

# Veliki mostovi New Yorka i njihovi graditelji

Zlatko Šavor, Goran Puž

## Ključne riječi

most New York,  
graditelj,  
viseći mostovi,  
lučni mostovi,  
projektirnje,  
građenje

## Key words

bridge New York,  
builder,  
suspension bridges,  
arch bridges,  
design,  
construction

## Mots clés

ponts de New York,  
constructeur,  
ponts suspendus,  
ponts en arc,  
étude,  
construction

## Schlüsselworte:

Brucke,  
New York,  
Erbauer,  
Hängebrücken,  
Bogenbrücken,  
Entwerfen,  
Bauen

Z. Šavor, G. Puž

Pregledni rad

## Veliki mostovi New Yorka i njihovi graditelji

U radu su opisane glavne konstrukcijske značajke odabranih njujorških mostova, uz isticanje razvitka i inovacija u visećim i lučnim sklopovima. Dan je osvrt na proračun, temeljenje, gradiva, održavanje i rekonstrukcije mostova. Prikazani su osnovni podaci o graditeljima i njihovu pristupu projektiranju te o načinu građenja tih mostova. Ističe se važnost cjelovitoga inženjerskog sagledavanja mosta pri planiranju prijelaza, projektiranju, izvedbi i održavanju kroz životni vijek.

Z. Šavor, G. Puž

Subject review

## Large bridges in New York and their builders

Major structural features of some selected New York bridges are presented, with an emphasis on the development and innovations in the sphere of suspension and arch systems. An overview is given of the budget, foundation work, materials, maintenance and rehabilitation of bridges. Principal data about builders and their approach to design process are given, and construction methods used for the described bridges are presented. Authors point to the significance of an integral engineering perception of bridge projects, encompassing initial planning of the crossing, design, construction and maintenance in the course of useful life of the structure

Z. Šavor, G. Puž

Ouvrage de synthèse

## Les grands ponts de New York et leurs constructeurs

L'article décrit les caractéristiques principales de la construction des ponts choisis de New York, tout en insistant sur l'évolution et l'innovation des ponts suspendus et des ponts en arc. On donne un aperçu des calculs, des fondations, des matériaux de construction, de la maintenance et de la reconstruction des ponts. Par ailleurs, on fournit des indications sur les constructeurs et sur leurs approches de l'étude et des méthodes de construction des ponts décrits. On souligne que l'ingénieur doit avoir une vue d'ensemble du pont lors de la conception du franchissement, de l'étude, de la construction et de la maintenance du pont pendant sa durée de vie.

Z. Šavor, G. Puž

Übersichtsarbeit

## Die grossen Brücken von New York und deren Erbauer

Im Artikel sind die wichtigsten Konstruktionskennzeichen von erwählten Brücken in New York beschrieben, wobei die Entwicklung und Innovationen in Hänge und Bogenbrücken hervorgehoben wurden. Man betrachtete die Berechnung, Gründung, Baustoffe, Wartung und Rekonstruktion der Brücken. Dargestellt sind die Grundangaben über die Erbauer und deren Zutritt zum Entwurf, sowie Angaben über die Bauweise dieser Brücken. Man betont die Wichtigkeit eines umfassenden Ingenieursüberblicks, betreffend das Planen des Übergangs, sowie Entwurf, Ausführung und Wartung während der gesamten Lebensdauer.

Autori: Mr. sc. **Zlatko Šavor**, dipl. ing. građ.; mr. sc. **Goran Puž**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26

## 1 Uvod

Mnogo je gradova na rijekama koje pamtimo po vizura- ma brojnih mostova kao što su Pariz, Firenca, Venecija ili Budimpešta. Ima gradova koji se ponose jednim mos- tom iznimne veličine ili inženjerskog dometa, kakvi su Sydney ili San Francisco, no nigdje na svijetu nije na tako malom prostoru sagrađeno toliko značajnih velikih mostova, niti su toliko puta primijenjena inovativna rje- šenja i ostvareni rekordni rasponi kao na području New Yorka. Vrijedan inženjerski domet predstavljaju i rekon- strukcije i popravci njujorških mostova, koji se provode uz minimalno obustavljanje prometa. Za ovaj su prikaz odabrane građevine uz koje su vezane priče o inženjers- kim uspjesima, ali i zabludama i pogreškama. Ta iskust- va imaju univerzalnu vrijednost, čime su zaslužila ova- kav prikaz.

New York je najpoznatiji po svojim velikim visećim mostovima, među kojima se rasponom ističu Verrazano Narrows (danas 6. po veličini na svijetu), George Wash- ington (13.) i Bronx – Whitestone (25.), dok posebno mjes- to zauzima povijesni Brooklynski most (danas 44.). U gotovo stogodišnjem razdoblju njihova građenja, od 1870. do 1964., u New Yorku je tekla evolucija moderna visećeg mosta. Nisu manje značajni niti lučni mostovi, među kojima je i drugi po veličini raspona na svijetu, Bayonne, te mostovi Hell Gate i Henry Hudson.



Slika 1. Razmještaj njujorških mostova koji su obuhvaćeni prikazom

## 2 Osnovni podaci o mostovima

Opći podaci o mostovima često se razlikuju od vrela do vrela. Ovdje su kao najvjerodostojnija odabrana ona s Interneta [8], [9], uz provjeru prema [3] i [5].

### Most Brooklyn

glavni raspon	<b>486 m</b>
vrijeme izgradnje	<b>1870. – 1883.</b>
projektanti	<b>John i Washington Roebling</b>
ukupna duljina	<b>1834 m</b>
prometnica	<b>6 cestovnih trakova</b>
plovni profil	<b>41,1 m</b>
visina piona	<b>84 m</b>

### Most Williamsburg

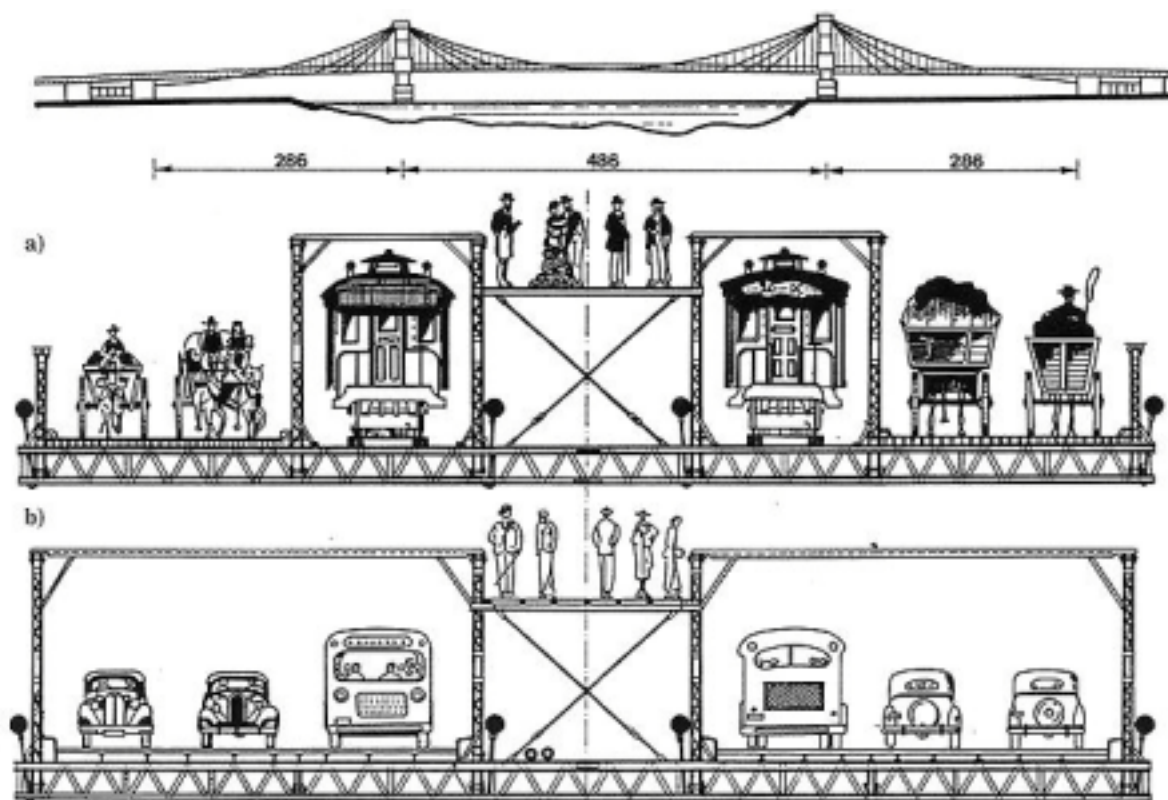
glavni raspon	<b>488 m</b>
vrijeme izgrad.	<b>1896. – 1903.</b>
projektanti	<b>Leffert L. Buck, Gustav Lindenthal</b>
ukupna duljina	<b>2230 m</b>
prometnica	<b>8 cestovnih kolnika + 2 kolosijeka gradske željeznice</b>
plovni profil	<b>41,1 m</b>
visina piona	<b>94,5 m</b>

### Most Manhattan

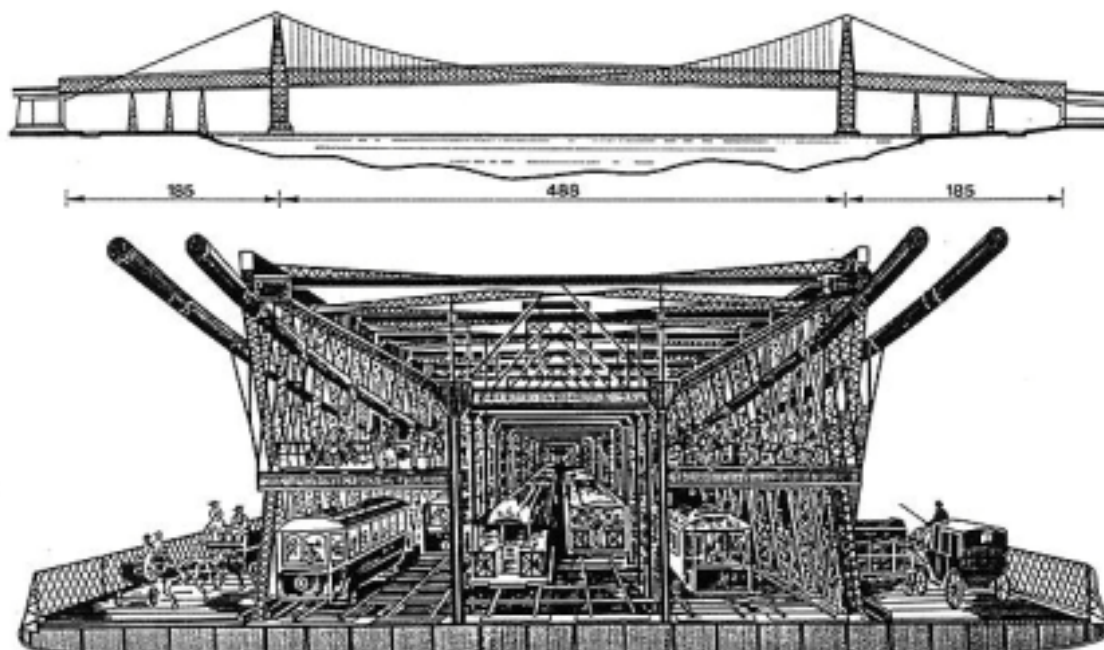
glavni raspon	<b>448 m</b>
vrijeme izgradnje	<b>1901. – 1909.</b>
projektanti	<b>R. S. Buck, Gustav Lindenthal, Rudolphe Modjeski, Leon S. Moisseiff</b>
ukupna duljina	<b>2090 m</b>
prometnica	<b>7 cestovnih kolnika + 2 kolosijeka gradske željeznice</b>
plovni profil	<b>41,1 m</b>
visina piona	<b>98,2 m</b>

### Most Queensboro (59<sup>th</sup> Street Bridge)

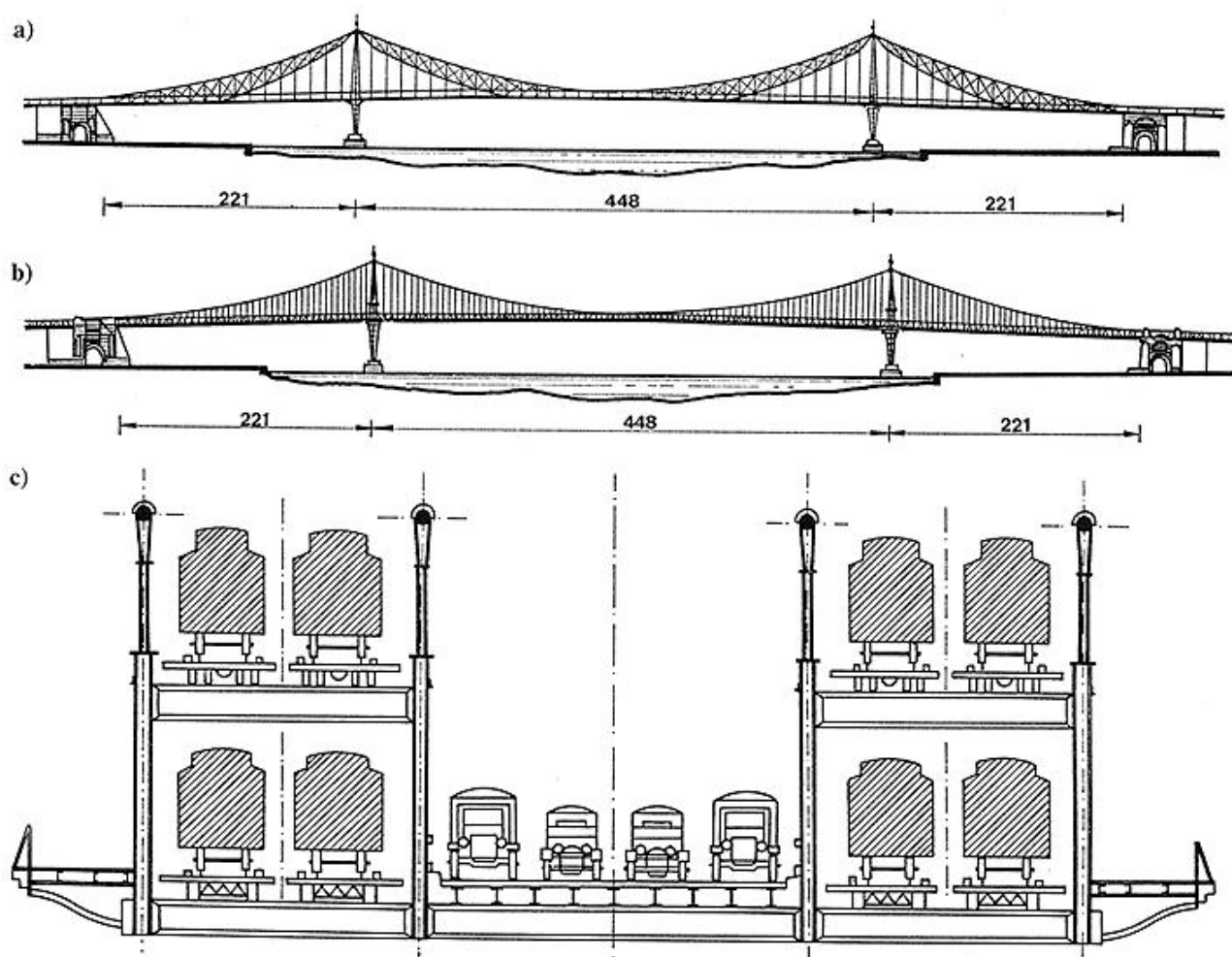
glavni raspon	<b>360 m (istočni most)</b>
(rešetke)	<b>300 m (zapadni most)</b>
vrijeme izgradnje	<b>1906. – 1909.</b>
projektant	<b>Gustav Lindenthal</b>
ukupna duljina	<b>1135 m</b>
prometnica	<b>10 cestovnih kolnika</b>
plovni profil	<b>39,6 m</b>
visina rešetke	<b>67 m</b>



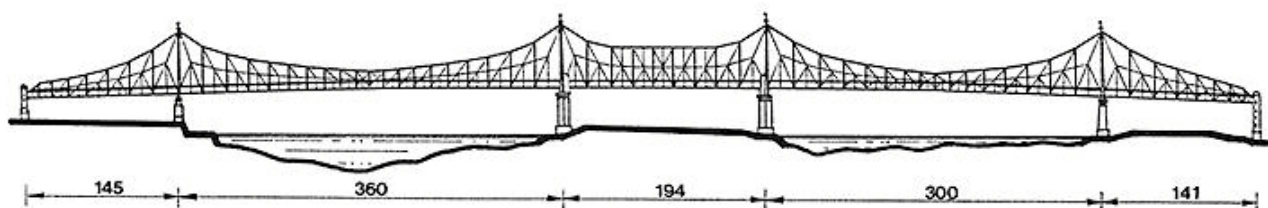
Slika 2. Skica Brooklynskog mosta. a) pogled na most b) poprečni presjek i raspored prometa nakon izgradnje 1883. i danas



Slika 3. Skica i poprečni presjek mosta Williamsburg. Stupovi koji podupiru krajnje raspone dodani su naknadno



Slika 4. Skice mosta Manhattan. a) projekt lančastoga visećeg mosta G. Lindenthala, b) skica izvedenog mosta R. Modjeskog, c) poprečni presjek izvedenog mosta



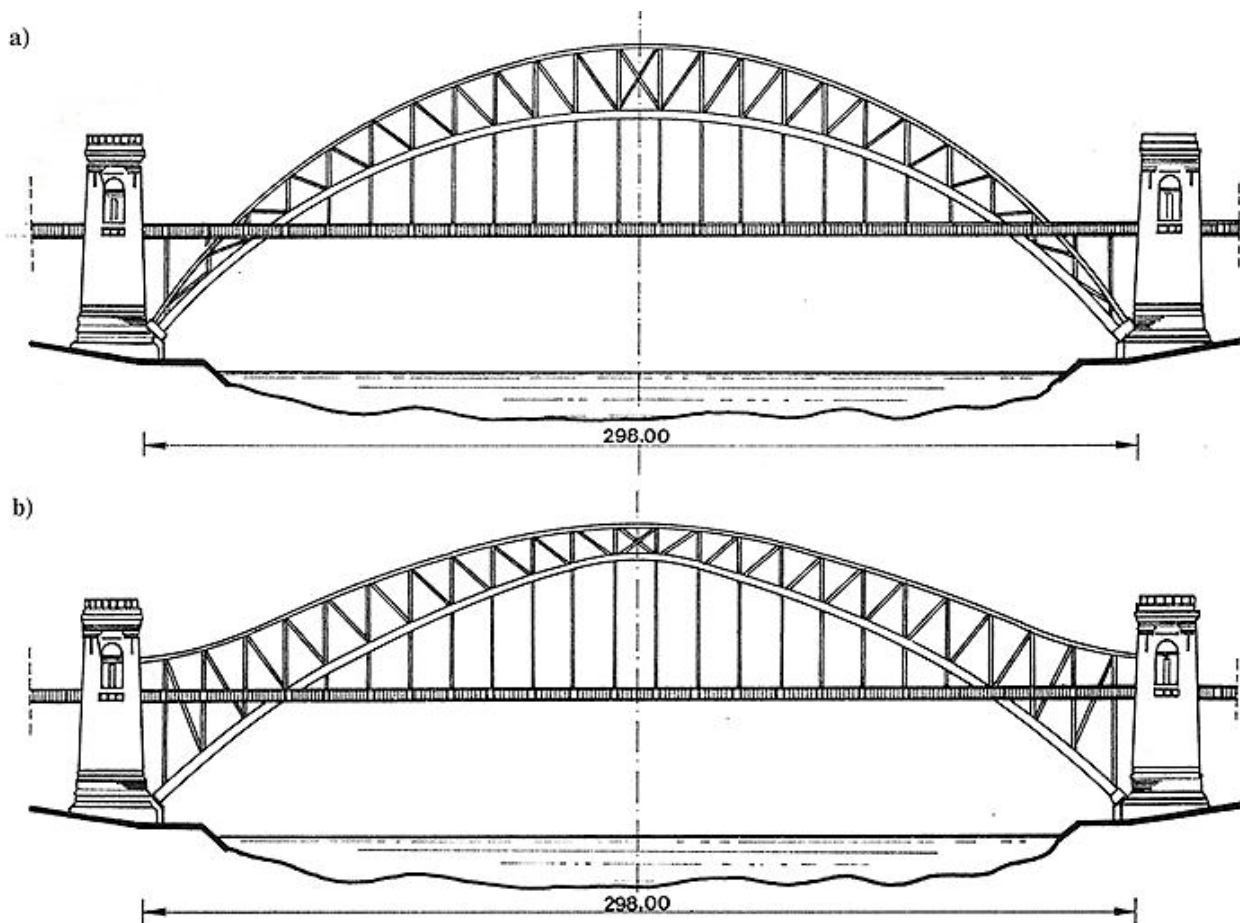
#### Most Hell Gate

glavni rasp. luka	298 m
vrijeme izgradnje	1914. – 1916.
projektant	Gustav Lindenthal
ukupna duljina	5151 m
prometnica	4 normalna kolosijeka
plovni profil	41,1 m
visina luka	93 m

#### Most George Washington

glavni raspon	1067 m
vrijeme izgradnje	1927. – 1931.
projektanti	Othmar Ammann
ukupna duljina	1451 m
prometnica	14 cestovnih kolnika
plovni profil	64,9 m
visina pilona	184 m

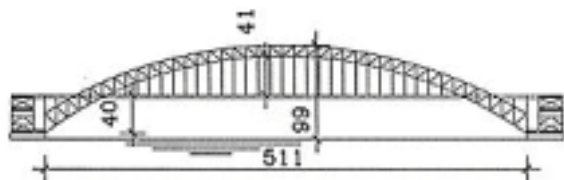




Slika 6. Skice mosta Hell Gate. a) varijanta sa srpastim lukom, po uzoru na Eifelov vijadukt Garabit b) izvedeni most

**Most Bayonne**

glavni rasp. luka	510,5 m
vrijeme izgradnje	1928. – 1931.
projektant	Othmar Amman
ukupna duljina	2522 m
prometnica	8 cestovnih kolnika
plovni profil	41,1 m
visina luka	93 m



Slika 8. Skica mosta Bayonne



Slika 9. Skica mosta Henry Hudson

**Most Henry Hudson**

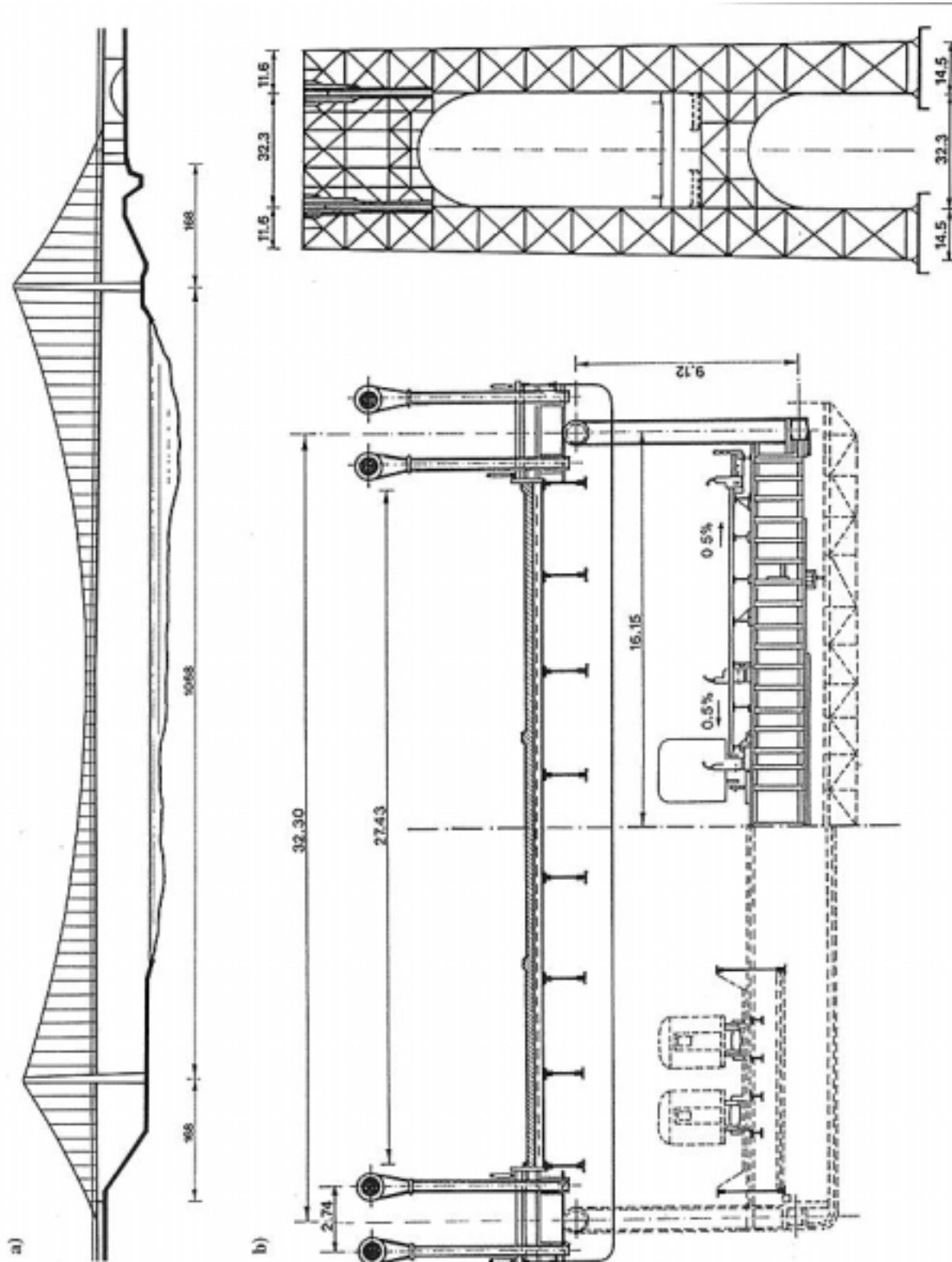
glavni rasp. luka	244 m
vrijeme izgradnje	1935. – 1936.
projektant	David Steinman

**Viseći most Triborough**

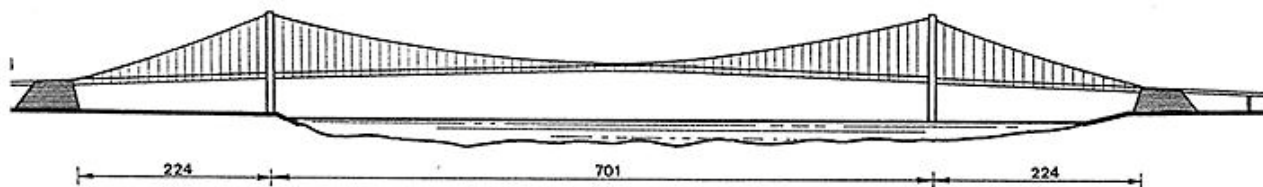
glavni raspon	470 m
vrijeme izgradnje	1929. – 1936.
projektant	Othmar Amman
ukupna duljina	847 m
prometnica	8 cestovnih kolnika
plovni profil	43,6 m
visina pilona	90 m

**Podizni most Triborough -**

glavni raspon	94 m
vrijeme izgradnje	1929. – 1936.
projektant	Othmar Amman
prometnica	6 cestovnih kolnika
plovni profil	16,8 m (spuš.), 41,1 m (podig.)
visina tornjeva	64 m

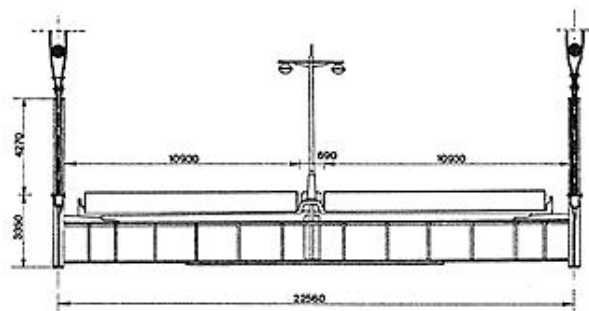


Slika 7. Skica mosta George Washington – pogled, poprečni presjek i pogled na pilon



Most Bronx - Whitestone

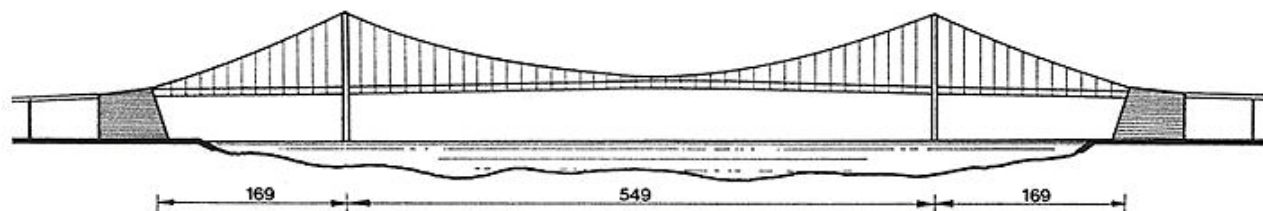
glavni raspon	701 m
vrijeme izgradnje	1937. – 1939.
projektanti	Othmar Amman
ukupna duljina	2176 m
prometnica	6 cestovnih kolnika
plovni profil	45,7 m
visina pilona	115 m



Slika 10. Skica mosta Bronx - Whitestone. Pogled na most i poprečni presjek

Most Throgs Neck

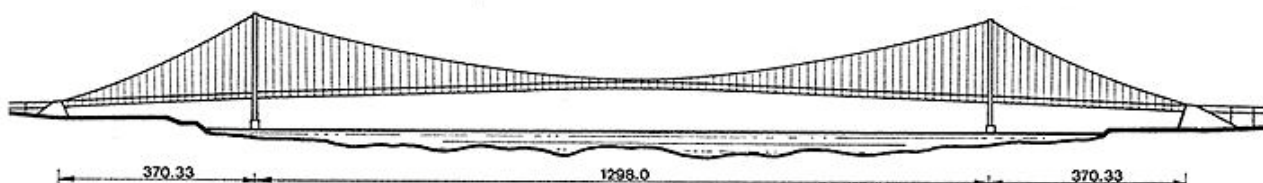
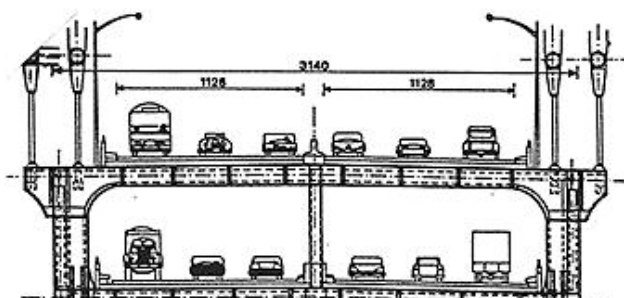
glavni raspon	549 m
vrijeme izgradnje	1957. – 1961.
projektant	Othmar Amman
ukupna duljina	4084 m
prometnica	6 cestovnih kolnika
plovni profil	43,3 m
visina pilona	110 m



Primitivni viseći mostovi postojali su još u davnoj prošlosti, a u Kini su dokumentirani mostovi sa željeznim lancima iz 2000. godine pr.Kr. Lančasti mostovi gradili su se u Europi još u 18. stoljeću, no tek je otkriće načina masovne proizvodnje čelika sredinom 19. st. potaklo pravu ekspanziju visećeg mosta [1]. Razvitak u SAD-u započinje 1801. mostom Jamesa Finlaya raspona 21,3 m.

Most Verrazano Narrows

glavni raspon	1298 m
vrijeme izgradnje	1959. – 1964.
projektant	Othmar Amman
ukupna duljina	4176 m
prometnica	12 cestovnih kolnika
plovni profil	69,5 m
visina pilona	211 m



Slika 12. Skica mosta Verrazano i poprečni presjek

### 3 Viseći mostovi

U razdoblju do 1828. on je sagradio trinaest sličnih građevina s lančastim ili kabelima od strukova žice i s rešetkastim gredama za ukrućenje. Nakon njegove smrti, viseći mostovi razvijaju se u Europi [1].

Industrijska je revolucija omogućila masovnu proizvodnju građiva, željeza i čelika, ujednačene kakvoće, a s druge strane izazvala nagli porast teškog prometa i potrebu za novim čvrstim prijelazima. Tijekom 19. stoljeća razvijene su teorijske podloge koje su potvrdile postojeća iskustva graditelja i ohrabrile ih na nove iskorake. Od izvedbe mosta na Nijagari projektanta i graditelja Johna Roeblinga 1855., pa do dovršenja mosta Verrazano, Othmara Ammanna, evolucija suvremenih visećih mostova vezana je uz New York i velike američke graditelje.

Prvu teoriju za proračun visećeg mosta postavio je Navier 1823., nakon čega slijede radovi Rankinea i Melana, zasnovani na teoriji elastičnosti. Teoriju II reda, odnosno geometrijsku nelinearnost u proračun mostova uvode Ritter, (1877.), Levy (1886.) i Melan (1888.), a u praksi ju prvi primjenjuje Moisseiff (1906.) pri projektiranju mosta Manhattan. Primjenom nelinearnog proračuna grede visećeg mosta dobivaju se ekonomičnija rješenja, dok linearni proračun daje rezultate na strani sigurnosti. Naprotiv, kod lučnih mostova situacija je obrnuta, jer nelinearni proračun daje rezultate na strani sigurnosti.

Osim razvitka teorije, napredak ka vitkijim sklopovima većih raspona omogućen je promjenama u interpretaciji propisanoga korisnoga opterećenja na mostovima. Prvi veliki viseći mostovi računati su na navalu teških vozila po čitavoj duljini sukladno tada važećim propisima. Budući da je vjerojatnost ovakvog događaja na velikom mostu vrlo mala, projektanti ga od početka XX st. znatno reduciraju [4].

Napredak prema sve tanjim i gipkijim ovješanim gredama naglo je zaustavljen poznatom nesrećom mosta Tacoma, koja nije, kako se nekad smatralo, prvi slučaj rušenja visećeg mosta zbog aerodinamičke nestabilnosti. Most Wheeling, sagrađen u Ohio 1848., tada rekordnog raspona od 305 m, srušio se pri umjerenom vjetru 1854. godine. John Roebling je znao za tu nesreću, pa je na mostu Brooklyn ugradio dodatne kose zatege [2], uz to što je izveo vrlo krutu rešetkastu gredu.

S porastom raspona raste i značenje horizontalne krutosti ovještene grede kod opterećenja vjetrom. Uvriježeno se smatra da vjetrom prouzročene oscilacije građevina do 1940. nisu bile teorijski obrađene, što nije potpuno točno, jer je W. Watters Pagon već 1934. objavio seriju članaka o djelovanju vjetra na konstrukcije, i to na temelju iskustva na ispitivanju aerodinamičkih značajki zrakoplova u

vjetrovnom tunelu. Članci su bili potaknuti pojavama uočenim na nekim građevinama visokogradnje [3], a prošli su manje-više nezapaženo, do temeljitijih istraživanja nakon udesa nesreće Tacoma 1940. Nakon tog događaja pojavile su se sumnje i u stabilnost mosta Bronx-Whitestone. Osnovni omjeri geometrijskih pokazatelja za ova dva mosta iskazani su u tablici 1., usporedno s podacima o mostu George Washington, koji je sagrađen desetljeće prije. Oni ilustriraju postupni napredak ovih mostova u smjeru sve vitkijih i smjelijih greda. (Leon S. Moisseiff bio je glavni konstruktor – statičar na sva tri mosta [3])

Tablica 1. Oblikovni odnosi triju velikih visećih mostova Leona S. Moisseiffa.

Most	Tacoma Narows (1940.)	Bronx-Whitestone (1939.)	George Washington (1931.)
raspon/visina grede	1:350	1:209 (1:91*)	1:120 (1:89**)
širina/glavni raspon	1:72	1:31	1:33
bočni raspon/glavni raspon	1:2,6	1:3,1	1:5,6
* nakon dodavanja rešetkastog nosača nad postojeći, 4 godine nakon izgradnje			
** nakon dodavanja druge prometne razine, odnosno rešetke ispod izvornih punostijenih nosača.			

Na sva tri mosta greda je izvorno bila izvedena kao roštilj od punostijenih nosača umjesto do tada uvriježene rešetke. Istragom o nesreći Tacoma ustanovljeno je da su odnosi ostvareni na mostu bili nepovoljni i presmioni.

Glavni projektant mosta Bronx – Whitestone, Othmar Ammann vjerovao je da je most siguran, usprkos oscilacijama grede pri jačem vjetru. Da bi se popravila stabilnost, greda je povezana s pilonima dodatnim kosim zategama odmah 1940. Neugodne pojave time nisu uklonjene pa je greda ukrućena rešetkastim nosačima visine 4,3 m, koji su dodani nad postojeće punostijene glavne nosače.

### 4 Lučni mostovi

Njujorškim izvedbama lučnih mostova prethodio je znameniti most James B. Eadsa preko Mississippija u St. Louisu, s tri otvora presvođena rešetkastim upetim lukovima raspona oko 150.0 m. Dovršen je 1874., dakle, prije nego što su G. Eiffel i T. Seyrig u Portugalu sagradili rešetkasti željeznički viadukt Douro (1877.), sustava dvoznogobnog luka. Najpoznatija europska izvedba ovog tipa svakako je vijadukt Garabit, G. Eiffela iz 1884. Među europskim uzorima prvoga velikoga njujorškog luka još treba istaknuti most preko Rajne u Bonnu, raspona 190 m, iz 1898.



Projektant mosta Hell Gate, Gustave Lindenthal, tijekom priprema za gradnju prijelaza razmatrao je tri idejna projekta različitih sustava:

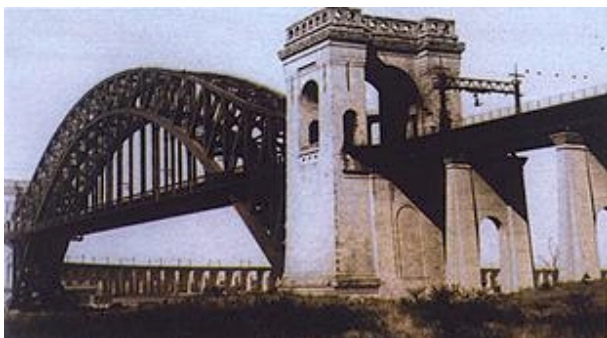
- lančasti viseći most
- most s kontinuiranom rešetkom preko tri raspona
- most s konzolnom rešetkom (Gerberov nosač) preko tri raspona.

Niti jedna od ovih varijanata nije odabrana zbog sumnji u njihovu pouzdanost pri dinamičkom opterećenju teškim vlakovima niti zbog oštrog krivine na prilazu, pa je konačno odlučeno da se izvede lučni most [3]. Lindenthal je svoje umijeće usmjerio na monumentalno oblikovanje, prepustivši detaljni proračun svojim suradnicima, jer je bio uvjeren da analize unutarnjih sila i naprezanja u presjecima, poduprte znanstvenim i ekonomskim analizama nisu jamstvo za uspješnu inženjersku građevinu.

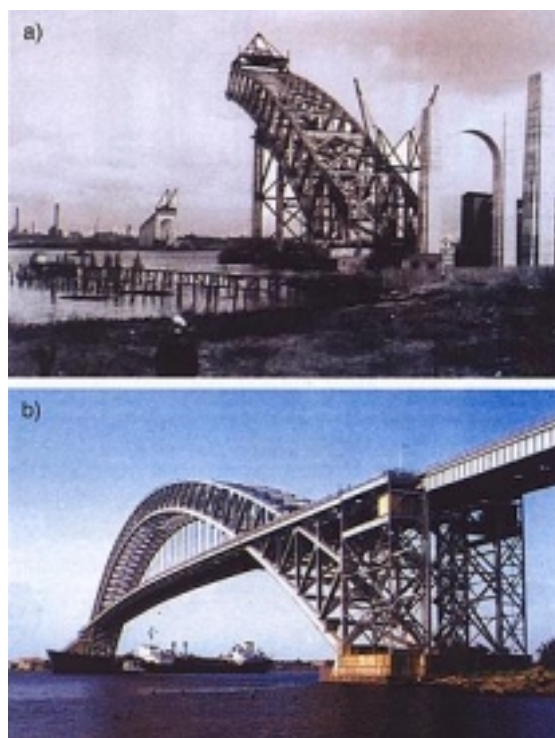
Razmatrane su dvije inačice lučnog mosta. Prva inačica bio je srpasti luk, kojem se gornji i donji pojas spajaju pri peti luka, inspiriran vijaduktom Garabit (slika 6.). Druga inačica plićega spandrilnog luka imala je donji pojas koji započinje u peti, dok gornji pojas počinje pri vrhu sidrenih tornjeva. Ovo rješenje, inspirirano mostovima preko Rajne u Njemačkoj, odavalo je dojam veće krutosti, zbog čega je na kraju i odabrano (slika 13.).

Pri projektiranju mosta Bayonne (slika 17.b), osim lučnog mosta razmatrana su i dva varijantna rješenja, konzolne rešetke i visećeg mosta s rešetkastom gredom za ukrućenje i dodatnim dijagonalnim zavješanjem. Konzolna rešetka brzo je odbačena kao nepraktična, ružna i preskupa. Viseći most razmatran je do trenutka kada je od projektanta zatraženo da na mostu predvidi i dva željeznička kolosijeka, za što je potreban krući sklop. Odabrano je rješenje Othmara Amanna s lukom rekordnog raspona, načinjeno po uzoru na most Hell Gate. Glavni nosač mosta je rešetkasti čelični luk s kolnikom dolje i paraboličnim intradosom.

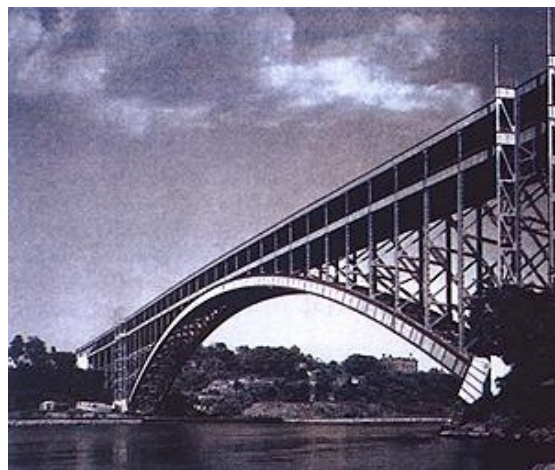
Most Henry Hudson (slika 15.) izgrađen je kao punostijeni luk tada rekordnog raspona, s mogućnošću dogradnje gornje prometne razine, što je kasnije i izvedeno.



Slika 13. Most Hell Gate, dovršen 1916.



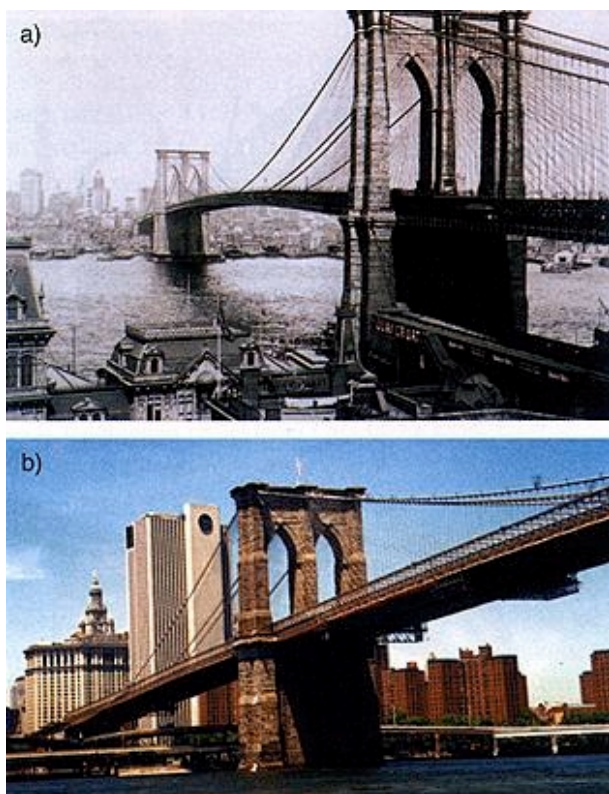
Slika 14. a) Konzolna izvedba čelične rešetke luka mosta Bayonne. b) Pogled na most Bayonne (dovršen 1931.)



Slika 15. Pogled na most Henry Hudson, dovršen 1936.

## 5 Veliki njujorški mostograditelji

Kada se usporede biografije velikih graditelja [2], [3], [6], uočava se raznolikost pristupa projektiranju, različitost vrste i kakvoće formalne naobrazbe, kao i različitost karaktera. Ono što im je svima zajedničko jest širina uočavanja problema, gotovo fanatična predanost poslu i spremnost na primjenu novih spoznaja, dakle hrabrost. Niti je-



Slika 16. Most Brooklyn iz 1883. a) fotografija s početka XX. stoljeća, b) fotografija s kraja XX. stoljeća

dan od ovdje spomenutih graditelja nije bio uski specijalist, bilo znanstvenik, projektant, voditelj radova ili poslovni čovjek. Graditelji velikih mostova morali su biti sve to, univerzalni inženjeri u renesansnom smislu.

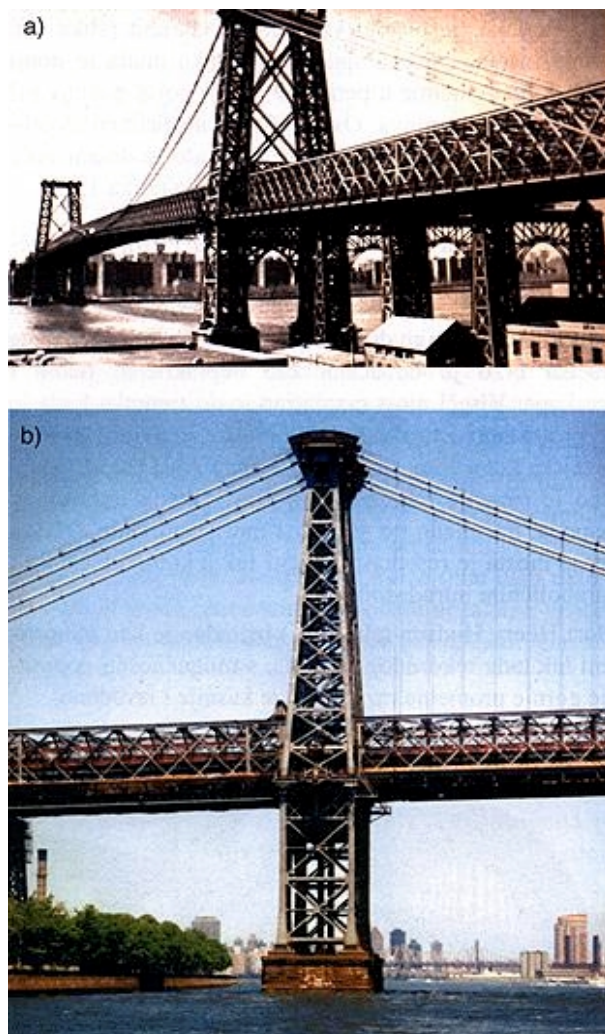
Suprotno uvriježenom mišljenju, prema kojem su američki graditelji izvorno razvijali viseće mostove, evolucija ovih konstrukcija izravno se nastavlja na dotadašnja europska ostvarenja. W. Roebling se s njima upoznao na studijskim putovanjima po starom kontinentu, dok su se njegov otac, John Roebling, Moisseiff i Lindenthal školovali na europskim sveučilištima [3].

John Roebling diplomirao je na berlinskoj Politehnici 1826., a u SAD stigao je 1831. Radio je različite poslove, usput započevši proizvodnju kabela od usporednih željeznih žica u vlastitoj tvornici. Nakon niza izvedenih manjih mostova, preuzeo je gradnju mosta preko rijeke Nijagare. Na tom dvokatnom mostu za kombinirani, cestovno – željeznički promet, raspona 290 m potvrdio se kao vrstan graditelj, spreman za jedan od najvećih pothvata onog doba [2] - gradnju mosta Brooklyn. Idejni projekt objavio je 1855., započevši borbu za političku i financijsku potporu. Tijekom priprema za gradnju stradao je u nesretnom slučaju od čijih je posljedica ubrzo umro (1869.) John Roebling je, pored ostalog, prvi u praksu uveo kontinuiranu rešetkastu gredu za ukrućenje kroz sva tri glavna raspona visećeg mosta i usavršio tehniku izvedbe ka-

bela uplitanjem užadi na licu mjesta, uz sidrenje preko okastih štapova.

Radove na mostu preuzeo je njegov sin, Washington Roebling, koji je diplomirao u SAD-u. Nakon učešća u građanskom ratu, gdje je gradio viseće ratne mostove, boravio je u Europi, izučavajući građevine kao Telfordov most preko tjesnaca Menai i Brunelov viseći most Clifton i proizvodnju čelika.

Inovacije i napredna koncepcija mosta Roeblinga oca i brižna izvedba Roeblinga mlađeg razlozi su zbog kojih koji je most Brooklyn, rekordan po rasponu u vrijeme dovršenja, postavio osnovu i uzor za kasnija ostvarenja (slika 16.). Washington Roebling je teško stradao od kesojske bolesti nadzirajući temeljenje 1872., nakon čega je gradnjom, po njegovim uputama iz bolesničke postelje, upravljala supruga Emily.



Slika 17. a) Pogled na most Williamsburg iz 1903. b) Pilon mosta Williamsburg



Prvi projektant mosta Williamsburg, Leffert L. Buck, koncipirao je sklop po teoriji prema kojoj se promet mora prilagoditi značajkama nosivosti mosta, suprotno današnjem načelu, prema kojem most mora imati mogućnost prilagodbe zahtjevima prometa. Krajnja štednja presudno je obilježila projekt i samu izvedenu građevinu, jer su, osim inovativnih uvedene i neke potpuno promašene racionalizacije. Ispravnim se pokazalo to što su piloni načinjeni od čelika kako bi bili jeftiniji i lakši, čime su smanjeni troškovi temeljenja. Pristupni mostovi su također načinjeni od čelika, čime je skraćeno vrijeme izrade i smanjeni troškovi u odnosu prema do tada uvriježenim zidanim lučnim pristupima. S druge strane, bočni rasponi zbog štednje nisu ovješeni o noseće kabele, pa ih je kasnije, zbog neplaniranih progiba, trebalo podupirati. Iz istog razloga kabeli su načinjeni od žice koja nije galvanizirana, već je umjesto toga premazana lanenim uljem, što je jedinstven slučaj kod takvih mostova [7]. Most Williamsburg (slika 17.) je glavnim rasponom nadmašio Brooklynski most, ali je bitnije uočiti da je prvi u potpunosti izveden od čelika.

Idejni projekt mosta Manhattan, s kabelima od užadi po uzoru na Brooklynski most, načinio je R. S. Buck. Gradnju mosta započeo je Gustav Lindenthal, jedan od najvećih newyorških projektanata i graditelja mostova. On je izmijenio projekt, planirajući sagraditi znatno krući ali i skuplji lančasti sklop. Lindenthal je bio rođen u Brnu

1850., a podaci o njegovu formalnom školovanju nakon 14. godine ne postoje, premda je tvrdio da je diplomirao na Brnskom sveučilištu.

Lindenthal je dovršio temelje i pilone mosta Manhattan kada je smijenjen s mjesta glavnog inženjera političkom odlukom. Gradnju je preuzeo Rudolphe Modjeski, rođen u Krakovu 1861., a obrazovan na čuvenoj pariškoj Ecole des Ponts et Chaussee's, gdje je diplomirao 1885. kao prvi u klasi. Modjeski se vratio na izvornu koncepciju mosta s kabelima od užadi, dodatno ojačavši zatečene pilone. Most Manhattan (slika 18.) smatra se prvim modernim visećim mostom, jer su njegove osnovne karakteristike (ovješene bez dodatnih kosih zatega, gipki čelični piloni, relativno vitka ovješena greda) zadržali svi viseći mostovi izgrađeni u idućih pedesetak godina. Za iskorak u oblikovanju uvelike je zaslužna primjena teorije II. reda (deflection theory). Nedostatak mosta, koji je doveo do oštećenja proizlazi iz nepovoljnog rasporeda prometnog opterećenja u poprečnom smislu, gdje je željeznica smještena na rubu grednog nosača, a cestovni promet u sredinu.

Danas je teško suditi o tome da li bi Lindenthal bio izveo uspješniji sklop, jer su na nekim lančastim visećim mostovima pronađene pukotine i žarišta korozije na mjestima spojeva karika trnovima, u rasponu od mikroskopskih do milimetarskih. Lindenthal je bio posljednji zagovornik lančastih sklopova [3].



Slika 18. Most Manhattan, iz 1909., fotografija iz vremena neposredno nakon izgradnje. Dim na polovici raspona diže se iz lokomotive gradske željeznice

Pri konstruiranju mosta Queensboro, a još više pri oblikovanju mosta Hell Gate, do punog je izražaja došla Lindenthalova sklonost krutim konstrukcijama, sa znatnom rezervom nosivosti. Minimalne potrebe za održavanjem njegovih mostova potvrdile su ispravnost ovog načela. Most Queensboro (slika 19.) projektiran je po uzoru na tada uvriježene konzolne rešetkaste sklopove, poglavito poznati željeznički most Fowlera i Bakera preko zaljeva Firth of Forth, sagrađen desetljeće ranije. No, za razliku od Forthskog mosta, koji je po statičkom sustavu Gerberov nosač, na Queensborou nije predviđena umetnuta greda, već su konzole izravno spojene na sredini raspona. Time je statička analiza postala znatno složenijom, ali je konstruktivno i oblikovno odluka bila ispravna [3].



Slika 19. Most Queensboro

Othmar Hermann Ammann rođen je u Švicarskoj 1879., gdje se i školovao na čuvenoj ETH (Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich). Njegova sklonost likovnom izražavanju (djed i dva brata bili su slikari) odvela ga je prvo na studij arhitekture, a na građevinarstvo je prešao kasnije. Ipak, kod svih njegovih mostova primjetna je suradnja s arhitektima u promišljanju oblikovanja. U New York je emigrirao 1904., ostvarivši potom impozantnu karijeru na polju projektiranja velikih visećih mostova, među kojima se ističe šest glavnih ostvarenja: mostovi George Washington 1931., Triborough 1933., Bronx-Whitestone 1939., Throgs Neck 1961. i Verrazano Narrows 1964. Na svim ovim mostovima glavni statičar bio je Leon S. Moisseiff.

Most preko rijeke Hudson poznat pod imenom Georgea Washingtona isprva je projektiran u birou Gustava Lindenthala, gdje je Ammann bio glavni pomoćnik. Kada je Ammannu postalo jasno da golema građevina za pretežno željeznički promet, kakvu je zamislio njegov mentor, nikada neće biti izvedena zbog prekomjerne cijene i megalomanskih izmjera, napustio je to mjesto i započeo raditi samostalno. Ubrzo je njegov projekt lakšeg mosta za cestovni promet zadobio potporu političara, potom i bankara, a on sam imenovan je glavnim inženjerom. Na ovome mostu (slika 20.) Ammann je napravio bitan iskorak od tada konvencionalnog projektiranja grede, izvevši je od punostjenih nosača. Smatrao je da je rešetkasta greda



Slika 20. Pogled na most George Washington

neophodna za mostove predviđene za teški željeznički promet, ali nije potrebna za cestovni most. Uz povoljan odnos stalnog i pokretnog opterećenja ( $p/g = 1/6$ ) i kratke rubne raspone, ovakva se koncepcija pokazala ispravnom [11]. Ipak, most je projektiran tako da se omogući naknadna izvedba još jednog kolnika, ispod razine izvorne prometnice, sukladno planiranom porastu prometa. Ova rekonstrukcija dovršena je 1962. [5]. Most George Washington dovršen je 1931., a prvi europski viseći most s gredom od punostjenih nosača, preko Rajne, sagrađen je 1938. po projektu F. Leonhardta [6].

S obzirom na značenje mosta načinjeno je više projekata čeličnih pilona s kamenom oblogom u različitim arhitektonskim stilovima. Ipak, zbog štednje i pod utjecajem javnog mišljenja, glavni projektant odlučio je ostaviti neukrašene rešetkaste tornjeve. Kod kasnijih izvedaba ovaj se pristup pokazao ispravnim, a piloni bez ukrasa, oblikovani kao jednostavni okviri ili rešetke bili su neko vrijeme oblikovni standard. Pošto je most dovršen Le Corbusier ga je opisao kao "najljepši most na svijetu i oazu ljepote u poremećenom gradu" [8].

Pri projektiranju kabela za viseći most Triborough (slika 21.), Ammann je odstupio od do tada uvriježene izvedbe, povivši ih u sidrene blokove pod kutom od  $45^\circ$ , tako da se dio sile prenosi u tlo preko sedla na kojem se povijaju, a dio preko sidrenog bloka. Osim toga, konstrukcija ovješene grede pojednostavljena je u odnosu prema prijašnjim rješenjima. Umjesto složene prostorne rešetke izvedena su dva ravninska rešetkasta nosača visoka 6 m, međusobno povezana punostijenim gredama raspona 30 m, na koje se oslanja kolnička ploča. Kolnik je upušten između gornjeg i donjeg pojasa rešetaka, dok su pješačke staze konzolno istaknute s gornjeg pojasa. Nasuprot ekonomičnoj gredi stoje piloni koji sadrže dekorativne elemente u duhu Art Decoa, koje je Ammann naslijedio od projektanta koji je započeo gradnju, pa bankrotirao [5], [8].





Slika 21. Pogled na viseći most Triborough (dovršen 1936.)

Hrabre inovacije koje je projektirao na mostu Bronx – Whitestone bile su uvjetovane iznimno kratkim rokovima za dovršenje čitavog projekta. Piloni mosta, izvedeni



Slika 22. Montaža noseće grede mosta Throgs Neck, s masivnim sidrenim blokom u prvom planu



Slika 23. Pogled na most Throgs Neck (dovršen 1961.)

su za samo 18 dana, i to prvi put kao okvirne građevine, bez dijagonala. Uzdužno gipki tornjevi, zatvorenoga sandučastog presjeka pri vrhu i dnu povezani su gredama s polukružnim vutama. Kolnička ploča načinjena je od predgotovljenih armiranobetonskih dijelova [5], [8].

Most Throgs Neck (slike 22. i 23.) bio je Ammannu prvi projekt velikoga visećeg mosta nakon katastrofe mosta Tacoma, koji je projektirao njegov prijatelj i glavni staričar Moisseiff. Throgs Neck je sagrađen konzervativnije od mosta Bronx - Whitestone, s rešetkastom gredom visine 8,5 m, razmjerno krućom od prije projektiranih. Premda je na ovome mostu Ammann odustao od punostijernih nosača nije se odrekao prometnice povrh nosača, zbog toga da korisnicima omogućiti neometan pogled s mosta [8], [5].

Izvedbom mosta Verrazano (slika 24.) Ammann je postavio rekord po veličini raspona koji je trajao 17 godina. Na njemu nema značajnih konstrukcijskih inovacija u odnosu prema njegovim prethodnim ostvarenjima, ali su primijenjeni novi i poboljšani postupci izvedbe, među kojima se ističe postupak montaže grede. Budući da je središnji raspon visećeg mosta teži od bočnih raspona, njegova izvedba uzrokuje naginjanje vrhova pilona jednog prema drugom. Na većini visećih mostova piloni su bili izvedeni s dodatnim razmakom pri vrhu prije negoli su opterećeni, i to za pretpostavljenu vrijednost naginjanja prema središnjem rasponu. Na mostu Verrazano Narrows to nije učinjeno, već su piloni pet puta tijekom gradnje potezani zategama prema obalama da bi se ostvario nagib koji će biti poništen pri izvedbi ovješene grede. Sama ovješena greda projektirana je konvencionalno, kao rešetkasti sklop. Rešetka se sastoji od 75 odsječaka

koji su montirani na obali, dopremljeni morem, i onda podignuti na mjesto u sklopu. Na svim do tada izvedenim visećim mostovima u Sjedinjenim Državama izvedba rešetke počela bi kod pilona, da bi se nastavila prema sredini mosta i prema sidrištima. Na mostu Verrazano prvo je podignut središnji odsječak u glavnom rasponu, da bi nakon toga montaža išla dalje prema sidrištima. Na ovaj način su se željele smanjiti deformacije pilona i izbjeći uvrtanje kabela. Zanimljivo jest da se zbog temperaturnih deformacija visinska kota rešetke u polovištu glavnog raspona od zime do ljeta mijenja otprilike 3,7 m.



Slika 24. Pogled na most Verrazano-Narrows, dovršen 1964.

Leon Solomon Moisseiff nije glavni projektant niti jednog od velikih newyorških mostova, no kao statičar Ammannovih ostvarenja i tragičar mosta Tacoma zaslužio je da ga se spomene i u kratkom pregledu. Rođen je u Latviji 1872., a školovao se na Politehnici u Rigi i na sveučilištu Columbia (SAD). Prije nego što je postao samostalni projektant, radio je na razradi projekata Williamsburg, Queensboro i Manhattan pod Lindenthalovim vodstvom. U teoretskom pogledu njegov najveći doprinos očituje se u razradi i praktičnom uvođenju teorije II. reda u projektiranje visećih mostova s gredom od punostijenih nosača. Od 1926. do 1940. projektirao je ili je bio konzultant na svim visećim mostovima velikog raspona u SAD-u.

David Barnard Steinman rođen je 1886. u New Yorku, a inženjersku titulu stekao je na Sveučilištu Columbia, obranivši diplomski rad – projekt prema kojem je kasnije izveden most Henry Hudson. Za razliku od Ammanna – prvotno velikog praktičara, Steinman je bio značajan i kao teoretičar, autor znanstvenih radova i profesor. Radeći na sveučilištu u Idaho preveo je i objavio nekoliko njemačkih knjiga prof. Melana, prije nego što se zaposlio kod Lindenthala na projektiranju i izvedbi mosta Hell Gate. Ondje se istakao proračunavajući, a potom mjereći naprezanja i deformacije u štapovima rešetke. Nakon dovršenja mosta Hell Gate, Lindenthalov prvi pomoćnik Ammann objavio je cjelovito izvješće o projektiranju i gradnji na 150 stranica, i to kao vlastiti autorski rad.

Nasuprot tome, Steinman je objavio izvorni znanstveni rad o zaostalim napreznjima u čeličnom rešetkastom sklopu. U ono vrijeme struka je veću vrijednost pridala Ammannovu radu koji nije imao obilježja znanstvenog. Steinman nije ostvario svoju viziju velikog mosta na ulazu u njujoršku luku jer ga je pretekao njegov doživotni rival, Ammann izvedbom mosta Verrazano [3].

## 6 Rekonstrukcije i održavanje mostova

Održavanje velikih mostova, posebice visećih, jest inženjerski zadatak gotovo ravan gradnji novog mosta. Osim toga, mostovi Brooklyn, Williamsburg i Manhattan sa 21 cestovnim trakom glavne su arterije središta New Yorka, pa se svi radovi na njima planiraju tako da nikada ne budu zatvorena više od 3 traka odjednom jer inače dolazi do prometnog kolapsa. Radovi na održavanju i popravcima ustupaju se javnim natječajem. Svaki mjesec objavljuje se lista (“prognoza”) natječaja koji će biti raspisani u neposrednoj budućnosti, kako bi se potencijalni izvođači mogli za njih pripremiti. Pod gradskom je upravom, između ostalih mostova, pet glavnih prijelaza East Rivera na kojima se ne naplaćuje prijelaz, a na ostalim mostovima postoji sustav naplate iz kojeg se financiraju popravci.

Osim popravaka dotrajalih dijelova, na većini mostova bilo je potrebno tijekom uporabe provesti rekonstrukcije, odnosno unijeti konstruktivne izmjene u sklop zbog uočenih nedostataka, ili zbog promijenjenih prometnih potreba.

Most Brooklyn svoju je prvu veliku rekonstrukciju doživio 1954. nakon 71 godine uporabe. Unutarnje i vanjske rešetke ovješene grede prepravljene su za teži cestovni promet, željeznica je uklonjena s mosta, a prostor za kolnik proširen je sa dva na po tri traka u svakom smjeru (vidi sliku 2. b). Izvedena je nova kolnička ploča, i to kao čelično saće (roštilj), ispunjeno betonom. Iduća velika rekonstrukcija glavnoga nosivog sustava uslijedila je 1979. Tijekom 1999. kolnička je ploča potpuno izmijenjena, pošto je uočeno mrvljenje i odlamanje betona. 2000. je započela priprema za kompletnu obnovu prilaznih vijadukata koja bi trebala biti dovršena 2003. Na mostu je zabranjen kamionski promet.

Pri projektiranju i gradnji mosta Williamsburg nije ostavljena gotovo nikakva rezerva nosivosti, tako da su već tri godine nakon dovršenja uočeni preveliki progibi pod težinom prometa. Stoga su tijekom idućeg desetljeća dodana po dva oslonca pod svaki krajnji raspon, dok je ovješana greda dodatno ojačana kako bi mogla nositi povećanu težinu vlakova gradske željeznice. Osim nosivosti, 1920. godine povećana je i propusna moć mosta, tako što je on prilagođen prometu na 8 cestovnih traka. Detaljnim pregledom mosta provedenim 1988. godine pronađena je korozija glavnih nosećih kabela, grede za

ukrućenje i čeličnih stupova pa je most hitno zatvoren za sav cestovni i željeznički promet na dva mjeseca. Nakon hitnih popravaka iznova je otvoren, a ekspertna komisija zadužena je za odluku o njegovoj zamjeni ili popravku. Procjene troškova kretale su se od 250 milijuna dolara za popravak do 700 milijuna dolara za zamjenu mosta. Razmatrano je pet projekata za zamjenu mosta koje su izradile najpoznatije svjetske projektne tvrtke [8], da bi na kraju nadležna uprava odlučila popraviti postojeći most i to bez zaustavljanja prometa, kako bi se umanjio utjecaj na prometne tokove u gradu. Izvedba je planirana kroz 14 godina, a radovi još traju.

Na mostu Manhattan kombinirani cestovni, pješački i promet gradske željeznice teče u dvije razine, u rasporedu koji se od samog puštanja u promet pokazao nepovoljnim. Most je 1940. preuređen, pa se njime prometovalo u 7 kolničkih trakova i preko 4 kolosijeka, s tim da su vlakovi podzemne željeznice prolazili u trominutnim razmacima. Nepovoljan raspored opterećenja i s njim povezane deformacije izazvali su otvaranje pukotina u čeličnim nosačima rešetkaste grede, koje su otkrivene pregledom obavljenim 1978. Istodobno je otkrivena i početna korozija neke užadi na mjestu usidrenja, pa je most odmah zatvoren za sav promet. Kasnije je ipak dopušten promet uz ograničenja, a odluka o temeljitom popravku donesena je 1982. Dugoročnim projektom, koji još nije dovršen, obuhvaćeno je ukrućivanje ovješene rešetkaste grede u sva tri glavna raspona, nakon čega će kolnička ploča biti potpuno obnovljena ugradbom predgotovljenih dijelova. Uz to, obnavlja se i oprema mosta: ležaji i prijelazne naprave se mijenjaju ili prilagođavaju novim antiseizmičkim propisima. Slični su radovi poduzeti ili se poduzimaju na čitavom nizu starijih mostova na teritoriju SAD-a [13].

Preko mosta Queensboro posljednji vlakovi gradske željeznice prešli su 1957. godine kada je on prenamijenjen isključivo za cestovni promet. 1987. godine započela je temeljita obnova mosta. Prva faza dovršena je 1992. godine, a uključivala je popravke rasponskog sklopa, temeljitu obnovu gornje prometne razine i izgradnju novih prilaznih vijadukata. Druga faza, tijekom koje je obnovljen unutarnji dio donje prometne razine, dovršena je 1996. godine. Trenutno se obnavljaju vanjski prometni trakovi donje razine.

Na visećem mostu Triborough u tijeku je rekonstrukcija koja uključuje zamjenu kolničke ploče, popravak glavnih kabela i vješaljki visećeg mosta i prilagođavanje sklopova novim seizmičkim propisima.

Na lučnom mostu Hell Gate nije izveden značajniji popravak, niti je most iznova obojen sve do 1991. godine. Čak ni tada popravci nisu bili nužno potrebni, premda je most i dalje podnosio željeznički promet preko 4 kolosi-

jeka, ali je američki Kongres, na prijedlog jednog senatora koji je odrastao u blizini mosta, izdvojio sredstva da se on ponovno oboji u svoju jedinstvenu nijansu crvene boje.

Na mostu Bayonne provodi se višegodišnji program obnove koji obuhvaća zamjenu više od 15 000 m<sup>2</sup> dotrajalog betona na različitim mjestima na mostu, uklanjanje i zamjenu asfaltnog zastora, izmjenu prijelaznih naprava, popravak rubnjaka pješačkih staza i ograda i popravke kolničke konstrukcije. Svi popravci obavljaju se tako da su najmanje dva prometna traka mosta otvorena za promet.

Prepravci izvedeni na ovješenoj gredi mosta Bronx – Whitestone opisani su ranije. Njima je stabilnost mosta poboljšana na štetu izgleda, no veliki pomaci pod djelovanjem vjetra događaju se i dalje [8]. Za skorbu budućnost (2003.) predviđena je obnova kolničke ploče visećeg dijela mosta i kompletna obnova prilaznih vijadukata.

Na mostu Throgs Neck sredinom osamdesetih godina rekonstruirana je čelična kolnička ploča. Sredinom devedesetih rekonstruirani su prilazni vijadukti, a trenutno se popravljaju betonski srednji pojas između suprotnih smjerova prometnice, prijelazne naprave, a pomični ležaji mijenjaju se sukladno novim propisima.

Prvo ličenje mosta Verrazano Narrows nakon izgradnje započelo je 1998., 34 godine od puštanja u promet. Pretpostavlja se da će ličenje svih 465 000 m<sup>2</sup> izloženih površina potrajati oko 5 godina. Trenutno traju popravci prilaza s Brooklynske strane i električnih instalacija na mostu.

Tijekom posljednjeg desetljeća XX. stoljeća provedene su cjelovite sanacije glavnih nosećih kabela mostova Williamsburg, Bronx – Whitestone i Triborough. Kabeli od usporednih žica svih opisanih mostova izvorno su bili zaštićeni debelim premazom olovnom pastom (smjesa 92% olovnog oksida u prahu i 8% lanenog ulja), koji je izvana omotan žicom. Mogućnost korozije pojavljuje se ne samo na mjestima gdje je omotač oštećen, već i unutar kabela. Naime, promjer kabela od usporednih žica u poprečnom presjeku sadrži i oko 20% šupljina, unutar kojih se u uvjetima promjene vlažnosti zraka i temperature događa kondenzacija vlage koja potiče koroziju [7].

Mostovi se preuređuju i ugradbom suvremene elektroničke opreme. Tako se, primjerice, na većinu mostova ugrađuju senzori za praćenje vremenskih prilika te internet - kamere koje neprekidno prenose sliku prometa putem mreže, tako da neposredno prije prolaska kroz grad vozači mogu provjeriti stanje na putu.

Na svim mostovima uskoro će biti omogućen komforan prijelaz pješacima, biciklistima, pa čak i koturaljkašima (rolerima). Skupi prepravci poduzeti su zbog velikog pritiska javnosti. Primjerice, dodatne staze na mostu Verrazano stoje više od 20 milijuna dolara.

## 7 Zaključci

Poznavanje današnjeg stanja u našoj praksi projektiranja mostova navodi nas na isticanje nekih pouka iz obilja građe o newyorškim mostovima. One nisu nove, ali ih nije na odmet ponoviti:

### 1. Idejne studije

Svi veliki projekti počinju vizijama svojih graditelja, inženjera koji gledaju dalje od svakodnevnih poslova. Da bi se one ostvarile, nužno je osigurati potporu. Veliki projektanti puno su objavljivali, i to ne samo znanstvene i stručne nego i popularne radove, propagirajući svoje ideje i projekte, i one ostvarene, i one koji su ostali na razini zamisli. Prethodne studije ne stoje mnogo prema koristi koju donose, a u New Yorku su ih graditelji radili čak i za nepoznatog investitora. Time su na (uglavnom) transparentan način stjecali političku, a s njom i financijsku podršku, ne izbjegavajući međusobnu stručnu diskusiju putem časopisa i na skupovima. Bitnu ulogu u tome imale su različite strukovne udruge koje organiziraju i potiču dijalog, čuvajući razinu rasprave i dignitet struke. Stoga rad udruga, kakva je između ostalih i *amca-fa*, koja je potakla objavljivanje ovog rada, treba cijiniti i poticati.

### 2. Projektni zadatak

Nakon idejnih studija formira se projektni zadatak za neki prijelaz. Nadležne uprave često postavljaju nerealne zahtjeve na prometni profil, raspon i druga obilježja sklopa. Zajednički zadatak investitora i projektanta jest da u zadatku postignu razuman kompromis kako bi se prijelaz uopće ostvario. Primjerice, raspon izvedenog mosta Throgs Neck dvostruko je smanjen u prema izvornom projektu.

### 3. Prometnica na gradskom mostu

Na mostovima, posebice gradskim, neizbježne su promjene u veličini, pa čak i vrsti prometa tijekom vijeka uporabe. Stogodišnji newyorški mostovi građeni su za kolni i pješački promet, gradsku željeznicu i trolejbuse. Isprva se pješački promet naglo smanjivao, dok su automobili potisnuli javna prometala. Kasnije se gradski promet vratio sa znatno težim i bržim vozilima, a pješaci i biciklisti danas ultimativno traže svoje mjesto na prometnici. Na nekoliko velikih newyorških mostova promišljanja o budućem prometu vidljiva su iz ugrađene mogućnosti izvedbe druge prometne razine (George Washington, Henry Hudson). Projekcije budućeg prometa nisu kod svih mostova podbacile, već je bilo i suprotnih slučajeva, gdje su izvedeni mostovi koji dugo ili nikada nisu bili prometno iskorišteni.

### 4. Varijantna rješenja

Pri odabiru vrste sklopa za neki prijelaz odlučujuću ulogu imaju projektni zadatak, iskustvo projektanta i aktualne izvedbe. U početnoj fazi potrebno je, bez obzira na trenutne izvoditeljske okolnosti ili pojedinačne sklonosti razmotriti sve sklopove koji su prikladni za prepreku.

### 5. Empirijska pravila

Konstruiranje po važećim i priznatim teorijama i norma ne jamči uspjeh velikog mosta, jer ima pojava koje graditelji moraju uzeti u obzir na osnovi zanatskog iskustva, zdravog razuma, pa čak i intuicije. Pri tome je najznačajnije poznavanje tuđih pogrešaka, odnosno problema uočenih na prethodnim sklopovima. Primjerice, za probleme aerodinamičke stabilnosti postojala su zanatska rješenja, i prije teorijskih objašnjenja, a most koji se srušio projektiran je prema svim važećim propisima.

### 6. Oblikovanje

Inovativni oblici elemenata mostova proizlaze iz tijeka unutarnjih sila. Uspješno riješeni dijelovi sklopa prvo izražavaju način prijenosa opterećenja, a tek potom mogu i trebaju biti arhitektonski dotjerani. Danas znatno više cijenimo jednostavne oblike pilona mostova Bronx-Whitestone i Verrazano od, primjerice, ornamentima ukrašenog pilona mosta Triborough.

### 7. Životni vijek

Mostovi na važnim prijelazima uistinu mogu trajati i više od predviđenih 80 ili 100 godina, uz održavanje primjerenog sklopu i gradivu. Uštede pri projektiranju ostvaruju se rješenjima koja minimiziraju količinu ugrađenog gradiva ili su bez rezerve nosivosti. Projektanti to danas više - manje znaju, ali se nerado prihvaćaju uloge zagovornika inicijalno skupljih rješenja. S druge strane, investitorova težnja uštedama vremena i novca važan je poticaj inženjerskom stvaralaštvu i inovacijama, no ako se provodi nekritički može biti vrlo skupa.

### 8. Održavanje

Pregled održavanja njujorških mostova pokazuje da elastičniji sklopovi zahtijevaju veće zahvate pri održavanju od krućih. Potvrdu za takvu tvrdnju nalazimo usporedbom lučnih mostova s visećima: lukovi su često trajali desetljećima bez ikakva održavanja, dok su viseći zahtijevali stalne prepravke. Dijelovi opreme mosta vjerojatno će se bar jednom zamijeniti tijekom vijeka uporabe, za što trebaju biti ostvareni osnovni uvjeti već pri projektiranju a troškovi popravaka znatno ovise o dostupnosti dijelova.



## 9. Školovanje inženjera

Dojam autora rada jest da je u školovanju naših inženjera donekle zapostavljena važnost oblikovanja, zanatskog pristupa i poznavanja povijesti graditeljstva, uz pretpos-

tavku da će nedostatke formalnog obrazovanja pokriti praksa. To nije uvijek slučaj. Konceptualno oblikovanje inženjerskih građevina ne smije se zapostaviti na račun tehničke mehanike i numeričkog modeliranja, već se te discipline moraju prožimati.

## VRELA

- [1] Wai-Fah, Chen; Lian Duan: *Bridge Engineering Handbook*, Suspension Bridges, CRC Press, 2000., str. 18.-1. do 18.-36.
- [2] Bennet, D.: *The Creation of Bridges*, Chartwell Books, New Jersey, 1999.
- [3] Petroski, H.: *Engineers of Dreams*, Random House, New York, 1995.
- [4] Waddell, J. A. L.: *Bridge Engineering*, John Wiley & Sons, New York, 1916.
- [5] Rastorfer, D.: *Six bridges, The Legacy of Othmar H. Ammann*, Yale University Press, New Haven and London, 2000.
- [6] Brown, D. J.: *Brücken, Kühne Konstruktionen über Flüsse, Täler, Meere*, Callwey, 1994.
- [7] Ralph, D.; Csogi, P. E.: *A Progression of Improvements in Suspension Bridge Main Cable Rehabilitation Techniques*, Proceedings, Conference Current and Future Trends in Bridge Design, Construction and Maintenance, Thomas Telford 1999.
- [8] Anderson, S.: [www.nycroads.com/crossings](http://www.nycroads.com/crossings)
- [9] [www.civil.rice.edu/bridgesproject](http://www.civil.rice.edu/bridgesproject), Rice University, Houston, Department of Civil Engineering
- [10] Larsen, A.: *Aerodynamics of the Tacoma Narrows bridge – 60 years later*, Structural Engineering International 4/2000., str. 243-248
- [11] Horvatić, D.; Šavor, Z.: *Metalni mostovi*, HDGK, Zagreb, 1998.
- [12] Dietrich, R. J.: *Faszination Brücken*, Baukunst – Technik – Geschichte, Callwey, München, 1998.
- [13] AASHTO: Guide Specifications for Seismic Isolation Design, 1992.