



LUND UNIVERSITY

Byggteknikhistoria - några iakttagelser

Pettersson, Ove

1986

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Pettersson, O. (1986). *Byggteknikhistoria - några iakttagelser*. (LUTVDG/TVBB--3029--SE; Vol. 3029). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

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

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

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.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

LUND UNIVERSITY · SWEDEN
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF FIRE SAFETY ENGINEERING
REPORT LUTVDG/ (TVBB - 3029)
ISSN 0282 - 3756

OVE PETTERSSON

BYGGTEKNIKHISTORIA -
NÅGRA IAKTTAGELSER
History of Building Technology -
Some Observations

LUND 1986

Lunds universitet
Tekniska och naturveten-
skapliga högskolan
Institutionen för brand-
teknik
Box 118
221 00 LUND
Tel: 046/107360

Lund University
Institute of Science and
Technology
Department of Fire Safety
Engineering
Box 118
S-221 00 LUND, Sweden
Telephone: +46-46-107360

Report LUTVDG/(TVBB-3029) (1986)
ISSN 0282-3756

Ove Pettersson

BYGGTEKNIKHISTORIA - NÅGRA IAKTTAGELSER
HISTORY OF BUILDING TECHNOLOGY - SOME OBSERVATIONS

Föreläsning i kursen "Vetenskapshistoria" vid Tekniska och
naturvetenskapliga högskolan, Lunds universitet, 1985-12-10

BYGGTEKNIKHISTORIA - NÅGRA IAKTTAGELSER

Föreläsning i kursen "Vetenskapshistoria" vid Tekniska och naturvetenskapliga högskolan, Lunds Universitet, 1985-12-10.

Av Ove Pettersson

Den engelske arkitekten ALLSOPP anför i en bok, publicerad 1970, "att teknologien alltid måste vara underordnad tre villkor. Det första är det estetiska, det andra är vetenskapen och det tredje historien. Historien ger teknologien dess humanistiska kvalitet" /1/.

Avsikten med denna föreläsning är att genom ett antal artskilda exempel belysa några karakteristiska fenomen inom teknikhistorien. De valda exemplen har därvid hämtats från det byggnadstekniska området - med vissa utvikningar - och behandlar:

- * Geodesins utveckling
- * Utvecklingen av teorien för en balks hållfasthet
- * LEONARDO DA VINCI:s bidrag till byggnadsteknikens utveckling
- * Katastrofer som ett inslag i den tekniska utvecklingen
- * Jakten på rekord som en stimulans till teknisk utveckling.

Bortsett från det första exemplet innebär föreläsningens uppläggning, att vi tidsmässigt kommer att röra oss fram och tillbaka i den historiska utvecklingen. Inom varje exempel finns dock en strävan till tidsmässig kontinuitet. I det avslutande exemplet antyds vidare utvecklingsmöjligheter från dagens situation med historien som bakgrundsreferens.

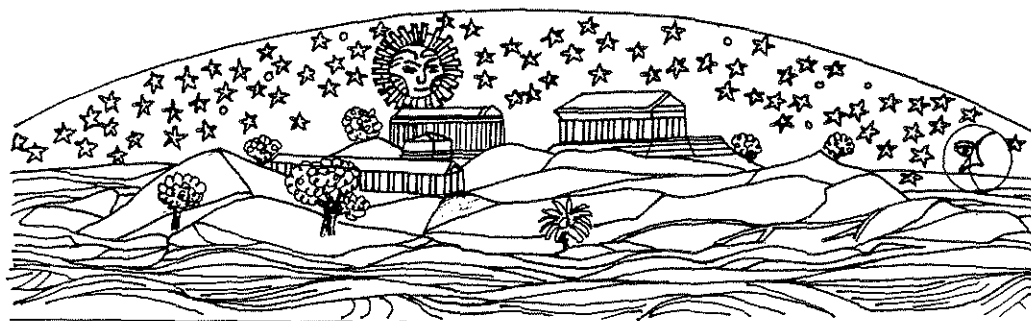
På flera punkter har de valda exemplen anknytning till tidigare föreläsningar i kursen.

1. Geodesins utveckling

Geodesin (av grekiskans ge = jord och dais = del) är en av de äldsta tekniska vetenskaperna. Den behandlar vissa av planeten jordens egenskaper, främst dess form, dimensioner, massfördelning och gravitationsfält.

Geodesin har länge varit nära förbunden med astronomin och tillsammans har dessa vetenskaper givit den världsbild, som varit utmärkande för varje epok. Den äldsta kända uppfattningen av jordens form är indisk. Enligt denna var jorden en platt kaka, som vilade på ett antal pelare. Enligt en annan indisk uppfattning hävdades, att jorden skulle vara en halvsfär, uppburen av fyra elefanter, som stod på en jättesköldpadda, simmande i det oändliga världshavet.

Den grekiska filosofen THALES (omkring 640 - 545 f Kr) ansåg, att vatten är det urämne, som allting består av och varur allting uppkommer. Enligt honom var jorden en platt skiva, som flöt på de eviga vatten, som den höjt sig ur - figur 1. Vattnet omgav inte bara jorden utan kantade också himlavalvet - ett väldigt halvklot, som inneslöt solen, månen och samtliga planeter och stjärnor.



Figur 1 Jorden och himlavalvet enligt THALES' uppfattning

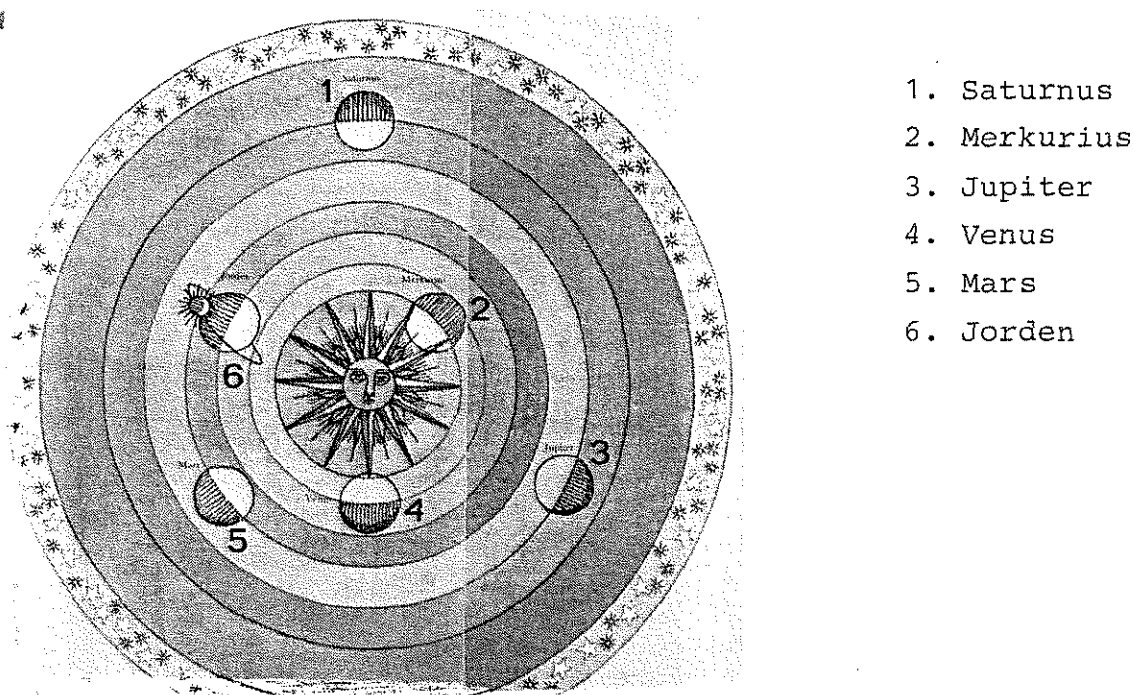
Uppfattningen av jorden som en sfär går tillbaka till den klassiska antiken och framfördes av PYTHAGORAS redan på 500-talet f Kr. ARISTOTELES (384 - 327 f Kr) underbyggde denna uppfattning bl a genom att observera den cirkulära formen av jordens skugga mot månen under en månförmörkelse. Den första, geometriska bestämningen av jordens form utfördes av den grekiske matematikern och naturvetenskapsmannen ERATOSTHENES (omkring 276 - 194 f Kr). Genom en primitiv gradmätning beräknade han jordens omkrets till 250 000 stadier, vilket svarar mot 37 200 eller 46 250 km, beroende på vilken definition av det antika längdmåttet stadie, som tillämpas /3/. Det korrekta värdet ligger något över 40 000 km. ERATOSTHENES räknas vanligen som den egentliga geodesins grundare.

Det skulle dröja många århundraden, innan någon ny information om jordens form kunde tas fram. Medeltidens vetenskapligt mörka århundraden innebar i stort en återgång till de tidigare skedenas primitiva världsbild. Den klassiska antikens uppfattning av jorden som en sfär blev inte allmänt accepterad förrän i början av 1500-talet efter upptäckten av Amerika och den första världsomseglingen - figur 2.



Figur 2 Jordens klotform, demonstrerad på en italiensk 1500-talsteckning genom hur ett bortseglande fartyg iakttas försvinna bortom horisonten /2/

Som en följd av COPERNICUS' arbeten omkring 1510, uppkom en ny världsbild med solen som centrum och jorden och övriga planeter kretsande i banor runt solen - figur 3. Som den förste placerade COPERNICUS därvid de då kända planeterna i rätt ordning med Merkurius och Venus innanför och Mars, Jupiter och Saturnus utanför jordens bana. COPERNICUS' världsbild utgör den egentliga grundvalen för vår nuvarande kunskap om universum.



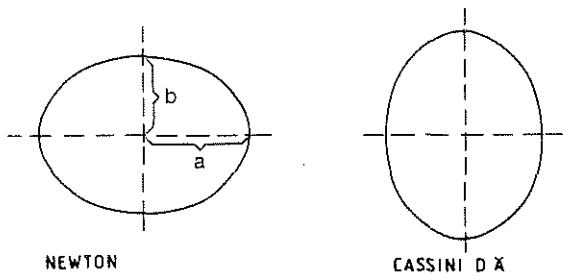
Figur 3 COPERNICUS' världsbild med solen i planetsystemets centrum. Jorden med sin satellit månen och övriga då kända planeter rör sig i cirkelbanor runt solen /2/

Trots sina stora, originella bidrag var COPERNICUS i mycket bunden vid den klassiska antikens föreställningar. Bl a fasthöll han sig vid tanken, att planeterna måste röra sig i cirkelbanor. Den korrekta uppfattningen om detta fenomen presenterades 1609 av den tyske astronomen, fysikern

och matematikern Johannes KEPLER, som genom beräkningar från noggranna observationer fann, att varje planet rör sig i en elliptisk bana med solen i sin ena brännpunkt. KEPLER uppställde också de lagar, som bestämmer en planets banhastighet och omloppstid. KEPLERs lagar för planeternas rörelse får i huvudsak karakteriseras som erfarenhetsfakta. Det vetenskapliga beviset av lagarnas giltighet gavs av Isaac NEWTON i hans 1687 publicerade huvudverk Principia. I detta visas, att KEPLERs lagar är en följd av den allmänna gravitationslagen och de härur av NEWTON formulerade rörelselagarna.

En av grundprinciperna i COPERNICUS' världsbild kan beskrivas på följande sätt: Himlens dagliga rörelse från öster mot väster är endast skenbar och en följd av att jorden roterar åt motsatt håll ett varv på ett dygn kring en axel, som går genom jordens medelpunkt. Som COPERNICUS själv påpekar var dock denna princip inte okänd tidigare. Antagandet, att jorden roterar, framlades första gången redan omkring 300 f Kr av den grekiske astronomen och matematikern HERAKLEIDES. Även grundprincipen, att jorden rör sig runt solen, framfördes första gången under den klassiska antiken - av den grekiske astronomen ARISTARCHOS från Samos omkring 275 f Kr. COPERNICUS' stora insats bestod i att han utvecklade de båda grundprinciperna och analyserade deras konsekvenser.

En konsekvensanalys av grundprincipen, att jorden roterar också kring en egen axel, borde naturligen ha lett till att COPERNICUS släppt föreställningen om en sfärisk modelljord. Den slutsatsen drog han emellertid ej. Teorien för jorden som en rotationsellipsoid framläggs i NEWTONs Principia 1687. Därvid analyserar han sambandet mellan en planets rotationshastighet och dess avplattning vid polerna och ger också en första grundläggande förklaring till uppkomsten av ebb och flod. NEWTON beräknade jordens avplattning - definierad enligt figur 4 som $(a - b)/a$ - till 1:230.



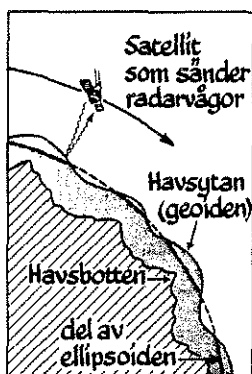
Figur 4 Jordens form enligt NEWTON och CASSINI d ä /3/

Lantmätare - bl a CASSINI d ä (1625 - 1712) - kontrollerade mättekniskt NEWTONS beräkning genom några nord-sydligt orienterade triangelkedjor. Mätresultaten indikerade emellertid att jorden skulle vara tillspetsad i stället för avplattad vid polerna. Därigenom startade en tvist mellan fysiker och lantmätare, som inte kunde biläggas, förrän den franska vetenskapsakademien 1735 beslutat att finansiera särskilda gradmätningsexpeditioner till Peru och Lappland. Expeditionerna bekräftade, att fysikernas uppfattning var den riktiga.

Ett viktigt konstaterande från expeditionerna var - det kanske då som paradoxalt upplevda förhållandet - att fysikaliska mätningar kan utnyttjas för beräkning av geometriska storheter som jordens form. Inom geodesin skulle detta, redan under 1700-talet, ytterligare verifieras genom den franske astronomen och matematikern Pierre Simon de LAPLACE (1749 - 1827), som ur observationer av små störningar i månbanans form beräknade jordens avplattning till 1:305. Det korrekta värdet för jordens nuvarande avplattning är 1:298.25 /3/. Genom en analytisk utveckling av det sk störningsproblemet framlade LAPLACE en fullständig teori för banrörelserna inom solsystemet med hänsyn tagen till de olika kropparnas ömsesidiga gravitationsverkan. Särskilt stor uppmärksamhet väckte därvid hans bevis för solsystemets stabilitet.

Den klassiska geodesin utgick från ett geometriskt betraktelsesätt. Som konsekvens härav utgjordes de geodetiska mätoperationerna i huvudsak av längd- och vinkel-mätningar. I den moderna geodesin har framför allt dynamiska mätoperationer tillkommit, t ex gravitationsmätningar. Väsentligt förbättrade mätmöjligheter ger användningen av satelliter. Därigenom kan t ex jordens olika kraftfält bestämmas med god noggrannhet. Satellitmätningar möjliggör också bestämningar av t ex den pågående deformationen av jordytan och ändringar i jordens rotationshastighet och form.

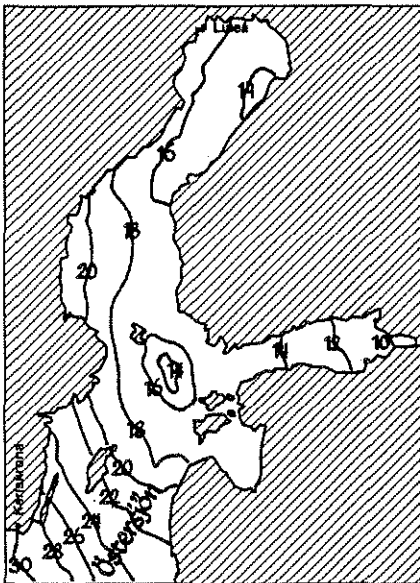
För att ge en mer detaljerad bild av jordens form än vad, som beskrivs genom en rotationsellipsoid, har begreppet geoid införts för den ekvipotentialyta - nivåyta - i jordens tyngdkraftsfält, som sammanfaller med medelhavsyttans nivå och dennas tänkta förlängning in under kontinenterna - figur 5. Geoiden kan alltså ses som en teoretisk modellbild av en jord, som till hundra procent består av vattenyta.



Figur 5 Jordens form definierad genom rotationsellipsoiden och geoiden /4/

Omfattande mätningar med hög precision av bl a geoiden har genomförts av den amerikanska havssatelliten Seasat, uppsänd 1978. Satelliten, som arbetade på ett hundra mils höjd, sände radarvågor mot havsytan och mätte havets bucklor utåt och inåt i relation till en medelnivå. Orsaken till att havsytan i sin detaljstruktur är bucklig är, att den anpassar sig till jordens inre massförhållanden och bildar en yta med lika tyngdkraftspotential eller lika lägesenergi.

Seasat gav mer än 300 miljoner mätdata om geoiden över jordens havsområden. Därvid upptäcktes bl a mer än 200 tidigare okända undervattensvulkaner i södra Stilla havet. Figur 6 ger ett exempel på erhållna mätdata. Den visar havsytans höjd eller geoiden i Bottniska havet och Östersjön. Siffrorna anger geoidens höjd i meter i förhållande till referensmedelytan. Av kartan framgår t ex att vid en båtfärd från Karlskrona till Luleå sjunker båten $30 - 16 = 14$ meter, jämfört med medelytan. Eftersom tyngdkraftspotentialen eller lägesenergien är densamma under hela färden, får båten ej någon extra fart genom denna nivå-skillnad.



Figur 6 Havsytans höjd eller geoiden i Bottniska havet och Östersjön, mätt med den amerikanska havssatelliten Seasat /4/

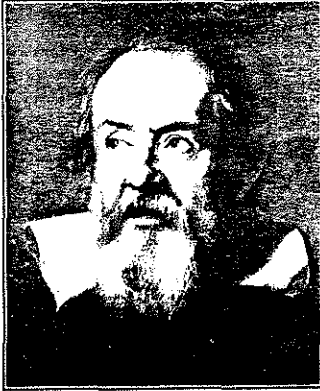
En annan satellit, Lageos (Laser Ranging Geodynamic Satellite), uppsänd 1976, ger viktig information om jordens dynamik. Satelliten har på sin yta 426 reflektorer, som återkastar pulser av laserstrålar, uppskjutna från markstationer. Satelliten ligger i en nära cirkulär, extremt stabil bana på en höjd av 600 mil och kan mäta sitt avstånd till en markstation med en noggrannhet av några få centimeter. Med Lageos mäts /4/

- * jordens avplattning och dess förändring med tiden
- * jordens tyngdkraftsfält
- * deformationen i jordskorpan, lokalt och globalt
- * riktningsförändringen av jordens rotationsaxel
- * ändringen i jordens rotationshastighet samt
- * jordens deformation genom tidvattnet.

Härmed har vi översiktligt - med viss koppling till astronomi och geofysik - belyst den historiska utvecklingen av geodesin och hur denna vetenskap kan användas för att ta fram ny kunskap om jordens egenskaper. I dag ger rymdobservationer och markbundna observationer av jordens fysik tillsammans möjligheter att med ökad precision kartlägga samband mellan lokala, regionala och globala fenomen. Jämförande studier kan genomföras för liknande fenomen på andra planeter och månar, som befinner sig i andra utvecklingsstadier.

En övergripande observation från denna historiska utveckling är därvid den växling, som skett av referensram. I den tidiga historien gav information om hur olika saker beter sig på jorden, underlaget för uppfattningen om kosmos. I dag ger studier av kosmos den huvudsakliga grunden för kunskapen om vår planets uppkomst, ålder, utveckling och dynamik.

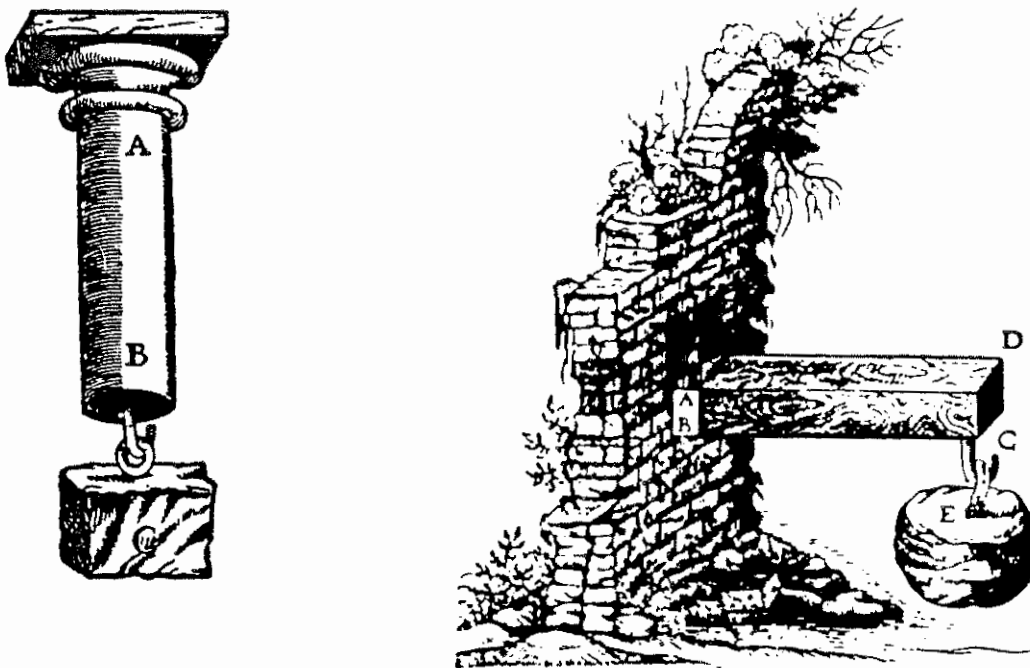
2. Utvecklingen av teorien för balks hållfasthet



Figur 7 Galileo GALILEI (1564 - 1642)

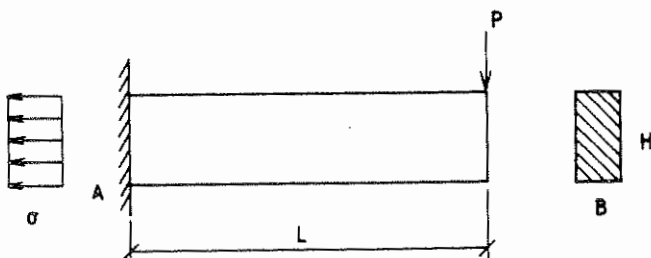
Galileo GALILEI, född 1564, blev 1589 professor i matematik vid universitetet i Pisa. 1592 flyttade han till motsvarande befattning i Padua. 1610 knöts han som matematiker till det storhertigliga, Toskanska hovet i Florens. Genom sina banbrytande vetenskapliga upptäckter och teorier inom astronomin - där han anslöt sig till COPERNICUS' lära om solen, inte jorden, som universums medelpunkt - fick han dominikaner och jesuiter till sina vetersakare. Han angavs för inkquisitionen och förklarades 1633 som kättare.

Efter kättardomen drog han sig tillbaka till sin villa utanför Florens, där han bl a slutförde sitt stora verk "Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a Due Nove Scienze", tryckt i Leiden 1638, vanligen kallat "Dialoger" /5/. De båda första dagarnas dialoger behandlar därvid i huvudsak problem inom hållfasthetsläran. Experimentellt och teoretiskt studerar han bärförmågan av en dragbelastad pelare - figur 8 - och finner, att bärförmågan är proportionell mot tvärsnittsytan och oberoende av pelarens längd.



Figur 8 I sina "Dialoger" från 1638 analyserar GALILEI bl a den dragbelastade pelarens och den böjda balkens verkningssätt /5/

GALILEI diskuterar i sina "Dialoger" också den böjda balkens verkningssätt och bärförmåga. Han antar därvid för en enligt figur 8 belastad konsolbalk, att brott inträffar i inspänningssnittet, att brottsnittet roterar kring sin underkant - punkt A i figur 9 - och att brottpåkänningen σ är jämnt fördelad över brottsnittet.



$$P_{\text{brott}} L = \sigma B H \left(\frac{H}{2} \right) = \frac{1}{2} \sigma B H^2$$

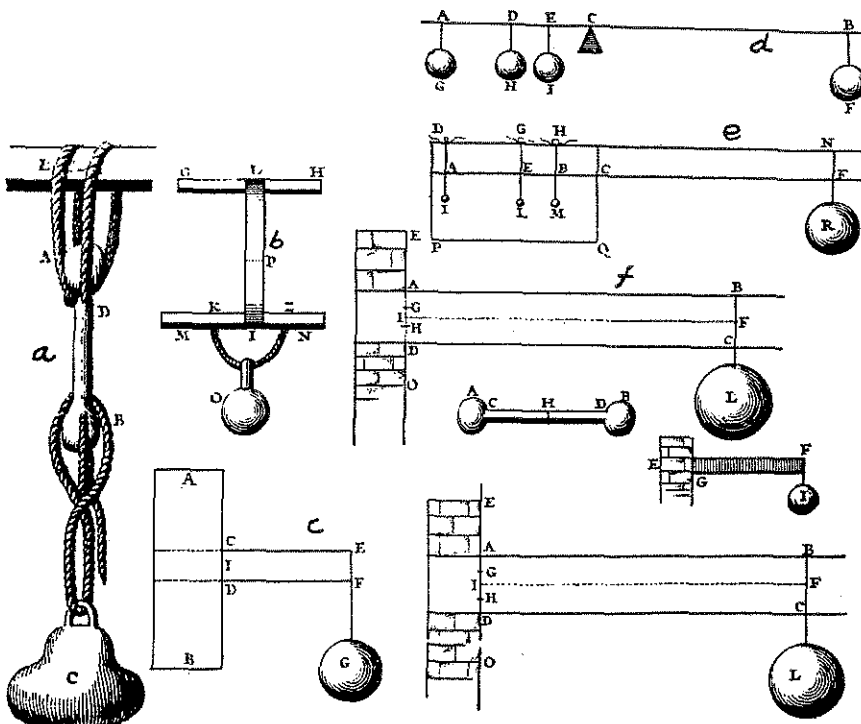
Figur 9 Av GALILEI antagen påkänningsfördelning σ vid brott i inspänningssnittet av en konsolbalk, belastad med en punktlast P i spetsen

Den av GALILEI antagna påkänningsfördelningen ger en resulterande horisontalkraft, som ej har någon motsvarighet i någon yttre horisontallast. Balken är därför inte i horisontell jämvikt vid den antagna påkänningsfördelningen. För en balk med rektangulärt tvärsnitt ger den felaktigt antagna påkänningsfördelningen 3 gånger för hög brottlast vid sprött material och 2 gånger för hög brottlast vid helt plastiskt material.

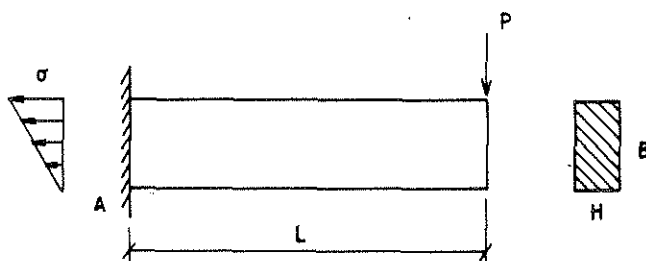
Det är anmärkningsvärt, att GALILEI inte observerade, att balken med den antagna påkänningsfördelningen ej är i jämvikt. Utvecklingen av statikens lagar på en vetenskaplig bas inleddes nämligen redan under antiken. ARCHIMEDES (287 - 218 f Kr) klarlade därvid hävstångens jämviktsvillkor och utarbetade metoder för att bestämma kroppars tyngdpunkt. ARCHIMEDES grundlade hydrostatiken och var också praktiskt verksam som ingenjör, framför allt som damm- och brobyggare. Den äldsta kända textboken i mekanik skrevs av antingen ARISTOTELES (384 - 327 f Kr) eller hans lärjunge STRATON från Lampsakos. Den har titeln *Mechánica* och behandlar bl a hävstänger, hjul och kugghjul.

Vi följer nu utvecklingen av teorien för den böjda balkens verkningssätt fram till den korrekta lösningen.

MARIOTTE (1620 - 84) utförde omfattande experimentella studier av böjd balks verkningssätt - figur 10. I sin kompletterande teoretiska analys utgår han från samma antagande som GALILEI för läget av tvärsnittets rotationsaxel, dvs i tvärsnittets underkant. Han kompletterar detta antagande med en förutsättning om att förlängningen av balkens längsfibrer växer från 0 i tvärsnittets underkant till ett största värde i överkanten. Detta ledde MARIOTTE till en linjär påkänningsfördelning över tvärsnittet och en bärförmåga eller brottlast, som för rektangulär balksektion är $\frac{2}{3}$ av den av GALILEI beräknade - figur 11.



Figur 10 Drag- och böjförök, utförda av MARIOTTE /6/



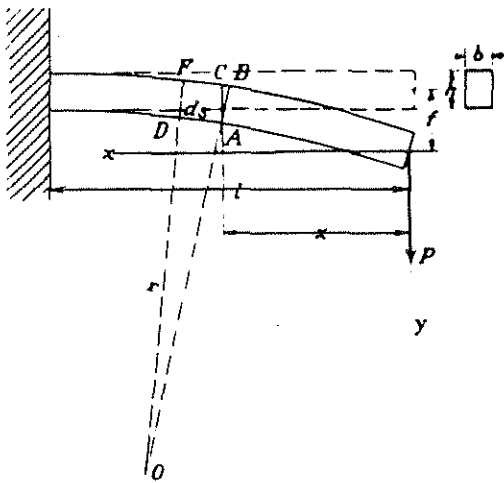
$$P_{\text{brott}} L = \frac{1}{2} \sigma B H \left(\frac{2}{3} H \right) = \frac{1}{3} \sigma B H^2$$

Figur 11 Av MARIOTTE antagen påkänningsfördelning σ vid brott i inspänningssnittet av en konsolbalk, belastad med en punktlast P i spetsen

MARIOTTEs påkänningsfördelning härleddes oberoende av LEIBNIZ (1646 - 1716) under senare hälften av 1600-talet. Den icke uppfyllda horisontella jämvikten i GALILEIS balkanalys finns kvar också i MARIOTTEs och LEIBNIZ' teori.

1673 lade LEIBNIZ grunden till infinitesimalkalkylen, som sedan utvecklades snabbt under 1600-talets sista fjärdedel och början av 1700-talet. Viktiga bidrag i denna utveckling gavs av de schweiziska matematikerna Jacques BERNOULLI (1654 - 1705) och Jean BERNOULLI (1667 - 1748), som också tillämpade detta nya hjälpmedel på problem inom mekaniken och fysiken.

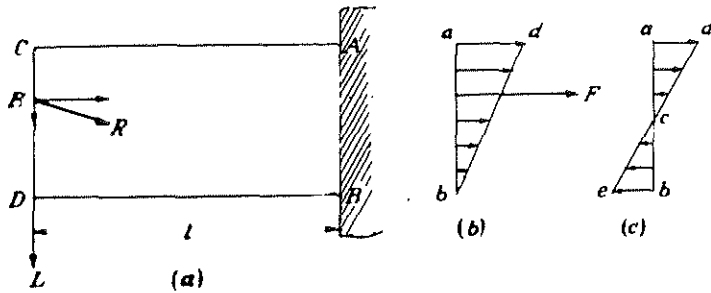
Inom teorien för balkböjning gav sig Jacques BERNOULLI därvid i kast med problemet att beräkna en elastisk balks krökning och nedböjning vid en transversal belastning. Han införde för behandlingen en förutsättning om att plana tvärsnitt bibehålls plana under böjningen - BERNOULLIs hypotes (figur 12) /7/. Från GALILEI, MARIOTTE och LEIBNIZ övertog han det felaktiga antagandet, att tvärsnittets böjningsaxel ligger i balkens underkant. För balk med rektangulär sektion blev härigenom den av BERNOULLI beräknade nedböjningen endast $1/4$ av den verkliga.



Figur 12 Jacques BERNOULLIs teori för beräkning av en böjd balks krökning och nedböjning

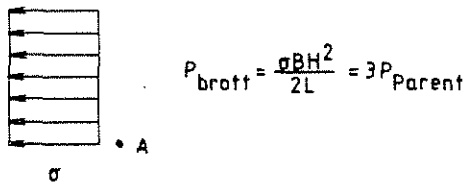
1713 publicerar PARENT (1666 - 1716) två artiklar om balkböjning, som innebär ett väsentligt steg framåt i utvecklingen /8/. Han förkastar i dessa arbeten den av MARIOTTE, LEIBNIZ och BERNOULLI tillämpade påkänningsfördelningen,

som förutsätter, att böjningsaxeln sammanfaller med balk-tvärsnittets underkant. Han visar, att för en elastisk balk måste böjningsaxeln gå genom sektionens tyngdpunkt, vilket för en balk med t ex rektangulärt tvärsnitt ger den till höger i figur 13 visade påkänningsfördelningen.



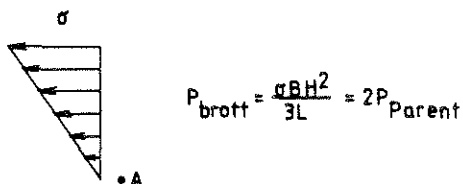
Figur 13 PARENTS härledning av den korrekta påkänningsfördelningen för en böjd, elastisk balk /6, 8/

GALILEI (1564-1642)

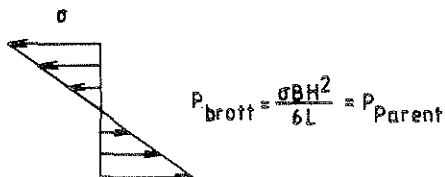


MARIOTTE (1620-84), LEIBNIZ (1646-1716)

JACQUES BERNOULLI (1654-1705), EULER (1707-83)



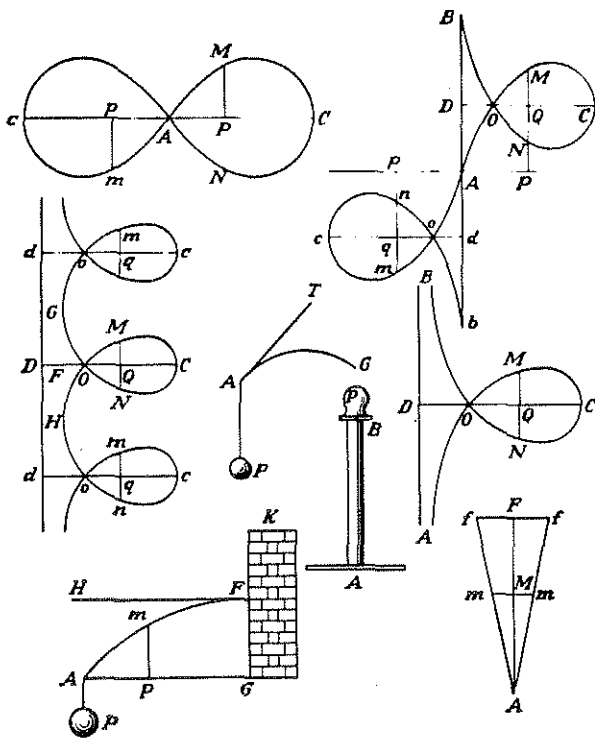
PARENT (1666-1716)



Figur 14 Brottlasten P_{brott} för konsolbalk av sprött material och med rektangulärt tvärsnitt, beräknad enligt GALILEI, MARIOTTE, LEIBNIZ, Jacques BERNOULLI, PARENT och EULER. Punktlast P i konsolspetsen enligt figur 9

Figur 14 sammanfattar utvecklingen av den böjda balkens spänningsbild från GALILEI 1638 till PARENT 1713. Bilden relaterar de av GALILEI och MARIOTTE beräknade brottlasterna till den korrekta brottlasten enligt PARENT för sprött material och balk med rektangulärt tvärsnitt.

Även om den korrekta lösningen på problemet föreligger i och med PARENTS insats 1713, är det intressant att också beröra Leonhard EULERS stora arbete från 1744 "Methodus inveniendi lineas curvas". Arbetet är det första om variationskalkyl. Det innehåller också den första systematiska behandlingen av balkars och pelares elastiska utböjning - figur 15. Behandlingen är generell utan någon begränsning av utböjningens storlek, vilket leder till lösningar över elliptiska integraler. I EULERS arbete ges den första analytiska lösningen av en slank pelares instabilitet under påverkan av en centrisk tryckkraft - knäckning. Korrekta samband härleds för pelarens knäckningslast.



Figur 15 EULERS behandling av balkars och pelares elastiska utböjning från 1744 /6/

EULER var emellertid inte medveten om PARENTS insats från 1713 om den böjda balkens påkänningsfördelning, utan övertog GALILEIs, MARIOTTES, LEIBNIZ' och BERNOILLIs felaktiga antagande om böjningsaxelns läge. Även om de av EULER härledda sambanden för en pelares knäckningslast är korrekta i sin uppbyggnad, ger de därför felaktiga numeriska värden för knäckningslasten.

Sammanfattat illustrerar balkböjningsteoriens historik, hur ojämnr en utveckling kan vara. Vi ser, hur ett elementärt fel kan leva vidare som en komponent i en mer än 100-årig utveckling, som i övrigt är korrekt och som innehåller mycket avancerade inslag.

3. Några av LEONARDO DA VINCI's bidrag till byggnadsteknikens utveckling

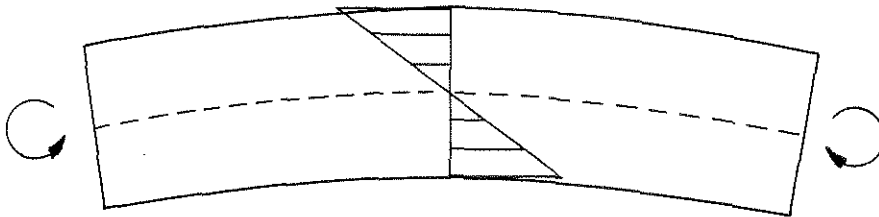


Figur 16 LEONARDO DA VINCI (1452 - 1519) - målare, skulptör, arkitekt, diktare, musiker, naturvetenskapsman och ingenjör

I den samling LEONARDO DA VINCI manuskript, som benämns Codex Madrid I, beskriver LEONARDO fenomenet en böjd balks deformation på följande sätt år 1505 - figur 17 /9/:

- 1) "Den inre delen av bjälken blir kortare - fibrerna pressas samman,

- 2) den yttre delen av bjälken förlängs - de yttre fibrerna spänns,
- 3) bjälkens centrala axel förblir oförändrad,
- 4) fibrernas förlängning eller förkortning är proportionell mot deras avstånd från bjälkens mittaxel."

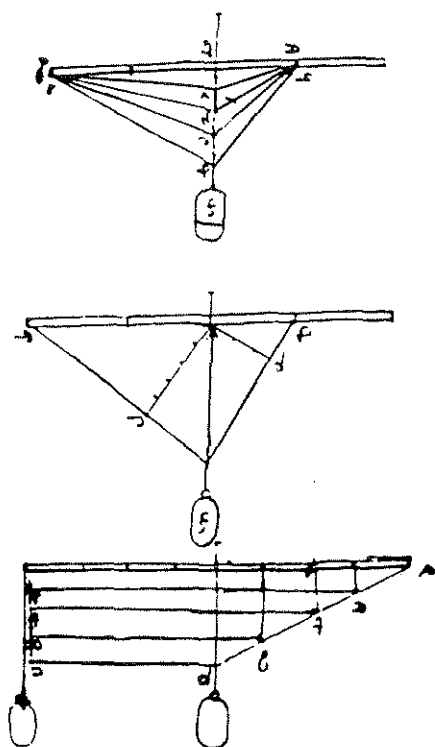


Figur 17 Den böjda balkens funktion enligt LEONARDO
DA VINCI - Codex Madrid I, 1505

Här finns alltså den riktiga lösningen nedskriven - 133 år innan GALILEI publicerade sina "Dialoger" och 208 år, innan PARENT presenterade den "första" korrekta behandlingen av problemet.

Detta visar, hur i den historiska teknikutvecklingen en ensam människa kan göra tunga insatser med ett försprång, som det kan ta mycket lång tid för omvärlden att hämta in. Det finns många sådana exempel hos LEONARDO.

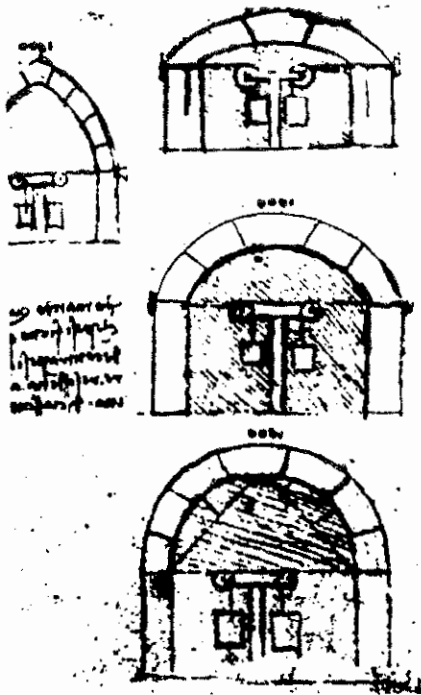
Genom studier av en vikt, upphängd i två lutande snören, utvecklade LEONARDO en metod för att sammansätta två krafter till en resultant - figur 18. Han föregrep därvid principiellt NEWTONs kraftparallelogram med mer än 150 år. I sammanhanget tillämpade LEONARDO - som den förste - begreppet statiskt moment för en sned kraft. För vertikala krafter går begreppet tillbaka till ARCHIMEDES.



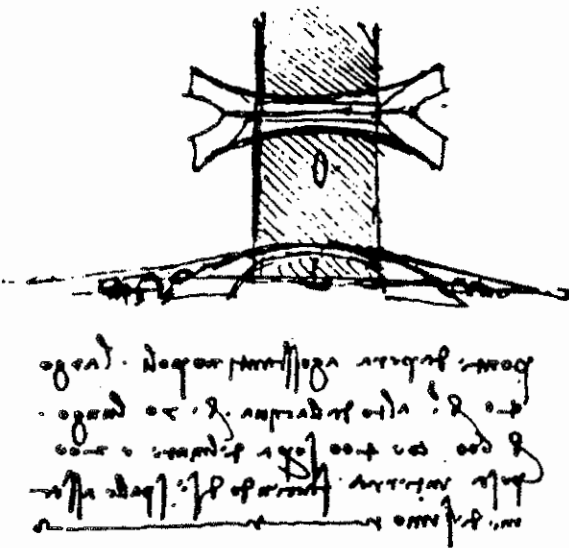
Figur 18 LEONARDO DA VINCI's jämviktsstudier för uppdelning och sammansättning av krafter /10/

Bl a för att kunna förklara brott, som inte sällan inträffade för bågar och valv, utförde LEONARDO omfattande experiment med mätning av krafter i bågar i modellskala vid olika belastningar - figur 19. Han fick därigenom en god konstruktiv känsla för och uppfattning av bågens och valvets verkningssätt och kom fram till en nivå, som ligger nära moderna metoder för att bestämma en båges horisontalreaktion.

Sin kunskap om bågens verkningssätt utnyttjade LEONARDO i praktiska projekt. Det mest avancerade av dessa framlägger han i ett brev till den turkiske sultanen Bajezid II år 1502 eller 1503. Projektet omfattar en bågbro i stenmurverk över Bosporen vid Gyllene Hornet med en spännvidd av 276 m - figur 20. Spännvidden för världens för närvarande största betongbågbro ligger något över 300 m.



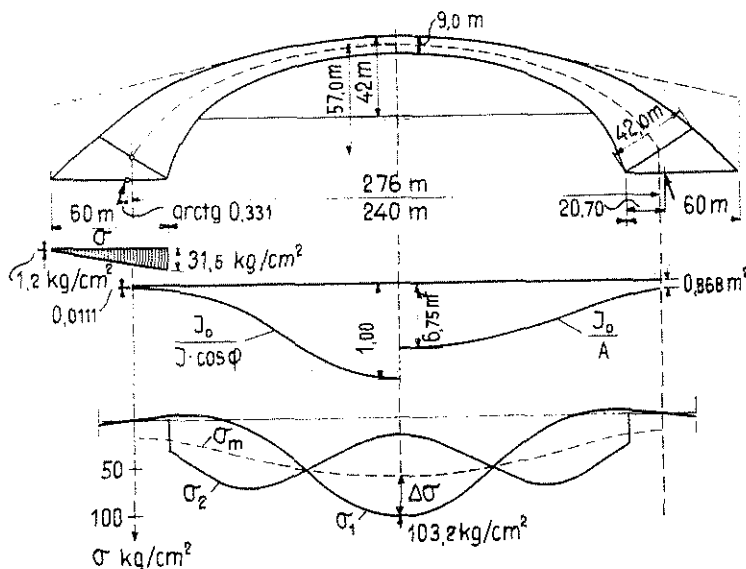
Figur 19 LEONARDO DA VINCI's studier av bågars och valvs konstruktiva verkningssätt



Figur 20 Av LEONARDO DA VINCI år 1502 eller 1503 projekterad bro över Bosporen vid Gyllene Hornet med spännvidden 276 m

För att ge möjligheter för en statistiskt förmånlig upptagning av vindlasten genom tangentiella tryckkrafter har LEONARDO valt en dubbelbågkonstruktion med två mot varandra lutande, i hjässan förenade bågar. Detta är en konstruktionsprincip, som blivit förverkligad först under 1950- och 1960-talen.

Av STÜZZI 1953 /11/ genomförda påkänningsberäkningar - figur 21 - för LEONARDOs broprojekt, visar entydigt, att projektet är tekniskt realistiskt för ett utförande i stenmurverk.



Figur 21 Dimensioner och tvärsnittskaraktäristika för LEONARDO DA VINCI's projekterade dubbelbågsbro över Bosporen samt av STÜZZI 1953 beräknad fördelning av den tangentiella normalpåkänningen σ för inverkan av brons egentyngd. σ_m , σ_1 och σ_2 är normaltryckpåkänningen i bågsektionens tyngdpunktsaxel, överkant respektive underkant. A är sektionens yta och I dess yttröghetsmoment /11/

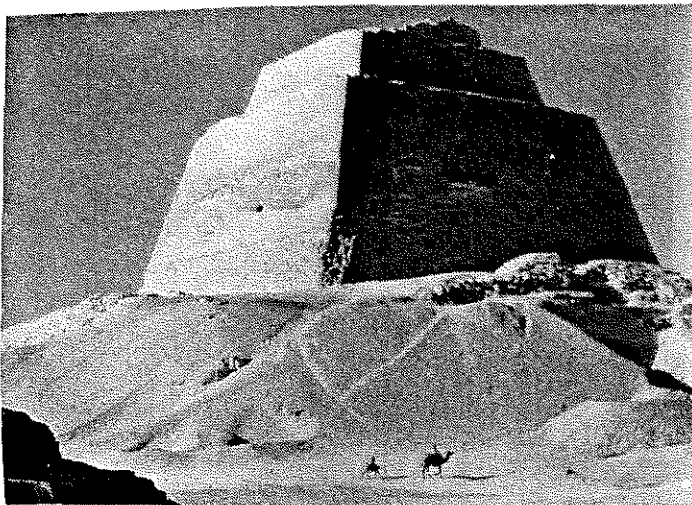
4. Katastrofer som ett inslag i den tekniska utvecklingen

En av de mest framstående brobyggnadsteknikerna genom tider-
na, D B STEINMAN, har sagt /12/:

"Tekniska misslyckanden hör till det pris, som vi
måste betala för framsteg. Om vi utnyttjar erfaren-
heterna av dessa misslyckanden, har de inte inträffat förgäves."

Vi skall nu i den teknikhistoriska utvecklingen följa
några sådana misslyckanden eller katastrofer, valda från
byggområdet. Vi kommer kortfattat att beröra dels deras
orsaker, dels de erfarenheter, som kan dras från dem som
ett led i den tekniska utvecklingen.

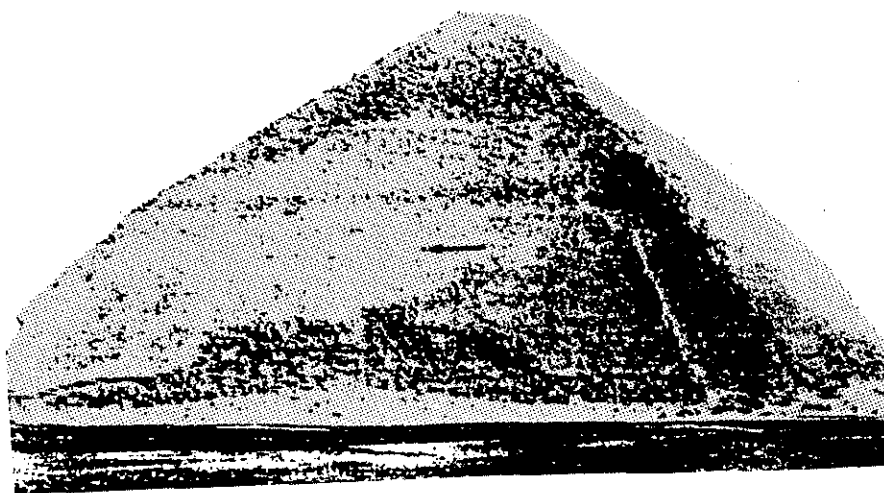
Genom att analysera de sönderfallna stenblock, som omger
pyramiden vid Meidum (från 4. dynastin) i Egypten, anser
sig en fysiker MENDELSSOHN /13/ ha påvisat en omfattande
byggnadskatastrof, som inträffade för cirka 4500 år sedan
- figur 22.



Figur 22 Pyramiden vid Meidum i Egypten, byggd
under 4. dynastin

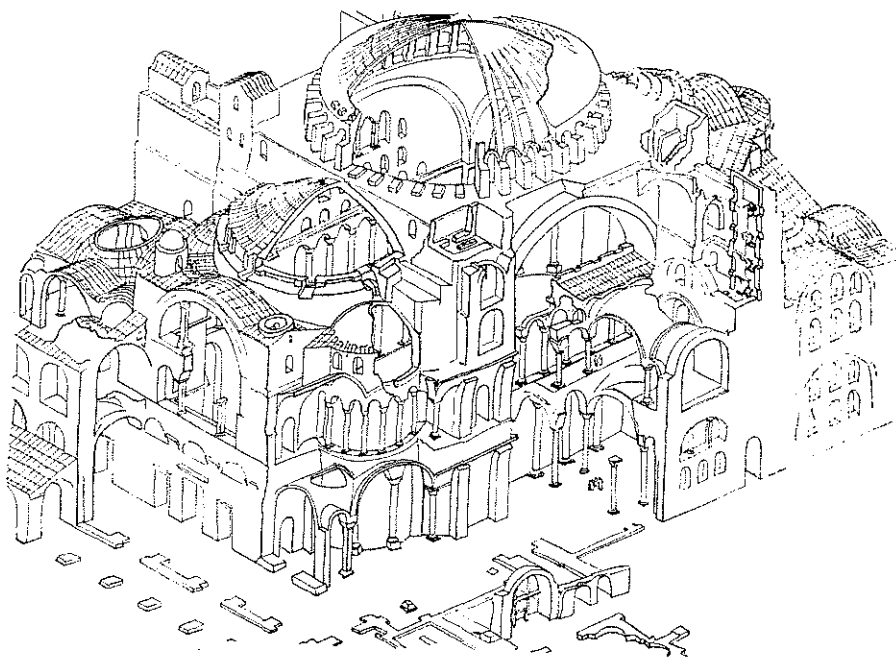
Pyramiden byggdes i tre etapper. I en första etapp uppfördes en pyramid P_1 och i en andra etapp en pyramid P_2 utanpå den första pyramiden. I en tredje etapp täcktes pyramiden P_2 av en yttre stenblocksmantel P_3 . Av denna återstår endast några lägre partier och i övrigt rasmassor. Förankringen mellan såväl pyramiderna P_1 och P_2 som P_2 och P_3 åstadkoms genom endast ett bruksskikt. Då varje pyramid planerades som ett avslutat byggnadsverk, utfördes deras yttre stenblock med plana och polerade ytor, vilket ger dålig vidhäftning och underlättar glidning i övergångarna mellan pyramiderna. Pyramiderna P_1 och P_2 grundlades på berg, medan den yttre stenblocksmanteln P_3 uppfördes mot ett underlag av sand. Förhållandena kan väl förklara den lokala sättning och det omfattande ras, som inträffade för stenblocksmanteln P_3 under eller strax efter utförandet.

Då pyramiden i Meidum rasade, hade Bent-pyramiden vid Dahshur uppförts till en höjd av 50 m. Man observerade lutningen av Meidumpyramidens rasmassor och som en konsekvens härav reducerades lutningen för resten av Bent-pyramiden och därigenom också dess slutliga höjd.



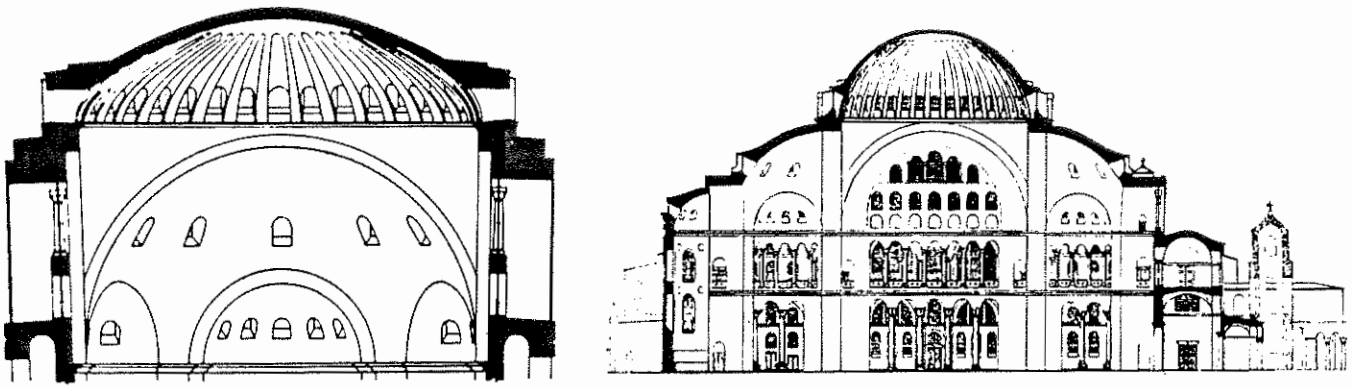
Figur 23 Bent-pyramiden vid Dahshur i Egypten /14/

MENDELSSOHNs förklaring till Meidum-pyramidens rasmassor är tekniskt rimlig. Den ifrågasätts dock av vissa arkeologer.

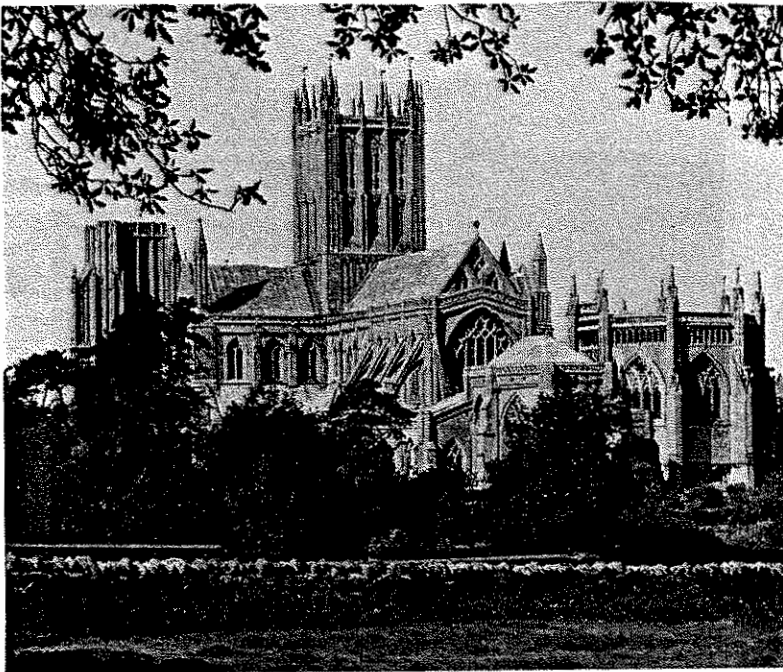


Figur 24 Perspektivisk framställning av stomsystemet för Hagia Sofia i Istanbul /15/

Ett annat uppmärksammat, storskaligt exempel på en katastrof under byggnadstiden är Hagia Sofia, Vishetskyrkan i Istanbul, medeltidens väldigaste byggnadsverk, uppfört 532 - 537 under Justinianus och Theodoras regeringstid - figur 24. Kyrkans första takkupol störtade in 558 vid en jordbävning. Kollapsen berodde på för låg hjässhöjd i förhållande till spännvidden och därav orsakade för höga påkänningar i kupolens nedre del - figur 25. Den störtade kupolen ersattes i direkt följd av den nuvarande kupolen, som har en väsentligt större hjässhöjd och därigenom en gynnsammare påkänningsbild /16/.



Figur 25 Hagia Sofias första, instörtade takkupol (tv)
- rekonstruktionsstudie - och den nuvarande
takkupolen (th)



Figur 26 Katedralen i Wells - ett huvudverk inom
engelsk unggotik /17/

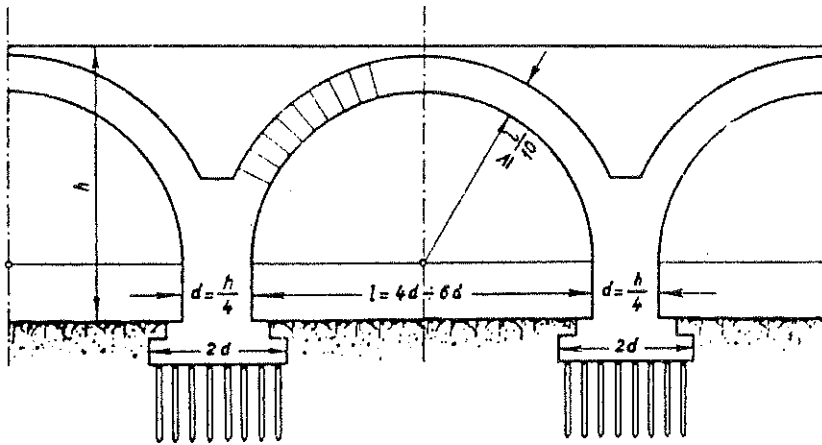
Katedralen i Wells, till största delen från perioden 1180
- 1239, räknas som ett huvudverk inom engelsk unggotik -

"early English" (figur 26). När katedralens centraltorn uppfördes till sin nuvarande höjd 1315 - 1322, började tornet att luta åt väster. 1338 observerades sprickor i tornets murverk. För att förhindra en fortsatt lutningsökning insattes 1340 i kyrkans centrumdel under tornet en sinnrik, tredimensionell bågkonstruktion för att omfördela belastningen från tornet mot grundfundamentet i riktning från väster mot öster (figur 27). Åtgärden hade avsedd effekt.

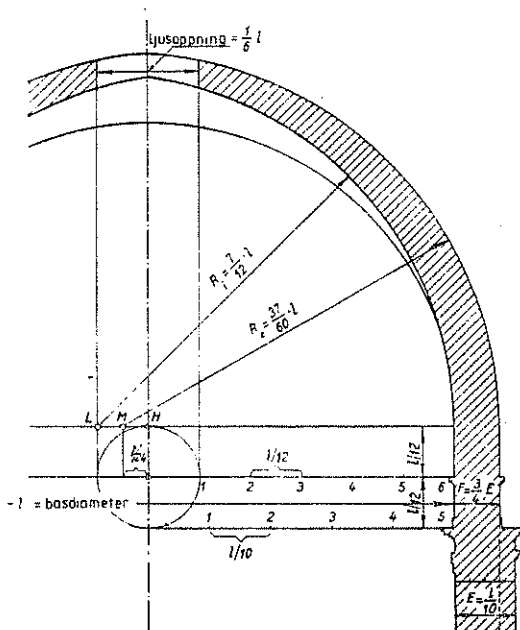


Figur 27 Katedralen i Wells. Tredimensionell dubbelbågs-konstruktion för omfördelning av belastningen från katedralens torn /17/

Erfarenheterna av inträffade misslyckanden utnyttjades för utveckling av matematiska och geometriska konstruktionsregler av tumregelkaraktär. Exempel utgör Leon Battista ALBERTI:s dimensionsregler för stenvalvbögar från 1485 (figur 28) /18/ och Carlo FONTANA:s motsvarande regler från 1694 för utformning av murad rotationskupol (figur 29) /19/.

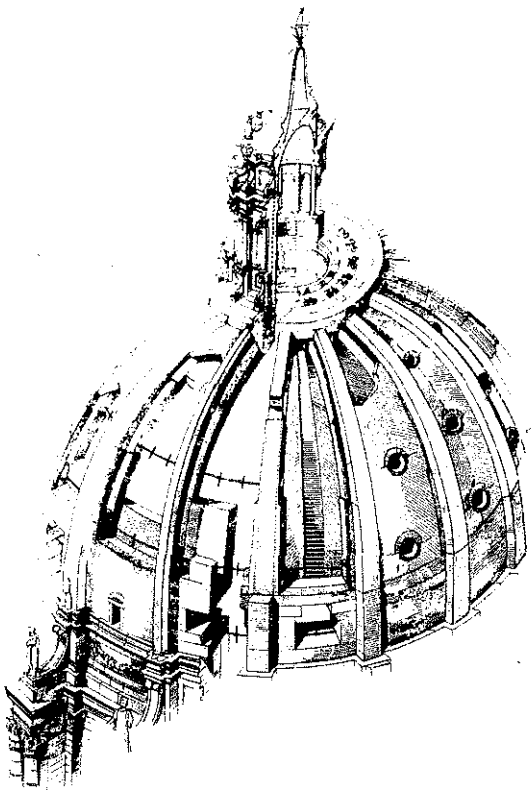


Figur 28 ALBERTIs dimensionsregler för stenvalvbroar
från 1485 /18/



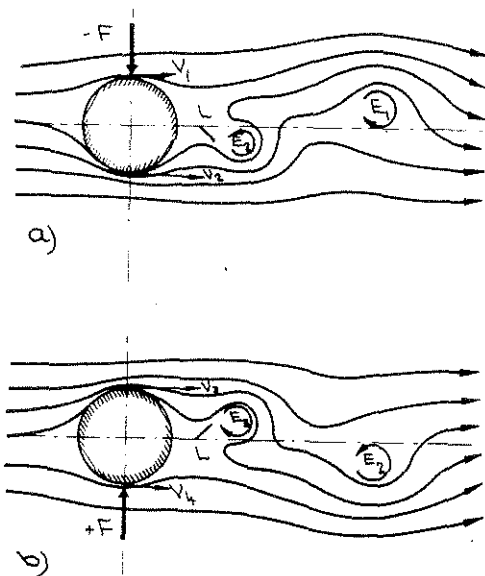
Figur 29 FONTANAs dimensionsregler för murad rotations-
kupol från 1694 /19/

Carlo FONTANAs regler var baserade på bl a erfarenheterna av MICHELANGELOs kupol i Peterskyrkan i Rom (figur 30), kristenhetens största helgedom, färdigbyggd 1592, cirka 30 år efter MICHELANGELOs död. 150 år senare upptäcktes stora sprickor i kupolen och man fruktade, att den skulle störta samman. Den dåvarande påven BENEDICTUS XIV gjorde då något oväntat - han tillkallade tre matematiker, gav dem uppdraget att studera sprickorna och föreslå åtgärder för att förhindra en katastrof. De tre matematikerna utvecklade en primitiv form av en teori och kunde därigenom beräkna byggnadens stabilitet och bärförmåga. Deras slutsats blev, att kupolen borde förstärkas med ytterligare järnband, spända runt kupolens nedre bas. Efter mycket vacklande och efter att också ha vänt sig till en byggmästare för ytterligare råd, beslöt påven, att kupolen skulle förstärkas enligt de tre matematikernas förslag.



Figur 30 Schematisk analys av MICHELANGELOs sätt att konstruera Peterskyrkans kupol /16/

Som avslutande exempel på katastrofer, som på ett betydelsefullt sätt medverkat till teknisk utveckling, väljs en av vårt århundrades mest kända och väldokumenterade brokollapser. Kollapsen inträffade genom en måttlig vindpåverkan med följande fysikaliska bakgrund.

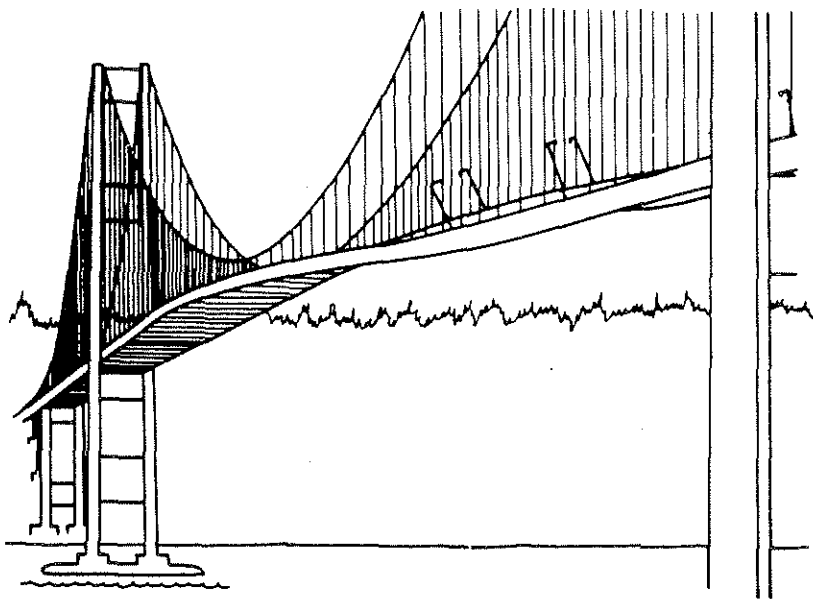


Figur 31 Uppkomst av virvelgata av von KÁRMÁNtyp. Tidskillnaden mellan delfigurerna a) och b) är en virvelavlösningsscykel

Då en luftström träffar t ex en skorsten eller en hängbro's farbanekonstruktion, kommer luftvirvlar att av-
söndras växelvis enligt figur 31. En s k virvelallé eller virvelgata uppstår. I samband därmed blir konstruktionen utsatt för vinkelrät mot luftströmmen verkande, periodiska krafter med en viss frekvens. Denna bestäms dels av vindhastigheten, dels av utformningen av konstruktionens tvärsnitt. Dessa periodiska krafter är allmänt små och som regel betydelselösa ur påkännings- och deformationssynpunkt vid ordinära konstruktioner. I exceptionella fall - nämligen vid extremt mjuk konstruktion, som utsätts för en vindbelastning, som ger en virvelavlösningssfrekvens, som nära sammanfaller med konstruktionens egenfrekvens - kan de måttliga periodiska virvelavlösningsskrafterna emellertid vara

tillräckliga för att ge resonans och därigenom upphov till en vinkelrät mot vindriktningen verkande svängningsrörelse med amplituder av en sådan storleksordning, att konstruktionens bestånd kan äventyras.

Den sannolikt mest bekanta konstruktion, som i sen tid störtat samman genom svängningar från virvelavlösningar, är Tacoma Narrows Bridge, en av de större amerikanska hängbroarna med en fri spännvidd för huvudfacket av 853 m. Bron, öppnades för trafik den 1 juli 1940. Den blev den 7 november samma år utsatt för följande händelseförlopp.



Figur 32 Tacoma Narrows Bridge under vindinducerade svängningar den 7 november 1940 /20/

Tidigt på morgonen blåste en tämligen kraftig vind, som genom periodiska virvelavlösningar kring farbanekonstruktionen försatte bronns huvudspann i en svag vertikal svängningsrörelse. Kl 05.00 hade vinden mojnats väsentligt och den vertikala svängningsrörelsen dämpats praktiskt taget helt. Kl 08.00 hade vindstyrkan ökat kraftigt till 17 m/s och bronns huvudspann befann sig nu åter i en vertikal svängningsrörelse - denna gång med något kraftigare amplituder. Denna svängningsrörelse, vars frekvens uppmättes

till 36 svängningar/min, fortgick relativt oförändrad till ungefär kl 10.00. Därvid ökade vindhastigheten något till 19 m/s. Vid denna tidpunkt inträffade - troligtvis beroende på en lokal glidning av hängstagens kabelinfästningar i fackmitt - en plötslig övergång från de måttliga vertikalsvängningarna till mycket våldsamma torsionssvängningar med amplituder på upp emot 45° (figur 32). Dessa torsionssvängningar, som verkade med så låg frekvens som 12 sv/min, förmådde hängbron motstå under cirka en timme. Därpå inträdde inom loppet av några få minuter brott i ett stort antal av hängstagsinfästningarna i farbanekonstruktionen, vilket medförde, att denna inom huvudspannet lösgjordes från den övriga delen av bron och störtade ned i sundet.

Inga personskador inträffade vid kollapsen. Vid brons ena tillfart hade en lokal bank annonserat med texten "As Safe as the Tacoma Bridge".

Kollapsen blev en chockartad erfarenhet för brokonstruktörerna. Så borde emellertid icke ha blivit fallet, om äldre erfarenhet av likartade katastroffall hade tagits



Figur 33 Överstelöjtnant REIDS skisser över Brighton Chain Piers kollaps den 30 november 1836

till vara. Den 30 november 1836 kollapsade ett av de fyra spannen i Brighton Chain Pier i Sussex vid Engelska Kana-len med ett brottbeteende av samma typ som för Tacoma-brons kollaps. Händelsen har beskrivits av ett ögonvittne, överstelöjnanten REID vid the Royal Engineers, sedermera guvernör av Bermuda. Till beskrivningen hör de i figur 33 visade skisserna, som i REIDs rapport kommenteras på följande sätt:

"Övre skissen visar brons kraftigaste vågrörelse före brott; den undre skissen tillståndet efter brott".

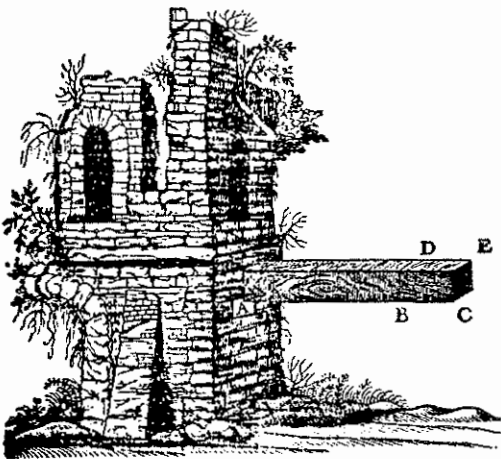
Fenomenet diskuteras och analyseras vidare i Transactions of the Royal Scottish Society of Arts. Vol. I, 1841 av JOHN SCOTT RUSSEL i en uppsats "On the Vibration of Suspension Bridges and Other Structures; and the Means of Preventing Injury from this Cause". Han visar därvid hur kollapsen av Brighton Chain Pier verifierar av honom själv tidigare genomförda undersökningar. En ytterligare parallell till Tacomabrons brottbeteende utgör kollapsen genom vindinducerade svängningar den 17 maj 1854 av en hängbro över Ohio River vid Wheeling. Också från denna kollaps finns ögonvittnesskildringar, redovisade i Wheeling Intelligencer påföljande dag och omtryckta i New York Times fyra dagar senare.

Insatt i sitt historiska sammanhang understryker Tacomabrons kollaps åskådligt vikten av att skadefall omsorgsfullt analyseras och att kunskaperna härifrån publiceras på ett sådant sätt, att de lätt kan tas tillvara i framtida projektering, dimensionering och byggande. Projekteringen och dimensioneringen av den nya Tacomabron föregicks av omfattande teoretiska och experimentella studier av vindinducerade svängningar. Detta ledde till en aerodynamiskt stabil bro (figur 34) med en egentyngd, som är 50 % större än sin föregångare, och med förstyrningsbalkar av fackverkstyp med 9.9 m höjd i stället för den kollapsade brons 2.4 m höga förstyrningsbalkar med helt liv.



Figur 34 Nuvarande Tacoma Narrows Bridge, öppnad för trafik i oktober 1950

5. Jakten på rekord som en stimulans för teknisk utveckling



Figur 35 I sina "Dialoger" från 1638 behandlar GALILEI bl a en balks gränsspännvidd

I sina "Dialoger" från 1638 skriver GALILEI bl a följande - figur 35:

Bland massiva balkar av lika form finns det en och endast en, som under inverkan av sin egen vikt får

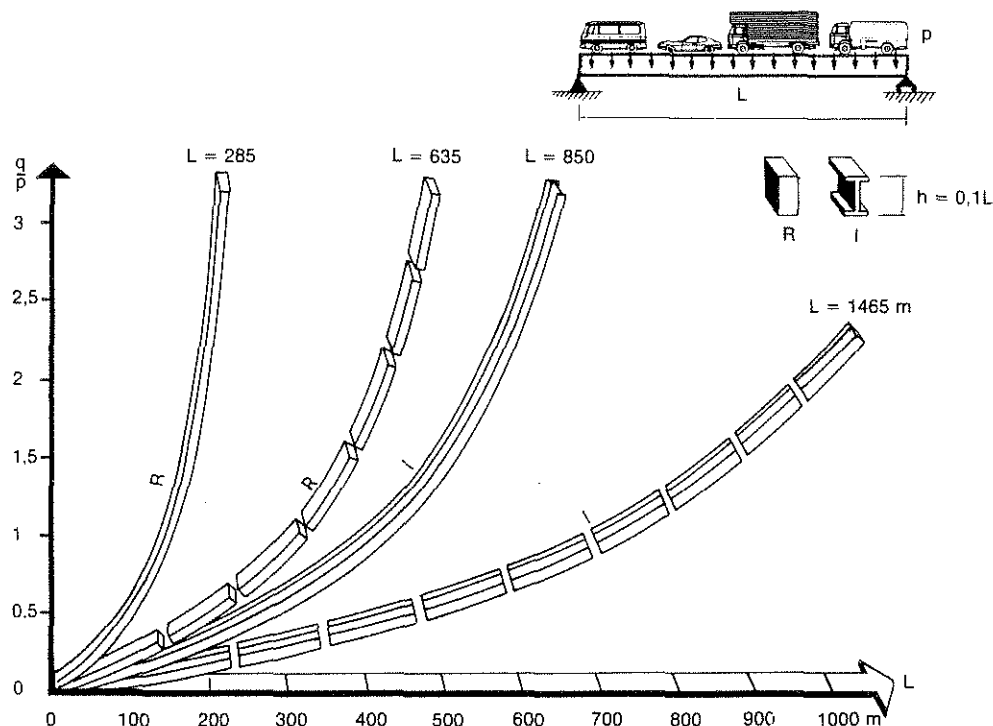
en största spänning som ligger just på gränsen mellan brott och icke brott; det betyder, att varje balk, som görs större än denna gränsbalk, ej förmår bära sin egen vikt utan brister, medan varje balk, som görs mindre, utöver sin egen vikt förmår bära också någon tillskottslast, innan bristning sker".

Låt oss utveckla GALILEIs tankegång i tillämpning på nuvarande konstruktionsteknik och konstruktionsmaterial.

Figur 36 illustrerar GALILEIs problem för en på två stöd upplagd balkbro, belastad av sin egentyngd q och en jämnt fördelad trafiklast p per längdenhet. Brons spännvidd är L . Två olika typer av brobalkar visas, dels en med rektangulärt tvärsnitt (R), dels en med I-format tvärsnitt (I). Tvärsnittets höjd är h och de redovisade kurvorna förutsätter, att tvärsnittshöjden h är 10 % av spännvidden L ($h = 0.1 L$).

Bestämmer vi oss för att utföra brobalkarna av ett visst material, kan vi beräkna sådana kurvor, som presenteras i figur 36. Dessa förutsätter, att balkarna är gjorda av ett vanligen använt konstruktionsstål, stål 1411. Kurvorna beskriver ett samband mellan förhållandet q/p och spännvidden L . De streckade kurvorna anger därvid hur lång spännvidden L kan göras för olika värden på q/p , för att vi precis skall uppnå, att bron går sönder - att brott inträffar. För $q/p = 1$, dvs om brons egentyngd q och trafiklasten p är lika stora, inträffar detta för den ungefärliga spännvidden $L = 320$ m, om brobalkarna har rektangulärt tvärsnitt, och för $L = 735$ m, om brobalkarna har I-format tvärsnitt. Det I-formade tvärsnittet är alltså mer materialekonomiskt i detta fall än det rektangulära.

Med ökat förhållande q/p , dvs ju större brons egentyngd q är jämfört med trafiklasten p , växer den mot brott svarande gränsspännvidden för bron L . För gränsfallet, att bron en-



Figur 36 Samband mellan förhållandet egentvngd q / trafiklast p och spännvidden L för en på två stöd upplagd brobalk, utförd av ett vanligen använt konstruktionsstål, stål 1411. De streckade kurvorna svarar mot, att ett brottillstånd uppnås, och de heldragna, att enligt gällande bestämmelser tillåtna påkänningar uppträder /22, 23/

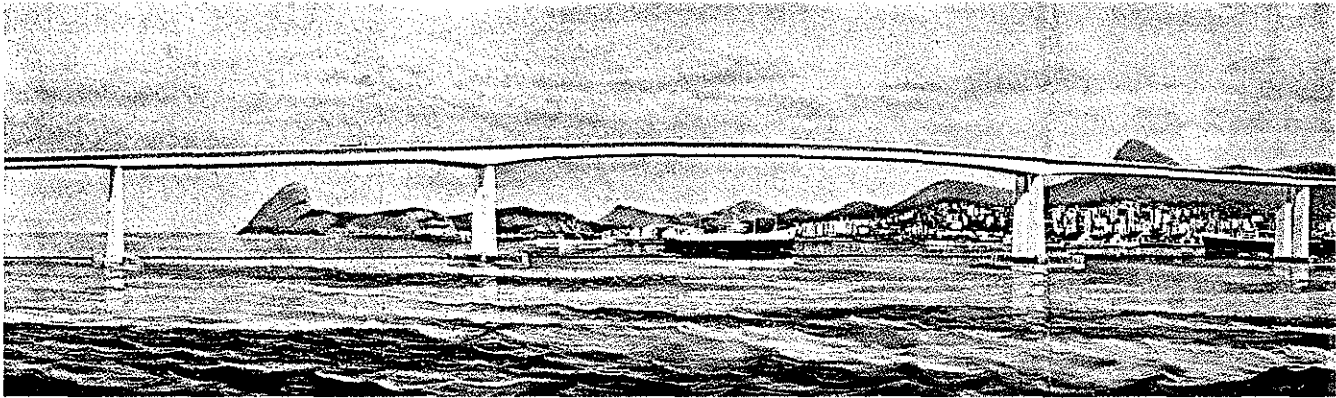
dast belastas av sin egentvngd, sker brott vid den ungefärliga spännvidden 635 m vid rektangulärt tvärsnitt och 1465 m vid I-format tvärsnitt för brobalkarna.

I praktiken krävs, att byggnader dimensioneras med en viss säkerhet mot att brott inträffar. Detta regleras genom officiella bestämmelser. Detta leder till tillåtna spännvidder, som är väsentligt mindre än de, som svarar mot brott. I figur 36 visar de heldragna kurvorna sådana tillåtna spännvidder. För fallet, att egentvngden q och trafiklasten p är lika stora ($q/p = 1$), uppgår den tillåtna spännvidden till ungefär 425 m, om brobalkarna är utförda med I-format tvärsnitt. Med ökat förhållande q/p växer den

tillåtna spännvidden till gränsvärdet 850 m, som svarar mot belastning av endast egentygnden.

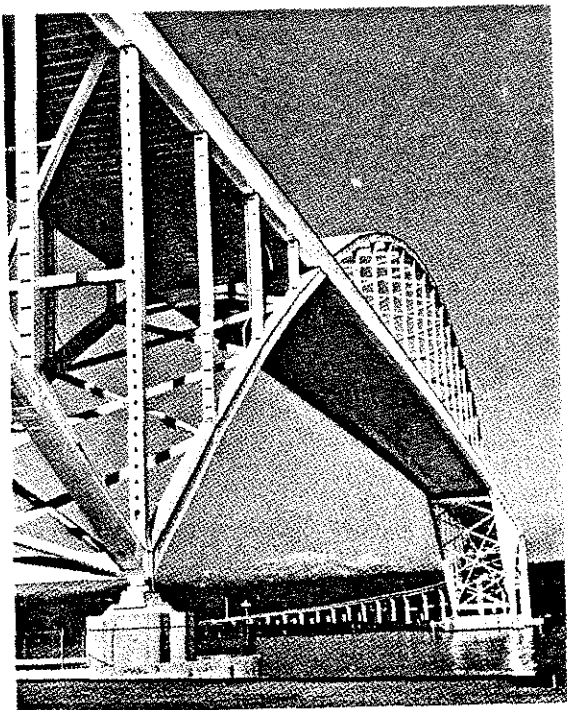
Om tvåstödsbalken utgör ett innerfack i en kontinuerlig balkbro i flera fack - figur 37 - ökar den tillåtna spännvidden med cirka 50 %.

Den största realiserade spännvidden för balkbroar i stål är 300 m - innerfack i en bro över Guanabara Bay vid Rio de Janeiro i Brasilien (figur 37) och för balkbroar i armerad betong 230 m - bro vid Ön Shikoku (Kochi) i Japan.



Figur 37 Kontinuerlig stålbalksbro över Guanabara Bay vid Rio de Janeiro, Brasilien. Spännvidder 200 + 300 + 200 m

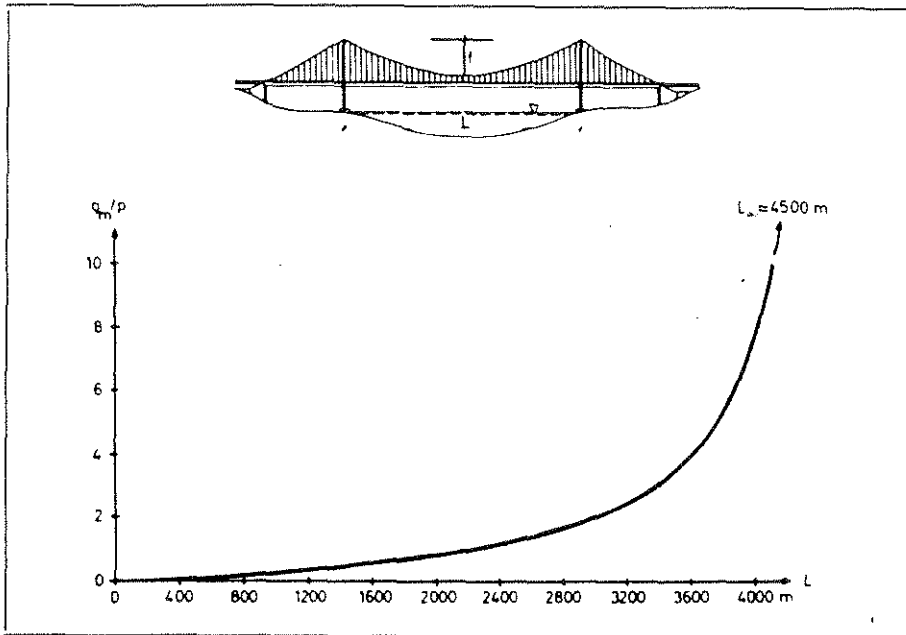
I förhållande till balkbron ger en valv- eller bågbro en förmånligare upptagning av trafiklast och egentyngd. Som en följd härav har valv- eller bågbroar utförts med större spännvidder än balkbroar. Med godtagbar ekonomi skulle idag en spännvidd kunna tillåtas, som för en betongbågbro är ungefär 350 m och för en stålbågbro ungefär 1400 m /24/. Av utförda betongbågbroar är Gladesvillebron i Sydney störst med spännvidden 305 m. Inom gruppen stålbågbroar med massivt tvärsnitt intar Port-Mann Bridge i British Columbia med spännvidden 366 m och en av de ledande platserna - figur 38.



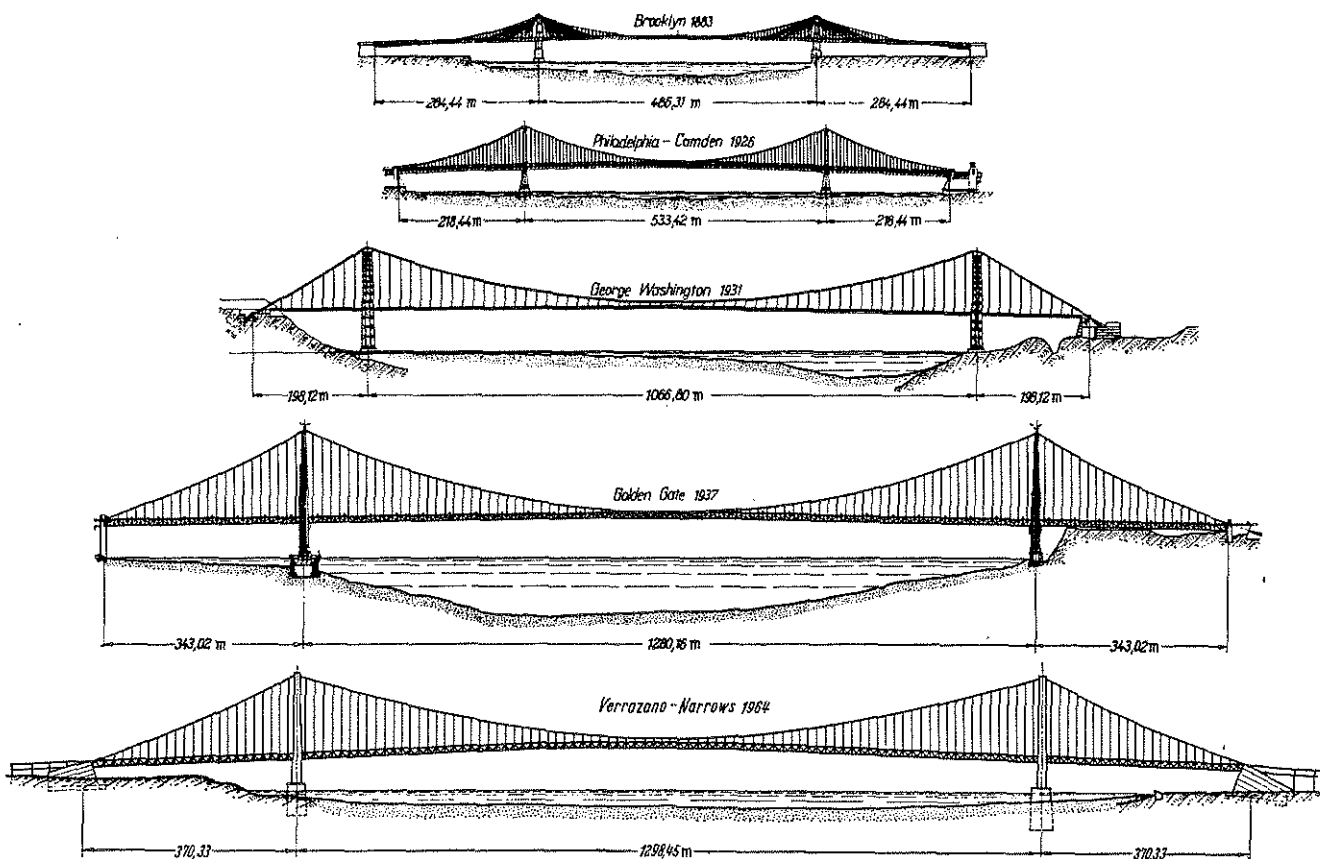
Figur 38 Port-Mann Bridge i British Columbia. Stålbågbro med spännvidd 366 m

En ännu förmånligare lastupptagning gäller för hängbron. Figur 39 visar för en konventionellt utformad hängbro ett representativt samband mellan tillåten spännvidd L och egentyngd- trafiklast-förhållandet q_m/p /22/. Av figuren framgår en tillåten spännvidd, som för $q_m/p = 1$ uppgår till 2250 m, för $q_m/p = 2$ till 3000 m och för $q_m/p = 4$ till 3600 m. Gränsvärdet för den tillåtna spännvidden är ungefär 4500 m. Därvid ger egentyngheden ensam maximalt tillåten påkänning och något ytterligare påkänningsutrymme finns därför ej för någon trafiklast.

Den praktiska spännviddsutvecklingen för hängbroar illustreras fragmentariskt av figur 40, som visar hur den största spännvidden vuxit för amerikanska hängbroar från 486 m för den år 1883 utförda Brooklyn Bridge i New York till 1298 m för Verrazano-Narrows Bridge i New York, öppnad för trafik 1964. Världens längsta hängbro är nu Humber Bridge vid Hull i England med spännvidden 1410 m, invigd 1981.

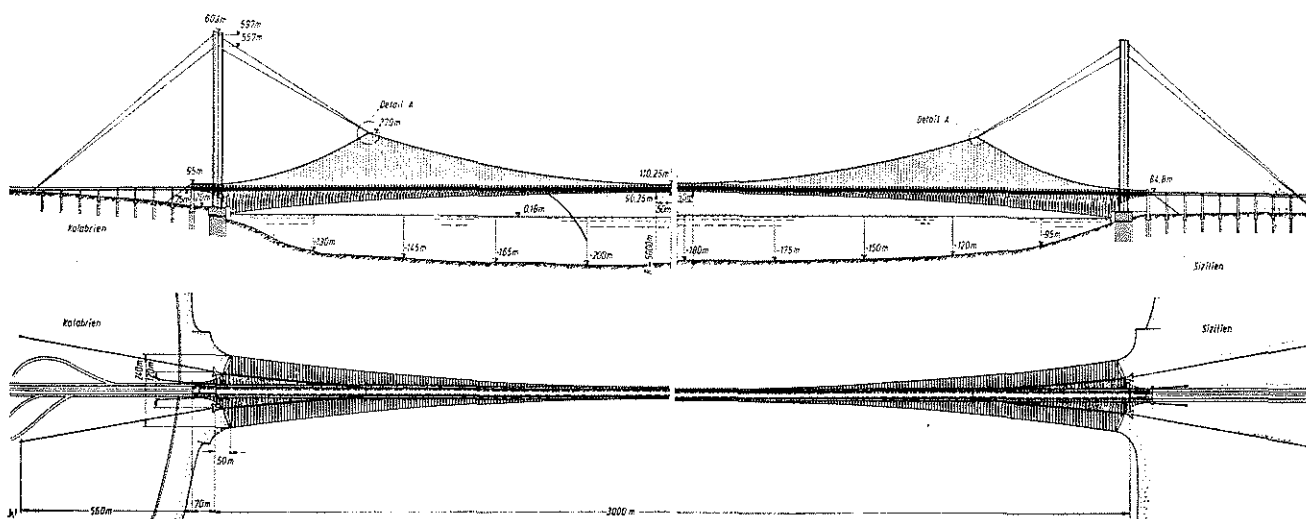


Figur 39 För konventionellt utformad hängbro beräknat samband mellan tillåten spännvidd L och egen-tyngd-trafiklastförhållandet q_m/p /22/



Figur 40 Spännviddsutvecklingen för amerikanska hängbroar /25/

Redan 1971 redovisade den italienske professorn Sergio MUSMECI /26/ ett projekt för en hängbroförbindelse över Messina-sundet mellan det italienska fastlandet och Sicilien - figur 41. Den föreslagna bron har en spännvidd på 3000 m och skulle förverkligad medföra mer än en fördubbling av gällande spännviddsrekord. En sådan bro skulle också placera oss nära den spännviddsgräns, som är praktiskt uppnåelig med de idag tillgängliga konstruktionsmaterialen.



Figur 41 Av Sergio MUSMECI utarbetat projekt för hängbro över Messina-sundet. Spännvidd 3000 m /26/

6. Sammanfattande kommentar

Genom ett antal artskilda exempel - valda från det byggnadstekniska området i vid mening - har vi nu försökt belysa några karakteristiska fenomen inom teknikhistorien.

Från den inledande beskrivningen av geodesins utveckling har vi kunnat observera den växling, som skett historiskt av denna vetenskaps referensram. I den tidiga historien gav därvid studier av fenomen på jorden underlaget för uppfattningen om kosmos. I dag bildar i stället resultat från studier av kosmos den väsentliga grunden för kunskapen om vår planets uppkomst, ålder, utveckling och dynamik.

Från de olika exemplen kan vidare bl a följande fenomen identifieras:

- * Utvecklingen är inte sällan ojäm. Från balkböjningsteorien har vi sett, hur ett elementärt fel kan finnas kvar i en lång utveckling, som i övrigt är korrekt och som innehåller mycket avancerade inslag.
- * Utvecklingen innehåller många fall av språngvist ökad kunskap genom banbrytande insatser. Ofta har informationen om insatserna varit dålig, vilket medfört, att det har kunnat ta mycket lång tid för omvärlden att hämta in försprånget. I avsnittet om LEONARDO DA VINCI's bidrag till byggnadsteknikens utveckling ges flera exempel på sådana insatser.
- * I den tekniska utvecklingen ingår misslyckanden som en ofrånkomlig komponent med skador och katastrofer som följd. Om erfarenheterna härav tas till vara, utgör också misslyckandena positiva bidrag till utvecklingen - t ex genom att de identifierar nya

fenomen. Redan tidigt i teknikhistorien har erfarenheter av inträffade incidenter värderats och använts för att t ex utveckla konstruktionsregler av tumregelkaraktär. I vår historiska översikt är ALBERTIs dimensionsregler för stenvalvbroar och FONTANAs motsvarande regler för utformning av murad rotationskupol kvalificerade illustrationer härav. Tyvärr innehåller utvecklingen också många exempel på incidenter, som antingen inte utvärderats och dokumenterats eller fått en otillfredsställande spridning av sin dokumentation. Kollapsen av den stora amerikanska hängbron Tacoma Narrows Bridge har en sådan bakgrund.

- * Jakten på rekord utgör en viktig stimulans av den tekniska utvecklingen. I vår översikt har detta belysts för brokonstruktioners spännviddsmöjligheter. De vetenskapliga framstegen har därvid utnyttjats för utveckling av nya konstruktionssystem och nya konstruktiva detaljlösningar, för en mer rationell formgivning och för ett mer optimalt materialutnyttjande. Parallellt utvecklas nuvarande konstruktionsmaterials hållfasthetsegenskaper samtidigt som nya material tas fram.

Teknikhistoriens stora portalfigurer har nästan undantagslöst kunnat kombinera kunskapsdjup och brett kompetensområde. Inte sällan har de fört utvecklingen framåt genom en integration av vetenskapliga och ingenjörsmässiga insatser. I dag kännetecknas utvecklingen av en ökande komplexitet och en alltmer långtgående specialisering. I en sådan utveckling är det angeläget, att vetenskap och teknik har balans och samverkan mellan generalister och specialister och att också viktiga frågor, som ligger i gränsen mellan olika kompetensområden ägnas tillräcklig uppmärksamhet.

Kännetecknet för god ingenjörskonst har varit, är och kommer alltid att vara en fulländad syntes mellan å ena sidan en konstruktiv fantasi och skaparförmåga och å andra sidan en på vetenskaplig grund baserad skicklighet i att utnyttja de beräkningsmässiga och provningstekniska verktygen för dimensionering och kontroll.

En av portalfigurerna i hållfasthetslärans och brobyggnadsteknikens utveckling NAVIER (1785 - 1836) har yttrat:

"Att ge sig i kast med ett stort arbete, och i all synnerhet ett arbete inom ett nytt område, är att göra ett experiment; det betyder att med naturkrafterna upptaga en envigskamp, ur vilken man långt ifrån är säker på att utgå som segerherre vid det första angreppet".

Till denna framstegsbeskrivning är det angeläget att foga det historiska perspektivet - det villkor, som ger teknologien dess humanistiska kvalitet. I en beskrivning av politiken har ARISTOTELES beskrivit detta historiska villkor på följande sätt:

"Här liksom på andra områden kan vi icke förvärva bästa möjliga insikt i tingen, förrän vi också har sett dem utvecklas från sin begynnelse".

Beskrivningen är fundamental också för all teknisk utveckling.

Referenser

- /1/ ALLSOPP, B.: The Study of Architectural History.
Studio Vista, London, 1970.
- /2/ SAGAN, C. & LEONARD, J.N.: Planeterna. Aldus/Bonniers,
Stockholm, 1970.
- /3/ SJÖBERG, L.E.: Från geometri till modern geodesi.
KTH-forskare informerar 1985, "Mellan himmel och
jord", Stockholm, 1985, s 29 - 33.
- /4/ ANDERSON, A.J.: Satelliter genomskådar jorden.
Forskning och Framsteg, 3/1985, s 42 - 50.
- /5/ GALILEI, G.: Dialogues concerning Two New Sciences.
Dover Publications, New York, 1914.
- /6/ TIMOSHENKO, S.; History of Strength of Materials.
Mc Graw Hill, New York-Toronto-London, 1953.
- /7/ BERNOULLI, Jacques: Histoire de l'Académie des
Sciences de Paris, 1705.
- /8/ PARENT: Essais et Recherces de Mathématique et de
Physique, Paris, 1713, Vol. 2, p 567, et Vol. 3,
p 187.
- /9/ ZAMMATTIO, C., MARINONI, A. & BRIZIO, A.M.: Leonardo -
Vetenskapsmannen. René Coeckelberghs International
Publishings, 1980.
- /10/ STRAUB, H.: Die Geschichte der Bauingenieurkunst.
Birkhäuser Verlag, Basel und Stuttgart, 1964.
- /11/ STUZZI, F.: Leonardo da Vincis Entwurf für eine
Brücke über das Goldene Horn. Schweizerische Bau-
zeitung, Nr 3, 1953, S 113.
- /12/ STEINMAN, D.B. & WATSON, S.R.: Bridges and their
Builders. Dover Books on Science, New York, 1957.
- /13/ MENDELSSOHN, K.: The Riddle of the Pyramids.
Thames and Hudson, London, 1974.

- /14/ BLOCKLEY, D.: The Nature of Structural Design and Safety. Ellis Horwood Limited, Chichester, 1980.
- /15/ LUNDBERG, E.: Arkitekturens formspråk, Del II. Nordisk Rotogravyr, Stockholm, 1951.
- /16/ CORNELL, E.: Byggnadstekniken - metoder och idéer genom tiderna. Byggförbundet, Stockholm, 1970.
- /17/ HARTON, F.P.: Wells Cathedral. Pitkin Pictorials Limited, London, 1973.
- /18/ ALBERTI, L.B.: De Re Aedificatoria. Florens, 1485.
- /19/ FONTANA, C.: Il Tempio Vaticano e Sua Origine. Rom, 1694.
- /20/ FARQUHARSON, F.B.: Aerodynamic Stability of Suspension Bridges. University of Washington, Engineering Experiment Station, Bulletin No. 116, Part I, 1950.
- /21/ PETTERSSON, O.: Några byggnadskatastrofer genom tiderna. Väg- och vattenbyggaren, Nr 11, 1977.
- /22/ PETTERSSON, O.: Byggnadskonstruktioner med stora spännvidder. Väg- och vattenbyggaren, Nr 6, 1972.
- /23/ PETTERSSON, O.: Stor, större, störst - finns det någon gräns? Forskning och Framsteg, 7/1978, s 50 -54.
- /24/ PETTERSSON, O.: Betongkonstruktionen - historik och framtida spännviddsmöjligheter. Nordisk Betong, 1962:1, s 21 - 50.
- /25/ VIROLA, J.: The Worlds Greatest Bridges Early in the 1970's. Kjessler & Mannerstråle, Stockholm, 1970.
- /26/ PFANNMÜLLER, F.: Projekt einer Brücke über die Meerenge von Messina. Der Stahlbau, H.2, 1971.
- /27/ STUZZI, F.: Das Problem der grossen Spannweite. Mitteilungen der T.K.V.S.B., Nr. 10, Verlag V.S.B., Zürich, 1954.