

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

Meddelelse nr. 20

Vinduers tæthed mod vind og regn

M. R. Byberg

Særtryk af Byggeindustrien nr. 19, 1970

Vinduers tæthed mod vind og regn

Civilingeniør M. R. Byberg,
Laboratoriet for Varmeisolering,
Danmarks tekniske Højskole

Hvordan skal et vindue konstrueres for at være vind- og regntæt, og hvor kraftige påvirkninger bliver et vindue normalt udsat for. Laboratoriet for varmeisolering har efterhånden gennem målinger indsamlet et værdifuldt erfaringsmateriale, som her videregives.

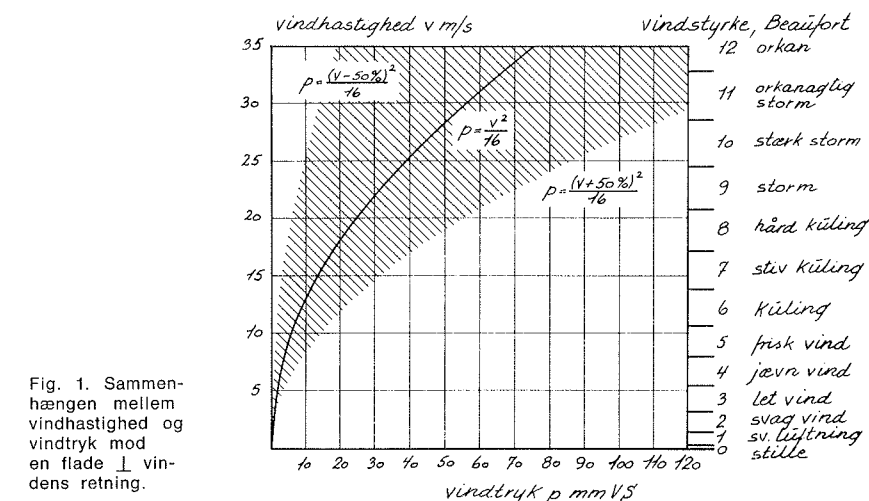
I det moderne byggeri udgør glasarealerne – og herunder vinduerne – en betydelig del af bygningernes ydervægge, og det er derfor naturligt, at byggefolk viser stor interesse for vinduesproblemerne. Det være sig spørgsmål om solindfald, varmeisolering, kuldebroer, dugdannelse, glasindsætning, vindtæthed, regntæthed, beslåning og vedligeholdelse for at nævne de vigtigste.

Denne redegørelse omhandler vind- og regntæthed, idet disse ofte hænger sammen. Yderligere afgrænses emnet til fortrinsvis at behandle de oplukkelige vinduer, fordi problemerne der ofte er mest udtalte. Mange af de nævnte principper kan dog umiddelbart også anvendes på faste vinduer og døre. Det drejer sig om erfaringer fra de senere års arbejde på Laboratoriet for Varmeisolering med måling af vind- og regntæthed for rekviren-ter.

Vinduer skal som en integrerende del af vore bolig- og arbejdspladser klimaskærm værne os mod det varierende udeklima og muliggøre opretholdelsen af et rimeligt indeklima. Hertil kræves bl. a., at det ikke må blæse gennem et lukket vindue, men skal det være absolut tæt, og hvilke påvirkninger udsættes det for?

Vindpåvirkninger

Når vinden rammer en høj bygning, opstår der som bekendt ved vindens bremsning et overtryk i vindsiden og et undertryk i læsiden. Det vindtryk, som f. eks. et vindue udsættes for, bliver da forskellen mellem lufttrykket udenfor og inde i bygningen, og da det er den luft, som gennem utætheder trænger ind i bygningen, der er mest ubehagelig, beskæftiger man sig



traditionelt kun med vinduer i vindsiden, hvor lufttrykket udenfor er et overtryk i forhold til lufttrykket inde. Trykdifferencen regnes sædvanligvis lig med vindens dynamiske tryk. Fig. 1 viser sammenhængen mellem vindhastighed og overtryk (vindtryk). Vindhastighed opgives sædvanligvis som middelvindhastigheden for en periode, men da der ofte er tale om store variationer (vindstød), er der i figuren også vist kurverne for $v + 50\%$ og for $v - 50\%$.

Medens konstruktionerne statisk beregnes ud fra vindstødene ($p = 120 \text{ kp/m}^2 \sim 120 \text{ mmVS}$), sættes den øvre grænse for vindtrykket ved vinduers tæthedsprøvning til 70 mmVS svarende til middelvindhastigheden ved vindstyrke orkan efter Beauforts skala.

Regnpåvirkninger – slagregn

For at en lodret vinduesflade kan blive udsat for regn, er det nødvendigt, at regnen kombineres med vind

således, at der bliver tale om slagregn. Hvor store mængder slagregn må man da regne med og ved hvilke vindhastigheder?

Af en undersøgelse foretaget af Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) fremgår det, at den maksimale slagregnmængde for en 3 timers periode i oktober måned i årene 1936–41 incl. har været $13,9 \text{ mm} \sim 4,6 \text{ mm}$ pr. time. Af Meteorologisk Instituts meddelelser for nov. 1960 fremgår, at største nedbørsmængde for en 1-times periode har været $3,2$ og $2,9 \text{ mm}$ med en samtidig vindhastighed på 9 og 10 m/s . Yderligere skal anføres, at man i korte perioder ($5\text{--}10\text{--}15$ minutter) har målt noget højere slagregnsintensiteter end svarende til de anførte ca. 5 mm/h , og at kraftige tordenbyger normalt ikke giver anledning til nogen nævneværdig slagregn.

Slagregnpåvirkningen kan således beskrives som værende ikke særlig kraftig i intensitet, og kun forekom-

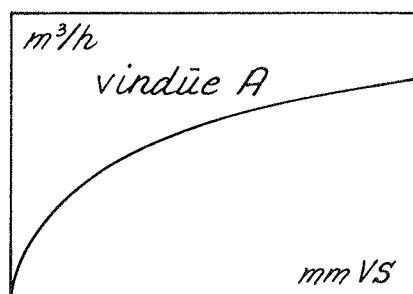


Fig. 2. Luftmængden gennem et normalt vindue i afhængighed af overtrykket.

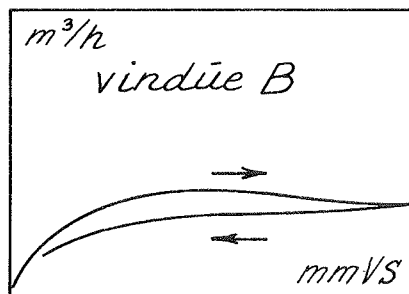


Fig. 3. Vindtætheden viser hysteresi.

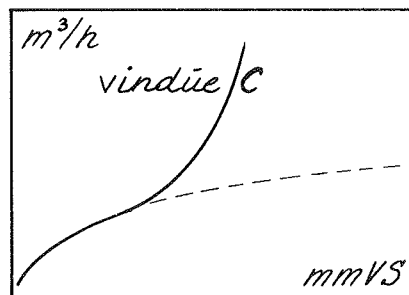


Fig. 4. For bløde tætningslister til de højere tryk.

mende i forbindelse med samtidigt vindtryk.

Fastlæggelse af prøvningsbetingelser

Der findes ikke i dag nogen norm for vind- og regntæthedsprøvning af vinduer, men Norges Byggeforskningsinstitut (NBI), som på dette område har udført pionerarbejdet i Europa, har foreslået, at vindtæthedsprøvning foretages ved at måle den luftmængde, som kan trænge igennem vinduet ved overtrykkene 10–30–50–70–60–40 og 20 mmVS. Denne procedure følges også på Laboratoriet for Varmeisoleringsring.

Fig. 2 viser det normale udseende af sammenhængen mellem overtryk og luftmængde afbildet med lineære skalaer. Vindue A er i denne henseende normalt, og for dette vindue var det i og for sig ikke nødvendigt at måle både ved stigende og faldende tryk, men for vinduet B, se fig. 3, viser kurven, at vindtætheden har en tydelig hysteresi, som netop kun kan konstateres ved den anvendte målemetode. Kurven stammer fra et udadgående vindue med forholdsvis stive gummitætningslister med læbeanslag. Det er lufttrykket mod ruden – som presser rammen ind mod karmen og dermed supplerer den mekaniske tilspænding af tætningslisterne – der bevirker den større lufttæthed ved de højere tryk. Når tætningslisterne først er trykket til, forbliver vinduet »tæt«, selv om lufttrykket aftager noget.

Fig. 4 viser vindtætheden af et indadgående vindue med meget bløde tætningslister, hvis spændkraft kunne overvindes ved de højere overtryk.

Som det ses af figurerne, giver afbildningen af måleresultaterne en gan-

ske god karakteristik af de enkelte vinduer, og måleområdet 0–70 mmVS må anses for at være passende i forhold til de vindpåvirkninger, som vinduet udsættes for i praksis.

For regntæthedsprøvningen har NBI også stillet forslag til prøvningsbetingelser: Ved en regnmængde på 10 mm/h $\sim$ 10 liter/m² h ved et tryk på 70 mmVS må der ikke kunne trænge vand igennem et virkelig godt vindue, når påvirkningen fortsættes gennem 4–5 timer.

Set i relation til danske klimaforhold anses denne prøve for at være for streng, navnlig hvad lufttrykket angår. Vi anvender derfor regnmængden 7 mm/h ved trykket 22 mmVS, hvilket svarer til vindstyrke 9, storm. Prøvens varighed afhænger af det prøvede vindues kvalitet, idet det utætte vindue oftest viser gennemslag i løbet af de første 20–30 min., medens det helt tætte vindue kan holde sig tæt under hele den maksimale prøvetid, 4 timer.

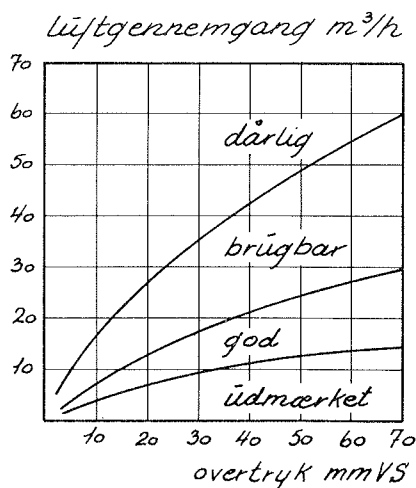


Fig. 5. Klassificeringskurver for vinduer af størrelsen 120 x 120 cm med 1 ramme (NBI's forslag).

Krav til vindtæthed

Ligesom der ikke findes nogen norm for prøvningen af vinduer, findes der heller ikke normerede krav til deres tæthed. NBI har foreslået en klassificering af vinduerne efter deres vindtæthed. Fig. 5 viser klassificeringskurverne for et vindue af størrelsen 120×120 cm. Som det ses, opereres der kun med fire klasser: udmærket – god – brugbar – dårlig. Denne opdeling er mig bekendt helt accepteret her i landet, hvilket nok også hænger sammen med, at de fleste danske vinduer ligger – eller med simple ændringer kan bringes til at ligge – i de to bedste klasser.

Som det ses, er kurverne fastlagt ud fra de »pæne« værdier 15, 30 og 60 m³/h ved 70 mmVS, og gennem disse punkter er tegnet kurver som funktion af trykket i potensen 0,67. Det anføres udtrykkeligt, at værdierne gælder for et vindue af størrelsen 120×120 cm og med 1 ramme (fig. 6) således, at tætningslistens længde (fugelængden) bliver ca. 4,7 m.

Hvilken tæthed vil vi da kræve af et vindue med 2 rammer (fig. 7) og af samme størrelse 120×120 cm men med fugelængde ca. 7 m? I rapport nr. 40 fra NBI, som omhandler tætningslister, anføres:

»En må kunne kræve samme tetthet av to like store vinduer uansett om det ene har en og det andre to eller flere rammer.«

NBI har således fastlagt den tilladte luftgennemgang ud fra vinduets areal (lysningsmål) og tænkt sig luftmængden proportional med arealet.

Jeg kan helt acceptere NBI's forslag for det 1,2×1,2 m store vindue med én ramme, men jeg vil argumen-

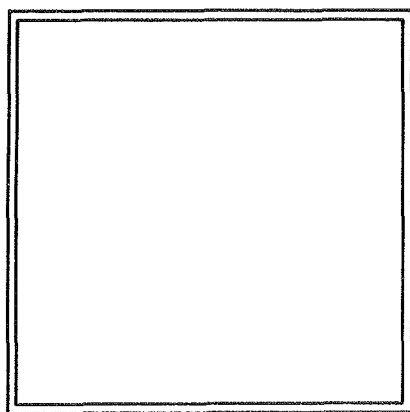


Fig. 6. Vindue med 1 ramme.

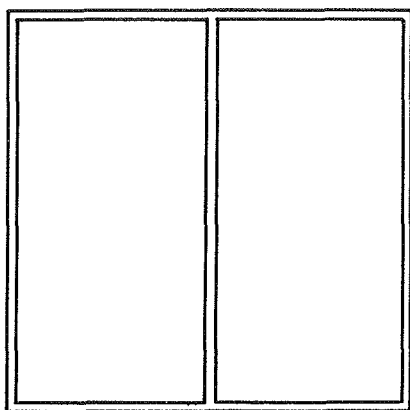


Fig. 7. Vindue med 2 rammer.

tere for, at man for vinduer af anden størrelse og med flere rammer lægger luftlækagen pr. meter fugelængde til grund for klassificeringen. For vinduer med én ramme stiller – som enhver selv kan overbevise sig om ved efterregning – »areal-kriteriet» større krav til tætningslisterne for små vinduer og mindre krav for de store vinduer. Det sidste er nok det værste, fordi man for de helt store vinduer kan komme op på så store lækageluftmængder, at man i bedste fald mærker den kolde luft som træk fra vinduet, men oftest tillige som kolde luftstråler (punktlækager). »Areal-kriteriet» vil tillige for vinduer af samme størrelse kræve større tæthed af tætningslisten i et vindue med flere rammer (stor fugelængde) end af et vindue med én ramme (lille fugelængde).

Men et tætningslisteprofil kan jo ikke blive bedre af at flytte fra et vindue med én ramme til et med flere rammer! Det vil efter min mening være mere i overensstemmelse med de fysiske forhold at stille krav til lufttætheden pr. m fugelængde. Da det er vinduets hjørner, som erfaringsmæs-

sigt er de svage punkter, betyder dette, at man skal være ekstra omhyggelig med hjørnetætningerne, hvis vinduet har mange hjørner pr. m fugelængde (f. eks. små vinduer eller vinduer med flere rammer). Man kan dog næppe sløse med hjørnetætningerne for et stort vindue, fordi det oftest er de små koncentrerede utætheder, som bringer et vindue fra en klasse ned i den næste.

Med udgangspunkt i den af NBI foreslåede klassificering af vinduer skal jeg derfor foreslå den i fig. 8 viste klassificeringskurve, som kan gælde for alle vinduer uanset størrelse og antal rammer.

Kurven er fastlagt ud fra de »pæne« værdier 3, 6 og 12 m³/h pr. m fuge ved 70 mmVS, dvs. 6 % mindre end de af NBI foreslåede værdier divideret med fugelængden 4,7 m.

Krav til regntæthed

Ved en 4-timers prøvning ved de under prøvningsbetingelser fastlagte påvirkninger (7 liter/m² h ved 22 mmVS) må gennemslag ikke finde sted. Derimod accepteres det, at der

kan trænge vand ind i fugen mellem ramme og karm, hvis vandet under og efter prøvningen selv kan løbe ud igen. Hvis der efter 2 timers prøvning ikke har samlet sig vand i bundfalsen (enkelte stænk accepteres), kan prøven afsluttes, ellers fortsættes i yderligere 2 timer.

Ovenstående må opfattes som forslag til krav, idet der ikke findes normerede krav.

Vindtæthedskravet set i relation til varmetabsreglerne

Som grundlag for projekteringen af en bygnings varmeanlæg bør der foretages en beregning af varmetabet. Dansk Ingeniørforening har udgivet nogle regler herfor, hvor et særligt afsnit omhandler fugetabet. Fugetabet defineres som den varmemængde, der kræves til at opvarme den gennem døre og vinduer indstrømmende kolde friskluft til stuetemperatur. I beregningen af fugetabet indgår fugelængden og en faktor: fugetallet, som afhænger af vinduets konstruktion, og i hvilken grad det i den pågældende bygning er udsat for det ydre klima

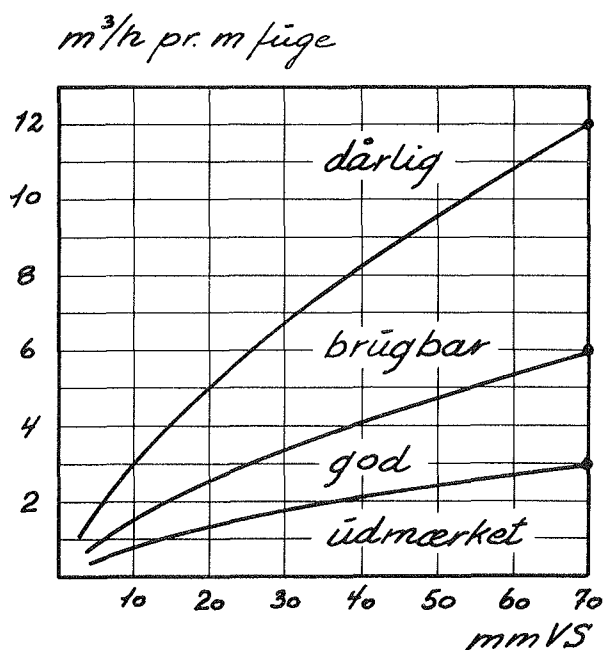


Fig. 8. Forslag til klassificering af vinduer efter vindtæthed pr. meter fuge.

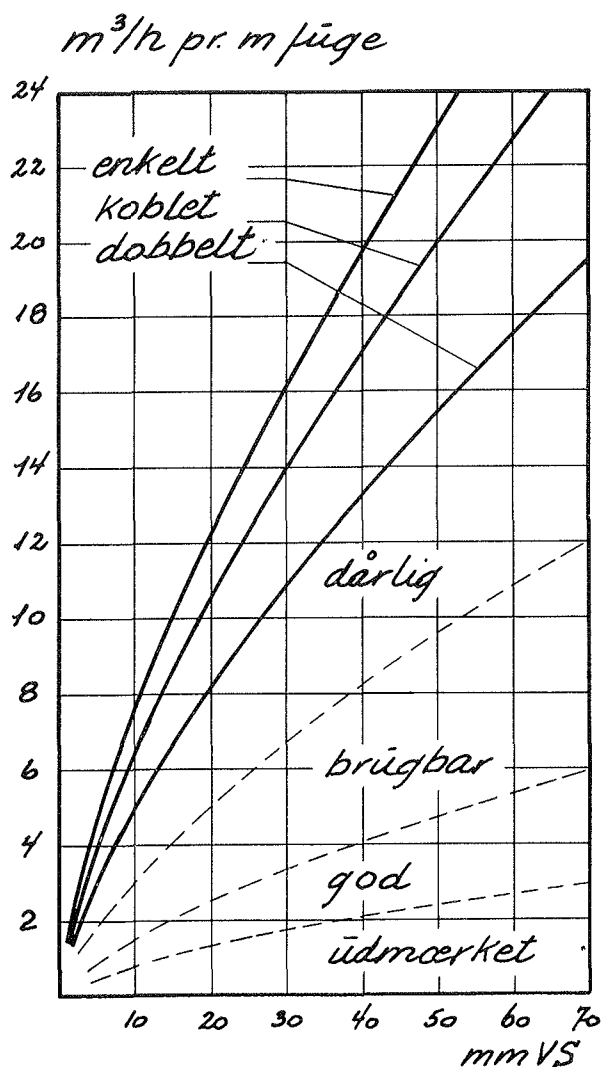


Fig. 9. Varmetabsreglernes fugetab set i relation til klassificeringen efter vindtæthed pr. meter fuge.

(vindpåvirkninger). Der opereres med tre forskellige vinduestyper – enkelte rammer, koblede rammer og dobbelte rammer – hvis luftgennemtrængelighed ved en trykforskel på 1 mm VS er fastsat til henholdsvis 1,5, 1,3 og 1,0 m³/h pr. m fuge. Yderligere regnes luftstrømmen gennem fugerne proportional med trykdifferencen i potensen 0,7.

Fig. 9 viser en sammenstilling af varmetabsreglernes fugetab og de tidligere nævnte klassificeringskurver. Man bemærker, at »fugetabskurverne« alle ligger i området »dårlig«. I varmetabsreglerne anføres yderligere, at for vinduer med tætningslister kan fugetallene formindskes indtil halvdelen. Gøres dette, kommer de tre kurver til at ligge nogenlunde i overgangen mellem områderne »brugbar« og »dårlig«.

Efter min mening skulle der ikke være nogen grund til at ændre fuge-

tallenes størrelse, selv om de fleste vinduer efterhånden udføres betydelig mere tætte end fugetallene giver udtryk for, fordi varmetabsreglerne tjener til at udforme varmeplanlægning, som også skal kunne varme husene op, selv om de er blevet 10 år gamle.

Derimod kunne det måske overvejes at udelade vinduestypen med koblede rammer, da den har næsten samme tæthed som typen med enkelte rammer.

Det kunne synes fristende på basis af målinger at beregne et »fugetal« for en bestemt vindueskonstruktion med tilhørende tætningsliste, altså en størrelse, som skulle karakterisere konstruktionens vindtæthed. Man kunne her tænke sig luftmængden pr. m fuge henført til trykdifferencen 1 mm VS. Yderligere skulle dog opgives størrelsen og fugelængden for det vindue, som »fugetallet« var målt på.

Grunden til, at man alligevel ikke benytter et sådant »fugetal«, er nok

den, at man derved mister oplysninger om de enkelte vinduers særlige egenskaber – se fig. 3 og fig. 4 –, samtidig med at man ikke kan sammenligne »fugetallene« for forskellige vinduer uden samtidig at tage hensyn til vinduernes størrelse og fugelængde. Jo tættere de lige fuger bliver, jo større indflydelse får vinduets hjørner.

Nogle konstruktive detaljer

Ved udformningen af en vindueskonstruktion gælder det almindeligvis for fugerne, at man bør tilstræbe en løsning med 2-trins tætning i stedet for tætning i et trin. Ved 2-trins tætningen er tænting mod regn og vind adskilt således, at der yderst findes en regnskærm, som forhindrer vand i at trænge ind i fugen, og inderst en tætning, som forhindrer luftgennemstrømning. Ved 1-trins tætningen skal begge disse funktioner klares samme sted.

Fig. 10 viser et snit i bundramme/bundkarm med 2-trins tætning for et udadgående vindue. Rammens vandnæse standser slagregn og vand, som løber ned ad vinduet (1. trin, regnskærm). Bag vandnæsen er der et kammer, som virker som stødpude både over for vindstød og regn. Inderst findes 2. trin, vindskeermen, godt beskyttet mod vandsprøjt.

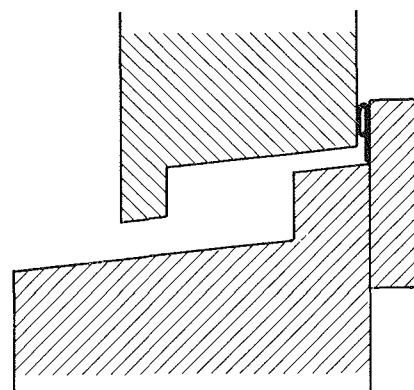


Fig. 10. Eksempel på bundfuge med 2-trins tætning.

For at vindtætningen kan blive effektiv, er det nødvendigt, at tætningen ligger i samme plan hele vejen rundt om rammen, og at hjørnerne er klaret. Ofte vil det for de lidt mere voluminøse tætningsprofiler være nødvendigt i hjørnerne at skære profilerne på gering og svejse eller lime dem sammen. Sammenlign profilet til et køleskab.

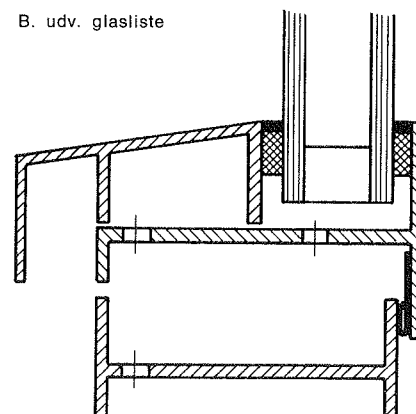
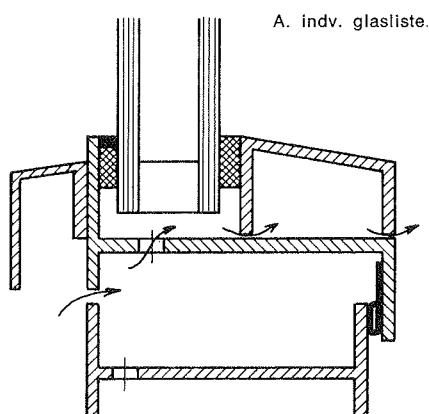


Fig. 11. Eksempel på metalbundramme med drænet glasfals.

Naturligvis må både hængsler og lukketøj holdes fri af tætningsfladen, ligesom lukketøjets greb må være lufttæt, hvis det bryder igennem tætningsplanet.

I forbindelse med at visse glasfabrikanter kræver glasfalsen drænet (ventileret) for at yde garanti på deres isolerruder, er der opstået et nyt tætningsproblem. Fig. 11 viser et snit i bundrammen til to vindueskonstruktioner af metal med dræn fra glasfalsen. Konstruktion A har glaslisten anbragt indvendigt, medens konstruktion B har udvendig glasliste. Det forudsættes, at begge glasfalsen er drænet til den udvendige side af rammeprofilets tætningsliste, og at der på den udvendige side af isolerruden er udført topforsegling.

I tilfælde A »kortsletter« drænhullerne den udvendige tætning mellem metalramme og isolerrude. Pilene viser, hvilken vej luften kan trænge gennem konstruktionen, idet glaslisterne ikke kan tilpasses så nøjagtigt, at de slutter lufttæt. Det er et par gange konstateret, at en sådan konstruktion kan virke som fløjte. At anvende en

dyr to-komponent fugemasse på isolerrudens indvendige side er derfor i dette tilfælde helt forfejlet, fordi det giver indtryk af en god og tæt konstruktion, som imidlertid ikke er til stede, altså en art falsk sikkerhed.

I tilfælde B er konstruktionen tæt, når der anvendes topforsegling indvendigt – og efter det almindelige princip stedse mere utæt udefter. Af hensyn til slagregn kan det anbefales også at anvende udvendig topforsegling forneden og ca. 15 cm op ad tætningen mellem rude og glasliste, medens resten udmærket kan være af de sædvanlige elastiske fugebånd, foroven måske med nogle gab af hensyn til glasfalsens ventilation. En sådan ringe ventilation vil ikke nedsætte konstruktionens varmeisolering mærkbart.

Udføres vindueskonstruktionen af aluminium og træ – eller en hvilken som helst anden kombination af metal og varmeledningsisolator – må man være opmærksom på, at samlingen mellem de to materialer kun er lufttæt, hvis de samles med en udfyldende lim eller en strimmel mastic.

Kalfatringsfugen bør ubetinget ud-

føres efter 2-trins princippet, hvor dette kan lade sig gøre. I de større byggerier forsegles fugen så godt som altid, og udformes den, så den kan udføres uden alt for store krumspring, kan den blive fuldstændig tæt. Ved at fuge indvendigt i stedet for udvendigt opnås ofte den yderligere fordel, at der kan anvendes en billigere mastic, fordi den ikke udsættes for vejr og vind, men kan ligge helt beskyttet inde i konstruktionen.

Sammenfatning

Ved udformningen af en vindueskonstruktion bør man stedse holde sig 2-trins princippet for tætning for øje: En udvendig, åben regnskærm og en indvendig, tæt vindskærm. Tætningslisternes anslagsflade bør ligge i samme plan hele vejen rundt, og hjørnerne bør ofres særlig opmærksomhed – også fra håndværkerens side. Prøves et vindue for vind og slagregn, bør et nyt vindue nok ligge i en af de to bedste klasser og ikke udvise gennemslag under regnprøven. Ved konstruktion af vinduer skal man ofre detaljerne stor opmærksomhed!

