Architecture, Design and Conservation
Danish Portal for Artistic and Scientific Research

Aarhus School of Architecture // Design School Kolding // Royal Danish Academy

Skaller

Bach, Finn

Publication date:
2009

Document Version:
Også kaldet Forlagets PDF

Link to publication

Citation for pulished version (APA):
Bach, F. (2009). *Skaller: noter om bærende konstruktioner*. Kunstakademiets Arkitektskole, Institut for Teknologi. Noter om bærende konstruktioner

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 ?

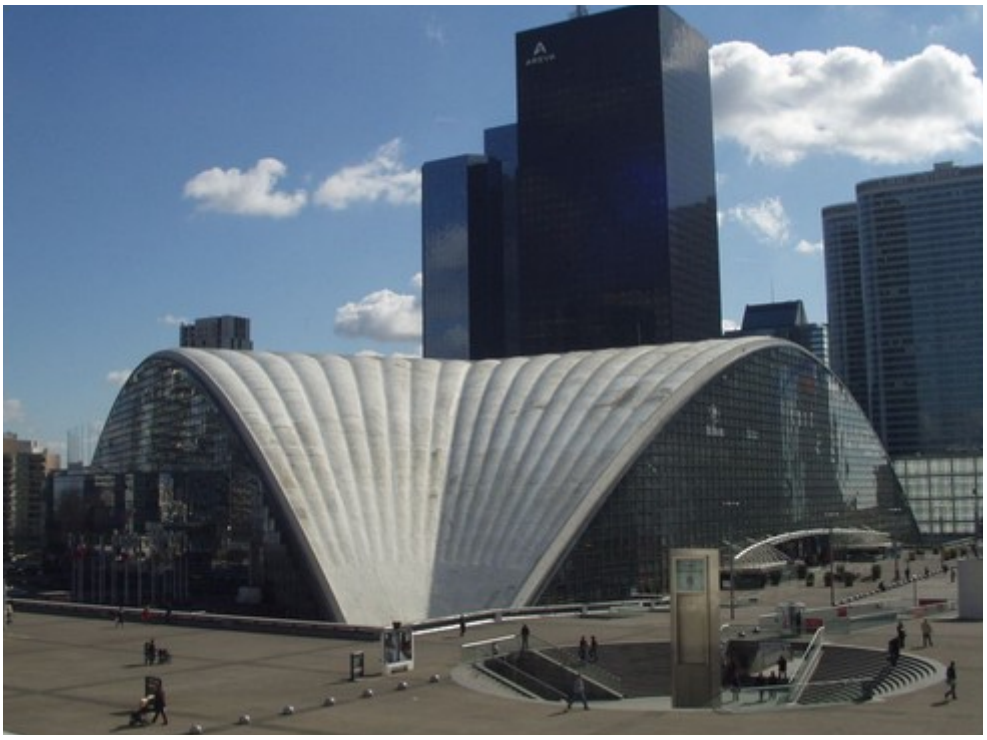
Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Download date: 19. Apr. 2024

ARKITEKTSKOLEN AARHUS Designskolen Kolding Det Kongelige Akademi

Noter om

Bærende konstruktioner



Skaller

Finn Bach, december 2009

Institut for Teknologi
Kunstakademiets Arkitektskole

Statisk virkemåde

En *skal* er et fladedannende konstruktionselement, som kan *optage både træk- og trykkræfter i fladens tangentialretning*. Som membranen har skallen kun en lille tykkelse i forhold til de fladedannende dimensioner og kan således kun i uvæsentlig grad modstå bøjningspåvirkninger på tværs af fladen.

En skal er altså et konstruktionselement, som har membranens evne til at optage trækkræfter, men på grund af dens evne til også at kunne optage trykkræfter danner den i modsætning til membranen en *stabil form*.

Dette gør skallen til et meget effektivt konstruktionselement, især hvis dens form primært fastlægges ud fra statiske betragtninger.

Generelt set er virkemåden af en skal analog til membranens virkemåde, (se notatet om membraner). Belastningen bæres ved en bue- eller tovvirkning i to retninger suppleret med den ved membranen omtalte forskydningsvirkning.

Denne statiske virkemåde, hvor belastningen bæres alene ved kræfter i fladens tangentialretning, kaldes *membranvirkning.*

Skallens virkemåde belyses i det følgende nærmere ved hjælp af den gennem tiderne mest anvendte skal, nemlig kuppelskallen.

Kuppelskallen.

Kuppelskaller er dobbeltkrumme skalflader, som er rotationssymmetriske omkring en lodret akse. Fladen beskrives normalt af en kurve, som er ellipse-, parabel- eller cirkelformet.

I en kuppelflade benævnes et snit vinkelret på aksen for et *tangentialsnit* og et snit, der indeholder aksen for et *meridiansnit*, se fig.1.

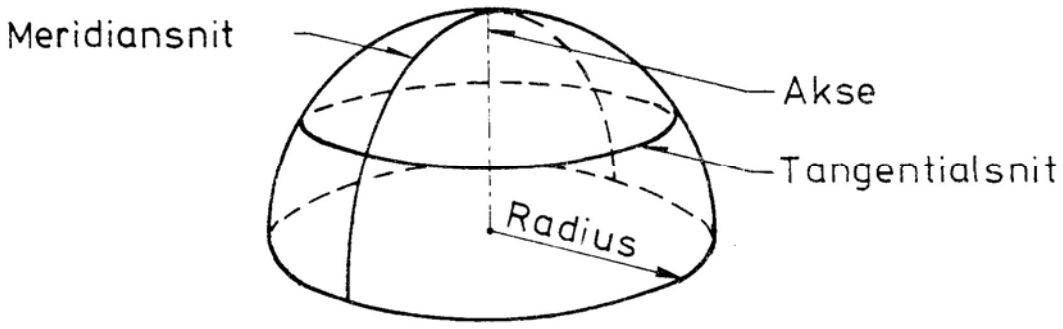


Fig. 1 Geometriske benævnelser.

Kræfterne i fladen parallelle med meridiansnittene kaldes *meridiankræfter*. Kræfter parallelle med tangentialsnittene kaldes *tangentialkræfter.*

Kuppelskallens statiske virkemåde kan illustreres ved i en halvkugleformet kuppel med konstant tykkelse og kun belastet med sin egenvægt at tænke sig udskåret to modstående segmenter, se fig. 2.

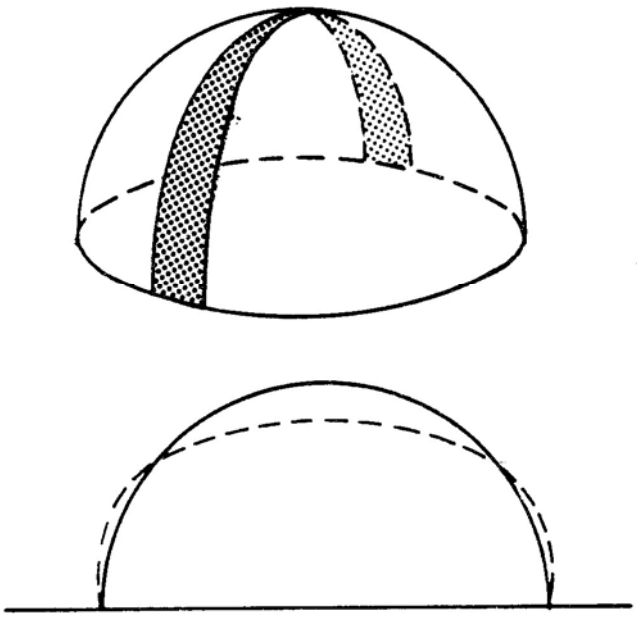


Fig.2 Deformation af et kuppelsegment.

Betragtes segmenterne som en separat bue belastet med sin egenvægt, vil den deformere sig, som vist med punkteret linie på fig. 2. Skal buen tvinges tilbage til sin oprindelige form, må den altså trækkes indad forneden og skubbes udad foroven. Denne funktion udøves af kuplens tangentialkræfter, der således er trykkræfter foroven og trækkræfter forneden. De enkelte buesegmenter i kuplen vil da være påvirket af meridian- og tangentialkræfter, som angivet på fig. 3.

I det specielle tilfælde, hvor kuplen er halvkugleformet, tyndvægget og kun belastet med sin egenvægt, er vinklen mellem aksen og en linie gennem grundfladens centrum og det tangentialsnit, hvor tangentialkræfterne skifter fra træk til tryk, lig med 51,8°.

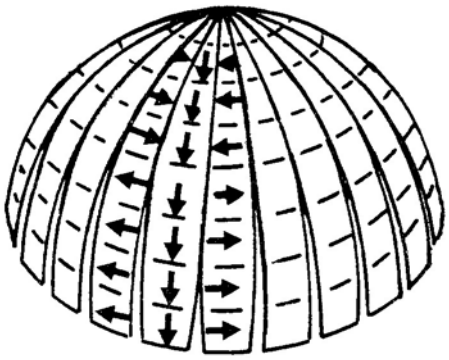


Fig. 3 Meridian- og tangentialkrafter i kuppelskal.

Trakpåvirkningen i kuplens underste del vil søge at øge diameteren af kuplen i denne del. Hvis kuplen er understøttet af et fundament i jorden eller en anden stiv bygningsdel, vil en

forøgelse af kuplens diameter ikke være mulig. Dette medfører betydelige bøjende momenter ved kuppelfladens underkant.

Lignende og ofte større momenter kan opstå som følge af temperaturpåvirkninger.
Det er således nødvendigt at udforme kuplen således, at disse momenter kan optages.

Kuplen har været kendt helt tilbage i oldtiden, hvad Pantheon i Rom vidner om, se fig.4.
Mange af de fortidige kupler var stenkupler, dvs. murværkskupler bestående af enten tilhuggede natursten eller teglsten lagt med fugerne vinkelret på trykkræfterne. Kuplerne er forholdsvis tykvæggede og tunge, og den overvejende belastning er egenvægten.
Stenkupler er i lighed med buer af samme materiale kun i stand til at optage trykkræfter.
En halvkugleformet kuppel kan således ikke undgå at revne i lodret retning i den nederste del af skallen, hvor tangentialkræfterne er trækkræfter. Dette betyder, at tangentialkræfternes stabiliserende virkning her forsvinder. Kuplen kan imidlertid stadig bære belastninger, hvis *trykfladen* befinder sig inden for kuplens konturer.

Fig. 4 Pantheon i Rom.

Trykfladen er analog til buens tryklinie. Den er altså den form en tyndvægget skal skal have for at bære en given belastning alene ved membranvirkning.

I nedenstående oversigt ses eksempler på forholdet mellem spændvidde (L) og den gennemsnitlige skaltykkelse (t).

	Opførelsesår	Spænd-vidde, L	Tykkelse, t	Forholdet, L/t
Pantheon	26	44 m	3 m	15
Hagia Sophia	560	33 m	0,7 m	47
Peterskirken	1500-1600	42 m	3 m	14
Zeiss Planeta-rium, Jena	1925	40 m	6 cm	666
Udstillingshal, Paris	1960	205 m	13 cm	1570
Hønseæg		4 cm	0,4 mm	100

Andre skalformer

I vore dage er *cylinderflader, konoider og 'hyberbolske paraboloider* blandt de mest anvendte skalflader. Interessen for disse flader kommer bl.a. af, at de alle indeholder *rette frembringere.* Dette har byggetekniske fordele, idet man ved at definere en flade ved rette linier simplificerer arbejdet på byggepladsen. Dette gælder specielt, når skallen, hvad der ofte er tilfældet, udføres i armeret beton. De rette frembringere betyder her, at omkostningerne ved forskallingsarbejdet kan holdes på et rimeligt niveau.

Skallen rige arkitektoniske udtryksmuligheder har på trods af dette betydet, at skaller med allehånde komplekse former er bygget C.N.I.T.- hallen, en udstillingshal i Paris, der har en spændvidde på over 200 m, er den største betonskalkonstruktion, der hidtil er opført. Skalfladen er her korrugeret for at give ekstra styrke, se fig. 5 og oversigten ovenfor.

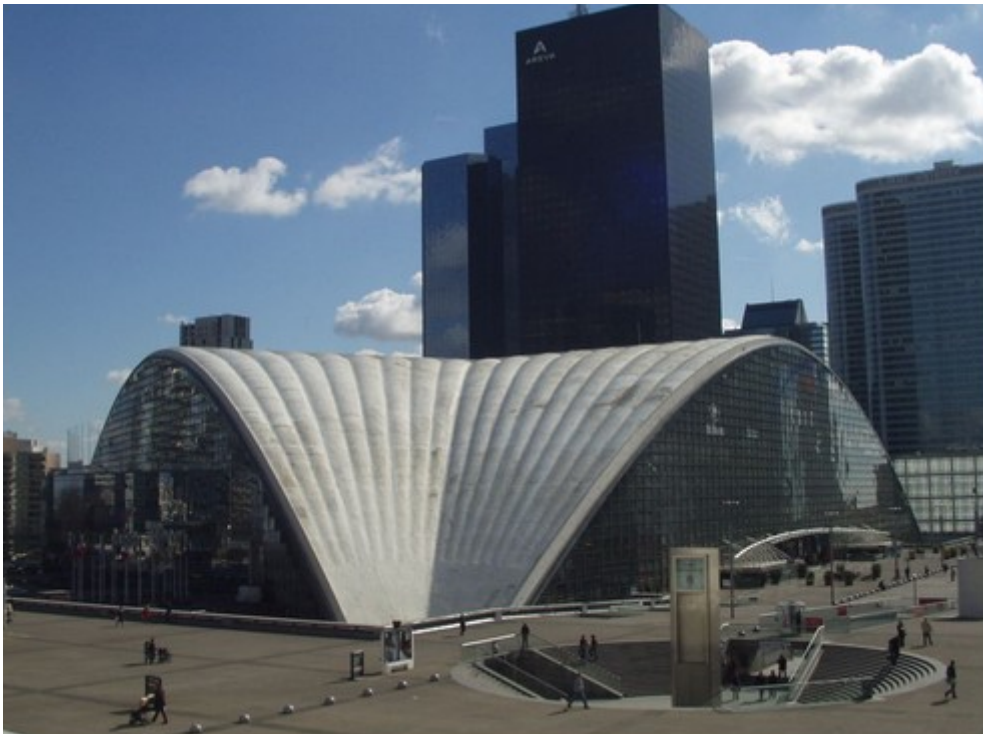


Fig. 5 C.N.I.T.- hallen i Paris.