Stringermetoden

Almegaard, Henrik

Published in:
Bygningsstatiske Meddelelser

Publication date:
2007

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

Årgang LXXVIII, Nr. 1, marts 2007

BYGNINGSSTATISKE MEDDELELSER

udgivet af

DANSK SELSKAB FOR BYGNINGSSTATIK

Proceedings of the Danish Society for Structural Science and Engineering

KØBENHAVN 2007

ISSN 0106-3715 (trykt udgave)

ISSN 1601-6548 (online)

Årgang LXXVIII, Nr. 1, marts 2007

BYGNINGSSTATISKE MEDDELELSER

udgivet af

DANSK SELSKAB FOR BYGNINGSSTATIK

Proceedings of the Danish Society for Structural Science and Engineering

KØBENHAVN 2007

Artikler offentliggjort i Bygningsstatiske Meddelelser har gennemgået review.

Papers published in the Proceedings of the Danish Society for Structural Science and Engineering have been reviewed.

Stringermetoden. En metode til analyse og design af skaller og deres understøtninger

BYGNINGSSTATISKE MEDDELELSER
Proceedings of the Danish Society for Structural Science and Engineering
Edited and published by the Danish Society for Structural Science and Engineering
Volume 78, No. 1, 2007, pp. 1-26

Stringermetoden
En metode til analyse og design af skaller og deres understøtninger

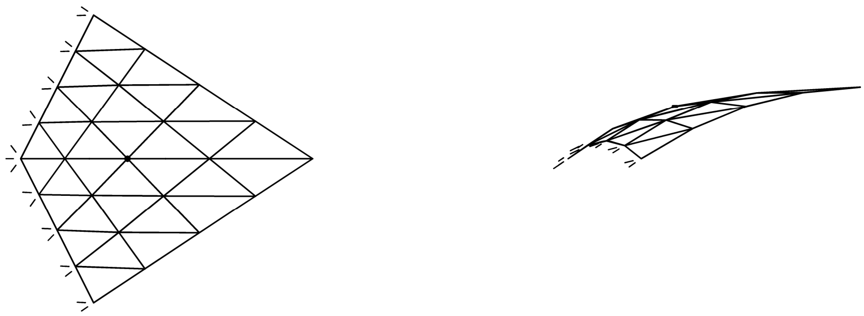
Henrik Almegaard*

1.1 Indledning

Denne artikel er en let bearbejdet udgave af det centrale afsnit i ph.d. - afhandlingen ”Skalkonstruktioner”, der blev forsvaret på Kunstakademiets Arkitektskole i december 2002, se (Almegaard 2003). Stringermetoden blev udviklet i forbindelse med et ph.d. projekt om skaller opbygget af plane elementer, såkaldte skiveskaller.

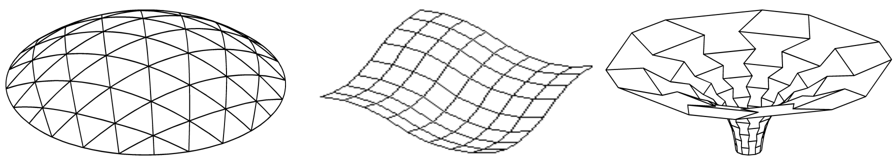
Stringermetoden kan anvendes til at bestemme hvordan en given skal skal understøttes for at være statisk bestemt. Stringermetoden anvender et systematisk opbygget stangsystem som en statisk model af membranskallen. Dette stangsystem danner en trianguleret gitterflade, der består af tre gennemgående sæt af kæder af stænger, de såkaldte stringere (figur 1).

* Civilingeniør, ph.d. BYG.DTU.



Figur 1. Eksempel på stringersystem. Systemet opbygges systematisk, så det danner en gitterflade, der består af tre gennemgående sæt af kæder af stænger, de såkaldte stringere. Det ene sæt er fremhævet. Understøtningerne er vist som korte streger i forlængelse af de stringere, som de er tilknyttet.

Imidlertid viser det sig ved anvendelse af stringermetoden, at glatte membranskallers understøtningsbetingelser kan beskrives på en mere generel form således at det i almindelighed vil være unødvendigt at anvende stringermetoden, se (figur 20). Men ved skaller opbygget af plane facetter, hvad enten der er tale om rene gitterskaller opbygget af trekanter, hybridskaller opbygget af firkanter eller skiveskaller som er opbygget af sekskanter, vil det være en fordel at anvende stringermetoden (figur 2).



Figur 2. Eksempler på skaller opbygget af plane facetter: Gitterskal med trekantede facetter, hybridskal med firkantede facetter og firgrenede hjørner, samt skiveskal med tregrenede hjørner.

Der er tre bærende principper i stringermetoden. Det ene er at opbygge stangsystemet systematisk, så det kan betragtes som tre sæt stringere. Det andet er den krumme stringer, som kan optage og overføre en kraft i egen retning, hvis den i hver knude er fastholdt i en plan, der skærer stringeren. Det tredje er at stringernes placering på skalfladen skal afspejle membranskallens statiske egenskaber.

Der er ikke noget nyt i at forsøge at analysere en membranskal ved hjælp af triangulerede gitterflader, se fx (Calladine 1983) eller (Szabò and Tarnai 1992), men det er nyt at anvende gittersystemets topologi til at sige noget mere generelt om systemets stabilitet, ligesom det er nyt at opstille modelbetingelser for gitterets placering på skalfladen. Sidstnævnte sikrer at membranskallens statiske egenskaber - eller man skulle måske sige mekaniske egenskaber – afspejles korrekt.

Anvendelsen af metoden er vist med tre eksempler sidst i artiklen.

1.2 Membranskaller

En membranskal er en skal, i hvilken de eneste snitkræfter der optræder, er normalkræfter og forskydningskræfter i systemfladens tangentplan.

Understøtninger

Da der optræder to snitkræfter i et snit i en membranskal og da de begge ligger i tangentplanen, er der umiddelbart tre understøtningsmuligheder[1]:

- dobbelt understøtning i tangentplanen, også kaldet fuldstændig understøtning, understøtningen kan optage en hvilken som helst kraft i tangentplanen.
- enkeltunderstøtning i tangentplanen, understøtningen kan optage en kraft i en given retning i tangentplanen, ofte enten normal- eller forskydningskraft i det pågældende snit.
- fri, randen er ikke understøttet.

1.3 Rumligt stabile stangsystemer

Ved en *understøtning* forstås også her en understøtning, der fastholder en knude i netop een retning. En understøtning tillader således, at den understøttede knude kan bevæge sig frit i to retninger, nemlig i den plan, der ligger vinkelret på fastholdelsesretningen.

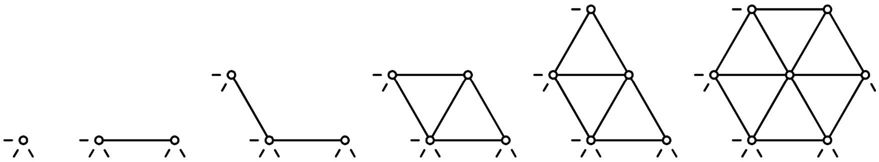
For at en knude er fastholdt i rummet, skal den fastholdes i tre retninger. Det vil sige at følgende to betingelser skal være opfyldt for at knuden er geometrisk og statisk bestemt, og kan betegnes som rumligt stabil:

Stabilitetsbetingelser

1. Knuden skal fastholdes af *tre* understøtninger eller tre stænger, eller en kombination heraf
2. De tre tilhørende retninger må *ikke* ligge *i samme plan.*

På grundlag af disse betingelser kan der opbygges et stabilt stangsystem ved successivt at tilføje knuder, stænger og understøtninger. Det skal ske således at hver knude der tilføjes, fastholdes i tre retninger, enten af stænger fra eksisterende knuder eller af nye understøtninger eller af en kombination heraf (figur 3).

[1] Fastholdes et stykke af randen fuldstændig i rummet, kan der overføres snitkræfter til skallen, som den ikke umiddelbart kan optage med membrankræfter. Spørgsmålet behandles mere indgående sidst i artiklen.



Figur 3. Symbolsk tegning, der viser princippet i et successivt opbygget rumligt stabilt stangsystem. Den første knude understøttes i tre retninger, derefter tilføjes knude efter knude, således at hver knude, der tilføjes, fastholdes i tre retninger, enten af stænger fra eksisterende knuder, eller af nye understøtninger eller af en kombination heraf. En understøtning er vist med en kort streg, der symboliserer den retning, hvori knuden er fastholdt.

Den første stabilitetsbetingelse kan formuleres *som Maxwell's tælleregel:*

En *nødvendig betingelse* for, at et stangsystem er *rumligt stabilt*, er at:

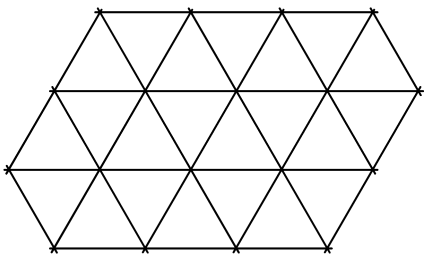
$$S + U = 3\,K \tag{1}$$

hvor S er antal stænger, U er antal understøtninger og K er antal knuder. Denne tælleregel blev opstillet af Maxwell i 1864, se for eksempel (Nielsen 1964) eller (Calladine 1983).

Den anden stabilitetsbetingelse, der siger at de tre retninger ikke må ligge i samme plan, kaldes her betingelsen for *lokal stabilitet.* Den skal senere vise sig at være tilstrækkelig til at sikre successivt opbyggede systemers globale stabilitet.

1.4 Stringersystemet

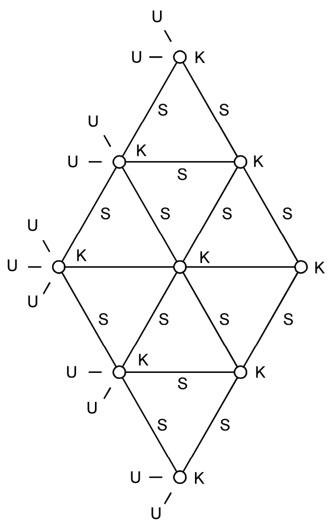
Lad nu stangsystemet, der opbygges successivt, danne et netværk af trekanter, der er opbygget af tre sæt kurver, som skærer hinanden i 6-grenede knuder på samme måde som de rette linier i den nedenfor viste (figur 4).

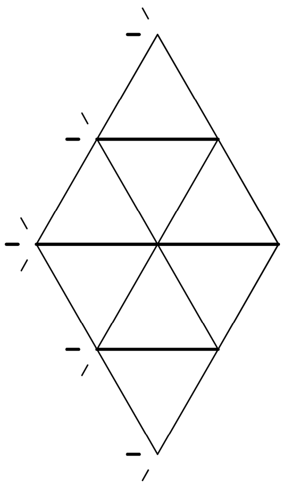


Figur 4. Regulært mønster opbygget af tre sæt rette linier.

Dette stangsystem kan betragtes som opbygget af tre sæt stringere, hvor hver stringer består af en kæde af stænger, og hvor hver knude fastholdes af en stringer fra hvert sæt. Vi vil kalde dette system for et *stringersystem*.

Stringersystemets topologi sikrer at Maxwell's tælleregel er opfyldt, når der til hver stringer er tilknyttet netop een understøtning, der understøtter randknuden i stringerens ene ende – vi siger at stringeren er understøttet i denne knude (figur 5).





K = 9 U = 11 S = 16 => 3K = 27 S+U = 27

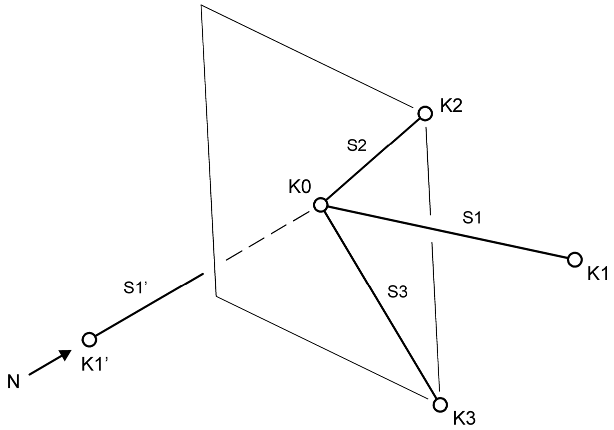
Figur 5. Stangsystem

Stringersystem. Det ene stringersæt og de tilhørende understøtninger er fremhævet.

Bemærk at også i en randknude, der ligger i et "hjørne" af stringersystemet, og umiddelbart kun skæres af to stringere, skal den tredie stringer, der kun er repræsenteret ved denne ene knude, forsynes med en understøtning.

Betragtes en enkelt knude på en stringer ses, at stringeren kan overføre både tryk- og trækkræfter, når den i hver knude er fastholdt i to retninger, forudsat at den plan, som disse to retninger bestemmer, ikke indeholder en af de to naboknuder på den betragtede stringer (figur 6).

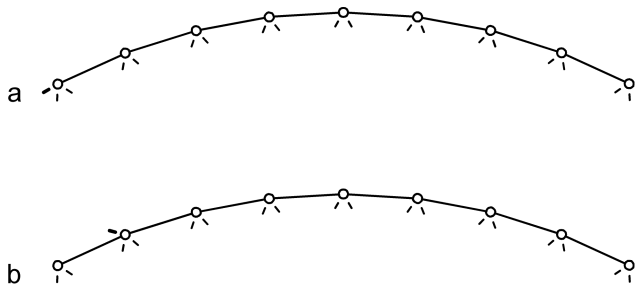
I afsnittet *Stringernes placering* beskrives hvilke krav dette stiller til stringernes placering på henholdsvis positivt krumme, nul-krumme og negativt krumme flader.



Figur 6. Antag at K1, K2 og K3 er fastholdt. Stringeren S1 fastholder da K0 i den viste plan, bestemt af de to øvrige stringere S2 og S3, forudsat at planen ikke indeholder K1. S1' kan herefter betragtes som understøttet i den betragtede knude K0. Tilsvarende hvis K1' og ikke K1, var fastholdt, da kunne S1 betragtes som understøttet i K0 forudsat at den nævnte plan ikke indeholdt K1'. Dette bevirker at normalkraften N i stringeren kan ændre retning fra S1 til S1'.

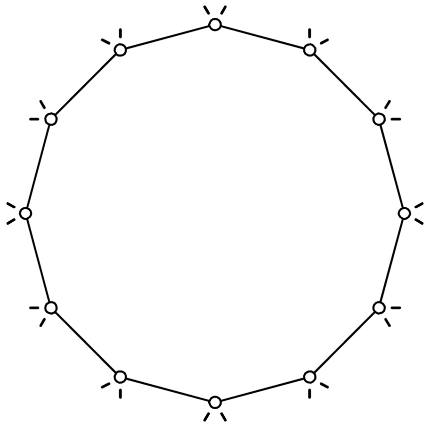
En stringer er altså stabil, når den i hver knude er fastholdt i to retninger - enten af to stringere, af en stringer og en understøtning eller af to understøtninger - der opfylder ovennævnte betingelse, og i en enkelt knude derudover er fastholdt i en tredie retning. Fastholdelsen kan etableres på to principielt forskellige måder:

- Enten med en understøtning, hvorved stringeren kan betragtes som successivt opbygget ud fra den knude, der er fastholdt i tre retninger (figur 7).



Figur 7. Successivt opbyggede stringere i det rumlige tilfælde. Hver knude er fastholdt i to retninger. Desuden er en enkelt knude fastholdt i en tredie retning som her er fremhævet:
a) Stringer understøttet i den ene ende
b) Stringer understøttet i en indre knude.

- Eller ved at forbinde de to endeknuder med en stang, således at der fremkommer et ikke-successivt opbygget system, der danner en kreds (figur 8).



Figur 8. Stringer der danner en ikke successivt opbygget system - en kreds - i det rumlige tilfælde. Hver knude er fastholdt i to retninger.

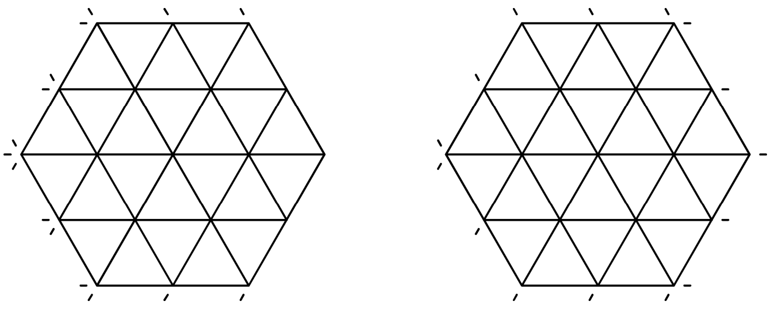
Dermed indbygges imidlertid en afhængighed i systemet, der åbner mulighed for at systemet bliver bevægeligt og dermed ustabilt.

Successivt - og ikke-successivt opbyggede systemer

I det successivt opbyggede stangsystem sikres stabiliteten af systemet knude for knude, ved at sikre, at hver kunde, der tilføjes, er stabil. Betragtet som stringersystem påvirkes stabiliteten af systemet ikke umiddelbart, hvis en stringer understøttes i den modsatte ende, da knuderne er lokalt stabile.

Men understøttes et eller flere stringersæt helt eller delvist i den modsatte ende kan det føre det til stringersystemer, som er ikke-successivt opbygget.

Sådanne systemer kan være af interesse i forbindelse med skaller. Understøttes for eksempel hele det ene stringersæt i et successivt opbygget system i den modsatte ende, fremkommer et ikke-successivt opbygget system, hvor hele randen er enkeltunderstøttet (figur 9).



Figur 9. Understøttes et stringersæt i et successivt opbygget system i den modsatte ende, fremkommer et ikke-successivt opbygget system og hele randen bliver enkeltunderstøttet.

Ikke-successivt opbyggede rumlige systemers stabilitet er imidlertid ikke alene afhængige af lokal stabilitet. I afsnittet *Ikke-successivt opbyggede systemer* undersøges hvilke krav til understøtningernes retninger, der kan sikre stringersystemets stabilitet.

Stringersystemet er en repræsentativ model

Da netværket kan gøres vilkårligt tæt, kan det med en passende placering af stringerne antages at:

- de betragtninger der gælder for et groftmasket system også gælder for et fintmasket
- et tilstrækkeligt fintmasket stringersystem kan komme vilkårligt tæt på den oprindelige glatte skalflade
- den glatte skalflade kan optage kræfter på samme måde som stringersystemet.

Et groftmasket stringersystem repræsenterer således alle stringersystemer med de samme retninger, såvel statisk som geometrisk, og kan derfor anvendes som en simpel statisk model af skallen.

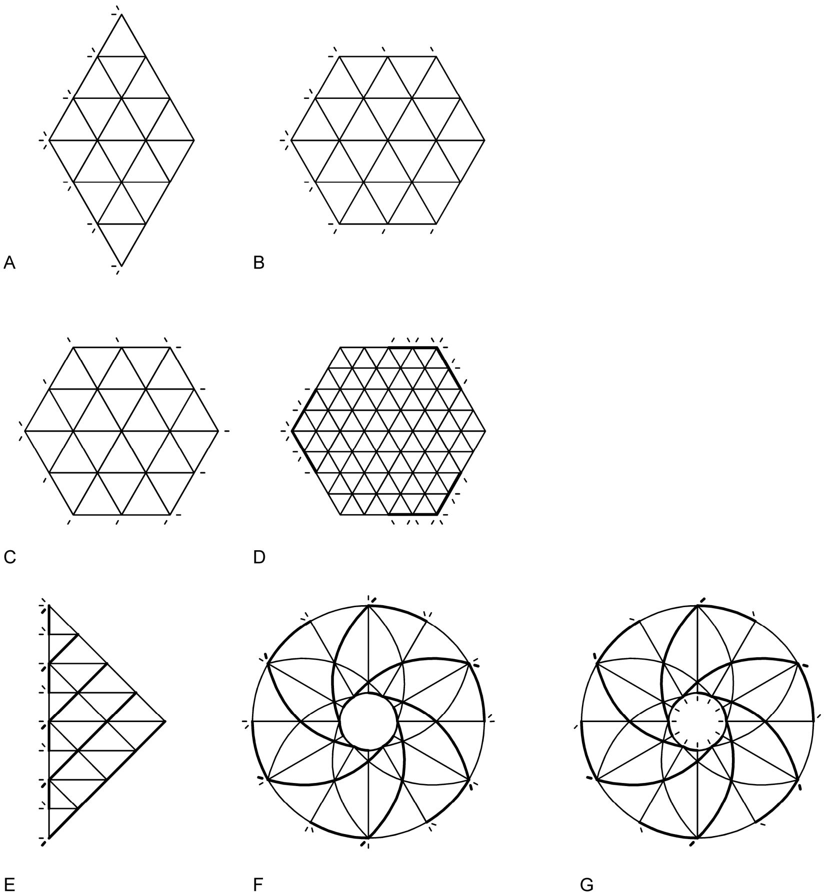
Grundlæggende stringersystemer

Der foreligger nu et stangsystem – stringersystemet – der kan dække en krum flade og som har en topologi, der sikrer, at Maxwell's tælleregel er opfyldt, når hver stringer er tilknyttet en understøtning. I det følgende vil vi se hvordan denne betingelse kan opfyldes med passende placeringer af understøtningerne, når stringersystemet samtidigt betragtes som statisk model af en membranskal.

I stringersystemet bemærker vi, at der ligger en stringer langs randen, som bidrager med een understøtning af randknuderne. Stringersystemets randknuder har derfor – i lighed med membranskallens rand - generelt tre understøtningsmuligheder:

- Dobbelt understøttet, hvilket betyder at knuden er understøttet i to retninger og at to stringere understøttes i denne knude
- Enkeltunderstøttet, hvilket betyder at knuden er understøttet i een retning og at een stringer understøttes i denne knude
- Fri, knuden er ikke understøttet.

Dette fører frem til en række grundlæggende stringersystemer, hvor randen er inddelt i afsnit, hvis knuder er henholdsvis dobbeltunderstøttede, enkeltunderstøttede eller frie (figur 10).



Figur 10. Grundlæggende stringersystemer. Randknudernes understøtninger er så vidt muligt vist i forlængelse af de stringere, der er understøttet i knuderne.

A. Successivt opbygget system, med henholdsvis en dobbeltunderstøttet og en fri rand.
B. Successivt opbygget system, med henholdsvis en dobbeltunderstøttet, to enkeltunderstøttede og en fri rand.
C. Ikke-successivt opbygget system, med en enkeltunderstøttet rand.
D. Ikke-successivt opbygget system, med henholdsvis tre dobbeltunderstøttede og tre frie rande. De dobbeltunderstøttede rande er fremhævet.
E. Successivt opbygget system, med henholdsvis en dobbeltunderstøttet og en fri rand. I knuderne langs den venstre rand understøttes dels en stringer fra det vandret beliggende stringersæt, dels skiftevis en stringer fra det ene og fra det andet diagonale stringersæt. Det ene af disse stringersæt er fremhævet. Stringerne i dette stringersæt er understøttet i en knude på randen, der er en indre knude på stringeren jf. figur 7b.
F. Dobbeltsammenhængende flade, dvs. en flade med et hul i. Ikke-successivt opbygget system, med henholdsvis en dobbeltunderstøttet og en fri rand. Kan alternativt dobbeltunderstøttes langs den indre rand. I knuderne langs den ydre rand understøttes dels en stringer fra det radiært beliggende stringersæt, dels skiftevis en stringer fra det ene og fra det andet diagonale stringersæt. Det ene af disse stringersæt er fremhævet. Stringerne i dette stringersæt er understøttet i en knude på randen, der er en indre knude på stringeren.
G. Dobbeltsammenhængende flade. Ikke-successivt opbygget system, med to enkeltunderstøttede rande. I knuderne langs den ydre rand understøttes skiftevis en stringer fra det ene og fra det andet diagonale stringersæt. Det ene af disse stringersæt er fremhævet. Stringerne i dette stringersæt er understøttet i en knude på randen, der er en indre knude på stringeren.

Bemærk at i successivt opbyggede systemer skal netop een randknude - den første – være forsynet med i alt tre understøtninger.

1.5 Stringernes placering

Der er hermed etableret et stringersystem, der kan dække en krum flade, således at alle knuder fastholdt af tre understøtninger/stænger. I dette afsnit undersøges nu, hvordan stringere og knuder mere præcist kan placeres således at:

- systemet udgør en statisk model af membranskallen, og
- betingelsen om lokal stabilitet er opfyldt, hvilket betyder, at de tre stænger der fastholder en knude, ikke må ligge i samme plan.

En statisk model skal modellere skalfladen geometrisk - og dermed krumningsmæssigt - korrekt. På denne baggrund at opstilles følgende tre betingelser til stringersystemet:

Modelbetingelser

1. Alle knuder skal ligge på skalfladen - *Knudebetingelsen*
2. Stringerne skal ligge så tæt på fladen som muligt med den givne knudeplacering - *Afstandsbetingelsen*
3. Der skal ligge stringere langs kurver på fladen, i hvis tangentretning krumningen er nul - *Nulkrumningsbetingelsen*.

Afstandsbetingelsen har den statiske betydning, at stringersystemets konstruktionshøjde i et normalsnit altid er mindre end eller lig med fladens konstruktionshøjde i det samme snit. I normalsnit uden krumning er skallens konstruktionshøjde lig nul. Det betyder at membranflade ikke kan overføre bøjningsmoment langs disse snit. I disse tilfælde sikrer nulkrumningsbetingelsen, at stringersystemets konstruktionshøjde også er nul og ikke kan overføre bøjningsmoment. Den statiske model afspejler dermed skallens statiske egenskaber på den sikre side.

Forudsat at knudebetingelsen er opfyldt, leder afstands- og nulkrumningsbetingelsen, se (Almegaard 2003), frem til at stringerne skal placeres således:

1. På positivt krumme flader skal stringersystemet danne en konveks facetteret flade.
2. På nul-krumme flader og negativt krumme flader skal der ligge stringere langs disse fladers karakteristiske kurver, henholdsvis frembringerne og asymptotekurverne, som er kurver langs hvilke normalsnittet ikke krummer.
3. På nul-krumme flader hvor det ene stringersæt placeres langs frembringerne, skal de to andre stringersæt understøttes på hver sin side af frembringerne.

Punkt 3 er en følge af punkt 2 og betingelsen om lokal stabilitet.

Disse krav til stringernes placering er afgørende og årsag til at ikke enhver triangulering kan modellere en skal. Fejlagtige trianguleringer har i flere tilfælde ført til uoverensstemmelser mellem de matematiske modeller baseret på ligevægtsligningerne og de tilsvarende triangulerede gittersystemer, se fx (Hortobágyi, Szabò and Tarnai 2000).

Da stringernes placering afhænger af skallens krumning skelnes i det følgende mellem skalflader, der er henholdsvis positivt krumme – det vil sige at krumningsmålet i alle punkter på fladen er positivt, nul-krumme flader og negativt krumme flader. Skalflader der indeholder områder med forskellige fortegn for krumningsmålet betragtes som sammensatte flader.

Hermed er stringersystemet og stringernes placering på fladen fastlagt og efter dette punkt i undersøgelsen er det principielt muligt at fastlægge understøtningsbetingelserne for en given skal. Inden dette gøres skal der dog kort redegøres for hvad der på kan siges om henholdsvis understøtninger og ikke-successivt opbyggede stringersystemer.

1.6 Understøtninger

Det understøttede stringersystem betragtes i det følgende som en statisk model af en skal og stringerne betragtes i den forbindelse som krumme kurver.

To forhold ved stringersystemet er væsentlige for understøtningerne:

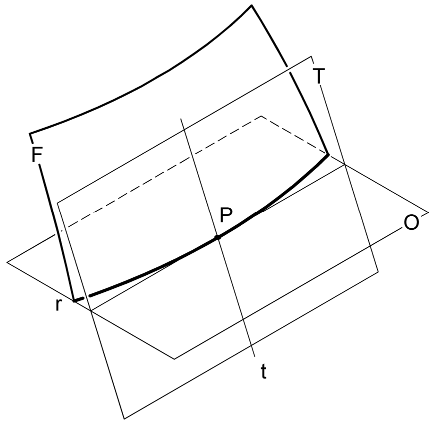
- betingelsen om lokal stabilitet, der betyder, at en understøtning af en knude i stringersystemet ikke må ligge i samme plan som de to øvrige stringere/understøtninger, der fastholder knuden
- at der altid ligger en stringer langs randen, og at denne fastholder randknuderne i een retning.

Disse to forhold betyder at:

1. En enkeltunderstøtning af en knude på en ret rand må ikke ligge i randens retning, da randstringeren allerede fastholder randknuderne en gang i denne retning.
2. En eventuel dobbeltunderstøtning af en knude på en krum rand, må ikke ligge i randkurvens oskulationsplan[2], da randstringeren allerede fastholder randknuderne en gang i denne plan (figur 11).

---

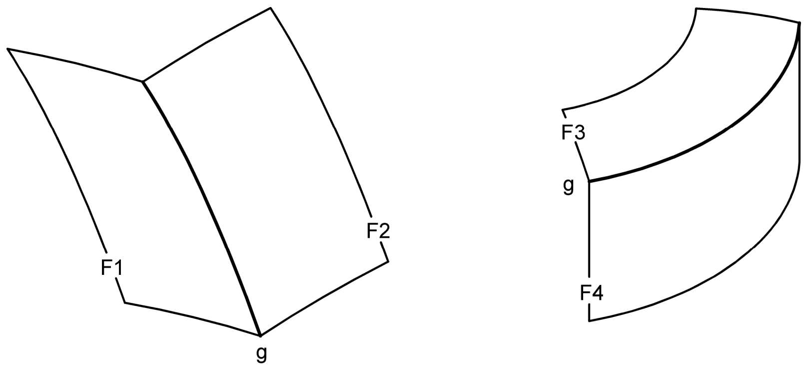
[2] En rumkurves oskulationsplan i et punkt P er bestemt ved rumkurvens tangent i P samt punktet Q på rumkurven når Q $\longrightarrow$ P, såfremt dette plan har en grænsestilling.



Figur 11. Positivt krum skalflade F med randen r et punkt P på randen samt tangenten vinkelret på randen t, tangentplanen T og oskulationsplanen O i punktet P.

Det kan på denne baggrund vises at:

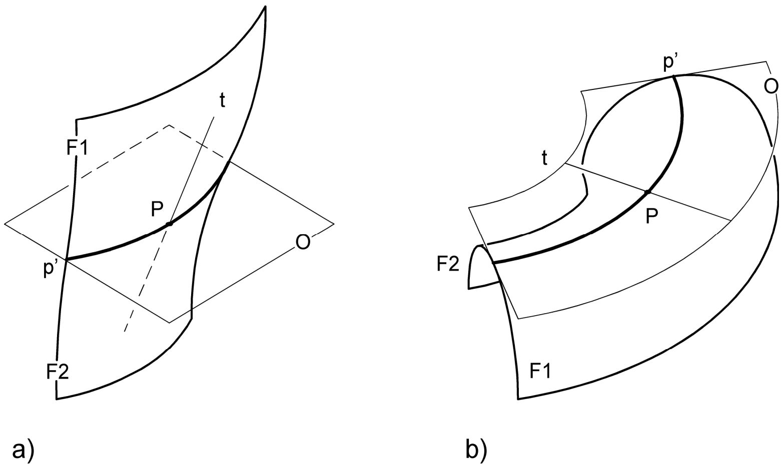
– En skal kan dobbeltunderstøttes på den fri rand tilhørende en anden skal, hvis randen er krum, de to skallers tangentplaner langs randen ikke falder sammen med randens oskulationsplan og sidstnævnte skal er stabil. Når de to skallers tangentplaner ikke falder sammen langs randen fremkommer en grat (figur 12).



Figur 12. Fladen F1 kan dobbeltunderstøttes langs graten g, hvis F2 inklusiv g er stabilt understøttet . Tilsvarende kan F3 understøttes på F4, hvis F4 inklusiv g er stabilt understøttet.

– En skaldel med positiv krumning kan dobbeltunderstøttes på en skaldel med negativ krumning – og omvendt – langs en parabolsk kurve, det vil sige uden grat, hvis den parabolske kurves oskulationsplan ikke ligger i skallens tangentplan - hvad den kun sjældent gør (figur 13 a).

– En skaldel med positiv krumning kan kun enkeltunderstøttes på en skaldel med negativ krumning - eller omvendt - langs en parabolsk kurve, når den parabolske kurves oskulationsplan ligger i skallens tangentplan og sidstnævnte skaldel er stabil (figur 13 b).

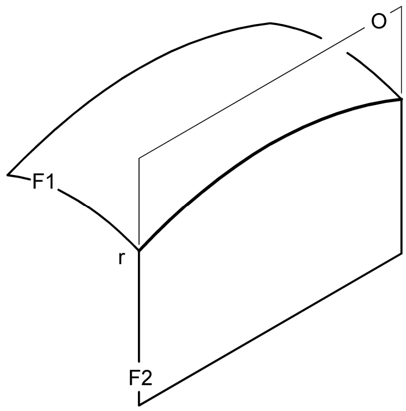


Figur 13. To eksempler på parabolske kurver: Positivt krum skalflade F1, negativt krum skalflade F2 med parabolsk kurve p', et punkt P på kurven samt tangent vinkelret på randen t og oskulationsplan (O) i punktet P.

a) Den parabolske kurves oskulationsplan ligger ikke i skallen tangentplan. F1 kan dobbeltunderstøttes på F2, hvis F2 er stabilt understøttet.

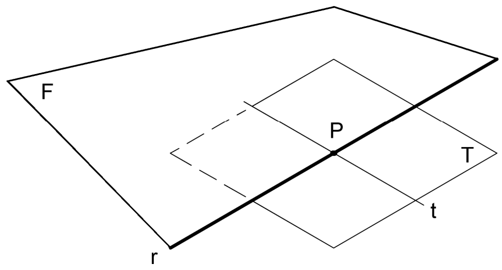
b) Udsnit af torus, hvor den parabolske kurves oskulationsplan ligger i skallen tangentplan. F1 kan enkeltunderstøttes på F2 og omvendt.

– En plan skive, fx en lodret væg, kan kun enkeltunderstøtte en rand, da den netop ligger i randens oskulationsplan (figur 14).



Figur 14. En plane skive F2, der understøtter skalfladen F1 langs renden r, ligger i randens oskulationsplan O.

– En dobbeltunderstøtning af en knude på en ret rand, skal placeres så dobbeltunderstøtningens plan ikke indeholder randen. Specielt må den ikke ligge i skallens tangentplan (figur 15).



Figur 15. Eksempel på en skalflade F (negativt krum paraboloide) med ret rand r, et punkt P på randen samt tangent vinkelret på randen t og tangentplan T i punktet P.

Endelig bemærker vi at da en enkelt stringer i en skal eller i en grat er stabil, når den er understøttet en gang i den ene ende og desuden enkeltunderstøttet af de to skaldele, der ligger på hver side af den, gælder at:

– To skaldele kan enkeltunderstøtte hinanden langs en fælles kurve. Når de to skallers tangentplaner ikke falder sammen langs kurven fremkommer en grat.

I (Almegaard 2004b) er de grundlæggende udformninger af understøtninger for de forskellige skaltyper beskrevet og illustreret med eksempler fra praksis.

1.7 Ikke-successivt opbyggede systemer

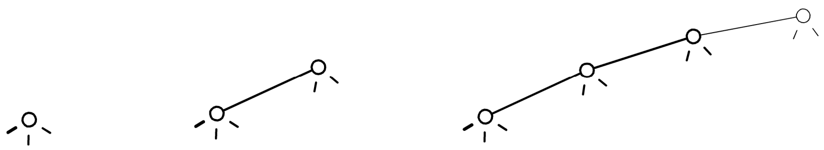
Ikke-successivt opbyggede stringersystemer kan karakteriseres ved, at en del af understøtningerne er placeret i den modsatte ende af de stringere, som de er knyttet til, i forhold til hvor disse understøtninger ville være placeret i et successivt opbygget system.

I det foregående afsnit har vi ved placeringen af stringerne på fladen, sikret at de tre stænger, der fastholder en knude, ikke ligger i samme plan.

Vi vil indledningsvis vise, at stabiliteten af et positivt- eller negativt krumt stringersystem ikke påvirkes af, at en stringer understøttes i den modsatte ende af den oprindelige, hvis randknuden er fuldstændig fastholdt.

Betragt en stringer i et successivt opbygget positivt- eller negativt krumt system og lad systemet være belastet. Nu påfører vi den betragtede stringer en kraft i den fri ende, hvor den ikke er understøttet, ved at belaste den pågældende randknude i en passende retning. En passende retning er en retning, i hvilken en belastning giver en reaktion i stringerens modsatte ende. Ved en given størrelse af denne kraft bliver reaktionen i den til stringeren knyttede understøtning i stringerens modsatte ende lig nul. Vi kan da fjerne denne understøtning uden at systemet påvirkes. Tænkes nu den påførte kraft erstattet med en fuldstændig fastholdelse af randknuden - der så ikke mere er fri, men fastholdt i rummet - kan enhver normalkraft i stringeren overføres til denne knude, og dermed kan alle laster optages af systemet. Systemet er således fortsat stabilt.

En stringer er stabil og dermed fuldstændigt fastholdt i rummet, når den i alle knuder er dobbeltunderstøttet - og dobbeltunderstøtningernes planer løst sagt ikke ligger i stringerens oskulationsplan - og den i et enkelt punkt derudover er understøttet i en tredje retning jf. (figur 7). En dobbeltunderstøttet randstringer, der er successivt opbygget, er opbygget ud fra en tre gange understøttet knude og er derfor fuldstændig fastholdt (figur 16).



Figur 16. Princippet i en successivt opbygget dobbeltunderstøttet randstringer.

Det vil sige at:

Et stringersystem på en positivt- eller negativt krum skal er stabilt, hvis alle de understøttede randknuder indgår i successivt opbyggede dobbeltunderstøttede randstringere.

I den følgende undersøgelse skelnes derfor mellem enkeltunderstøttede og dobbeltunderstøttede ikke-successivt opbyggede systemer.

Bemærk at vi på denne baggrund kan sige, at stringersystemer, der opfylder modelbetingelserne, ikke i sig selv er ustabile. Deres stabilitet afhænger alene af understøtningernes placering og retning. Det betyder at:

Membranskallers stabilitet afhænger alene af understøtningernes placering og retning.

Enkeltunderstøttede systemer

Vi vil først vise, at lukkede trekantfacetterede gitterflader opfylder Maxwell's tælleregel. Derefter vises, at en enkeltunderstøttet flade kan betragtes som en del af en lukket flade. De enkeltunderstøttede flader deles herefter op i henholdsvis positivt krumme og negativt krumme gitterflader og det undersøges hvilke krav til enkeltunderstøtningernes retninger, der kan sikre stabilitet.

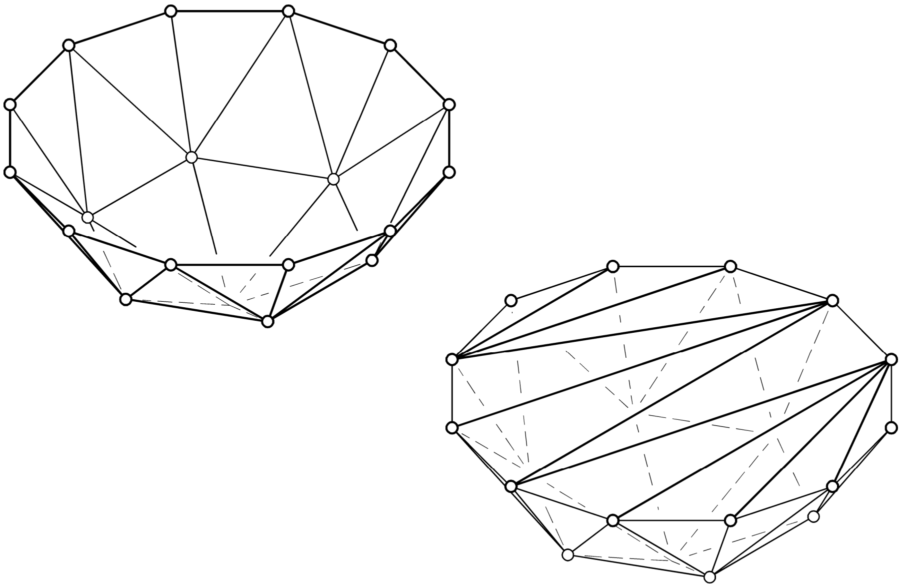
Indledningsvis erindres om, at understøttes hele det ene stringersæt, i et successivt opbygget enkeltsammenhængende system, i den modsatte ende, fremkommer et ikke successivt opbygget system, hvor hele randen er enkeltunderstøttet jf. (figur 9).

Lukkede gitterflader

Udgangspunktet er den åbne trekantfacetterede gitterflade, der er successivt opbygget (se afsnittet *Rumligt stabile stangsystemer*).

Der kan tilføjes flere stænger til dette system uden at øge antallet af knuder.

Betragt det tilfælde hvor der anbringes stænger mellem randknuderne sådan, at systemet danner en lukket gitterflade, et polyeder med trekantede facetter (figur 17).



Figur 17. Øverst: åben gitterflade, understøtninger ikke vist. Nederst den samme gitterflade, der er lukket med stænger mellem randknuderne.

For hver stang der tilføjes, kan der fjernes en understøtning, jævnfør Maxwell's tælleregel (1).

$$S + U = 3\,K \tag{1}$$

Med Eulers polyedersætning kan det vises, at forholdet mellem kanter og hjørner i et enkeltsammenhængende lukket polyeder med trekantede facetter er:

$$S = 3\,K - 6 \tag{2}$$

hvor S er antal kanter (stænger) og K er antal hjørner (knuder).

Indsættes (1) i (2) ses, at stangsystemet skal have 6 understøtninger - og 6 understøtninger er netop det antal understøtninger, der kræves for at fastholde et stift legeme i rummet.

En lukket gitterflade med trekantede facetter opfylder således Maxwell's tælleregel, bortset fra de 6 understøtninger.

Betragt en lukket trekantfacetteret gitterflade, læg et snit igennem fladen og fjern alt på den ene side. Tilbage er en åben og ustabil gitterflade. Tilføjes imidlertid en hjælpeknude, der forbindes med en stang til hver randknude, på en sådan måde, at der igen fås en lukket gitterflade med trekantede facetter, er Maxwell's tælleregel atter opfyldt, bortset fra de 6 understøtninger.

Fastholdes hjælpeknuden i rummet, hvilket kræver 3 understøtninger, virker hjælpestængerne som understøtninger, og gitterfladen skal da blot understøttes i yderligere 3 retninger for at være fastholdt i rummet.

Det er således tilstrækkeligt at understøtte hver randknude i een retning samt at tilføje yderligere tre passende valgte understøtninger, for at en enkeltsammenhængende trekantfacetteret gitterflade opfylder Maxwell's tælleregel.

Dette sikrer stringersystem C (figur 10) netop.

På tilsvarende måde kan det vises, at:

Det er tilstrækkeligt at understøtte hver randknude på de to rande i een retning, for at en dobbeltsammenhængende trekantfacetteret gitterflade opfylder Maxwell's tælleregel.

Hvilket stringersystemet G (figur 10) netop sikrer.

Positivt krumme gitterflader

En konveks facetteret flade er som nævnt defineret ved, at det for alle facetter gælder, at de øvrige facetter, alle ligger på en og samme side – indersiden – af den plan, der er bestemt af den betragtede facet. En konveks facetteret flade er positivt krum.

Cauchy har vist at lukkede konvekse trekantfacetterede gitterflader er stabile (Cauchy 1813).

Hvis understøtningsretningerne (understøtningerne betragtet som stænger) udspænder en flade, der sammen med gitterfladen danner en konveks facetteret flade, kaldes gitteret *konvekst enkeltunderstøttet*.

På grundlag af ovennævnte kan vi slutte, at:

En konveks enkeltsammenhængende *trekantfacetteret gitterflade er stabil og fastholdt, når den er konvekst enkeltunderstøttet og derudover er understøttet i tre retninger*.

En konveks dobbeltsammenhængende *trekantfacetteret gitterflade er stabil og fastholdt, når den er konvekst enkeltunderstøttet.*

Bemærk at dette er tilstrækkelige betingelser og ikke nødvendige betingelser.

Negativt krumme gitterflader

Vi ved fra modelforsøg og litteraturen, at ikke-konvekse trekantfacetterede gitterflader ofte ikke er stabile, når de alene er enkeltunderstøttede som i stringersystem C. Tilsvarende er der mange eksempler på, at glatte lukkede flader, der er sammensat af henholdsvis en positivt krum og en negativt krum del, er ustabile.

Det kan imidlertid vises, se (Almegaard 2003), at en enkeltunderstøttet trekantfacetteret gitterflade, der er opbygget som et stringersystem på en negativ krum flade, er stabil, hvis understøtningsretningerne opfylder følgende betingelser:

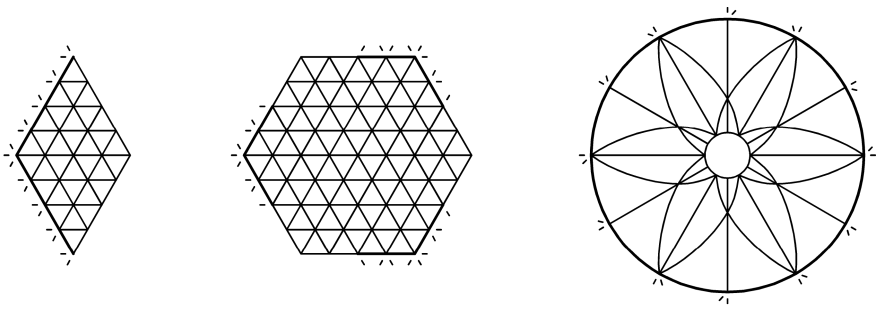
– De to sæt stringere langs asymptotekurverne er understøttet i tangentplanen som et stabilt todimensionalt system.

– Det tredje stringersæt er understøttet således, at ingen af understøtningerne ligger i tangentplanen.

Dobbeltunderstøttede systemer

Dobbeltunderstøttede rumlige stringersystemer kan opbygges og understøttes på flere måder. Vi vil betragte følgende tre:

- successivt opbyggede systemer, som stringersystem A, se (figur 10)
- ikke-successivt opbyggede systemer, som stringersystem D, hvis dobbeltunderstøttede rande er successivt opbygget
- ikke-successivt opbyggede systemer, som stringersystem F, der kan betragtes som opbygget af to delsystemer, hvor det ene delsystem er en ikke-successivt opbygget dobbeltunderstøttet randstringer, og det andet delsystem er et successivt opbygget stringersystem, der er bygget ud fra denne randstringer (figur 18).



A D F

Figur 18. Dobbeltunderstøttede rumlige stringersystemer:

A Successivt opbygget system, med successivt opbygget dobbeltunderstøttet randstringer (fremhævet)

D Ikke-successivt opbygget system, hvis dobbeltunderstøttede rande (fremhævet) er successivt opbygget

F Ikke-successivt opbygget system, der kan betragtes som opbygget af to delsystemer, hvor det ene delsystem er en ikke-successivt opbygget dobbeltunderstøttet randstringer (fremhævet), og det andet delsystem er successivt opbygget ud fra denne randstringer.

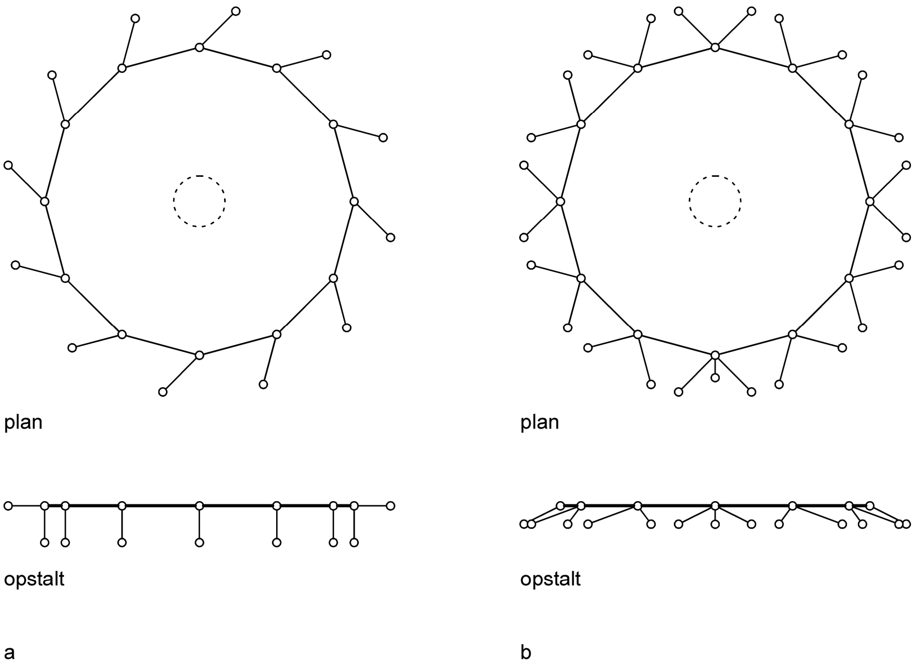
Da understøtningerne i system A og D er successivt opbygget og dermed er fuldstændig fastholdt, er disse systemer stabile jf. dette afsnits indledende udledning.

System F kan betragtes som opbygget af to delsystemer, nemlig en ikke-successivt opbygget dobbeltunderstøttet randstringer, jf. (figur 8) og et rumligt stringersystem, der er successivt opbygget ud fra denne rand.

Randstringeren der er opbygget som en kreds, giver mulighed for at systemet bliver bevægeligt og dermed ustabilt.

Hele systemets stabilitet kan derfor sikres ved at:

- vælge nogle understøtningsretninger, der er lette at overskue og sikrer at randstringeren er stabil (figur 19a), eller
- gennemføre en gitterberegning af stringersystemet, der viser at systemet er stabilt, eller
- tilføje en understøtning, så den pågældende knude er fastholdt i rummet (figur 19b).



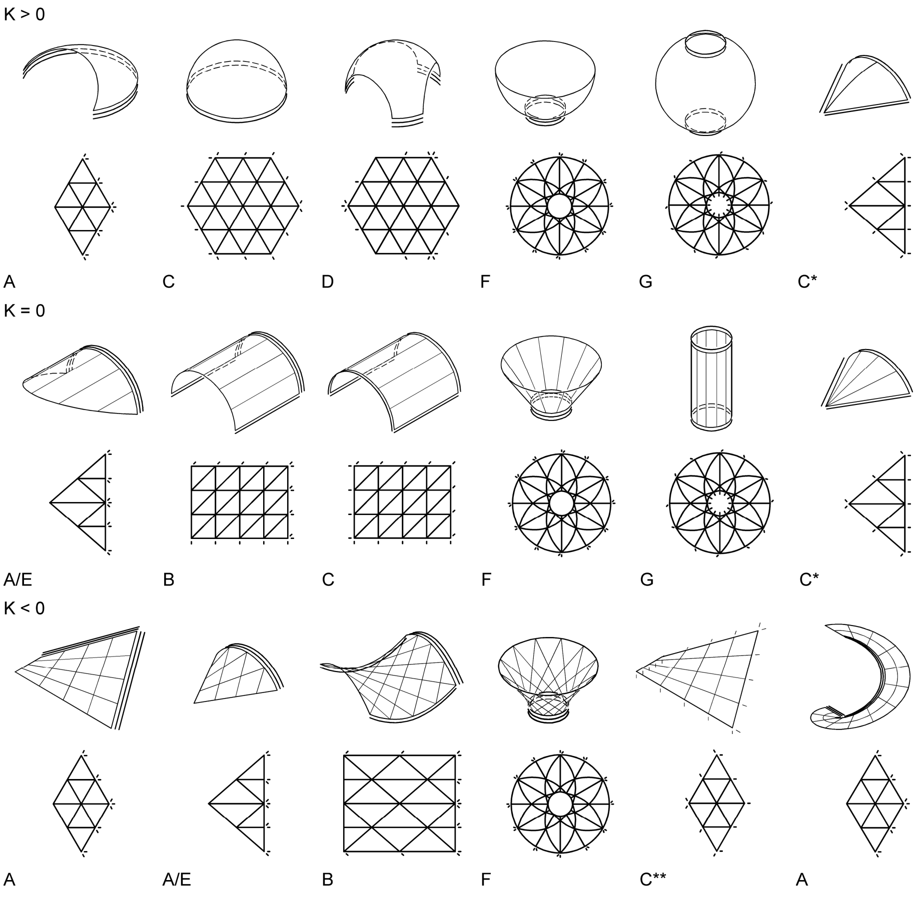
Figur 19. Dobbeltunderstøtning af dobbeltsammenhængende stringersystem langs den ene rand. Stabiliteten kan sikres på mindst to måder:

a) Vælg nogle understøtningsretninger der er lette at overskue og sikrer at randstringeren er stabil. Er randen fx plan eller fladen negativ krum, kan det rumlige tilfælde reduceres til et plant. Dobbeltunderstøtningernes ene retning kan da lægges således at randen, betragtet som et plant stangsystem, er fuldstændig fastholdt i enten randens plan - som her vist - hvis randen er plan, eller i tangentplanen, hvis fladen er negativt krum. Den anden retning lægges ude af denne plan, for eksempel lodret - som her vist - eller i fladens normalretning.

b) Tilføj en understøtning – fx hvis systemet inklusiv understøtningsretninger er spejlsymmetrisk.

Stabile skalkonfigurationer

Med udgangspunkt i ovennævnte betingelser, de grundliggende systemer, se (figur 10), samt modelforsøg og gitterberegninger, kan følgende grundlæggende stabile og stive skalkonfigurationer opstilles:



Figur 20. Oversigt over rumligt stabile og stive membranskaller, opdelt i henholdsvis positivt krumme, nul-krumme og negativt krumme flader. Figurer for oven viser den pågældende skal i 3D. Her er dobbeltunderstøtninger vist med dobbeltstreg ud for det pågældende randafsnit og enkelunderstøtninger med enkeltstreg. Figuren nedenfor viser det grundlæggende stringersystem i 2D.

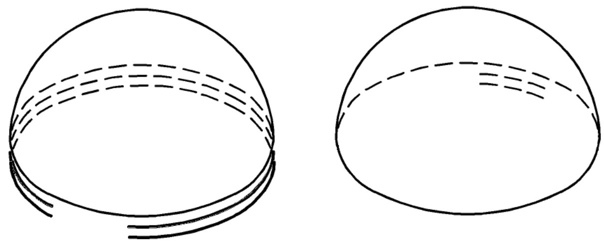
*De rette rande skal afstives eller enkeltunderstøttes.

**Der stilles særlige krav til understøtningernes retning.

1.8 Nogle konsekvenser

Frie rande på positivt krumme skaller

På en positivt krum skalflade skal stringersystemet danne en konveks facetteret flade. Dette giver vide rammer for placering af stringerne. Da en fri rand er stabil er der endvidere mulighed for at tilføje en skaldel der er understøttet på den fri rand. Dette kan gøres gentagne gange og medfører at en enkeltsammenhængende positivt krum skal, hvor den ene del af randen er fri og den anden del af randen er dobbeltunderstøttet principielt er statisk bestemt, uanset hvor kort den dobbeltunderstøttede del af randen er i forhold til den fri del af randen (figur 21).



Figur 21. En enkeltsammenhængende positivt krum skal, hvor kun en del af randen er dobbeltunderstøttet, mens resten er fri, er principielt stabil, uanset hvor kort den understøttede del af randen er.

Dette strider både mod vores sunde fornuft og vores erfaring. Det viser sig da også ved modelforsøg samt beregning af disse stringersystemer, at selv ved moderat udkragede positivt krumme skaller, bliver spændingerne og dermed deformationerne i membrantilstanden meget store.

Det er skallens geometri, der giver denne virkning. En virkning som svarer til vægtstangsprincippet i en højere potens. Systemet er statisk bestemt, men meget tæt på en tilstand hvor det er bevægeligt i det små.

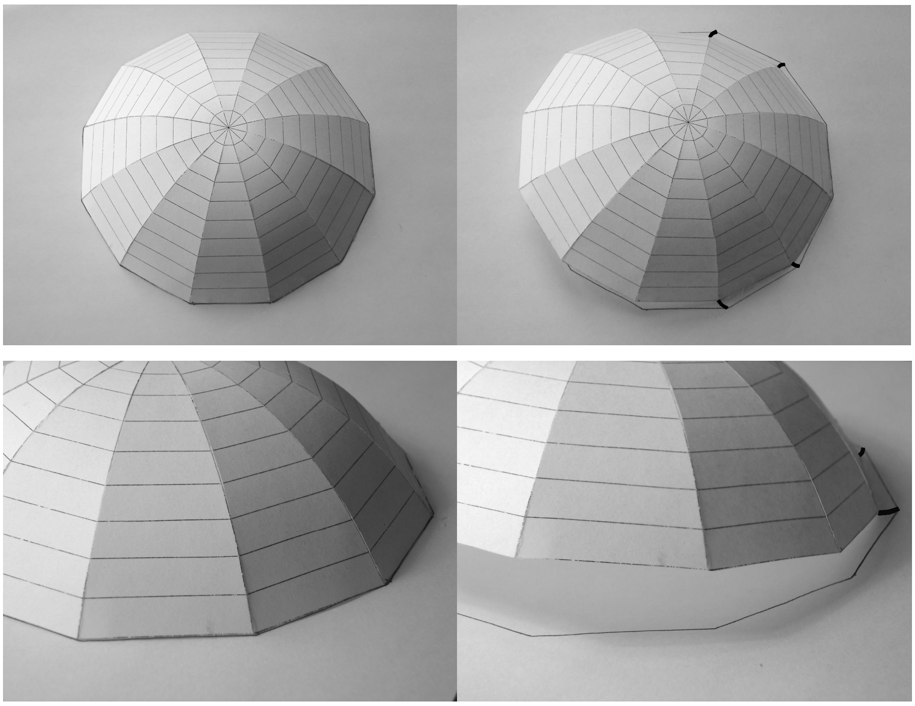
I praksis har det betydet, at skaller med disse understøtningsbetingelser er blevet betragtet som ustabile.

Konsekvensen af dette er en tommelfingerregel der siger, at frie rande på positivt krumme skaller helst skal være konkave betragtet i tangentplanen.

Bevægelige skalflader

I stringersystemets gitter er der fuldstændig overensstemmelse mellem statisk og geometrisk bestemthed. Membranskalfladen betragtes som en fuldstændig bøjelig, men ustrækkelig flade. For en sådan flade gælder at krumningsmålet K, der kan defineres som produktet af de to hovedkrumninger i det betragtede punkt, forbliver uændret i alle punkter, se fx (Struik 1988).

Når fladen er statisk bestemt er den også geometrisk bestemt, og det der bestemmer geometrien er understøtningernes placering, hvilket omvendt betyder at fladen kan bevæges, hvis understøtningerne bevæges (figur 22).



Figur 22. En simpel papirmodel illustrerer hvordan en skalflades geometri bestemmes af understøtningernes placering. Til venstre er understøtningerne placeret på en cirkulær polygon i grundplanen. Til højre er kun fem kanter af randen understøttet i grundplanen og på denne del er de fire kanter flyttet (vist ved hjørnernes ”spor”). Derved løftes den øvrige del af randen fri af grundplanen.

Konsekvensen er, at hvis vi tager definitionen af membranskallen på ordet og konstruerer fx en gitterskal, hvis bøjningsstivhed i knuderne er lig nul, så kan skalfladen betragtes som en mekanisme, hvis bevægelse kan styres ved at flytte understøtningerne.

1.9 Konklusion

Med stringermetoden kan man sikre at en skal af vilkårlig form er understøttet så alle lastpåvirkninger kan optages og føres til understøtningerne som membrankræfter.

Der kan opstilles en række grundlæggende stringersystemer, der dels forenkler opstilling af alternative understøtningsmuligheder for en given skalflade, dels gør det let at opbygge stabile skaller, der er sammensat af flere flader.

Stringermetoden afdækker nogle hidtil oversete understøtningskrav og -muligheder:

- Positivt krumme membranskaller kan understøttes stabilt når randen er opdelt i afsnit, der er skiftevis dobbeltunderstøttet og fri.
- Også udkragede positivt krumme skaller kan være stabile betragtet som membranskaller. Men spændinger og deformationer i membrantilstanden er imidlertid ofte så store, at skallerne i realiteten må bære ved bøjning.
- Nul-krumme skaller skal enkeltunderstøttes langs rette rande.
- Negativt krumme skaller kan enkeltunderstøttes langs hele randen, hvis enkeltunderstøtningerne har en nærmere specificeret retning.
- En understøtning behøver ikke at ligge i skallens tangentplan.

Stringermetoden kan således bruges til at kortlægge flere stabile membranskal-konfigurationer end de hidtil kendte.

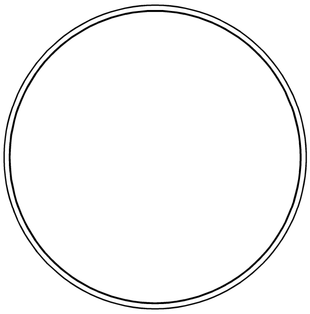
1.10 Eksempler

Vi vil her se på tre eksempler på understøtning af en kuglekalot. Kuglekalotten kan enkeltunderstøttes langs hele randen, den kan understøttes som et stift legeme, hvis den forstærkes, og den kan dobbeltunderstøttes langs fx en indre rand. Dobbeltunderstøtningen kan eventuelt udformes som en cylinderskal.

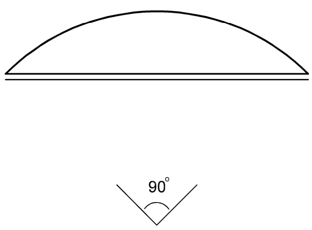
Den betragtede kuglekalot har højden $h = r \cdot (1 - \frac{1}{\sqrt{2}})$.

Eksempel 1

Kuglekalotten ønskes enkeltunderstøttet langs randen (figur X1).



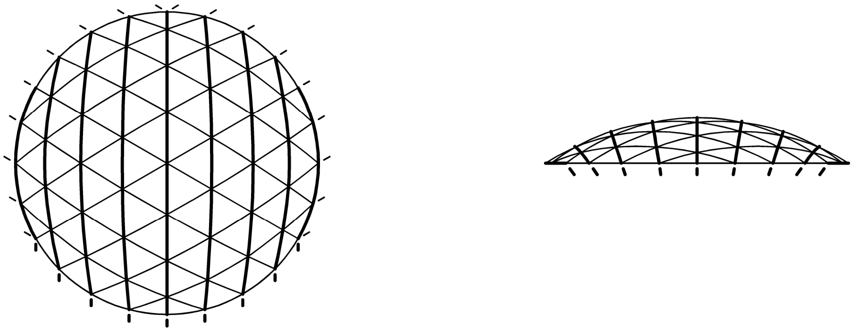
Plan



Opstalt

Figur X1.

Stringersystem C vælges. Det ses umiddelbart at der kan tegnes et stringersystem, der danner en konvekst facetteret flade. Læg mærke til at der skal tilføjes tre understøtninger udover enkelunderstøtningerne (figur X2).

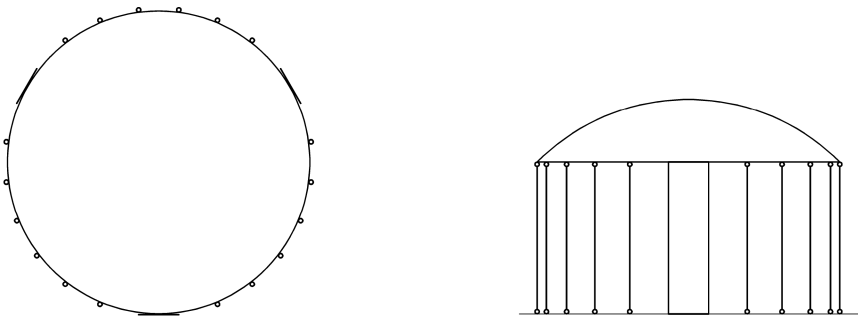


Plan

Opstalt

Figur X2. Stringersystem. Det ene stringersæt er fremhævet og på opstalten er kun understøtningerne af dette vist.

Enkeltunderstøtningerne skal udformes så den flade, som understøtningsretningerne udspænder, sammen med skalfladen danner en konveks flade. En understøtningskonfiguration bestående af lodrette søjler suppleret med tre lodrette skiver, der kan understøtte randen i tangentretningen og dermed i det vandrette plan, opfylder disse betingelser (figur X3).



Plan

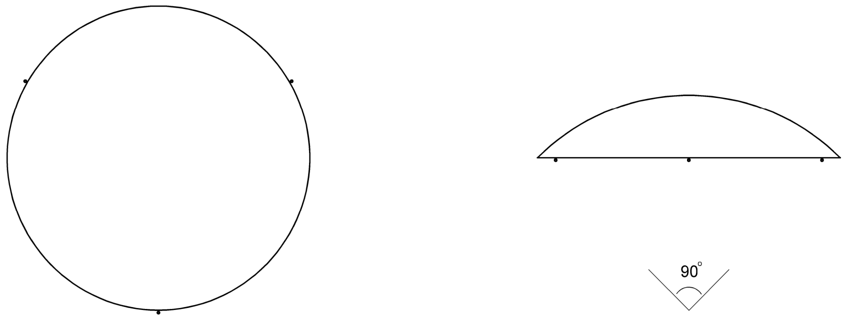
Opstalt

Figur X3. Understøtning bestående af lodrette søjler samt tre lodrette skiver, der understøtter skallen i vandret plan.

Bemærk at randen skal forstærkes, da understøtningerne ikke ligger i skallens tangentplan.

Eksempel 2

Vi ønsker her at understøtte kuglekalotten i de tre viste punkter på randen (figur X4).

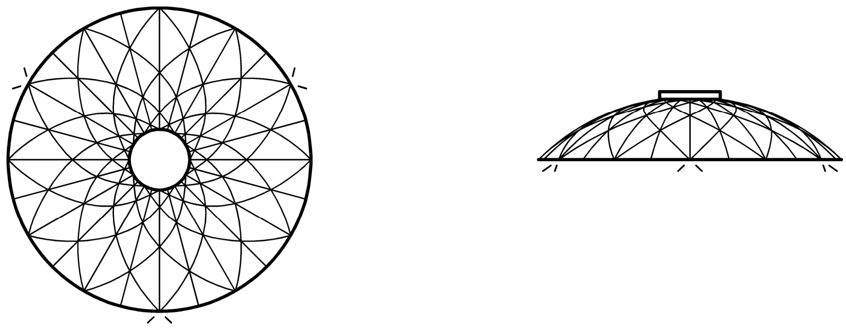


Plan Opstalt

Figur X4.

Det vil sige at skalfladen skal understøttes om et stift legeme. Dette kræver seks understøtninger fx to i hvert af de tre punkter. Skallen skal desuden være stabil i sit indre.

Der tilføjes en afstivning, der kan fungere som en indre dobbeltunderstøtning, omkring symmetriaksen. Afstivningen kan fx udformes som en momentstiv plade i form af en fortykkelse på skallen (som ikke vil kunne ses, hvis overgangen gøres glat) eller som en vridningsstiv ringbjælke om en lanterne i skallens top. Stringerne tegnes som vist i (figur X5).



. Plan Opstalt

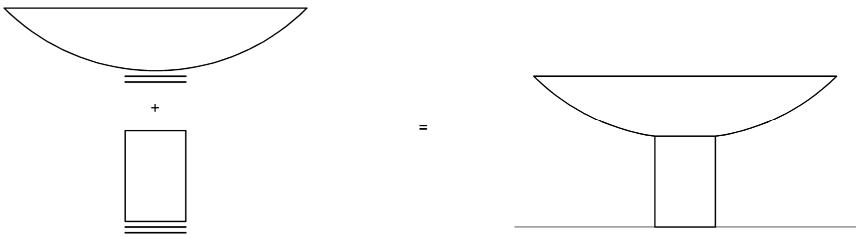
Figur X5. Stringersystem

Dette er et F system, hvor alle stringere er understøttet på den indre afstivning. Det er oplagt at der kan tegnes et stringersystem, der er konvekst. Systemet kan principielt understøttes i hvilke som helst tre punkter, men der må forventes størst stivhed, når skallen understøttes nær forstærkningen.

Konstruktionen kendes i øvrigt fra en almindelig salatskål, hvor ringbjælken anvendes som fod.

Eksempel 3

I dette eksempel ønskes kalotten understøttet på en enkelt central søjle. Som søjle anvendes en cylinderskal med lodret akse. Cylinderskallen dobbeltunderstøttes i grundplanen – svarende til system F – og dens frie rand kan da anvendes som dobbeltunderstøtning for kuglekalotten. Til kuglekalotten anvendes det i eksempel 2 viste stringersystem igen, men i stedet for afstivningen understøttes den på cylinderskallen. (figur X6).



Figur X6. Systemet opbygges af to skaller. Kuglekalotten understøttes på en dobbeltunderstøttet cylinderskal og begge skallers stringersystemer er F systemer.

1.11 Litteratur

Almegaard, H. (2003). Skalkonstruktioner – metoder til afklaring af sammenhængene mellem form, stabilitet, stivhed og understøtningsforhold. Ph.D. afhandling, Kunstakademiets Arkitektskole, København, 2002. By og Byg.

Almegaard H. (2004a). *The stringer system – a truss model of membrane shells for analysis and design of boundary conditions.* International Journal of Space Structures, Vol. 19, No. 1, 1-10.

Almegaard H. (2004b). *Shell supports.* IASS symposium Montpellier 2004.

Calladine, C. R. (1983). *Theory of shell structures*. Cambridge: Cambridge University Press.

Cauchy A. L. (1813). *Sur les polygones et le polyèdres.* J. de l'École Polytechnique, XVIe Cahier IX, 87-89.

Hortobágyi, Z., Szabò, J. and Tarnai, T. (2000). Rigidity of the truss model of membrane shells: a comparison study. Computational Methods for Shell and Spatial Structures, IASS-IACM 2000. ISASR-NTUA, Athens, Greece.

Nielsen, J. (1964). Kræfter i gitterflader. *Nordisk Betong*, (4), 465-484.

Struik, D. J. (1988). *Lectures on Classical Differential Geometry.* 2nd ed. New York. Dover Publications, Inc.

Szabò J. and Tarnai T. (1992) *Rigidity of the Truss Model of Membrane Shells*, Proceedings, IASS-CSCE International Congress, Toronto, 1992, Vol. 2, 438-449.

Artikel modtaget august 2007

Diskussion åben indtil februar 2008

Nekrolog:
Ervin Poulsen
Civilingeniør, Ingeniørdocent
Nødebo, Fredensborg
Født den 12. marts 1926
Død den 8. januar 2007

Ervin Poulsen er efter nogen tid sygdom afgået ved døden, og hermed er en af betonbranchens store personligheder ikke længere blandt os.
Ervin Poulsens karriere var bemærkelsesværdig. Ervin Poulsen var en ener og beherskede mange af bygningsingeniørens arbejdsområder på et usædvanligt højt niveau.
Ervin Poulsen dimitterede Polyteknisk Læreanstalt (nu DTU) i 1951, med et afsluttende arbejde inden for faget materialelære (om luftindblanding i beton) – på den tid det første af i sin art. Dette var baggrunden for at Ervin Poulsen i 1954 kom til Alkaliudvalget på Statens Byggeforskningsinstitut, hvor blandt andet tyndslibsteknikken blev udviklet. Desuden medvirkede Ervin Poulsen til kortlægning af danske grusforekomsters alkalireaktivitet.
Ervin Poulsen var i 1957 med til oprettelsen af akademiingeniøruddannelsen på Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen (DIA-B), og ansat her som underviser i Matematik.
I 1958 modtog Ervin Poulsen Ostenfelds Guldmedalje, og dette blev indledningen til et meget omfattende undervisningsarbejde inden for fagområdet ‘Ren og anvendt mekanik’, specielt betonkonstruktioner, samt udvikling af et omfattende lærebogsmateriale, der siden har dannet skole.
Ved Ingeniørakademiet førte Ervin Poulsen an i anvendelsen af Ingeniørakademiets konstruktionslaboratorium. Emnerne spændte fra elementbyggeriets statik og styrkelære, praktisk udførelse, materialevalg til holdbarhedsundersøgelse. Ervin Poulsen sikrede gennem sin omfattende kontakt til erhvervslivet økonomisk grundlag og faglige muligheder for at sende studerende på videre udannelse i udlandet.
Ervin Poulsen deltog i Dansk Ingeniørforenings normarbejde, og var en af hovedkræfterne bag den første ”rigtige” betonnorm, DS 411, 1973.
I 1976 var Ervin Poulsen medstifter af AEC Rådgivende Ingeniører, hvis primære arbejdsområde var betonkonstruktioner og bygningsfysik. I 1983 oprettedes AEC-laboratoriet, som gennemførte tilstandsundersøgelser, strukturanalyser og studier af betonkonstruktioners holdbarhed og reparation. I denne periode var Ervin Poulsen en af de drivende kræfter i udbredelse af mikrosilicas anvendelse i Danmark til gavn for betonens styrke og holdbarhed. Ervin Poulsen studerede også anvendelse af maling som betonbeskyttelse. I 1985 udgav Ervin Poulsen med flere ”13 betonsygdomme – beton 4”.

I 1987 medvirkede Ervin Poulsen i udarbejdelsen af den fælles arbejdsbeskrivelse for beton til Storebæltsforbindelsen. Det blev starten på en meget krævende periode med udbredelse af anvendelsen af langtidsholdbar beton og dertil hørende beregnings- og prøvningsmetoder, lærerbogsmateriale, kurser for entreprenører samt vejledninger til tilsyn/rådgivere.

Ervin Poulsen har i mange år deltaget i den europæiske standardiserings-organisation CEN med udarbejdelse af standarder for reparation, vedligeholdelse og forstærkning af betonkonstruktioner. Ervin Poulsen har med sin faglige indsigt, stringente systematik og enorme flid været drivkraften bag udvikling og afprøvning af prøvnings- og udførelsesmetoder (for CEN, Teknologisk Institut, bips og Dansk Standard). Samtidig har Ervin Poulsen være medforfatter til en omfattende bog om matematikken bag en af de mest avancerede modeller til beskrivelse af chloridindtrængning i beton.

Ervin Poulsens har i medvirket til udbredelse og anvendelse af fiberkomposit-materialer til forstærkning af konstruktioner af beton, træ, stål og murværk, og givet inspiration til mange eksamensarbejder ved DIA-B og DTU-BYG.

Det var derfor også en stor glæde for Ervin Poulsen i 2004 at modtage Dansk Betonforenings ”Betonpris” for hans mangeårige indsats for branchens udvikling.

Ervin Poulsens litterære arbejde er af imponerende omfang og som medforfatter – til en lære- og håndbog om ”Forstærkning af betonkonstruktioner med boltelimede kulfiberbånd” var det hensigten - at færdiggøre denne i dette forår. Det er redaktionsudvalgets mål, at håndbogen skal udgives som planlagt og i Ervin Poulsens ånd.

Ervin Poulsens faglige indsigt, humor og engagement har aftvunget megen agtelse og han efterlader et tomrum som det bliver svært at udfylde.

Ervin Poulsen vil blive savnet og vore tanker går til familien, datteren Karin og sønnen Niels, datteren Karin og barnebarnet Aske.

Leif Brunckhorst
Jens Mejer Frederiksen
Per Knudsen
Leif Mejlbro
Torsten Thorsen

DANSK SELSKAB FOR BYGNINGSSTATIK

Anmodning om optagelse i selskabet indsendes til et af bestyrelsens medlemmer:

Flemming Petersen (formand), Tlf. 45 97 20 48
COWI, Parallelvej 2, 2800 Kgs. Lyngby

Erik Stoltzner (sekretær), Tlf. 33 41 34 36
Vejdirektoratet, Postboks 9018, Niels Juels Gade 13, 1022 København K

Mogens G. Nielsen (kasserer), Tlf. 45 98 60 00
Rambøll, Bredevej 2, 2830 Virum

Mads Nicolai Jensen, Tlf. 45 95 55 18
Birch & Krogboe, Teknikerbyen 34, 2830 Virum

Holger Koss, Tlf. 72 15 77 00
FORCE, Hjortekærvej 99, Bygning 118, 2800 Kgs. Lyngby

Henrik Mørup, Tlf. 48 10 42 00
NIRAS, Sortmosevej 2, 3450 Allerød

Lars Hauge, Tlf. 45 97 28 81
COWI, Parallelvej 2, 2800 Kgs. Lyngby.

Jeppe Jönsson, Tlf. 45 25 17 07
BYG•DTU, Brovej. Bygning 118, 2800 Kgs. Lyngby

Selskabets formål er at arbejde for den videnskabelige udvikling af bygningsmekanikken - både teori for og konstruktion af alle slags bærende konstruktioner - fremme interessen for faget, virke for et kollegialt forhold mellem dets udøvere og hævde dets betydning overfor og i samarbejde med andre grene af ingeniørvidenskaben. Formålet søges bl.a. realiseret gennem møder med foredrag og diskussioner samt gennem udgivelse af ”Bygningsstatiske Meddelelser”.

Som medlemmer kan optages personlige medlemmer, firmaer og institutioner, som er særligt interesserede i bygningsmekanik, eller hvis virksomhed falder indenfor bygnings-mekanikkens område.

Det årlige kontingent er for personlige medlemmer 300 kr., for firmaer samt institutioner 1.800 kr. Studerende ved Danmarks Tekniske Universitet og andre danske ingeniørskoler samt indtil 2-års kandidater kan optages som juniormedlemmer uden stemmeret for et årskontingent på 80 kr. Pensionerede medlemmer med mindst 10 års medlemsanciennitet kan opnå status som pensionistmedlem med stemmeret for et årskontingent på 100 kr.

Selskabets medlemmer modtager frit ”Bygningsstatiske Meddelelser”, der udsendes kvartalsvis. Endvidere publiceres ”Bygningsstatiske Meddelelser” på Selskabets hjemmeside www.dsby.dk. Manuskripter til optagelse i ”Bygningsstatiske Meddelelser” modtages af redaktøren.