

BROULYKKERS HISTORIE

Tekniske konstruktioners begrænsning



Jørgen Burchardt er grafisk ingeniør fra Den Grafiske Højskole, etnolog fra Københavns Universitet og har efterfølgende uddannelse fra Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm og Deutsches Museum, München. Han har arbejdet i museumsverdenen, bl.a. som direktør for Danmarks Vejmuseum, og forsker i dag i lastbiler og landevejstransport for Museum Vestfyen. Han har skrevet 40 bøger og mange hundrede artikler – transportrelaterede bøger er: „Guds på vej. Vejtransportens danmarkshistorie“, „En dansk bushistorie“, „Lydpotter, arbejde og ledelse“ og er medforfatter til „Lige ud ad landevejen. Med hestevogn og bil på amternes veje 1868-2006“. www.burchardt.name

Ofte handler historieskrivning om succeser. Denne artikel gør det modsatte - den analyserer kollapsede broer, som resulterer i, at man pludselig mister et vigtigt led i transportnettet. Der er mange årsager til ulykkerne - forkerte valg af materialer og design, dårligt konstruktionsarbejde, og evt. senere kombineret med dårligt tilsyn og vedligeholdelse. Der kan også være eksterne årsager som storm, oversvømmelse, påsejling af skibe eller påkørsel af køretøjer.

Artiklen vil også beskrive broers tekniske udvikling og vise de faktiske begrænsninger for specifikke konstruktionsmetoder og materialer. Større broer betyder ofte længere spænd - det er en udfordring, der strækker konstruktørens

indsats til ukendte grænser. Stræben efter bedre konstruktioner sker på et område, der ikke er eksakt videnskab.

Om aftenen d. 8. februar 1972 hørte vi i pressen, at den et år gamle bro ved Fiskebæk i Farum var styrtet sammen. Mange ville se ulykken, og snart måtte politiet udkommandere lige ved 100 mand for at afspærre området og fjerne tusindvis af tilskuere.¹

Betonbroen var bygget for Vejdirektoratet med Københavns Amts bygningsinspektorat som udførende. Man var tæt på at være klar til at indvie broen med den vigtige motorvej i hovedstadens infrastruktur.

Hvordan kunne uheldet ske? Var det endnu et eksempel på dårligt offentligt byggeri i lighed med det ufærdige Herlev Sygehus, som Københavns Amt også havde stået for?

Allerede tre dage efter nedsattes en tre-mands undersøgelseskommission. De begyndte med at kontrollere beregningerne bag byggeriet, men disse var korrekte. Man koncentrerede sig herefter om piloteringen.² Piloteringen i den bløde mosejord var udført med såkaldte Frankipæle, som var en velkendt teknik baseret på en opfindelse fra 1910. Pæle støbes løbende i enden af et kraftigt stålrør, efterhånden som de løftes op.³ Et større projekt iværksattes, og piloteringspælene blev gravet fri. I den store udgravning kunne man tydeligt se store fejl med manglende armering

og forkert støbning ved flere af pælene. Man undersøgte i øvrigt tilsvarende pilotering ved andre broer, og fejl ved to andre broer måtte repareres.⁴

Den endelige rapport fra undersøgelseskommissionen kom knap to år efter ulykken, og de deforme piloteringspiller havde hele skylden. Københavns Amts tilsyn burde dog have konstateret manglende armering og var derfor medskyldig.⁵

Kort efter uheldet satte man byggeri i gang for at erstatte den 92 meter ødelagte del af broen. Den blev dog ikke igen bygget i beton, men fik en overbygning af kasseformede stålprofiler bygget hos skibsværftet B & W. Den fik heller ikke tre fag som den sammenstyrtede del, men man nøjedes med kun to.⁶ I alt havde broens sammenstyrning kostet mere end 30 mio. kr.: mindst 12 mio. kr. til forstærkning af den eksisterende bro, andre 12 mio. kr. til genopbygningen, 3 mio. kr. til oprydning og endelig 3 mio. kr. for undersøgelsen.⁷

Vejdirektoratet ønskede erstatning og iværksatte Danmarks vistnok største civile erstatningssag. Man stævnedede entreprenørfirmaet C. T. Winkel, og helt usædvanligt rejste den offentlige virksomhed samtidig sag mod en anden offentlig virksomhed, Københavns Amts Vejevæsen, for manglende tilsyn.⁸ Vejdirektoratet bekendtgjorde endvidere, at man ikke fremover ville lade Københavns Amt stå for større broprojekter, hvorfor beskæftigelse af



Den ødelagte Fiskebækbros i 1972. Broen havde stået færdig i et år, da tre fag pludselig kollapsede. Heldigvis var motorvejen på broen endnu ikke taget i brug. Foto: Karl Høver. Scanpix.

amtets 20 broingeniører kom i fare.⁹ Firmaet C. T. Winkel trådte efterfølgende i likvidation, da staten som følge af erstatningskravet havde indefrosset 1 mio. kr. fra et helt andet projekt.¹⁰ Først i 1978 – 6 ½ år efter ulykken – endte retssagen. Her dømtes Københavns Amt at betale 12 mio. kr.¹¹

Dixon Bridge

Ingen mennesker kom til skade ved Fiskebækbrosens kollaps. Det var desværre ikke tilfældet med en bro i Dixon, Illinois, USA. En søndag i maj 1873 skulle den lokale baptistkirke døbe seks mennesker i den lokale flod. En stor del af byens lidt mere end fire tusinde indbyggere fulgte dåben, og flere hundrede af dem stod på vestsiden af den nye bro for at følge dåben på flodens nordbred. Broen var bygget af tynde støbejernsstykker sat sammen i et gitterværk med gågader på begge sider af vejbanen.¹²

Pludselig hørtes en høj lyd fra den første bropille, og det nordlige spænd faldt i vandet. Snart faldt det sydlige spænd også i vandet, mens de resterende tre spænd deformedes, men blev stående. De fleste mennesker faldt i det kolde

vand seks meter nede. Konsekvenserne af sammenbruddet var katastrofale. I de næste dage måtte kirkerne i den lille by begrave 46 ofre.

Hvad var årsagen?

Var det menneskemængden, der overbelastede broen? Var det konstruktøren, der havde leveret et defekt design? Var de leverede jernstænger af for dårlig kvalitet? eller undlod de lokale myndigheder at inspicere broen med det resultat, at løsnede bolte ikke blev efterspændt?

Som ved mange lignende ulykker fandtes ikke en enkelt årsag til sammenbruddet, men ofte er der tale om flere hændelser i en serie - og som regel kan de diskuteres.

Undersøgelse af ulykker

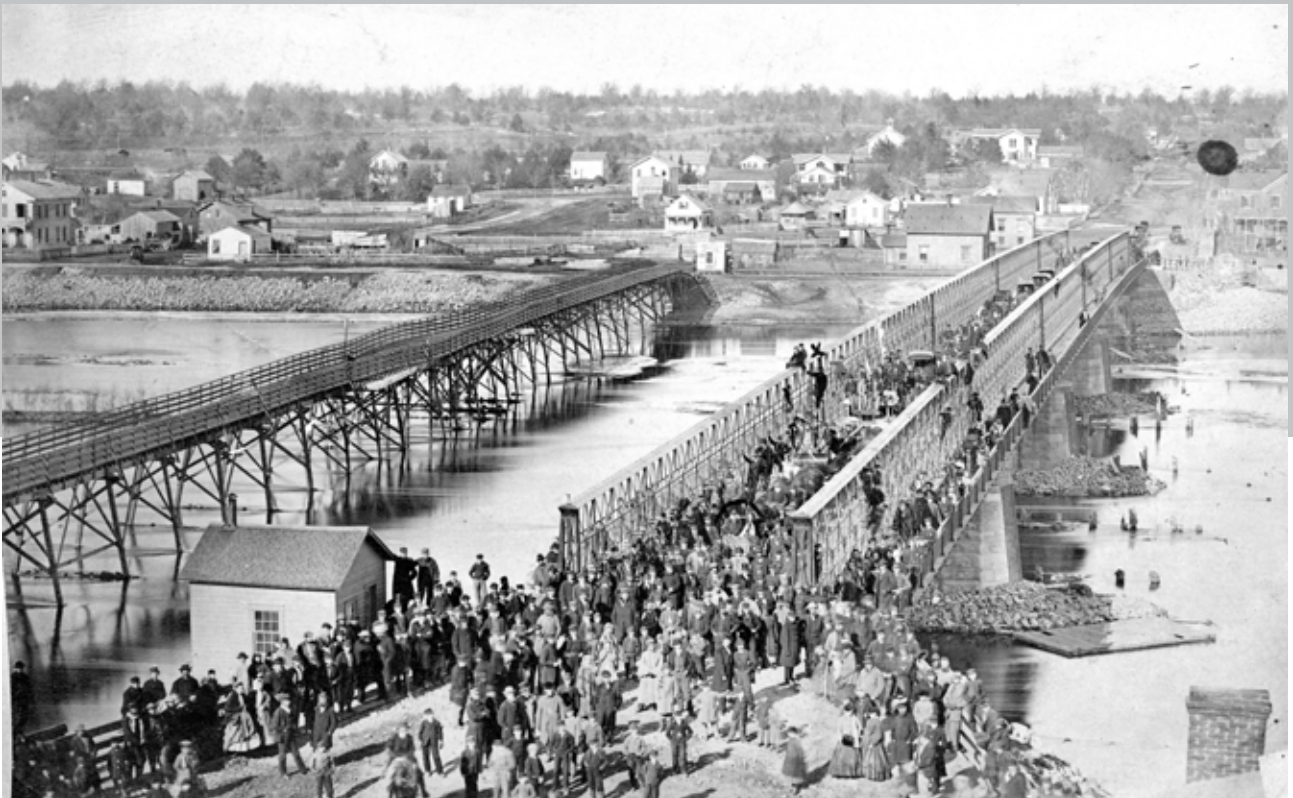
Dette er blot en af flere tusinde alvorlige brokollapser gennem historien. Byggeri er ikke en eksakt videnskab, og ingeniører er nødt til at stole på erfaring og egen kreativitet, når de ønsker at udarbejde nye konstruktioner. Især i broingeniørernes verden er større spændvidder centrale. Med større spænd kan siderne af en stor dal eller flod forbindes. Øer kan forbindes med

fastlandet. Bedre infrastruktur betyder hurtigere og billigere transport og er et grundlag for højere velstand.

Nye design, standarder og procedurer giver nye muligheder, men stiller også nye spørgsmål. Meget viden om broteknologi er baseret på tidligere fiaskoer. Først når en struktur mislykkes, opdages grænserne for en konstruktion, som kan studeres og forstås. Herfra kan nye teoretiske modeller og formler udvikles.

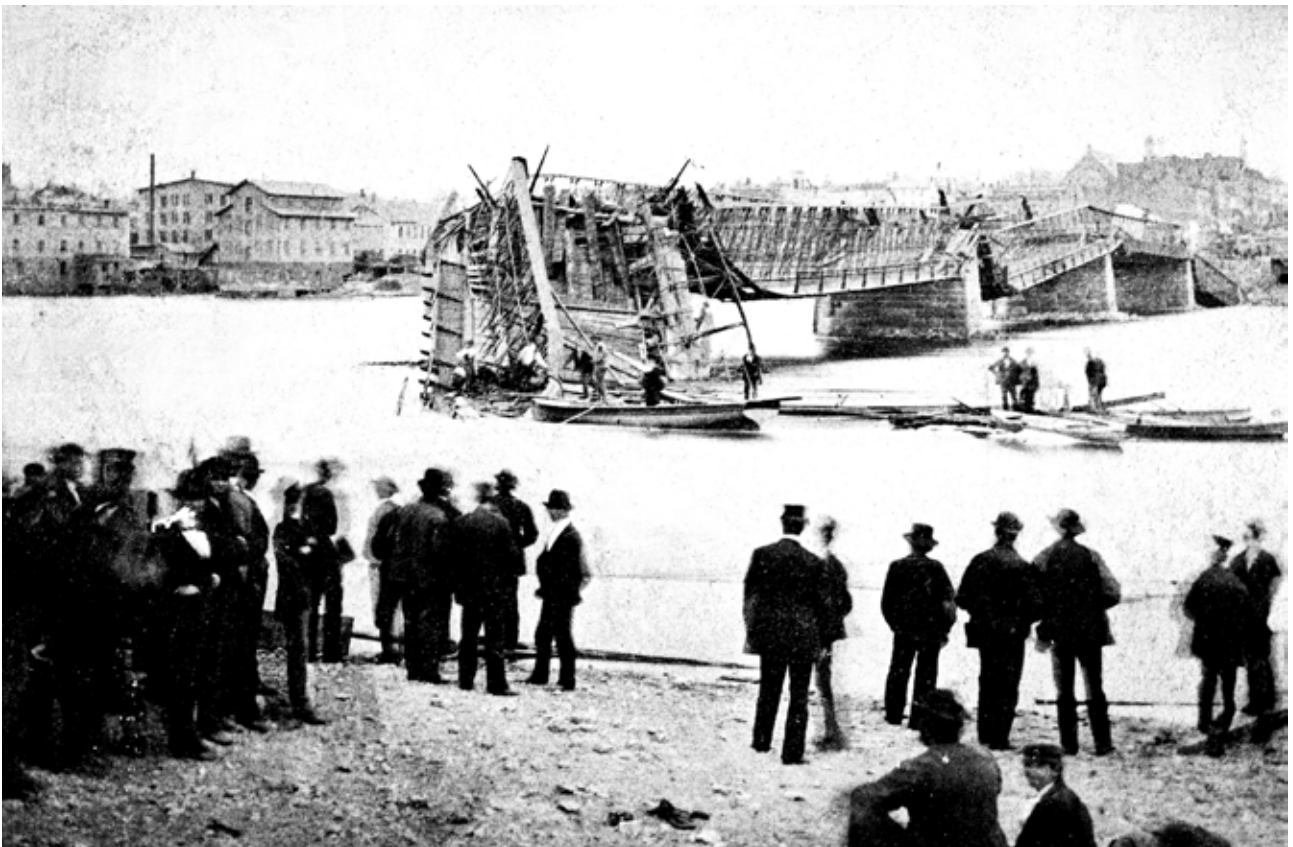
En ny retning inden for ingeniørfeltet er "forensic engineering". Som det argumenteres om disciplinen: "Hvilken læge vil kun undersøge raske personer?"¹³ Dette nye område undersøger fejl forårsaget af materialer, produkter, strukturer eller komponenter. Det er i princippet et gammelt felt, men nu undersøges og rapporteres alle store broulykker internationalt gennem videnskabelige tidsskrifter og diskuteres løbende på kongresser. Casestudier indgår nu også som en del af civilingeniøruddannelsen.¹⁴

Da den senere professor på DTU, Niels J. Gimsing til en avis kommenterede Fiskebæk-brosens kollaps, sagde han, at han med rette var skuffet over uheldet, for det var "konstruktionsmæssigt uinteressant" at finde fejl i



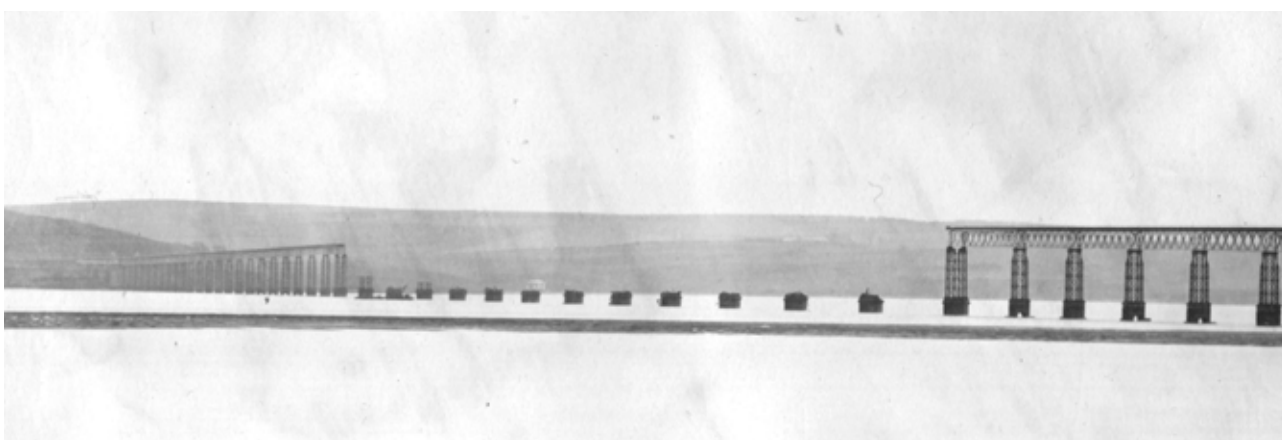
Folk var glade ved åbningen af Dixon's nye støbejernsbro i 1869. Til venstre ses den hidtidige træbro, og bomhuset for betaling. Foto: Charles Keyes. The Lee County Historical & Genealogical Society and the Loveland Community House, Dixon, IL.

Dixon broen faldt sammen som pindebrænde ved dens kollaps i 1873, hvor 46 døde. Foto: Charles Keyes. The Lee County Historical & Genealogical Society and the Loveland Community House, Dixon, IL.





Tay broen i Skotland åbnede i 1878 som verdens største. Dronning Victoria kørte over den, og adlede efterfølgende konstruktøren. Tay Bridge, Wikipedia.



I 1879 kollapsede en stor del af broen i en vinterstorm, og en togstamme med 75 personer faldt i vandet; alle druknede. Tay Bridge, Wikipedia.

piloteringen. Det var ikke en fejl, som kunne føre til ny erkendelse på det byggetekniske område. Han mente, at andre uheld næsten kunne "betale" sig, men det var ikke tilfældet med Fiskebækbroen.¹⁵

Forskningen er for det meste baseret på casestudier. Flere bøger beskriver emnet, bl.a. har Björn Åkesson i "Understanding bridge collapses" analyseret 20 broulykker med broernes historie, konstruktion og detaljer omkring ulykkerne. Den interesserede specialist kan endvidere se formler og andre tekniske detaljer. En anden bog er Joachim Scherers "Failed bridges. Case studies, causes and consequences", hvor 536 mislykkede broer analyseres med en kort oversigt over hændelsen og årsagen.

En omfattende database over verdens vigtigste broulykker findes ikke, og pålidelige statistikker over

årsagerne til ulykkerne, den anvendte teknik, deres geografiske placering eller datering er derfor ikke udarbejdet. Kun nationale organer har lavet omfattende databaser, som National Bridge Inventory i USA med 600.000 vejbroer. Ifølge oversigten er mere end 150.000 af disse broer bedømt at være strukturelt mangelfulde eller funktionelt forældede. Over en 20 års periode mellem 1989 og 2009 ophørte 600 af dem med at fungere.

I de seneste hundrede år er strukturer planlagt af ingeniører ud fra beregninger i henhold til formler. Disse formler justeres kontinuert efter nye indsigter og nye typer materialer. De er diskuteret i normudvalg nedsat af ingeniørforeninger og regelmæssigt offentliggjort og anvendt som accepterede normer. Heri er fastsat et tal af en vis størrelse som sikkerhedsfaktor, som

ingeniører skal gange en bros beregnede kapacitet med. Selv med denne sikkerhed kan ingen dog være sikker på strukturens holdbarhed, og tidligere belastedes en nybygget bro med tunge vogne eller tog for at teste broens bæreevne.

Fejltyper

Naturskabte ulykker

Naturskabte ulykker med ekstreme naturforhold er forårsaget af vind, jordskælv og oversvømmelser. Med de aktuelle klimaforandringer er dette forhold særlig vigtigt.

Broer kan ikke bygges for at modstå alle påvirkninger, og ingeniørerne er nødt til at sætte en bros sikkerhedsgrænse. For eksempel er en sikkerhedsgrænse for en 100-års hændelse ved oversvømmelse naturlig for broer, der er i drift i mere end 100 år. En sådan

bro skal være sikker i sin levetid på muligvis 150 år, men vi kan ikke være sikre. Forekomsten af en 100-års hændelse ved oversvømmelse kunne være i morgen.

Tay Bridge (Skotland i 1879) forulykkede på grund af kraftig vind.¹⁶ Nogle evalueringer angiver, at årsagen ikke kun var den stærke vind, men en kombination af vind og en svag konstruktion.¹⁷

Konklusionen er, at ulykker forårsaget af naturlige farer er forårsaget af en undervurdering af naturens kraft, og de sker sandsynligvis ofte i kombination med designfejl.

Overbelastning

En bro er åbenlyst bygget til en maksimal vægt inden for en sikkerhedsmargen. Når denne vægt overskrides, kan svage elementer deformeres, og broen til sidst svigte.

Den nævnte ulykke i Dixon var en af disse, og der er sket mange tilsvarende ulykker. For eksempel kollapsede den første kabel-skråstagsbro i Tyskland i 1825 under indvielsen. Folk gik i takt til musik, hvilket resulterede i at broen kom i svingninger. Igen fandt man, at denne bro også havde alvorlige svage punkter i sin konstruktion.¹⁸

Ekstern påvirkning

Ødelagte broer forårsaget af skibskollision, påkørsel af afsporede tog eller andre tunge køretøjer er mange. I 2012 måtte en jernbanebro i Limfjorden lukke

i et halvt år efter en påsejling.¹⁹ I 2004 kørte en lastbilchauffør ind i en gangbro i Brabrand ved Aarhus, hvorved brofaget knækkede midt over og et brofag på 20 tons væltede ned over lastbilens førerhus, heldigvis uden at chaufføren blev skadet.²⁰ I 2016 skete et tilsvarende uheld på Lolland, hvor en lastvogn ramte en motorvejsbro, som akut måtte rives ned; en mand blev dræbt. Endnu værre gik det ved en vejbro i Eschede, Tyskland i 1998, hvor et passerende tog under broen var afsporet og ramte broens fundament og blev skyld i mere end 100 dødsfald.

Også her kunne bedre konstruktioner have forhindret ulykker. Beskyttelsesskinner kan hindre et afsporet tog i at ramme en bros konstruktion, og autoværn kan hindre køretøjer i lignende ulykker. Broer i trafikerede farvande kan beskyttes af kunstige rev. Igen kan der beskyttes ved hjælp af beskedne investeringer.

Materiale træthed

Alle materialer nedbrydes med tiden. Stål og jern rustner, træ kan rådne, og beton forringes gennem alkali-kiselsreaktion, og når vand gennem revner kan nå armeringsjernet.

Efter år kan bæreevne reduceres så meget, at en katastrofe kan ske. I 2018 kollapsede Ponte Morandi i Genova, Italien, og 43 mennesker dræbtes. Broen blev bygget i 1967, men havde svagheder i konstruktionen, der krævede et stort

behov for vedligeholdelse. Dette havde man undladt i mange år. Virksomheden bag havde dog få måneder før katastrofen igangsat renovering, men for sent. Inspektion og renovering i rette tid ville have reddet denne og mange andre broer.

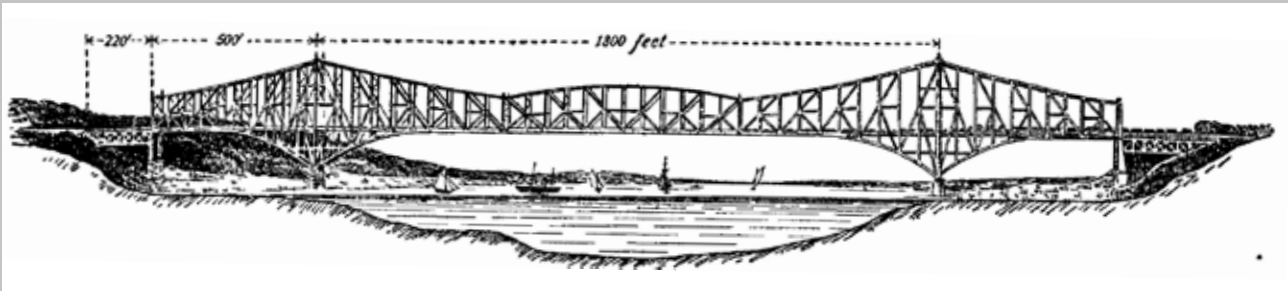
Menneskelige fejl

Menneskelige fejl i konstruktionsfasen er mange. Der kan være brugt dårlige eller forkerte materialer, der kan afviges fra det anviste design eller der svejdes med forkerte metoder. De fleste fejl opdages dog af tilsynsingeniørerne, men desværre ikke alle.

En af de mest "uheldige" broer i verden var Quebec-broen, der styrtede sammen to gange. Sidste gang skete i 1916, da det sidste spænd på 5.000 tons blev løftet, hvor ét af de fire ophæng "gled" under hævnningen.²² En motorvejsbro ved Holte kollapsede i 2014 under støbning, da støbformen brød sammen men heldigvis uden personskade.²³

Fejl i design

Denne fejl er den mest interessante årsag til sammenbrud. Ingeniøren er ofte under pres af bygherren på tid og penge, og der er eksempler på fejl i alt fra dårlig forankring, utilstrækkelig afstivning, beregningsfejl, forkert antagelse i jordtilstand og meget mere. Scheer har fundet, at 22 % af uheldene skyldes dårligt design.²⁴



Quebec broen skulle have været verdens længste spæn, men næsten færdig faldt den i 1907 sammen og 75 arbejdere dræbtes. Foto by James S. Matthews. City of Vancouver Arhives.

← Broen blev redesignet og genopbygget. Da det centrale spænd skulle løftes på plads i 1916, faldt det i vandet, hvorved 16 arbejdere dræbtes. Det følgende år blev broen endelig færdig. Quebec Bridge, Wikipedia.

Den nybyggede Limfjordsbro ved Aalborg blev testet af 48 tungt lastede biler i 1933. Foto: J. A. Kirkegaard. Aalborg Stadsarkiv



Kunsten at konstruere en bro

Tesen om at ingeniørarbejde ikke er eksakt videnskab, forstår man efter at have læst Henry Petroski's "*To engineer is human. The role of failure in successful design*". Mere end 1.000 bøger og artikler har citeret den lettilgængelige bog, der viser, at ingeniørvidenskab har brug for at lære af fejl. Bogens konklusion er: "dem, der ikke husker fortidens fejltagelser, er dømt til at gentage dem".

Men at bygge broer er mere end teknik. Angiveligt er Quebec-broulykken forårsaget af forfængelige designere drevet til at skabe en bro med et spænd 27 m længere end Firth of Forth Bridges.²⁵ Dette var tæt på at være konklusionen fra Royal Commission, der lagde skylden for broens sammenbrud på teknikere. Man kunne også tage et totalt modsat synspunkt, at ulykken skete, fordi virksomheden bag ikke var organiseret til et stort og innovativt projekt som Quebec-broen. Der var ikke afsat tid til at udføre de nødvendige beregninger, og en effektiv overvågning af arbejdet indgik heller ikke i selskabets rutiner.²⁶

Er broer med rekordlængder særlig truet?

Kunsten at bygge bro frem mod nye grænser, kan uforvarende medføre svage konstruktioner. Den største udfordring er længden af det længste spænd, og en nærmere analyse af de største forøgelser i spændenes længde hos



First King's bro i Bendigo, Australien, bestod ikke i 1901, da to damptrømler testede konstruktionen. Halvdelen af betonbroen faldt sammen. University of Melbourne Archives 1964.0012.00260.

forskellige designtyper, kan vise, om de er specielt truede.

Lad os begynde med Forth Bridge nær Edingburgh (Skotland, 1890), som er hædret med optagelse på UNESCOs verdensarvsliste. Jernbanebroen blev bygget af 55.000 tons af det dengang nye Siemens-Martin stål. Der er tale om en gitterbro i en cantilever konstruktion, og hvor det længste spænd er 520 m. Broen benyttes stadig og er verdens næststørste kun overgået af den nævnte Quebec-bro med dens 549 m.

Den næste brotype er buebroen. Disse broer er fra tidernes morgen bygget af sten eller murværk, men spændenes længde steg efter anvendelse af stål. En af de vigtige broer var Upper Steel Arch Bridge fra 1898 i nærheden af Niagara Falls. Dens spænd på 256 m. var næsten 40 % længere end spændet på den tidligere rekordholder bygget 12 år tidligere. Broen fik problemer om vinteren med isskruninger og på trods af forstærkning kollapsede broen vinteren 1938.



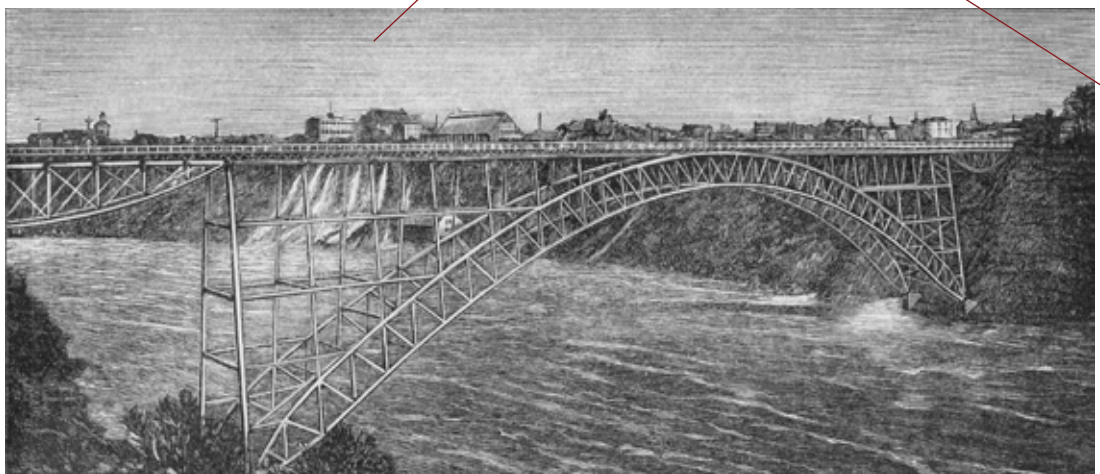
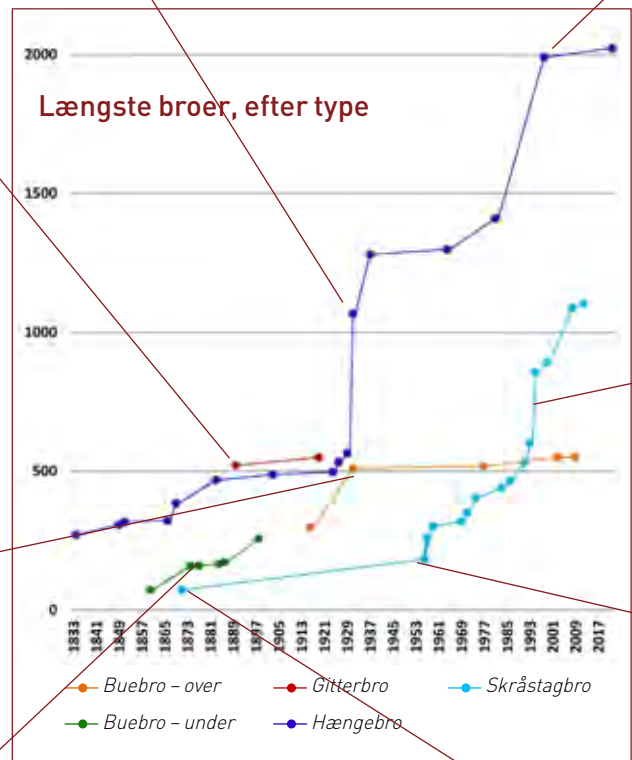
Gitterbro. Jernbanebroen Forth bro, Skotland, åbnede i 1890 og er stadig i brug. Euchiasmus, Wikipedia.



Hængebro. Vejbroen George Washington Bridge i New York fra 1931. Fotografiet er fra 1978, hvor en påbygget ekstra vejbane kan ses. Foto: Jack Boucher, Historic American Engineering Record /HAER) collection.



Buebro (overliggende). Hell Gate broen i New York fotograferet lige efter dens indvielse i 1916. The Detroit Publishing Co. collection at the Library of Congress.



Buebro (underliggende). På trods af forstærkninger mod isskrudninger omkring broens nederste del kollapsede den i vinteren 1938. Ubekendt litografi 1898.



Vejbroen Akashi-Kaikyo Bridge, Kobe, Japan blev indviet i 1998. Foto: Kim Rötzel, Wikipedia.



Vejbroen Pont de Normandie, Frankrig, åbnede i 1995. Foto: S. Möller, Wikipedia.



Vejbroen Strömsund Bro, Sverige, åbnede i 1956. Lars Falkdalen Lindahl, Wikipedia.



Skråstagsbro. Vejbroen Redheugh Bridge, Newcastle, England, åbnede i 1871. Newcastle Libraries.



← Verdens mest kendte brostyrt er antagelig Tacoma Narrows bro, Washington. Under en storm i 1940 få måneder efter dens indvielse begyndte den at svinge faretruende, og til sidst faldt den sammen. Texas State University.



På det øverste billede af Chiraja broen i Columbia ses den ene del af en skråstagsbro under konstruktion. Den anden del ligger i ruiner til højre forårsaget af et forkert design. Nederst ses billeder fra ulykken taget fra en video. Ulykken i 2018 skete i frokostpausen, hvorfor kun ti – og ikke hundrede – arbejdere blev dræbt. Foto: Modjeski and Masters.

Jernbanebroen Hell Gate Bridge fra 1916 er stadig i brug. Den har en opretstående bue med en spænd længde på 298 m. Den blev bygget i en høj kvalitets nikkelt-manganstål. Det tog kun 15 år, før den blev overgået af en bro med et større spænd, Bayonne Bridge, New York. Med største spændvidde på 511 m.

forøgede den længden med 71 %. Broen har ikke længere rekorden, men spændene på de nye broer har næsten samme længde.

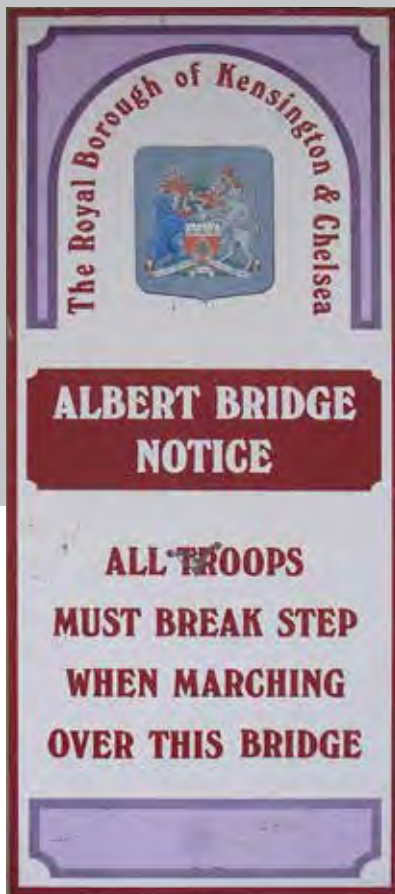
I adskillige år omkring 1920 var de største spænd på gitterbroer, hængebroer og bue broer med overliggende bue næsten de samme. Dette ændre-

des, da George Washington Bridge i New York indviendes i 1931. Denne brospænd næsten fordoblede den hidtidige rekordholders 265 m. fra to år tidligere til imponerende 1.067 m. Siden har hængebroer haft de længste spænd.

Denne imponerende bro havde sin rekord indtil 1998, da Akashi-Kaikyou-broen nær Kobe i Japan åbnede. Denne seks baners vejbrospænd længste spænd er 1.237 m - denne gang en næsten 60 % forøgelse af længden.

Den sidste type bro er skråstagsbroen. Siden 1871 havde Redheugh-broen i det nordøstlige England i rekorden med det største spænd på 73 m. Vejbroen var designet af Thomas Bouch, der også designede den første Tay Bridge, der kollapsede i 1879. Redheugh Bridge levede længere, men dens konstruktion var svag, og den blev erstattet af en ny bro i 1901.

Mere end 50 år gik, før rekorden blev slået af Strömsund-broen i Sverige. Den åbnede i 1956 som vejbro med et hovedspænd på 182 m.²⁷



Marcherende soldater har været årsag til adskillige broulykker, når de fik broer til at svinge. Skiltet fra Albert bro i London med advarsel er stadig aktuel. Den nyindviiede Millenium bro i London blev lukket for gående kort efter dens indvielse i 2000. Det tog to år at forandre broen, så svingningerne ophørte. Albert Bridge, Wikipedia.

Broen blev snart passeret af andre broer, og typen har stadig en jævnt stigende længde af spænd. En rekordholder er den franske Pont de Normandie fra 1993 med en spændvidde på 856 m. Det havde adskillige nye designfunktioner, fx en kombination af kassedrager i beton sammen med den centrale 624 m. kasse udført i stål.²⁸

Nogle af de første rekordhavere var truede og havde en kort levetid, men efterhånden blev man dygtigere, så de fleste broer er stadig i brug.

Erfaringer

Mange ulykker er analyseret og har givet erfaringer. Men ulykkernes omfang kender vi ikke helt. Der findes ingen databaser med en total og detaljeret beskrivelse af alle sammenbrud. Mange ulykker fra Asien, Afrika og Sydamerika mangler. Selv fra USA mangler oplysninger, hvor vi f.eks. antagelig mangler viden om 251 kollapsede jernbanebroer i USA og Canada i ti året mellem 1877 og 1887.²⁹

LITTERATUR

- Beal, Alasdair N. (2011): A history of the safety factors. I *Structural Engineer* 89 (20), s. 20–26.
- Delatte, Norbert (2010): Failure literacy in structural engineering. I *Engineering Structures* 32 (7), s. 1952–1954.
- Delatte, Norbert J. og Kevin L. Rens (2002): Forensics and case studies in civil engineering education. State of the art. I *Journal of Performance of Constructed Facilities* 16 (3), s. 98–109.
- Gimsing, Niels J. og Christos T. Georgakis (2011): *Cable supported bridges. Concept and design*. John Wiley & Sons.
- Imhof, Daniel (2004): *Risk assessment of existing bridge structures*. University of Cambridge.
- Kranakis, Eda (1997): *Constructing a Bridge. An Exploration of Engineering Culture, Design, and Research in Nineteenth-century France and America*. MIT Press.
- Kranakis, Eda (2004): Fixing the blame. Organizational culture and the Quebec Bridge collapse. I *Technology and culture* 45 (3), s. 487–518.
- Lee, George C. m.fl. (2013): *A Study of US Bridge Failure 1980–2012*. Technical Report MCEER.
- LePatner, Barry B. (2010): *Too big to fall. America's failing infrastructure and the way forward*. New York: Foster Publishing.
- Petroski, Henry (1992): *To engineer is human. The role of failure in successful design*. New York: Vintage Books.
- Scheer, Joachim (2011): *Failed bridges. Case studies, causes and consequences*. John Wiley & Sons.
- Shave, J. (2003): *A review of bridge assessment failures on the motorway and trunk road network*. Dorking: Highways Agency.
- Åkesson, Björn (2014): *Understanding bridge collapses*. CRC press.

NOTER

- 1 Politiken 9/2 1972, s. 1.
- 2 Politiken 12/2 1972, s. 1 og 2.
- 3 Ingeniøren 15/6 1973, s. 1 og 23.
- 4 Politiken 15/6 1973, s. 7.
- 5 Ingeniøren 15/3 1974, s. 5–7.
- 6 Politiken 17/4 1973, s. 22.
- 7 Politiken 22/8 1973, s. 5.
- 8 Politiken 6/3 1974, s. 3 og 9/4 s. 1 og 3.
- 9 Politiken 9/5 1974, s. 14.
- 10 Politiken 10/5 1974, s. 3.
- 11 Politiken 5/10 1978, s. 5.
- 12 en.wikipedia.org/wiki/Dixon_Bridge_Disaster (2019-09-23).
- 13 Oswald Rendon-Herrero, citeret fra Delatte 2009, s. 1952.
- 14 Delatte 2009, s. 1952 og Delatte og Rens 2002.
- 15 Ingeniøren 15/3 1974, s. 2–3.
- 16 Imhof 2004, s. 16.
- 17 Åkesson 2008, s. 33–51 og Scheer 2010, s. 122.
- 18 Scheer 2010, s. 115–116.
- 19 Berlingske Tidende 29/3 2012.
- 20 LastbilMagasinet 22/12 2004.
- 21 TV2 Øst 19/3 2016.
- 22 Scheer 2010, s. 20.
- 23 Ingeniøren 17/11 2014.
- 24 Scheer 2010, s. 85.
- 25 Scheer 2010, s. 47.
- 26 Kranakis 2004; se også Kranakis 1997.
- 27 Gimsing og Georgakis 2011, s. 25–26.
- 28 Gimsing og Georgakis 2011, s. 66.
- 29 Sunday Times, Sydney 26/11 1911, s. 5.