtrycket varierar kraftigt mellan olika platser.

### 7.3 Rekommendationer från glastillverkare

#### LOF, PPG

De amerikanska fabrikerna har efter många experimentella undersökningar upprättat diagram för bestämning av glastjockleken för olika typer av glas. I allmänhet gäller diagrammen för en brottrisk på 0.8% (variationskoefficient = 25%). I diagrammen är arean omvänt proportionell mot trycket samt mot tjockleken gäller approximativt förhållandet

$$\frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{1.55-1.60}$$

Diagram gäller för sidoförhållanden mindre än 5 (LOF) samt 3 (PPG).

Tillåten belastning vid brottsannolikheten 0.8% för formatet 1000x1000 och tjocklekarna 1/8 in (3.18 mm), 3/16 in (4.76 mm) och 7/32 in (5.56 mm) är 1.70, 3.20, respektive 4.10 kPa (enligt LOF för maskinglas). För floatglas (enligt PPG) är värdena aningen högre.

#### S:t Gobain

För sidoförhållanden kan trycket beräknas enligt följande

$$q = \left(\frac{1.04 h}{b}\right)^2 \quad 1 \leq b/a \leq 1.8$$

$$q = 0.60 h^2 A \quad 1.8 < b/a \leq 3$$

$$q = \left(\frac{0.45 h}{a}\right)^2 \quad b/a > 3$$

där b,a = kortaste resp. längsta sidan (m).

q = trycket (kPa)

h = tjocklek (mm)

A = arean (m<sup>2</sup>)

Dessa formler följer i huvudsak teorin med små utböjningar.

#### 7.4 Små utböjningar

Med antagandet om tillåten dragspänning  $\sigma_{till} = 17.2 \text{ MPa}$  kan följande formel härledas

$$q = \frac{2.86 \cdot 10^{-3} h^2}{\alpha_1 a^2}$$

där

$\alpha_1$  = konstant som beror på sidoförhållandet - erhålles  
ur tabellverk

b,a = längsta respektive kortaste sidan (m)

h = tjocklek (mm)

q = tryck (kPa)

#### 7.5 Approximativ formel

Ur LOF:s diagram har härletts en förenklad formel

$$q = \frac{0.283}{A} h^{1.55}$$

där

q = trycket (kPa)

A = arean ( $\text{m}^2$ )

h = tjockleken (mm)

#### 7.6 Jämförelse

I FIG.102 finns en jämförelse för tjockleken 3 mm, area  $1 \text{ m}^2$  mellan olika metoder att bestämma tillåten belastning. Där kan då konstateras att kurva 2 (små utböjningar), kurva 7 (S:t Gobain) samt kurva 3 för  $b/a \geq 3$  (Australien) ligger väl samlade i en nivå för sig. Metoder enligt LOF (kurva 6), PPG samt Australien för  $b/a < 3$  (kurva 3) ger unge-

fär samma resultat ca 1.6 kPa. Kurva 1 är en jämförelse med en teoretisk beräkning, som tagit hänsyn till både membran- och böjspänningar. Där kan ses att för  $b/a < 3$  den tillåtna belastningen blivit för stor. I kurva 4 (antagen variationskoefficient  $C_V = 0.25$ ) samt kurva 5 ( $q_{till}$  bestämd för brottsannolikheten 0.8%) är resultatet av denna undersökning inlagd.

## 8 Diskussion

Av undersökningen framgår att för kvadratiska rutor är medelbrottrycket omvänt proportionellt mot arean. Detta samband visar en utmärkt korrelation för samtliga tjocklekar (FIG.96). Detta samband verifieras av utförda experimentella undersökningar av t.ex. LOF, PPG.

Tjocklekens inverkan på medelbrottrycket har i denna undersökning befunnits vara ett lineärt samband (FIG.97). Eventuellt kan ekvationen  $q = a \cdot h^b$  vara likvärdig med den lineära ekvationen. De amerikanska glasfabrikanterna har i sina undersökningar erhållit att trycket är proportionellt mot  $h^{1.55-1.60}$  ( $h =$  glastjockleken). Detta innebär att för tjockare glas ligger brottrycket lägre i denna undersökning än enligt de amerikanska tillverkarna.

Hur förhållandet mellan bredd och längd inverkar är däremot svårare att tyda. För tjocklekarna 3, 4 och 5 mm visar kurvorna (FIG.101) ungefär samma bild. Kurvorna håller sig ungefär på samma nivå, de faller ungefär 20% mellan  $b/a = 1$  och  $b/a = 4$ . För 6 mm tjocklek däremot är samtliga värden för låga (med undantag för  $b/a = 4$ ). Detta förhållande konstaterades tidigare även för  $b/a = 1$ . Ur referatet från utländska rekommendationer framgår att flertalet länder har samma tillåtna belastning för måttliga värden på längd/bredd. Ett undantag är Storbritannien där sidoförhållandet tillmäts en stor betydelse. Där tillåts 36% lägre belastning för  $b/a = 4$  än för  $b/a = 1$ . För mycket långsmala rutor blir reduktionen kraftig, detta strider mot ett flertal uppgifter (FIG.102) att tillåten belastning ökar vid långsmala rutor. Möjligtvis har hänsyn tagits till svårigheten att hantera långsmala rutor.

Som tidigare konstaterats visade uppmätta nedböjningsdata på formatet

500x2000 bra överensstämmelse med beräkningar enligt teorin för små utböjningar. Detta trots att förhållandet mellan nedböjning och glastjocklek var av stroleksordningen 2-3.

I FIG.60 visas att normalfördelningen beskriver sannolikheten för brott (format 1000x1000, tjocklek 3 mm) på ett utmärkt sätt. För formatet 1000x1000, tjocklek 6 mm tenderar fördelningskurvan att anpassa sig efter fördelningsfunktion typ I. Det kan därvid förväntas att normalfördelningen och fördelningsfunktionen typ I bildar begränsade kurvor för de flesta fall.

En jämförelse mellan olika tillverkare av maskinglas, Scanglas och Emmaboda, visar en förvånansvärd liten skillnad mellan medelbrottrycket 5.1 respektive 5.23 kPa (5.18 kPa för samtliga av formatet 1000x1000x3). Även variationskoefficienten är ungefär densamma 0.169 respektive 0.191 (0.183 för samtliga). Trots skillnader i tillverkningsprocessen samt olika råvaror är differansen mellan medelvärden endast 2.5% samt mellan variationskoefficienten 11.5%.

Däremot är skillnaden mellan floatglas och maskinglas betydande. Floatglasens medelbrottryck är i medeltal 50% (varierar mellan 33 och 105%) högre än maskinglasen. Detta är ett förvånansvärt resultat, ty i facklitteraturen anges att maskinglas har klart bättre hållfasthet med hänsyn till vindbelastningen. I en handbok utgiven 1975 av PPG anges att skillnaden är ca 10% till maskinglasets fördel. Orsaken till denna undersöknings motsatta resultat kan vara att floatglasen från Belgien och Frankrike får en snabbare kylning vid tillverkningen. Brottbilden vid försöken uppvisade inte maskinglasens typiska stjärnbild, utan innehöll även drag av ett härdat glas mosaikbild. Då floatglasen är en heterogen samling, som kommit från olika leverantörer och tillverkare, är det ej förvånande att variationskoefficienten för olika format varierar högst avsevärt. För formatet 710x1410 är högsta värdet 2.5 ggr större än lägsta ( $C_V = 0.404$  resp.  $C_V = 0.161$ ).

Denna skillnad mellan maskinglas och floatglas bör till dess svensktillverkat floatglas har blivit undersökt, behandlas med stor försiktighet.

## 9 Förslag till normer

För att få fram en godtagbar nivå för tillåtet värde på glashållfastheten måste vissa förenklingar göras. Först antas att längd/bredd-förhållandet är av underordnad betydelse (för  $b/a \leq 4$ ). Det är istället arean, som är den signifikanta faktorn. För att vara på den säkra sidan användes de lägsta medelvärdena vid varierande längd/bredd-förhållande vid arean  $1 \text{ m}^2$ . Dessa nya medelvärden, som gäller för  $1 \text{ m}^2$ , blir sålunda:

3 mm	3.94 kPa
4 mm	5.90 kPa
5 mm	8.77 kPa
6 mm	9.48 kPa

Med antagandet att normalfördelningen beskriver sannolikheten för brott samt att variationskoefficienten är 0.25 (den maximala koefficienten är 0.270, 0.212, 0.230 samt 0.253 för 3, 4, 5 respektive 6 mm tjocklek). För brottsannolikheten 0.8% blir då tillåtna belastningar:

3 mm	1.58 kPa
4 mm	2.35 kPa
5 mm	3.51 kPa
6 mm	3.79 kPa

Då enligt tidigare (t.ex. FIG.97) befanns att relationen  $p = Ch + D$  beskrev medelhållfasthetens variation med tjockleken, ansätts denna ekvation. Därigenom fås ekvationen  $p = 0.80 h - 0.60$ , som korrigeras, för att ekvationens alla värden skall underskrida de ovan nämnda, till  $p = 0.80 h - 0.72$ . Detta medför:

3 mm	1.58 kPa
4 mm	2.32 kPa
5 mm	3.10 kPa
6 mm	3.72 kPa

Enligt FIG.96 är brottrycket ungefär omvänt proportionellt mot arean.

Detta innebär att den slutliga ekvationen blir:

$$p = \frac{0.80 h - 0.72}{A}$$

där

$h$  = tjocklek (mm)

$A$  = area ( $m^2$ )

$p$  = vindtryck (kPa)

För floatglas är det svårt att få fram ett enhetligt förslag till norm. För brottsannolikheten 0.8% fås följande tillåtna värden på vindbelastningen:

format	tjocklek			
	3	4	5	6
1000x1000	3.49	6.67	8.42	6.28
710x1410	2.14	2.71	8.72	0.49
maskinglas (enligt förslag)	1.58	2.32	3.10	3.72

Floatglas 3 mm samt 4 mm stämmer relativt väl med maskinglasets.

5 mm. Maskinglas reducerat från 10.19 (medelvärde för 710x1410) till förslaget 3.10, dvs 3.3 ggr.

För float innebär detta  $14.25/3.3 = 4.32 \text{ kp/m}^2$ , dvs ca 40% högre än maskinglas. Då detta glas delvis kommit från samma grossist är variationskoefficienterna relativt små (16-18%), detta ska jämföras med övriga som för 710x1410 ligger mellan 30 och 40%. Problemet är om 5 mm floatglas från annan grossist har större spridning. För säkerhets skull bör kanske maskinglasets värden användas.

6 mm. Trots den höga medelhållfastheten skär kurvorna för floatglas (710x1410) och maskinglas (710x1410) varandra vid ca brottsannolikheten 4.4%. Detta innebär att vid t.ex. 0.8% brottsannolikhet är brottrycket endast 0.49 kPa. Emellertid är det diskutabelt, om floatglasen verkligen

har en variationskoefficient på 40%, samt om normalfördelningen gäller för 6 mm glas. Man kan då jämföra med 6 mm maskinglas, som konstaterades ha en fördelningsfunktion typ I. Detta ger att värden, som grundar sig på normalfördelningen i verkligt fall är högre.

Detta innebär att det är mycket svårt att få en enhetlig behandling av floatglasen. Emellertid kan som grov approximation värdena för maskinglas gälla för floatglas till dess ytterligare provningsresultat föreligger.

Vid andra val av brottsannolikheten (det ovanstående gäller för brottsannolikheten = 0.8%) multiplicera aktuell vindlast med  $B_f$  (brottfaktor enligt FIG.103)

$$p_f = p_{akt} \cdot B_f$$

där

$$p_f = \text{fiktiv vindlast (kPa)}$$

$$p_{akt} = \text{aktuell vindlast (kPa)}$$

t.ex. enligt SBN-1975

Vid en annan konstaterad variationskoefficient ( $C_v$ ) = 25% kan brottfaktorn uträknas enligt nedan.

Välj önskad brottsannolikhet ( $P_B$ )

$$\Phi(x) = 1 - P_B$$

$\Phi(x)$  finns i tabellform

$\Rightarrow x$  erhålles ur tabellen

$$B_f = \frac{0.4}{1-x} C_v$$

#### Val av vindlast

Enligt SBN-1975 antas den statiska vindlasten vinkelrätt mot en yta uppgå till

$$p = \mu q$$

$p$  = vindintensitet (kPa)

$\mu$  = formfaktor

$q$  = hastighetstryck (kPa)

där formfaktorn fås ur 21:63 samt hastighetstrycket ur 21:62.

Påkänningar orsakade av vindstöt är enligt 21:642

$$p = \frac{1}{1.75} q$$

där

$q$  = hastighetstrycket av medelvindhastigheten ( $v_m$ )

$v$  = dimensionerande momentana vindhastigheten (fås ur figur 21:621)

$$v_m = 0.75 v$$

$$q = 0.338 v^2$$

Den statiska lasten adderat med den dynamiska lasten orsakad av vindstöt blir

$$p = \mu 0.6 v^2 + \frac{1}{1.75} \mu 0.338 v^2 = 1.32 \mu q$$

Den dimensionerade lasten blir då

$$p_{akt} = 1.32 \mu_{tot} q$$

Denna vindlast multipliceras med en brottfaktor  $B_f$  vid val av annan brottsannolikhet än 0.8%.

$$p_f = B_f \cdot p_{akt}$$

Dimensioneringen blir då:

1. Välj önskad brottsannolikhet

2. Bestäm brottfaktorn ( $B_f$ )
- (3. Om  $C_v \neq 0.25$  beräkna brottfaktorn)
4. Bestäm den fiktiva (dimensionerande) vindlasten

$$p_f = B_f \cdot p_{akt}$$

$$p_{akt} = 1.32 \mu_{tot} q \text{ (enligt SBN-1975)}$$

5. Ur FIG.104 kan sedan glastjockleken bestämmas.

Referenser

Australien Standard, 1973. AS 1288-1973.

Bowles, R., Sugarman, R., 1962, The strength and deflection characteristics of large rectangular glass panels under uniform pressure (Glass Technology). Vol.3 No.5 October 1962.

Brown, W.G., 1969, A load duration theory for glass design (International Commission on Glass) Annual meeting sept.1969, Toronto.

Brown, W.G., 1970, Glass thickness for windows (Canadian Building Research). CBD 132, Ottawa.

Bygg 1B, 1972. (AB Byggmästarens förlag) s.189. Stockholm.

Deutsche Normen, 1966, Fensterwände (Deutsche Normenausschuss). DIN 18056, Berlin.

Glazing Manual, 1968. (The flat glass association) London.

HusAMA72, 1972. (Byggandets Samordning). s.291-292. Stockholm.

Johnson, A.I., 1971, Strength, safety and economical dimensions of structures. (National Swedish Building Research) Document D7:1971 Stockholm.

Liptak, T et al, Combined membrane and bending theory applied to rectangles of window glass subjected to wind pressures (CSIRO). Victoria, Australien.

LOF Company, 1972, Glass & glazing, 8.26/Li.

Orr, L., 1956, Engineering properties of glass. (BRI Publication). Research Correlation Conference 1956, Publication 478.

PPG Industries, Glass product recommendations - structural technical service report no.101.

Robertson, L.E. & Chen, P.W., 1967, Glass design and code implications for extremely tall buildings (Building Research) BR 1967, 4(3).

SBN 1975, 1975, Svensk Byggnorm (Statens Planverk) Stockholm.

Timoshenko, S. & Woinowsky-Krieger, S., 1959, Theory of plates and shells (McGraw Hill), New York.

Weibull, W., 1939, A statistical theory of the strength of materials (Ingeniörsvetenskapsakademiens Handlingar) IVA No 151, Stockholm.

TAB.1 Medelvärde ( $m$ ) och variationskoefficient ( $C_v$ ) för brottrycket och nedböjningen för olika upplagsfall och dragmaskiner.

$100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$

D = fritt upplagd, leverans 721027

E = fritt upplagd, leverans 730427

F = fritt upplagd, leverans 730427, slipad kant

G = elastiskt inspänd, leverans 730427

H = fast inspänd, leverans 730427

Typ	Antal	Brottryck (kPa)		Nedböjning (mm)	
		$m$	$C_v$	$m$	$C_v$
D1A	7	5.69	0.234	19.9	0.111
D1B	9	6.16	0.135	22.8	0.057
D3A	12	5.75	0.152	22.0	0.055
D3B	11	6.54	0.120	22.9	0.043
D6A	14	4.82	0.147	20.0	0.070
D6B	14	4.37	0.140	18.9	0.075
E3A	17	4.88	0.131	19.7	0.057
E6A	15	5.60	0.100	20.6	0.042
F6C	20	4.68	0.121	19.7	0.059
G6B	19	6.03	0.107	21.6	0.050
H6C	19	5.32	0.113	18.7	0.053
Totalt	178	5.23	0.189	20.2	0.091

TAB.2 Nedböjningskurvan för fritt upplagd glasruta 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk - från sidosnitt till mittpunkten approximerad med ekvationen  $y = Ax^4 + Bx^2$  där

$$A(\delta_0) = 0.39 \delta_0^2 + 1.38 \delta_0$$

$$B(\delta_0) = - 0.098 \delta_0^2 + 3.65 \delta_0$$

X/L	Uppmätta värden	Ekv.	Differans
0.1	0.28	0.34	+0.06
0.2	1.57	1.66	-0.09
0.3	4.69	4.62	-0.07
0.4	11.45	10.40	-1.05
0.5	20.63	20.65	+0.02

TAB.3 Spänningsfördelning längs diagonalen för fritt upplagd glasruta 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk. Beräkningen utförd med uppmätta nedböjningsvärden insatta i platttekvationen.  $x$  = avstånd från mittpunkten längs diagonalen. Värdet inom parentes är spänningsbidraget från riktningen vinkelrät mot diagonalen.

Belastning kPa	Spänning MPa					
	$\sigma_{x=0}$	$\sigma_{x=200}$	$\sigma_{x=300}$	$\sigma_{x=400}$	$\sigma_{x=500}$	$\sigma_{x=600}$
6	4.1	7.3(2.5)	8.5(3.2)	6.7(3.7)	1.6(0.1)	-4.5(-5.0)
10	4.6	10.7(3.5)	8.7(4.5)	14.3(5.9)	5.0(1.5)	-5.6(-6.9)
16	4.9	14.6(5.0)	13.1(5.6)	17.3(8.7)	8.5(3.9)	-3.7(-6.4)
20	5.2	17.1(5.1)	18.7(6.9)	21.7(9.7)	13.8(6.1)	-2.0(-6.0)
26	5.7	15.6(6.0)	17.6(8.0)	21.1(10.9)	16.5(8.4)	2.4(-3.7)
30	6.3	13.5(6.0)	19.1(8.4)	25.3(12.1)	20.0(10.0)	3.9(-3.0)
36	5.7	14.1(6.9)	21.2(9.4)	24.5(12.5)	23.5(12.0)	9.9(0.5)

TAB.4 Sidornas inbuktning för mittpunktlinjen samt diagonalen på grund av nedböjningen av glasrutan 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk. Siffrorna gäller den sammanlagda inbuktningen längs mittpunktlinjen eller diagonalen för de två motstående sidorna.

Beräkningen är genomförd dels med en numerisk metod för uppmätta nedböjningsdata, dels med två antagna kurvor: andragskurva

$$y = \frac{4 \delta_0 X}{L} \left(1 - \frac{X}{L}\right)$$

samt en linjär kurva (approximativ metod)

$$y = \delta_0 \quad 200 \leq X \leq 800$$

$$y = \frac{\delta_0}{200} X \quad 0 \leq X \leq 200$$

$$y = \frac{-\delta_0}{200} X - 5 \delta_0 \quad 800 \leq X \leq 1000$$

där

$X$  = avstånd från kanten (mm)

$y$  = nedböjning (mm)

$\delta_0$  = mittnedböjning (mm)

$L$  = plattans bredd (mm)

Belastning kPa	Numeriskt ber. mittpunktlinje	Numeriskt ber. diagonal	Andragskurva Mittpunkts- linje	Approximativ metod Mittpunkts- linje
1	0.17	0.13	0.16	0.20
2	0.40	0.29	0.36	0.36
3	0.65	0.46	0.56	0.71
4	0.88	0.62	0.76	0.95
5	1.13	0.78	0.95	1.19
6	1.39	0.95	1.14	1.42

TAB.5 Medelhållfasthetens och variationskoefficientens variation med antalet provade rutor.

Format	Antal n	Brottryck (kPa)			
		m	m <sub>akum</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>v,akum</sub>
E1000x1000x3					
1-5	5	6.58	6.58	0.166	0.166
6-10	5	4.70	5.64	0.169	0.237
11-15	5	5.07	5.45	0.179	0.222
21-25	5	5.30	5.41	0.228	0.218
E1000x1000x4					
1-5	5	7.61	7.61	0.211	0.211
6-10	5	7.91	7.76	0.112	0.159
11-15	5	9.14	8.22	0.192	0.185
16-17	2	9.68	8.40	0.202	0.189
21-25	5	7.68	8.23	0.219	0.194
E1000x1000x5					
1-5	5	10.03	10.03	0.300	0.300
6-10	5	12.08	11.06	0.166	0.239
11-15	5	10.38	10.83	0.049	0.200
16-20	5	10.83	10.83	0.206	0.196
21-25	5	9.00	10.47	0.145	0.200
E1000x1000x6					
1-5	5	14.62	14.62	0.091	0.091
6-10	5	10.91	12.76	0.184	0.198
11-15	5	14.30	13.28	0.232	0.211
16-18	3	12.32	13.12	0.234	0.210
21-25	5	10.46	12.54	0.233	0.228
E1400x1400x3					
1-5	5	2.99	2.99	0.154	0.154
6-10	5	2.48	2.74	0.260	0.216
11-15	5	2.84	2.77	0.164	0.194
16-20	5	2.57	2.72	0.092	0.177
21-25	5	2.12	2.60	0.404	0.233
E1400x1400x4					
1-5	5	4.57	4.57	0.191	0.191
6-10	5	3.84	4.21	0.182	0.200
11-15	5	4.01	4.14	0.199	0.194
16-20	5	3.36	3.94	0.083	0.199
21-24	4	4.64	4.06	0.144	0.196
E1400x1400x5					
1-5	5	5.15	5.15	0.061	0.061
6-10	5	6.48	5.82	0.097	0.145
11-15	5	6.04	5.90	0.263	0.185
16-20	5	4.99	5.67	0.234	0.203
21-25	5	5.23	5.58	0.201	0.201

TAB.5 (forts.)

Format	Antal n	Brottryck (kPa)			
		m	m <sub>akum</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>v,akum</sub>
E1400x1400x6					
1-5	5	6.24	6.24	0.117	0.117
6-10	5	6.11	6.17	0.053	0.087
11-15	5	5.31	5.89	0.143	0.124
16-20	5	6.72	6.09	0.173	0.148
21-25	5	6.16	6.11	0.140	0.143
E1700x1700x3					
1-5	5	1.44	1.44	0.408	0.408
6-10	5	1.58	1.51	0.277	0.325
11-15	5	1.52	1.51	0.253	0.295
16-20	5	1.67	1.55	0.191	0.268
21-25	5	2.06	1.66	0.113	0.263
E1700x1700x4					
1-5	5	2.95	2.95	0.077	0.077
6-10	5	2.99	2.97	0.094	0.081
11-15	5	3.02	2.99	0.072	0.076
16-20	5	3.05	3.00	0.150	0.096
21-25	5	2.97	3.00	0.056	0.088
E1700x1700x5					
1-5	5	3.78	3.78	0.190	0.190
6-10	5	4.78	4.28	0.054	0.171
11-15	5	3.17	3.91	0.133	0.212
16-20	5	3.88	3.90	0.124	0.191
21-25	5	3.47	3.82	0.091	0.183
E1700x1700x6					
1-5	5	4.40	4.40	0.198	0.198
6-10	5	4.22	4.31	0.159	0.173
11-15	5	4.00	4.21	0.126	0.159
16-20	5	5.14	4.44	0.115	0.170
21-25	5	3.53	4.26	0.122	0.187
E 710x1410x3					
1-5	5	5.13	5.13	0.178	0.178
6-10	5	5.61	5.37	0.171	0.171
11-15	5	5.42	5.39	0.208	0.177
16-20	5	4.65	5.21	0.200	0.188
E 710x1410x4					
1-5	5	9.23	9.23	0.077	0.077
6-10	5	7.14	8.18	0.222	0.196
11-15	5	9.13	8.51	0.022	0.161
16-20	5	9.53	8.76	0.093	0.151
E 710x1410x5					
1-5	5	10.41	10.41	0.222	0.222
6-10	5	9.32	9.86	0.185	0.203
11-15	5	9.50	9.74	0.266	0.216
16-20	5	11.57	10.19	0.194	0.219

TAB.5 (forts.)

Format	Antal n	Brottryck (kPa)			
		m	m <sub>akum</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>v,akum</sub>
E 710x1410x6					
1-5	5	9.85	9.85	0.354	0.354
6-10	5	9.35	9.59	0.065	0.247
11-15	5	9.67	9.62	0.215	0.229
16-20	5	9.04	9.48	0.148	0.212
E 580x1730x3					
1-5	5	5.36	5.36	0.379	0.379
6-10	5	3.76	4.56	0.162	0.361
11-15	5	4.32	4.48	0.116	0.302
16-20	5	5.09	4.63	0.165	0.270
E 580x1730x4					
1-5	5	7.48	7.48	0.239	0.239
6-10	5	6.95	7.21	0.115	0.185
11-15	5	7.68	7.37	0.098	0.158
16-20	5	5.14	6.81	0.137	0.212
E 580x1730x5					
1-5	5	11.59	11.59	0.260	0.260
6-10	5	8.71	10.15	0.073	0.251
11-15	5	9.85	10.05	0.201	0.229
16-20	5	11.59	10.43	0.147	0.214
E 580x1730x6					
1-5	5	9.73	9.73	0.284	0.284
6-10	5	9.96	9.85	0.096	0.198
11-15	5	10.17	9.96	0.126	0.173
16-20	5	11.43	10.32	0.265	0.206
E 500x2000x3					
1-5	5	3.29	3.29	0.204	0.204
6-10	5	3.49	3.38	0.145	0.169
11-15	5	5.08	3.95	0.189	0.272
16-20	5	3.90	3.94	0.173	0.247
E 500x2000x4					
1-5	5	5.95	5.95	0.145	0.145
6-10	5	6.62	6.29	0.183	0.168
11-15	5	5.47	6.01	0.065	0.158
16-20	5	5.55	5.90	0.074	0.146
E 500x2000x5					
1-5	5	9.61	9.61	0.081	0.081
6-10	5	7.24	8.43	0.098	0.170
11-15	5	8.30	8.38	0.120	0.152
16-20	5	9.94	8.77	0.110	0.158
E 500x2000x6					
1-5	5	12.65	12.65	0.050	0.050
6-10	5	12.69	12.67	0.213	0.146
11-15	5	14.73	13.36	0.149	0.160
16-20	5	11.23	12.83	0.169	0.175

TAB.5 (forts.)

Format	Antal n	Brottryck (kPa)			
		m	m <sub>akum</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>v,akum</sub>
E1000x1000x6					
1-35	36	14.08	14.08	0.226	0.226
41-79	39	14.36	14.22	0.223	0.223
81-119	39	11.54	13.30	0.134	0.226
121-155	35	10.88	12.73	0.297	0.253
S1000x1000x3					
1-1	8	5.64	-	0.183	-
1-2	8	4.94	-	0.123	-
1-1+2	16	5.29	-	0.169	-
3-1	6	4.54	-	0.098	-
3-2	6	4.10	-	0.108	-
3-1+2	12	4.32	-	0.111	-
4-1	12	5.28	-	0.113	-
4-2	11	5.27	-	0.132	-
4-1+2	23	5.28	-	0.121	-
5-1	14	5.12	-	0.165	-
5-2	13	5.06	-	0.237	-
5-1+2	27	5.09	-	0.200	-
F1000x1000x3					
1-30	28	7.26	7.26	16.2	16.2
31-60	30	7.76	7.51	22.0	19.7
61-90	30	8.18	7.74	21.2	20.6
91-120	29	6.91	7.53	32.2	23.8
121-151	31	8.16	7.66	21.8	23.6
F1000x1000x4					
1-4	4	11.91	11.91	9.2	9.2
5-8	4	14.25	13.08	19.6	17.8
9-12	4	16.09	14.09	13.5	18.7
13-16	4	10.81	13.26	15.9	21.1
17-20	4	13.53	13.32	22.0	20.7
21	1	17.30	13.51	-	20.9
F1000x1000x5					
1-4	4	15.26	15.26	6.1	6.1
5-8	4	14.43	14.84	17.7	12.4
9-12	3	14.00	14.62	27.5	16.0
13-16	-	-	-	-	-
17-20	4	14.03	14.46	18.9	16.2
21	1	19.93	14.80	-	17.9
F1000x1000x6					
1-4	4	28.39	28.39	15.2	15.2
5-8	4	21.37	24.89	15.8	20.9
9-12	4	20.01	23.36	16.1	21.8
13-16	4	15.70	21.37	17.8	26.4
17-20	4	14.98	20.09	21.8	28.9
21	1	18.13	20.00	-	28.4

TAB.5 (forts.)

Format	Antal	Brottryck (kPa)				
		m	m <sub>akum</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>v,akum</sub>	
F 710x1410x3						
1-4	4	6.58	6.58	36.0	36.0	
5-8	4	6.63	6.61	29.3	30.4	
9-12	4	8.13	7.11	20.4	27.7	
13-16	4	6.88	7.05	37.9	29.1	
17-20	4	6.93	7.03	25.1	27.8	
21	1	4.59	6.92	-	28.6	
F 710x1410x4						
1-4	4	14.21	14.21	8.7	8.7	
5-8	4	15.08	14.65	17.0	13.1	
9-12	4	10.37	13.22	43.5	26.6	
13-16	4	6.54	11.56	22.3	37.1	
17-20	4	13.30	11.90	9.7	32.8	
21	1	15.22	12.06	-	32.2	
F 710x1410x5						
1-4	4	13.82	13.82	10.9	10.9	
5-8	4	14.86	14.34	10.6	10.7	
9-12	4	12.91	13.87	16.0	12.8	
13-16	-	-	-	-	-	
17-20	4	16.01	14.40	19.9	15.9	
21	1	11.95	14.25	-	16.1	
F 710x1410x6						
1-4	4	16.43	16.43	51.3	51.3	
5-8	4	24.53	20.47	39.2	46.0	
9-12	4	23.52	21.49	25.9	38.6	
13-16	4	14.06	19.63	18.6	40.4	
17-20	4	21.23	19.95	37.3	38.8	
21	1	9.94	19.47	-	40.4	
S1000x1000x3	Maskin 2-1		Maskin 2-2		Maskin 2-1+2	
	m <sub>akum</sub>	C <sub>v,akum</sub>	m <sub>akum</sub>	C <sub>v,akum</sub>	m <sub>akum</sub>	C <sub>v,akum</sub>
29/1	5.30		6.92		6.10	0.188
30/1	5.48	0.048	5.80	0.272	5.64	0.167
31/1	5.20	0.101	5.58	0.211	5.40	0.156
6/2	5.24	0.084	5.46	0.181	5.36	0.134
7/2	5.16	0.082	5.47	0.158	5.32	0.124
10/2	5.42	0.136	5.37	0.150	5.40	0.138
11/2	5.01	0.256	-	-	5.18	0.205
12/2	4.84	0.266	5.33	0.140	5.07	0.209
13/2	4.93	0.250	5.11	0.182	5.01	0.213
14/2	4.84	0.252	5.12	0.169	4.96	0.211
17/2	4.81	0.241	5.10	0.162	4.94	0.202
18/2	4.84	0.229	5.14	0.155	4.98	0.193
19/2	4.89	0.219	5.04	0.167	4.95	0.192
20/2	4.91	0.210	4.92	0.185	4.91	0.196
21/2	4.98	0.207	4.97	0.181	4.98	0.191

TAB.5 (forts.)

Format	Maskin 2-1		Maskin 2-2		Maskin 2-1+2	
	$m_{akum}$	$C_{v,akum}$	$m_{akum}$	$C_{v,akum}$	$m_{akum}$	$C_{v,akum}$
S1000x1000x3						
24/2	4.96	0.202	4.99	0.175	4.97	0.185
25/2	4.97	0.195	4.95	0.172	4.96	0.182
26/2	4.91	0.198	4.96	0.168	4.93	0.181
27/2	4.93	0.191	5.00	0.163	4.96	0.176
28/2	4.91	0.188	5.01	0.159	4.96	0.172
Format	Maskin 6-1		Maskin 6-2		Maskin 6-1+2	
	$m_{akum}$	$C_{v,akum}$	$m_{akum}$	$C_{v,akum}$	$m_{akum}$	$C_{v,akum}$
S1000x1000x3						
18/3	5.24	-	4.44	-	4.85	0.115
18/3	4.91	0.098	4.90	0.130	4.90	0.094
20/3	5.04	0.084	5.23	0.141	5.14	0.107
20/3	5.11	0.071	5.22	0.115	5.16	0.089
21/3	5.30	0.098	5.75	0.224	5.52	0.172
21/3	5.55	0.141	5.64	0.209	5.59	0.172
24/3	5.44	0.142	5.47	0.213	5.45	0.174
24/3	5.42	0.134	5.49	0.196	5.45	0.164
24/3	5.49	0.129	5.57	0.187	5.53	0.156
25/3	5.56	0.125	5.60	0.175	5.58	0.149
1/4	5.51	0.125	5.50	0.178	5.50	0.150
1/4	5.44	0.126	5.41	0.183	5.42	0.154
1/4	5.42	0.123	5.39	0.177	5.41	0.149
2/4	5.37	0.124	5.27	0.194	5.32	0.159
2/4	5.33	0.125	5.37	0.190	5.33	0.157
7/4	-	-	5.30	0.185	5.31	0.157

TAB.6 Antalet, medelnedböjning och variationskoefficient, skevhet samt konfidensintervall för  $\alpha = 0.10$  för samtliga provade format.

$$\text{Konfidensintervall} = \left[ m \pm t_{\alpha/2} (n-1) \frac{s}{\sqrt{n}} \right]$$

Format	Antal n	Nedböjning		Skevhet	Konfidensintervall för $\alpha=0.10$ (kPa)	
		m (mm)	$C_v$			
E1000x1000x3	20	22.2	9.6	0.0097	4.96	5.87
x4	22	21.3	9.0	0.334	7.65	8.81
x5	25	20.1	10.3	0.512	9.75	11.18
x6	23	19.3	12.3	-0.376	11.52	13.56
E1400x1400x3	25	24.8	13.3	-0.967	2.39	2.81
x4	24	25.1	10.1	0.469	3.79	4.34
x5	24	25.1	9.7	0.352	5.20	5.96
x6	25	23.3	8.6	0.234	5.82	6.41
E1700x1700x3	24	26.9	14.6	-0.616	1.51	1.81
x4	25	30.1	4.6	-0.051	2.90	3.08
x5	25	28.1	9.2	0.112	3.39	3.96
x6	22	27.6	9.1	0.040	3.99	4.52
E 710x1410x3	20	23.1	9.2	-0.116	4.82	5.58
x4	19	22.6	8.7	-0.920	8.25	9.27
x5	20	19.3	13.8	0.424	9.33	11.06
x6	20	15.5	14.1	1.152	8.70	10.25
E 580x1730x3	20	22.6	16.4	0.414	4.15	5.11
x4	20	19.1	15.4	0.342	6.25	7.37
x5	20	17.0	16.5	0.582	9.56	11.29
x6	20	12.4	18.4	0.105	9.50	11.14
E 500x2000x3	19	17.1	16.6	0.820	3.57	4.31
x4	20	12.2	14.4	1.177	5.56	6.23
x5	19	9.8	15.8	-0.025	8.24	9.30
x6	18	9.4	15.2	0.345	11.96	13.70
E1000x1000x6	149	19.7	11.9	0.776	12.29	13.17
S1000x1000x3	148	21.5	8.4	0.0905	4.97	5.21
M1000x1000x3	346	20.9	8.9	0.121	5.09	5.27
F1000x1000x3	146	24.9	11.9	0.045	7.42	7.91
x4	19	25.6	9.9	-0.024	12.45	14.57
x5	14	23.1	8.5	-0.266	13.65	15.96
x6	18	22.7	12.4	0.624	17.87	22.13
F1410x 710x3	21	26.6	14.5	-0.456	6.17	7.66
x4	20	26.3	16.6	-0.782	10.59	13.52
x5	16	24.0	7.6	0.651	13.25	15.25
x6	20	22.8	22.9	0.299	16.52	22.43

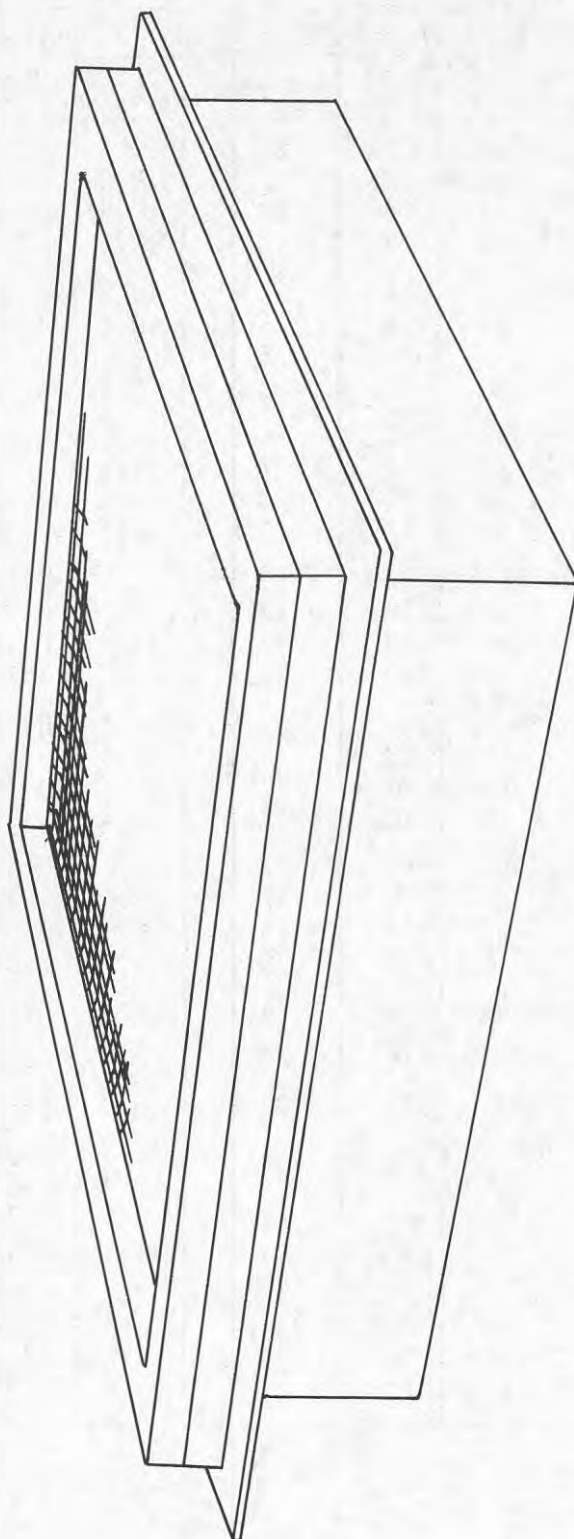


FIG.1 Undertryckslåda för simulering av vindbelastning på glasrutor av formatet 1000x1000 mm.

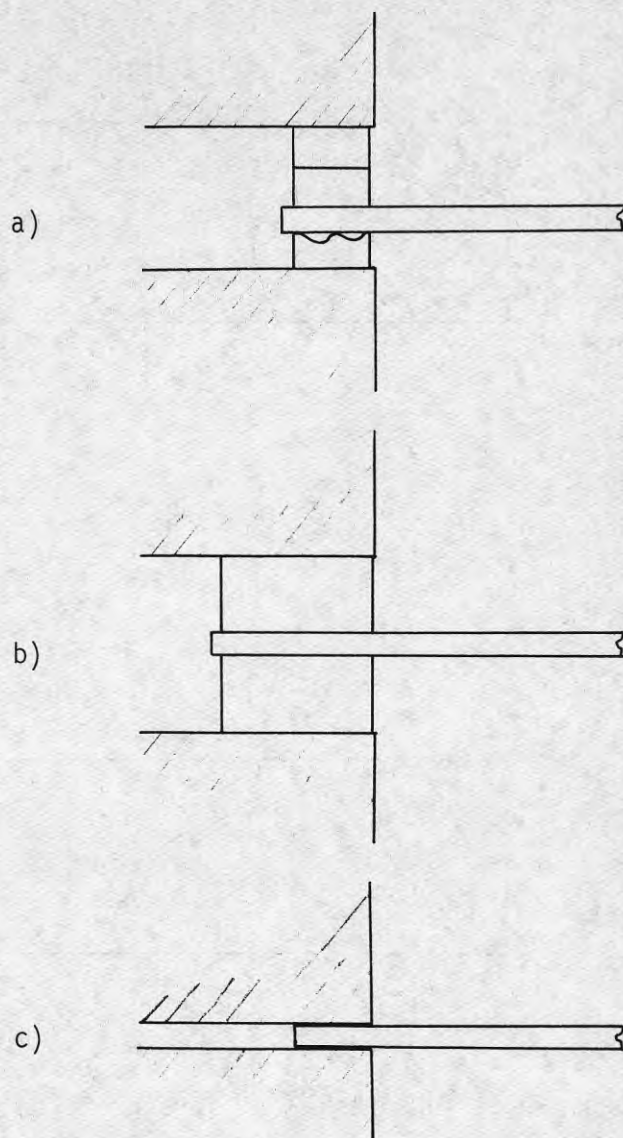


FIG.2 Upplagsförhållande för a) fritt upplagd, b) elastiskt inspänd och c) fast inspänd. Upplagslängd 10 mm för a) och c), 20 mm för b).

- a) 2 st 5x10 mm mycket mjuk list av cell-PVC (överst) samt Värnamo kronlist av EPDM-gummi (underst)
- b) Mycket styv massiv gummilist 10x20 mm
- c) Träupplag

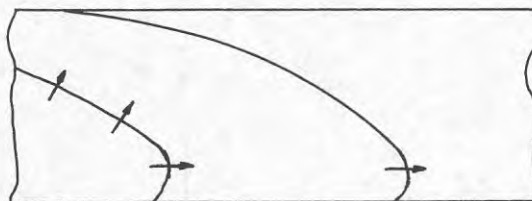


FIG.3 Revbensmärken för dels a) ett dragbrott dels b) ett böjbrott. Pilarna visar riktningen för brottets framåtskridande. För a) är dragspänningarna lika vid bägge ytorna medan för b) är det små dragspänningar vid övre ytan och stora dragspänningar vid den undre.

## sannolikhet för brott

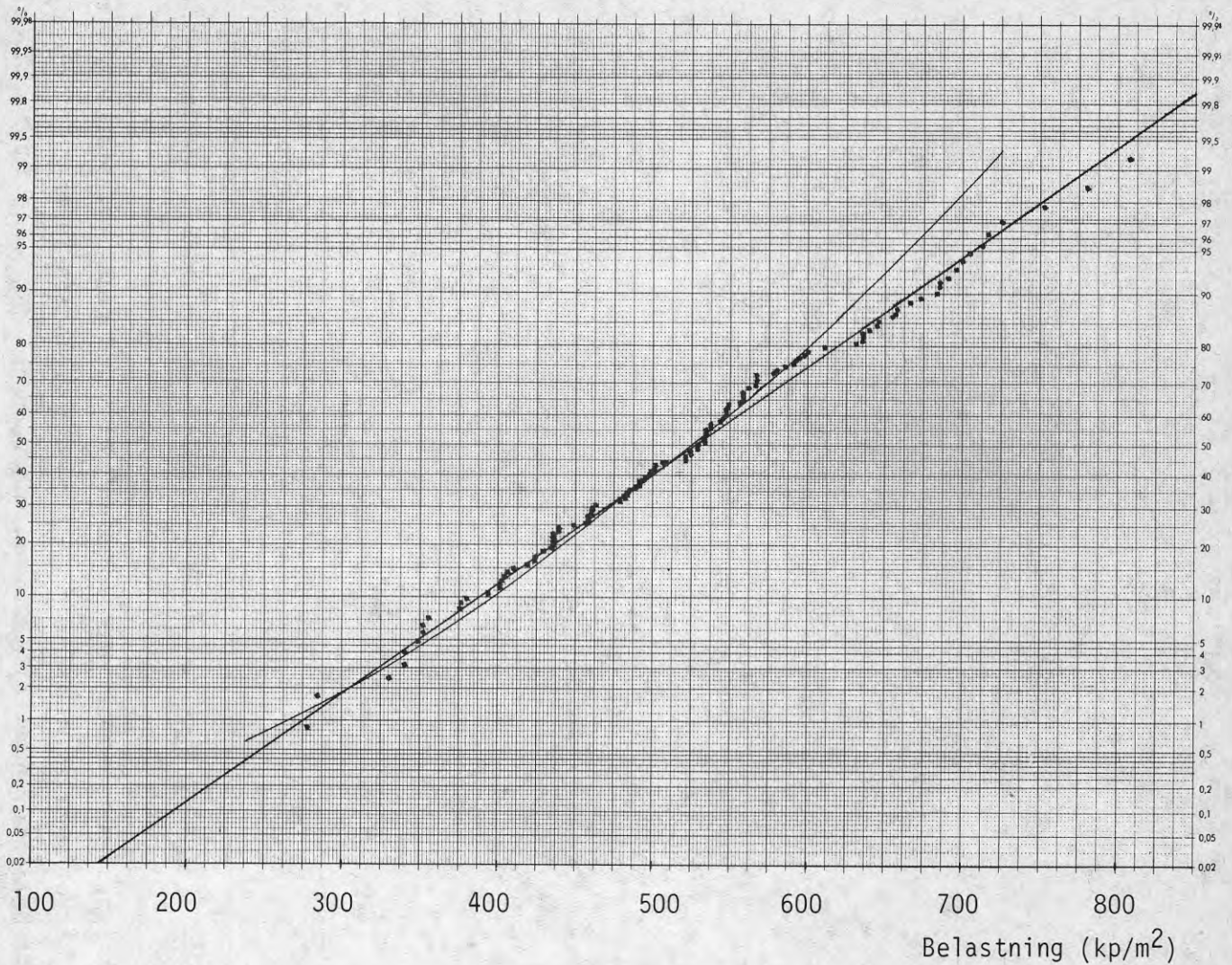


FIG.4 Fördelningsfunktioner för maskinglas 1000x1000x3, Emmaboda Glasverk, fritt upplagd. Normalfördelningen inlagd som en rät linje, samt Weibulls funktion enligt  $F(x)=1-\exp(-(\frac{q}{5.5})^{6.14})$ , där  $q$  är belastningen i kPa.  $x$  symboliserar ett brottförsök.  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

$$m = 5.18 \text{ kPa}$$

$$C_v = 20.5 \%$$

$$n = 120$$

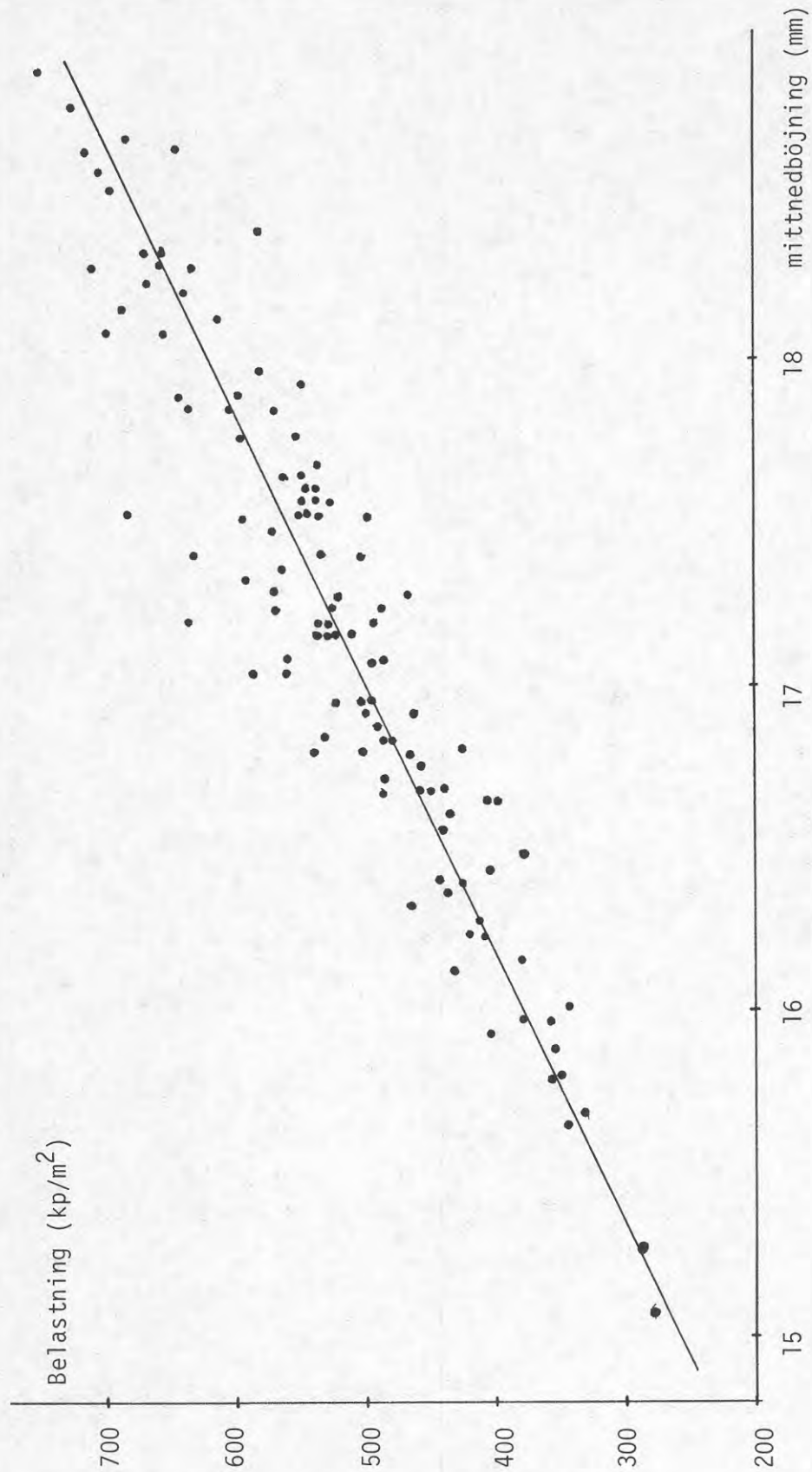


FIG.5 Brottbelastning som funktion av mittnedböjningen för maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk, fritt upplagt. Ekvationen  $q = 0.477 \delta_0 - 4.62$  med korrelationskoefficient  $r = 0.938$  dessutom inlagd, där  $q$  = brottbelastningen (kPa) och  $\delta_0$  = mittnedböjningen (mm).  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

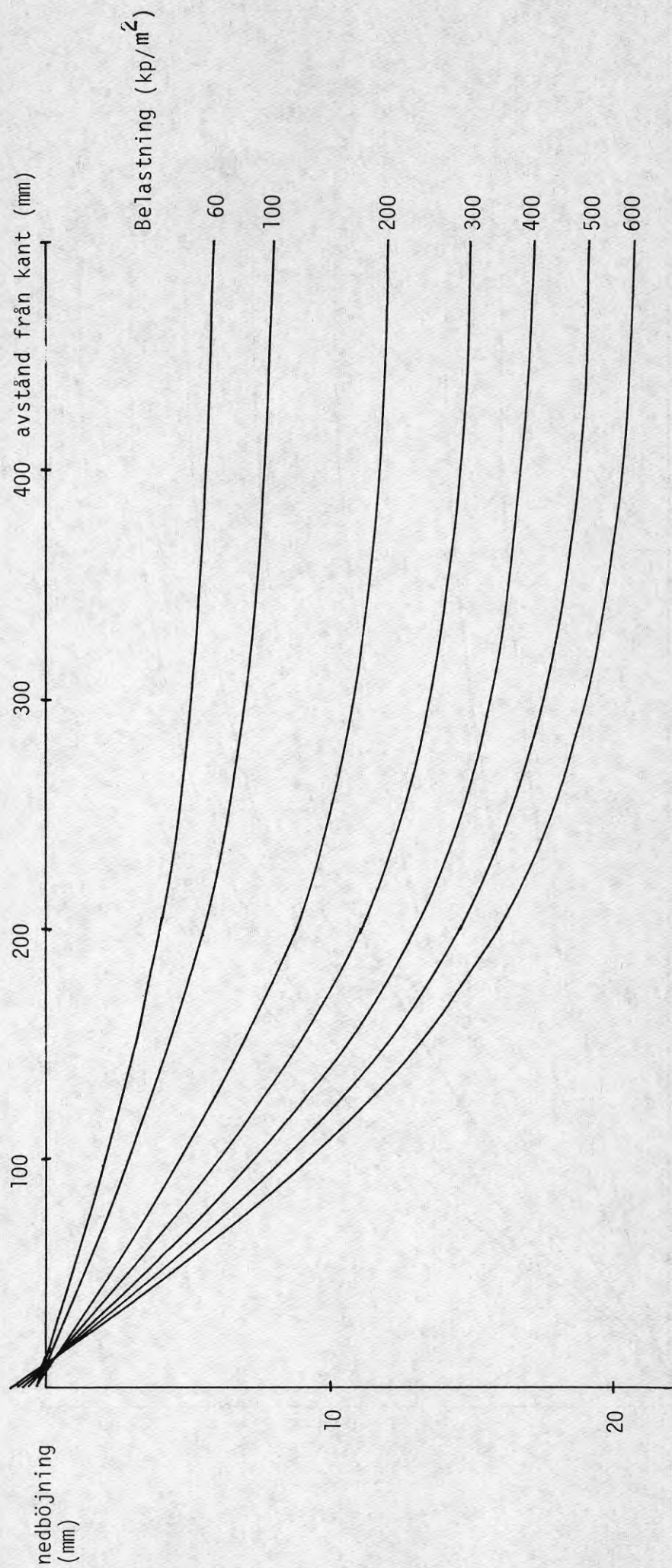


FIG.6 Nedböjningskurvor för fritt upplagd glasruta 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk, från sidomitt till mittpunkten för varierande belastningsnivåer. 100 kp/m<sup>2</sup> ≈ 1 kPa.

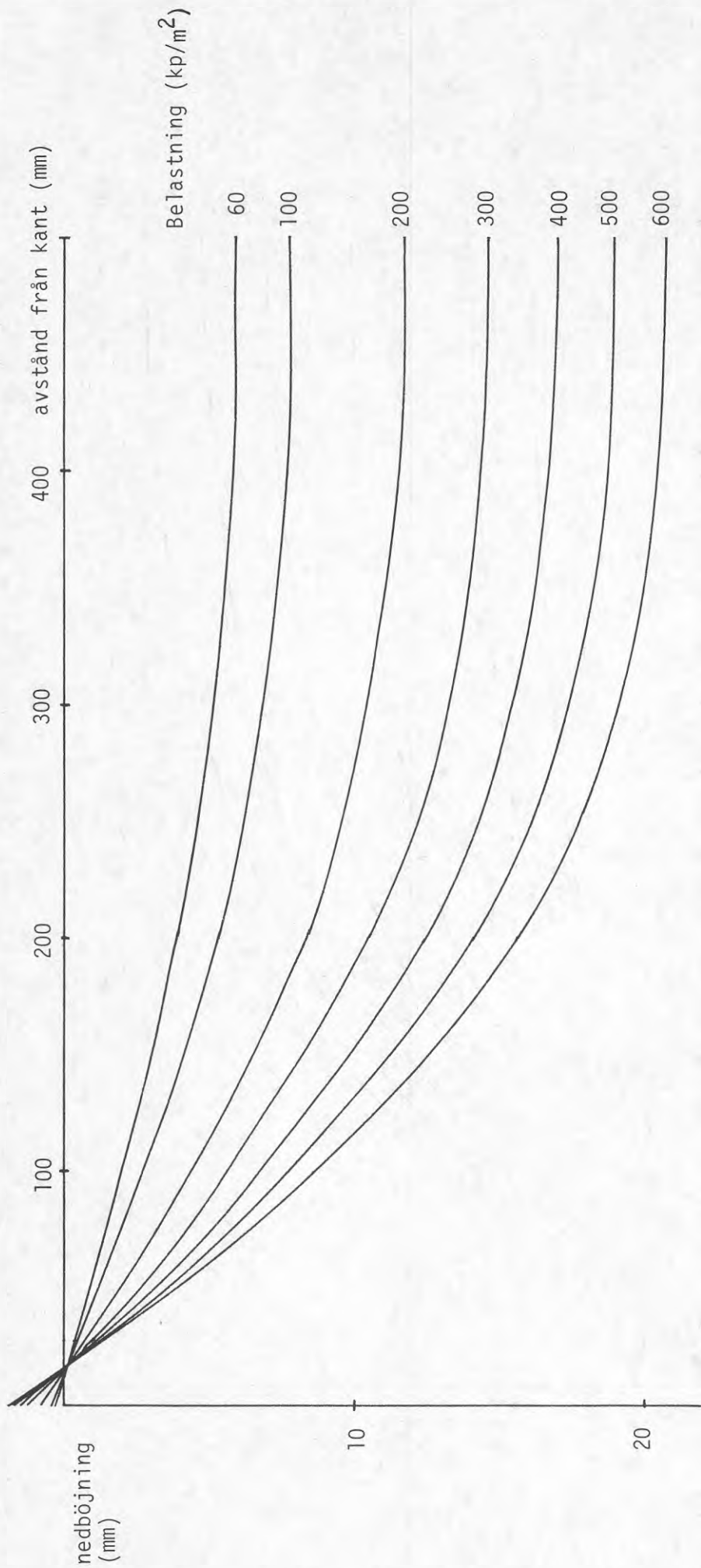


FIG. 7 Nedböjningskurvor för elastiskt inspänd glasruta 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk, från sidomitt till mittpunkten för varierande belastningsnivåer. 100 kp/m<sup>2</sup> ≈ 1 kPa.

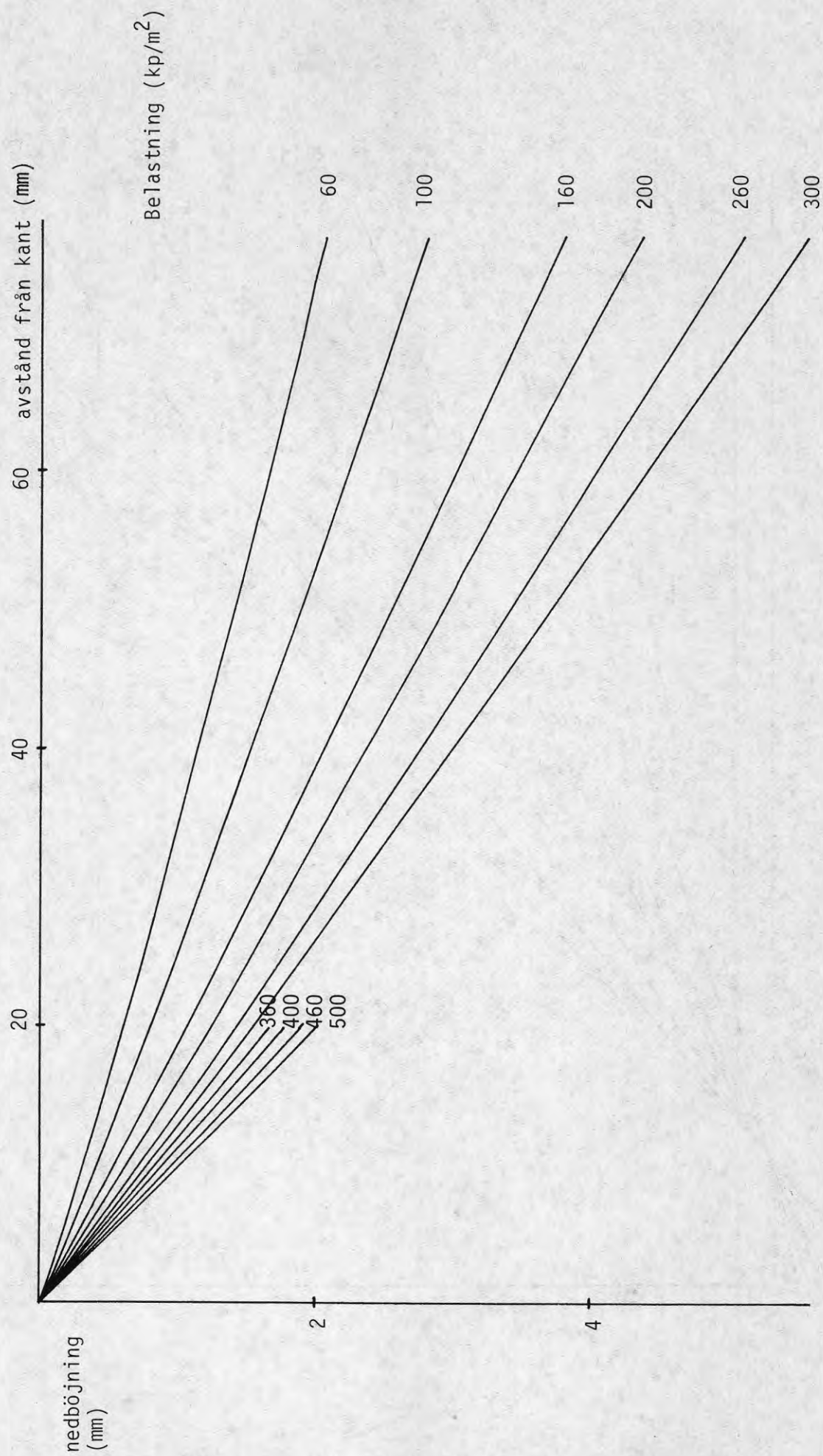


FIG.8 Upplagsnedböjning för fritt upplagd glasruta 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk, vid sidomitt för varierande belastningsnivåer. 100  $\text{kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

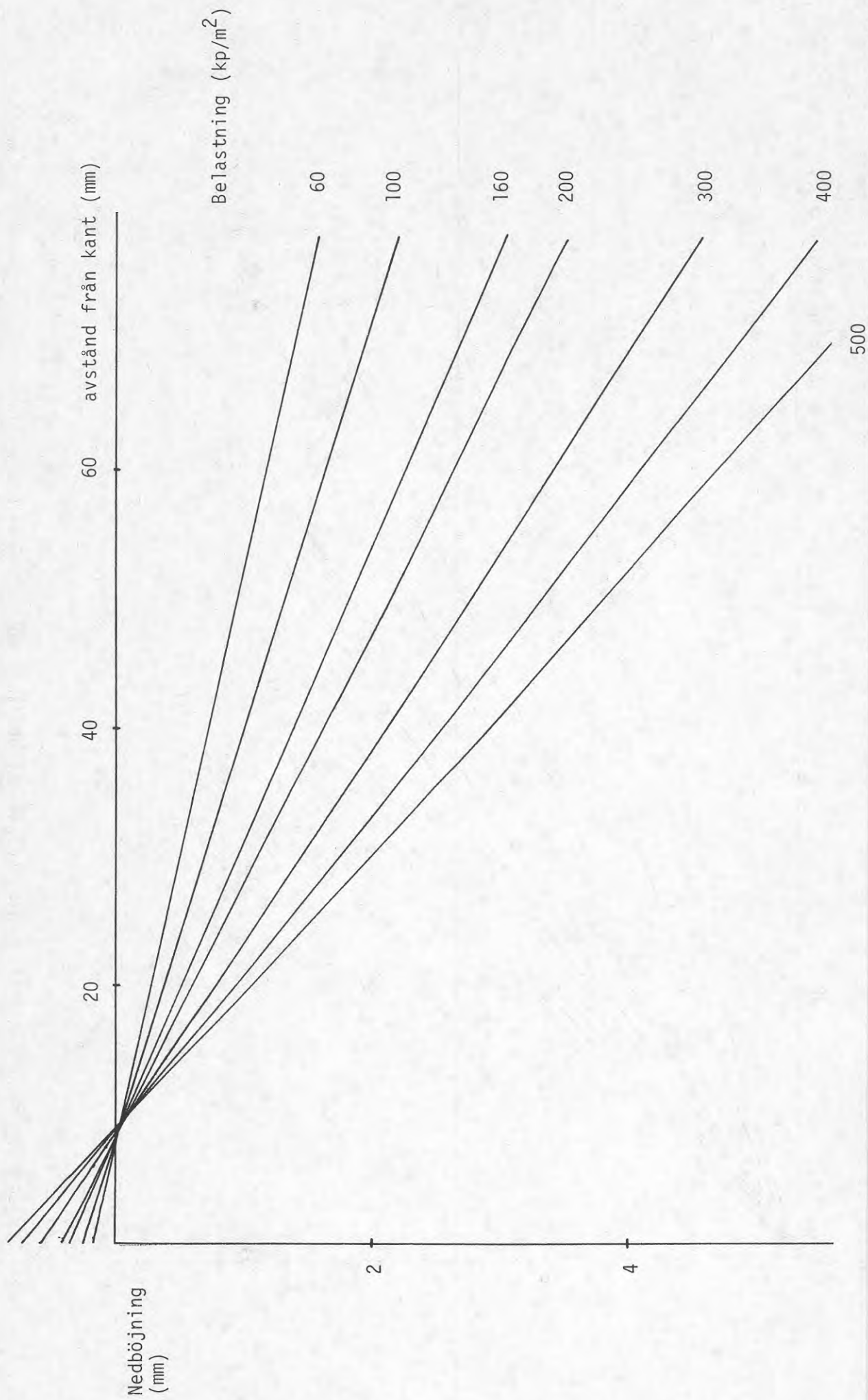


FIG.9 Upplagsnedböjning för elastiskt inspänd glasruta 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk, vid sidomitt för varierande belastningsnivåer. 100  $\text{kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

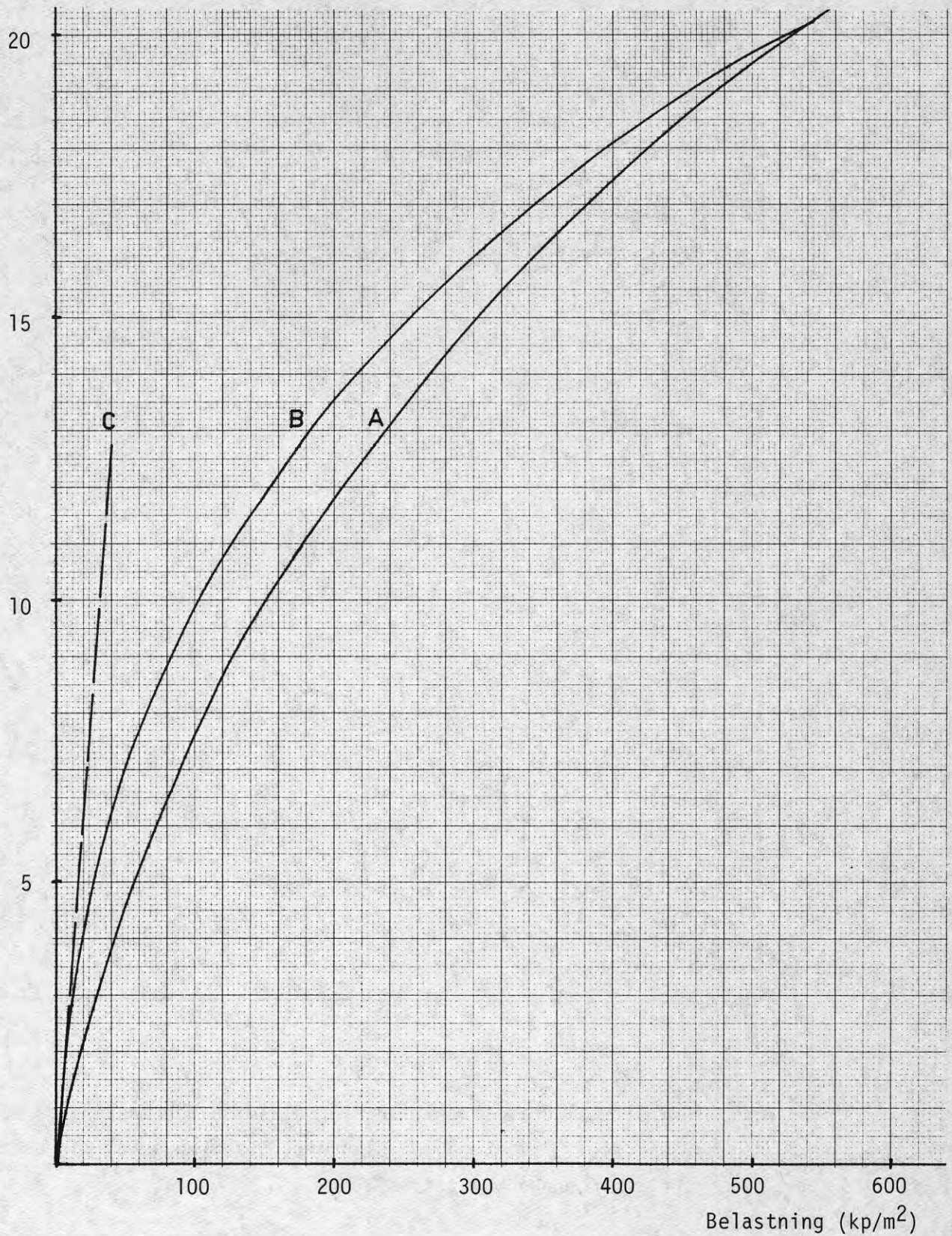


FIG.10 A) Nedböjningskurva för fritt upplagd glasruta 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk.

B) Ekvation enligt Timoshenko för platta med stora nedböjningar

$$\frac{q}{16E} = 1.37 \frac{\delta_0}{h} + A \left( \frac{\delta_0}{h} \right)^3$$

där  $A = 0.176$  (för detta försök)

C) Ekvation för platta med små nedböjningar

$$q = 22.0 \frac{\delta_0 E}{h}$$

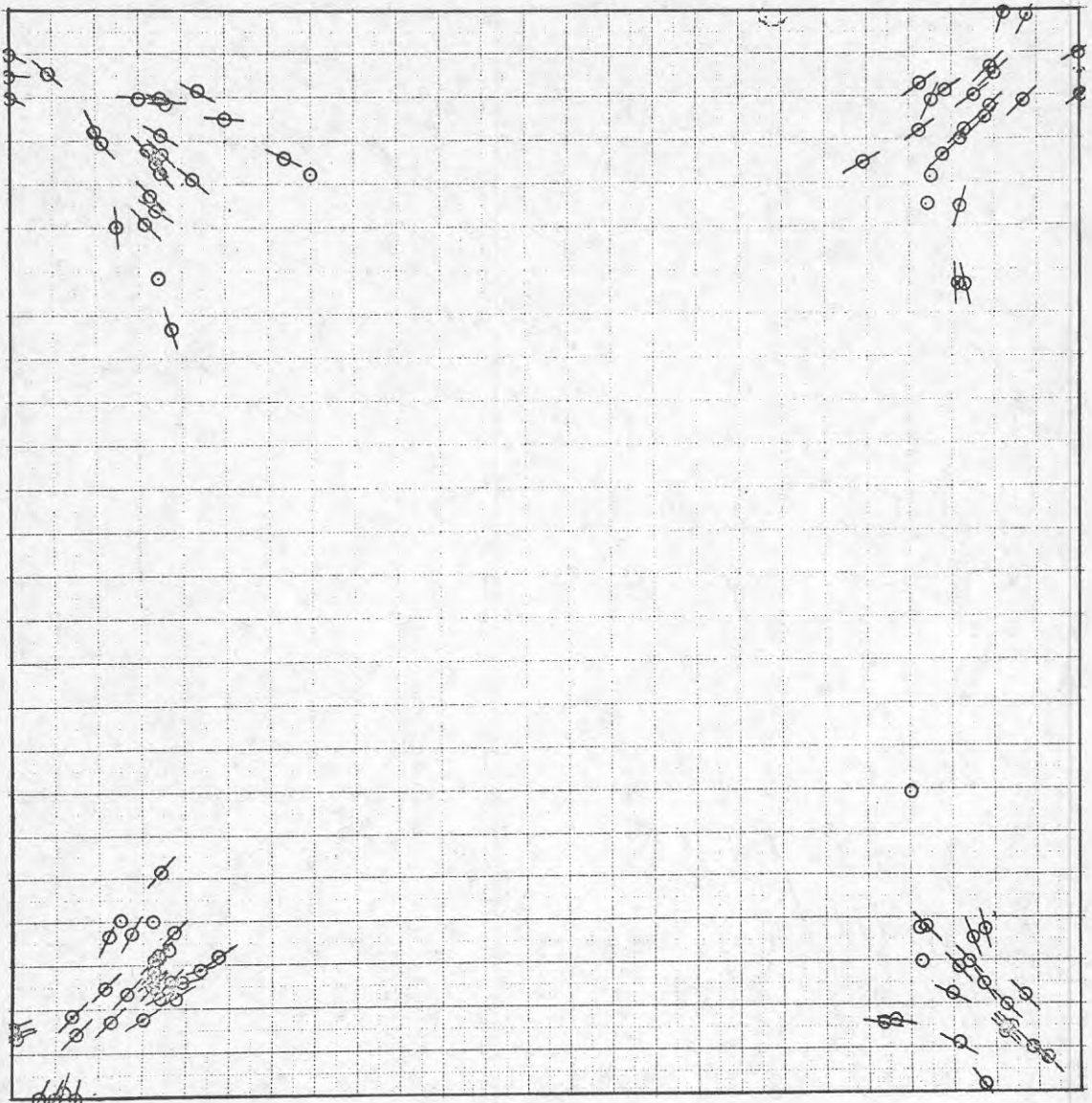


FIG.11 Brottställenas fördelning över glasytan för maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk. Strecken genom ringarna markerar riktningen på brottet.

Mittnedböjning  
(mm)      Nedböjningsvolym (cm<sup>3</sup>)

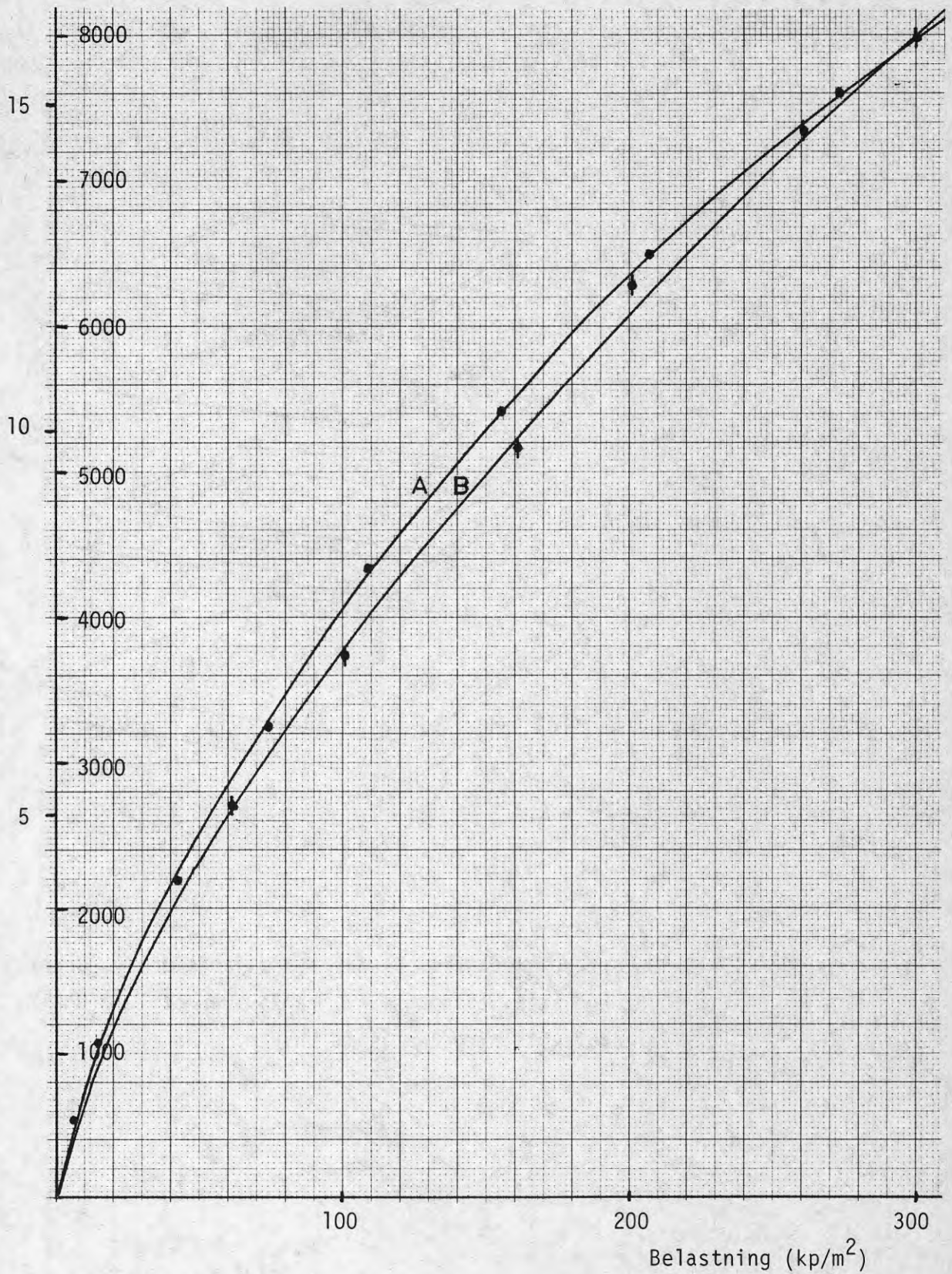


FIG.12 Nedböjningsvolymen (kurva B) samt mittnedböjningen (kurva A) som funktion av belastningen. Kurvorna är nästan parallella, dvs kvoten nedböjningsvolym (cm<sup>3</sup>)/mittnedböjning (mm) är approx.konstant (ca 490 - 500). 100 kp/m<sup>2</sup> ≈ 1 kPa.

- Mittnedböjning
- ♦ Nedböjningsvolym

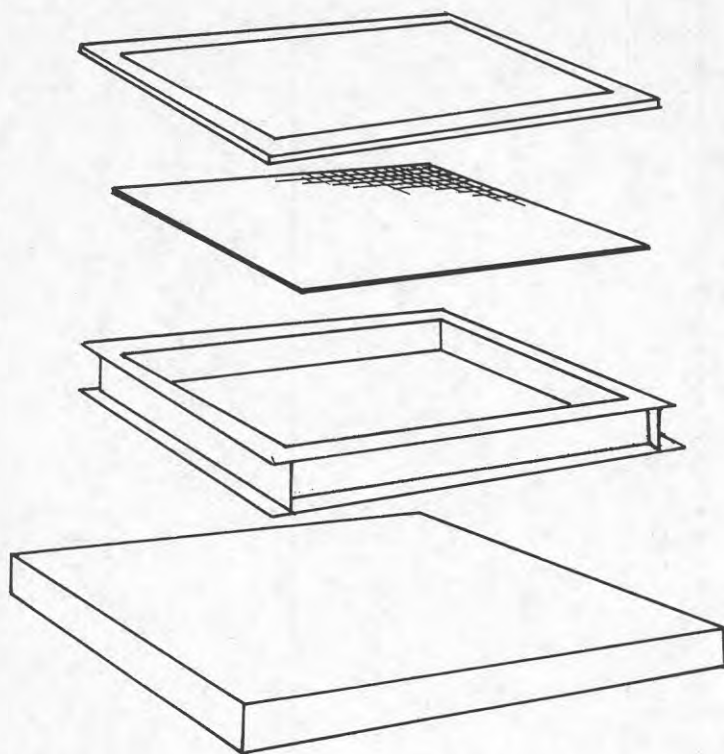


FIG.13 Undertryckslåda, som består av följande delar (underifrån räknat):  
Betongplatta, tätninglist, ram av U-profiler (UNP17), tätninglist,  
glasruta, tätninglist samt träram.

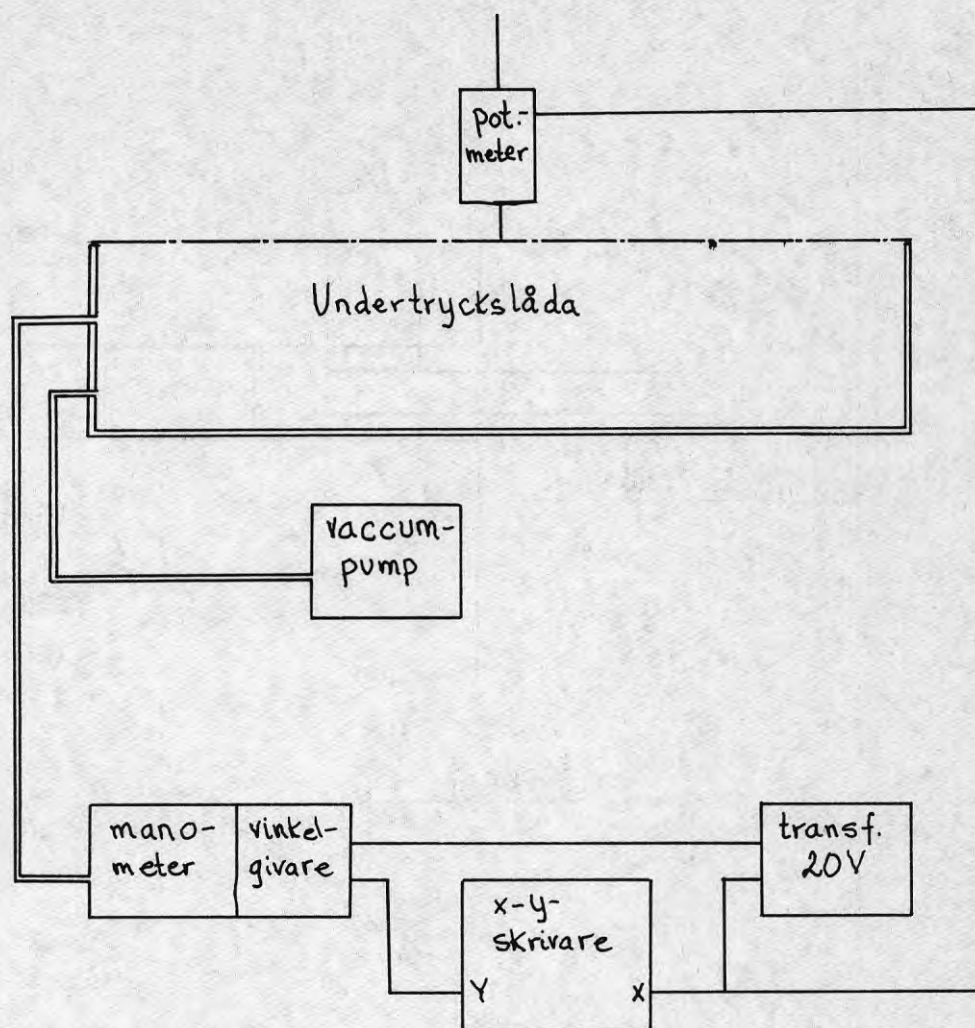


FIG.14 Principfigur över mätutrustningen för att mäta tryck-nedböjningsförloppet.

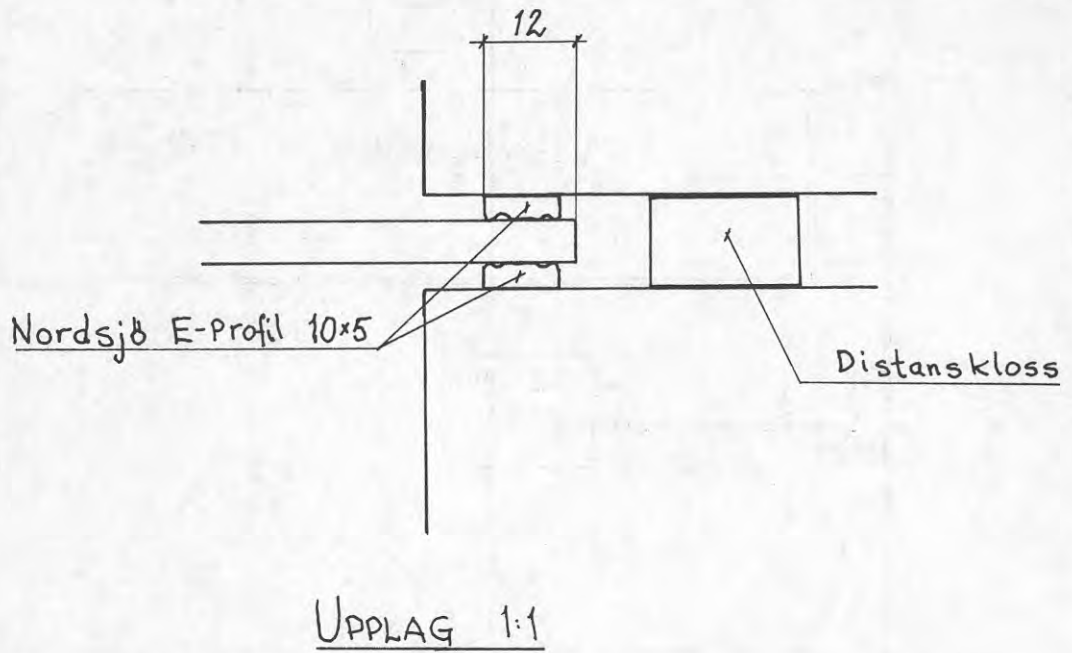


FIG.15 Upplagsförhållandet. Upplagslängden är 12 mm för samtliga format.  
Distansklossens tjocklek är lika med glasets tjocklek + 7 mm.

Format	Totalt antal	Tillverkningsvecka	Leveransvecka	Provningsvecka	Tillverkare
<u>Maskinglas</u>					
1000x1000x6	148	51/74-06/75	01/75-07/75	12/75-15/75	Emmaboda Glasverk
1000x1000x3	149	05/75-14/75	16/75	17/75-19/75	Scanglas
1000x1000x3,4,5,6	90	15/75-19/75	17/75-21/75	19/75-22/75	Emmaboda Glasverk
1400x1400x3,4,5,6	100	- " -	- " -	} 25/75+ 29/75-35/75	- " -
1700x1700x3,4,5,6	100	- " -	- " -		- " -
710x1410x3,4,5,6	80	- " -	- " -		- " -
580x1730x3,4,5,6	80	- " -	- " -		- " -
500x2000x3,4,5,6	80	- " -	- " -		- " -
<u>Floatglas</u>					
1000x1000x3	151	}	46/75+51/75+	} 48/75- 12/76	S:t Gobain (Overlei, Belgien eller Chantereine, Frankrike)
1000x1000x4	21		02/76+06/76+		
1000x1000x6	21		11/76+44/75		
710x1410x3,4,6	63				
1000x1000x5	16		47/75+51/75+	48/75-	S:t Gobain (För nr 1-12, S:t Roche Belgien samt för nr 17-21 Overlei Belgien eller Chantereine, Frankrike)
710x1410x5	17		03/76+11/76+ 44/75	12/76	

FIG.16 Sammanställning över provade typer av glas samt tillverkare.

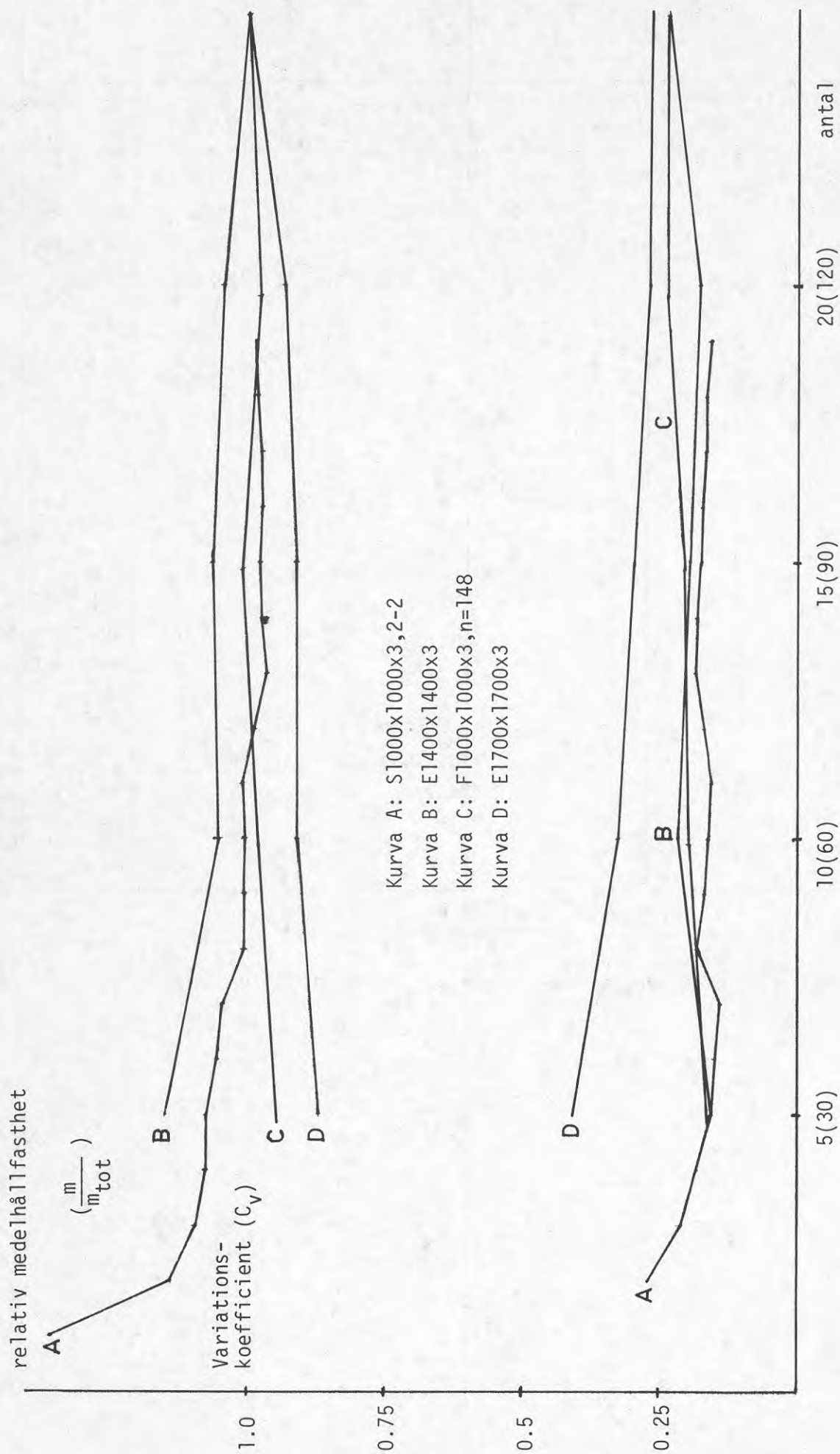


FIG.17 Kumulativt diagram över relativa medelhållfasthetens  $\frac{m}{m_{tot}}$  (övre kurvskaran) samt variationskoefficientens  $C_v$  (undre kurvskaran) variation med provningsperiodens längd. Tjocklek 3 mm. Antalet inom parentes på x-axeln hänför sig till F1000x1000x3, n=148.

relativ medelhållfasthet  $\frac{m}{m_{tot}}$

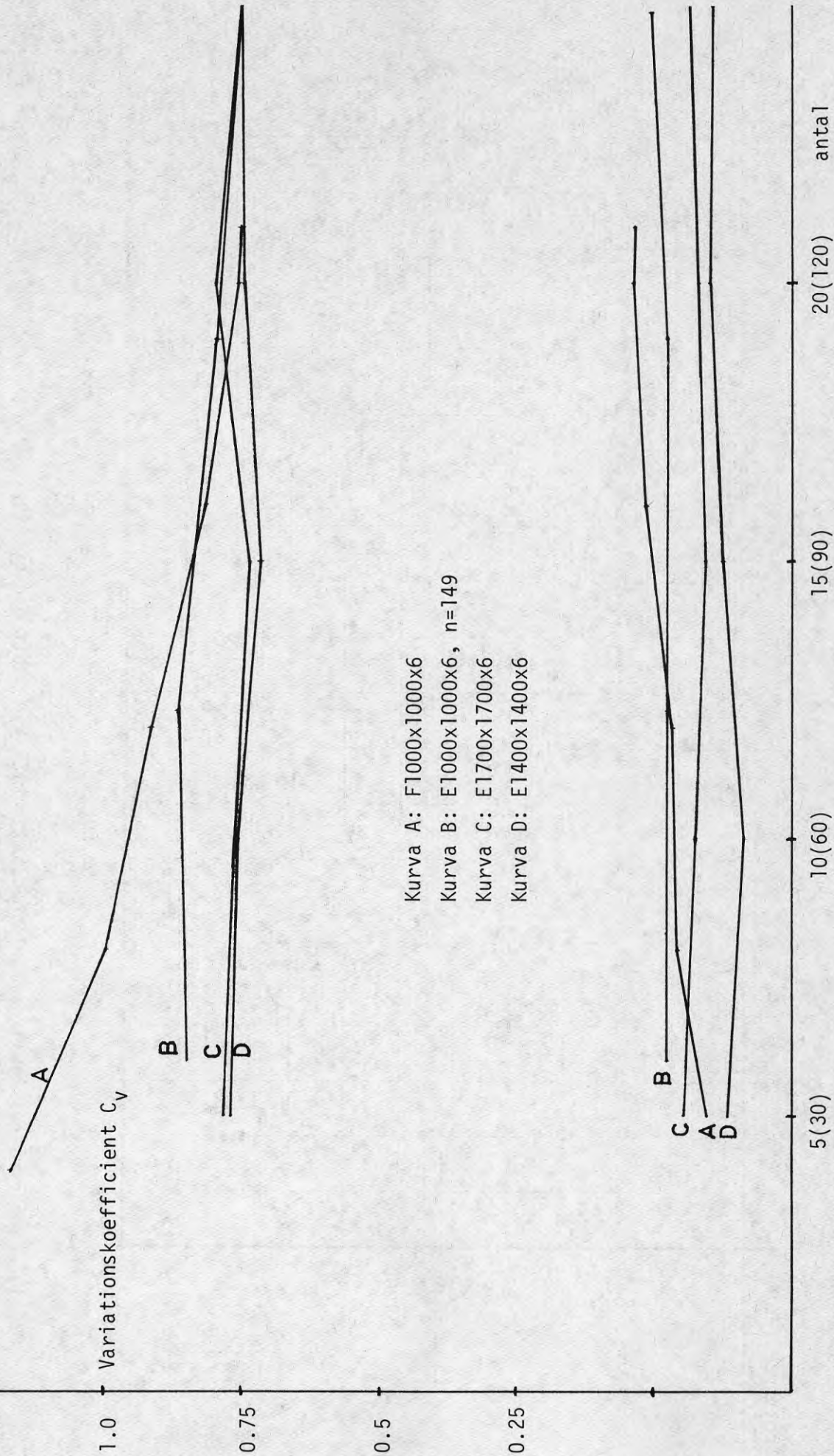


FIG.18 Kumulativt diagram över den relativa medelhållfasthetens  $\frac{m}{m_{tot}}$  (övre kurvskaran) samt variationskoefficientens  $C_v$  (undre kurvskaran) variation med provningsperiodens längd. Tjocklek 6 mm för samtliga format. Antalet inom parrentes på x-axeln hänför sig till E1000x1000x6, n=149.

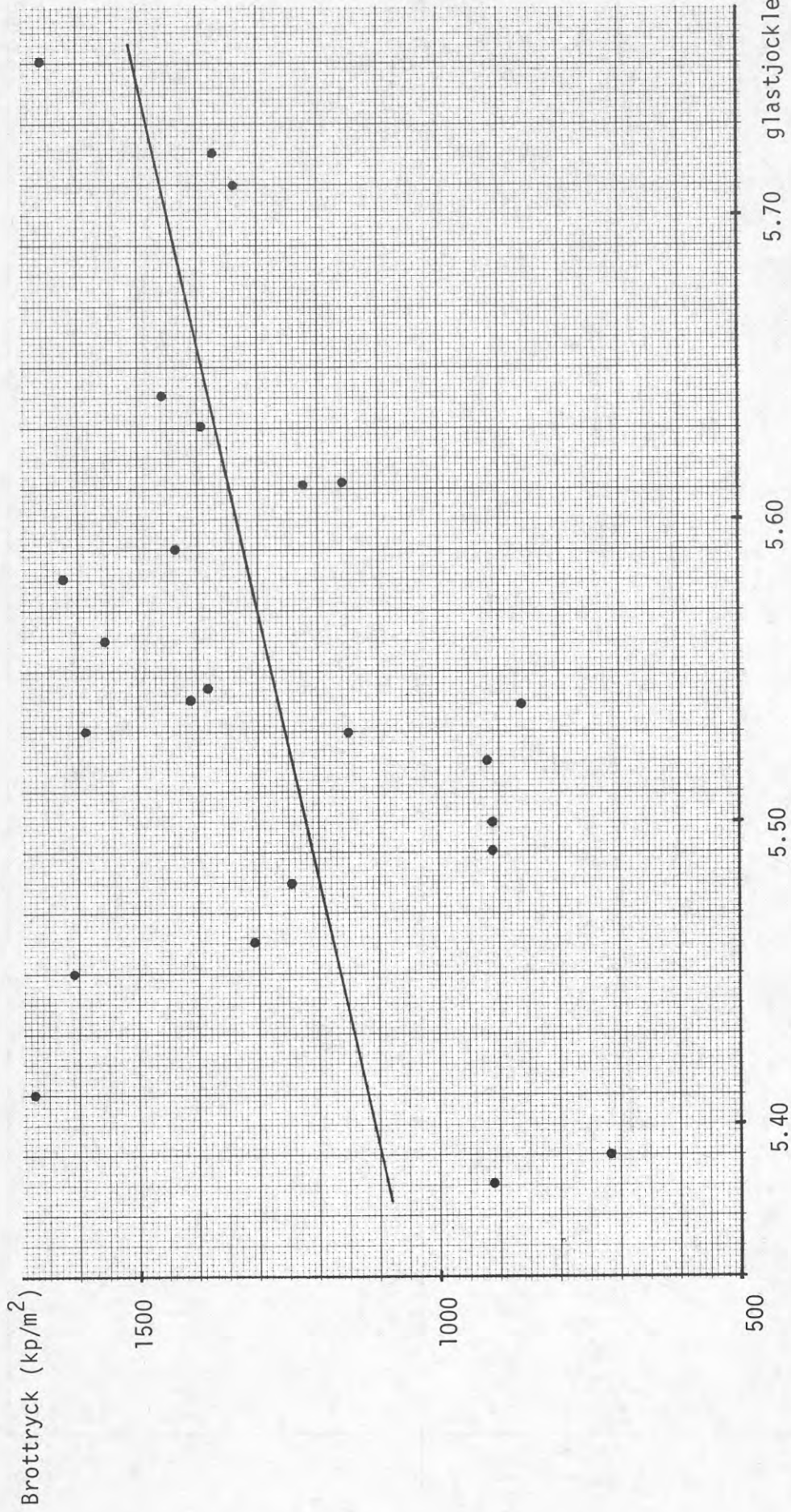


FIG. 19 Lineär regressionslinje mellan glastjocklek vid brott och brottbelastning för E1000x1000x6.  $q = 11.1$  h-49 med  $r=0.39$ .  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

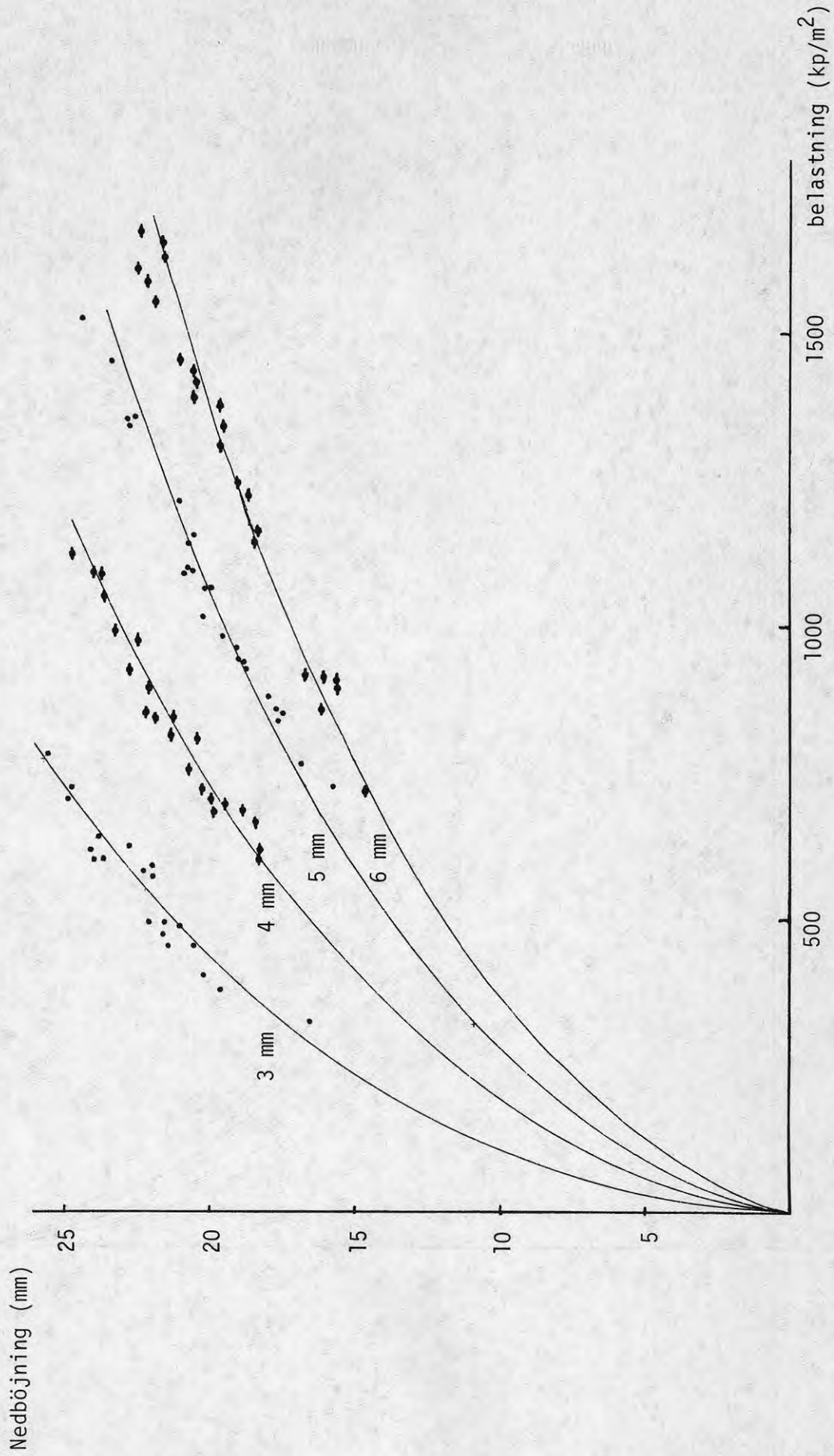


FIG.20 Samband mellan belastningsnivån och nedböjningen för E1000x1000, tjocklek 3,4,5 samt 6 mm. Punkterna markerar gjorda brottförsök.  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

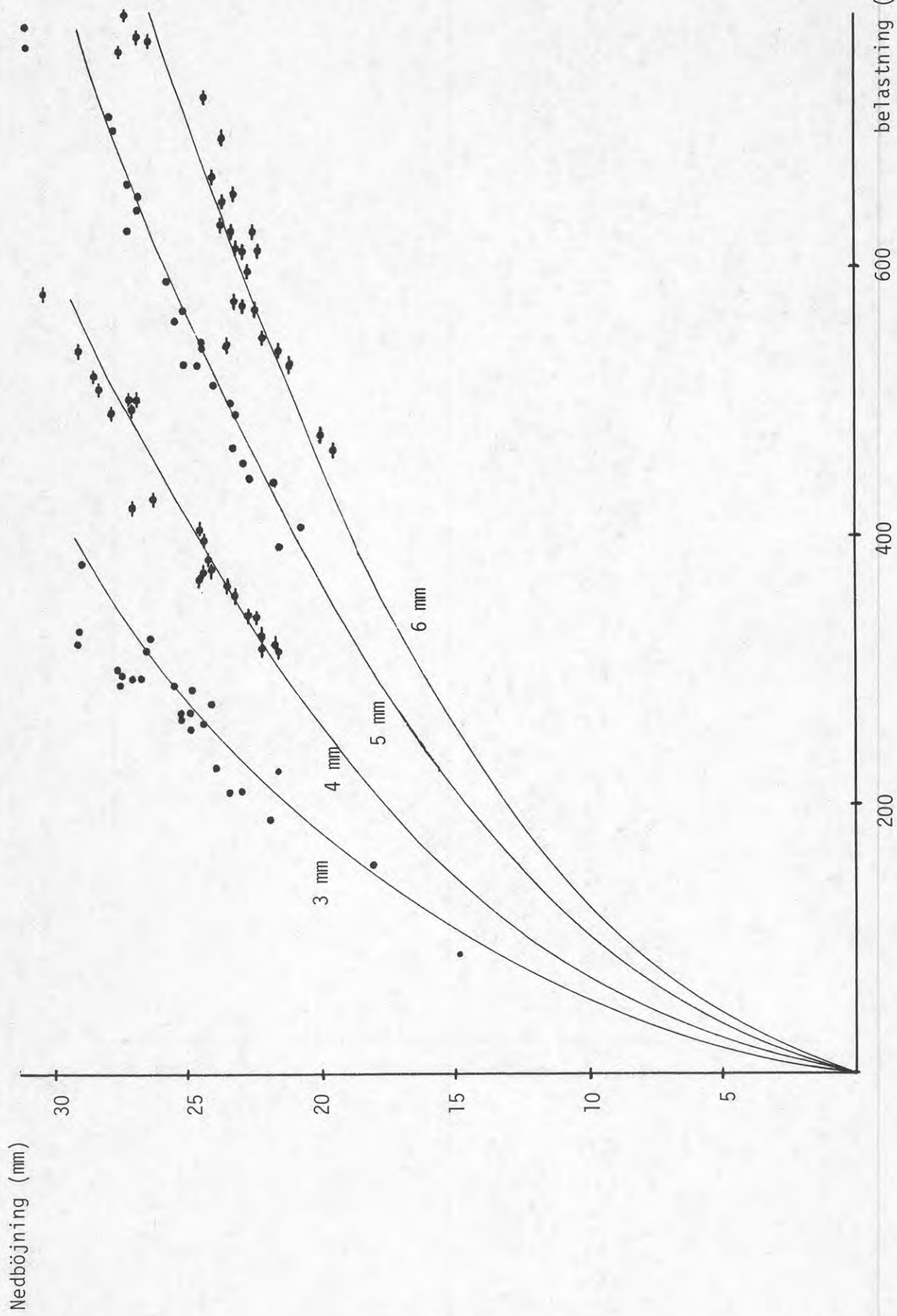


FIG.21 Samband mellan belastningsnivån och nedböjningen för E1400x1400, tjocklek 3,4,5 och 6 mm. Punkterna markerar gjorda brottförsök.  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

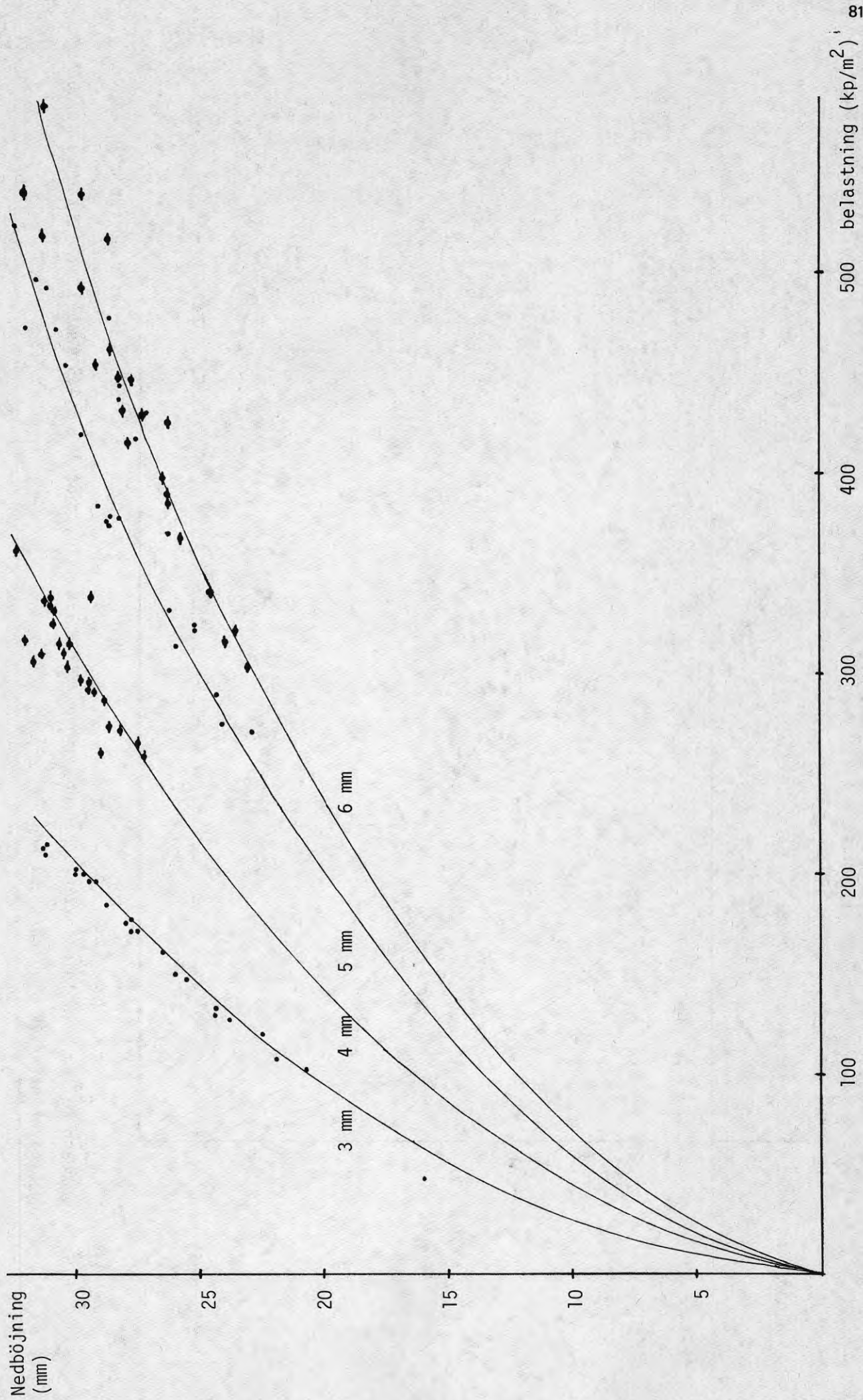


FIG.22 Samband mellan belastningsnivån och nedböjningen för E1700x1700, tjocklek 3,4,5 samt 6 mm. Punkterna markerar gjorda brottförsök. 100  $\text{kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

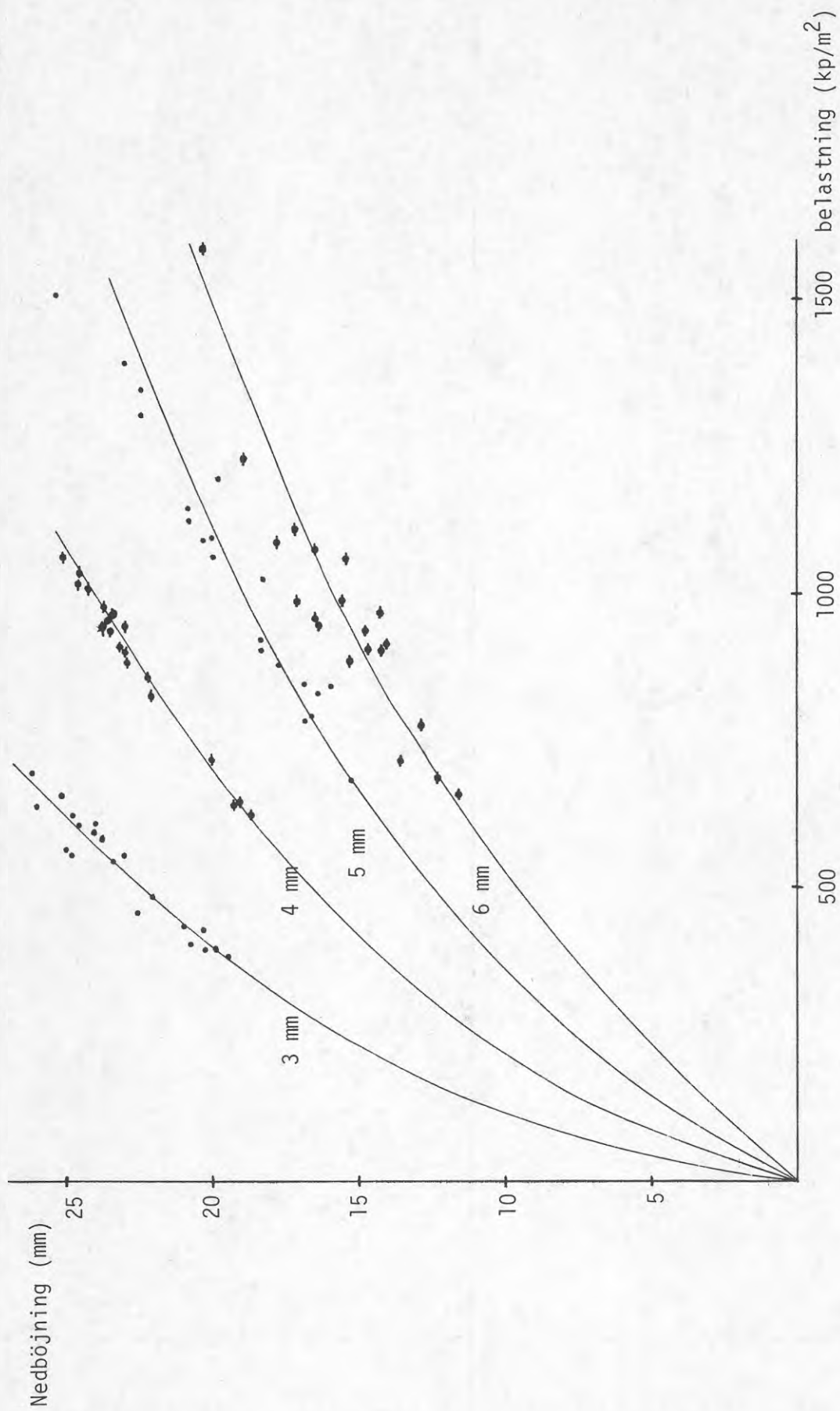


FIG.23 Samband mellan belastningsnivån och nedböjningen för E 710x1410, tjocklek 3,4,5 samt 6 mm. Punkterna markerar gjorda brottförsök.  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

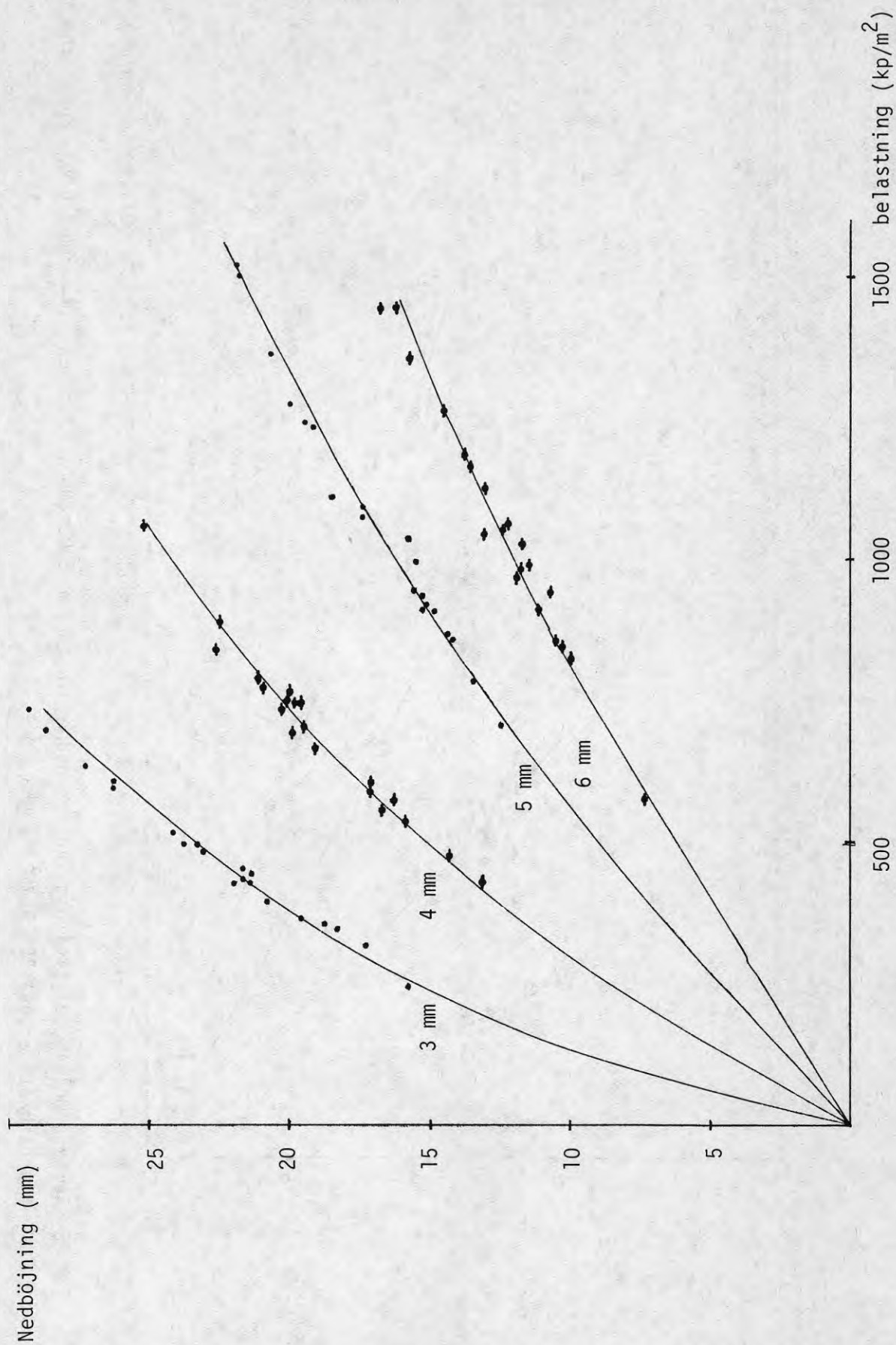


FIG. 24 Samband mellan belastningsnivån och nedböjningen för E580x1730, tjocklek 3,4,5 samt 6 mm. Punkterna markerar gjorda brottförsök.  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

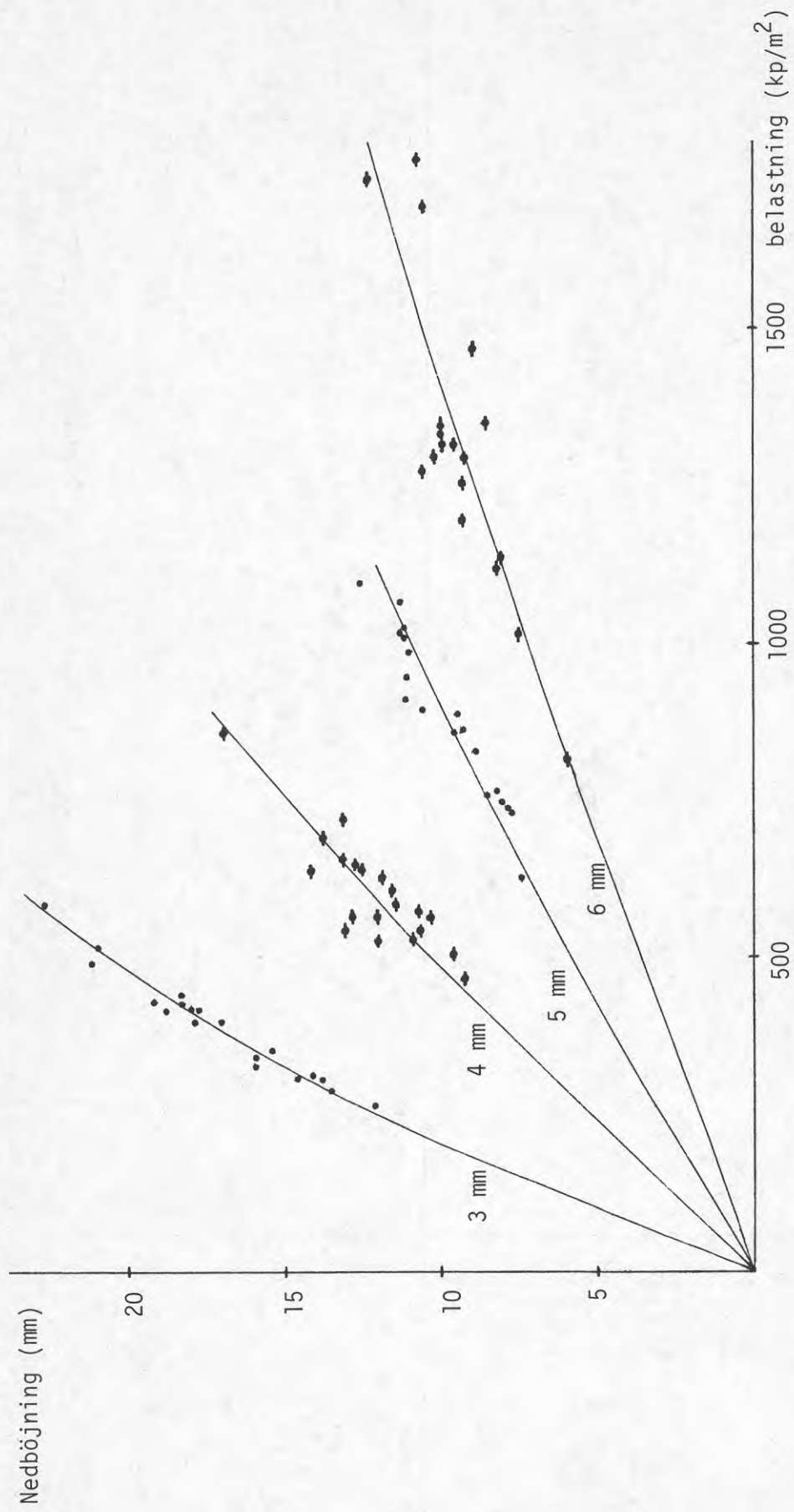


FIG.25 Samband mellan belastningsnivån och nedböjningen för E500x2000, tjocklek 3,4,5 samt 6 mm. Punkterna markerar gjorda brottförsök.  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

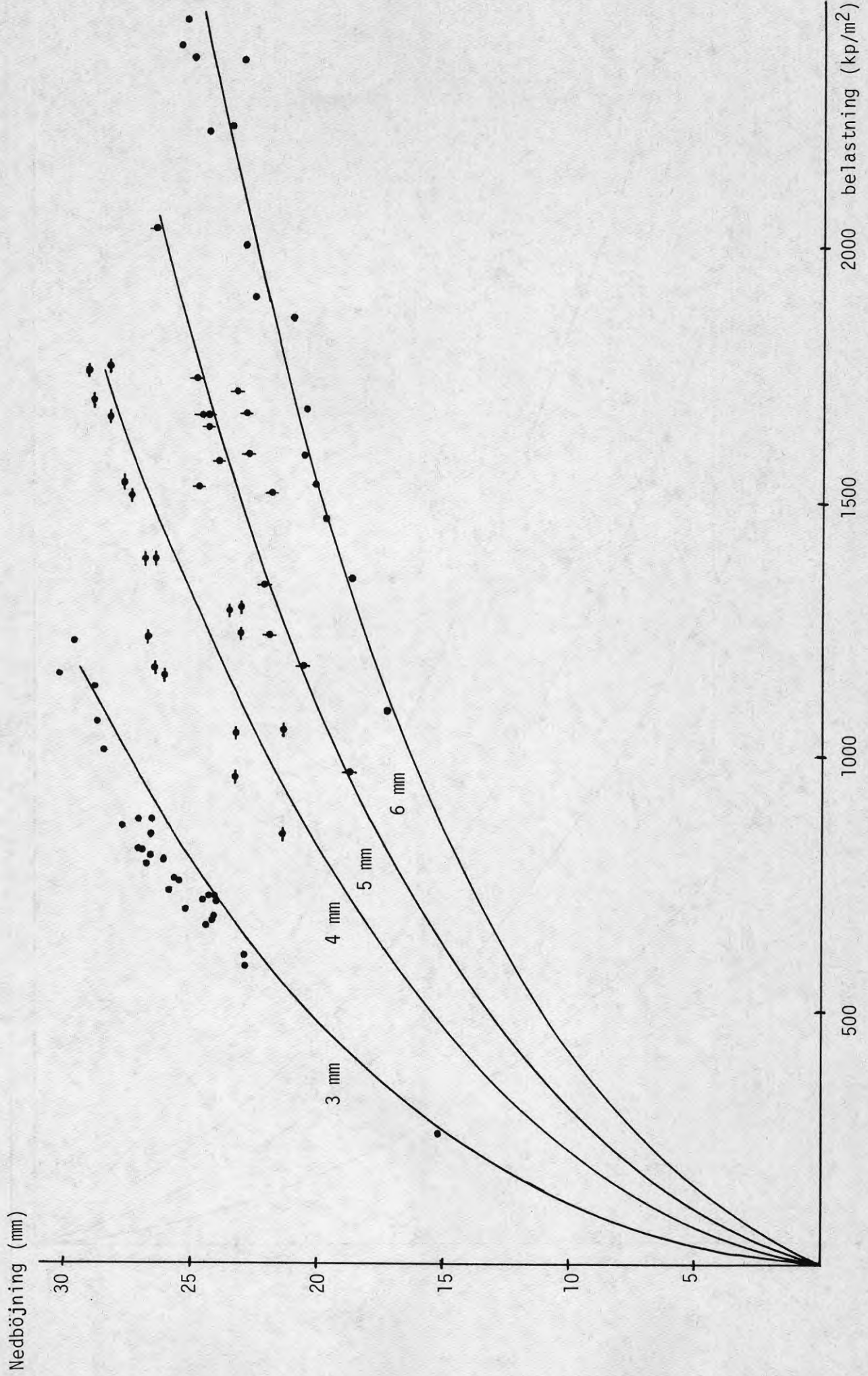


FIG. 26 Samband mellan belastningsnivån och nedböjningen för F1000x1000, tjocklek 3, 4, 5 samt 6 mm. Punkterna markerar gjorda brottförsök. 100  $\text{kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

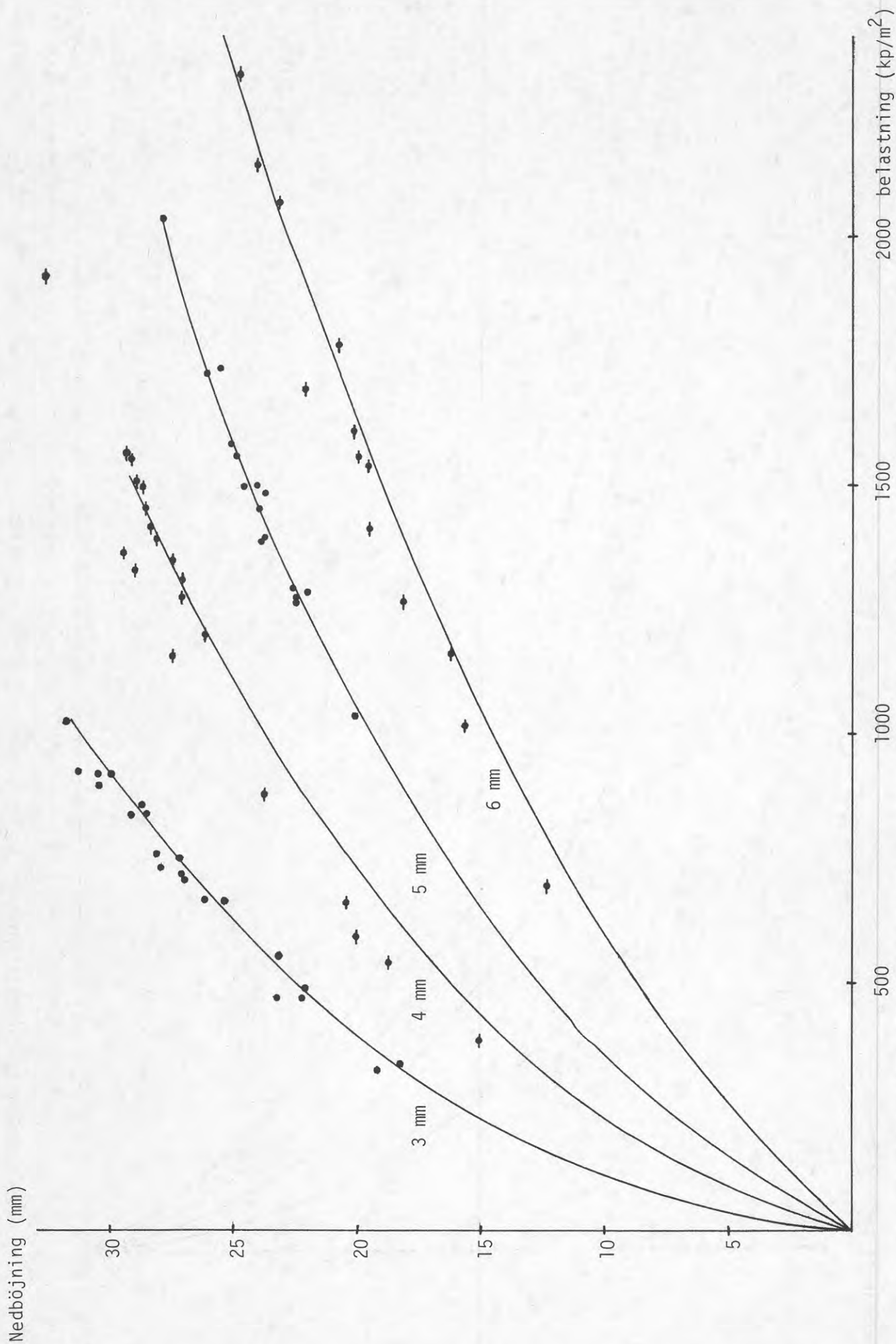


FIG.27 Samband mellan belastningsnivån och nedböjningen för F710x1410, tjocklek 3,4,5 samt 6 mm. Punkterna markerar gjorda brottförsök. 100 kp/m<sup>2</sup> ≈ 1 kPa.

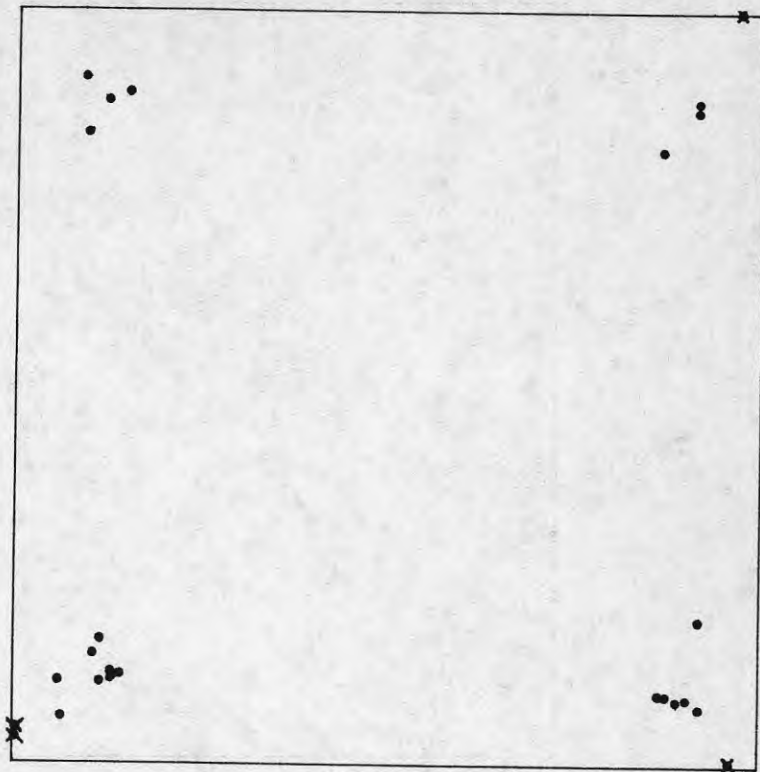


FIG.28 Brottställenas fördelning över glasytan för maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Scanglas. x markerar kantbrott.

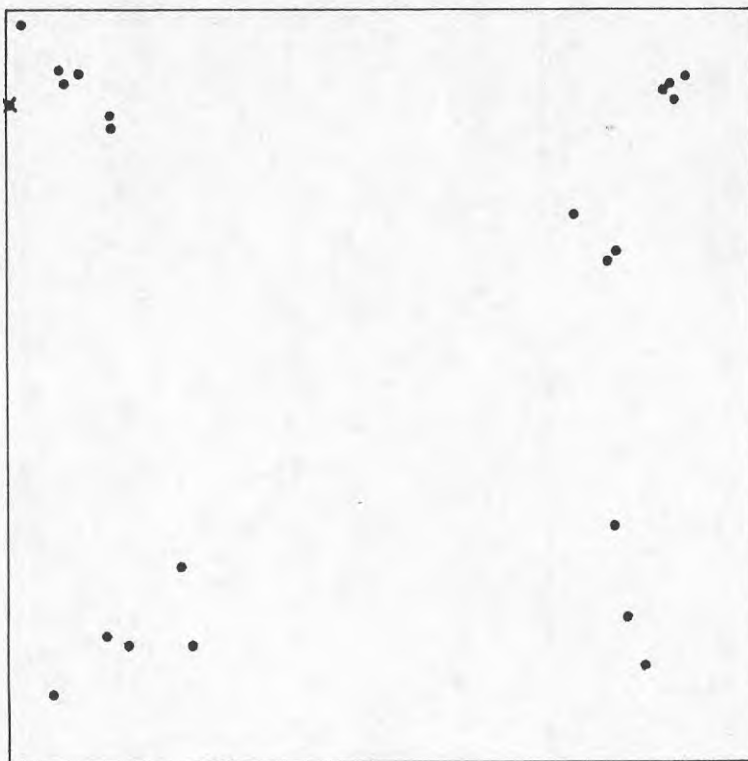


FIG.29 Brottstälernas fördelning över glasytan för maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 4 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

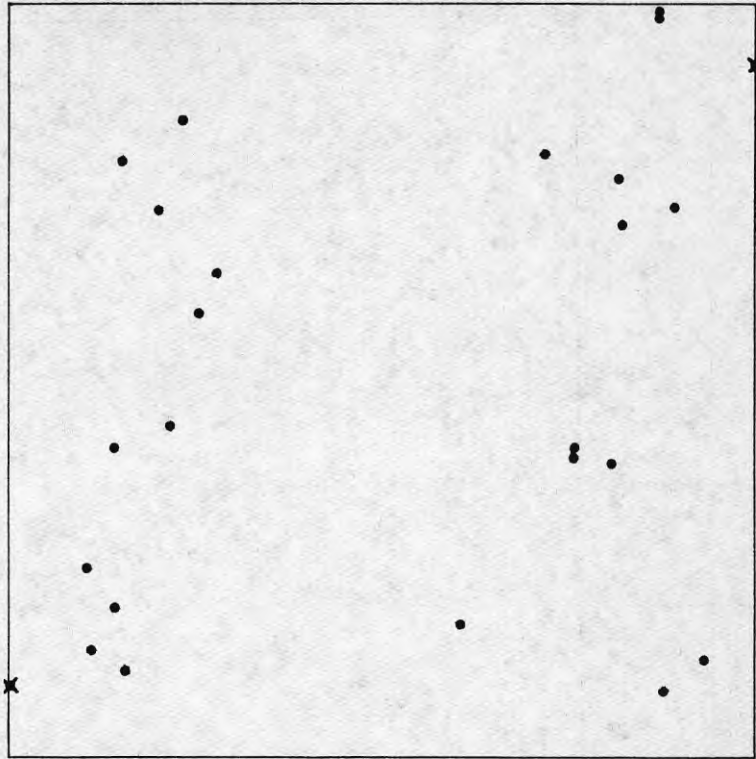


FIG.30 Brottstälernas fördelning över glasytan för maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 5 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

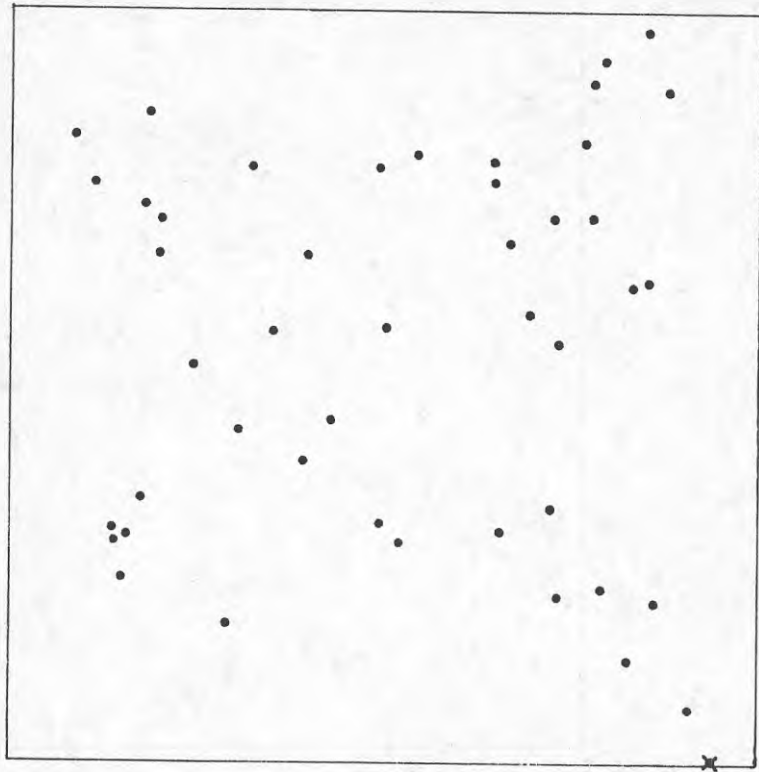


FIG.31 Brottstälernas fördelning över glasytan för maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

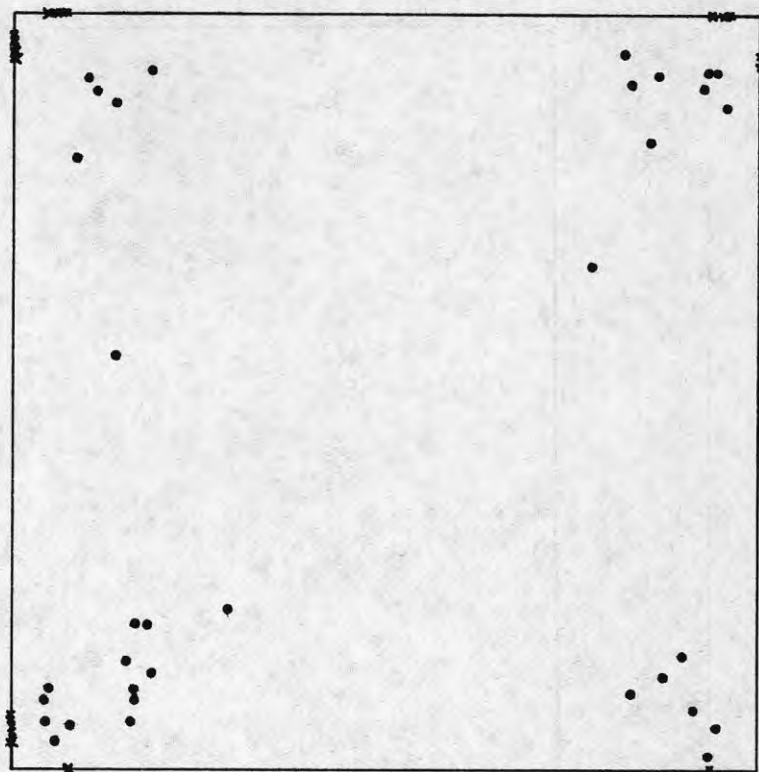


FIG.32 Brottställenas fördelning över glasytan för floatglas 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, S:t Gobain. Floatbadsidan är placerad på dragpåkänningssidan. x markerar kantbrott.

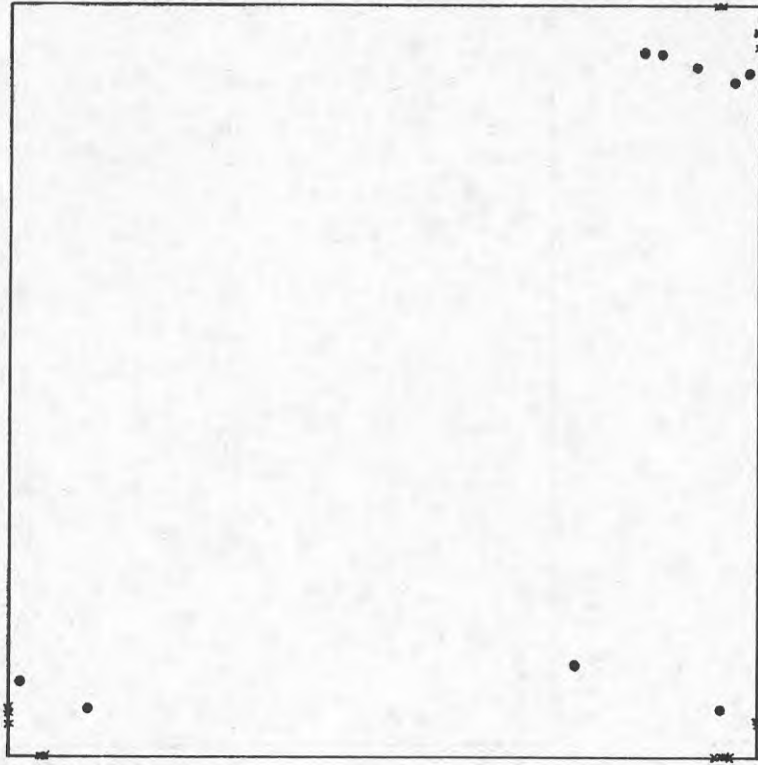


FIG.33 Brottställes fördelning över glasytan för floatglas 1000x1000 mm, tjocklek 3, mm S:t Gobain. Floatbadsidan är placerad på tryckpåkänningssidan. x markerar kantbrott.

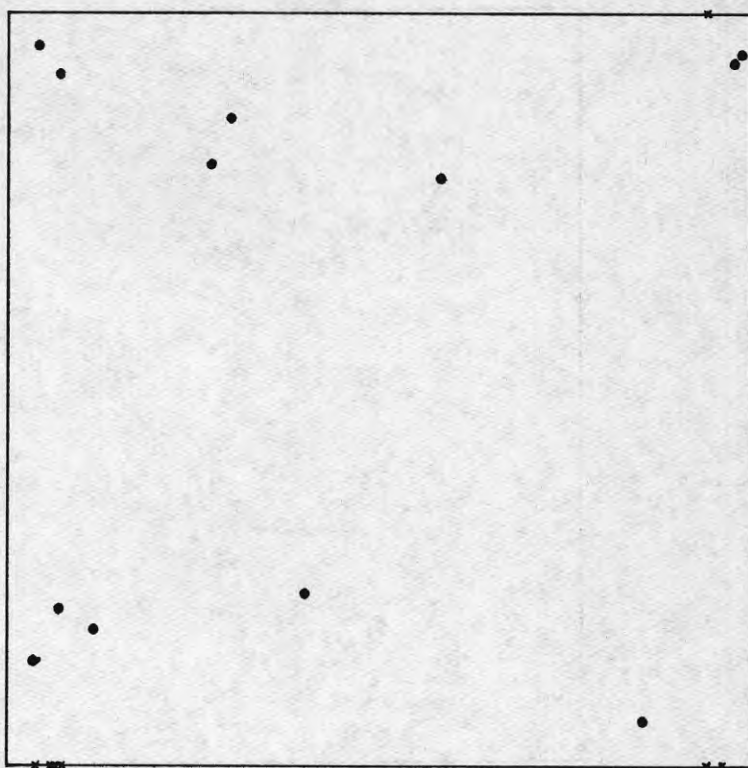


FIG.34 Brottställes fördelning över glasytan för floatglas 1000x1000 mm, tjocklek 4 mm, S:t Gobain. x markerar kantbrott.

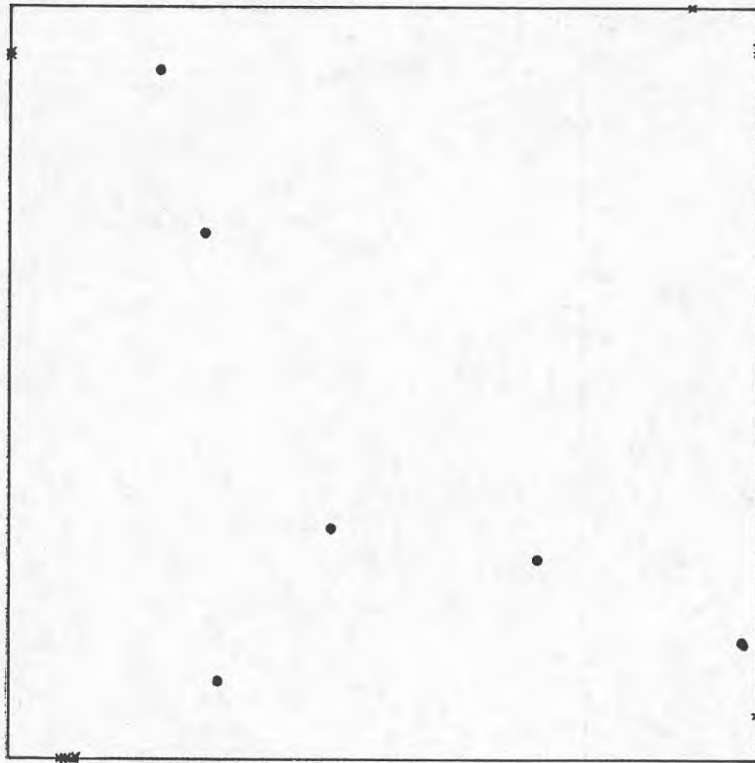


FIG.35 Brottstälernas fördelning över glasytan för floatglas 1000x1000 mm, tjocklek 5 mm, S:t Gobain. x markerar kantbrott.

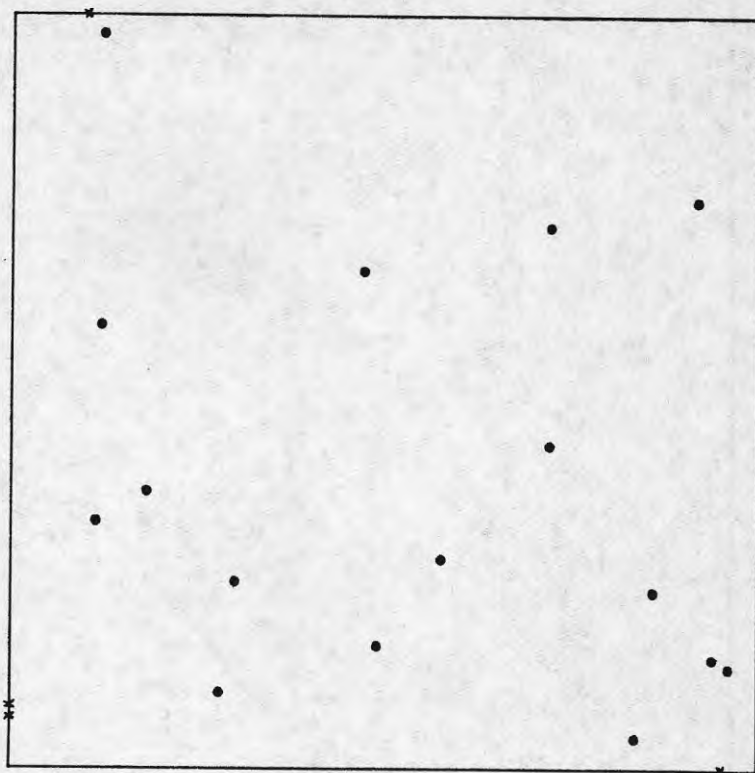


FIG.36 Brottstälernas fördelning över glasytan för floatglas 1000x1000 mm, tjocklek 6 mm, S:t Gobain. x markerar kantbrott.

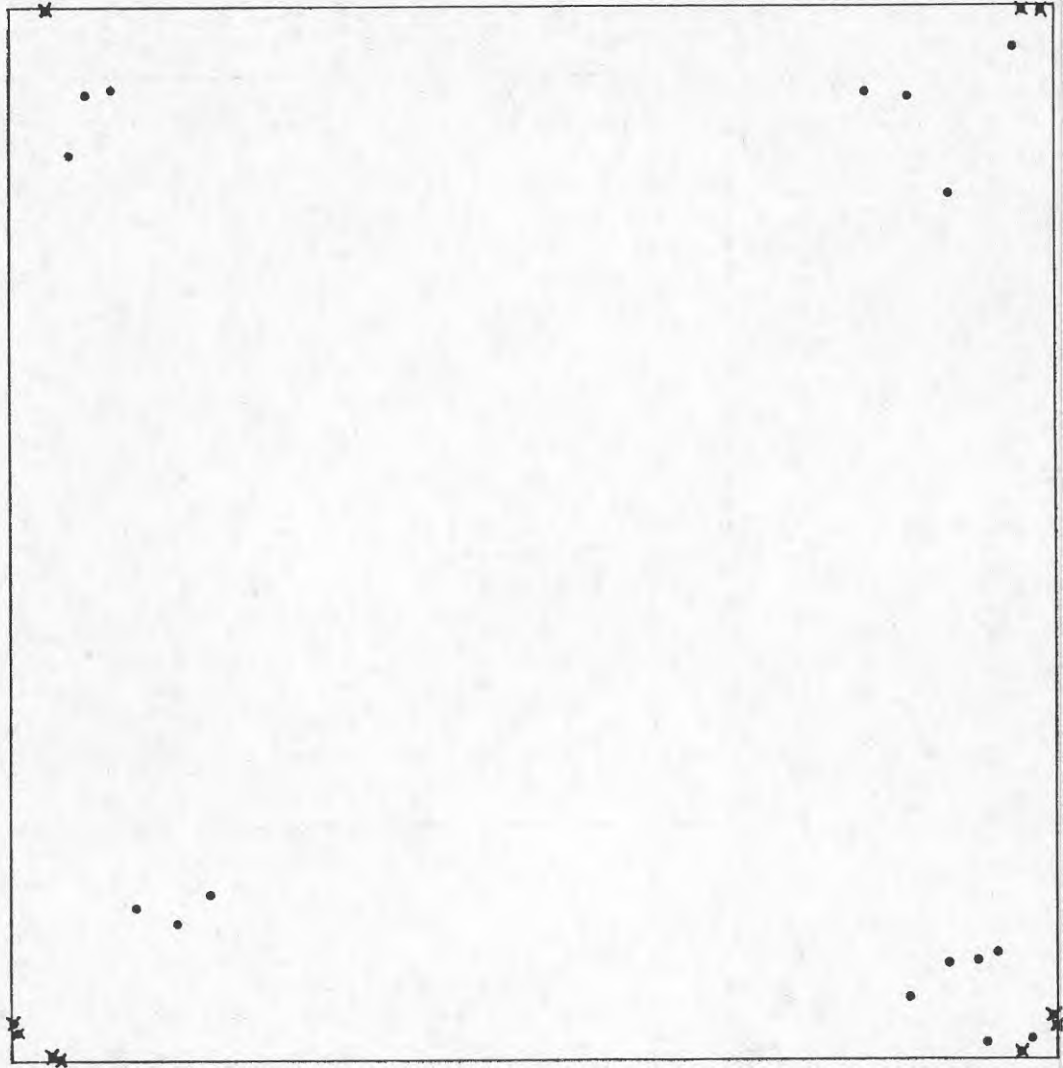


FIG.37 Brottställes fördelning över glasytan för maskinglas 1400x1400 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

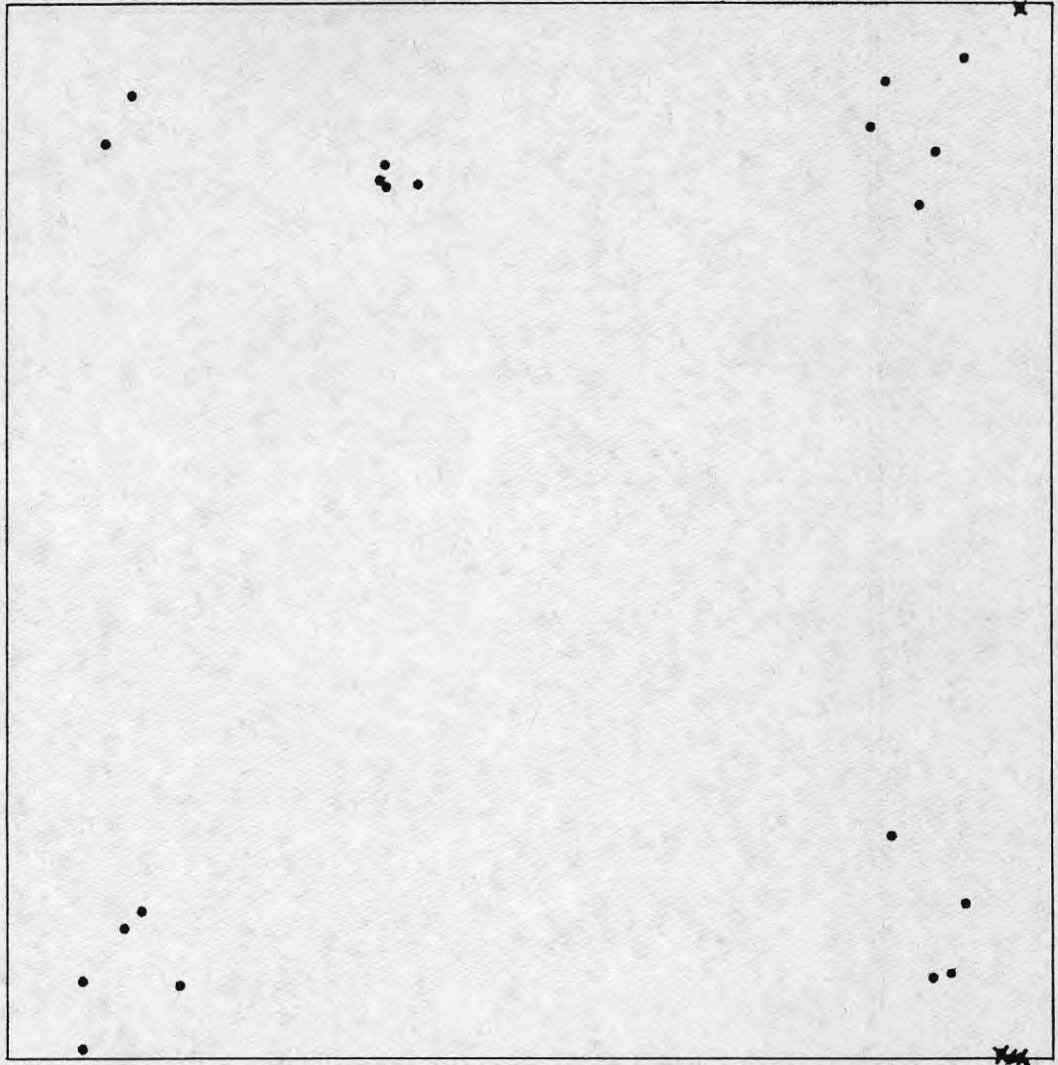


FIG.38 Brottställes fördelning över glasytan för maskinglas 1400x1400 mm, tjocklek 4 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

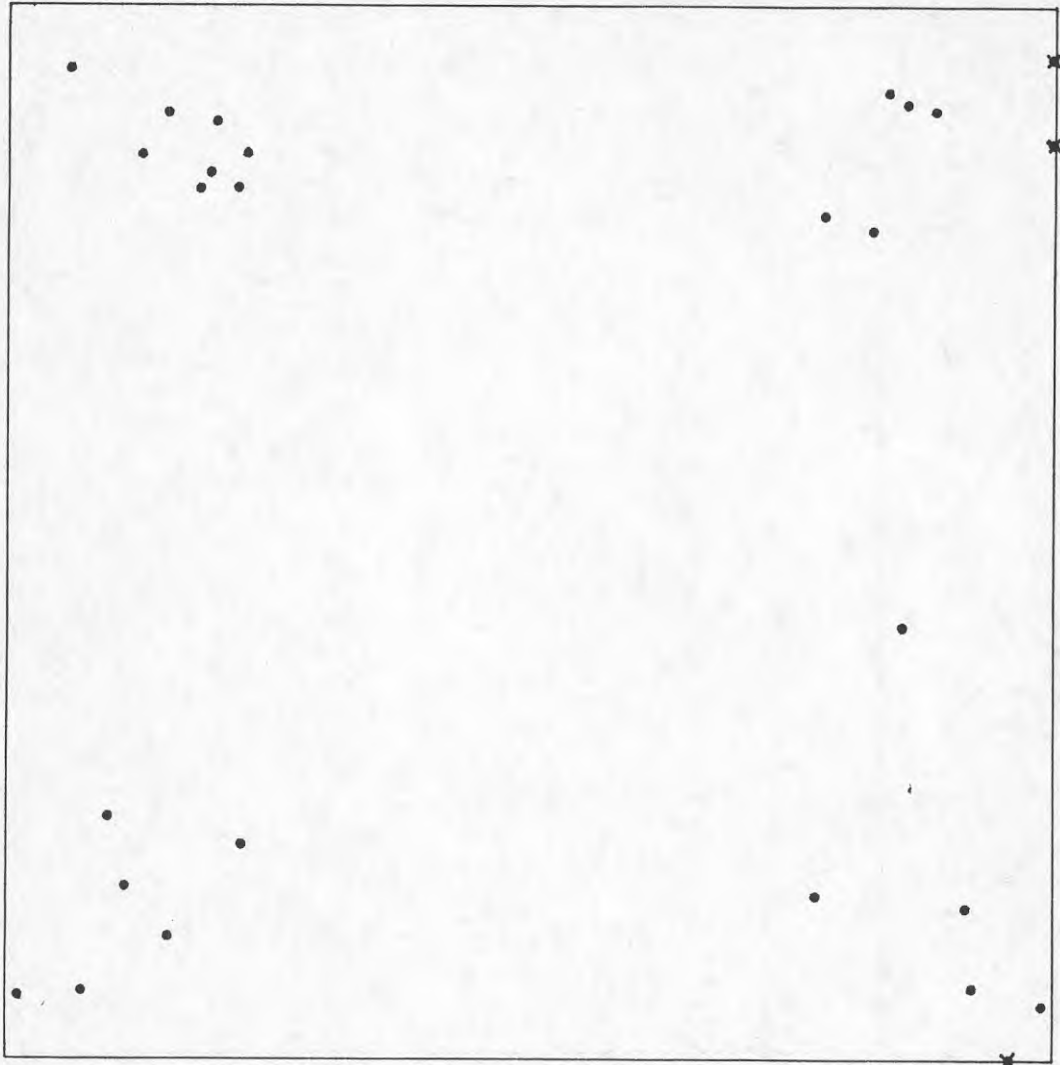


FIG.39 Brottställes fördelning över glasytan för maskinglas 1400x1400 mm, tjocklek 5 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

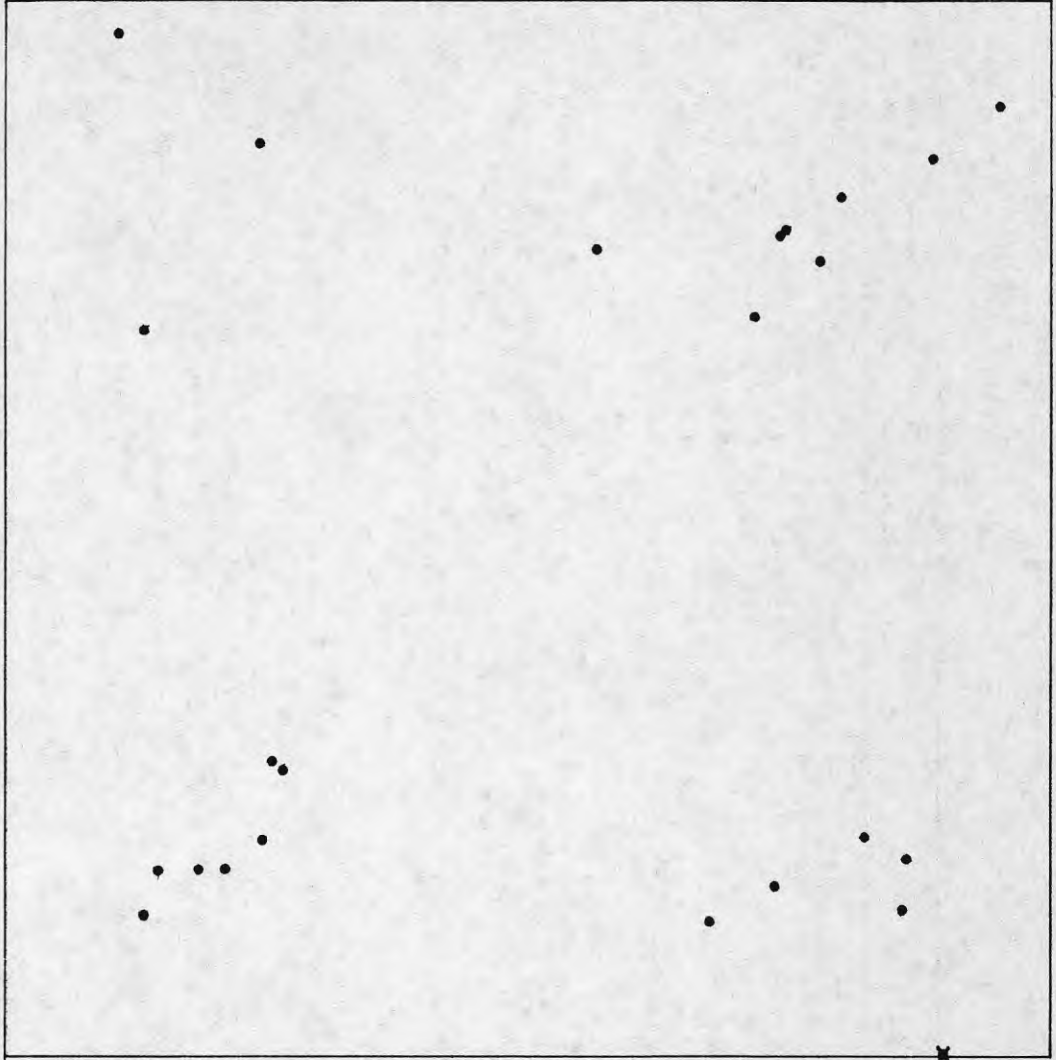


FIG.40 Brottstälernas fördelning över glasytan för maskinglas 1400x1400 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

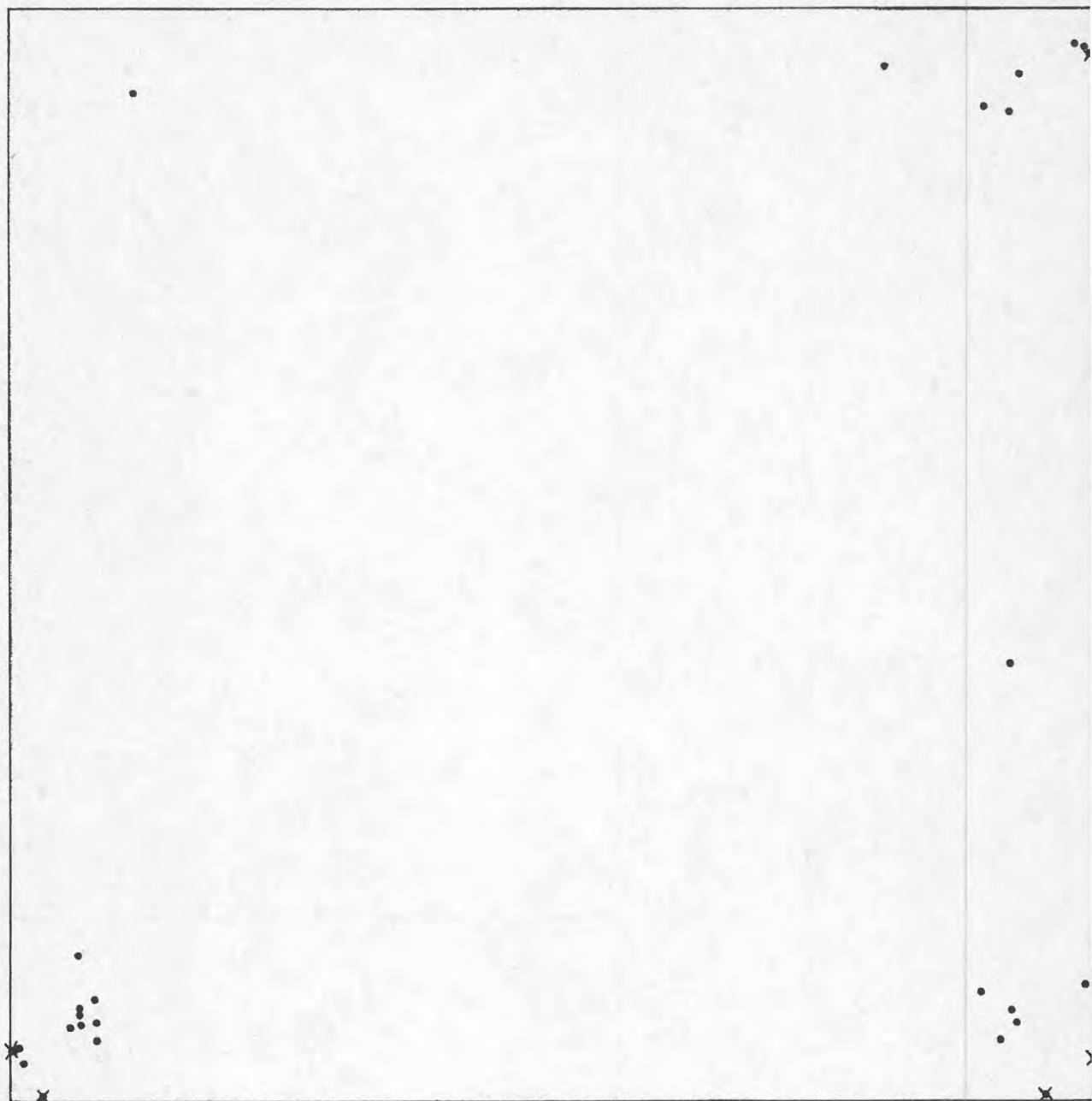


FIG.41 Brottstälernas fördelning över glasytan för maskinglas 1700x1700 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

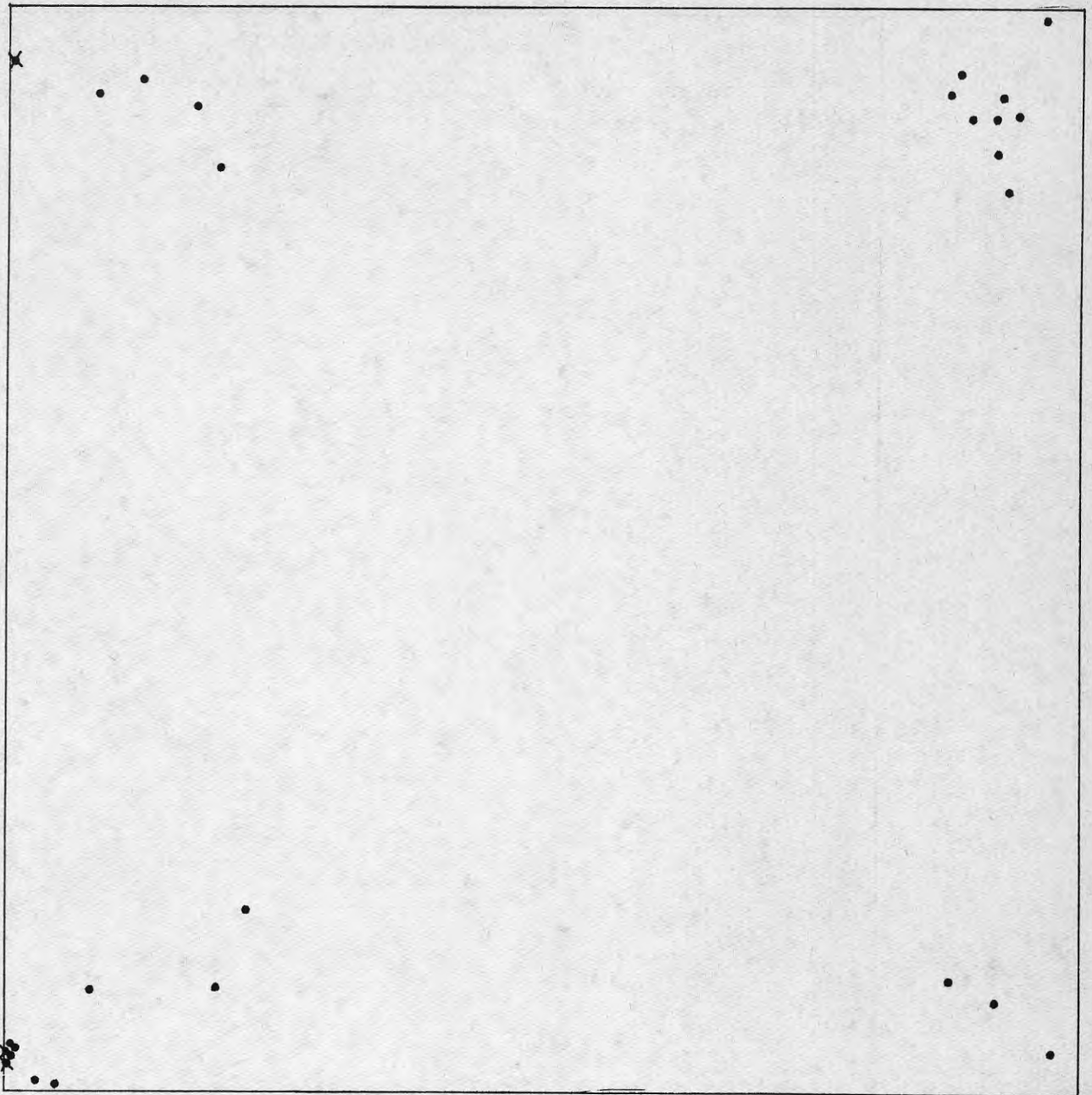


FIG.42 Brottställes fördelning över glasytan för maskinglas 1700x1700 mm, tjocklek 4 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

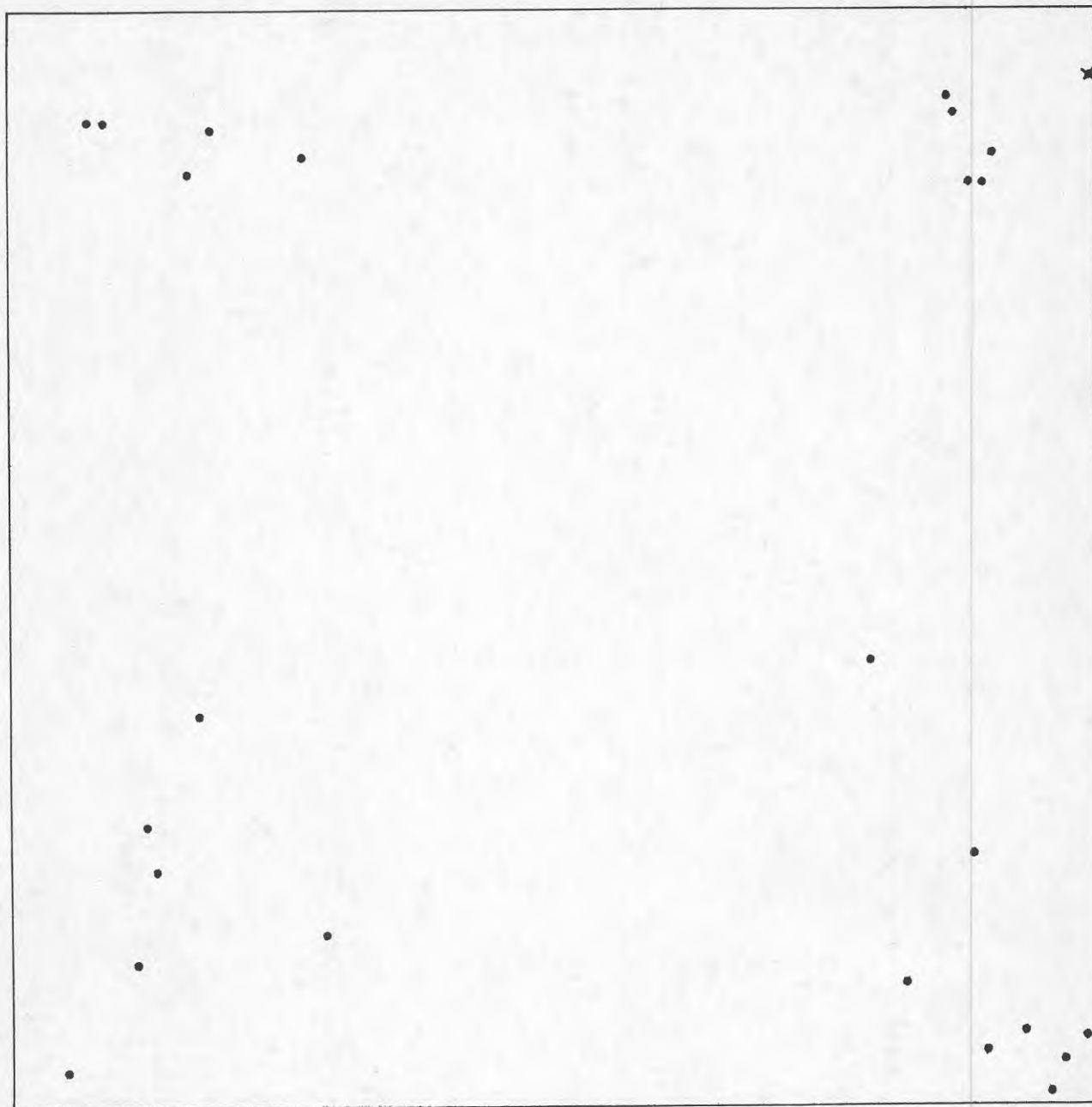


FIG.43 Brottstälernas fördelning över glasytan för maskinglas 1700x1700 mm, tjocklek 5 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

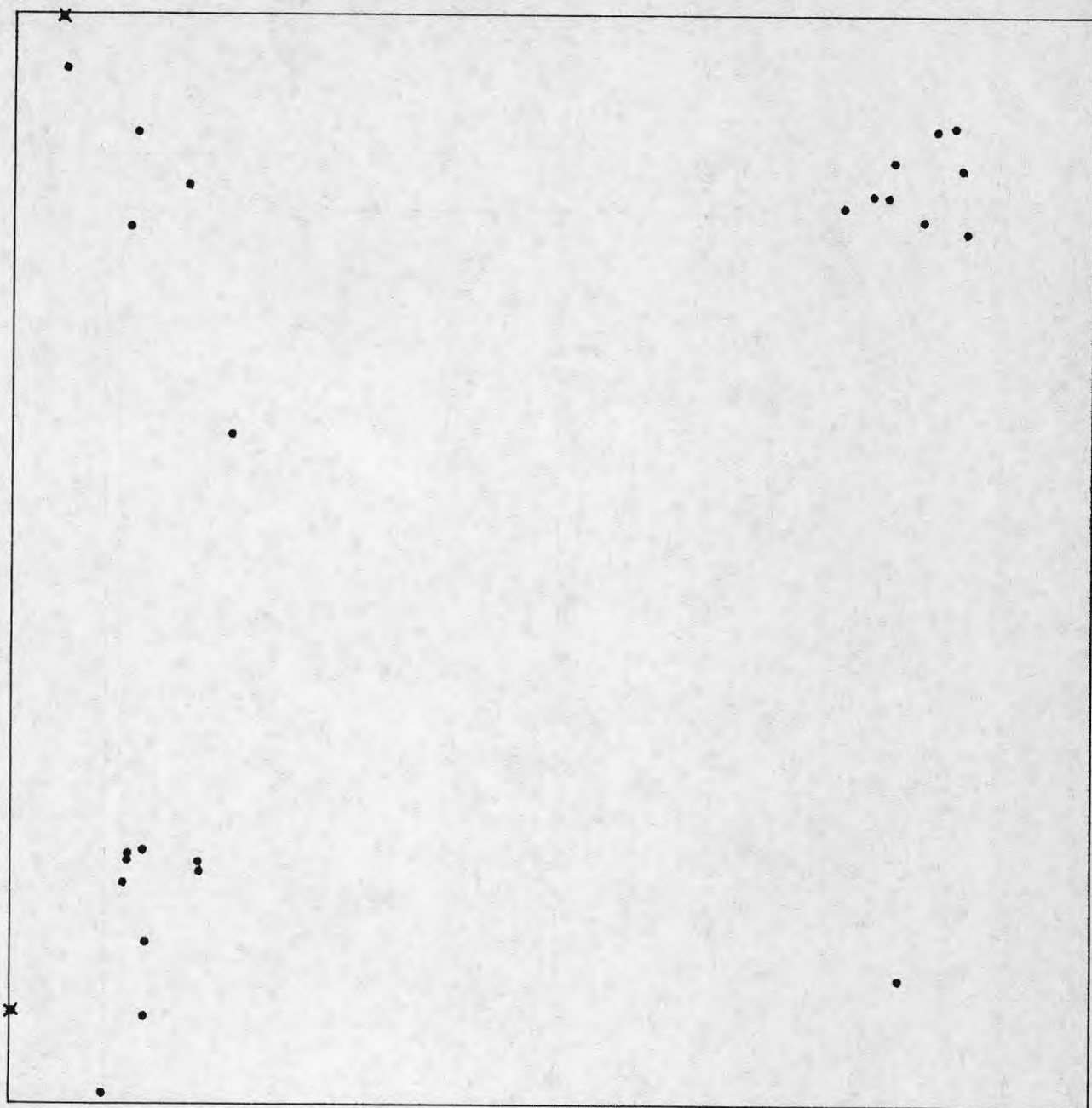


FIG.44 Brottstälernas fördelning över glasytan för maskinglas 1700x1700 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.



FIG.45 Brottstälernas fördelning över glasytan för maskinglas 710x1410 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

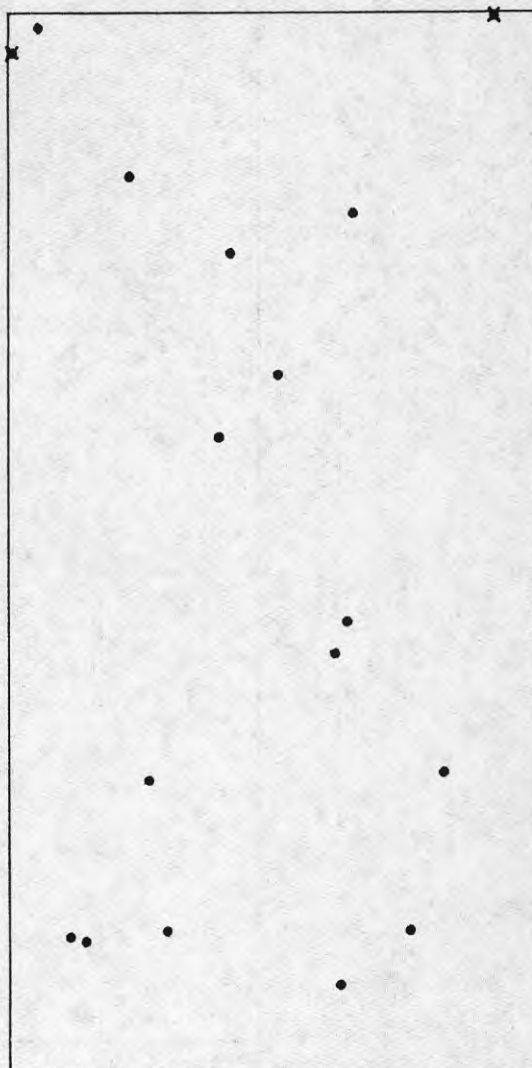


FIG.46 Brottstälernas fördelning över glasytan för maskinglas 710x1410 mm, tjocklek 4 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

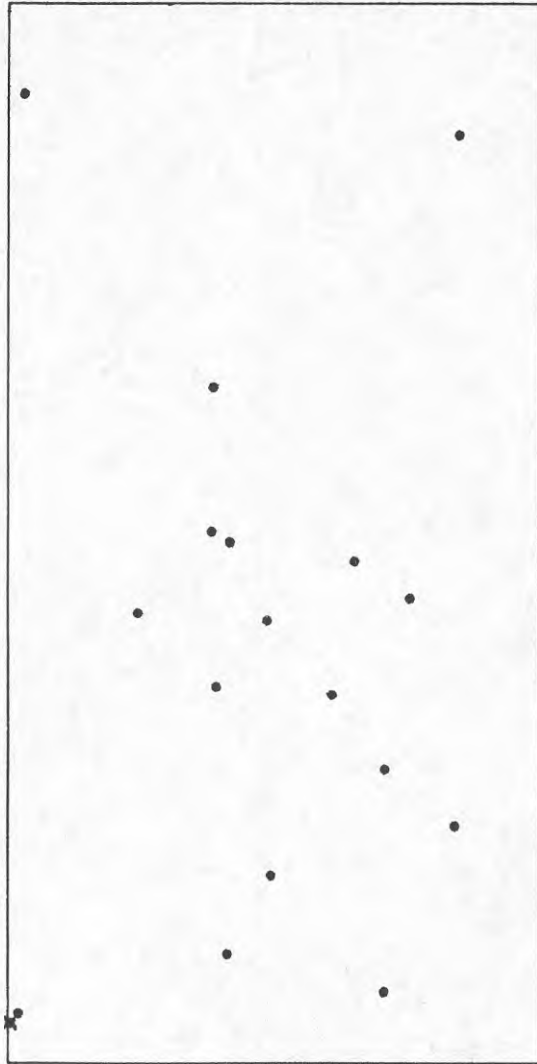


FIG.47 Brotställes fördelning över glasytan för maskinglas 710x1410 mm, tjocklek 5 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

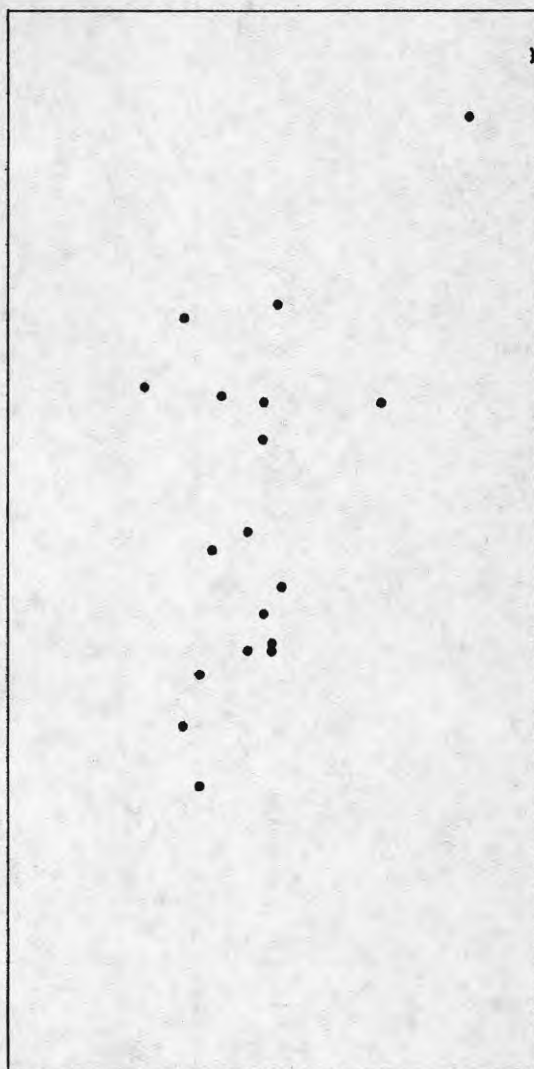


FIG.48 Brottstälernas fördelning över glasytan för maskinglas 710x1410 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

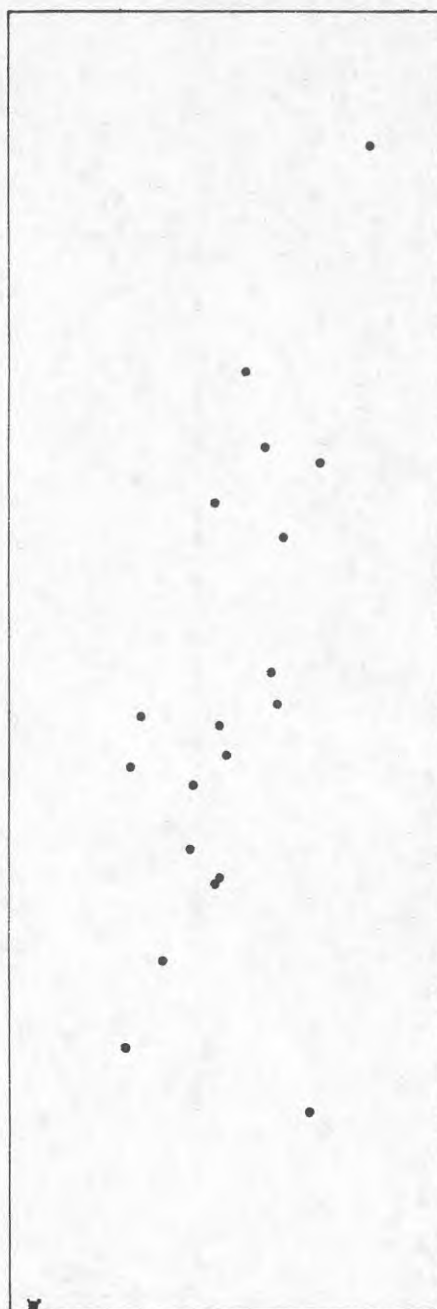


FIG.49 Brottstälernas fördelning över glasytan för maskinglas 580x1730 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

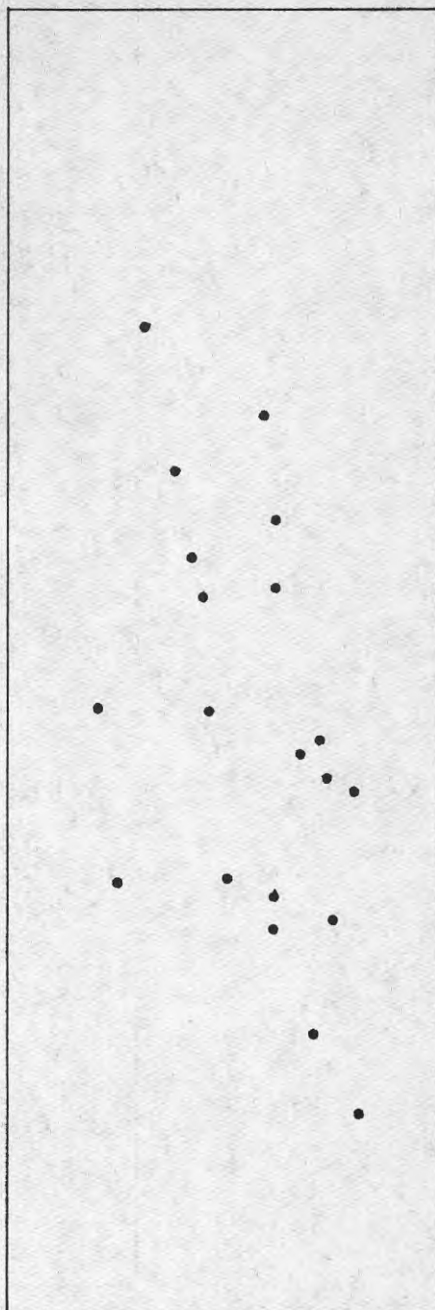


FIG.50 Brottstälernas fördelning över glasytan för maskinglas 580x1730 mm, tjocklek 4 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

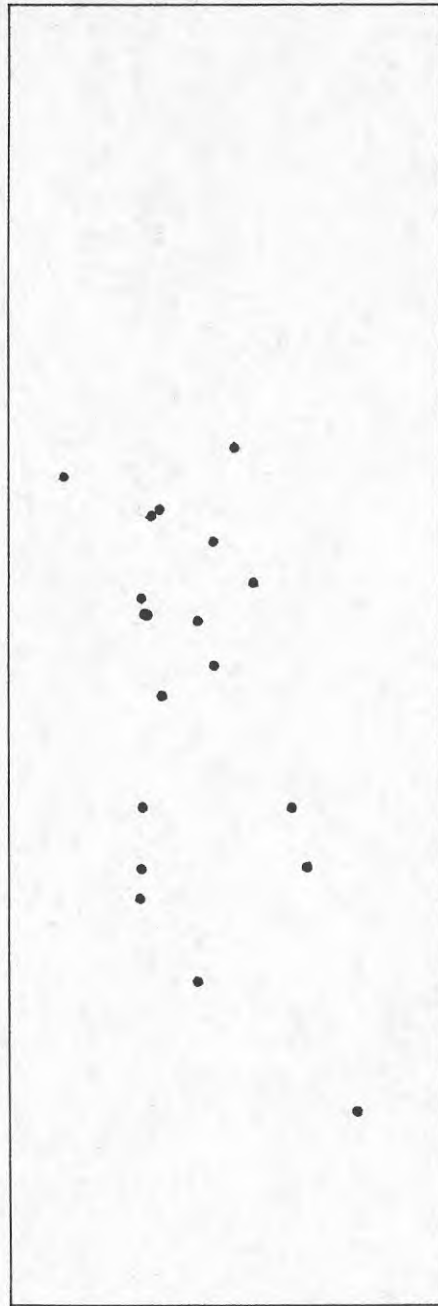


FIG.51 Brottställes fördelning över glasytan för maskinglas 580x1730 mm, tjocklek 5 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

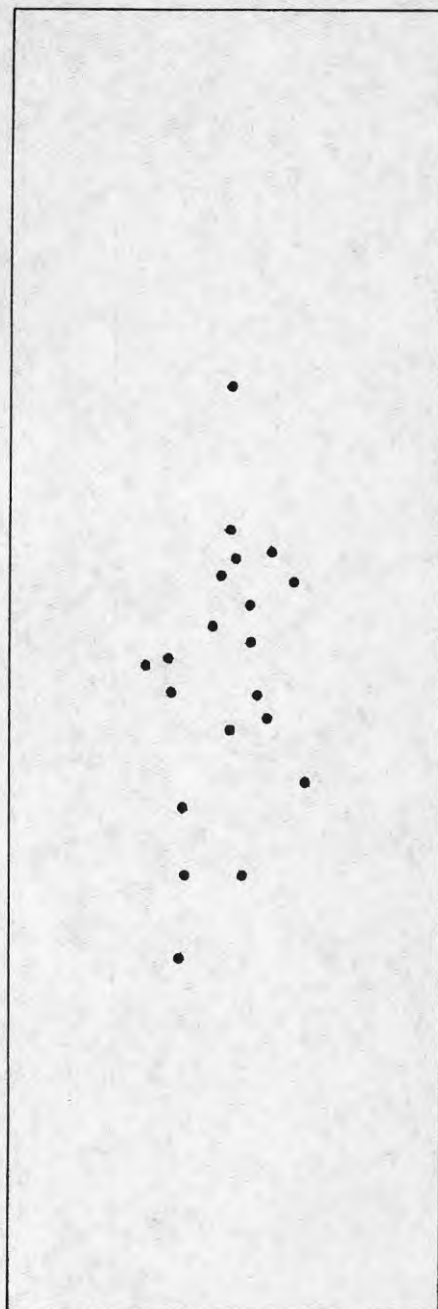


FIG.52 Brotställes fördelning över glasytan för maskinglas 580x1730 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

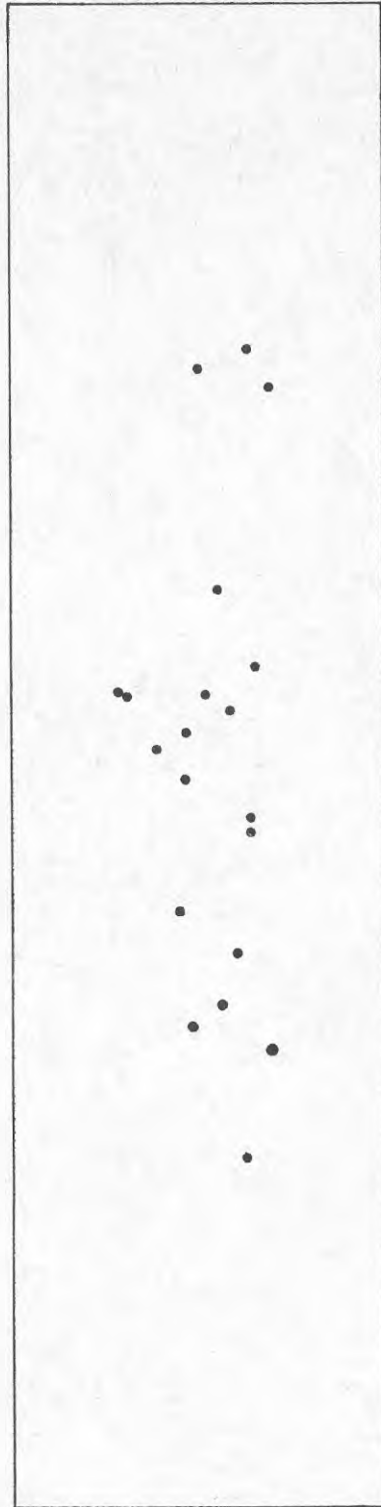


FIG.53 Brottställets fördelning över glasytan för maskinglas 500x2000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

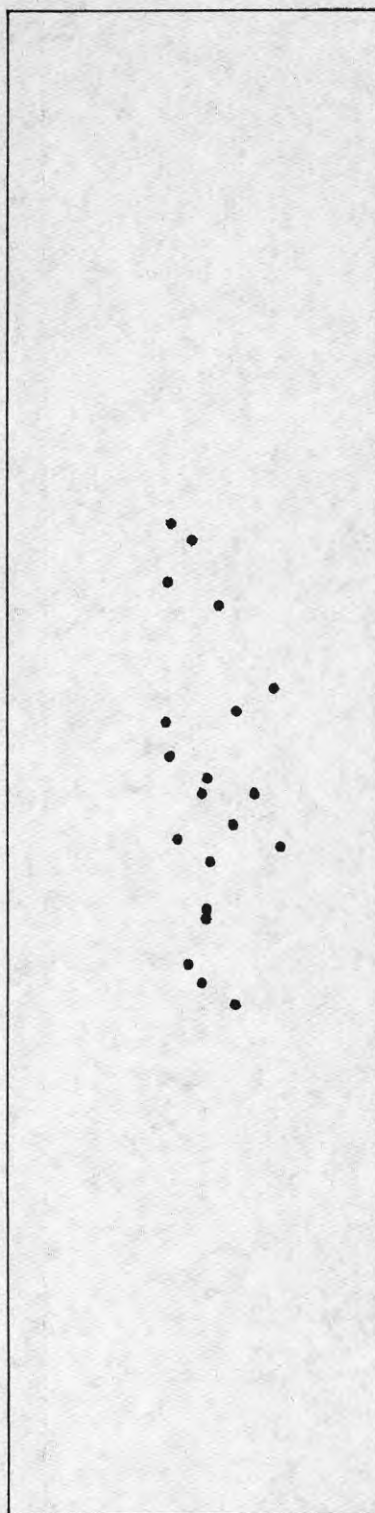


FIG.54 Brottställenas fördelning över glasytan för maskinglas 500x2000 mm, tjocklek 4 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

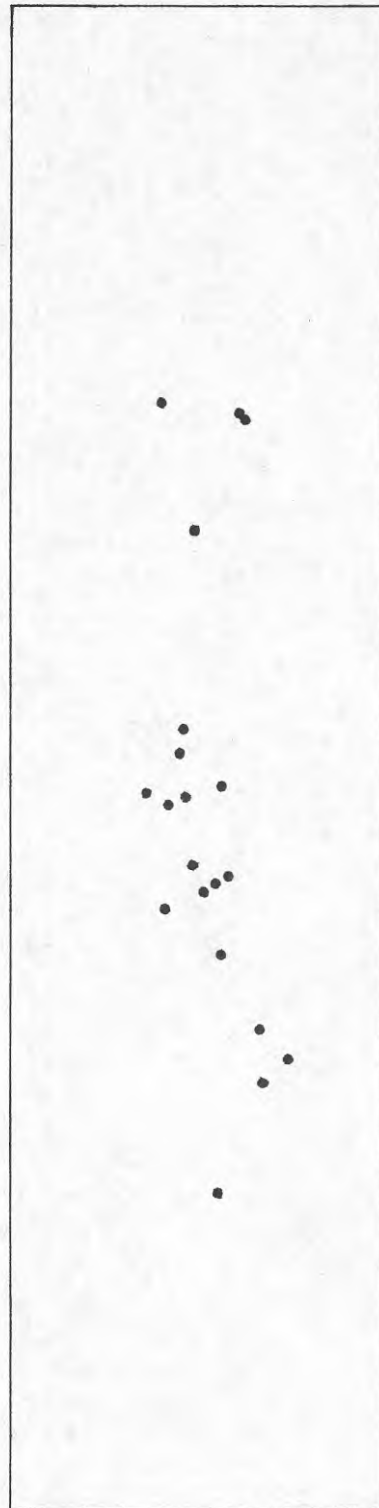


FIG.55 Brottställes fördelning över glasytan för maskinglas 500x2000 mm, tjocklek 5 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

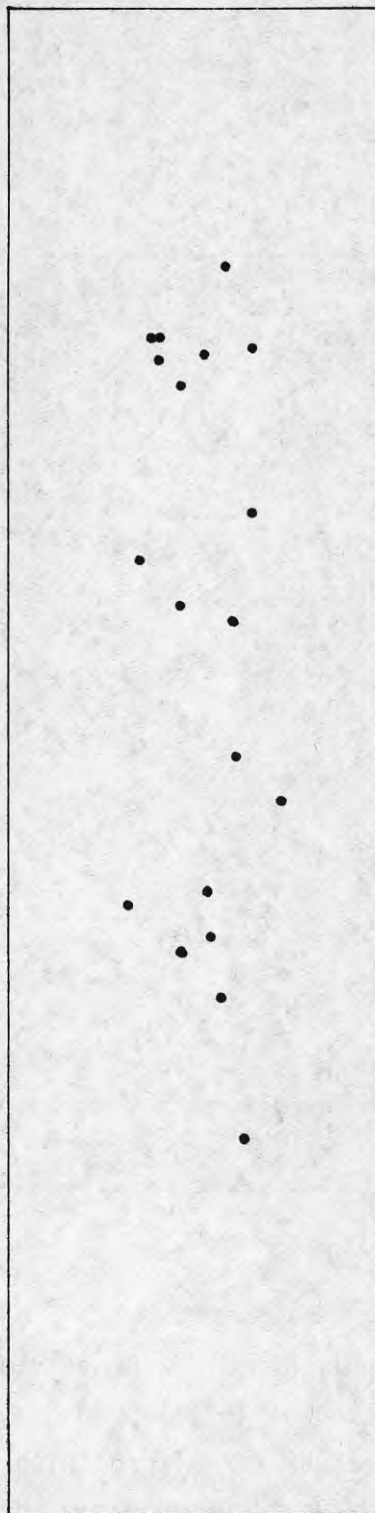


FIG.56 Brottställes fördelning över glasytan för maskinglas 500x2000 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk. x markerar kantbrott.

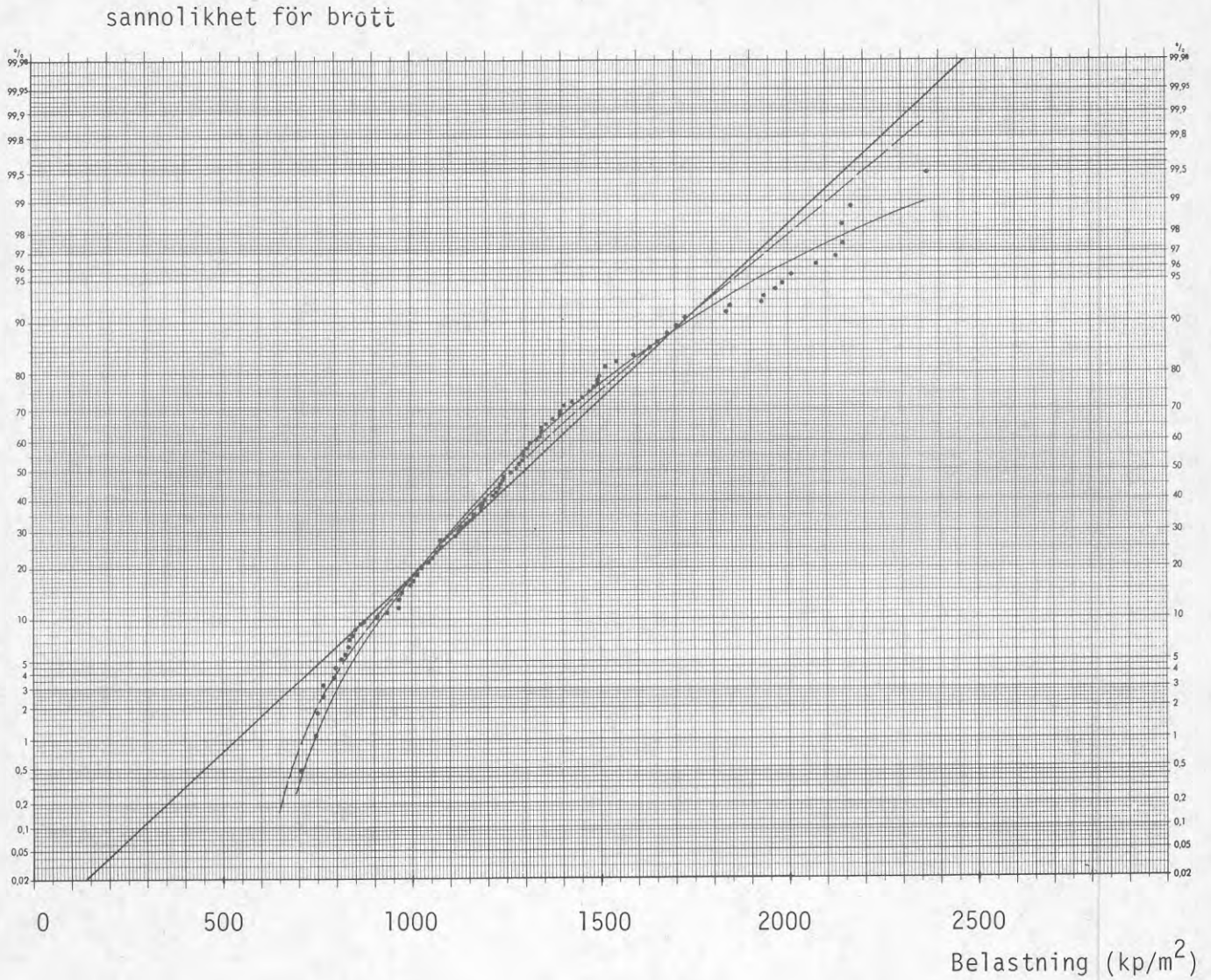


FIG.57 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk. Den räta linjen är normalfördelningen. Den heldragna böjda linjen är fördelningsfunktion typ I samt den streckade Weibulls fördelningsfunktion (typ II). Punkterna markerar gjorda brottförsök.  $m = 12.7 \text{ kPa}$  ( $1298 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.253$ ,  $n = 149 \text{ st.}$

## sannolikhet för brott

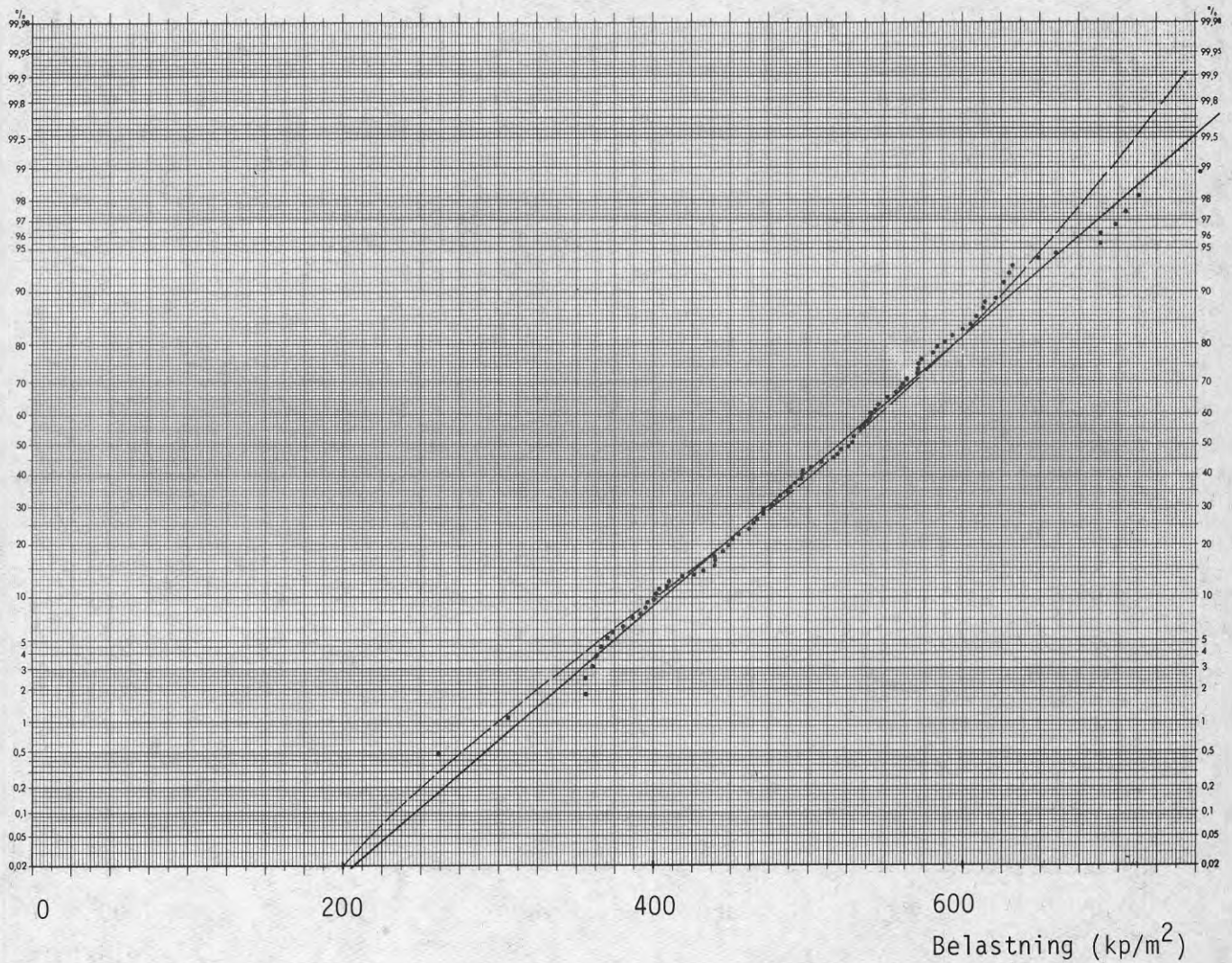


FIG.58 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Scanglas.  $m = 5.09$  kPa (519  $\text{kp/m}^2$ ),  $C_v = 0.169$ ,  $n = 148$  st. Den heldragna linjen är normalfördelningen samt den streckade Weibulls fördelningsfunktion. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

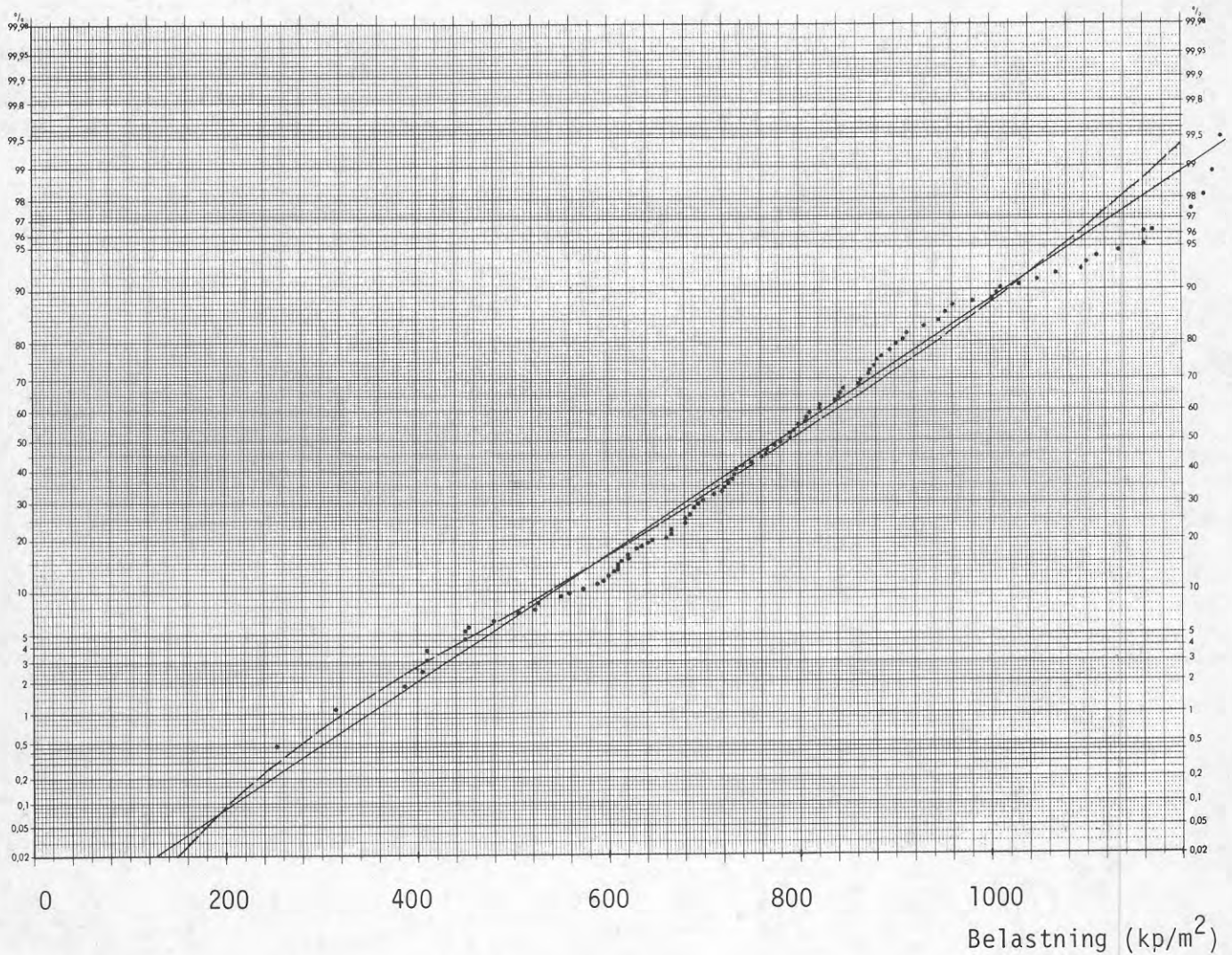


FIG.59 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt floatglas 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, S:t Gobain.  $m = 7.65$  kPa (781 kp/m<sup>2</sup>),  $C_v = 0.236$ ,  $n = 148$  st. Den heldragna linjen är normalfördelningen samt den streckade Weibulls fördelningsfunktion. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

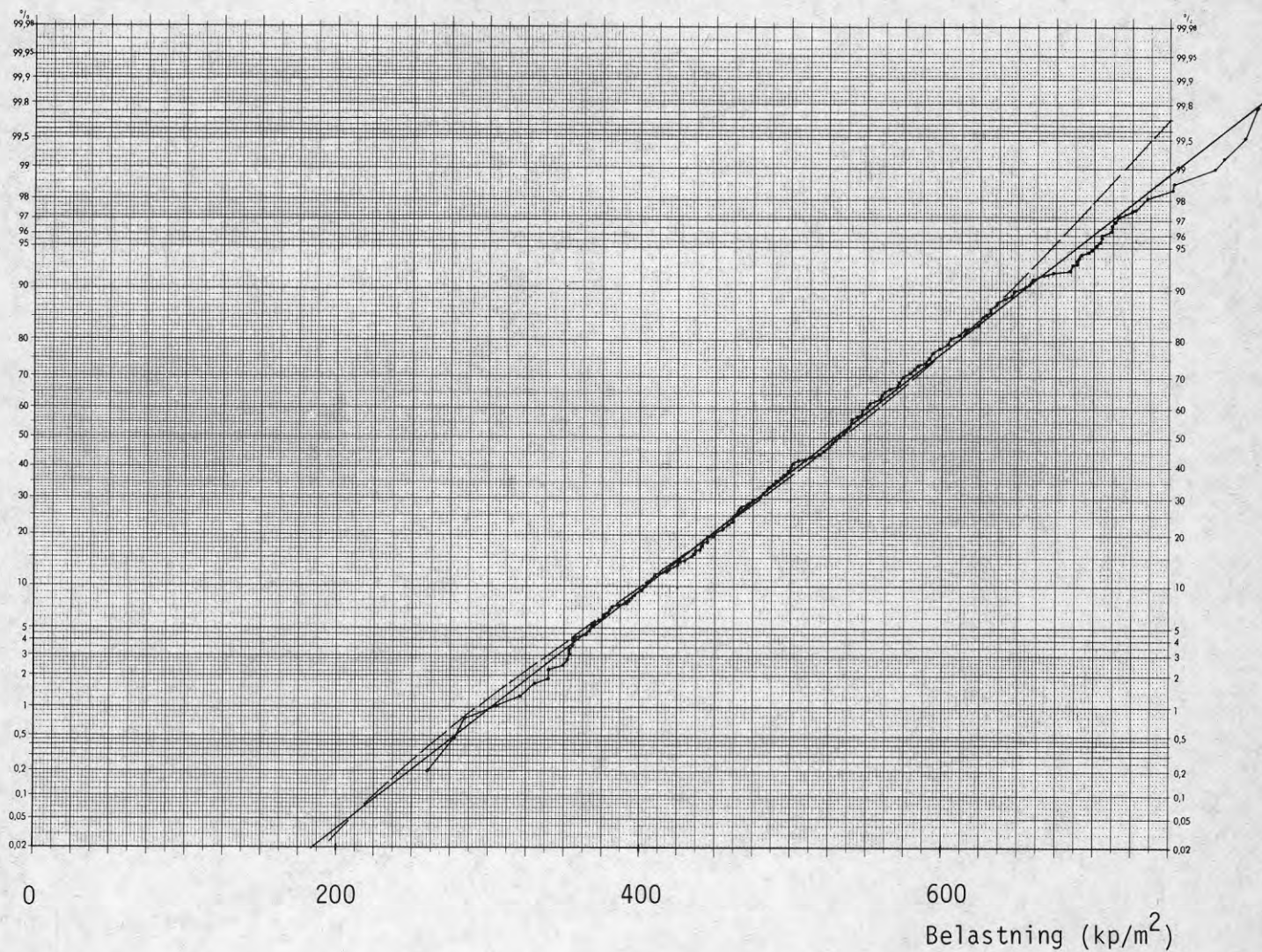


FIG.60 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk samt Scanglas.  $m = 5.18 \text{ kPa}$  ( $528 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_v = 0.183$ ,  $n = 346$  st. Den heldragna linjen är normalfördelningen samt den streckade Weibulls fördelningsfunktion. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

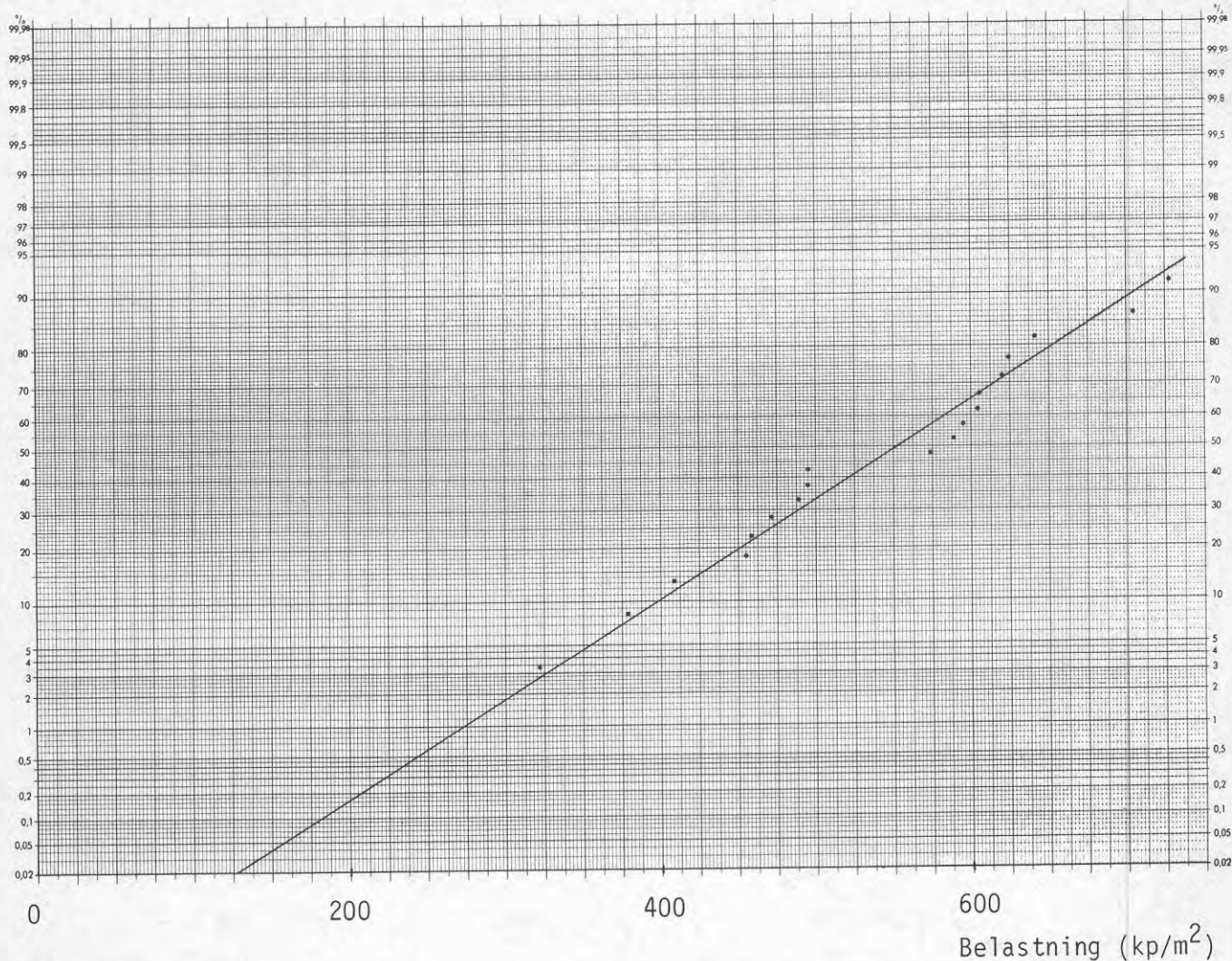


FIG.61 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 5.42$  kPa ( $552 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.217$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

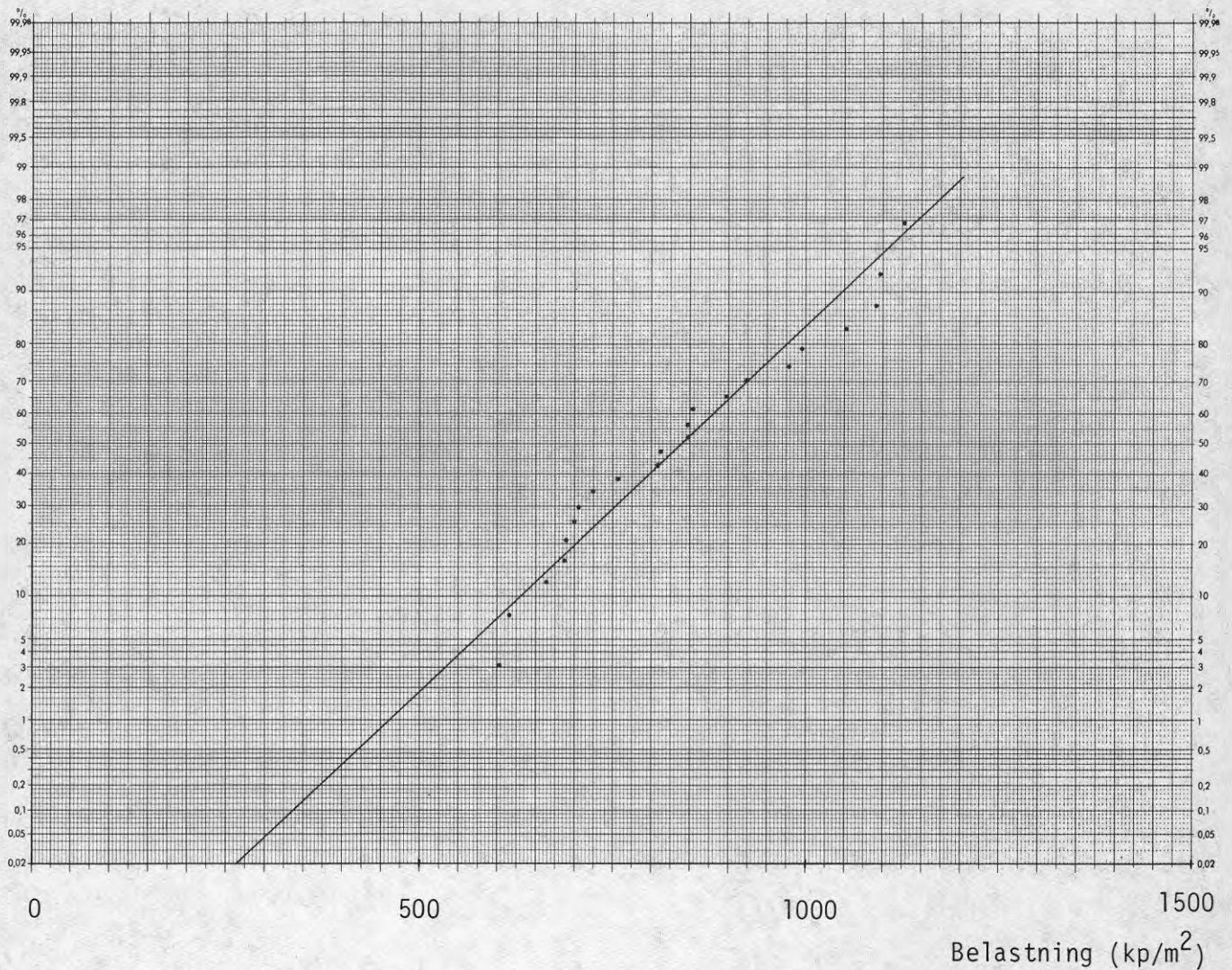


FIG.62 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 4 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 8.23$  kPa ( $839 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.193$ ,  $n = 22$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

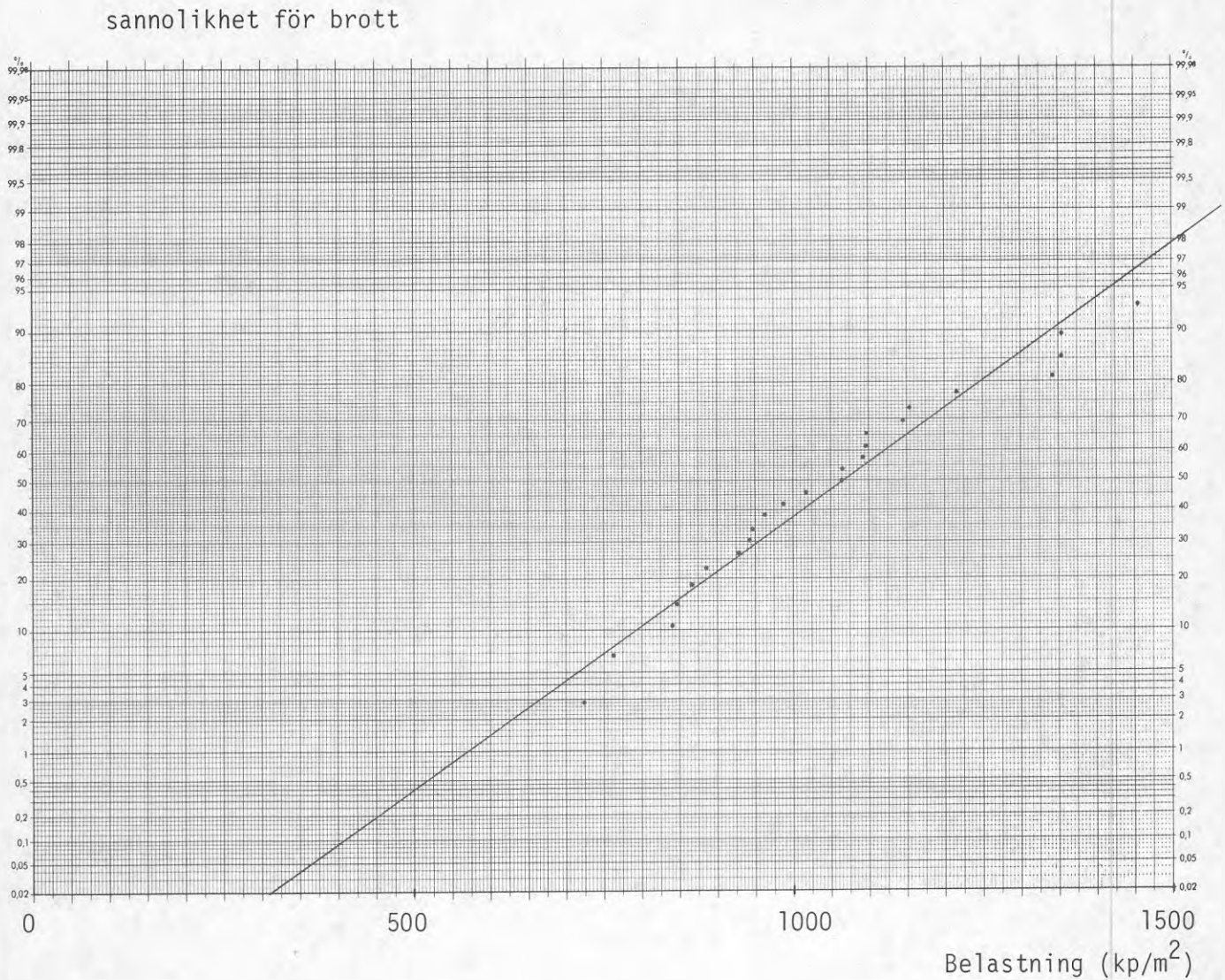


FIG.63 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas, 1000x1000 mm, tjocklek 5 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 10.47$  kPa ( $1067 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_v = 0.200$ ,  $n = 25$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

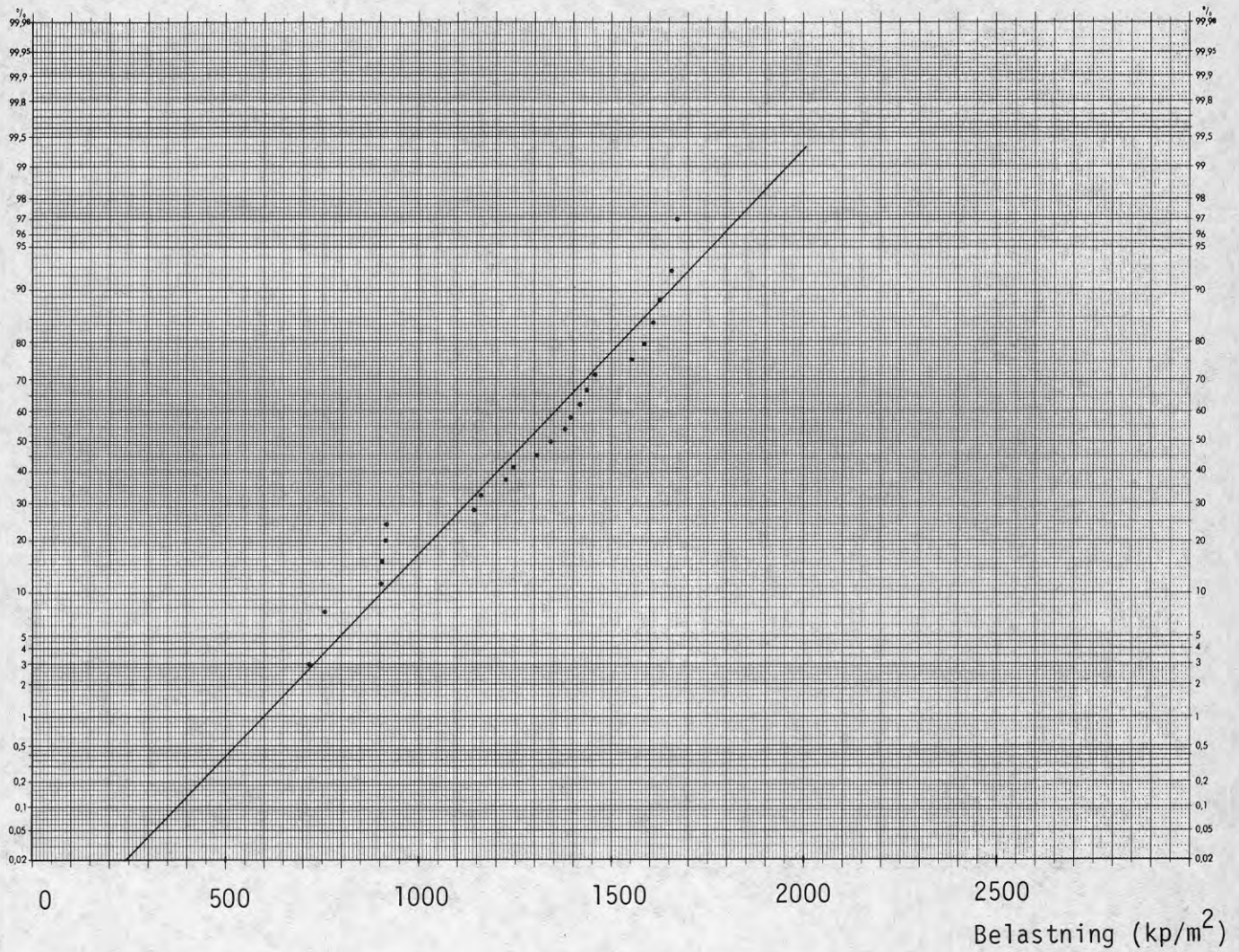


FIG.64 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 12.54$  kPa (1278 kp/m<sup>2</sup>),  $C_v = 0.228$ ,  $n = 23$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

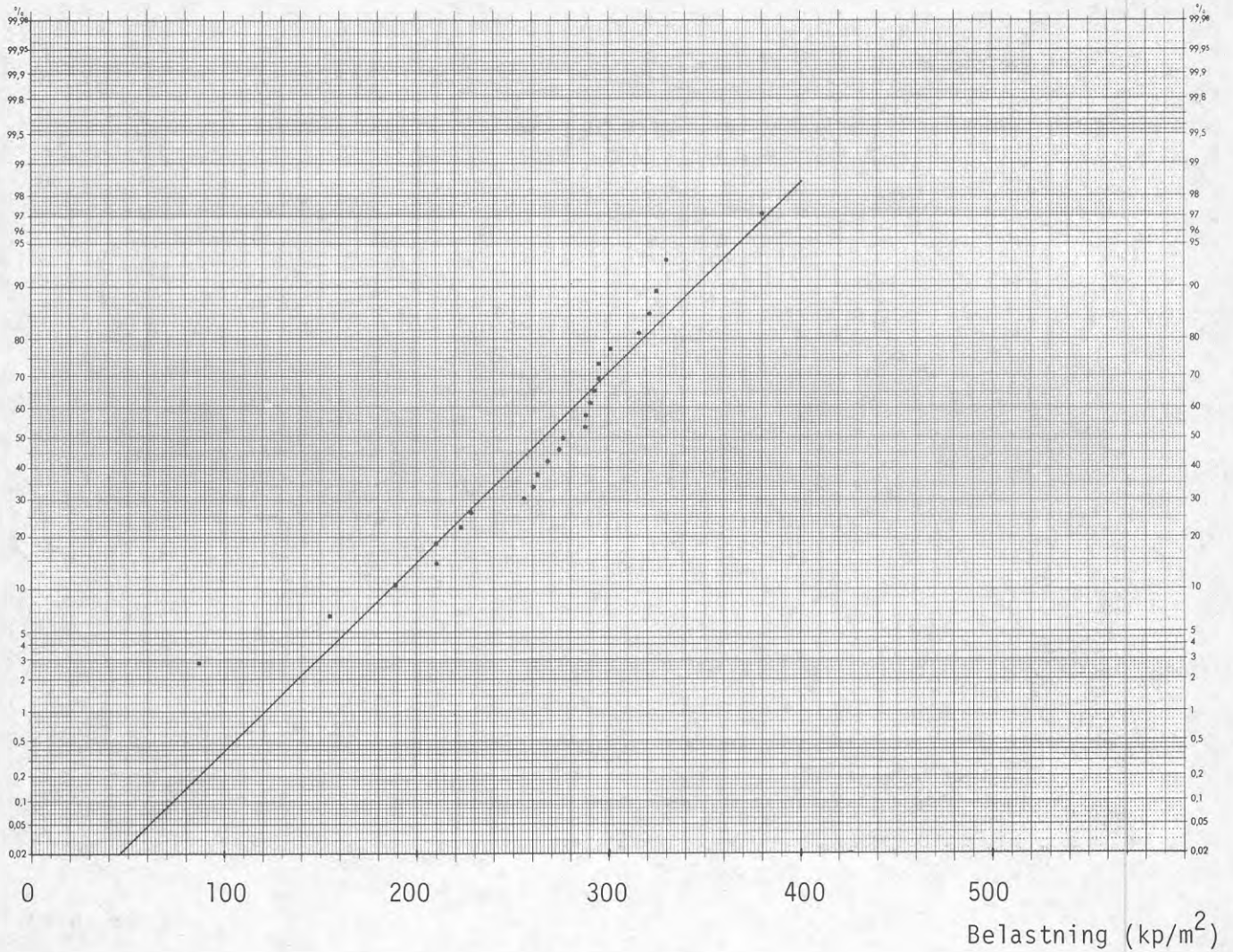


FIG.65 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1400x1400 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 2.60$  kPa ( $265 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.233$ ,  $n = 25$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

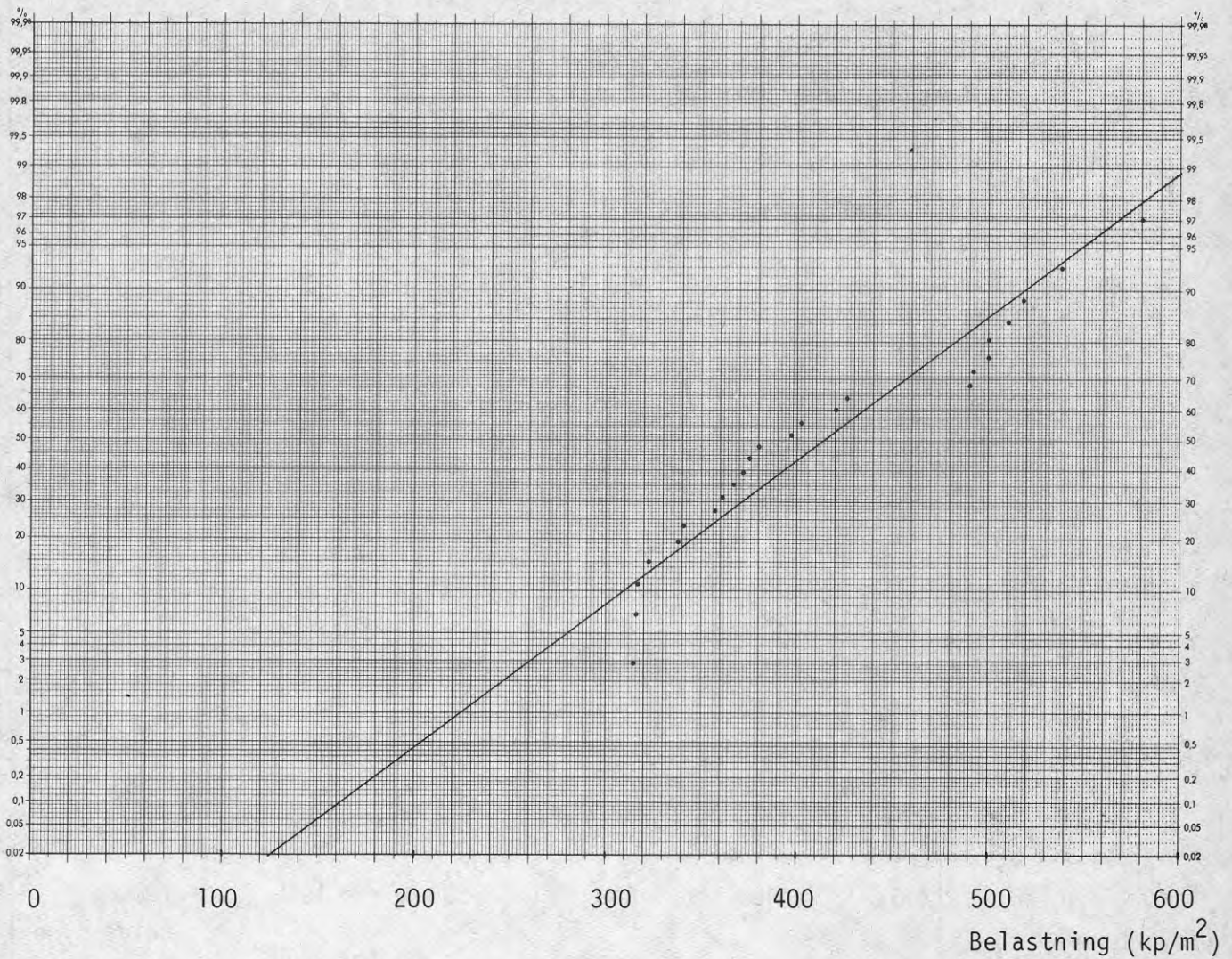


FIG.66 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1400x1400 mm, tjocklek 4 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 4.06$  kPa (414 kp/m<sup>2</sup>),  $C_v = 0.196$ ,  $n = 24$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

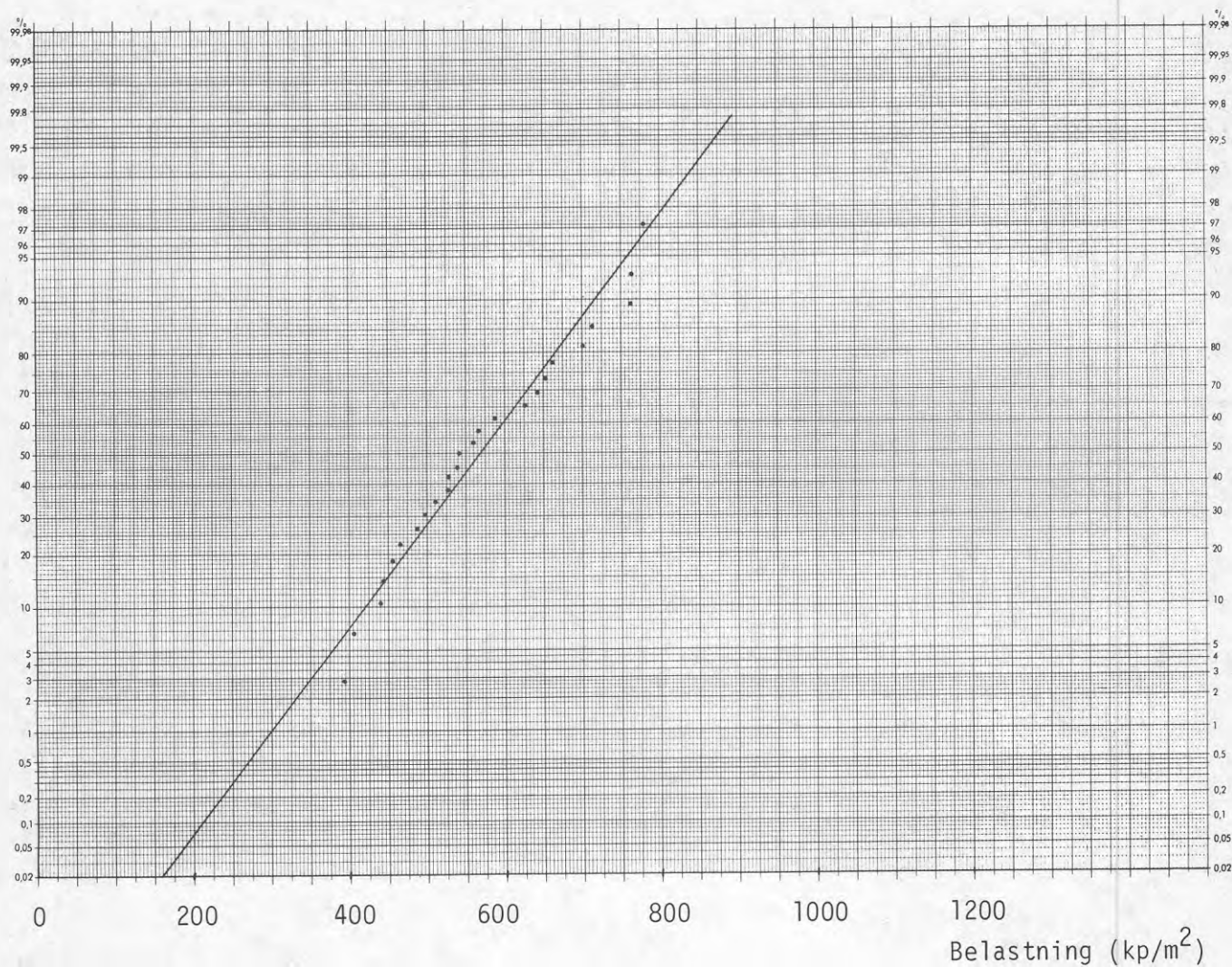


FIG.67 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1400x1400 mm, tjocklek 5 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 5.58$  kPa ( $569 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.202$ ,  $n = 25$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

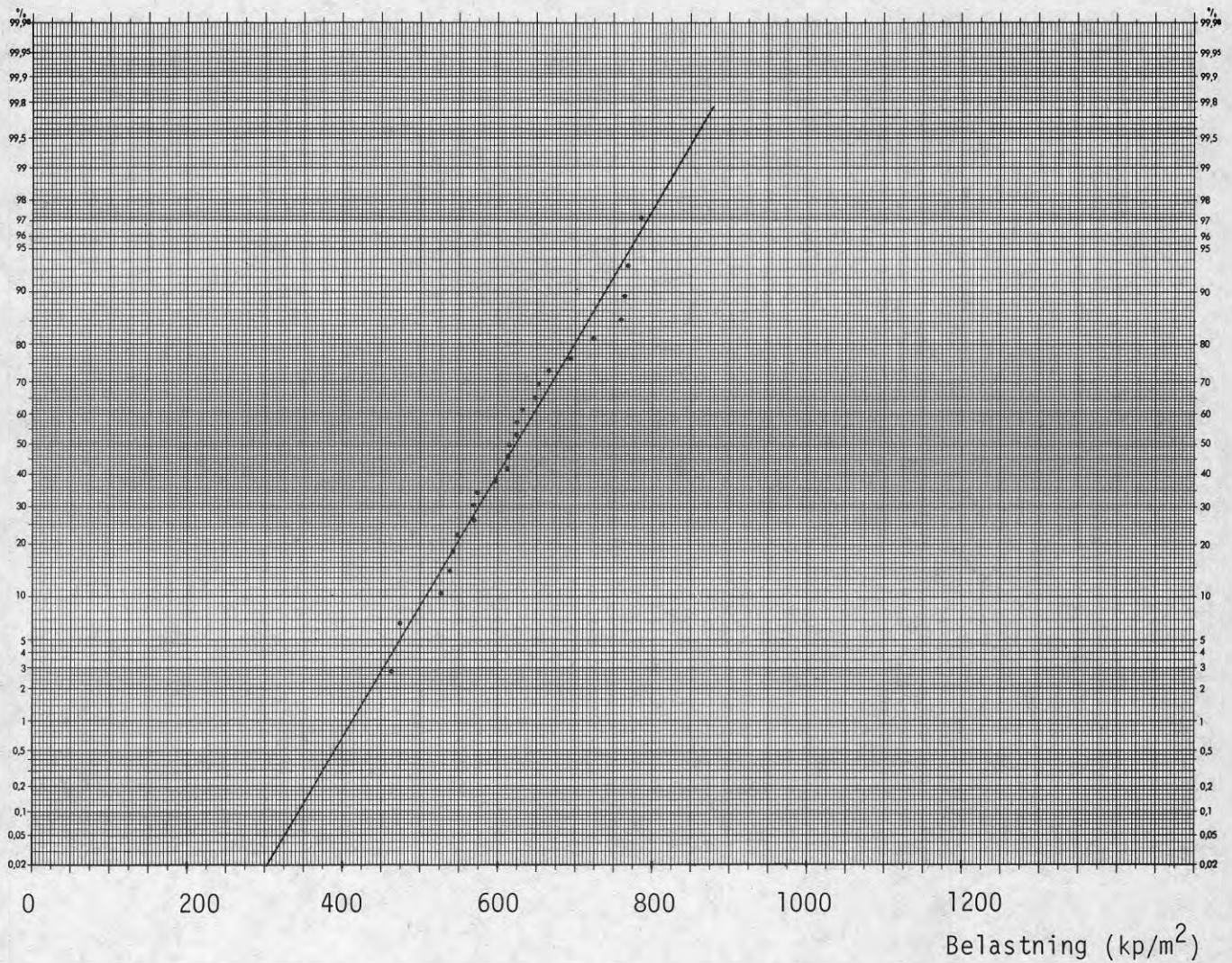


FIG.68 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1400x1400 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 6.11$  kPa ( $623 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.144$ ,  $n = 25$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

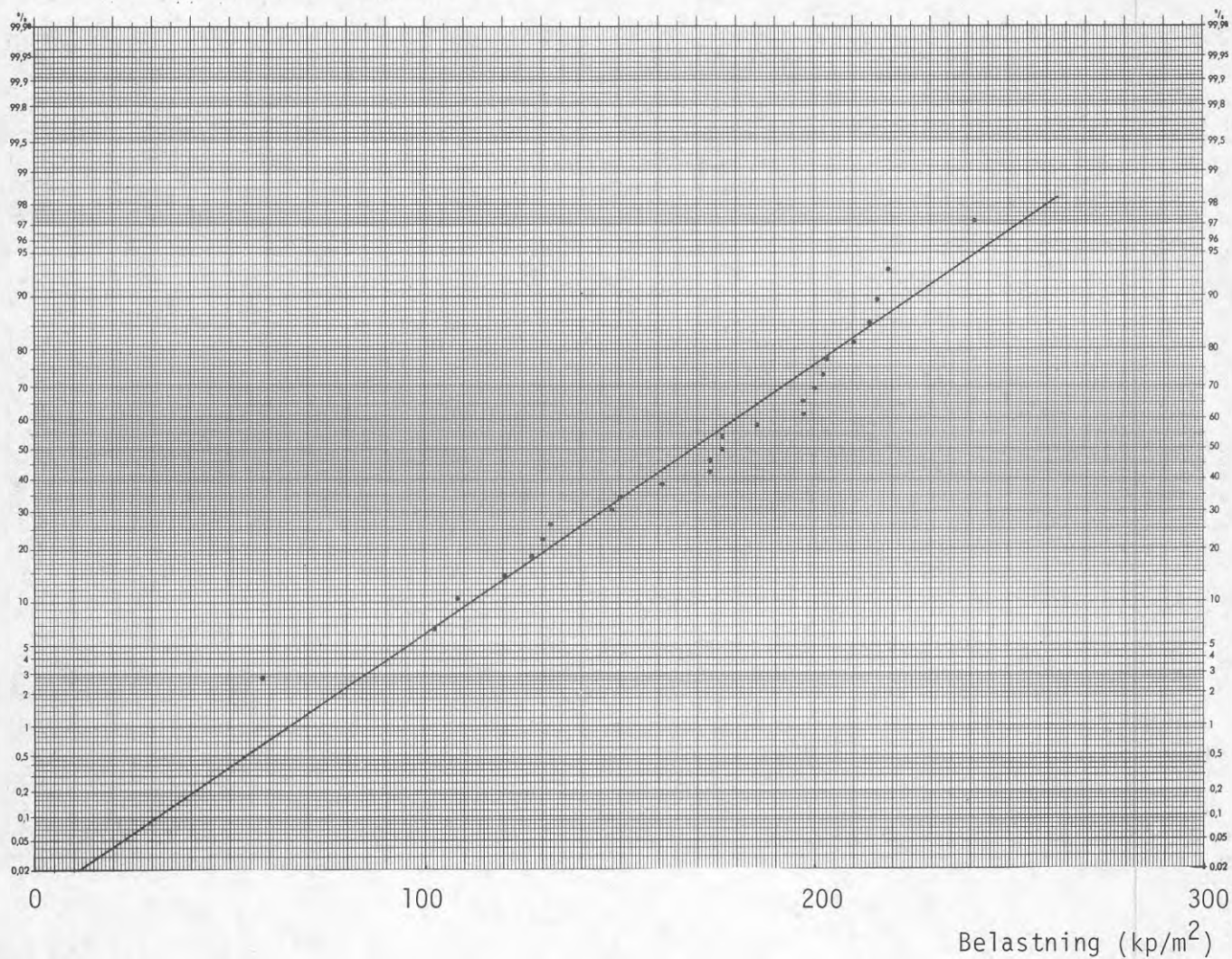


FIG.69 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1700x1700 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 1.66$  kPa (169 kp/m<sup>2</sup>),  $C_v = 0.263$ ,  $n = 25$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

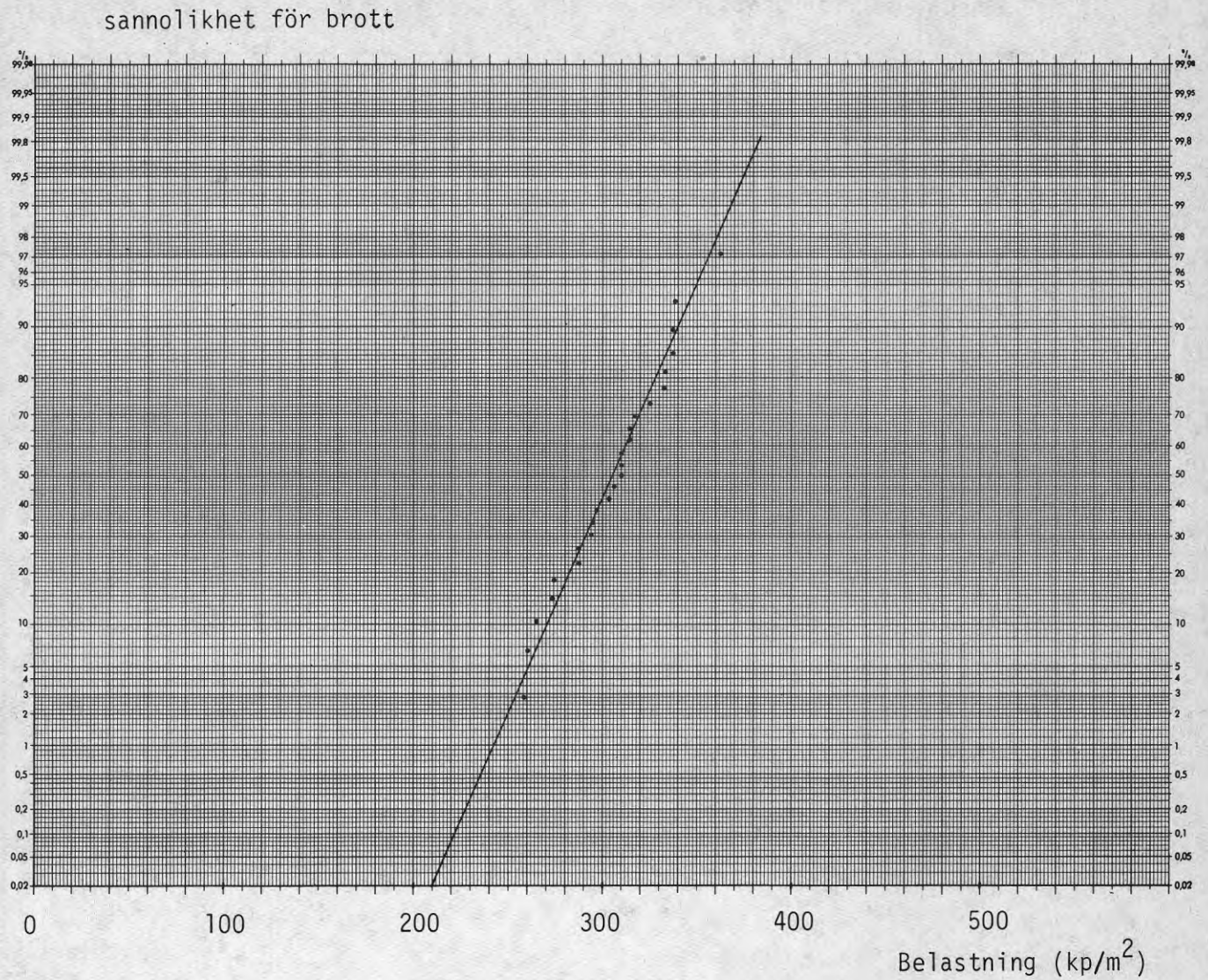


FIG.70 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1700x1700 mm, tjocklek 4 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 2.99$  kPa ( $305 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.088$ ,  $n = 25$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

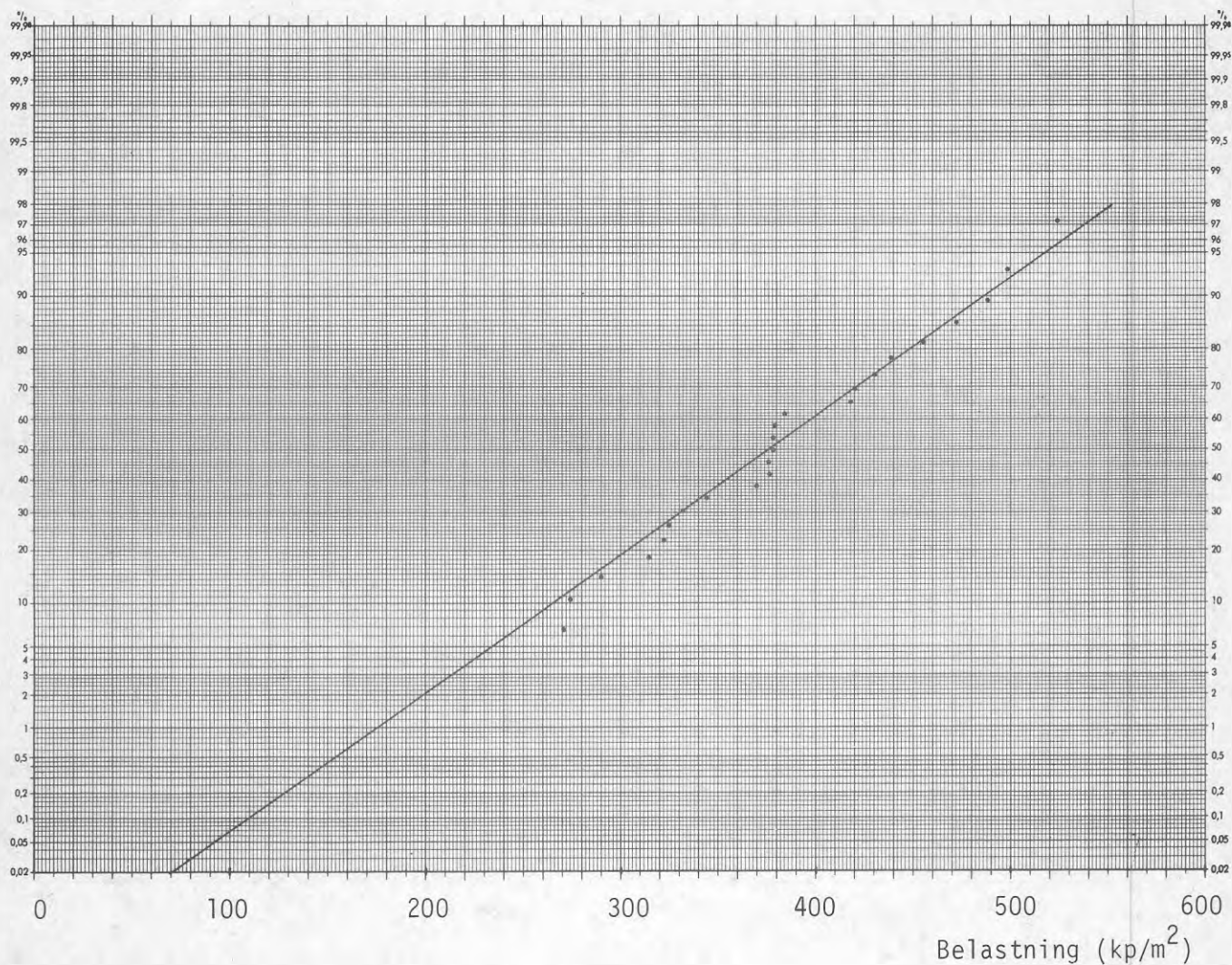


FIG.71 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1700x1700 mm, tjocklek 5 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 3.68$  kPa ( $375 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.230$ ,  $n = 25$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

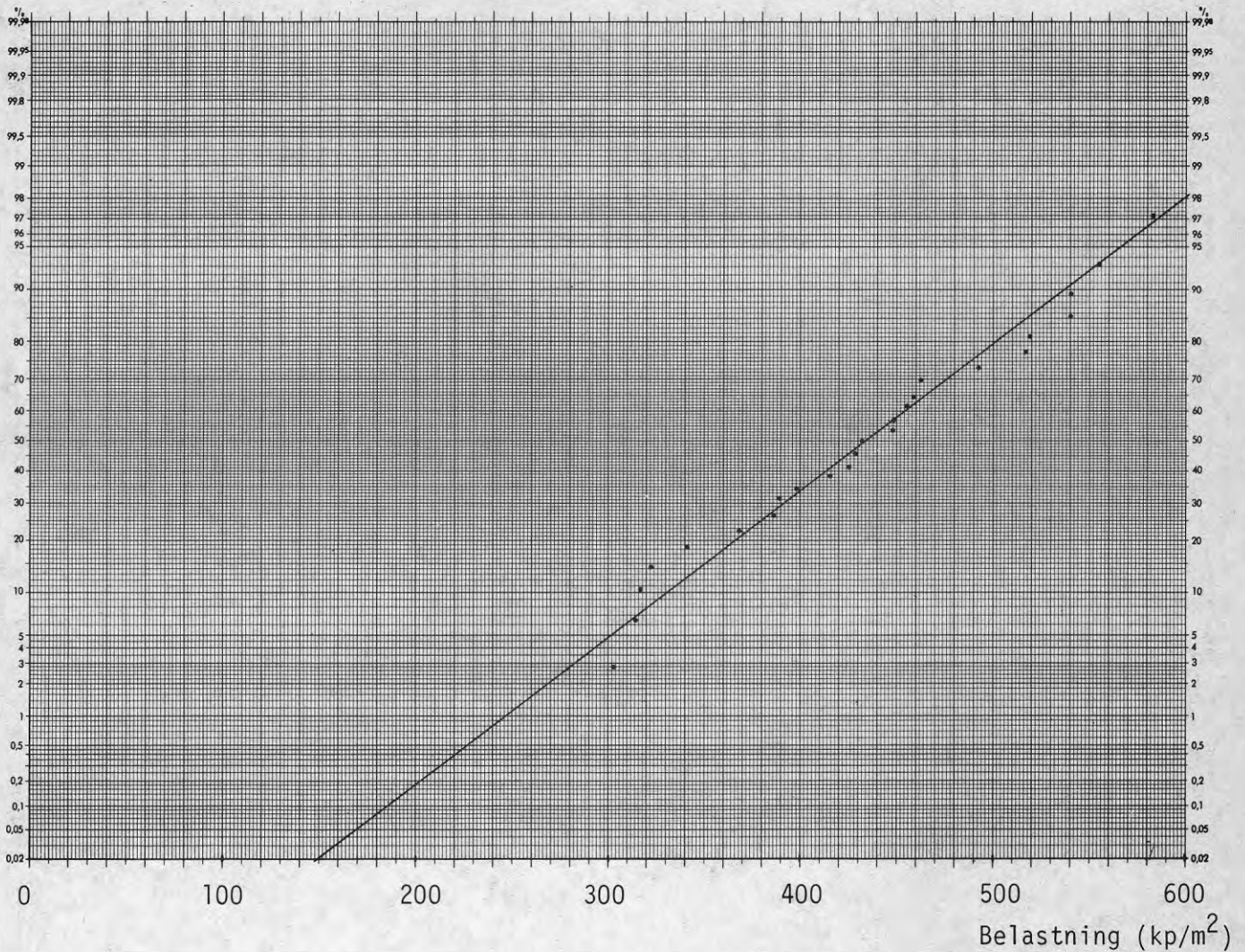


FIG.72 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 1700x1700 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 4.26$  kPa (434 kp/m<sup>2</sup>),  $C_V = 0.185$ ,  $n = 25$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

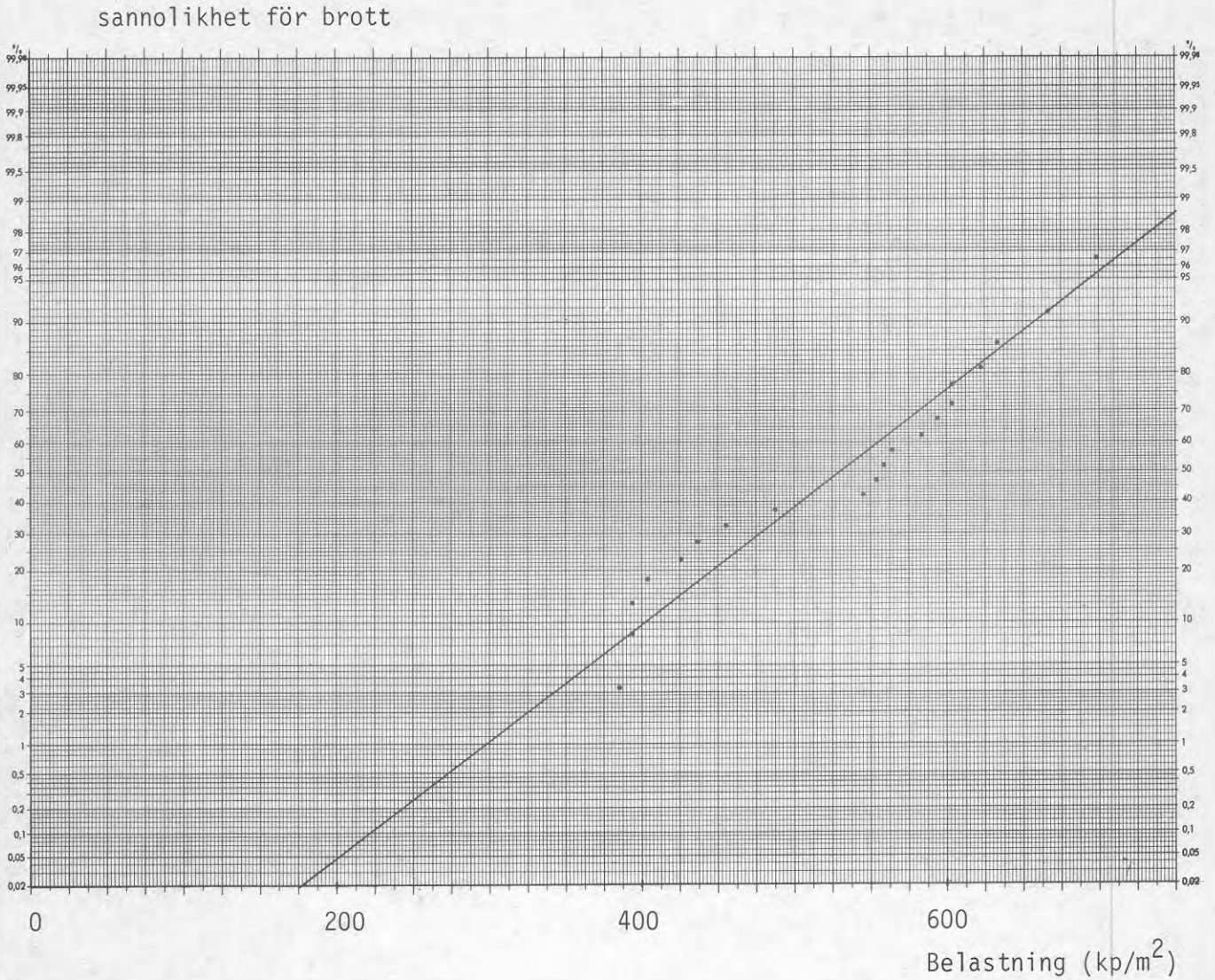


FIG.73 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 710x1410 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 5.20$  kPa ( $530 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.188$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

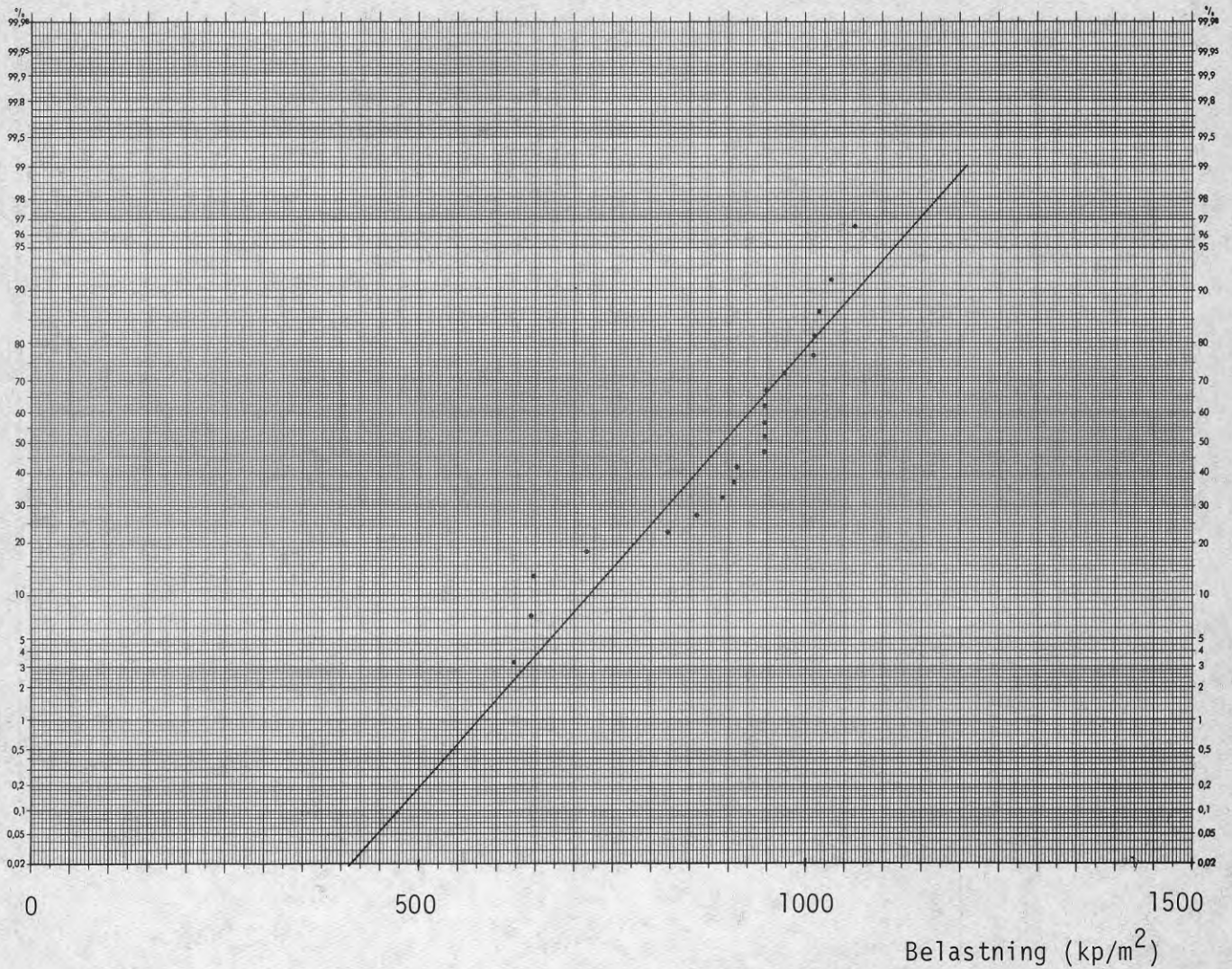


FIG.74 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 710x1410 mm, tjocklek 4 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 8.76$  kPa ( $893 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.151$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

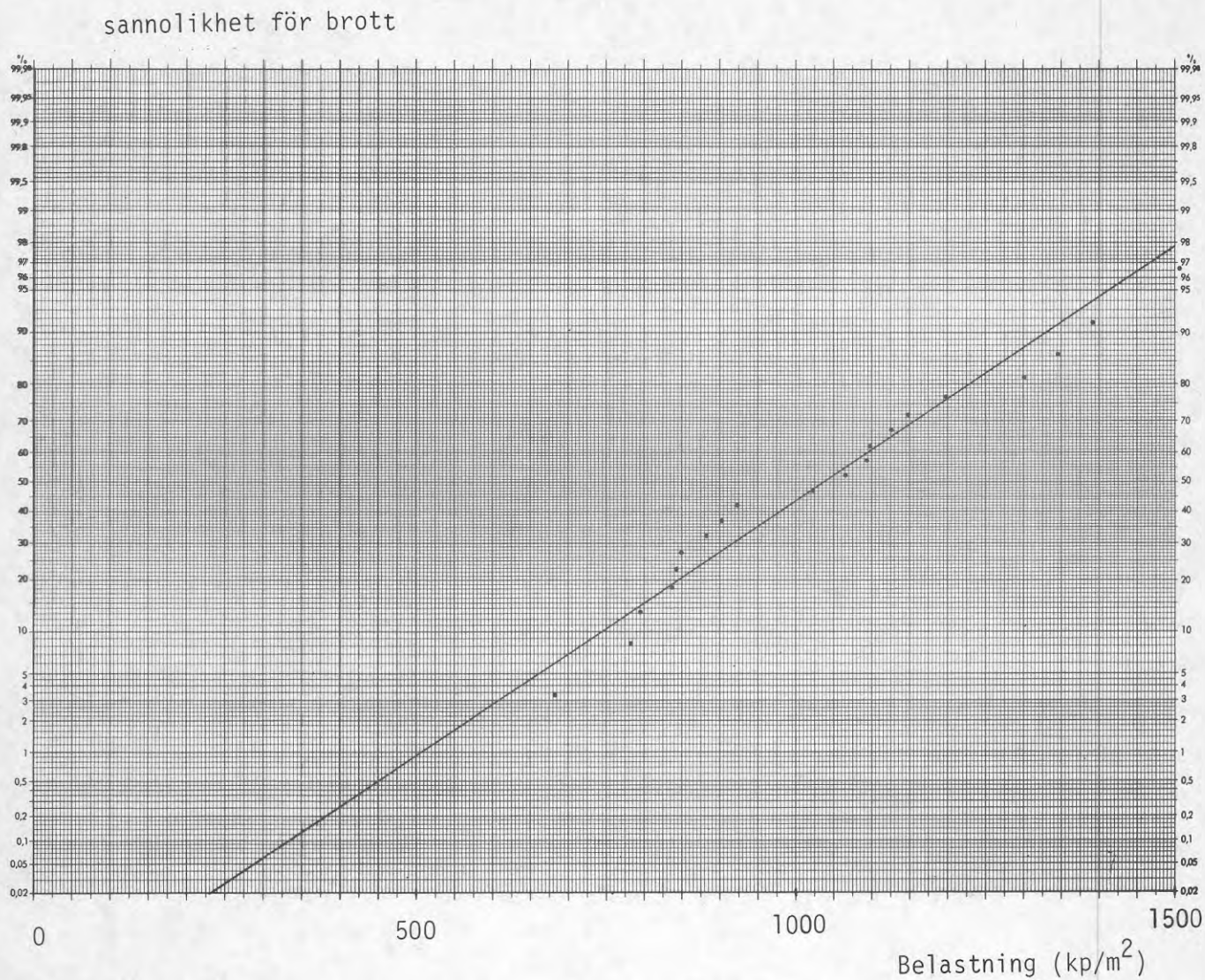


FIG.75 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 710x1410 mm, tjocklek 5 mm, Emmaboda glasverk.  $m = 10.19$  kPa ( $1039 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_v = 0.219$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

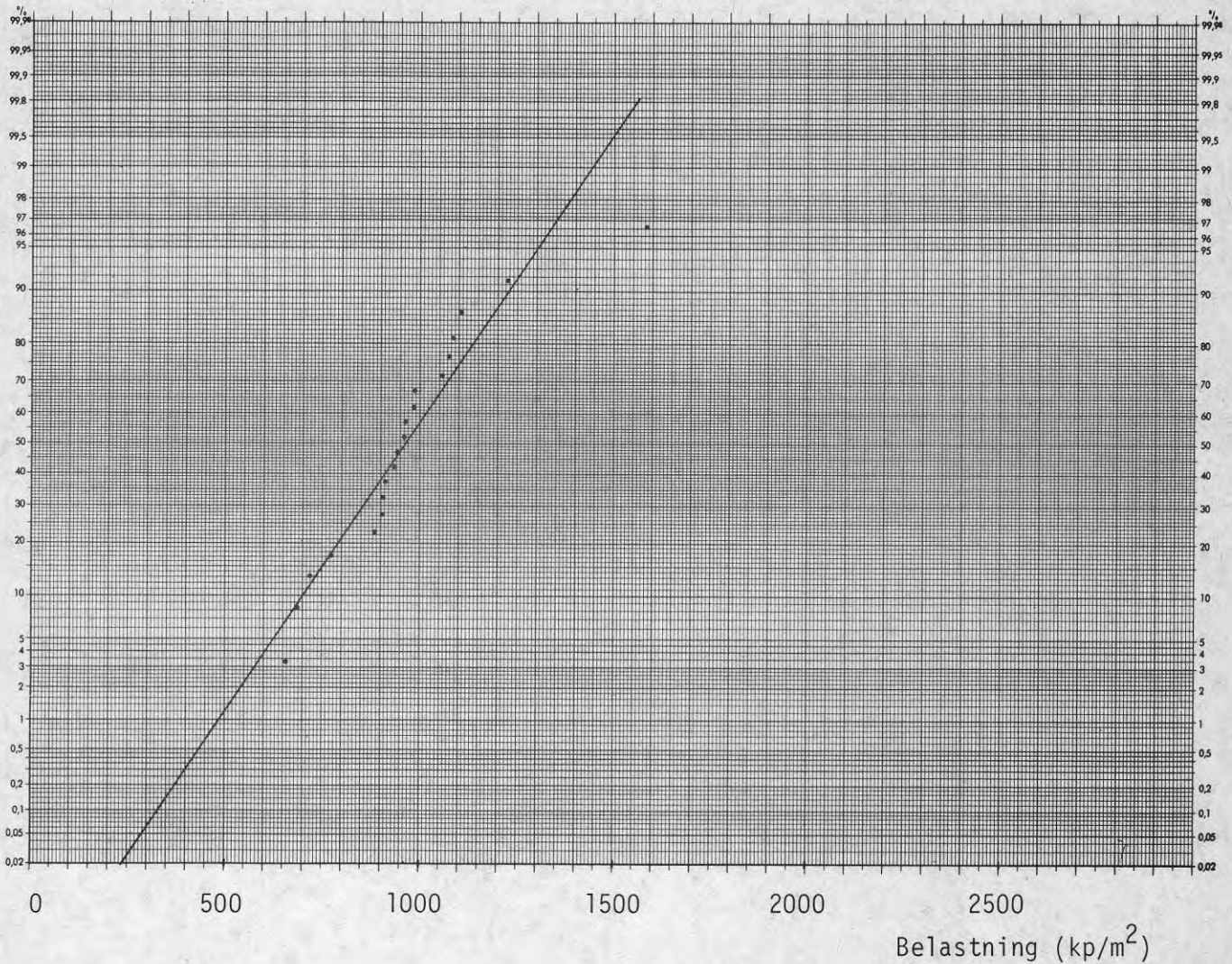


FIG.76 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 710x1410 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 9.48$  kPa ( $966 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.212$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

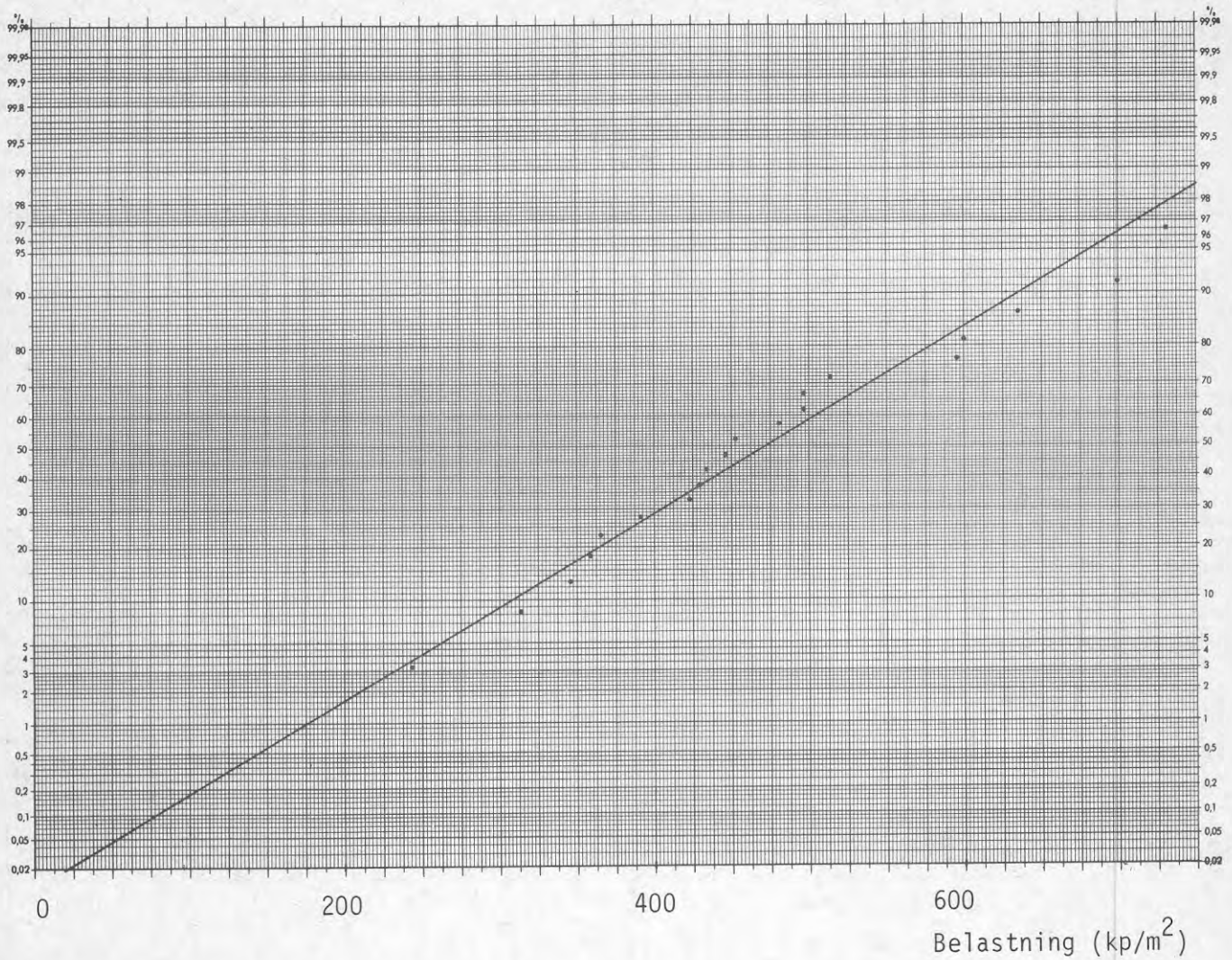


FIG.77 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 580x1730 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 4.63$  kPa ( $472 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.270$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

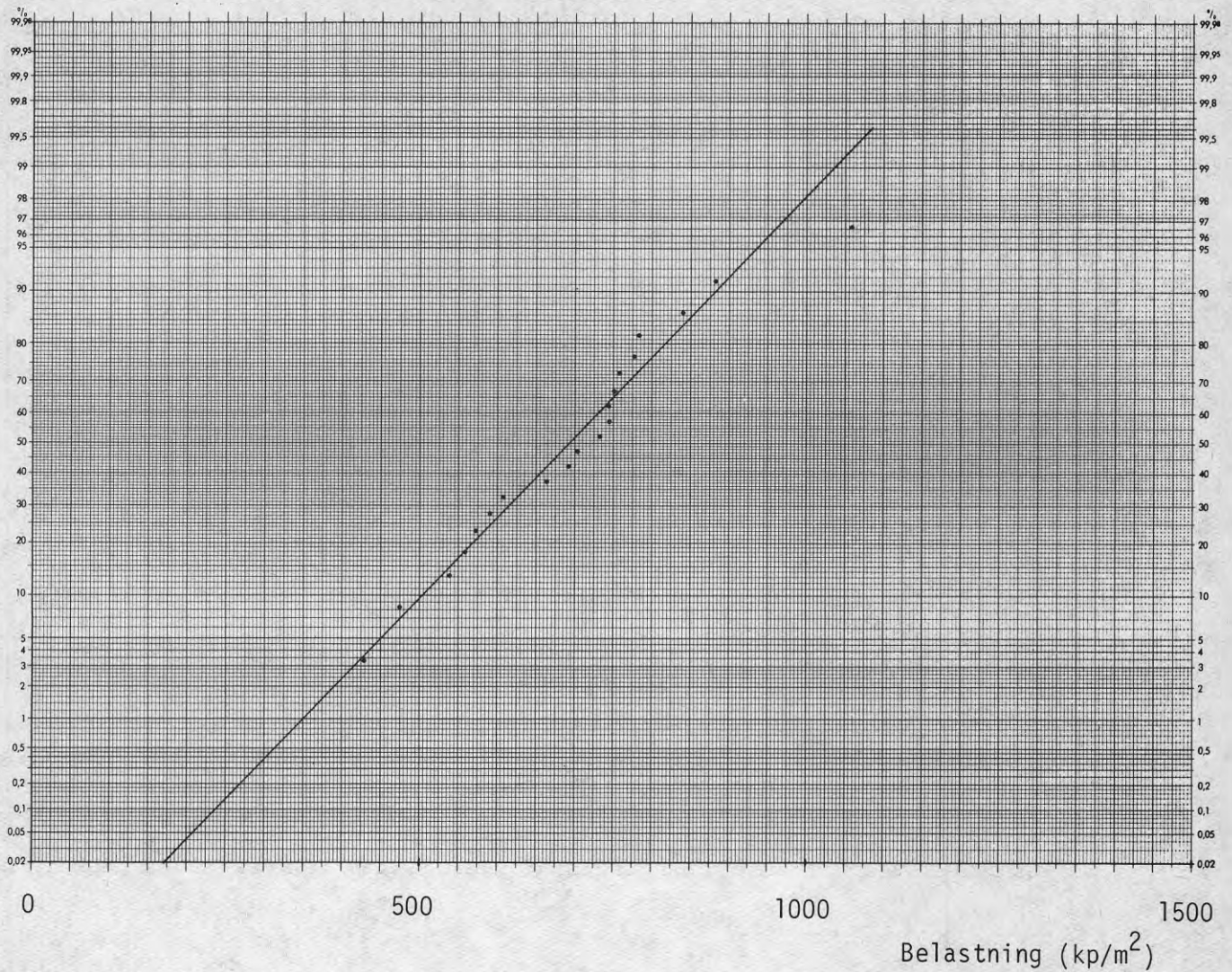


FIG.78 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 580x1730 mm, tjocklek 4 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 6.81$  kPa ( $694 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.212$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

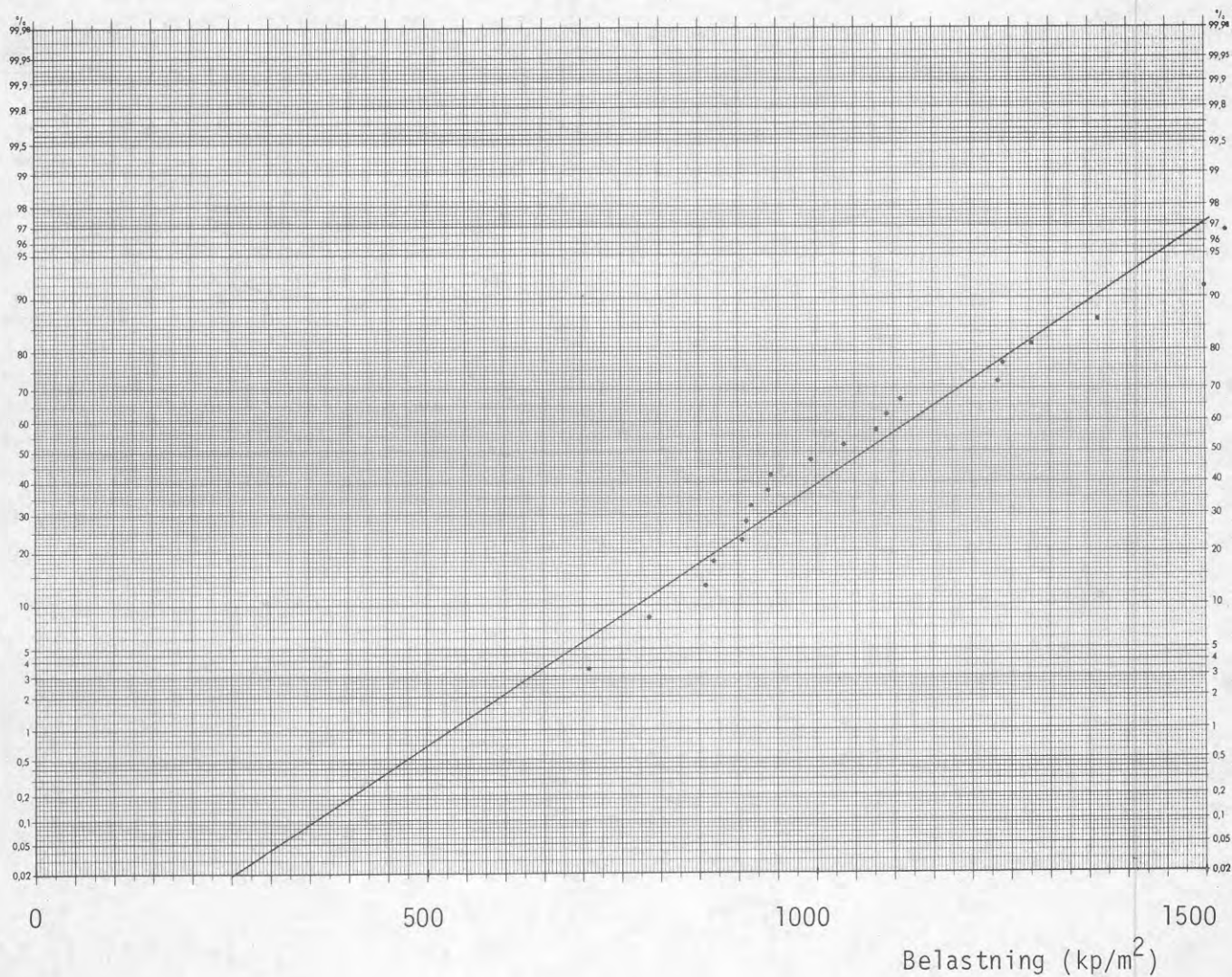


FIG.79 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 580x1730 mm, tjocklek 5 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 10.43$  kPa ( $1063 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_v = 0.214$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

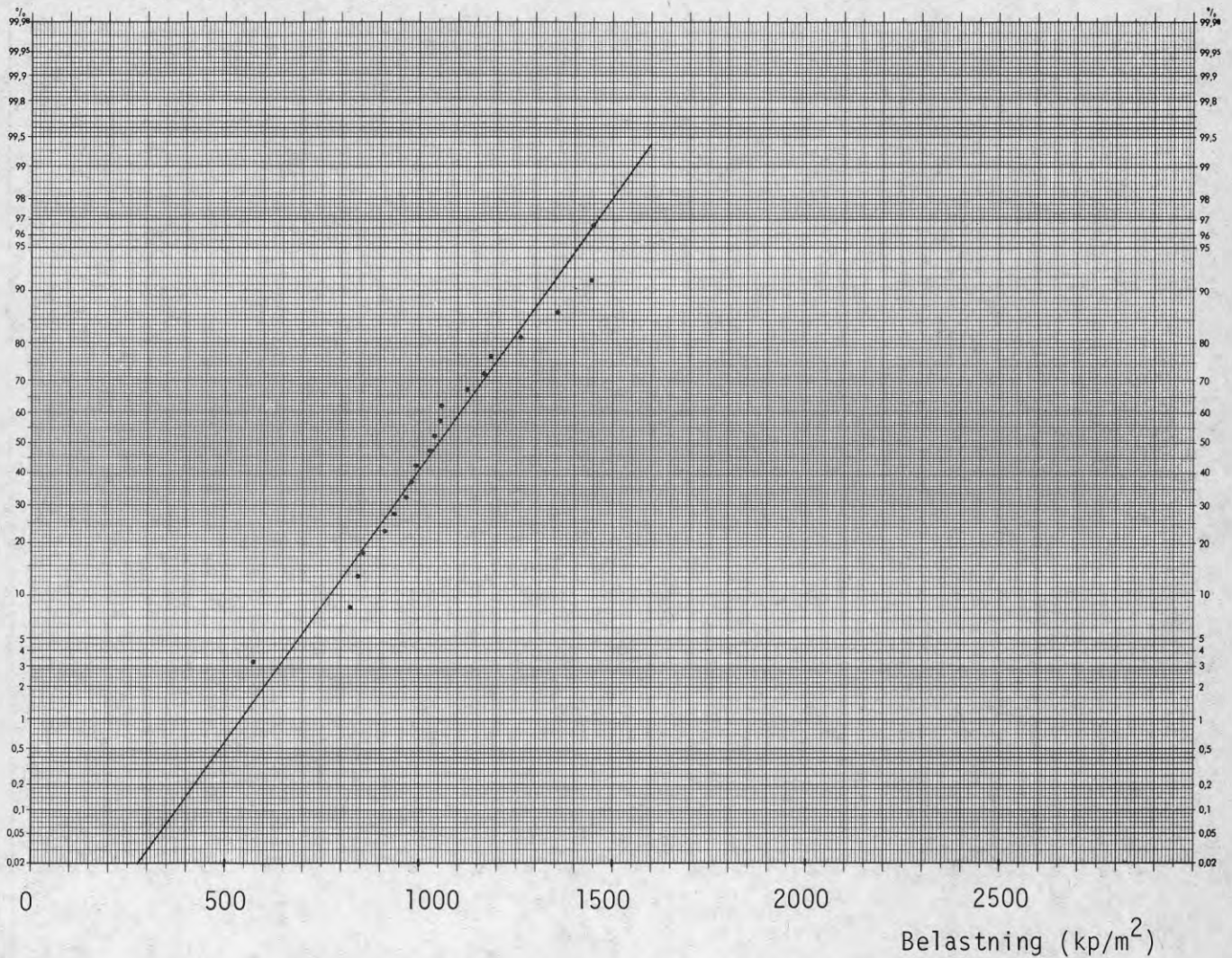


FIG.80 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 580x1730 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 10.32$  kPa ( $1052 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.206$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

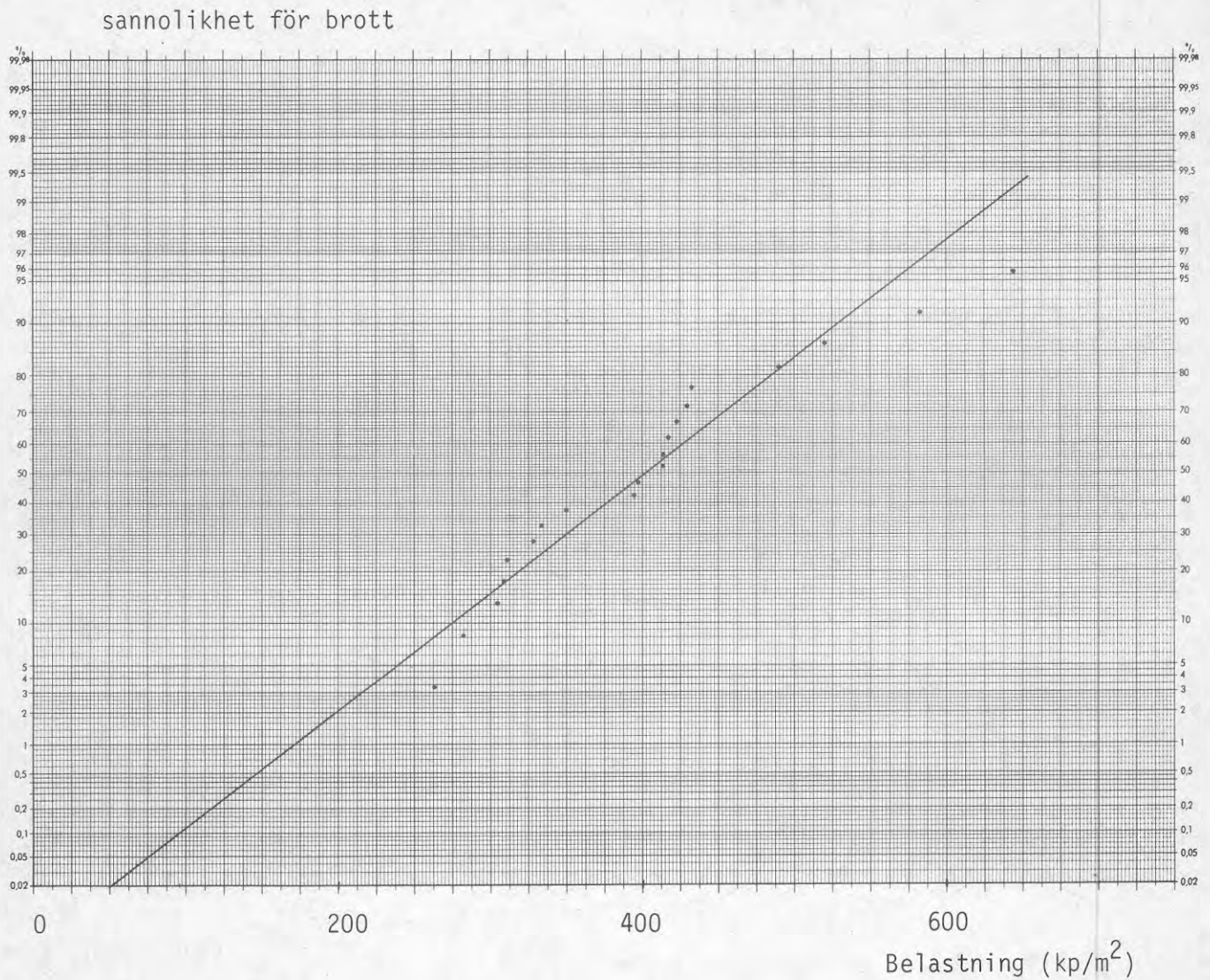


FIG.81 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 500x2000 mm, tjocklek 3 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 3.94$  kPa (402 kp/m<sup>2</sup>),  $C_V = 0.247$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

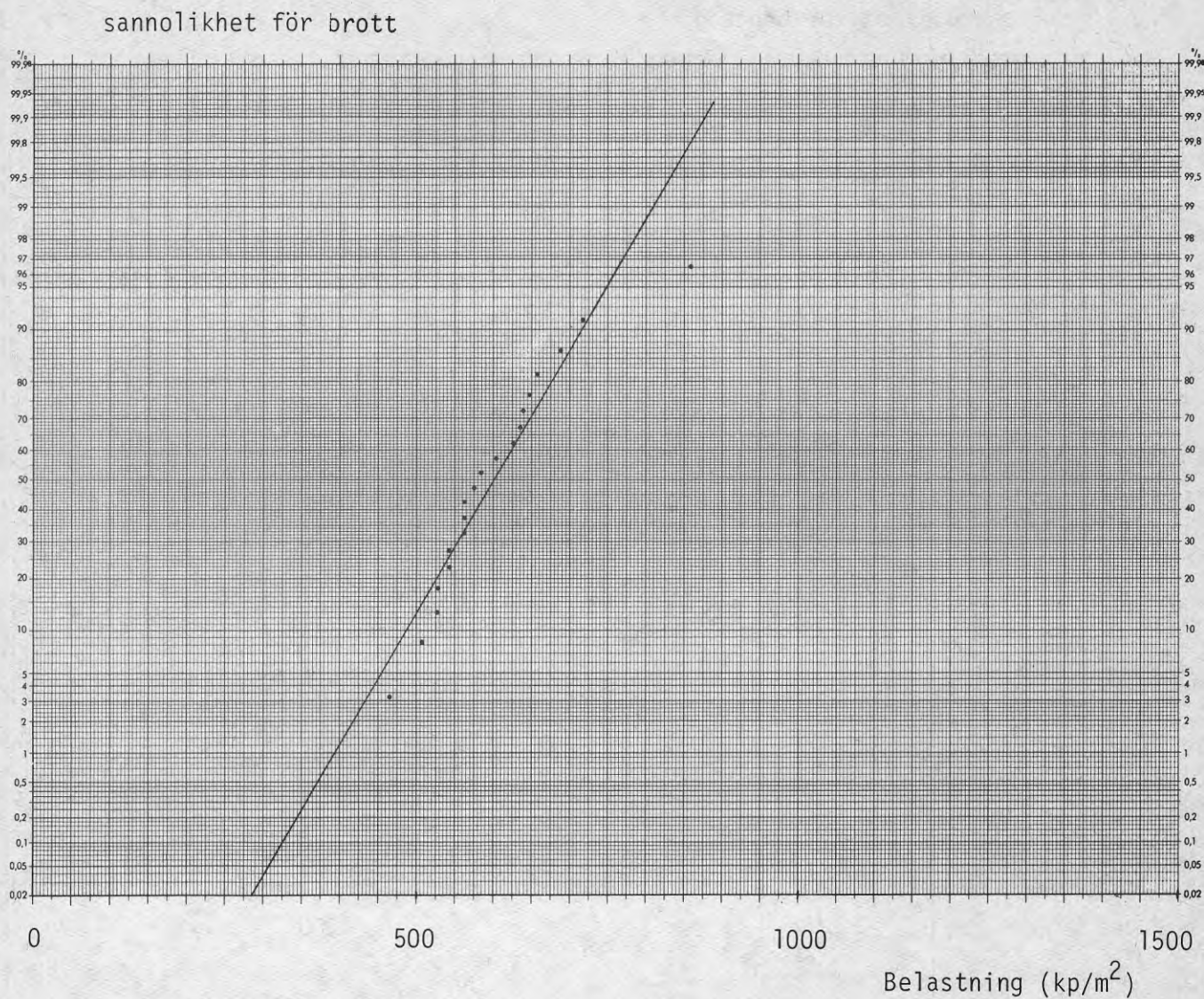


FIG.82 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 500x2000 mm, tjocklek 4 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 5.90$  kPa ( $601 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_v = 0.147$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

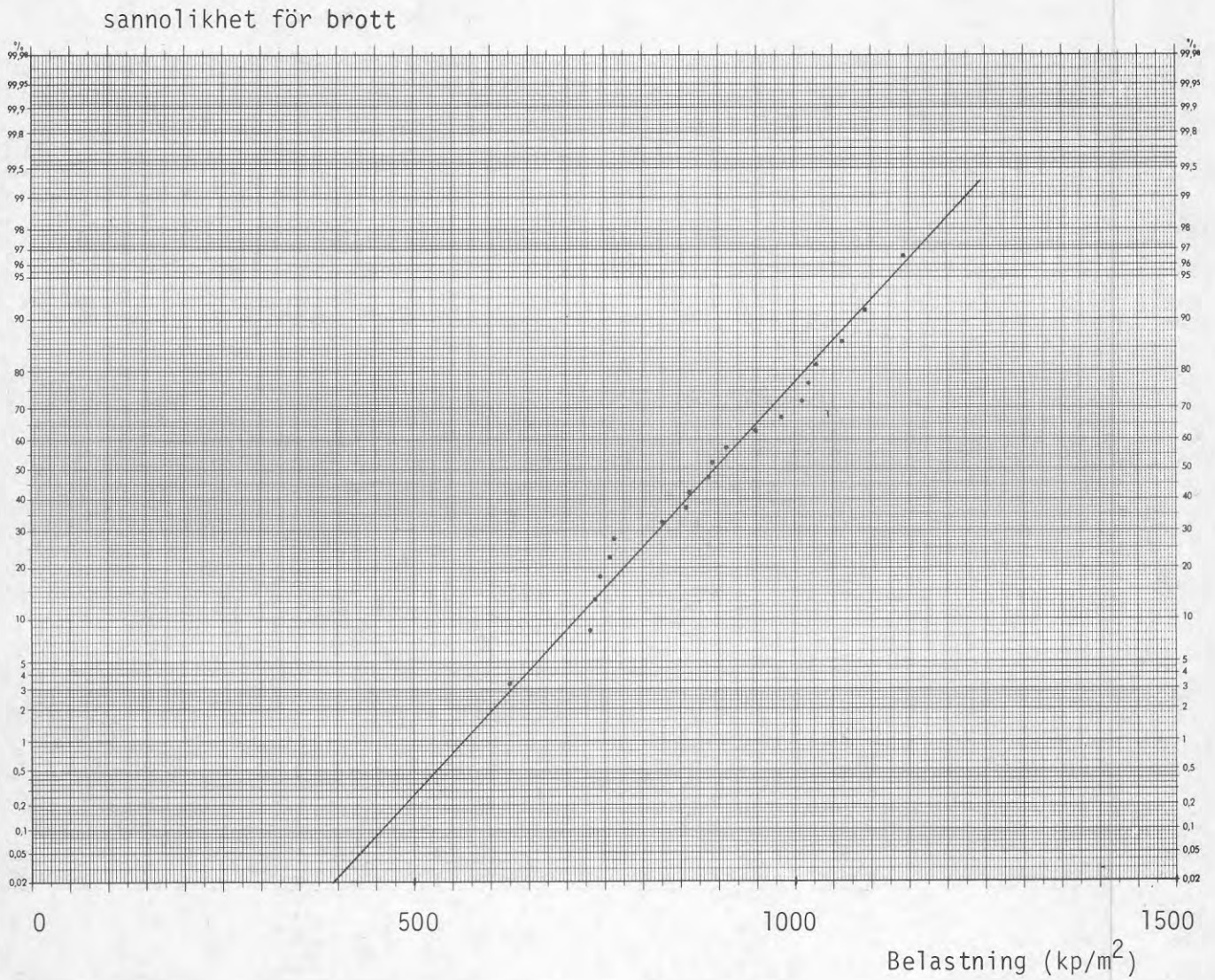


FIG.83 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 500x2000 mm, tjocklek 5 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 8.77$  kPa ( $894 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_v = 0.158$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

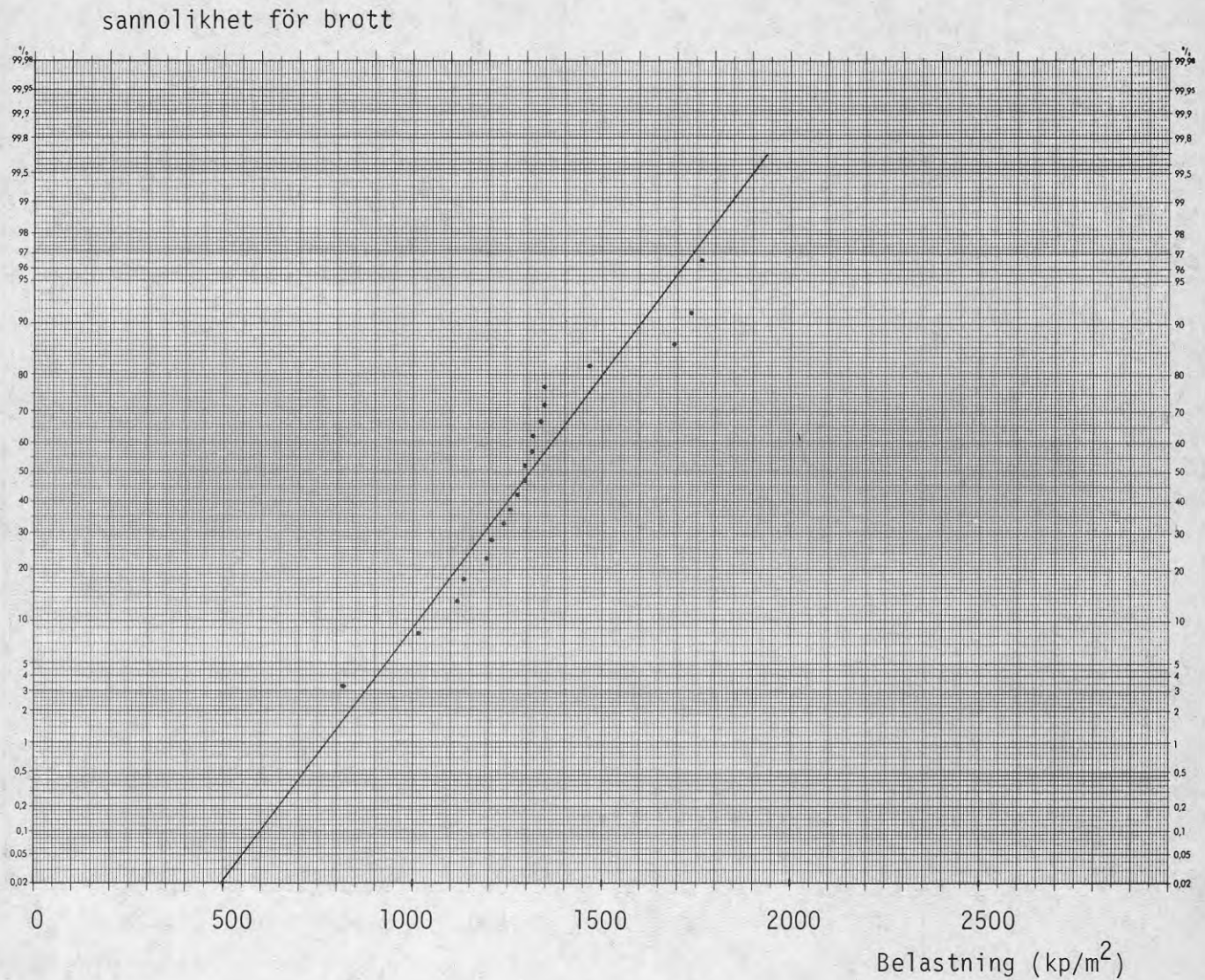


FIG.84 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt maskinglas 500x2000 mm, tjocklek 6 mm, Emmaboda Glasverk.  $m = 12.83$  kPa (1308 kp/m<sup>2</sup>),  $C_v = 0.175$ ,  $n = 20$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

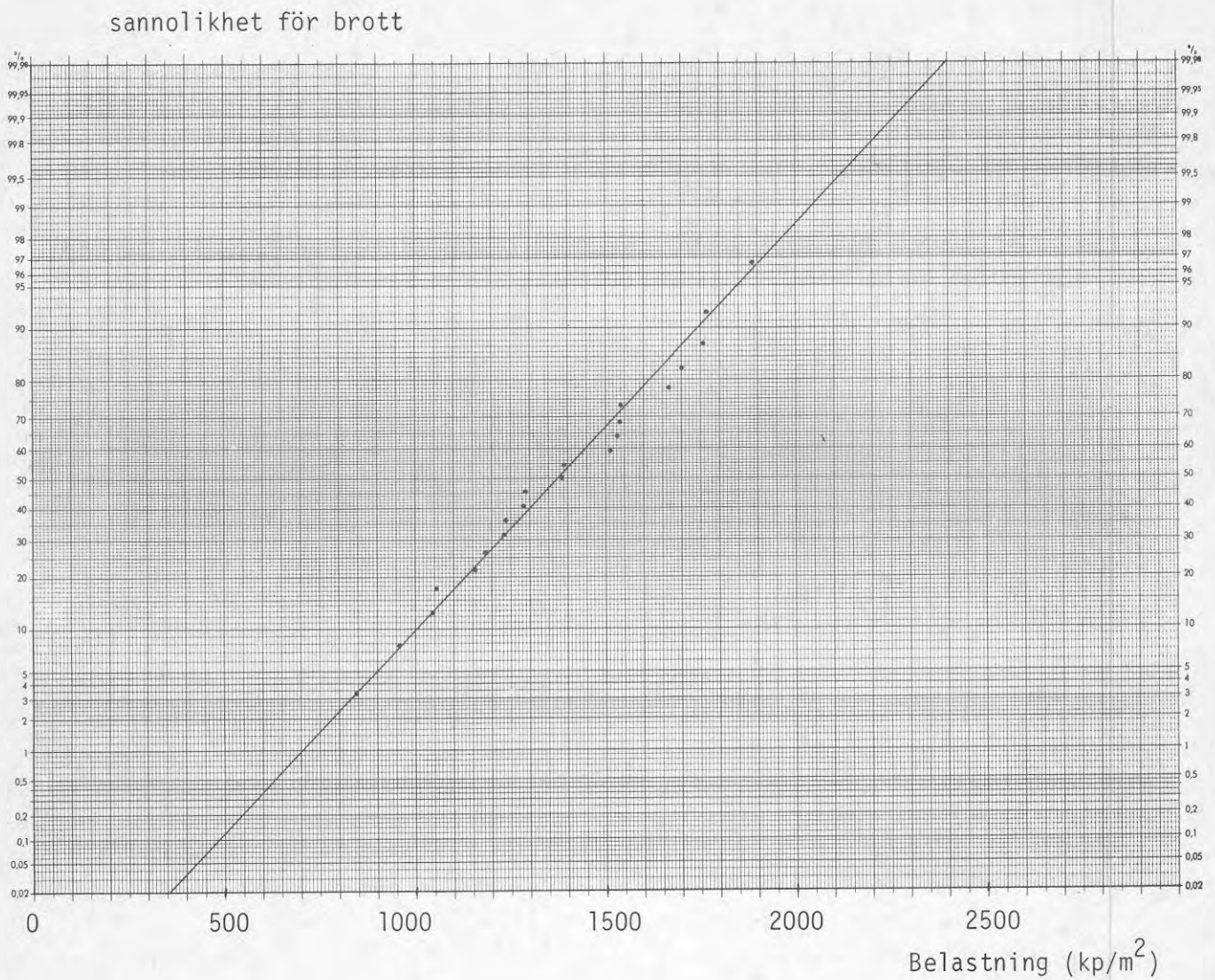


FIG.85 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt floatglas 1000x1000 mm, tjocklek 4 mm, S:t Gobain.  $m = 13.51$  kPa ( $1377$  kp/m<sup>2</sup>),  $C_V = 0.209$ ,  $n = 21$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

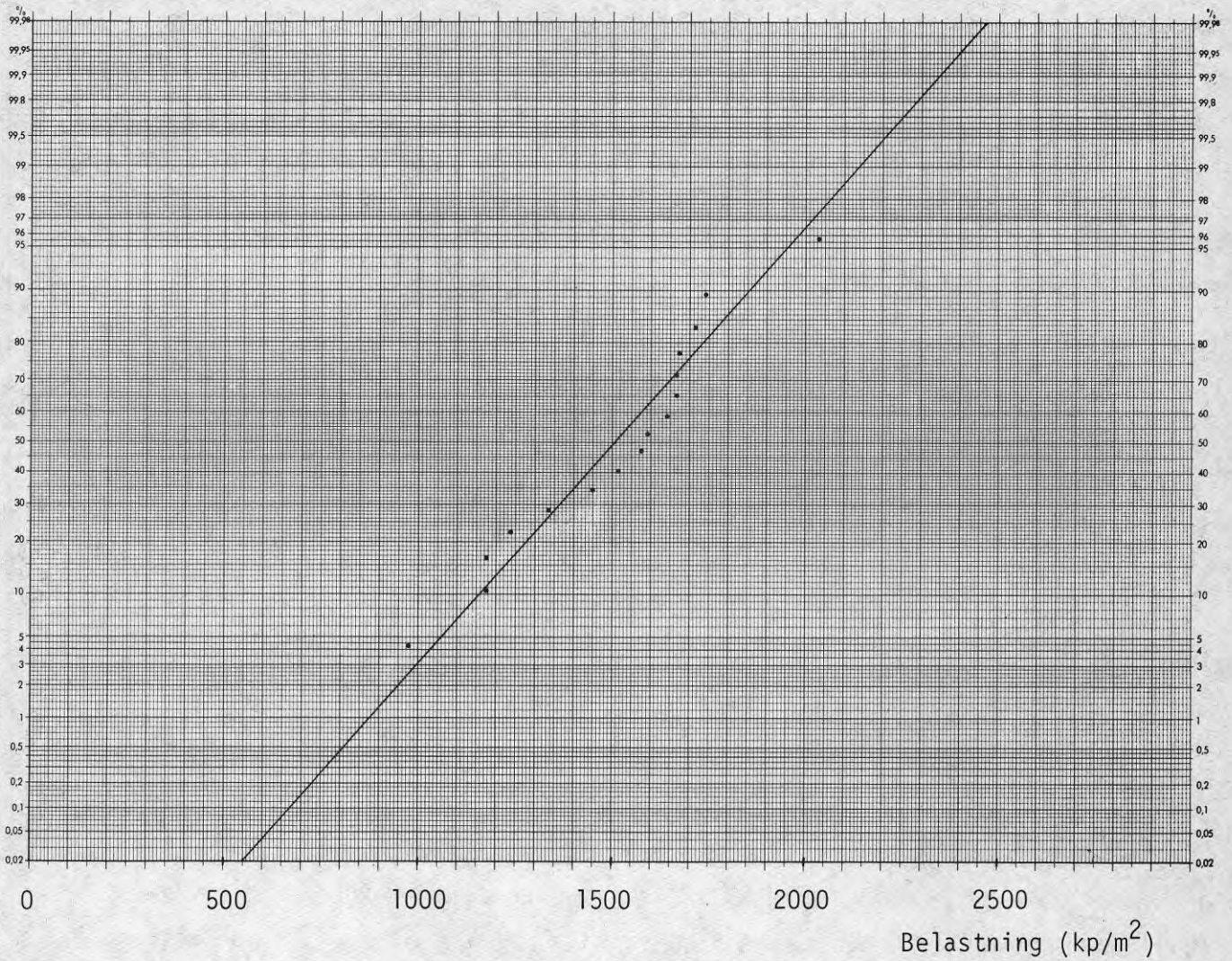


FIG.86 Sannolikhet för brott vid olika vindbelastning för fritt upplagt floatglas 1000x1000 mm, tjocklek 5 mm, S:t Gobain.  $m = 14.80$  kPa ( $1509$  kp/m<sup>2</sup>),  $C_V = 0.179$ ,  $n = 16$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

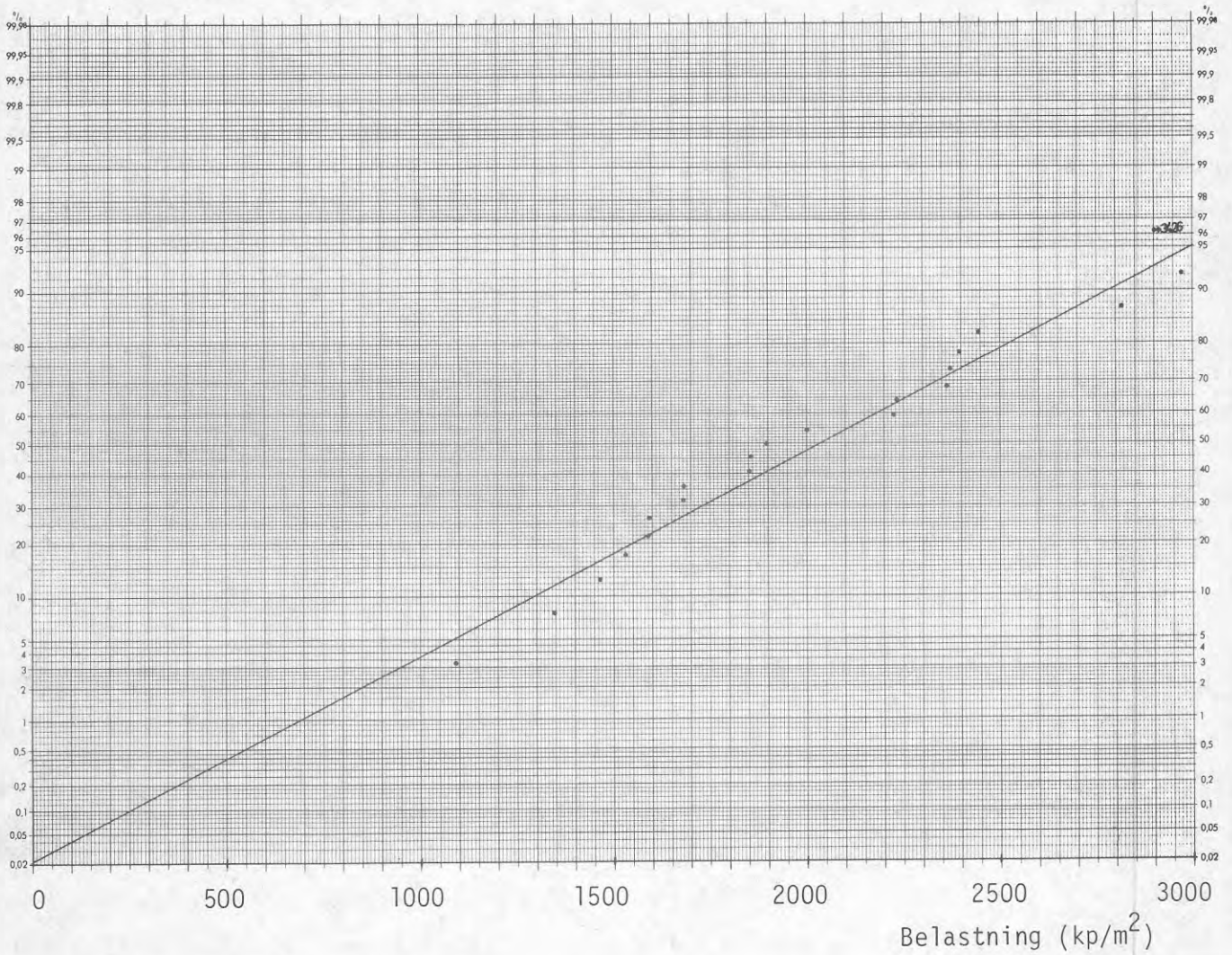


FIG.87 Sannolikhet för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt floatglas 1000x1000 mm, tjocklek 6 mm, S:t Gobain.  $m = 20.00$  kPa ( $2039 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_v = 0.284$ ,  $n = 21$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

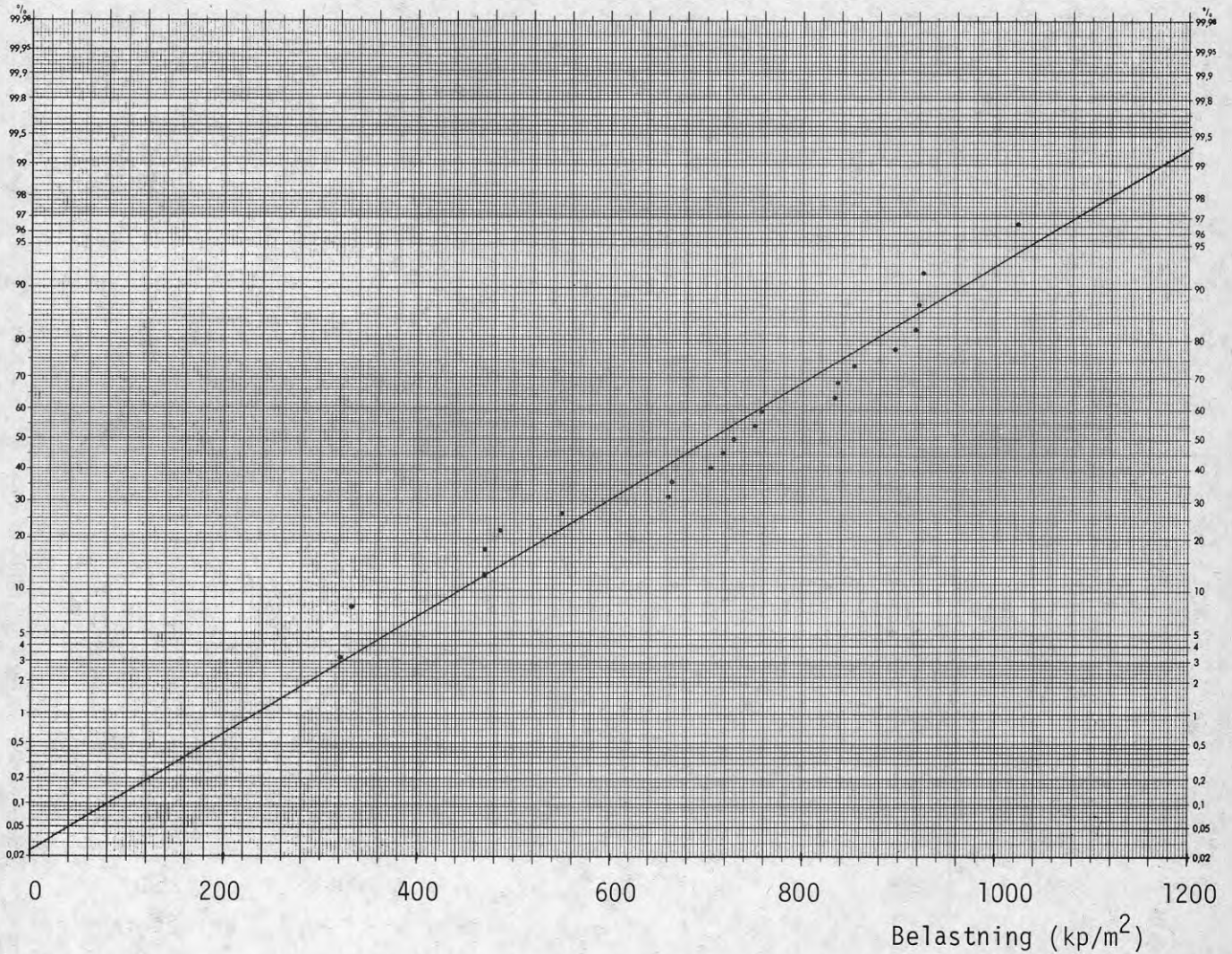


FIG.88 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt floatglas 710x1410 mm, tjocklek 3 mm, S:t Gobain.  $m = 6.92$  kPa (705  $\text{kp/m}^2$ ),  $C_v = 0.286$ ,  $n = 21$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

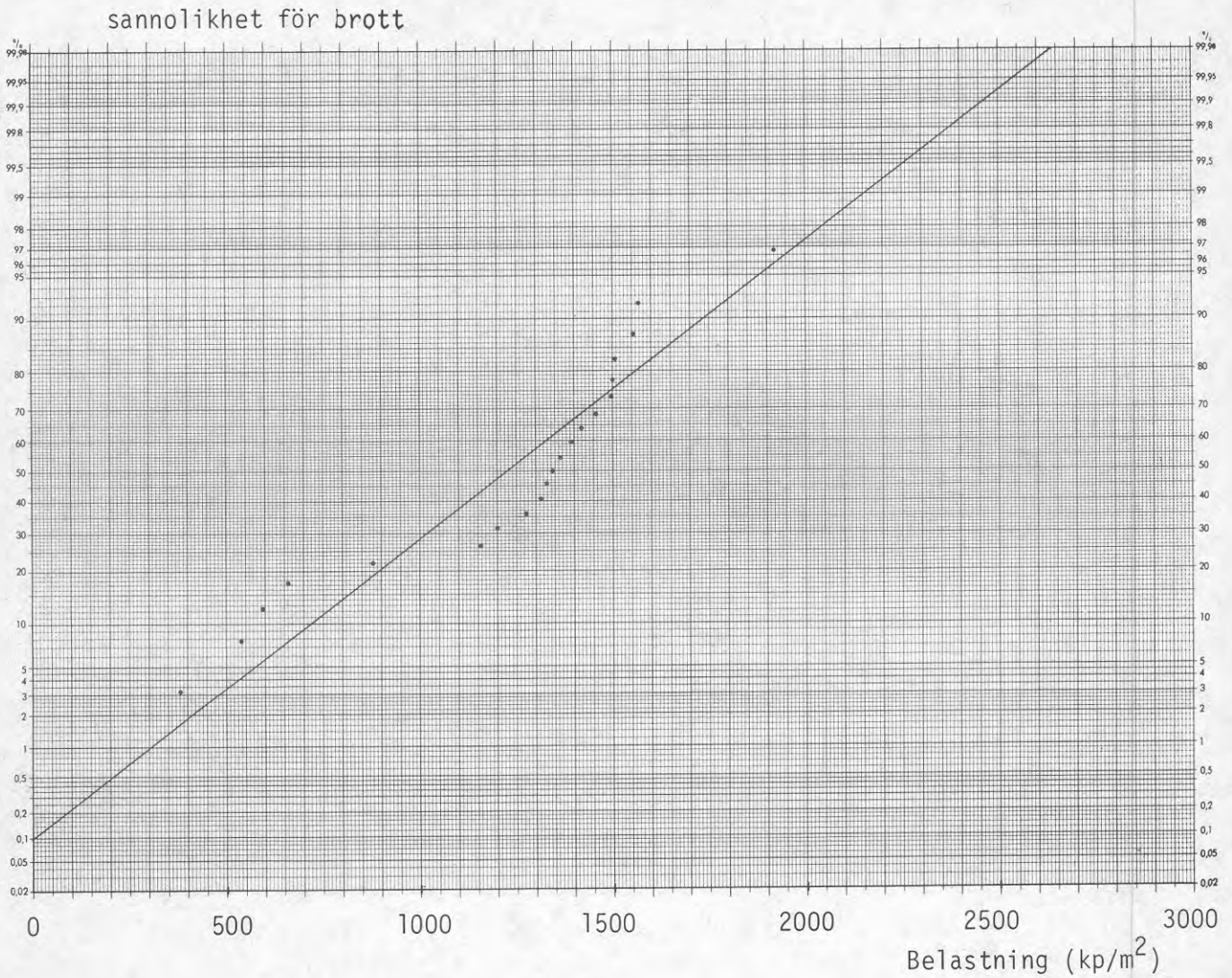


FIG.89 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastning för fritt upplagt floatglas 710x1410 mm, tjocklek 4 mm, S:t Gobain.  $m = 12.06$  kPa ( $1229$  kp/m<sup>2</sup>),  $C_v = 0.322$ ,  $n = 21$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

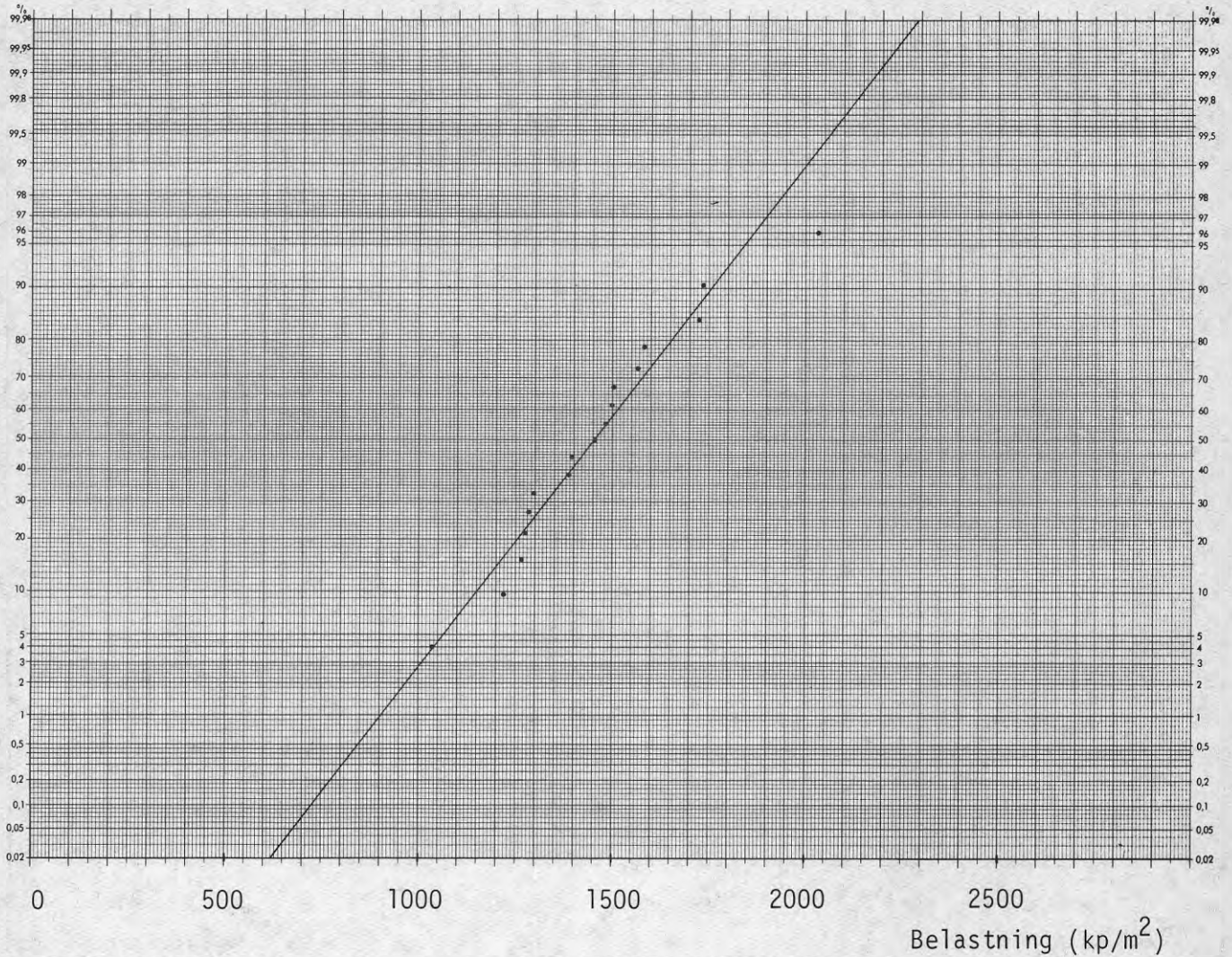


FIG.90 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt floatglas 710x1410 mm, tjocklek 5 mm, S:t Gobain.  $m = 14.25$  kPa ( $1453 \text{ kp/m}^2$ ),  $C_V = 0.161$ ,  $n = 17$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

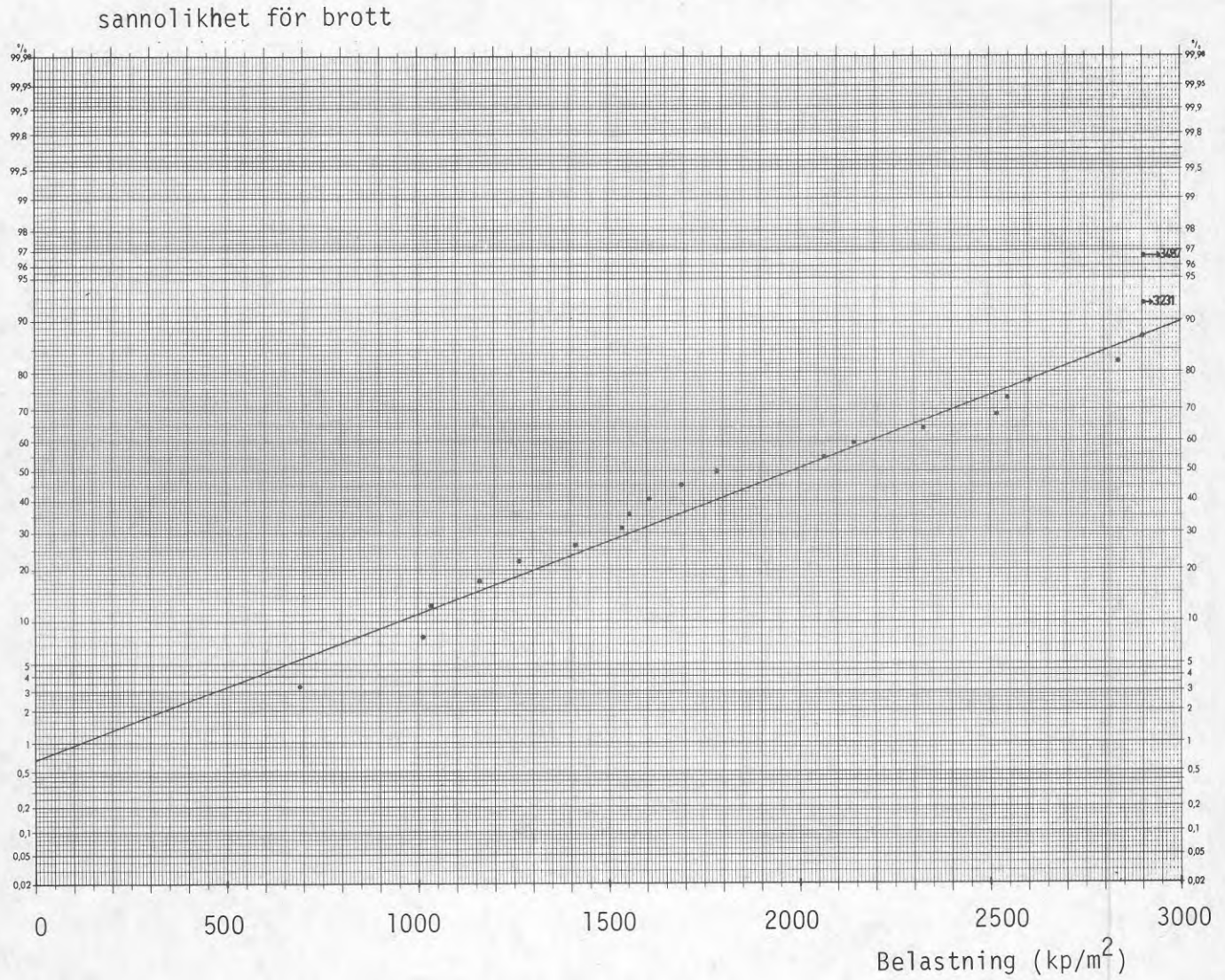


FIG.91 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagt floatglas 710x1410 mm, tjocklek 6 mm, S:t Gobain.  $m = 19.47$  kPa ( $1985$  kp/m<sup>2</sup>),  $C_V = 0.404$ ,  $n = 21$  st. Den räta linjen visar normalfördelningen. Punkterna markerar gjorda brottförsök.

## sannolikhet för brott

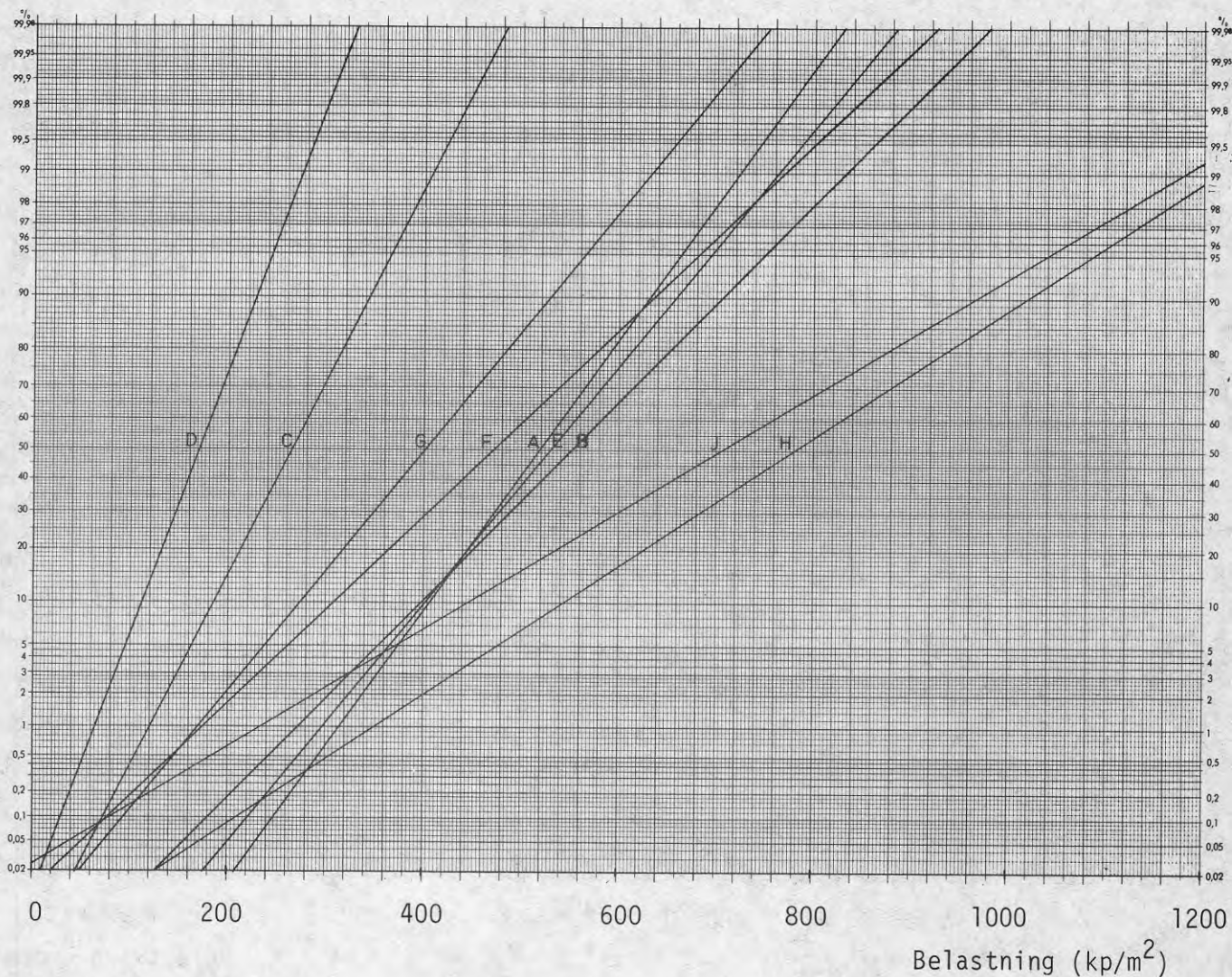


FIG.92 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagda maskinglas och floatglas av varierande format, samtliga med tjockleken 3 mm.

A: S1000x1000x3	F: E580x1730x3
B: E1000x1000x3	G: E500x2000x3
C: E1400x1400x3	H: F1000x1000x3
D: E1700x1700x3	J: F710x1410x3
E: E710x1410x3	

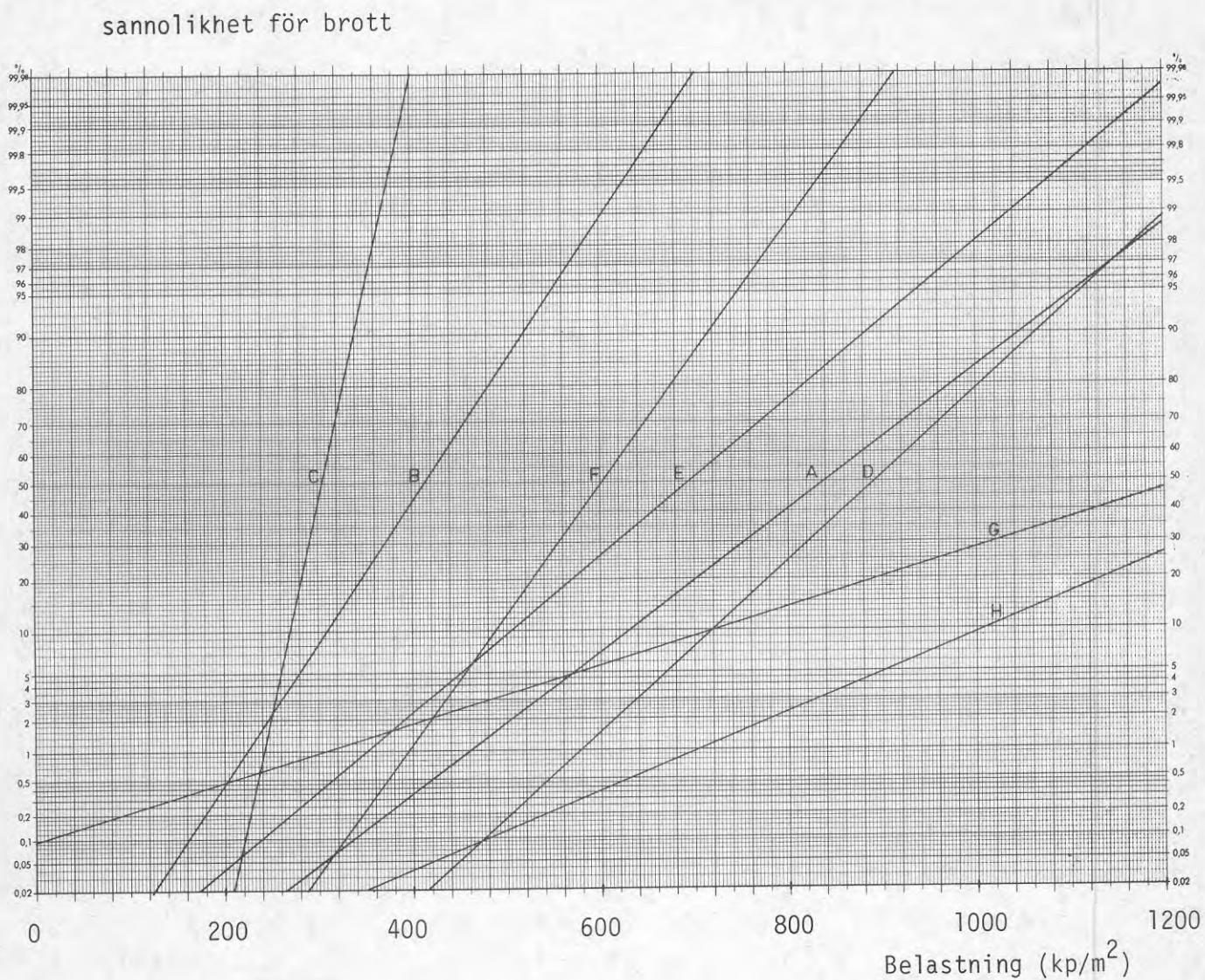


FIG.93 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagda maskinglas och floatglas av varierande format, samtliga med tjockleken 4 mm.

A: E1000x1000x4

E: E580x1730x4

B: E1400x1400x4

F: E500x2000x4

C: E1700x1700x4

G: F1000x1000x4

D: E710x1410x4

H: F710x1410x4

## sannolikhet för brott

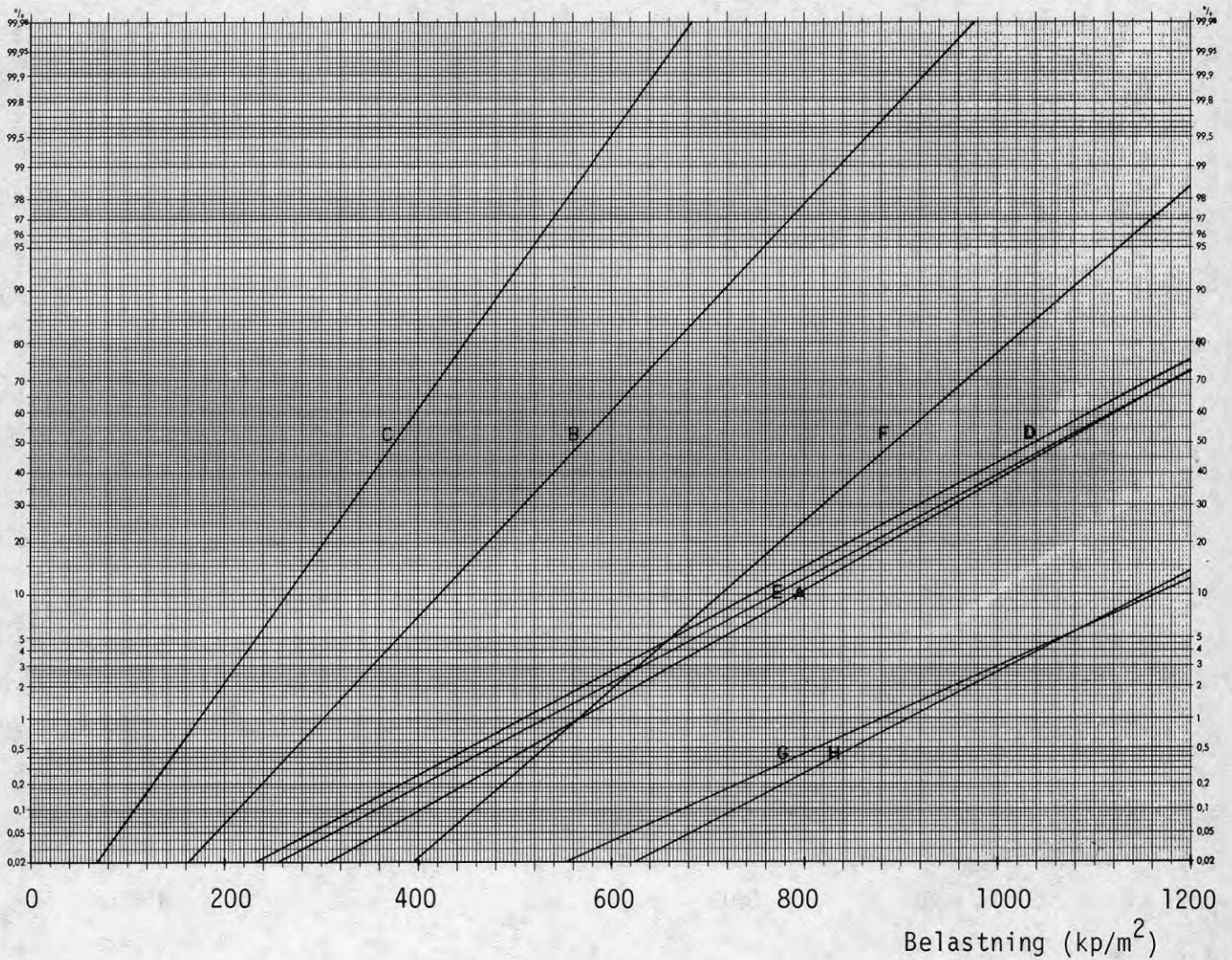


FIG.94 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagda maskinglas och floatglas av varierande format, samtliga med tjockleken 5 mm.

A: E1000x1000x5	E: E580x1730x5
B: E1400x1400x5	F: E500x2000x5
C: E1700x1700x5	G: F1000x1000x5
D: E710x1410x5	H: F710x1410x5

## sannolikhet för brott

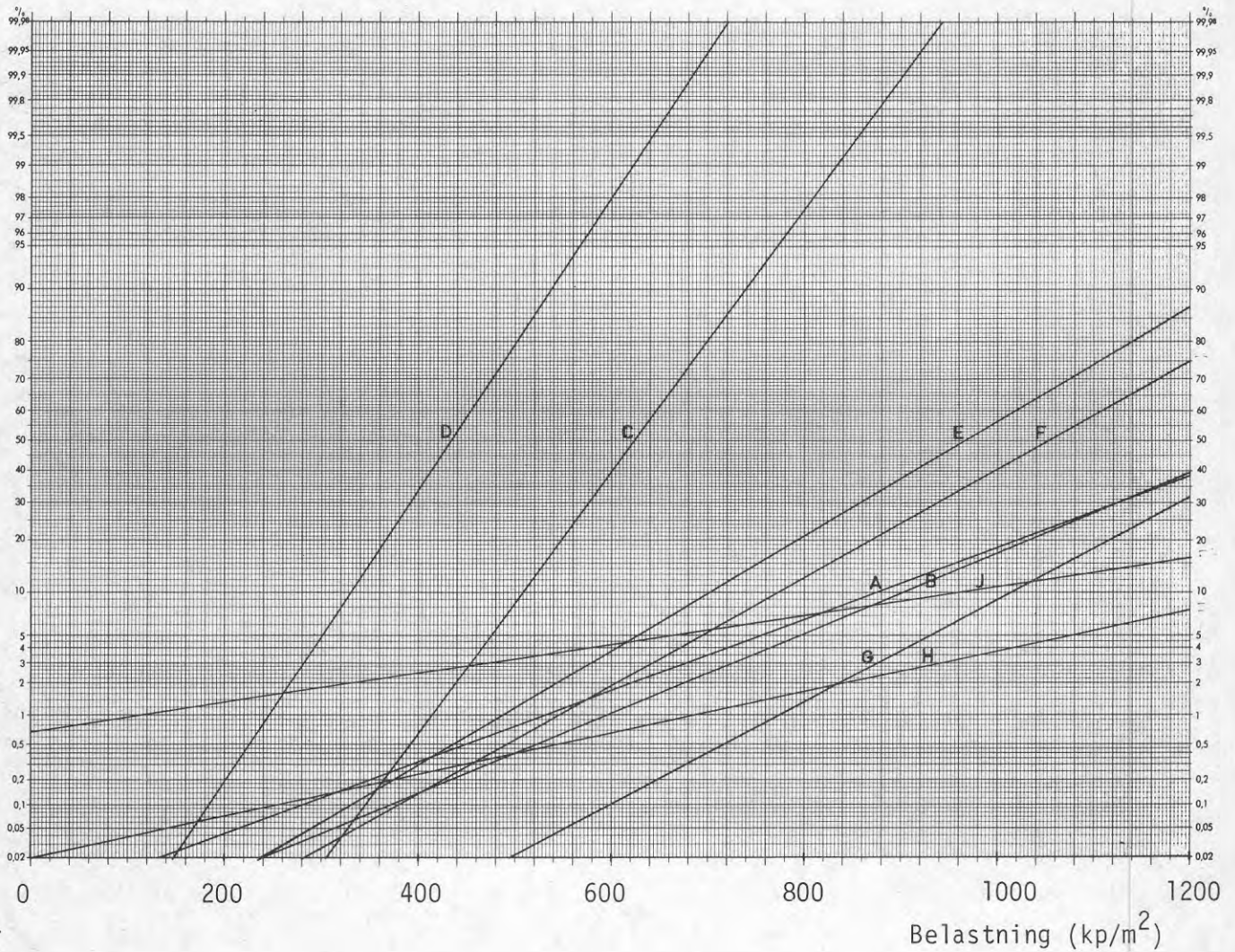


FIG.95 Sannolikheten för brott vid olika vindbelastningar för fritt upplagda maskinglas och floatglas av varierande format, samtliga med tjockleken 6 mm.

A: E1000x1000x6, n=149

F: E580x1730x6

B: E1000x1000x6

G: E500x2000x6

C: E1400x1400x6

H: F1000x1000x6

D: E1700x1700x6

J: F710x1410x6

E: E710x1410x6

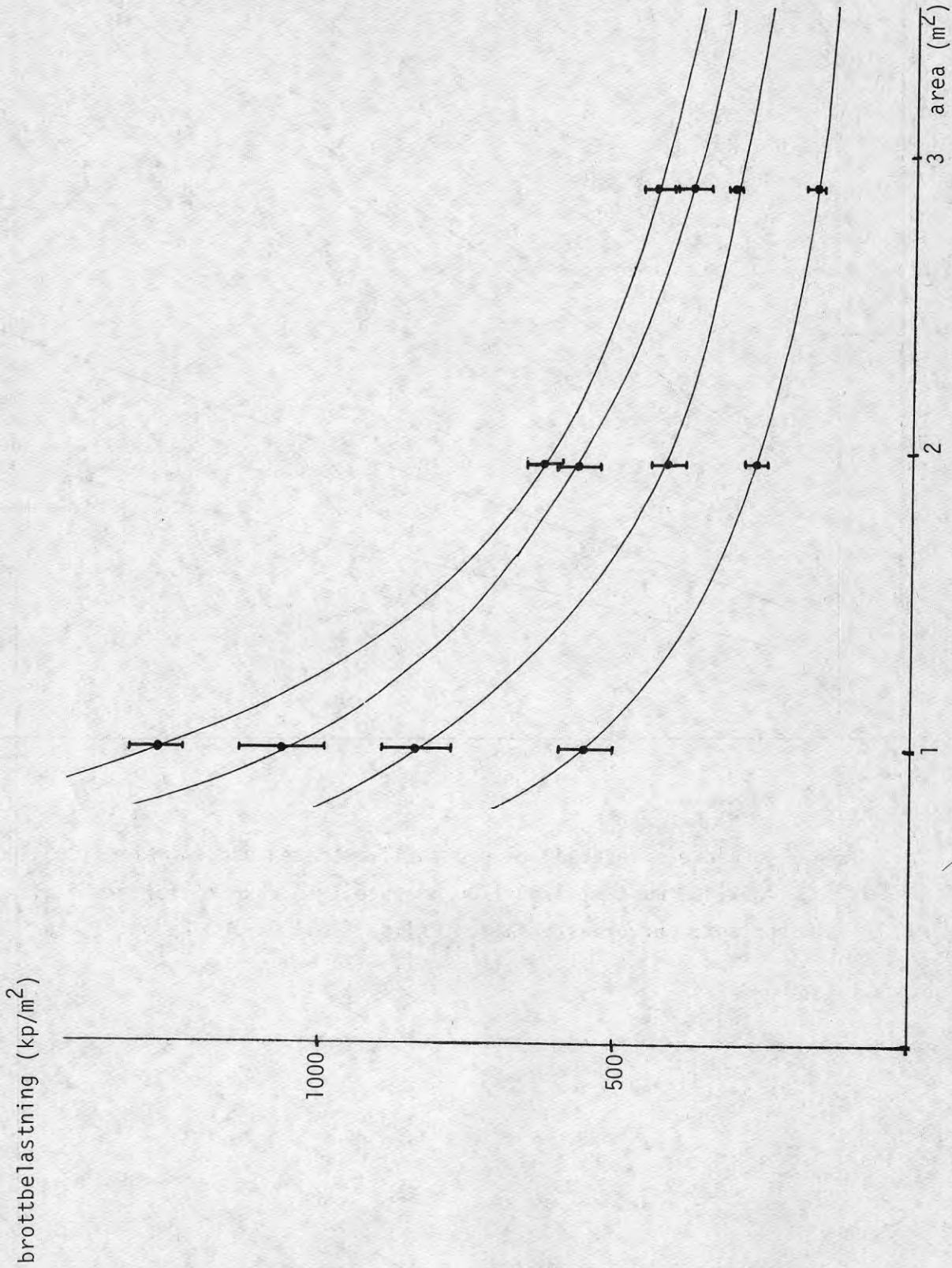


FIG. 96 Areans inverkan på brotthållfastheten vid tjocklekarna 6,5,4 samt 3 mm (uppifrån räknat) för maskinglas, fritt upplagt. Konfidensintervallet för  $\alpha = 0.10$  inlagt såsom staplar.  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

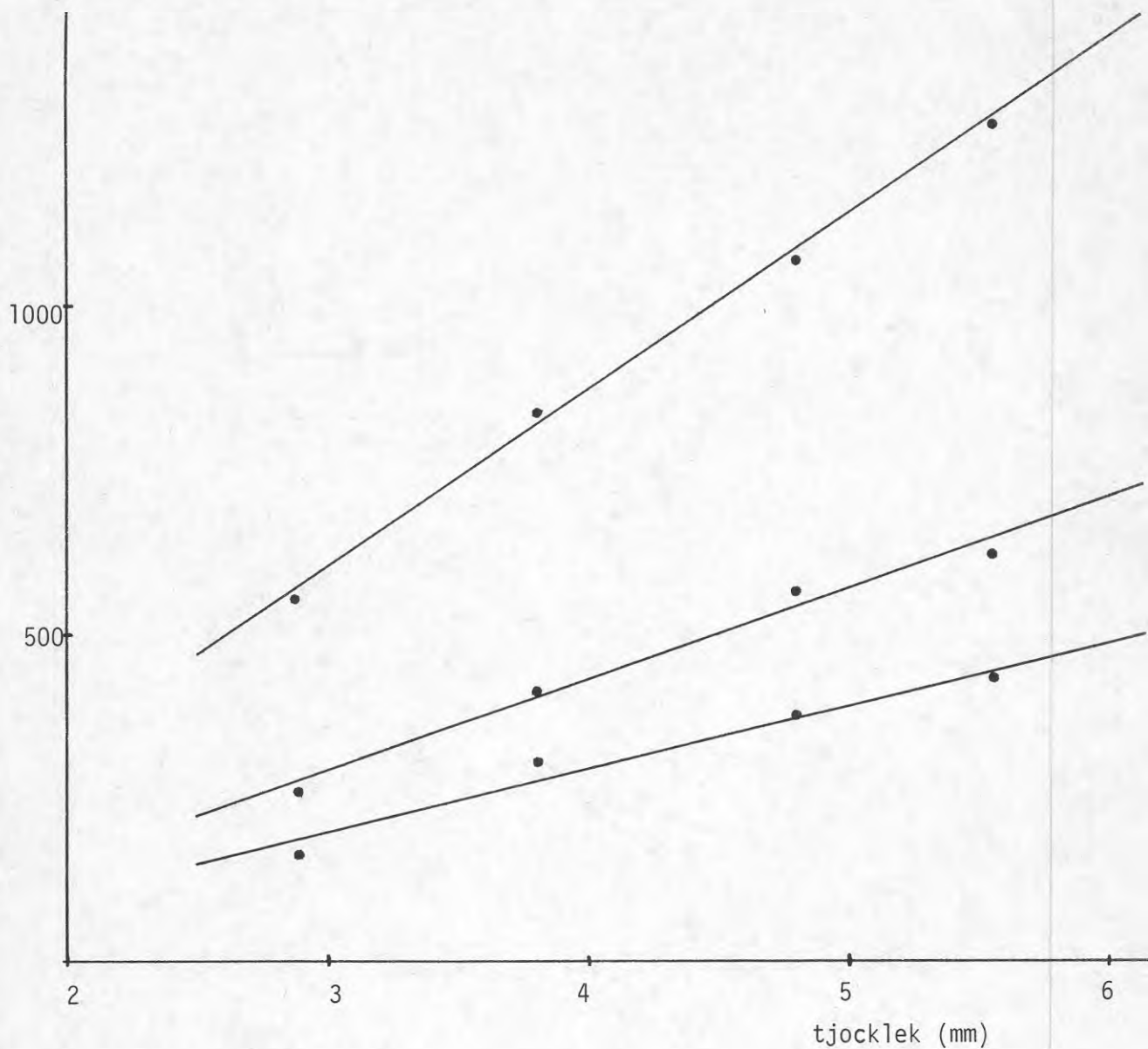
brottbelastning ( $\text{kp/m}^2$ )

FIG.97 Tjocklekens inverkan på brotthållfastheten vid formaten 1000x1000 mm, 1400x1400 mm samt 1700x1700 mm (uppifrån räknat) för maskinglas, fritt upplagt. Kurvornas ekvation enligt FIG.100.  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

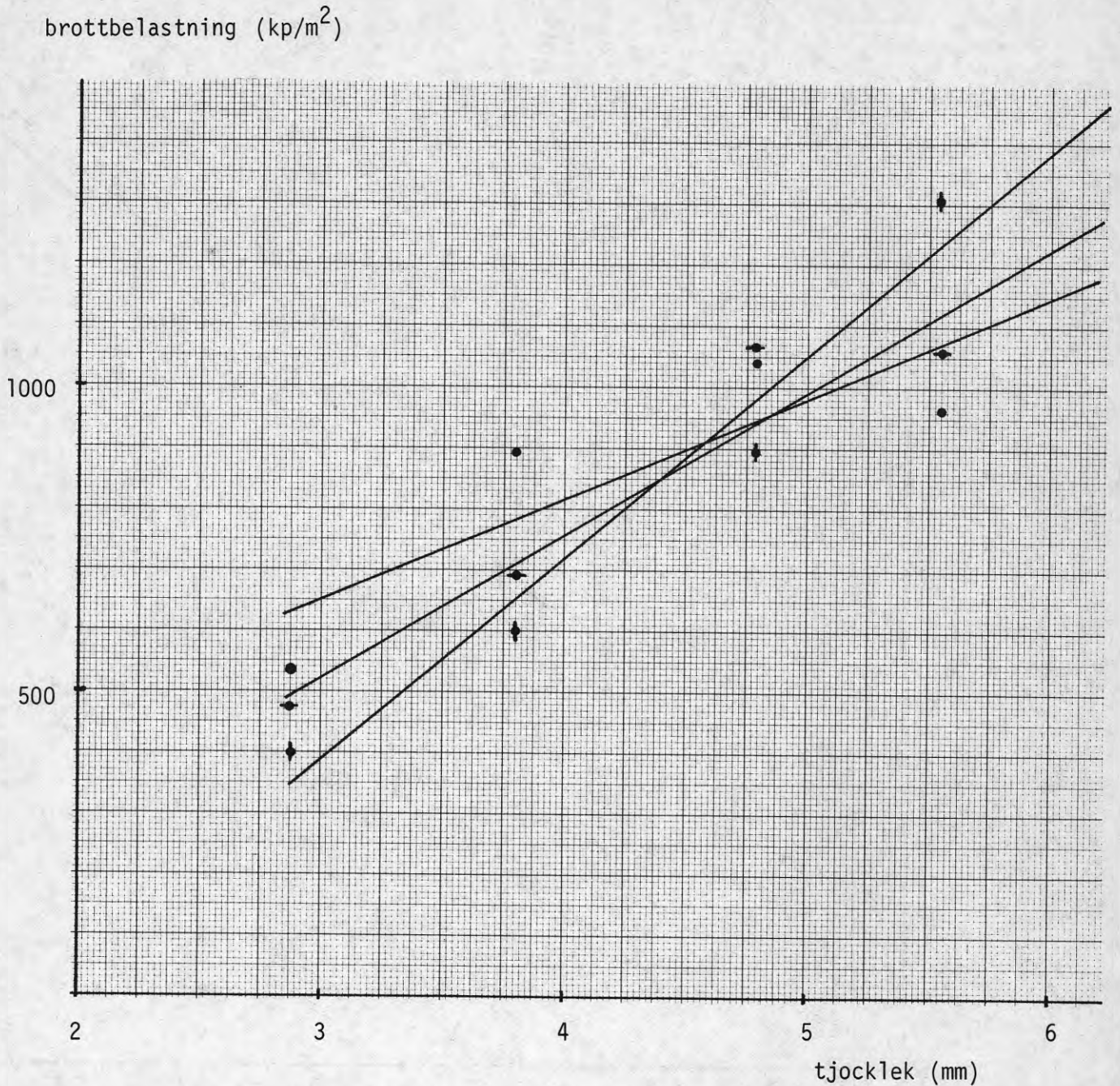


FIG.98 Tjocklekens inverkan på brotthållfastheten vid formaten 710x1410 mm, 580x1730 mm samt 500x2000 mm (uppifrån räknat vid 3 mm) för maskinglas, fritt upplagt. Kurvornas ekvation enligt FIG.100.  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

- 710x1410
- ◆ 580x1730
- ▾ 500x2000

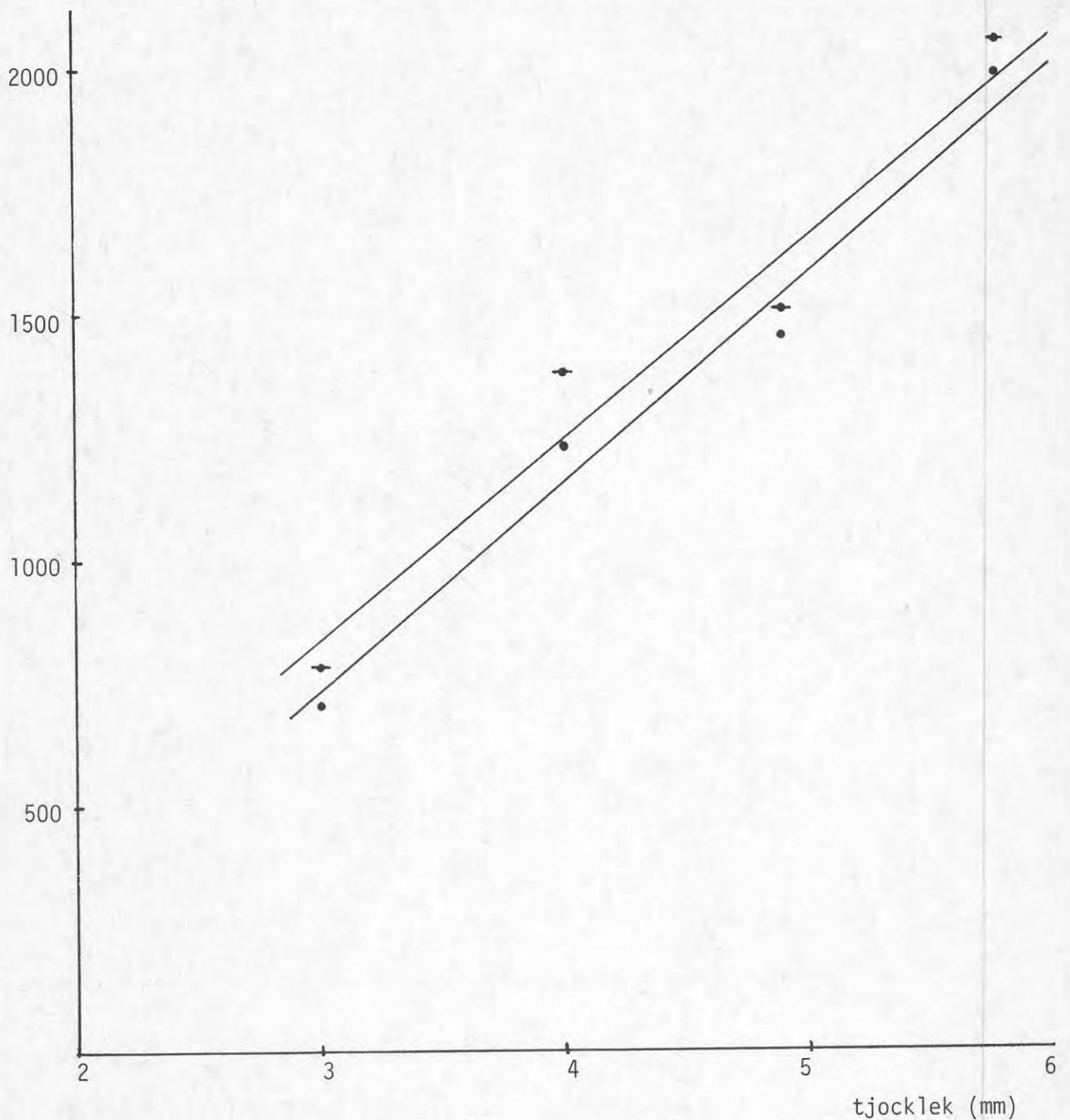
brottbelastning ( $\text{kp/m}^2$ )

FIG.99 Tjocklekens inverkan på brotthållfastheten vid formaten 1000x1000 mm samt 710x1410 mm (uppifrån räknat) för floatglas, fritt upplagt. Kurvornas ekvation enligt FIG.100.  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

◆ F1000x1000

● F710x1410

	$q = Ch^D$			$q = Ch + D$		
	C	D	r	C	D	r
F1000x1000	1.829	1.354	0.977	4.01	-3.86	0.981
F 710x1410	1.410	1.484	0.990	4.17	-5.37	0.992
E1000x1000	1.352	1.311	0.995	2.62	-1.96	0.998
E1400x1400	0.662	1.329	0.991	1.34	-1.14	0.990
E1700x1700	0.404	1.406	0.977	0.945	-0.867	0.983
E 710x1410	2.131	0.946	0.892	1.62	+1.52	0.852
E 580x1730	1.185	1.314	0.976	2.32	-1.85	0.959
E 500x2000	0.597	1.752	0.992	3.25	-5.94	0.980

FIG.100 Sammanställning över kurvekvationer, som beskriver tjockle-  
kens inverkan på brotthållfastheten. Kurvanpassning enligt  
 $q = C \cdot h^D$  samt  $q = Ch + D$ , där  $q$  = medelbrottryck (kPa),  $h$  =  
medeltjocklek (mm) samt C,D = konstanter.

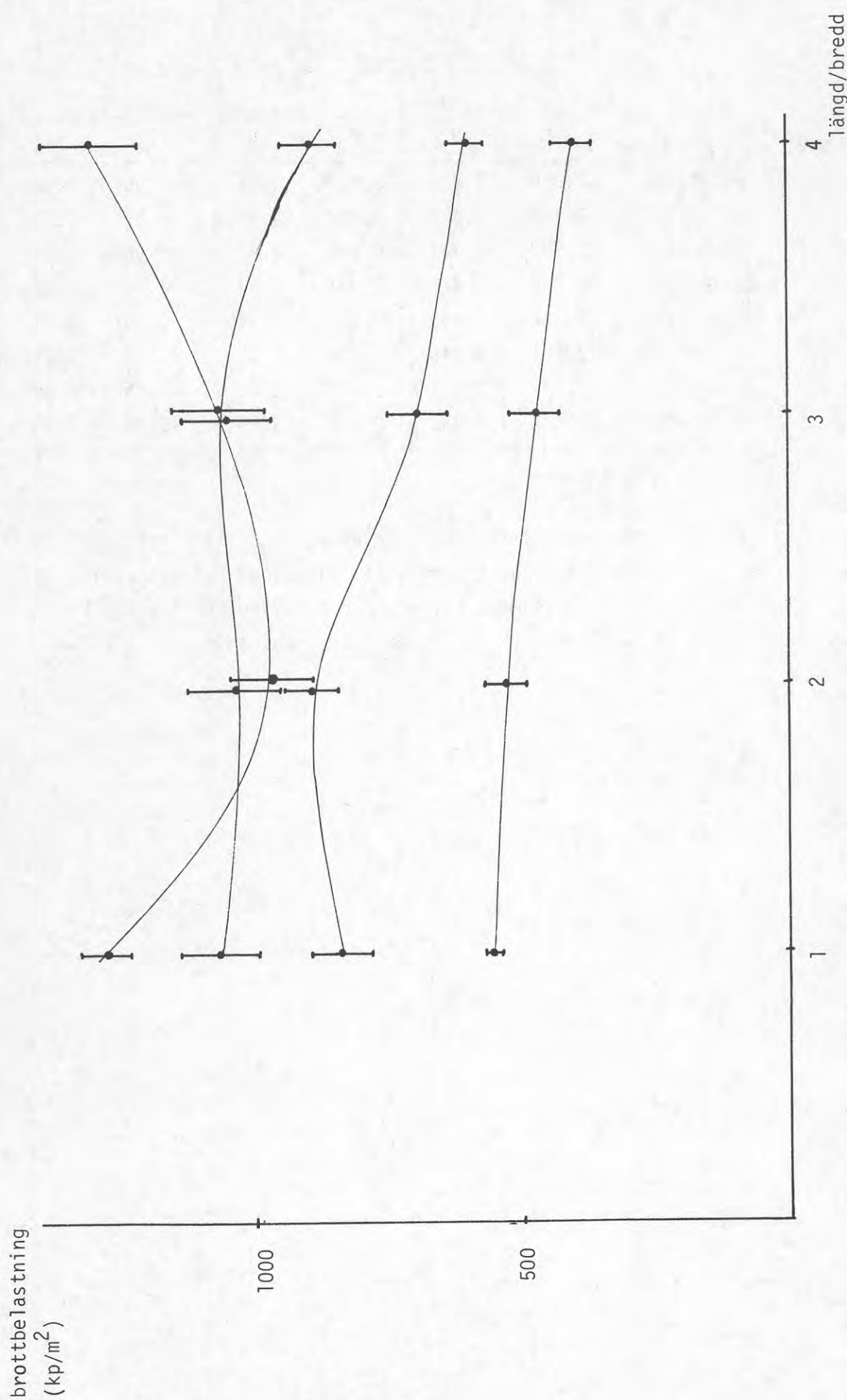


FIG. 101 Brottbelastningen som funktion av kvoten längd/bredd för tjocklekarna 6, 5, 4 samt 3 mm (uppifrån räknat vid  $a/b=1$ ) för maskinglas, fritt upplagt. Konfidensintervallet för  $\alpha=0.10$  inlagt såsom staplar.  $100 \text{ kp/m}^2 \approx 1 \text{ kPa}$ .

tillåten belastning (kp/m<sup>2</sup>)

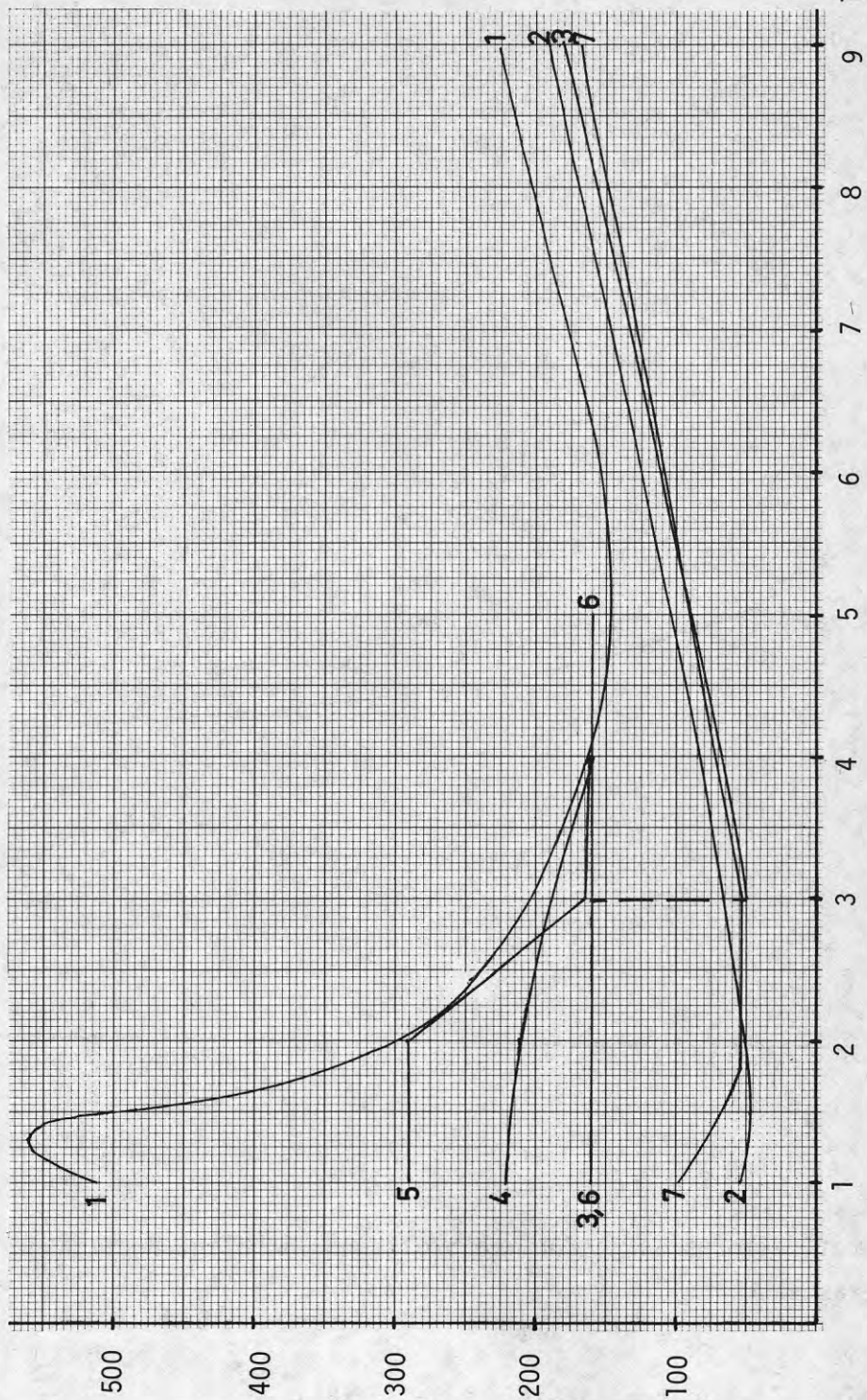


FIG. 102 Jämförelse mellan olika källor av det tillåtna värdet på belastningen för maskinglas med area 1 m<sup>2</sup> vid olika längd bredd-förhållanden. 100 kp/m<sup>2</sup> ≈ 1kPa.

Kurva 1 Teoretisk beräkning för både membran- och böjspänningar (Liptak)

Kurva 2 Teoretisk beräkning enligt teorin för små utböjningar,  $\sigma_{till} = 1.72 \text{ MPa}$  (175 kp/cm<sup>2</sup>)

Kurva 3 Australienska normen

Kurva 4 Detta projekt,  $q_{till} = q_{medel} / 2.5$ , dvs  $C_V = 0.25$

Kurva 5 Detta projekt,  $q_{till}$  för brottsannolikheten 0.8%

Kurva 6 Enligt LÖF

Kurva 7 Enligt Saint Gobain

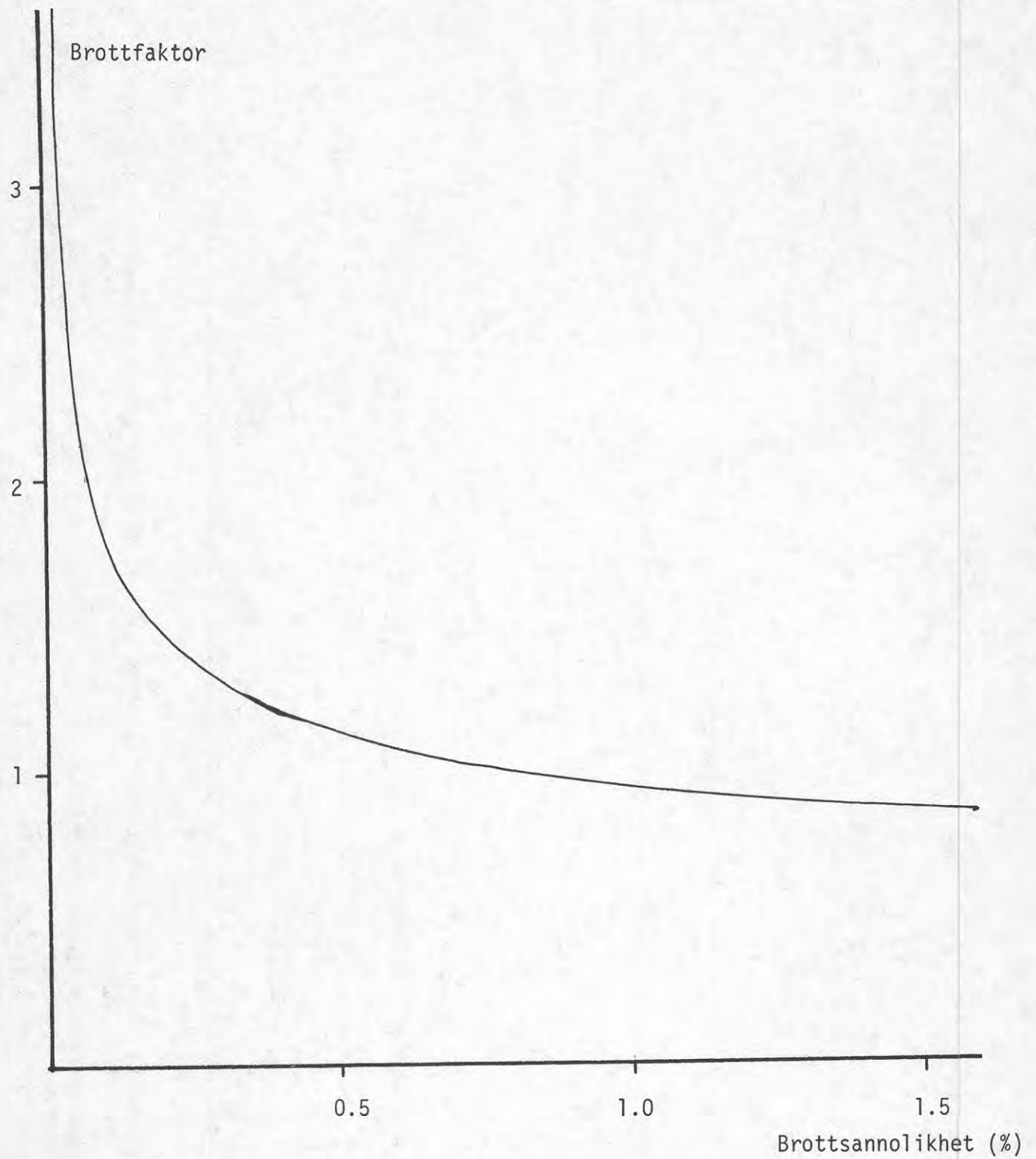


FIG.103 Brottfaktorns variation med broddsannolikheten. Brottfaktorn definieras såsom

$$p_f = p_{akt} \cdot B_t$$

där

$p_f$  = fiktiv vindlast (kPa)

$p_{akt}$  = aktuell (enl.SBN 1975) vindlast (kPa)

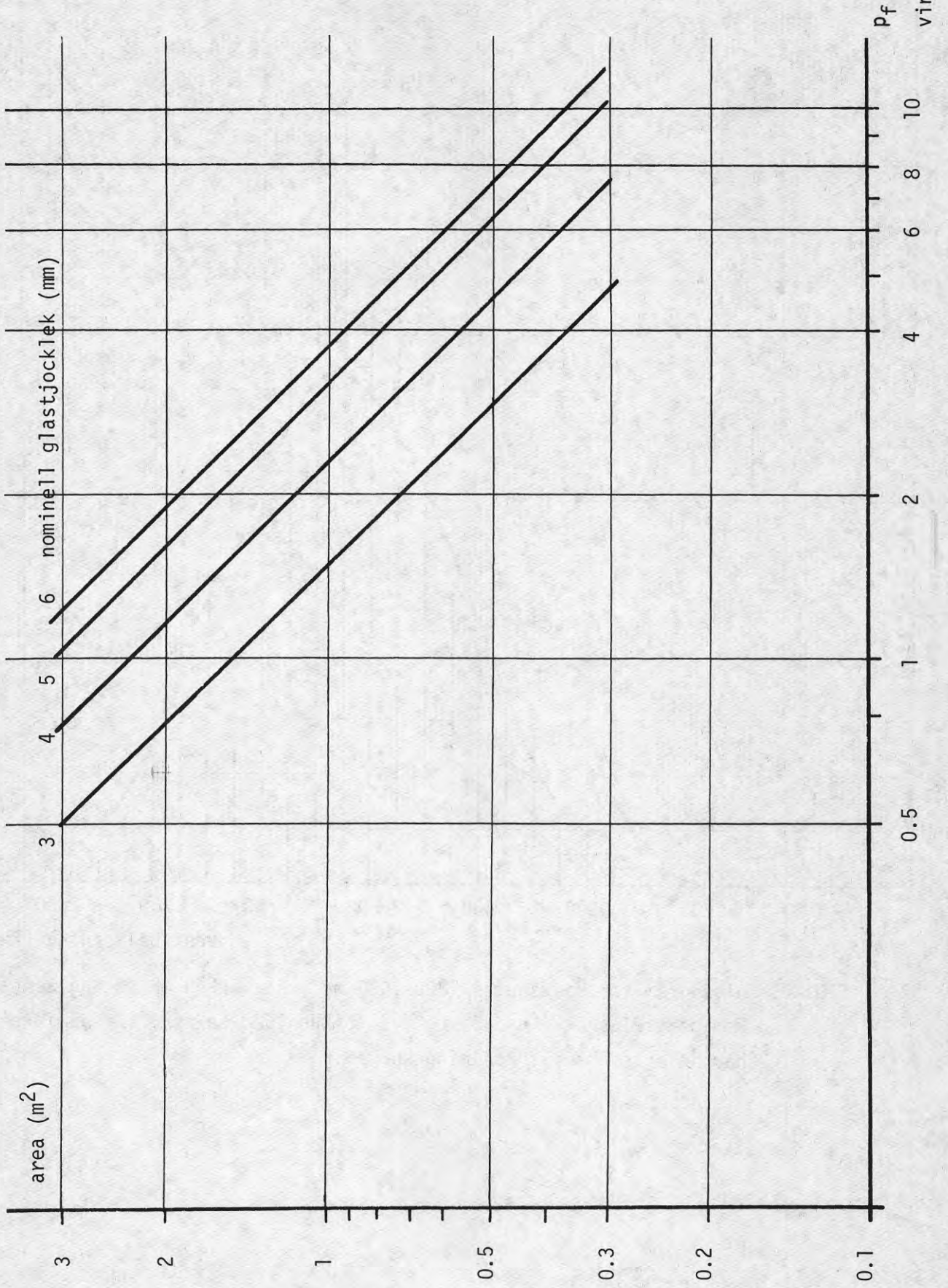


FIG. 104 Diagram för beräkning av glastjocklek vid varierande area och belastning. Brottsannolikhet 0.8%. Gällar för längd/bredd  $\leq 4$

frekvens (%)

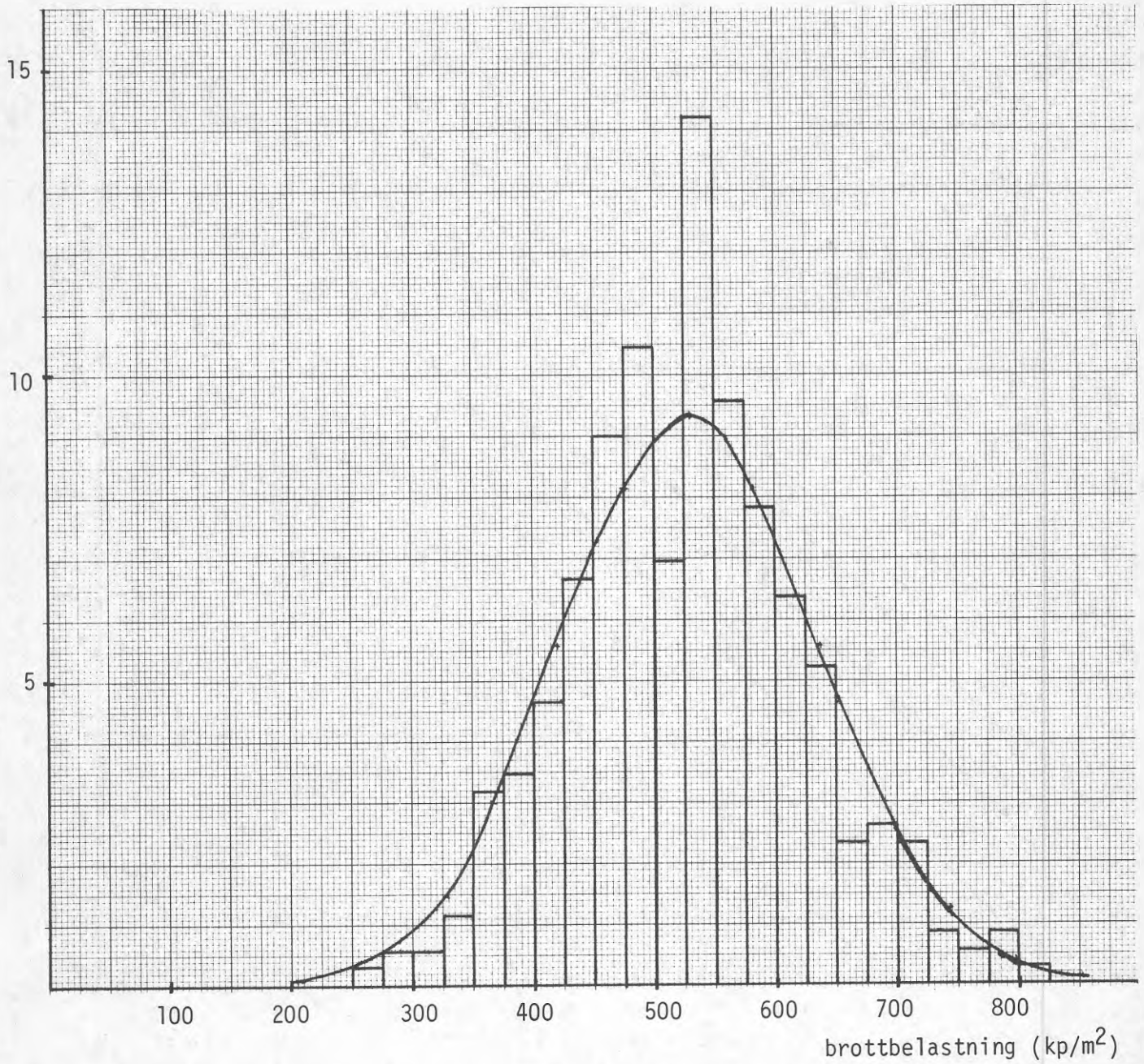


FIG.105 Histogram för maskinglas 1000x1000 mm, tjocklek 3 mm, Scanglas samt Emmaboda Glasverk.  $n=346$  st,  $m=5.18$  kPa ( $528$  kp/m<sup>2</sup>). För jämförelse har inlagts normalfördelningskurvan.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740352-1  
från Statens råd för byggnadsforskning till  
Inst. för byggnadskonstruktionslära, LHT, Lund**

**R67:1977**

**ISBN 91-540-2741-7  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art. nr: 6600667  
Abonnemangsgrupp:  
Z Konstruktion o. material**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 1403  
111 84 Stockholm  
Telefon 08-24 28 60**

**Cirkapris: 40 kronor + moms**