



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Kollaps af Club Danmark Hallen**

*Undersøgelsesrapport*

Pedersen, Erik Steen; Nielsen, Jørgen; Aagaard, Niels-Jørgen

*Publication date:*  
2011

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Pedersen, E. S., Nielsen, J., & Aagaard, N-J. (2011). *Kollaps af Club Danmark Hallen: Undersøgelsesrapport*. SBI forlag. SBI Bind 2011 Nr. 10

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

SBi 2011:10

# Kollaps af Club Danmark Hallen

Undersøgelsesrapport



Statens Byggeforskningsinstitut  
AALBORG UNIVERSITET



# Kollaps af Club Danmark Hallen

Undersøgelsesrapport

Erik Steen Pedersen  
Jørgen Nielsen  
Niels-Jørgen Aagaard

Titel	Kollaps af Club Danmark Hallen
Undertitel	Undersøgelsesrapport
Serietitel	SBi 2011:10
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2011
Forfattere	Erik Steen Pedersen, Jørgen Nielsen, Niels-Jørgen Aagaard
Sprog	Dansk
Sidetæl	28
Litteratur-henvisninger	19
Emneord	Club Danmark Hallen, kollaps, konstruktioner, svigt, snelast
ISBN	978-87-563-1512-8
Fotos	Erik Steen Pedersen
Omslag	Foto: Erik Steen Pedersen
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm E-post <a href="mailto:sbi@sbi.dk">sbi@sbi.dk</a> <a href="http://www.sbi.dk">www.sbi.dk</a>

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

# Indhold

Forord .....	4
Bygningen.....	5
Hovedhallen .....	5
Apsis-hallen .....	5
Hændelsen .....	7
Vejsituationen .....	7
Observationer vedrørende snelast .....	7
Observationer vedr. konstruktioner.....	8
Projektmateriale.....	10
Fastsættelse af snelast.....	10
Konstruktioner.....	10
Analyse.....	12
Snelast .....	12
Fastsættelse af snelasten.....	12
Konstruktionens modstandsevne.....	13
Svigtforløbet.....	14
Nordlig apsis-hal .....	15
Hovedhallen .....	15
Nugældende regler for snelast .....	15
Nugældende regler vedr. projekteringskontrol .....	16
Konklusion .....	17
Club Danmark Hallens kollaps og sikkerhed .....	17
Projektmaterialelets dokumentation af sikkerheden.....	17
Sikkerhedsaspekter i forhold til nuværende regler .....	18
Sikkerheden af Club Danmark Hallens øvrige konstruktioner .....	18
Referencer.....	19
Projektmateriale.....	19
Generelle referencer .....	20
Bilag A Billeder .....	21

# Forord

Dele af Club Danmark Hallen i Valby kollapsede 24.-26. december 2010.

Denne rapport redegør for undersøgelser af bygværket, kollapse og dets mulige årsager.

Rapporten er udarbejdet af Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) efter aftale med Erhvervs- og Byggestyrelsen. I arbejdet har deltaget seniorrådgiver, akademiingeniør Erik Steen Pedersen, adjungeret professor, ph.d. Jørgen Nielsen og forskningschef, ph.d. Niels-Jørgen Aagaard, alle fra SBI.

SBI takker for konstruktive kommentarer fra seniorrådgiver, ph.d. Jørgen Munch-Andersen, Træinformation og direktør, ph.d. Svend Ole Hansen, Svend Ole Hansen ApS.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet  
Byggeri og sundhed  
Marts 2011

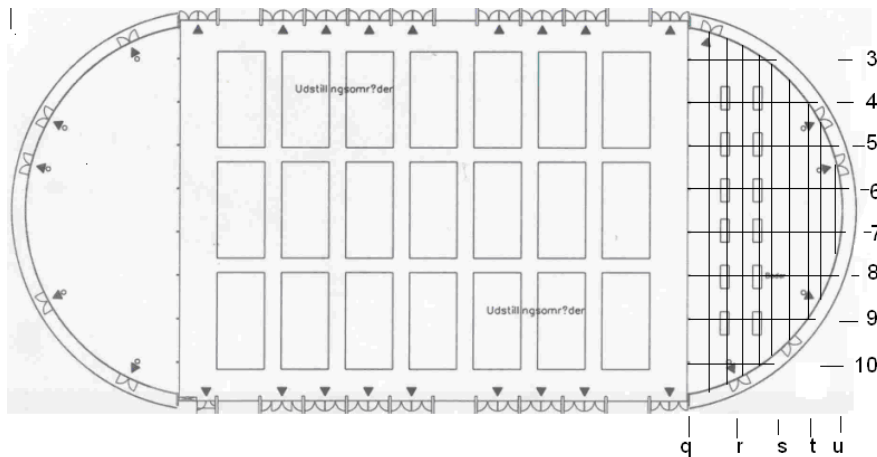
*Niels-Jørgen Aagaard*  
Forskningschef

# Bygningen

Adresse: Julius Andersens Vej 6, 2450 København SV.  
Ejer: Valby Multihalfond under Københavns Kommunes kultur- og fritidsforvaltning.  
Opførelsesår: 1998, projekteret i okt.-dec. 1997  
Anvendelse: Sport- og kulturarrangementer

Club Danmark Hallen er en 177 meter lang, 78 meter bred og 16 meter høj hal, hvis længdeakse er orienteret mod nord-nordøst.

Hallen består af en rektangulær hovedhal med en cylindrisk tagflade. For enderne er zoner med en halvcirkelformet grundplan og et kugleudsnit som tagflade, såkaldte apsis-haller. Apsis-hallernes tagflade ligger cirka 0.5 m lavere end hovedhallens tagflade.



Figur 1. Grundplan for Club Danmark Hallen. Buer i apsis er placeret i systemlinjer 3-10 og åse er fordelt på tværs heraf mellem systemlinjerne q-u.

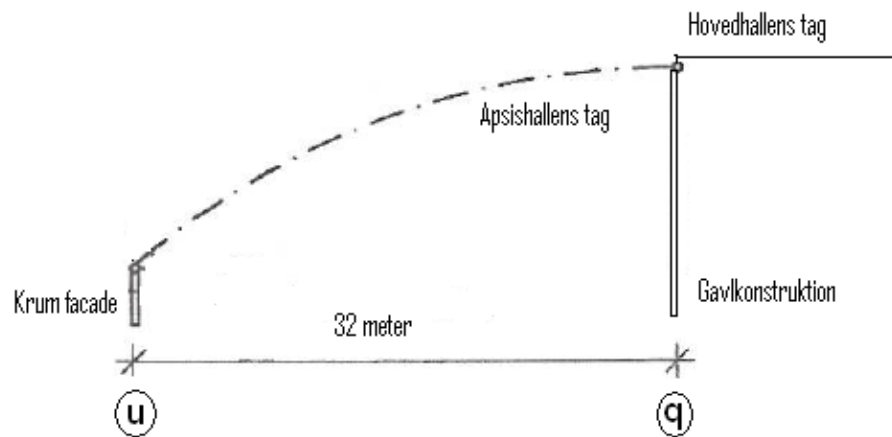
## Hovedhallen

Tagkonstruktionen i den rektangulære del af hallen er overdækket af 3-charniersbuer udført i limtræ. Disse buer er understøttet i facadelinjerne af betonkonstruktioner, som er indbyrdes forbundet via stålkabler ført under terræn.

## Apsis-hallen

I apsis-hallen er tagkonstruktionen udført i limtræ med otte halvbuer i systemlinje 3-10, se figur 1, der spænder i bygningens længderetning. Buernes ene ende er understøttet på en gavlkonstruktion, se figur 2, af søjler og bjælker i limtræ, opført mellem hallens rektangulære del og apsis. Buerne er understøttet mod vandret bevægelse ved gavlkonstruktionen af fordelingsåse, som er forbundet til hovedhallens krydsgitre. Buernes anden ende er understøttet på betonsøjler i den krumme facade, se figur 2.

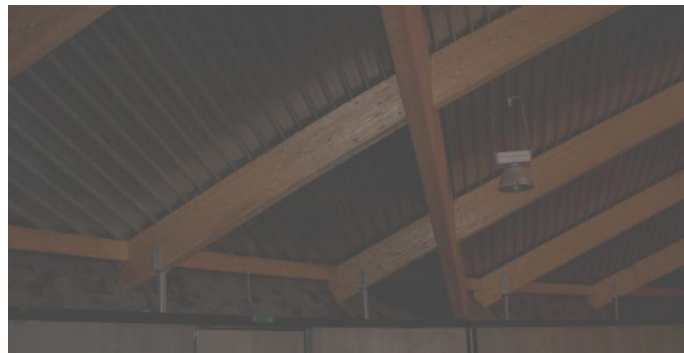




Figur 2. Længdesnit i apsis-hallen, systemlinje 6 og 7.

Mellem buerne spænder limtræsåse, som bærer tagbeklædningen bestående af trapezformede tyndplader, isolering og tagpap. Ved apsis-hallens facade understøttes åsene af stålsøjler. Ved buerne er åsene fastgjort med sømbeslag, som er indslidsede i åsene.

Langs apsis-hallens facade er både buer og åse forbundet med en krum randbjælke i limtræ, se figur 3. Enderne af randbjælken er fastgjort til hovedhallens betonkonstruktioner. Randbjælken er fremstillet i syv dele som er forbundet med sømbeslag.



Figur 2. Hovedbue understøttet på betonsøjle skjult i facaden. Åse som spænder mellem buer og stålsøjler i facade. Randbjælke som forbinder enderne af buer og åse.

# Hændelsen

Den 24. december 2010 kollapsede dele af den sydlige apsis. Ud fra tv-klip optaget den 26. december ses, at tre buer (systemlinje 8, 9, og 10) var kollapsede. Ved SBI's besigtigelse den 27. december 2010 var endnu en bue kollapsede (systemlinje 5).

Der var ingen personer til stede ved kollapset.



Figur 4. Kollapsede områder i sydlig apsis ved systemlinje 10, 9, 8 og 5.

## Vejrsituationen

Middeltemperaturen i hovedstadsregionen i december måned 2010 var minus 3,8 °C mod normalen plus 1,5 °C. Nedbørsmængden i december måned 2010 var 46 mm, hvilket var mindre end normalen 55 mm. Grundet temperaturforholdene faldt nedbøren hovedsageligt som sne.

Bortset fra en kort tøperiode fra den 10. til den 12. december 2010 var temperaturen under 0 grader fra omkring den 25. november 2010 og frem til kollapset. I denne periode faldt 50 mm nedbør svarende til 0,50 m nysne. Heraf faldt i perioden fra den 12. december frem til kollapset 20 mm nedbør.

I dagene op til svigtet var der en relativ kraftig vind fra nord-nordøst.

## Observationer vedrørende snelast

Hallens længderetning er orienteret i samme retning som den kraftige vind i dagene op til svigtet. Ved besigtigelsen den 27. december 2010 konstateredes, at der stort set ingen sne var på hovedhallens cylinderformede tagflade. Denne sne var af vinden blevet blæst ud på den sydlige apsis. Efter svigtet blev observeret et snelag på taget med op til ca. 1 meters tykkelse, se figur 5. Tykkelsen er bedømt på baggrund af tagpapbanernes bredde på 0,85 m. Snelaget kan have været dybere på den del af tagfladen der styrtede ned.

På en nærliggende fodboldbane blev målt en ensartet snedybde på 0,12 m.



Figur 5. Snelagets tykkelse den 27. december 2010.

## Observationer vedr. konstruktioner

### Buer

Buerne i systemlinje 8, 9 og 10 kollapsede først. Buen i systemlinje 5 kollapsede 2-3 dage senere.

De kollapsede buer fremstår typisk som vist på billedet A1 i bilaget.

Efter kollapset stod buerne stadig på vederlagene ved gavlkonstruktionen, der afgrænser hovedhallen. For vederlagene i den anden ende af buerne gælder:

Systemlinje 10, 8 og 5:

Buen er flækket ud fra understøtningen. I linje 10 og 8 forblev 'overflangen' på vedlaget, mens 'underflangen' faldt ned. I linje 5 faldt begge dele ned. Se billede A2, A3 og A4 i bilaget.

Systemlinje 9:

Buen er flækket i tværsnittet ind fra enden af buen og er faldet ned af vederlag, se billede A5 i bilaget.

I én af de buer i syd-apsis, som ikke er kollapsede, ses en mindre revne ved vederlaget.

### Åse

Efter kollapset hang åsene ned fra de buer, hvor der ikke var sket kollaps. I den vestlige side af hallen observeredes skridmærker, som indikerer, at en ås er trukket ud af samlingen ved buen og derefter faldet ned inden buen faldt ned; se billede A6 og A7 i bilaget. Den pågældende ås, se figur 3, med tilsvarende åse i østlig side, forbandt en bue og randbjælken i nærheden af randbjælkens fastgørelse til hovedhallen, se billede A8 i bilaget.

### Randbjælke

Randbjælken er i hallens vestlige side trukket ud af fastgørelsen til betonkonstruktionen, se billede A9 i bilaget. I den østlige side er randbjælken trukket delvist ud, se billede A10 i bilaget. Der er en ensartet lysere overflade op til beslaget, som indikerer, at en udtrækning er sket over en kort periode.

Samlingerne mellem randbjælkens delelementer er ensidige sømbeslag som er vredet/trukket over, se billede A11 i bilaget.

### Trapezplader

Der er ikke observeret skader på de tagplader, som ikke er berørt af kollapsede.

### **Den nordlig apsis-hal**

Ved besigtigelse af den intakte nordlige apsis-hal er i alle buer konstateret revner, som udgår fra vederlaget og i større eller mindre grad løber op langs fiberretningen i buen. Figurerne A12-A15 i bilaget viser et eksempel herpå.

Endvidere er observeret, at randbjælken ved den østlige fastgørelse er trukket cirka 5 mm ud af fastgørelsen i lighed med randbjælken i den svigtede sydlige hal, se figur A10 i bilaget. Farveforskelle indikerer, som i den sydlige hal, at udtrækningen er sket over en kort periode.

# Projektmateriale

Der er opsøgt projektmateriale hos

- Københavns Kommunes byggesagsarkiv
- Wessberg AS, Rådgivende Ingeniører (Rådgiver)
- Grontmij Carl Bro AS (Bygherrerådgiver)
- Lilleheden A/S (Limtræsleverandør)
- Valby Multihalfond (Bygherre/Ejer) (via EBST)

Der er modtaget relevante statiske beregninger og konstruktionstegninger, jf. [1], [2] og [3]. Normgrundlaget er angivet at være DS 409, DS 410 (Dansk Ingeniørforening, 1982a) og DS413 (Dansk Ingeniørforening, 1982b). Det er ikke i projekt materialet angivet, hvilke normudgaver, der er anvendt. Projekteringen skete i 1997, hvor normerne fra 1982 var gældende i 8. oplag (Dansk Ingeniørforening, 1992). Bygningen er regnet i høj sikkerhedsklasse.

En bygherrerådgiver har i februar 1997 vurderet forhold omkring funktionsmæssige forhold, arkitektonisk kvalitet etc., men ikke forhold vedrørende de bærende konstruktioner, [4].

Opgaven med at udarbejde statiske beregninger af limtræskonstruktionerne er overdraget til producenten. Der er ikke modtaget projektmateriale herfra.

Det fremgår ikke klart, hvem der har haft det samlede projekteringsansvar, ligesom det ikke har kunnet afgøres, om nogen har kontrolleret limtræproducentens beregninger.

## Fastsættelse af snelast

Ved lastfastsættelsen, [1], er der ikke taget hensyn til, at niveauspringet mellem hovedhallen og apsis vil fungere som lægiver og dermed give anledning til øget last som følge af sneophobning.

Den projekterende ingeniør har opstillet den forudsætning for snelast [2], at der ved dimensionering af trækonstruktionerne skal tages hensyn til, at tagfladen er dobbeltkrum. I de statiske beregninger fra limtræproducenten er anvendt en snelast svarende til last på en enkeltkrum cylinderflade. Formfaktoren 0,8, terrænværdien  $1,0 \text{ kN/m}^2$  og partialkoefficienten 1,3 resulterer i en regningsmæssig ensformig fordelt last på  $1,04 \text{ kN/m}^2$ . Det betyder, at limtræproducenten ikke har taget hensyn til at tagfladen er dobbeltkrum.

## Konstruktioner

Hovedbuer og åse er regnet som simple bjælker. Af [3] fremgår, at randbjælken kun indgår i beregningerne ved optagelse af lodret last fra tagpladerne, se figur 3.

I de statiske beregninger fra producenten [1], er der ikke fundet nogen bæreevneeftervisning af afskæringen ved vederlaget på betonsøjler, se figur 8. Der er behov for to undersøgelser, dels af forskydningsstyrke dels af flækning ud fra vederlaget. På foranledning af Københavns Kommune har lim-

træsproducenten efterfølgende gennemført den ene undersøgelse, idet det er eftervist, at tværsnittet ved vederlag har den fornødne forskydningsstyrke under hensyntagen til den reducerede tværsnitshøjde, se [3].

# Analyse

## Snelast

Grundet vejrlig og vindretning dannedes en snedrive af op til mindst en meters tykkelse. Denne sne kan have haft en høj densitet, idet snekrystallerne ved fygning fra hovedhallens tag har fået afslebet skarpe kanter og derved har kunnet lejre sig tæt.

SBi foretog den 28. december 2010 densitetsmålinger på et 0,65 – 0,70 m tykt snelag på en bakke ved Allerød, se figur 6, orienteret mod syd-sydvest i lighed med apsis-tagfladen. Markskellet og det nord for beliggende markareal, vurderedes at svare nogenlunde til Club Danmark Hallens niveau-spring og hovedhallens store tagflade. Densiteten blev i middel over tykkelsen målt til cirka  $250 \text{ kg/m}^3$ . Densiteten på taget har givetvis været højere, idet en større lagtykkelse resulterer i større sammentrykning og dermed større densitet.



Figur 6. Lokalitet i Børstingerød nær Allerød, hvor sneprøve blev udtaget.

Der er en sikker observation på cirka 1 meter sne og dermed vurderes, at taget på visse områder har været udsat for en last på mindst  $250 \text{ kg/m}^2$ . Som nævnt ovenfor kan snelasten have været større på den del af taget, som faldt ned.

Vejrsituationen i perioden op til kollapset vurderes dog ikke, for så vidt angår snelast, at have været ekstrem. Dette bekræftes af, at der ikke er rapporteret andre sneskader i regionen.

## Fastsættelse af snelasten

Efter reglerne på opførelsestidspunktet skulle der tages hensyn til sneophobning som følge af lægiving fra hovedhallen. Det ville have medført et mindre tillæg i lasten nær hovedbygningen. For kollapset har det kun marginal betydning.

Limtræsproducenten tager ikke hensyn til tagets dobbeltkrumme form ved lastfastsættelsen.

I de statiske beregninger er anvendt en snelast svarende til last på en cylinderflade. Formfaktoren 0,8 for en ensformig lastfordeling, terrænværdien 1,0 kN/m<sup>2</sup> og partialkoefficienten 1,3 resulterer i en jævnt fordelt regningsmæssig last på 1,04 kN/m<sup>2</sup>.

Den daværende norm angiver også, at et lasttilfælde med skæv last skal tages i regning. Normen foreskriver i det tilfælde en maksimal værdi for formfaktoren på 2,3, men producenten har anvendt værdien 0,8. Der er således taget hensyn til uens lastfordeling omend i utilstrækkelig grad.

Frem til 1988 gælder, at der i lastreglerne ikke blev angivet specifikke snelaste for cylindertage, men i højere grad lagt op til ingeniørmæssige betragtninger. Med en normændring i 1988 indførtes specifikke regler for en række tagformer, blandt andet for det cylindriske tilfælde hvor den maksimale formfaktor for uens fordelt snelast ved en fejl sættes til 2/3. Formfaktoren korrigeres dog inden for få måneder til 2,3.

## Konstruktionens modstandsevne

Der kan skelnes mellem to virkemåder; den ved dimensioneringen forudsatte (*den formelle*), og den som i virkeligheden forekom indtil kort før bruddet indtraf (*den reelle*).

*Den formelle virkemåde* er beskrevet ovenfor i afsnittet Projektmateriale, dvs. at konstruktionens buer og åse fungerer som bjælker. Randbjælken har kun sekundær betydning.

*Den reelle virkemåde* skønnes at have været følgende: Når konstruktionen udsættes for belastning fra tagbeklædning og sne, sætter hovedbuerne sig, hvorved de tværgående åse i realiteten kommer til at virke som trykstænger, der styret af hovedbuerne, samlet set også virker som buer. Disse to på hinanden vinkelrette sæt buer fastholdes delvist af randbjælken mod vandret bevægelse ved facaden. Ved gavlkonstruktionen fastholdes hovedbuerne mod vandret bevægelse af fordelingsåse, som er forbundet til hovedhallens krydsgitre. Randbjælken fungerer dermed som et trækbånd. Herved optages lasten ikke ved bøjning alene, men ved en kombination af bøjning og buevirkning i buerne og som tryk i åsene. Randbjælken påvirkes således langs hele sin længde af udadrettede kræfter fra buer og åse.

Ved den formelle virkemåde er kravet vedrørende bæreevnen over for flækning ved afskæringen ved vederlaget formelt ikke opfyldt med den snelast, som er forudsat. Med den observerede snelast skønnes den faktiske bæreevne langt overskredet. Flækningsproblemet har ikke haft væsentlig betydning for sikkerheden, så længe randbjælken har virket som trækbånd og hovedkonstruktionen har virket som buer; se nedenfor afsnittet Svigtforløbet.

Der er i projektet ikke regnet på den udførte konstruktions reelle virkemåde for hverken buer, åse eller randbjælker. Det kritiske punkt vedrørende randbjælkens trækstyrke er ved dens fastgørelse ved hovedhallen.

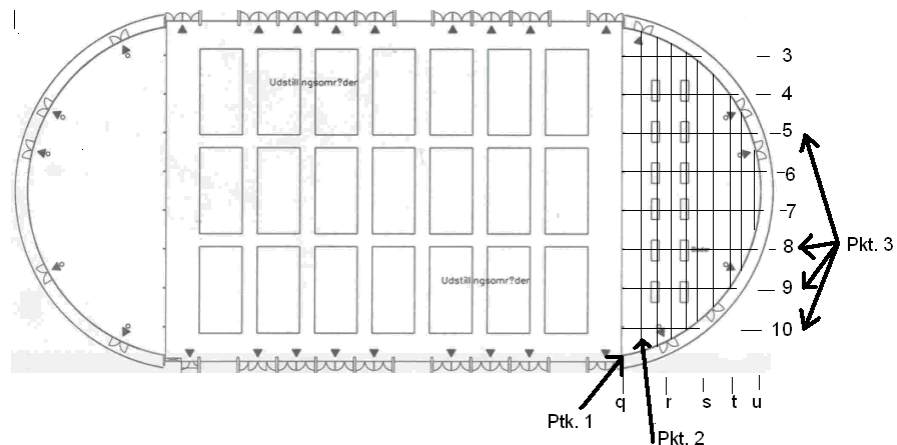
Den reelle virkemåde indebærer desuden en større risiko for kipning af buerne, end ved den formelle virkemåde. Endvidere er der i beregningerne ikke taget hensyn til, at buernes samvirkning med tagbeklædning, åse og søj-



letoppe kan resultere i excentriske påvirkninger, der kan forstærke det åbenbare flækningsproblem.

## Svigtforløbet

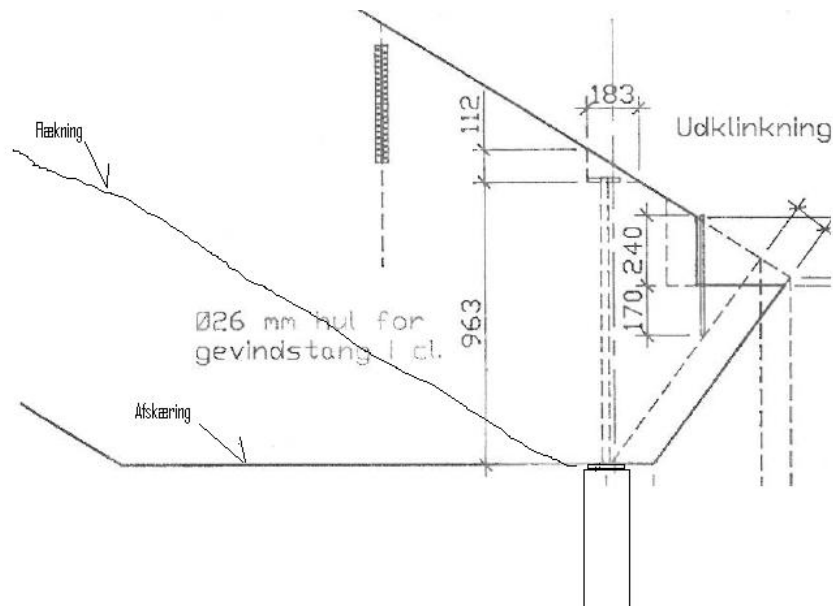
Ved de statiske beregninger, efter den formelle virkemåde, forudsættes, at vederlag langs periferien frit kan flyttes vandret. Disse flytninger har i praksis været hindret af randbjælken. Derfor fungerer konstruktionen i første omgang svarende til den reelle virkemåde. Når randbjælken ikke længere fungerer som trækband, ophører buevirkningen i både buer og åse. Den samlede last skal herefter optages iht. den formelle virkemåde. Da svigtet formentlig er sket pludseligt, er der kommet et dynamisk tillæg til lasten, idet der fås langt større lodrette flytninger, når last optages ved bøjning i stedet for ved buevirkning.



Figur 7. Positioner i relation til svigtforløb.

Svigtforløbet kan dermed have været følgende:

1. Randbjælken er blevet trukket ud af sin fastgørelse ved den vestlige betonkonstruktion, se pkt. 1 i figur 7 samt billede A9 i bilaget.
2. Åsen, se pkt. 2 i figur 7 samt billede A6 og A7 i bilaget, er derefter blevet trukket ud af buen og er faldet ned. Herunder er bolteforbindelsen ved facaden blevet revet over, se billede A8 i bilaget. Skridmærkerne på buen indikerer, at buen ikke var flækket og dermed ikke kollapsede, da åsen blev trukket ud.
3. Når randbjælken ikke længere fungerer som trækband, kommer hoveddragerne til at virke som bjælker, svarende til den formelle virkemåde. Da lasten for den formelle virkemådes bæreevne er langt overskredet, kan der ikke etableres en ny ligevægtstilstand, og kollapset udløses i form af en flækning ind fra vederlaget, se pkt. 3 i figur 7 samt figur 8. På grund af flækningen reduceres det aktive tværsnit, og der fås efterfølgende momentbrud og/eller forskydningssvigt, som får buerne til at flække, se billede A1 i bilaget. For tre ud af de fire kollapsede buer gælder, at de er flækket på langs i undersiden lige inden for vederlaget, se figur 8. Den sidste af de fire buer er flækket ind fra enden af tværsnittet. Dette kan skyldes, at kollapset af nabobuerne har trukket i 'overflangen' via randbjælken.



Figur 8. Bue med afskåret underside. Observeret flækning ud fra vederlaget, langs fiberretningen, er indtegnet.

## Nordlig apsis-hal

De observerede revner, som udspringer fra vederlagene samt udtrækningen af randbjælken ved den østlige fastgørelse, understøtter ovenstående analyse. Farveforskelle ved randbjælkens fastgørelse indikerer, at udtrækningen er sket ved en konkret hændelse, der kan betragtes som et "nær ved" kollaps. Dette kan være i forbindelse med et tidligere snefald, hvor de meteorologiske omstændigheder har gjort, at sneen primært har lagt sig på den nordlige apsis-hal.

## Hovedhallen

Ved den reelle virkemåde påfører buerne i apsis-hallerne hovedhallen en utilsigtet påvirkning, som denne ikke er dimensioneret for. Det er ikke undersøgt, om dette har ledt til en skadesudvikling i hovedhallens konstruktioner.

## Nugældende regler for snelast

Nugældende regler i Eurocodes for snelast på en cylinderflade (Dansk Standard, 2007a og 2007b) leder til formfaktoren 2,0 (maksimale værdier i en trekantformet fordeling), terrænværdien 0,9 og partialkoefficienten 1,5. Dette resulterer i en trekantformet regningsmæssig last på maksimalt 2,70 kN/m<sup>2</sup>.

Ved projekteringen blev anvendt en jævnt fordelt last med en formfaktor på 0,8 som det kritiske lasttilfælde. Efter de nugældende regler er det kritiske lasttilfælde en retvinklet trekant-lastfordeling med en maksimal værdi på 2,0. Dette øger lastvirkningen ved buernes ender med skønsmæssigt 70 %.

Den regningsmæssige snelast på en cylinderflade, fastlagt efter nugældende regler, er af samme størrelsesorden som den observerede snelast, men dette må anses for tilfældigt, idet reglernes anvendelse af dimensionsløse formfaktorer ikke rummer mulighed for at tage hensyn til bygningens absolute størrelse.

De nuværende regler omfatter ikke specifikt dobbeltkrumme tagflader, så i dette tilfælde er en ingeniørmæssig betragtning nødvendig.

Ved overgangen fra det oprindelige dimensioneringsgrundlag til Eurocodes er der også ændret i partialkoefficienterne på modstandssiden. Den nævnte ændring af reglerne kan derfor have en anden effekt på sikkerheden end værdierne for snelast umiddelbart giver udtryk for.

## Nugældende regler vedr. projekteringskontrol

I henhold til nugældende standard for projektering af bærende konstruktioner skal hovedkonstruktionerne i et bygværk som hovedhallen i Club Danmark Hallen henregnes til ekstra høj konsekvensklasse (Dansk Standard, 2007a). Afhængigt af aphis-hallernes anvendelse kan de eventuelt henregnes til en lavere konsekvensklasse.

Reglerne i det nuværende bygningsreglement for projektering og dokumentation af bærende hovedkonstruktioner i ekstra høj konsekvensklasse kræver, at en anerkendt statiker som tredjepart kontrollerer alle statiske beregninger fuldt ud; herunder leverandørberegninger, jf. BR10 bilag 3 og 4 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010).

En kontrol efter nugældende retningslinjer for anerkendte statikers virke (Anerkendelsesudvalg for statikere, 2010) samt specifikation af kontrolomfang og kontrolniveau for dokumentation af bærende konstruktioner i SBI-anvisning 223 (Statens Byggeforskningsinstitut, 2009), ville med stor sandsynlighed have sikret, at Club Danmark Hallen efterlevede dagældende regler.

# Konklusion

Undersøgelserne giver anledning til konklusioner vedrørende:

- Club Danmark Hallens kollaps og sikkerhed
- Projektmaterialets dokumentation af sikkerheden
- Sikkerhedsaspekter i forhold til nuværende regler
- Sikkerheden af Club Danmark Hallens øvrige konstruktioner

## Club Danmark Hallens kollaps og sikkerhed

Club Danmark Hallens kollaps skyldes, at snelasten udløste et brud ved randbjælkens fastgørelse, og at buerne derefter er flækkede ved afskæringerne ved vederlagene.

Det vurderes, at snemængden på hallens apsis-konstruktioner ved kollapset har været tæt på eller lidt over de belastningskrav, som en ingeniørmæssig vurdering efter reglerne ville have ledt til, da hallen blev bygget.

På det foreliggende grundlag kan det ikke afgøres, om styrken af Club Danmark Hallens konstruktioner fuldt ud levede op til kravene i 1997, herunder ovennævnte belastningskrav. Det vurderes dog, at sikkerheden lå tæt på eller lidt under det krævede.

## Projektmaterialets dokumentation af sikkerheden

Halkonstruktionens sikkerhed er ikke dokumenteret i projektmaterialet, der indeholder tre afgørende kritiske forhold.

Det første er, at de statiske beregninger på afgørende punkter ikke er i overensstemmelse med den udførte konstruktions faktiske virkemåde. Randbjælken har utilsigtet virket som trækband. Buerne har derfor i den udførte konstruktion ikke, som antaget i de statiske beregninger, udelukkende fungeret som bjælker. Randbjælkens faktiske funktion har reduceret betydningen af nedennævnte forhold og hævet konstruktionens sikkerhed.

Det andet kritiske forhold er, at sikkerheden i konstruktionen ikke var tilstrækkelig ved den forudsatte virkemåde, for så vidt angår flækning af buerne ved afskæringer ved vederlag på facaden.

Det tredje kritiske forhold er, at der for uens fordelt snelast er anvendt en maksimal formfaktor på 0,8 i stedet for værdien 2,3 (cylindertage).

I de statiske beregninger for Club Danmark Hallen er der ikke taget hensyn til, at tagfladen er dobbelt-krum, men denne mangel overskygges af den ovennævnte anvendelse af forkert formfaktor. Der blev heller ikke taget hensyn til sneophobning fra lægning fra hovedhallen, men efter de dagældende regler ville virkningen heraf dog være uden praktisk betydning.

## Sikkerhedsaspekter i forhold til nuværende regler

Den aktuelle snebelastning på Club Danmark Hallens syd-apsis vurderes at være på niveau med de nuværende krav for bygninger af Club Danmark Hallens form og størrelse. Det betyder, at en hal uden konstruktivt kritiske forhold af den ovennævnte type med meget lille sandsynlighed ville være kollapsede ved den aktuelle snebelastning.

En kontrol efter nugældende retningslinjer for anerkendte statikeres virke samt specifikation af kontrolomfang og kontrolniveau for dokumentation af bærende konstruktioner ville med stor sandsynlighed have fanget de nævnte mangler i den statiske dokumentation.

## Sikkerheden af Club Danmark Hallens øvrige konstruktioner

Den nordlige apsis-hal viser tegn på at have været overbelastet, og står nu med en væsentlig nedsat sikkerhed.

Hovedhallen er i lighed med apsis-hallerne beregnet for en meget lav sne-last, og henstår derfor muligvis også med en reduceret sikkerhed mod kollapse.

Buerne i apsis-hallerne kan have påført hovedhallen større vandrette kræfter, end denne er dimensioneret for i vindlasttilfældene. Hovedhallens konstruktioner kan hermed være blevet beskadigede.

# Referencer

## Projektmateriale

### [1]. Modtaget via EBST:

- Multihal i Valby, Statiske beregninger, åse i apsis, Moelven LNJ Limtræ, ON:977344, Dato: 1. december 1997
- Multihal i Valby, Statiske beregninger, stabilitet af apsis, Moelven LNJ Limtræ, ON:977344, Dato: 4. december 1997
- Multihal i Valby, Statiske beregninger, apsis, Moelven LNJ Limtræ, ON:977344, Dato: 20. november 1997
- MISTRA og G-PROG output i relation til statiske beregninger
- Pos. plan f. apsisbuer og –åse i syd, 97-12-05, Tegn. nr.:POS 4/4, , Moelven LNJ Limtræ
- Pos. plan f. apsisbuer og –åse i nord, 97-12-05, Tegn. nr.:POS 3/4, Moelven LNJ Limtræ
- Apsisbue/søjle – modul 6 og 7 i syd, 97-12-08, Tegn. nr.: 1/9, Moelven LNJ Limtræ
- Apsisbue/søjle – modul 5 og 8 i syd, 97-12-08, Tegn. nr.: 2/9, Moelven LNJ Limtræ
- Apsisbue/søjle – modul 4 og 9 i syd, 97-12-08, Tegn. nr.: 3/9, Moelven LNJ Limtræ
- Apsisbue/søjle – modul 3 og 10 i syd, 97-12-08, Tegn. nr.: 4/9, Moelven LNJ Limtræ
- Gavlsøjler, 97-12-15, Tegn. nr.: 5/9, , Moelven LNJ Limtræ
- Samlelasker til gavlsøjler, 97-12-16, Tegn. nr.: 6/9, Moelven LNJ Limtræ
- Gavlvæg, 97-12-05, Tegn. nr.: 7/9, Moelven LNJ Limtræ
- Fordelingsåse, 97-12-18, Tegn. nr.: 8/9, Moelven LNJ Limtræ
- Apsisbuer - vindgitter, 97-12-08, Tegn. nr.: 9/9, Moelven LNJ Limtræ
- Gavltoprem, 97-12-29, Tegn. nr.: 1/2, Moelven LNJ Limtræ
- Gavltoprem, 97-12-29, Tegn. nr.: 2/2, Moelven LNJ Limtræ

### [2]. Modtaget fra Københavns Kommunes Byggesagsarkiv:

- Multihal i Valby, Limtræskonstruktioner, Dimensioneringsforudsætninger, Tegn. nr.: (15)2.01, Dato: 01.04.97, Jørgen Wessberg A/S
- Tagkonstruktion, systemplan & systemsnit, Tegn. nr.: (15)3.02, Dato: 01.04.97, Jørgen Wessberg A/S

### [3]. Modtaget fra Wessberg A/S, Rådgivende ingeniør:

- Telefonbesked, dateret 5/2-98, fra Kbh. Kommunes Bygge- og Boligdirektorat, til Jørgen Wessberg A/S vedr. manglende dokumentation
- Fax, dateret 6/2-98, fra Jørgen Wessberg A/S til Moelven LNJ Limtræ vedr. manglende dokumentation
- Fax, dateret 6/2-98, fra Moelven LNJ Limtræ til Jørgen Wessberg A/S vedr. manglende dokumentation
- Brev, dateret 17/2-98, fra Jørgen Wessberg A/S til Kbh. Kommunes Bygge- og Boligdirektorat vedr. manglende dokumentation

### [4]. Modtaget fra Grontmij Carl Bro AS

- Projektvurdering, dateret august 1996, fra Carl Bro til Lokale & anlægsfonden
- Opfølgning på projektvurdering, dateret 21. februar 1997, fra Carl Bro til Lokale & anlægsfonden

## Generelle referencer

Anerkendelsesudvalg for statikere (2010). *Håndbog for anerkendelsesordningen for statikere*, inkl. bilag 1A-5D, Ingeniørforeningen i Danmark, København

Dansk Ingeniørforening (1982a) *Dansk Ingeniørforenings norm for sikkerhedsbestemmelser for konstruktioner* (DS 409+DS410:1982), 3.udg., Teknisk Forlag, København.

Dansk Ingeniørforening (1982b). *Dansk Ingeniørforenings norm for trækonstruktioner* (DS 413:1982). Teknisk Forlag København.

Dansk Ingeniørforening (1992) *Dansk Ingeniørforenings norm for last på konstruktioner* (DS410:1982), 3. udg., 8. oplag, Teknisk Forlag, København.

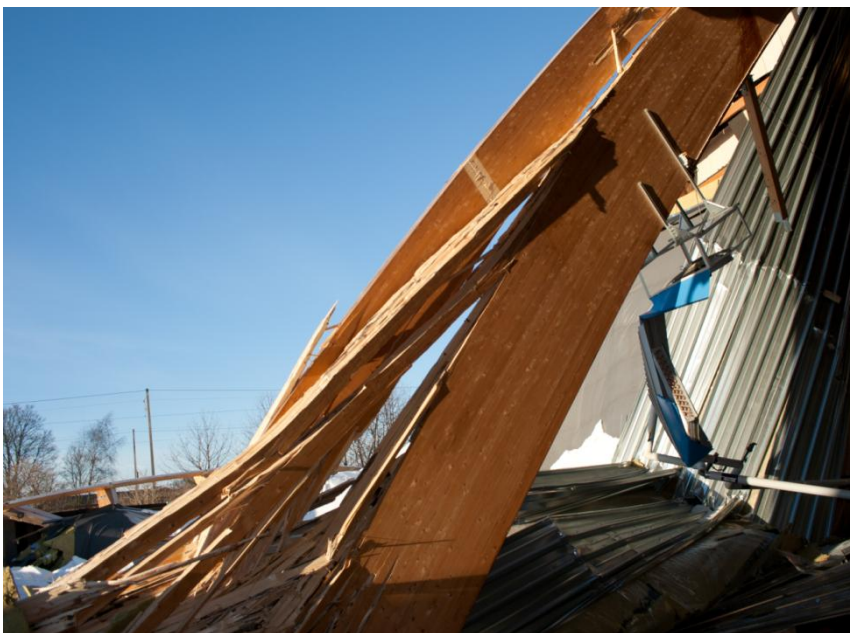
Dansk Standard. (2007a). *Eurocode 0: Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner* (DS/EN 1990:2007). København. [Incl. nationalt annek DS/EN 1990 DK NA:2007].

Dansk Standard. (2007b). *Eurocode 1: Last på bygværker* (DS/EN 1991-1:2007). København, Del 1-3: *Generelle laster – Snelast*, DS/EN 1991-1-3:2007 [inkl. nationalt annek: DS/EN 1991-1-3 DK NA:2007.]

Erhvervs- og Byggestyrelsen (2010). *Bygningsreglement 2010:BR10*, Bekendtgørelse nr. 810 af 28/6 2010, København.

Statens Byggeforskningsinstitut, (2009). *Dokumentation af bærende konstruktioner*, SBI-anvisning 223, Hørsholm.

## Bilag A Billeder



Billede A1. Bue med typisk svigt. Øverst ses at buen er flækket på langs, og nederst ses bøjningsbrud.





Billede A2. Buen i systemlinje 8 er flækket ud fra understøtning og 'underflangen' er faldet ned.



Billede A3. Buen i systemlinje 8 set fra neden.



Billede A4. Buen i systemlinje 8, nederste del ('underflangen'). Øverst til højre ses en ås.



Billede A5. Buen i systemlinje 9 er flækket ind fra endefluden.



Billede A6. Skridmærker på flækket bue i systemlinje 10 fra nedfaldet ås.



Billede A7. Den nedfaldne ås (faldet ned på hovedet).



Billede A8. Løsrevet randbjælke samt søjletop og fastgørelsespunkt for åsen.



Billede A9. Brud i randbjælken fastgørelse i vestlig side.



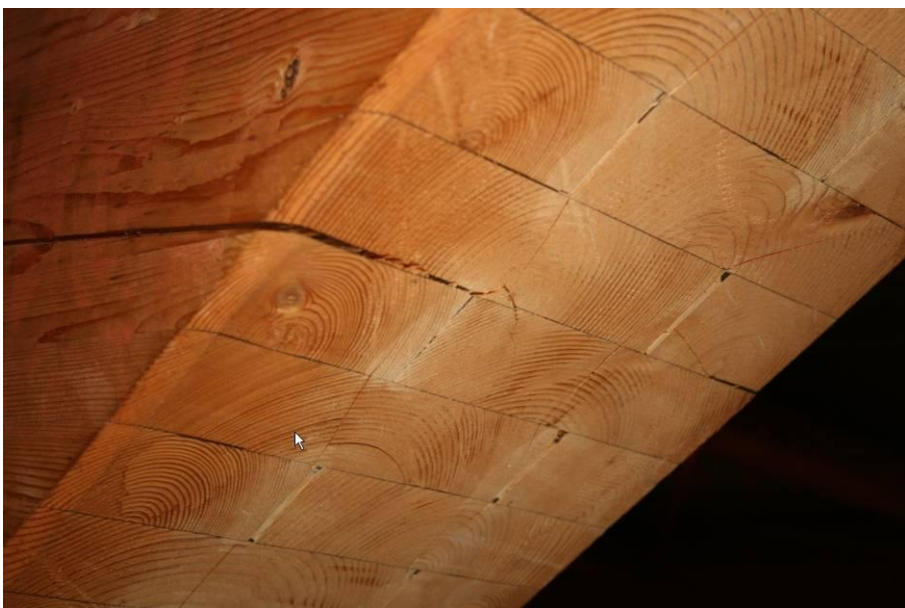
Billede A10. Næsten intakt fastgørelse af randbjælken i østlig side.



Billede A11. Overrevet sømbeslagsforbindelse i randbjælken



Figur A12. Nordlig apsis-hal. Revner i buen ved vedertag i systemlinje 6 set fra øst (den viste understøtning er placeret efter kollapset).



Figur A13. Nordlig apsis-hal. Revner i buen ved vedertag i systemlinje 6 set fra neden.



Figur A14. Nordlig apsis-hal. Revner i buen ved vederlag i systemlinje 6 set fra vest (den viste understøtning er placeret efter kollapsedet).



Figur A15. Nordlig apsis-hal. Revner i buen startende ved vederlag og forløber langs buen i systemlinje 6, set fra vest (den viste understøtning er placeret efter kollapsedet).





Dele af Club Danmark Hallen i Valby kollapsede 24.-26. december 2010. Denne rapport redegør for undersøgelser af bygværket, kollapse og dets mulige årsager.

Rapporten er udarbejdet af Statens Byggeforskningsinstitut efter aftale med Erhvervs- og Byggestyrelsen.

1. udgave, 2011

ISBN 978-87-563-1512-8