

Styrkeprøving av vinduer

Av sivilingeniør Petter Lossius

Norges byggforskningsinstitutt

Norges byggforskningsinstitutt

OSLO 1962

Særtrykk av BYGG, nr 10, 1961

Styrkeprøving av vinduer

Av sivilingeniør Petter Lossius,

Norges byggforskningsinstitutt.

DK 69.028.2:683.3

Ved valg av vindu er det en rekke krav som en ønsker at vinduet skal oppfylle: det skal slippe inn nok lys i rommet, det skal hindre varmetap, det skal være tett mot vind og nedbør, rutene skal kunne pusses på en rimelig måte, vinduet skal kunne brukes til lufting, vinduet skal være estetisk tiltalende, kostnaden skal som regel ligge under en viss grense etc.

Dessuten reises det bevisst eller ubevisst krav om at vinduskonstruksjonen skal ha tilfredsstillende stivhet og styrke. Kravene man stiller er enkle nok: Vinduskonstruksjonen skal i sin levetid kunne oppta de vanlig forekommende mekaniske påkjenningene slik at vinduets funksjoner ikke ødelegges, og slik at det finnes betryggende sikkerhet mot brudd.

Normerte krav på styrkeegenskapene finnes ikke. I tidens løp har man gjennom erfaring vunnet kunnskap om rimelige dimensjoner for vinduet og dets enkelte deler. Dette erfaringsmaterialet har man nyttgjort seg ved utarbeidelsen av Norsk Standard for vinduer. Her er det angitt dimensjoner på karm- og rammeprofil, og i flere tilfelle er det også angitt største mål på rammen.

Det er nærliggende å undersøke stivhet og styrke hos vinduer laget etter Norsk Standard og se om de belastninger en da bruker, med hensyn til størrelse og art, er i rimelig samsvar med tenkbare påkjenninger vinduet får når det er i bruk.

Vinduets konstruksjon er bestemmende for hvilke påkjenninger det utsettes for, og man må derfor i hvert enkelt tilfelle studere vinduets virkemåte og studere de muligheter som foreligger for påvirkning av ytre krefter, og hvilken betydning de kan ha for konstruksjonsdelene. (Sidehengslete og topphengslete vinduer, svingvinduer etc.).

NBI har valgt å undersøke et vanlig vindu og har til sine forsøk brukt vinduer laget etter Norsk Standard 761, blad 1 og 3. (Utadslående vindu med innadslående varevindu).

Hensikten med forsøkene skulle være å bringe på det rene hvor stive og sterke konstruksjonene er for et vanlig vindu. Dette vindu er godtatt som et godt vindu også med hensyn til styrkeegenskapene, og forsøkene skulle avsløre vinduets styrkeegenskaper. Når disse

da var brakt på det rene, skulle en vurdere dem i forhold til de belastninger som blir brukt og se om forholdet mellom stivhet — styrke og belastning var rimelig. Var dette tilfelle, skulle en kunne gå videre og formulere krav til konstruksjonens stivhet og styrke. Dessuten ville forsøkene vise konstruksjonens svakeste deler. En kunne således vente seg å få et grunnlag for konstruksjon av vinduer m.h.t. styrke og deformasjoner. Og dette skulle en da kunne bruke ved konstruksjon av større sidehengslete vinduer eller sidehengslete vinduer laget av andre materialer enn tre, f.eks. aluminium eller plast.

Vinduet etter Norsk Standard 761 består av en karm ytterst, og til denne er rammen festet med hengsler. Karmkonstruksjonen er robust, og en fant det uhensiktsmessig å undersøke karmens styrkeegenskaper. Det er nok å konstatere at karmen må festes i veggen på en forsvarlig måte.

Rammen er av rektangulær form med stive hjørner som er slisset og limt og dessuten forsterket med hjørnejern. Se figur 1. På figuren er gitt målene på de rammer som ble brukt ved de fleste av forsøkene.

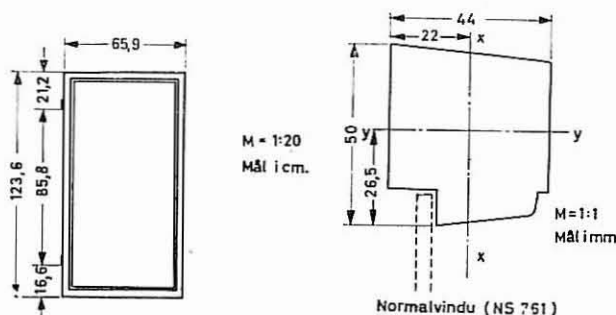
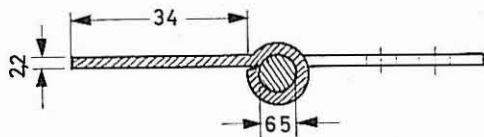
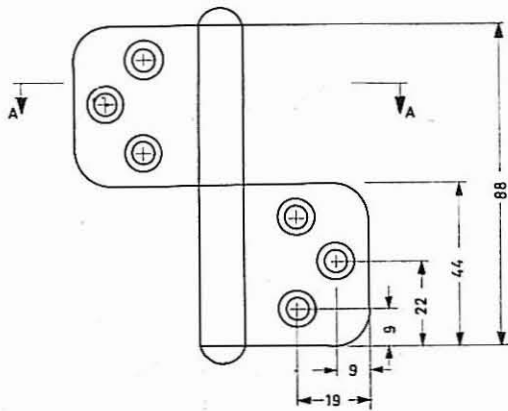


Fig. 1. Rammen som ble brukt ved de fleste av forsøkene (t.v.) Snitt av rammeprofilet (t.h.)

Dessuten er rammeprofilet vist i snitt. For rammeprofilet gjelder:

Flateinnhold:	$F = 18,8 \text{ cm}^2$
Tregghetsmoment:	$I_x = 30,0 \text{ cm}^4$
	$I_y = 28,5 \text{ ,,}$
Motstandsmoment:	$W_x = 13,6 \text{ cm}^3$
	$W_y^u = 10,7 \text{ ,,}$
	$W_y^o = 12,1 \text{ ,,}$

*) Foredrag holdt i Norges byggforskningsinstitutt's åpne serie på Blindern, oktober 1961.



Snitt A-A

Fig. 2. Hengseltypen som ble brukt ved forsøkene.

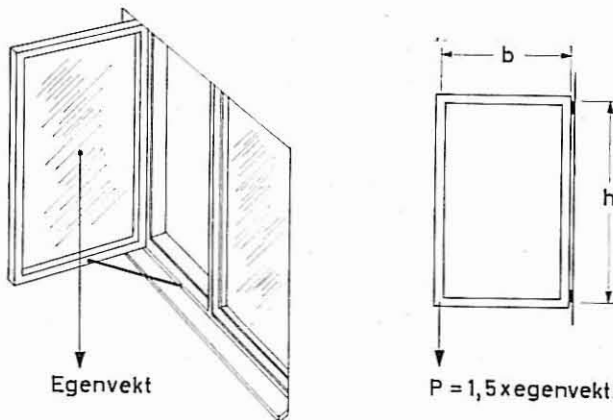


Fig. 3. Egenvekt av ramme med glass. Til høyre forsøksprinsippet for å få undersøkt rammens deformasjoner på grunn av egenvekten virkende over lang tid.

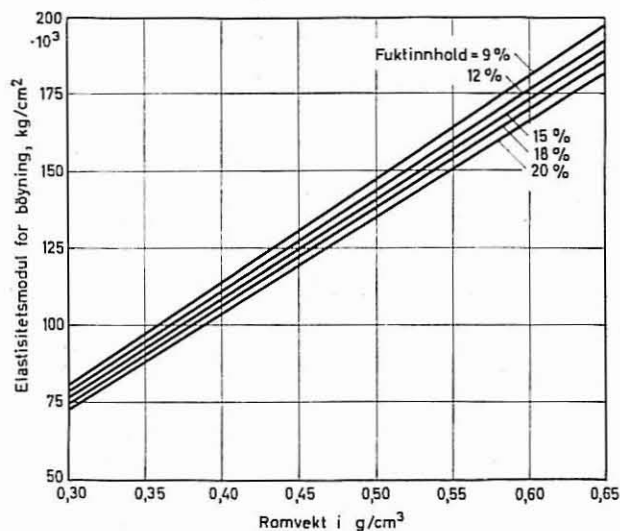


Fig. 4. Sammenheng mellom romvekt og E-modul for furu. (Etter B. Thunell).

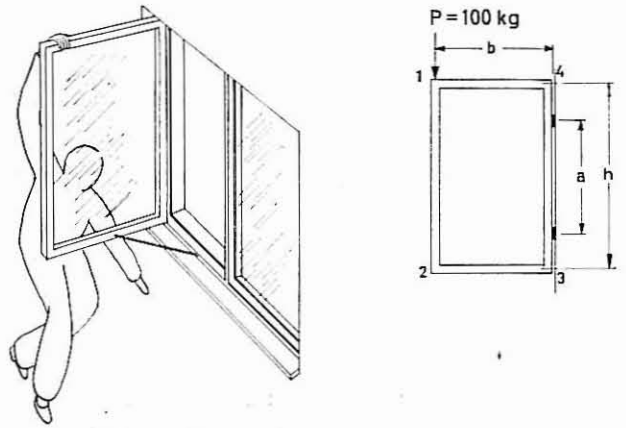


Fig. 5. Hengende last på åpent vindu.

Så vel treghetsmoment som motstandsmoment er nesten like for X-aksen og Y-aksen.

I rammen er glasset satt inn, oppklosset, stiftet og kittet. Glasset er 3 mm tykt. Rammen er festet til karmen med hengsler som er skrudd fast til karm og ramme med treskruer 1" nr. 10. Hengslet er vist på figur 2. Det er ikke standardisert, men er vanlig brukt til sidehengslete vinduer.

Mekaniske påkjenninger og prøver

1. Egenvekt av ramme.

Se figur 3. Egenvekt av ramme som vist på figur 1 med 3 mm glass er ca. 9 kg. Den vesentlige delen av egenvekten skyldes glasset som en kan regne veier ca. 2,5 kg/m² pr. mm tykkelse. Egenvekten oppfattes som en langtidslast rammen utsettes for. En regner at for tre er deformasjonen av langtidslast 3 ganger større enn for korttidslast. Om rammen belastes som vist på figur 3 med lasten 1,5 × egenvekten ytterst på rammen, skulle nedbøyingen for denne korttidslasten motsvare nedbøyingen av egenvekten over lang tid. Om rammen fastholdes ved hvert hjørne på hengselsiden, kan rammen beregnes som en lukket ramme med opplag i 2 hjørner. Hjørnemomentene blir 0,25 · P · b, og forskyvningen av det belastete hjørnet i kraftens retning blir

$$P \frac{b^3}{24 EJ} \left(1 + \frac{h}{b}\right)$$

Forsøkene viste at ved P = 15 kg var nedbøyingen 1,5 mm. Om elastisiteitsmodulen for tre settes til 130000 kg/cm², gir beregningen samme nedbøyning. E-modulen for tre varierer med tørr romvekt og med fuktinnholdet i treet. Se figur 4. NBI foreslår at nedbøyingen i lastpunktet bør maksimeres til 2 mm når lasten er 1,5 × egenvekten og rammen er fastholdt i 2 hjørner (figur 3).

2. Hengende last på åpent vindu.

Det er tenkbart at en brannmann eller en vindussusser ved et uhell må gripe tak i et åpent vindu for

ikke å falle ned. Belastningstilfellet realiseres ved å henge en last ytterst på et åpent vindu. Se figur 5. Belastning på hengsler:

$$\text{Vertikalt } V = 0,5 \cdot P$$

$$\text{Horisontalt } H = \frac{b}{a} \cdot P$$

Ved forsøket ble rammehjørnenes bevegelser målt. Glasset har stor betydning for stivheten. På figur 6 er den vertikale bevegelsen av rammen vist (ramtre lukkeside og ramtre hengselside). Hjørnejern synes ikke å ha noen innflytelse på stivheten.

Ved bruddforsøk for dette belastningstilfellet viste hengslet seg å være konstruksjonens svakeste ledd. Ved $P = \text{ca. } 120 \text{ kg}$ begynte hengselplaten på rammen å få varige deformasjoner. Det gir $V = 60 \text{ kg}$ og $H = 90 \text{ kg}$. Ved øking av lasten deformertes hengselplaten på rammen strekt, skruene gled i hengselhullene, hengselbolten ble bøyd, hengselskruer i karm ble bøyd. Belastningen lot seg øke opp til $250\text{--}300 \text{ kg}$: $V = 125\text{--}150 \text{ kg}$ og $H = 190\text{--}225 \text{ kg}$. Figur 7 viser hvordan det øvre hengslet så ut etter brudd. Hengselskruene i rammen ble utsatt for en aksialkraft som ved øvre hengsel ga strekk i skruene. Skruerfestet i treet holdt. Det er ved flere forsøk (svenske, amerikanske) undersøkt hvor stor aksial strekk-kraft treskruen kan utholde i ulike treslag. I Sverige er den tillatte aksiale strekk-kraften ifølge BABS 1960

$$P_{\text{til}} = \begin{cases} c \cdot 70 \cdot d \cdot l_{gf} & \text{for } d < 0,3 \text{ cm} \\ c \cdot (10 + 40 \cdot d) \cdot l_{gf} & \text{,, } d \geq 0,3 \text{ cm} \end{cases}$$

- l_{gf} = effektiv (gjenget) forankringslengde i cm
- d = stammediameter i cm (største diameter)
- c = en faktor som for furu og gran er satt til 1,0 for tørt virke og til 0,6 ved vått virke

Det er forutsatt at skruen blir skrudd inn hele gjen-gelengden, og om det forbores, at hullets diameter ikke overskrider kjernediameteren, ca. $0,7 \cdot d$. Dessuten er det foreskrevet minste avstand mellom skruer og fra skruer til virkets kanter og ender.

Det er forkastelig å slå skruen inn i stedet for å skru den inn. Ved å slå skruen inn, kan skruefastheten reduseres til under halvparten av den maksimale.

Det var dårlig pasning mellom skruer og beslag. Forsenkingsvinkelen for skruen avvek fra forsenkingsvinkelen for skruehullet i beslaget. Skruehodet var høyere enn tykkelsen på hengselbladet, og skruediameteren (stammen) var mindre enn diameteren på hullet i beslaget. Ved en viss belastning gled hengslet til skruene lå an mot hullkanten.

For dette belastningstilfellet med hengende last ytterst på rammen foreslår NBI å uttrykke krav til vinduets stivhet og styrke slik:

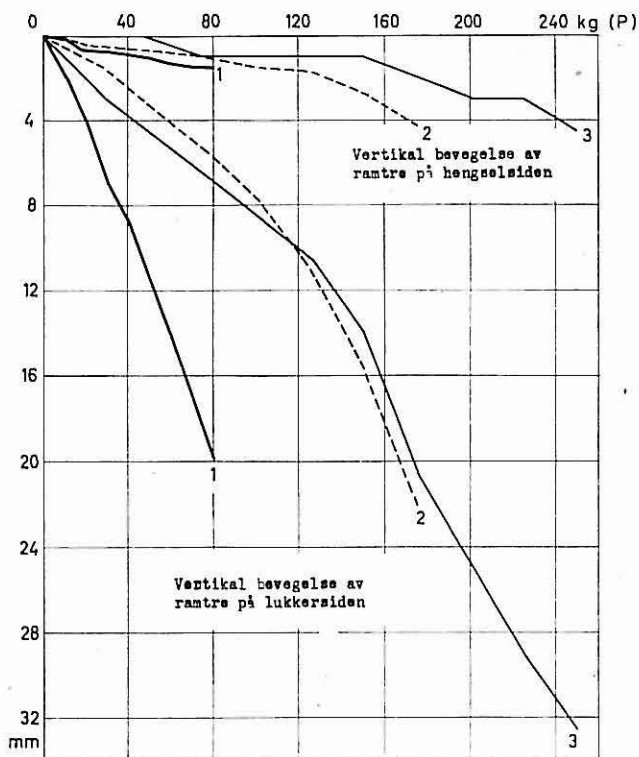


Fig. 6. Diagram som viser rammens deformasjoner på grunn av hengende last på åpent vindu:

1. Ramme uten glass med hjørnebeslag.
2. Ramme med glass og hjørnebeslag.
3. Ramme med glass uten hjørnebeslag.

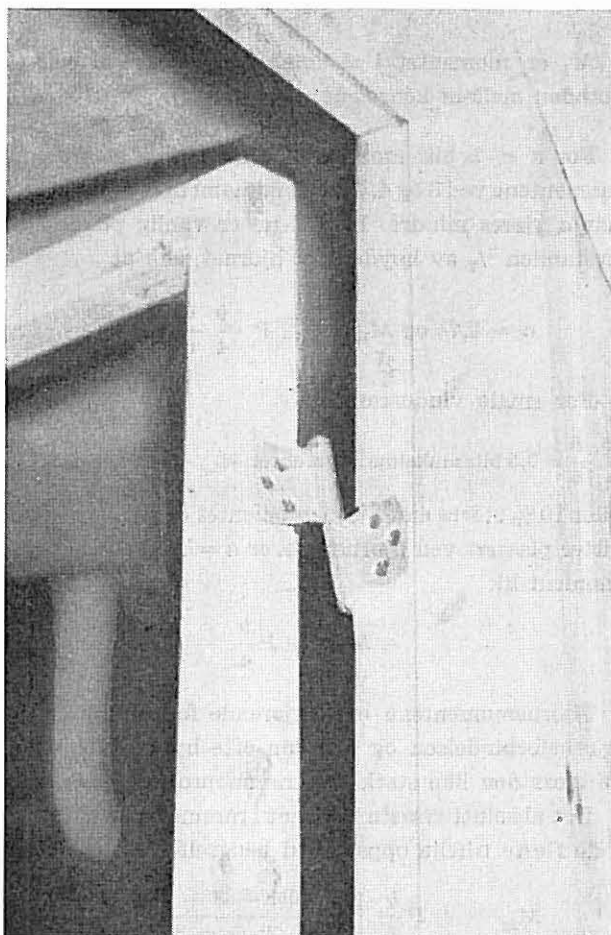


Fig. 7. Øvre hengsel etter brudd. Belastningstilfelle: hengende last på åpent vindu.

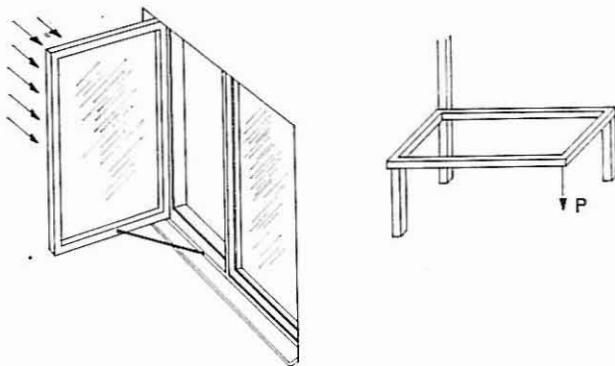


Fig. 8. Vridning av vindusramme. T.v. rammen utsatt for vindtrykk. T.h. prinsippet for vridningsforsøket.

Vinduet skal om rammen står i åpen stilling og belastes ytterst med 100 kg, kunne bære denne lasten uten brudd. Om det er glass i rammen, skal konstruksjonen ikke få varige deformasjoner, men vinduet skal etter belastningen kunne lukkes og åpnes uten vanskelighet.

For ramme uten glass blir hjørnemomentene:

$$M_{1,2} = \pm P \cdot \frac{b}{4} \cdot \frac{6bh + 3h^2 - a^2}{2h^2 + 6bh}$$

$$M_{3,4} = \pm P \cdot \frac{b}{4} \cdot \frac{6bh + h^2 + a^2}{2h^2 + 6bh}$$

M_1 er momentet i rammehjørne 1 osv., a er avstanden mellom hengslene. (Se figur 5).

For $a < h$ blir momentene ved 1 og 2 større enn momentene ved 3 og 4. Maksimalmomentet $M_{1,2}$ vokser når a gjøres mindre. Hengslene er vanlig plassert på avstanden $\frac{1}{7}$ av høyden fra hjørnet, slik at

$$a = 0,7h \text{ og } M_{1,2} = \pm P \cdot \frac{b}{4} \cdot \frac{6b + 2,5h}{6b + 2,0h}$$

For smale vindusrammer,

$$\frac{b}{h} = 0,5 \text{ blir maksimalmomentet } M_{1,2} = \pm P \cdot \frac{b}{4} \cdot 1,1$$

eller 10% større enn hjørnemomentet er når hengslene sitter plassert ved hjørnet, da er $a = h$ og alle hjørnemoment lik

$$M = \pm P \frac{b}{4}$$

Hjørnemomentene er avgjørende for utførelsen av hjørneforbindelsen og det kan ofte by på problem å få gjort den like sterk som rammeprofilet ellers.

Det absolutt største moment i rammen vil imidlertid i de fleste tilfelle oppstå ved hengselfestet:

$$M_H = \pm P \frac{b}{4} \left[2 - \frac{6bh - a^2 + 3h^2}{2h(h + 3b)} \cdot \frac{a}{h} \right]$$

Hengslens plassering er bestemmende dels for hori-

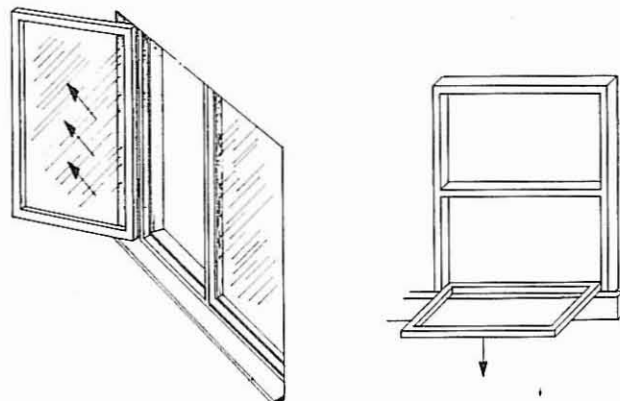


Fig. 9. Sidebelastning på åpent vindu. T.v. rammen utsatt for vindtrykk og ikke fastholdt av stormkrok.

sontalkraften på hengslet, dels for største moment i rammen, slik at påkjenningen både på hengsel og ramme blir mindre jo nærmere hjørnet hengslene sitter.

3. Vridning av vindusramme.

Vridning oppstår når f.eks. 3 rammehjørner fastholdes og det fjerde belastes med en horisontalkraft.

En ramme fastholdt til karmen med hengsler og stormkrok, vil av vindtrykk påkjennes på vridning. Se figur 8.

En ramme kan være vanskelig å åpne p.g.a. sveling av treet, is mellom ramme og karm etc. Rammen kan åpnes ved at man slår på den f.eks. ved et hjørne. Vi får da vridningspåkjenning i rammen.

For stivheten har glasset stor betydning. For $P = 12$ kg var vertikalbevegelsen av det belastete hjørnet 40—55 mm for ramme uten glass og 17—20 mm for ramme med glass. Hjørnejernene bidro ikke til å minske forskyvningen, men de bidro til å øke styrken. Glasset var konstruksjonens svakeste del og brøt sammen ved $P = 40$ kg last på rammer med hjørnejern. Ved rammer uten hjørnejern sprakk glasset ved 20 kg last.

Det vindtrykk som gir samme moment om understøttelsepunktene som $P = 40$ kg, blir 290 kg/m² og er uten praktisk betydning for denne rammestørrelsen.

NBI foreslår at om 3 hjørner fastholdes, skal det fjerde hjørnet kunne forskyves 15 mm uten at skader eller varige deformasjoner oppstår. Hvis deformasjonen er mindre, skal rammen tåle en last på 40 kg i det fjerde hjørnet.

4. Sidebelastning på åpent vindu.

Når rammen ikke er festet med stormkrok, kan den slå opp og igjen med vinden. Om vinduet er innsatt i et smyg, vil rammen slå mot kanten på dette. Se figur 9. Rammen blir utsatt for stor bøyingspåkjenning som har sin største verdi ved opplagskanten. Likeens blir påkjenningen på hengslene stor.

b = rammens bredde

c = avstand fra hengsel til anslagskant

Maksimalt moment i ramme: $M = 0,5 \cdot P \cdot (b-c)$

Kraft på et hengsel: $H = 0,5 \cdot P \cdot \frac{b-c}{c}$

Ved forsøket ble c valgt til 10 cm. Glasset hadde ingen vesentlig betydning hverken for deformasjonen eller for styrken. Hjørnejern bidrar til å minske deformasjonen. Hengslene var konstruksjonens svakeste del, og begynte å svikte da lasten på hvert hengsel var 80 kg. P var da 30 kg. En vindlast som gir samme påkjenninger, blir lik 90 kg/m² og motsvarer vindstøt under sterk storm. Men om vinduet kastes mot kanten, kan vindtrykket være vesentlig mindre. NBI foreslår at konstruksjonen skal tåle 25 kg jevnt fordelt på ytre ramtre og loddrett på vinduets plan. Etter prøven skal vinduet kunne lukkes.

5. Forslag til dimensjonering av glasstykkelsen.

Glasset skal tåle en jevnt fordelt last på 150 kg/m² (Storm tilsvarer 100 kg/m² og sikkerhetsfaktoren er satt lik 1,5).

$$t = \sqrt{\frac{0,75 \cdot p \cdot b^2}{\sigma(1 + 1,6 \cdot a^3)}}$$

b = glassets bredde

h = glassets høyde

$$a = \frac{b}{h}$$

p = vindlast = 150 kg/m²

σ = glassets bruddspenning = 500—550 kg/cm²

med $p = 150$ kg/m² og

$$\sigma = 500 \text{ kg/cm}^2 \text{ blir } t = \frac{0,00475 \cdot b}{\sqrt{1 + 1,6a^3}}$$

Konklusjon

Forsøkene har vist hvor stive og sterke konstruksjonene er for et vanlig vindu. Dette vinduet er god tatt som et godt vindu også med hensyn til styrkeegenskapene. NBI anser at de påkjenninger vinduet er blitt utsatt for ved prøven, er realistiske, og vinduet har klart prøvene på en rimelig måte. En har dermed kommet fram til hvordan et vindu blir belastet, og hvilke krav en bør stille til styrkeegenskapene. Det er naturlig at kravene også må gjelde for større sidehengslete vinduer eller sidehengslete vinduer av andre materialer enn tre, f. eks. aluminium eller plast. Slik har da et vanlig og godt vindu gitt oss grunnlag for å utvikle større vinduer og vinduer av forskjellige materialer.

Sertrykk nr. 1074

AAS & WAHLS BOKTRYKKERI, OSLO