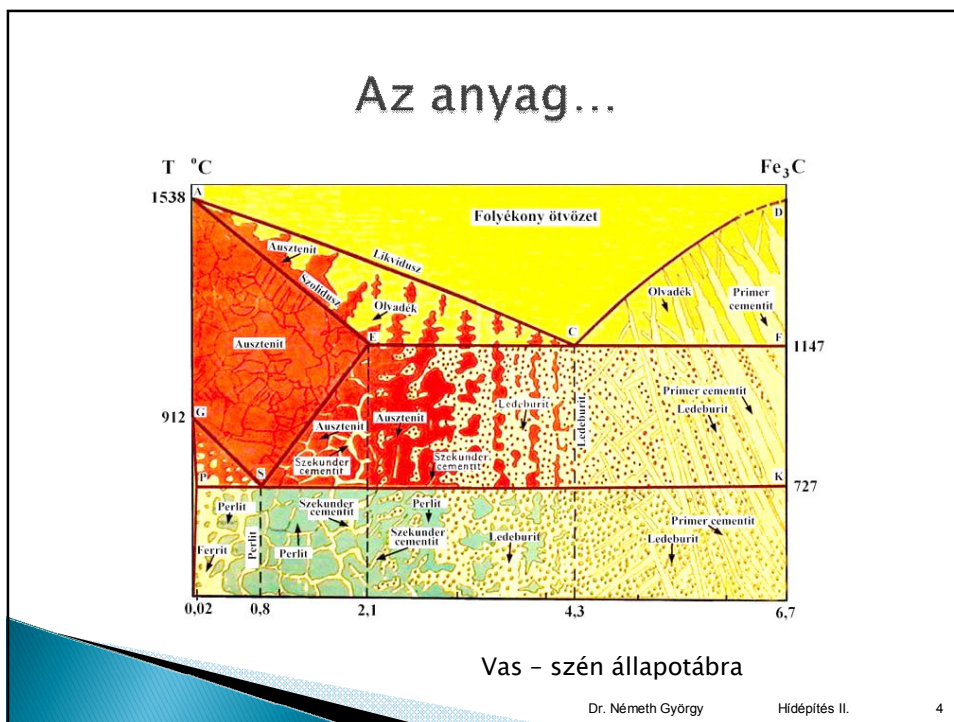
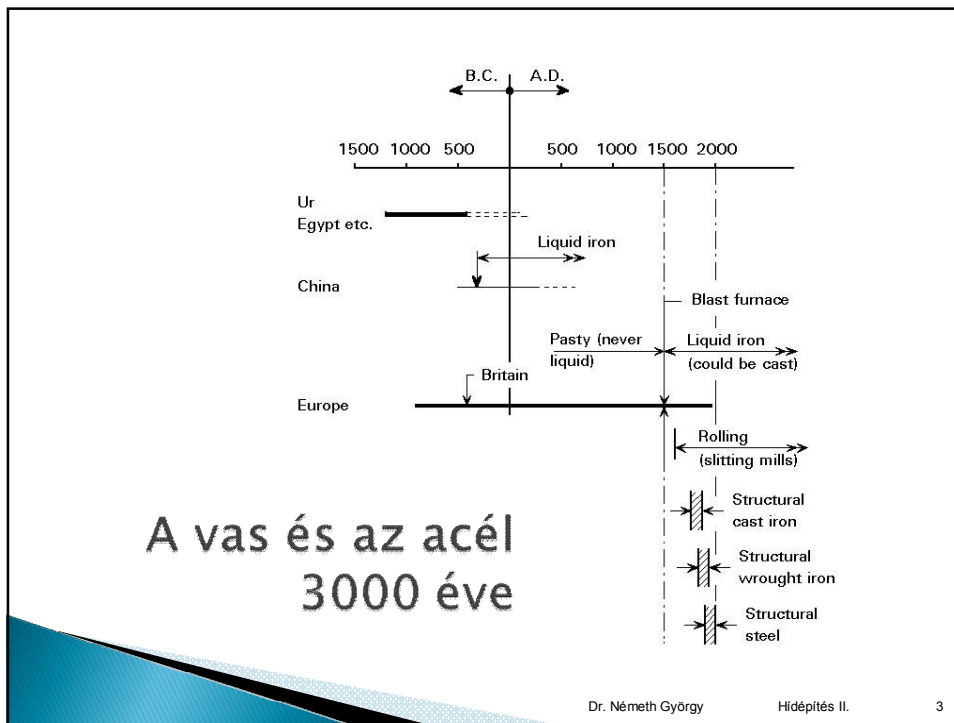




# Az acélhidak történeti fejlődése

## A szerkezetépítés feltételei

- ▶ Megfelelő építőanyag
- ▶ Tartószerkezeti ismeretek
- ▶ Technológia



## Öntöttvas, kovácsoltvas, acél

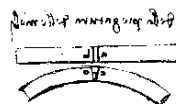
Anyag	Széntartalom (%)	Nyomószilárdság (N/mm <sup>2</sup> )	Húzószilárdság (N/mm <sup>2</sup> )
Öntöttvas	2,25 - 4,0	400 - 1000	100 - 150
Kovácsoltvas (kavart vas/acél)	0,02 - 0,05	250 - 400	250 - 400
Szerkezeti acél	0,2 - 1,0	350 - 700	350 - 700

## Az acélgyártás fejlődése a XIX. sz-ban

- ▶ Kavaró acélgyártás (Henry Cort, 1784)
  - Lángkemencében megolvasztott nyersvas vasrudakkal kavarva. A szén (részben) kiég.
- ▶ Bessemer-féle eljárás (1855)
  - Konverterben folyékony nyersvas rétegen levegőt fúvatnak át. C, Si és Mn kiég.
  - Nagy termelékenység, de egyenetlen minőség.
- ▶ Siemens-Martin féle eljárás (1864)
  - Kétlépcsős folyamat (frissítés és kikészítés).
  - Ócskavas is felhasználható.
  - Ötvözött acélok gyártása is lehetséges.

## A szerkezettervezés a XVIII. sz.-ig

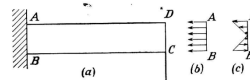
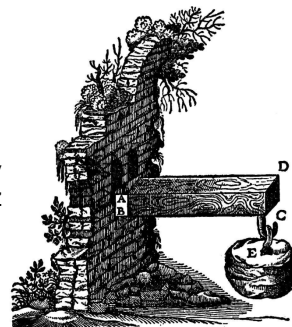
- ▶ A szokásos tartószerkezetek:
  - falazatok,
  - faszervezetek,
  - kevéske vasszerkezet (vonóvasak)
  
- ▶ Méretezés  $\approx$  már bevált (esetleg előírt) geometriai arányok betartása
  - A feszültség fogalma még nem létezik.



Handwritten text in a cursive script, likely a historical manuscript or a transcription of a historical text, discussing structural concepts.

## A hajlított tartó elmélete

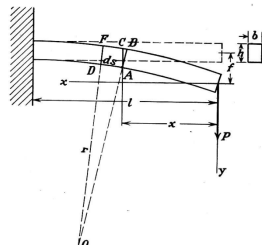
- ▶ Már őket is érdekelte:
  - ▶ **Leonardo da Vinci** (1493):
    - ▶ „Ha egy rugót meghajlítunk, a konvex rész vékonyabb, a konkáv pedig vastagabb lesz. A változás a keresztmetszetben lineáris...”
  - ▶ **Galileo Galilei** (1564–1642)
    - ▶ konzol határteherbírása





## A klasszikus gerendaelmélet kialakulása

- ▶ Jacob Bernoulli (1654 – 1705)
  - alakváltozás vizsgálata



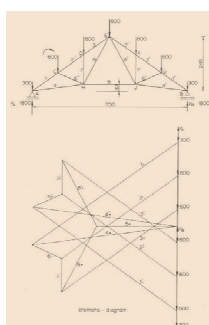
- ▶ Henri Navier (1785 – 1836)
  - A semleges tengely a súlyponton megy át;
  - Hidat is tervezett...



Adhémar Jean Claude Barré de

- ▶ Saint-Venant (1797–1886)
  - Nyírési alakváltozás
  - Ferde hajlítás

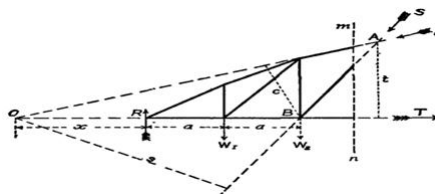
## Rácsos tartók számítási módszerei



Cremona erőterv  
Antonio Cremona  
(1830–1903)

Karl Culmann (1821–1881)  
Grafikus módszer 1860

Wilhelm Ritter  
Hármas átmetszés módszere (1862)

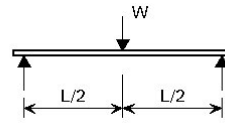


## Intuíciók – Elméletek – Kísérletek a XIX. sz. elején

### ► Faszervezetek

- Barlow: „kohézió” (~szilárdság);  
max. feszültség az „abszolút szilárdság”  $\frac{1}{4}$ -e.
- Tredgold: hajlított keresztmetszet ( $b \times d$ )  
méretezése:

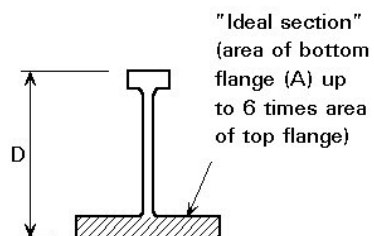
$$W = C \frac{b \cdot d^2}{L}$$



C: kísérleteken alapuló táblázatokból

## Az öntött vas a XIX. sz. elején

- *Tredgold* (1788–1829):
  - $e_{\max} = L/480$
  - megengedett üzemi feszültség  $< 106 \text{ N/mm}^2$   
(a húzószilárdság ( $110 \dots 400 \text{ N/mm}^2$ ) mérettől is függ)
- *Hodgkinson* (1789–1861):

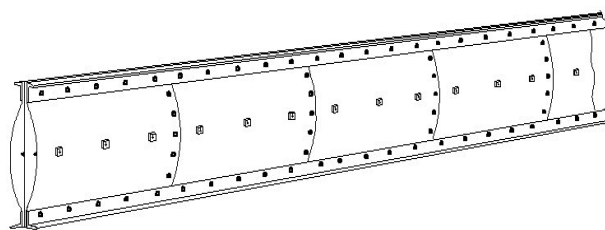


$$\text{Breaking load} = W_{\text{ULT}} = \frac{C \cdot A \cdot D}{L}$$

where  $L = \text{span}$   
 $C = \text{a constant}$

## A kovácsolt vas

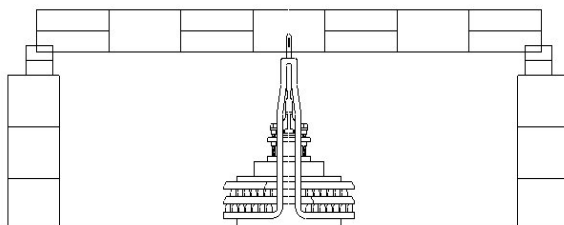
- ▶ ~ 400 N/mm<sup>2</sup> húzószilárdság
  - láncok, pántok, vonóvasak
- ▶ A XIX. sz. közepétől hajlított gerendák is.



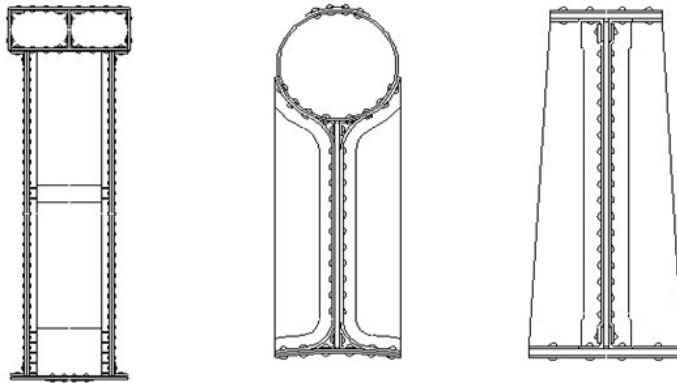
*Szentpétervár, Téli palota (1839)*

## Kísérletek (~1820 – ~1850)

- ▶ 1:1 léptékű kísérletek;  
(Sok esetben minden öntöttvas gerendát megvizsgáltak.)
- ▶ A kovácsoltvas szilárdsága nyomásra (látszólag) kisebb, mint húzásra. (Horpadás)



## A szegecselt kovácsoltvas keresztmetszetek fejlődése



## A méretezéselmélet kialakulása

- ▶ Terminológia
  - a feszültség fogalma (*St. Venant*, 1845);
  - szilárdság, határfeszültség, biztonsági tényező stb. definíciói, jelölésrendszer a XIX. sz. második felében;
- ▶ Számítási módszerek fejlődése a XX. sz. előtt
  - Statikailag határozott tartók;
  - rácsos tartók – grafoanalízis;
  - keresztmetszetek vizsgálata rugalmasságtani alapon;
  - oszlopok kihajlása.
- ▶ Szabályzatok előírások fejlődése

## Ívhidak

- ▶ Kőből, téglából már az ókorban is léteztek
  - *Pont du Gard* (i.e.18 )



- ▶ Jellemző igénybevétel a nyomás
- ▶ Öntöttvas hídszerkezetek a XVIII. sz. végétől
  - *Abraham Darby III*, Coalbrookdale, 1779

## Coalbrookdale, 1779 (30 m)



## "Pont du Carroussel" Párizs, 1839

*Polonceau*

Öntöttvas csövek



Dr. Németh György

Hídépítés II.

19

## „Southwark Bridge” London, 1839

A legnagyobb  
öntöttvas ív  
(73 m)



Dr. Németh György

Hídépítés II.

20



## Margit híd, 1876



Tervpályázat 1860  
Ernest Goüin

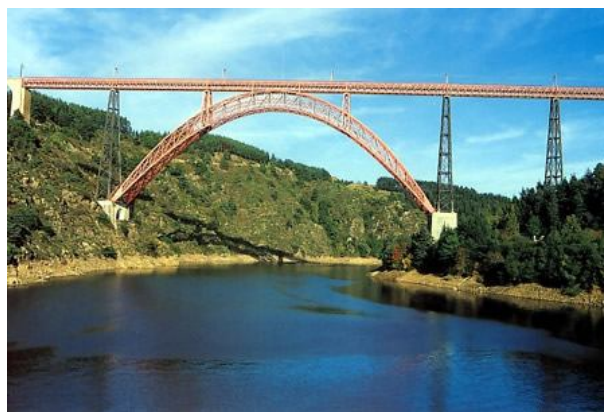
1945-ben  
felrobbantották

Újjáépítés: 1947-48



$73,5 + 82,67 + 87,88 + 87,88 + 82,67 + 73,5$  m  
kétsuklós ívek

## "Viaduc de Garabit,, Franciaország, 1884

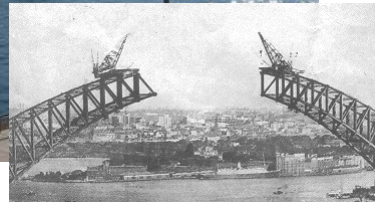


L = 565 m  
H = 165 m

- Gustave Eiffel (1832 - 1923)
- ✓ előregyártás pontosan kidolgozott részlettervek alapján



## Sidney kikötői híd, 1932, 503m



Dr. Németh György

Hídépítés II.

23

## Vonórudas ívhidak

- ▶ A hídfőkre csak függőleges erők hatnak
  - Maderspach Károly (1797–1849)
  - Ív öntöttvas csövekből, kovácsoltvas vonórúd
    - 1830-as években 3 híd (a legnagyobb 56 m)



- A XX. sz. elején a nagy támaszközű vasúti hidak egyik megoldása.

Dr. Németh György

Hídépítés II.

24

## Hohenzollern híd, Köln, 1910



102 + 165 + 102 m



Dr. Németh György

Hídépítés II.

25

## Kossuth híd, Győr, 1928



Langer tartó (merevítő tartós ívhíd);  
17,5 + 90,5 + 17,5 m;  
361 t acélszerkezet;  
1945: felrobbantották, újjáépítés: 1950.

Dr. Németh György

Hídépítés II.

26

## Pentele híd, 2007



kosárfüles ívhíd  
308 m, 48 m magas, 41 m széles,  
8600 t

## Gerendahidak

- Rácsos tartók
- Gerinclemezes tartók
- Szekrény–keresztmetszetű tartók
- ▶ **Jellemző igénybevétel a hajlítás**
  - Megfelelő húzószilárdságú anyag szükséges
    - Kovácsolt vas (kavart vas/acél)
    - Szerkezeti acél
- ▶ Kezdetben a faszervezetek szolgáltak mintául.

## Fahidak a XIX. sz. második felében



Többszörös rácsozású fahíd



Kecskeláb híd

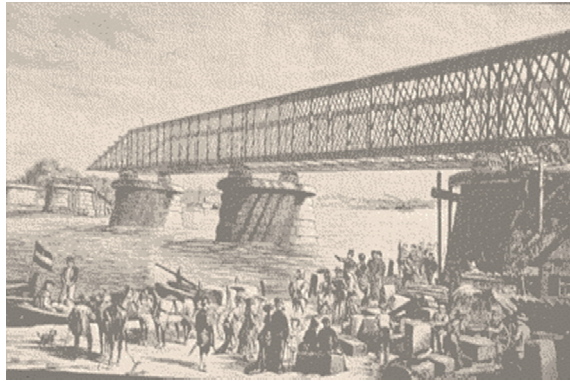
## Grandfey Viadukt Svájc, 1862



- többszörös rácsozás
- 7 x 49 m
- behúzással szerelték



## Duna-híd Bécs, 1870

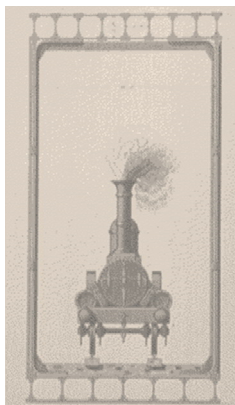


- 5 x 80 m
- állvány nélküli szerelés

## Britannia Bridge, Anglia, 1850

Robert Stephenson (1803 –1859)

1:6 léptékű modellkísérletek különböző keresztmetszetekkel

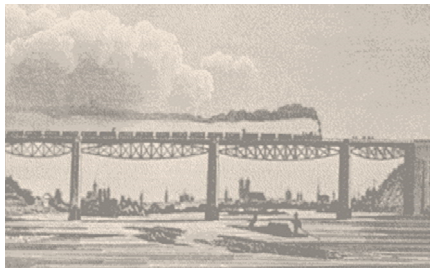


- 70 + 142 + 142 + 70 m
- 4,4 x 9 m
- 10 600 tonna
- 3,5 millió szegecs
- 120 évig működött



## Lencse (v. halhas) alakú tartók

- ▶ Közel azonos nagyságú överők
- ▶ Pauli-tartók
  - Friedrich August von Pauli (1802–1883),



Németország, 1857



Pennsylvania, 1891

## Royal Albert Bridge, Anglia, 1859



- ▶ 2 x 139 m
- ▶ ellipszis keresztmetszetű felső öv (5,2x3,7 m)
- ▶ szerkezeti nehézségek → több ilyen nem épült...



## Rácsos Gerber-tartók

- ▶ A XIX. Sz. első feléig (szinte) csak kéttámaszú tartók épültek.
- ▶ Heinrich Gerber (1832 – 1912)
  - 1868: szabadalmaztatta a Gerber-tartót.
  - Elsőként alkalmazta Wöhler fáradásvizsgálati elveit.
- ▶ Statikailag határozott szerkezet.
- ▶ Konzolos szerelési mód lehetséges.

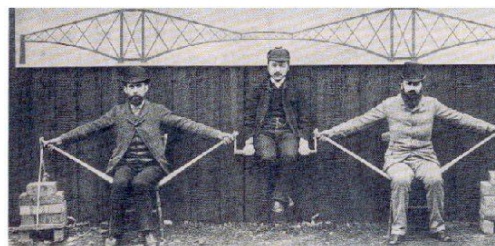


Dr. Németh György

Hídépítés II.

35

## Firth of Forth Bridge, Skócia, 1890



Kétvágányú vasúti híd.

Teljes hossz: 2,5 km.

Folytácélból készült.

$L = 521$  m,  $H = 100$  m,  
befüggesztett rész 107 m.

50 500 t acél,  
6,5 millió szegecs.

7 évig épült.  
4600 munkás.

Sok baleset, 97 halott.

Dr. Németh György

Hídépítés II.

36



## Szabadság-híd, 1896



Feketeházy János – Nagy Virgil

79,3 + 175,0 + 79,3 m

47 m befüggesztett rész

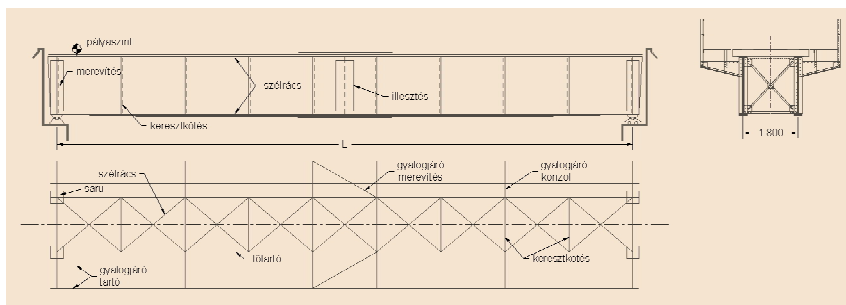
4850 t + 1218 t öntöttvas  
ellensúly

Újjáépítés: 1945 – 46



## Szegecselt gerinclemezes hidak

- ▶ Az 1930-as évekig, viszonylag kis támaszközzel (~30 m), kéttámaszú szerkezetek épültek.



Felsőpályás szegecselt  
vasúti híd elrendezése

## Párhuzamos övű rácsos hidak



Rajna-híd Maxau mellett  
1939  
175 + 117 m



## Hegesztett hídszerkezetek

### ▶ Hídszerkezetek hegesztése ~1930-tól



Lowicz, Lengyelország  
1929  
L = 27 m



Győr, 1934. L = 53 m

## Hegesztett gerinclemezes hidak



Bonn, Rajna híd  
1948  
99 + 196 + 99 m

## Kijev, Ukrajna, Paton –híd

Jevgenyij Oszkarovics Paton (1870-1953)

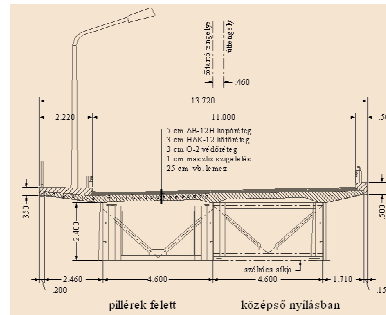
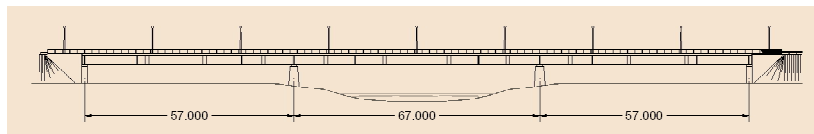


- Teljes hossz: 1543 m
- Építés: 1941–53
- ~10 000 t hegesztett acélszerkezet

# A győri Béke híd

1969

Külső kábelekkel feszített , vb. lemezzel együttdolgozó szerkezetű híd



Dr. Németh György

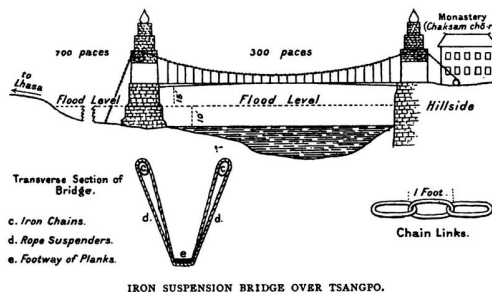
Hídépítés II.

43

# Függőhidak

- ▶ Jellemző igénybevétel a húzás
- ▶ Lánchidak
- ▶ Kábelhidak

Lhasa, Tibet (Kína)  
1430



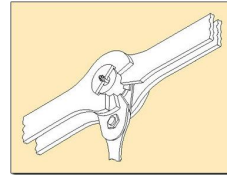
Dr. Németh György

Hídépítés II.

44

## Az első (modern) lánchidak

- ▶ James Finley (1762 – 1828) USA
  - Szabadalom függőhidak építésére (1808)
  - 20 ... 70 m támaszközű, viszonylag rövid életű szerkezetek.
- ▶ Samuel Brown (1776 – 1852)
  - szemes-lánc
- ▶ Thomas Telford (1757 – 1834)
  - Menai-szoros hídja (Észak-Wales)
- ▶ William Tierney Clark (1783–1852)
  - Széchenyi lánchíd (1849)



## Menai-szoros hídja (1826)



176 m  
16 lánc (egyenként 935 tagból)  
fa pályaszerkezet

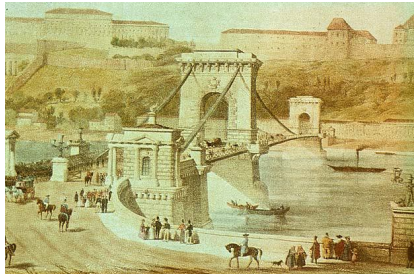
### Átépítések:

- Pályaszerkezet erősítése
- Új pályaszerkezet
- Láncok cseréje





## Széchenyi lánchíd (1849)



1832: Hídegylet  
1836: törvény a híd építéséről  
1837: Lánchíd Részvénytársaság  
1842-1849: építés  
Clark Ádám (1811-1866)  
1913-15: átépítés  
1945: felrobbantották  
1949: újjáépítették



## Erzsébet híd, 1903



42 + 290 + 42 m  
Merevített lánchíd  
Ingaoszlopos pilonok  
Martin acél



## Kábelhidak

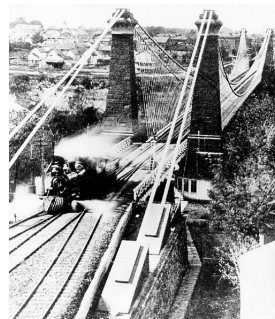
- ▶ Huzalok ( $d \approx 5$  mm) szakítószilárdsága:  
1600...2000 MPa is elérhető
- ▶ Az első kábelhidak
  - Marc Séguin (1786–1875) "St. Antoine híd", Genf, 1823
    - 6 kábel 90 huzal egyenként
    - 2x40 m, 2m széles gyaloghíd
  - J Chaley (1795 – 1861) Sarine völgyhíd, Svájc, 1836
    - 273 m, 4 előfeszített kábel (4x1056 huzal)



Dr. Németh György

## Vasúti függőhidak

- ▶ Az első kísérlet (1830):
  - lánchíd a Stockton–Darlington vasútvonalon
  - 86 m, 150 t terhelés,
  - túlzottan nagy lehajlás.
- ▶ Niagara felett (1855):
  - John A. Roebling (1806–1869)
    - 1840: szabadalom a kábelek helyszíni fonására
  - 251 m, 2 pályaszint
  - Vasút 3 féle nyomtávval, 8 km/h

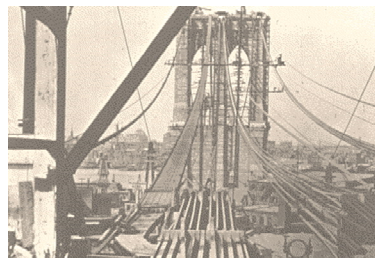


Dr. Németh György



## Brooklyn híd, New York (1883)

- Tervező: John A. Roebling (1806–1869)
  - 486 m, hibrid szerkezet
  - Rácsos merevítő tartó
  - Ferdekábeles megerősítés
  - Keszonalapok (27 halott)
- Kivitelezés:
  - Washington A. Roebling (1837 –1926)
  - Emily Warren Roebling (1843 –1903)



Dr. Németh György

Hídépítés II.

51

## George Washington híd, N. Y. (1931)

- Tervező: Othmar H. Amman
- Rácsos acél pilonok, 1067 m, 4 kábel
  - Ø 91 cm, ~20 000 huzal egyenként
- 16 forgalmi sáv 2 szinten
  - Eredetileg 6 sáv, 1946: +2 sáv
  - 1962: alsó szinten 8 sáv



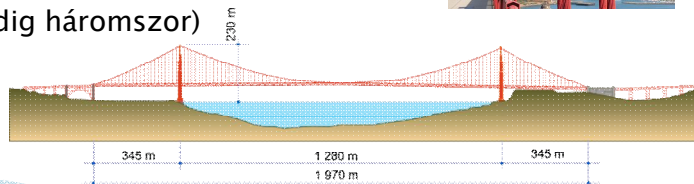
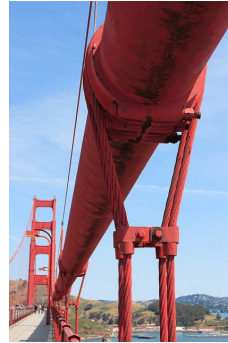
Dr. Németh György

Hídépítés II.

52

## Golden Gate, San Francisco, 1937

- Tervezők:
  - Joseph Strauss,
  - Charles Alton Ellis,
  - Irvin Morrow,
  - Leon Moisseiff
- Folyamatos karbantartás ~ 40 fő
- Földrengésre megerősítették
- Heves szélviharban lezárják
  - (eddig háromszor)



Dr. Németh György

Hídépítés II.

53

## Tacoma híd, USA, 1940

- ▶ Leon Moisseiff (1872 – 1943)
- ▶ 853 m, gerinclemezes merevítő tartó
- ▶ aerodinamikai instabilitás
  - túlzottan karcsú szerkezet
  - Független és csavaró rezgések frekvenciájának egybeesése



Dr. Németh György

Hídépítés II.

54

## Severn híd, Anglia 1966

- 305+988+305 m;
- pilon: 136 m acél szekrény-keresztmetszet;
- ferde függesztő elemek (nem vált be);
- aerodinamikailag kedvező keresztmetszet



## Ferdekábeles hidak

- ▶ Az 1950-es évektől épültek
- ▶ A kábelek a merevítő tartó közbenső támaszai
- ▶ Sok változata van
- ▶ Előny a viszonylag rövid kábelhossz (előregyártható)



Az első ferdekábeles híd  
1955  
Strömsund (Svédország)  
182 m támaszköz  
332 m teljes hossz

## Pozsonyi Duna-híd



1972.  
303 m (teljes hossz 430 m)  
Pilon 85 m

## Megyeri híd, 2008



144+300+144 m  
Feszített vasbeton pilonok  
(100 m)  
88 kábel (12 m-enként 1)  
~12 000 t acélszerkezet