

HRADECKEGA MOST V LJUBLJANI

THE HRADECKEGA BRIDGE

IN LJUBLJANA

Gorazd Humar, univ. dipl. inž. grad.
gorazd.humar@gmail.com

Strokovni članek
UDK 621.74:625.745.1(497.4)

Povzetek | Hradeckega most v Ljubljani je most za pešce in kolesarje, ki je narejen iz odličkov litega železa, sestavljenih v ločno rešetkasto konstrukcijo z razponom 30,3 m. Je ena najbolj zanimivih še obstoječih litoželeznih mostnih konstrukcij iz 19. stoletja. Izdelan leta 1867 v livarni znamenite Auerspergove železarne na Dvoru pri Žužemberku je eden izmed prvih mostov na svetu, v katere je bil vgrajen momentni členek oziroma zglob. Ta tehnično inovativni konstrukcijski element, vgrajen v temenu loka, in njegova originalna litoželezna nosilna konstrukcija postavljata Hradeckega most med najzanimivejše mostove tistega časa tudi v svetovnem merilu. Med gradnjo v letu 1867 je bil pri temeljenju mostu prvič uporabljen beton na ozemlju današnje Slovenije. V članku je opisan tudi zgodovinski razvoj uporabe momentnih členkov pri gradnji mostov.

Ključne besede: litoželezni most, momentni členek, most za pešce, livarna Dvor pri Žužemberku, beton.

Summary | The Hradeckega Bridge in Ljubljana is a footbridge made of cast iron having a span of 30,3 m. It is one of the most interesting cast iron bridge structures up from the 19th century. It was cast in the famous Auersperg's foundry in Dvor at Žužemberk and it is one of the first bridges in the world having a hinge in its structure. This at that time innovative structural element was built in the top of the bridge arch. The original cast iron arch structure makes the Hradeckega bridge one of the most interesting structures of that time even in the global scale. During the construction of the Hradeckega Bridge foundations in 1867 concrete was used for the first time on the territory of Slovenia. The paper also describes the historic development of the usage of hinges in bridge construction.

Key words: cast-iron bridge, hinge, footbridge, foundry Dvor at Žužemberk, concrete

1 • UVOD

Že v knjigi Zmajski most (Humar, 1998) sem opisal zgodovino in pravzaprav usodo enega znamenitih ljubljanskih mostov, ki smo ga poznali pod imeni Hradeckega most, Šuštarški most, Mrtvaški most in še bi morda našli kakšno. Gre za edinstven litoželezni most, ki je bil postavljen leta 1867 na mestu današnjega Čevljarskega (Šuštarškega) mostu, leta 1931 pa ga je takratna ljubljanska mestna uprava na pobudo arhitekta Jožeta Plečnika dala ob gradnji novega Čevljarskega mostu prestaviti na drugo lokacijo na Ljubljani ob Zaloški

cesti. Ker je vodil k tamkajšnji mrtvašnici, se ga je prijelo ime Mrtvaški most. Čezenj so povrh vsega spustili tudi motorni promet, pred desetletji pa so na mostno konstrukcijo neugledno obesili še velike toplovodne cevi. Most je bil vedno bolj zanemarjen in nekateri njegovi deli, posebno še ograja, so začeli propadati. Leta 2004 so ga zaradi tega zaprli za ves promet vse do februarja leta 2010, ko so ga s kar velikimi težavami razstavili in z obnovitvenimi in restavratskimi posegi pripravili za prestavitev. Obnovitvena dela na

litoželezni konstrukciji so bila opravljena v podjetju Livar v Ivančni Gorici. Originalu zvesta je bila izdelana tudi povsem nova ograja, saj je bila stara preveč poškodovana. Prestavitev na novo lokacijo je investirala Mestna občina Ljubljana.

Danes je ta tehniški spomenik, vrhunski izdelek priznane livarne z Dvora pri Žužemberku, že na svoji tretji lokaciji med Krakovskim nasipom in Grudnovim nabrežjem tik ob izlivu Gradaščice v Ljubljano.

Končno zgledno prenovljen in z novim nedersečim podom, primernim za promet pešcev in kolesarjev, je bil ponovno odprt 11. maja 2011 (slika 1). Tako je še danes nema priča obdobja velikih tehniških dosežkov iz

časa evropske industrijske revolucije v 19. stoletju. Dobil je tudi uradno prvotno ime – Hradeckega most. Tako ime mostu je določila Mestna občina Ljubljana z Odlokom o določitvi imen ulic, mostov, brvi in sprememb poteka ulic na območju mesta Ljubljane z dne 14. 1. 2013 (objavljeno v UL RS, št. 10/2013, z dne 1. 2. 2013).



Slika 1 • Hradeckega most na novi lokaciji ob izlivu Gradaščice v Ljubljano (foto: G. Humar)

Nestrokovni javnosti je ta most verjetno manj poznan kot drugi znameniti ljubljanski mostovi (Tromostovje, Zmajski most, Čevljarški most), pri katerih izstopa predvsem arhitektonski vidik posamezne mostne konstrukcije. Hradeckega most je ime dobil po zaslužnem ljubljanskem županu **Janezu Nepomuku Hradeckem** (1775–1846), ki je v Ljubljani županoval kar 26 let, vse do svoje smrti. Je pravi tehnični dragulj, katerega vrednosti se morda premalo zavedamo in je še nismo zadosti ovrednotili in povsem priznali. V primeru tega mostu ne gre samo za izvrsten livarski izdelek iz litega železa, pač pa je ta most s svojo statično konstrukcijsko zasnovo tudi vrhunski izdelek inženirske stroke, zlasti zaradi uporabe gibljivih členkov v sredini mostne konstrukcije. Zaradi tega konstruktorskega principa je ta most še posebno zanimiv in pomemben za poznavanje zgodovine gradnje mostov. Povrh vsega je bil pri gradnji tega mostu leta 1867 na lokaciji današnjega Čevljarškega mostu pri Tranči zelo verjetno prvič na slovenskih tleh uporabljen beton. Starejših dokumentiranih virov o uporabi betona na ozemlju današnje Slovenije kljub dolgoletnemu raziskovanju še nisem našel. A o tem natančneje v nadaljevanju tega prispevka. Najprej pa se na kratko sprehodimo skozi zgodovino nekaterih ljubljanskih mostov (Humar, 1998).

1.1 Ljubljanski mostovi v 18. in 19. stoletju

Pomembni prelomni točki pri razvoju mesta Ljubljana sta bili porušitev srednjeveškega mestnega obzidja in izgradnja Gruberjevega

prekopa. Mestni zid okoli stare Ljubljane so začeli rušiti v zadnjih dveh desetletjih 18. stoletja. Mestni zidovi so v tem času izginjali tudi v vseh drugih evropskih mestih, saj se je taktika bojevanja in napadanja z izrazitim razvojem topništva v tem stoletju bistveno spremenila in mestna obzidja niso več odločilno vplivala na obrambno sposobnost mest.

Močno pa je življenje v mestnem jedru na obeh bregovih Ljubljane še vedno oviralo večkratno poplavljanje reke Ljubljanice, ki je zaradi izredno majhne višinske razlike vodostajev med Vrhniko in Ljubljano in zaradi počasnega toka skozi mesto zalivala večino mestnih hiš ob obeh bregovih. Rešitev za mesto je podal jezuit **Gabrijel Gruber**, ki je izdelal načrt za prekop, ki naj bi bil skrajšal rečni tok reke Ljubljanice in po kanalu preusmeril visoke vode mimo mestnega jedra. Gruber, ki je v Ljubljano prišel leta 1769 in je ob učni stolici učil risanje, geometrijo, mehaniko in hidravliko, se je lotil dela ob podpori vlade. Denar za gradnjo prekopa, katerega gradnja se je začela leta 1773, je pritekla iz blagajn deželnih stanov in vlade, veliko denarja je prispeval tudi baron **Žiga Zojs** (1747–1819). V času gradnje Gruberjevega prekopa je bil to največji gradbeni podvig v celotnem cesarstvu. Zaradi prekoračenja sprva predvidenih stroškov so po petih letih gradnje dela začasno ustavili. Prekop je leta 1780 dokončal baron **Struppi**, kljub temu pa je prekop le ohranil ime po Gruberju, ki ga je začel graditi prvi.

Zmanjšanje nevarnosti poplav na Barju in v samem mestu je z izgradnjo Gruberjevega prekopa dalo Ljubljani nedvomno nove razvojne spodbude. S porušitvijo obrambnega zidu in širjenjem mesta na levem bregu so čez Ljubljanico postopno nastajali novi mostovi, saj je Ljubljana v mestnem jedru koncem 18. stoletja še vedno imela le dva mostova,

in to Spodnji (Špitalski) most in Zgornji (Mesarski) most (slika 2) na mestu, kjer zdaj stoji Plečnikov Čevljarški most.

Poleg omenjenih dveh mostov je kot prvi novi most čez Ljubljanico zrasel Šempetrski most, ki je čez reko vodil k Šempetrski cerkvi na levem bregu Ljubljanice. Do leta 1776, ko so ta most zgradili, je bila na tem mestu preprosta lesena brv, ki je le zasilo služila prehodu.

Le dve leti pred Šempetrskim mostom je bil leta 1774 zgrajen Karlovški ali tudi Dolenjski most, ki je po Karlovški cesti vodil v smeri proti Dolenjski in je prečkal Gruberjev kanal na mestu današnjega Karlovškega mostu. Sprva leseni most so v 19. stoletju zamenjali z zidanim, ki je še danes ohranjen in je v neposredni bližini današnjega Karlovškega mostu.

Ljubljana je v začetku 19. stoletja bliskovito menjala oblastnike. S francosko zasedbo leta 1809 je Ljubljana za štiri leta postala središče Napoleonovih Ilirskih provinc. Francozi so s svojimi urbanističnimi in arhitektonskimi posegi razvili novo obliko mesta, ki razbije staro zasnovo mesta s stisnjenostjo hiš v okolici trgov in uvaja v mestno okolje velike zelene površine, drevorede in parke. Zgodovinski kongres Svete alianse leta 1821 je Ljubljana pričakala z že urejenim Kongresnim trgom in parkom ob njem.

V tem času je Ljubljana dobila še en nov leseni most, leta 1824 (ponekod navedeno tudi 1825) so zgradili Šentjakovski most, ki je povezal bregova Ljubljanice ob Zoisovi hiši na mestu današnjega Šentjakovskega mosta.

1.2 Leseni Špitalski most je zamenjal kamniti

Leseni Špitalski most (danes je tam Tromostovje) je bil tudi sredi 19. stoletja še vedno najpomembnejši in najprometnejši ljubljanski most. Nosilno konstrukcijo mostu so nosili v strugo Ljubljanice zabiti leseni ste-



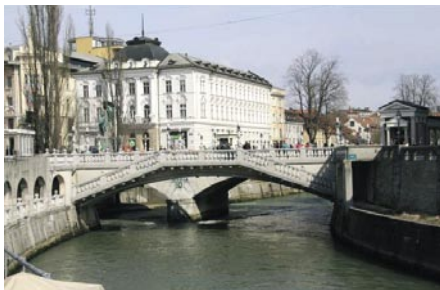
Slika 2 • Mesarski most (danes Čevljarški most) na bakrorezu iz Valvazorjeve Vojvodine Kranjske

bri. Ti pa so zaradi večjega nihanja gladine vode, ki je bilo posledica izsuševalnih del na Barju, vse hitreje preperevali. Vedno bolj strohnjena lesena konstrukcija Špitalskega mostu ni več mogla služiti vse težjemu in gostejšemu prometu. Nič bolje se ni godilo Čevljarskemu mostu. Mestna oblast ni zlahka našla prave rešitve, saj je najprej hotela oba mosta nadomestiti z enim samim, ki naj bi bil ležal nekje vmes med obema najstarejšima mostovoma.

Zamisel o gradnji novega Špitalskega mostu se je porodila že pred letom 1830, saj je le tako lahko tega leta ljubljanski okrajni inženir **Simon Foyker** predstavil projekt verižnega visečega mostu.

Deželna stavbna direkcija je za nov Špitalski most predlagala še drugačne rešitve. Med temi so bili predlogi za lesen most, za katerega sta se najbolj ogrevala mestna tesarja, pa tudi predlogi za izvedbo mostu v kamnu ali z litoželezno konstrukcijo. Izbira pravšnje konstrukcije ni bila lahka naloga, saj se kresija, mestna uprava in gradbena direkcija kar niso mogle zediniti o končni odločitvi. **Janez Nepomuk Hradecki** (1775–1846), ki je bil takratni ljubljanski župan, se je zavzemal za trajno in solidno konstrukcijo in je zavračal vsako zasilno rešitev kot negospodarno. Prav na željo župana Hradeckega pa so 6. junija 1841 podpisali gradbeno pogodbo. Za izvajalca del je bil izbran stavbenik **Johann Picco** iz Beljaka, ki je dal najcenejšo ponudbo za izvedbo novega Špitalskega mostu.

Johann Picco je izdelal kamniti dvoločni most z vmesnim stebrom oziroma opornikom v Ljubljani v enem letu (slika 3 in 4). Dela pri gradnji mostu je vodila deželna stavbna direkcija.



Slika 3 • Tromostovje danes – osrednji most je kamnit, zgrajen je bil leta 1842 (foto: G. Humar)



Slika 4 • Napis na mostu je posvečen nadvojvodi Francu Karlu (foto: G. Humar)

Že leta 1842 je bil most slovesno odprt za promet. Slovesnosti se je udeležil nadvojvoda **Franc Karl**, oče kasnejšega avstrijskega cesarja Franca Jožefa I., in kot je bil takrat običaj, so most poimenovali po nadvojvodi. Mostu se je oprijelo novo ime – Frančev most, čeprav so ljudje za most še vedno uporabljali nazive kot npr. Špitalski most pa tudi Frančiškanski ali Avguštski most. V spomin na nadvojvodo Franca Karla (1802–1878) so sredi mostu na jugozahodni fasadi postavili napis, ki stoji še danes.

sestavljeno iz dveh ločenih rešetkastih delov, ki sta naslonjena na obrežno oporno konstrukcijo mostu, v temenu loka na sredini mostne konstrukcije pa sta spojena s členkom (slika 5) (Humar, 2001).

V statičnem pogledu lahko zato konstrukcijo mostu razumemo kot most z enočlenskim lokom. V knjigi z naslovom Zmajski most sem napačno napisal, da je mostna konstrukcija zgrajena kot tričlenski lok, kar ne drži. Zato to na tem mestu popravljam.

Znano je, da so vse elemente za most izdelali v znameniti Auerspergovi železarni na Dvoru

1.3 Prihod železnice v Ljubljano leta 1849

Najpomembnejša tehnična pridobitev 19. stoletja je nedvomno železnica. Po hitrem razvoju železniškega omrežja po vsej Evropi ni zaostajala niti avstrijska monarhija, ki je v 19. stoletju pokrivala tudi celotno slovensko ozemlje. Po letu 1846, ko je prvi vlak na progi, ki so jo gradili od Dunaja do Trsta, pripeljal v Celje, je leta 1849 prvi hlaпон železnice prisopihal v Ljubljano.

Prihod železnice v Ljubljano je močno spremenil življenje v mestu in vplival na podobo Ljubljane, posebno po letu 1857, ko je bil dokončan zadnji del tako imenovane južne železnice (Südbahn) med Ljubljano in Trstom. V treh letih po izgradnji železnice se je število prebivalcev Ljubljane povečalo za 3000.

Zaradi železnice je postopno začel usihati vodni promet s čolni po Ljubljani, izginjati so začele furmanske hiše in gostilne. Struktura prometa se je v nekaj letih povsem spremenila, v korist železnice, seveda. Ljubljana je mahoma postala povezana s širnim svetom.

Lokacija ljubljanskega kolodvora je načrtala tudi novo razvojno smer širjenja Ljubljane. Mesto se je začelo širiti proti kolodvoru, najbolj ob današnji Resljevi cesti. Leta 1870 je Ljubljana imela že 27.000 prebivalcev. Potrebe po novih ulicah in prometnih povezavah so se večale iz dneva v dan. Enako se je razvijala tudi mestna komunala; leta 1881 je bila postavljena prva plinska napeljava, leta 1890 pa že mestni vodovod, medtem ko so prve žarnice v Ljubljani zasvetile leta 1897.

pri Žužemberku. Po odlitju vseh kosov so jih preizkusno sestavili v ločno konstrukcijo že v železarni na Dvoru in jih nato vse pripeljali na gradbišče mostu v Ljubljano.



Slika 5 • Hradeckega most na svoji prvi lokaciji, kjer danes stoji Plečnikov Čevljarski most

2 • OBNOVA ČEVljARskega MOSTU LETA 1867

Po leta 1842 na novo zgrajenem Špitalskem mostu je prišla na vrsto posodobitev lesenega Čevljarskega mostu, saj je ta sredi 19. stoletja skoraj povsem zgorel. Mestna uprava je z razpisom iskala rešitev, ki bi bila najugodnejša. Zahtevi po enostavnem, a trdnem mostu je v obliki edine znane natečajne rešitve s palično železno konstrukcijo skušal ustreči dunajski arhitekt **Carlo Hombostl**. Vendar njegov predlog ni bil sprejet in mestna uprava se je odločila za načrt, ki ga je predlagal nadinženir **Johann Herman** z Dunaja. Ta je ustvaril izredno zanimivo ločno litoželezno konstrukcijo,

Mostna nosilna konstrukcija je sestavljena iz treh vzporednih ločnih nosilcev cevnege prereza. Vsak ločni nosilec je izdelan iz 14 votlih cevni segmentov s prirobnicami, ki so med sabo zvijačeni. Vsaka cev ima na zunanji strani po štiri vzdolžna ojačilna rebra. Na ločne nosilce so privijačene tudi vse vzdolžne vertikale in diagonale. Te so v vsakem segmentu unikatne po meri in velikosti ter vliete iz enega kosa. Srednji štirje segmenti vsakega ločnega nosilca nimajo diagonal. Še bolj zanimiva je izvedba prečnih diagonal in horizontal, ki skupaj s prečnimi nosilci prav tako tvorijo monolitne odlitke. Pri tem seveda preseneča geometrijska preciznost vsakega posameznega odlitka, saj so se morali vsi elementi med sabo perfektno prilegati, da jih je bilo mogoče zložiti v celoto. Ležišče členka v sredini loka je v bistvu predstavljalo poseben, za ta primer izdelan segmentni odlitek sicer majhnih dimenzij, vendar zahtevne konstrukcije, saj je moral prevzeti vse obremenitve, ki v temenu loka nastopajo. Obe polovici ležišča sta tesno objemali okrogli svornik, ki je tvoril členek oziroma zglob. V tej točki na sredini mostu se je mostna konstrukcija v okviru predvidenih premikov lahko neovirano pregibala.

Dolžina in hkrati svetli razpon ločne konstrukcije znašata 30,3 m (96 dunajskih čevljev) pri izredno majhni višini loka s puščico 2,2 m. To je bila torej izredno vitka, elegantna in drzna ločna mostna konstrukcija, povrh vsega pa je šlo v tem primeru za gradnjo prvega litoželeznega cevnege mostu v avstro-ogrski monarhiji. Masa celotne litoželezne mostne konstrukcije brez ograje in pohodne ploskve je znašala 36,4 t, kar je uvrščalo most tudi v tem pogledu med avantgardne tehnične dosežke tistega časa. Hkrati je bila to takrat prva premostitev Ljubljane z enim samim razponom nad vodno gladino in brez vmesnega stebra v rečni strugi. Zanimivo je, da se je Plečnik pri gradnji novega Čevljarskega mostu, ki je nastal na mestu, kjer je med letoma 1867 in 1931 stal litoželezni Hradeckega most, moral poslužiti vmesnega stebra v Ljubljani in je z novim Čevljarskim mostom ni premostil z enim samim razponom, kot je to napravil Johann Herman leta 1867.

Drugi ljubljanski most, ki je z enim samim razponom dolžine 33 m premostil Ljubljano, je bil šele leta 1901 zgrajeni Zmajski most (slika 6), katerega nosilna konstrukcija je tričlenski armiranobetonski lok, zgrajen po

sistemu Melan. Za postavitev Zmajskega mostu je bil najbolj zaslužen najznamenitejši ljubljanski župan **Ivan Hribar** (1851–1941). Zmajski most je zaradi svojih konstrukcijskih in arhitektonskih značilnosti pomemben tudi v svetovnem merilu (Humar, 2001).

Enako je s stališča zgodovinskega razvoja litoželeznih mostov Hradeckega most izredno zanimiva mostna konstrukcija. Da bomo lažje razumeli vlogo te enkratne tehnične rešitve, se moramo nekoliko približe seznaniti z zgodovino mostnih konstrukcij, zgrajenih iz železa.



Slika 6 • Zmajski most iz leta 1901 ima tričlenski armiranobetonski lok, zgrajen po sistemu Melan (foto: G. Humar)

3 • KRATEK ZGODOVINSKI PREGLED RAZVOJA ŽELEZNIH MOSTNIH KONSTRUKCIJ

Vsem poznavalcem zgodovine gradnje mostov je dobro znano, da je prvi železni (in to prav litoželezni) most nastal leta 1779 v kraju Ironbridge pri Coalbrookdalu v pokrajini Shropshire v Angliji (slika 7). Ločni litoželezni most razpona 30 m, ki je premoščal reko Severn, je bil nov premik pri gradnji mostov prav v času, ko so praktično vse mostove gradili še iz kamna, opeke ali lesa. Odprl je novo ero železnih in kasneje jeklenih mostov, ki je ponujala skoraj brezmejne možnosti. Most čez reko Severn je bil produkt in znanilec novo prihajajoče industrijske revolucije, ki je še posebno v Angliji konec 18. in v začetku 19. stoletja pripomogla k za človeštvo izredno pomembnim tehničnim dosežkom. Med njimi naj omenim le izum parnega stroja (**James Watt**, 1736–1819) in izdelavo prve lokomotive na parni pogon ter leta 1825 odprtje prve železnice med Stocktonom in Darlingtonom. Cenenost in konkurenčnost litega železa v primerjavi z drugimi gradbenimi materiali

je zlasti v Angliji in kasneje po vsej Evropi v začetku 19. stoletja pomenila nesluhen razmah gradenj iz železa, tudi mostov. Pri tem moramo seveda vedeti, da je lito železo konstrukcijski material z omejenimi



Slika 7 • Litoželezni most v Ironbridgu v Angliji, zgrajen leta 1779 in ki še danes stoji, je bil prvi litoželezni most na svetu. Razpon loka meri 30 m (ECCE, 2009)

zmožnostmi. Odlikujejo ga razmeroma velika nosilnost na tlačne obremenitve, medtem ko je bistveno težje prenašalo natezne in upogibne obremenitve, ob tem pa ga karakterizira še sorazmerno mala elastičnost ali, bolj rečeno, velika krhkost. Te lastnosti niso bile idealne za izdelavo mostnih konstrukcij in prav zato je velika večina litoželeznih mostnih konstrukcij bila predvsem ločne oblike, pri kateri prevladujejo tlačne obremenitve. In prav te posebne lastnosti litega železa so konstruktorji mostov radi uporabljali pri gradnji za tiste čase drznih mostnih konstrukcij z velikimi razponi in izredno malimi višinami oziroma puščicami loka.

Že leta 1796 so v Sunderlandu v Angliji zgradili most Wearmouth (Wearmouth Bridge), ki je predstavljal eno najbolj drznih mostnih konstrukcij iz litega železa nasploh. Z razponom 71,9 m, ki je bil do tedaj največji razpon na svetu (poleg kamnitega mostu Trezzo v Italiji iz leta 1377, razpon 72 m, porušen 1416), je tehtal le tri četrtine teže mostu čez reko Severn v Ironbridgu. Leta 1854 je Robert Stephenson ojačil most s tremi dodanimi loki iz kovanega železa. Sedaj je na tem mestu jekleni ločni most razpona 114 m.

Eden najlepših mostov iz prvega obdobja gradnje litoželeznih mostov stoji še danes v Dublinu na Irskem in še vedno kot most za pešce služi prometu (slika 8). Leta 1810 zgrajeni most je z enim samim lokom premostil reko Liffey pri dolžini 42 m (ECCE, 2009). Izdelan je bil v Coalbrookdalu v Angliji, v isti livarni kot most čez reko Severn v Ironbridgu. Iz te livarne je izšla večina litoželeznih mostnih konstrukcij tistega časa. Manjši litoželezni ločni most so leta 1802 postavili celo na Jamajki, kamor so ga v kosih prepeljali z ladjo.



Slika 8 • Litoželezni most Liffey na istoimenski reki v Dublinu iz leta 1810 (ECCE, 2009)

Največji ločni most, ki je bil kdajkoli narejen iz litega železa, pa je bil zgrajen leta 1819 v Londonu. To je bil Soutwark Bridge preko reke Temze, ki je reko premoščal s tremi loki, od katerih je največji imel razpon 73 m. Danes je na tem mestu istoimenski most nekoliko drugačne konstrukcije.

Uporaba litega železa pri gradnji mostov se je iz Anglije po postavitvi mostu v Ironbridgu leta 1779 hitro selila po evropski celinii, kjer so prednjačili predvsem Nemci. Leta 1791 so v grajskem parku Wörlitz postavili manjšo repliko mostu čez reko Severn v Ironbridgu. Prvi večji, tudi za težak promet z vozovi primeren litoželezni most na stari celinii pa je med letoma 1794 in 1796 zgrajeni most v kraju Laasan (danes Lazany, Poljska). Na žalost je ta most leta 1945 ob umiku nemška vojska razstrelila. V Charolottenburgu pri Berlinu so leta 1802 postavili v tamkajšnjem parku lep ločni most, vendar z manjšim razponom, kot

ga je imel most čez reko Severn. Ne glede na to je ta zanimiva mostna konstrukcija postala vzorec za večino kasnejših litoželeznih mostov. Tudi Francozi niso hoteli zaostajati pri gradnji litoželeznih mostov. Med letoma 1802 in 1804 je čez reko Seino v Parizu nastal most z devetimi loki, imenovan Pont des Arts (slika 9). Njegova skupna dolžina je znašala 155 m.



Slika 9 • Pont des Arts v Parizu, prvi litoželezni most v Franciji, zgrajen leta 1804 (vir: Wikipedia)

Predvsem prve generacije litoželeznih mostov so bile izdelane iz odlitkov, ki so bili polni, ampak ne tudi votli oziroma cevastega prereza, kot je bilo pri generaciji kasnejših litoželeznih mostov, med katere spada tudi Hradeckega most v Ljubljani.

Zaradi cenenosti pridobivanja in izdelave litega železa je le-to v prvi polovici in sredini 19. stoletja doživelo široko uporabo pri vseh gradnjah, posebno pri železnicah. Litoželezne konstrukcije so začeli uporabljati pri številnih mostnih konstrukcijah, kjer pa so kmalu prišle v ospredje slabe mehanske lastnosti litega železa, predvsem krhkost in majhna natezna trdnost. To je privedlo do številnih železniških nesreč in porušitev mostov. Prva večja nesreča se je zgodila leta 1847 na reki Dee v Angliji (Dee Bridge Disaster), pri kateri je konstrukcija počila na spojih. Zadeva je kulminirala leta 1879 (slika 10) z eno najbolj znanih in tragičnih porušitev, ki se je zgodila v nevihtni noči na mostu Tay v Angliji (Tay Bridge Disaster). V vlaku, ki je padel v globino, je umrlo 75 potnikov in prav ta dogodek, pri katerem so se spoji prelomili

na litoželeznih delih mostne konstrukcije, je zaznamoval zgodovinsko usodo litoželeznih mostov, katerih gradnjo so še posebno po nesreči pri Norwoodu leta 1891 dokončno prepovedali.



Slika 10 • Med nevihto, ko je veter pihal preko 100 km/h, se je leta 1879 porušil železniški most Tay Bridge v Angliji. V vlaku, ki je padel v globino, je umrlo 75 potnikov

Uporabe litega železa pri gradnji mostov pa niso zaustavile samo številne nesreče, ki so se na njih zgodile. Tehnološki razvoj in novi izumi sredi 19. stoletja so tudi naredili svoje. Namesto litega železa so po letu 1840 v konstrukcijah vse bolj uporabljali kovano železo in malo kasneje valjano železo, ki sta imeli neprimerno boljše in za gradnjo mostov ustrežnejše lastnosti kot lito železo. Predvsem valjano železo je imelo bolj homogeno nosilnost in je dobro prenašalo tako tlačne kot natezne napetosti, kar je pomenilo v primerjavi z litim železom veliko prednost.

Revolucijo v predelavi železa pa je sprožil Anglež **Henry Bessemer** (1813–1898), ki je leta 1856 uvedel tako imenovani Bessemerjev konverter, s čimer je bila odprta pot izdelavi kvalitetnih jekel. Uporaba jekla je v drugi polovici 19. stoletja in kasneje napravila pravo revolucijo pri gradnji vseh vrst konstrukcij, tudi ladij.

Kljub temu pa se uporabi litega železa pri gradnji predvsem ločnih mostov vse do konca 19. stoletja ne gre čuditi, saj je uporabo litega železa kljub njegovim številnim pomanjkljivostim diktilirala prav njegova nizka cena.

sklenemo, da ta mostna konstrukcija spada v starejšo, v konstruktorskem pogledu že precej razvito generacijo litoželeznih mostov. Njihovo cvetoče obdobje je trajalo dobrih sto let, zaključilo se je nekje s koncem 19. stoletja. Zakaj se je avstrijski inženir Johann Herman odločil graditi novi most čez Ljublja-

4 • KONSTRUKCIJA HRADECKEGA MOSTU

Prav iz tega zgodovinskega zornega kota pa je še zlasti zanimiva litoželezna mostna konstrukcija, ki je bila leta 1867 uporabljena pri

gradnji Hradeckega mostu v Ljubljani (slika 11). Če jo gledamo skozi časovni okvir v predhodnem poglavju omenjenih dejstev, lahko

nico iz litega železa, lahko le ugibamo. Po vsej verjetnosti je dobro poznal tehnološke in tehnične prednosti livarne na Dvoru pri Žužemberku in zagotovo je vedel, da znajo tam napraviti odlične (slika 12) in tudi cenovno sprejemljiv izdelek. Mostno konstrukcijo je v konstruktorskem pogledu oplemenitil z vpeljavo cevnih elementov v nosilni lok, ki so pomembno prispevali k večji nosilnosti loka in zmanjšanju njegove teže. Spomnim naj, da je bila večina predhodno zgrajenih mostov v Evropi izdelanih izključno iz polnih (in ne votlih) nosilnih elementov. V tem pogledu je torej bila konstrukcija Hradeckega mostu pomemben evolucijski korak. V prid uporabi litega železa je poleg njegove cenenosti govorilo tudi dejstvo, da je bil most predviden predvsem za pešce in ne denimo za železniški promet, kjer so obremenitve povsem drugačne. Lito železo kot material je zasnovi mostu kot ločne konstrukcije, v kateri nastopajo predvsem tlačne napetosti, povsem ustrezalo.

Da se je Hradeckega most kljub razmeroma neelastičnemu litemu železu dokaj elastično obnašal (vsaj v dovoljenem območju obremenitev), pričajo podatki, pridobljeni med poizkusno obremenitvijo mostu, ki je potekala 15., 16. in 17. oktobra 1867, torej le nekaj dni, preden je bil most 18. oktobra 1867 odprt za promet. Članek z opisom mostu (naslov članka Die Radetzky Brücke in Laibach) je bil objavljen v glasilu združenja avstrijskih inženirjev in arhitektov leta 1868 (ZÖIAV, 1868). Zapisa sem se prvič poslužil že pri pisanju knjige o Zmajskem mostu, v kateri sem na kratko opisal tudi litoželezni Čevljarski most.

Med preizkusno obremenitvijo mostu je bilo, kot piše neznani avtor navedenega članka, ugotovljeno naslednje:

1. Pri temperaturni spremembi za 1°C ($0,8^{\circ}\text{C}$) se teme mostu dvigne ali zniža za 1,5 mm.
2. Zaradi enakomerne obremenitve mostu po celi njegovi površini z nasutjem lomljenega kamna, ki je bil položen 16. oktobra 1867 med 14. in 17. uro in ki je trajala 24 ur, se je teme loka spustilo navzdol za 20 mm.
3. Po odstranitvi preizkusne obremenitve mostu, se je ta vrnil v svojo prvotno lego oziroma formo.
4. Pregledi, ki so bili opravljeni med preizkusno obremenitvijo mostu in takoj po njej, niso pokazali, da so na mostu nastale kakršnekoli vidne poškodbe ali spremembe njegove oblike.



Slika 11 • Hradeckega most – pogled s spodnje strani (foto: G. Humar)

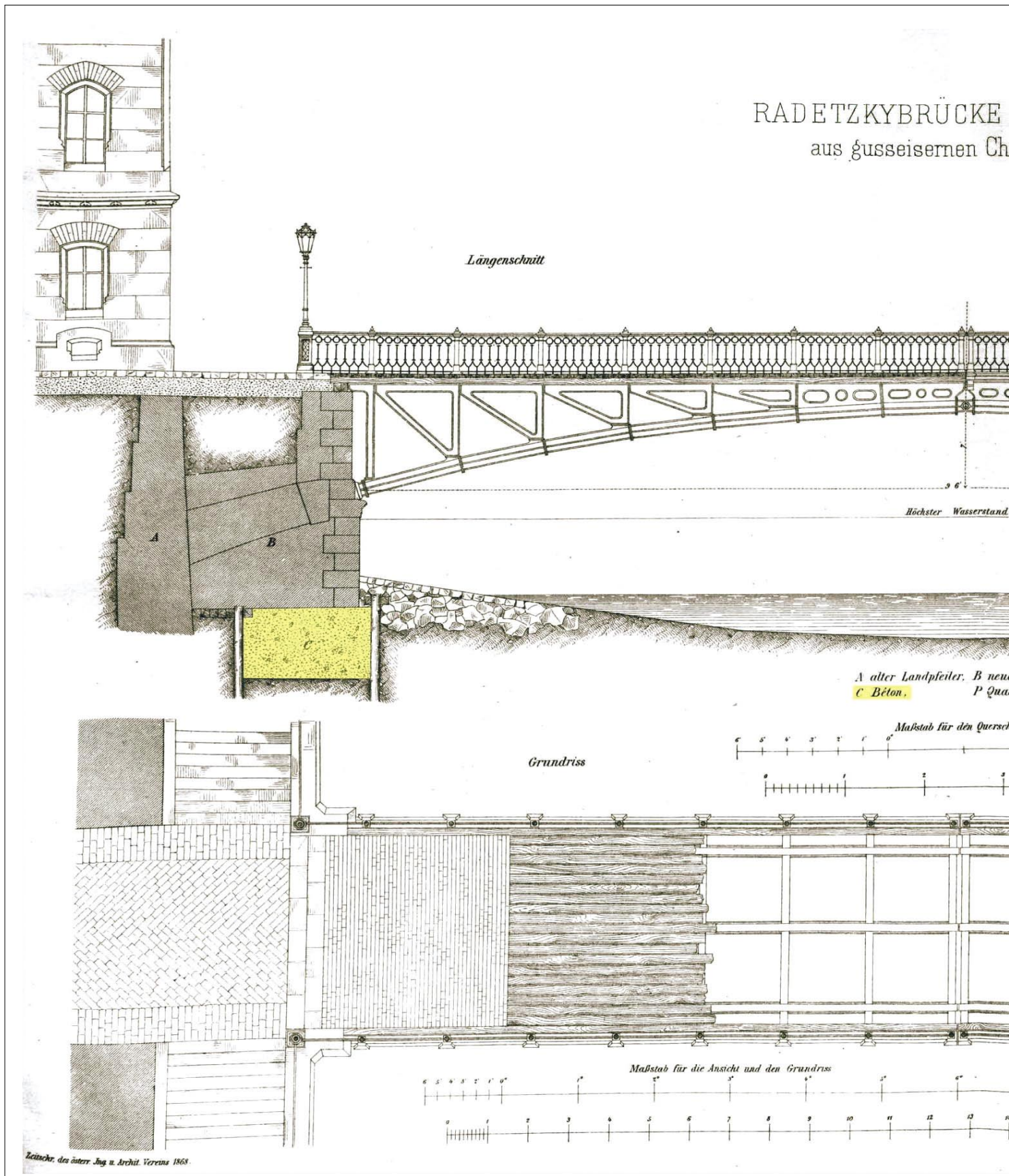


Slika 12 • Detajl vozlišča nad cevnim lokom (foto: G. Humar)

Iz rezultatov preizkusne obremenitve lahko sklepamo, da se je most znotraj dovoljene in kontrolirane obremenitve resnično obnašal elastično. Prav zaradi takega obnašanja mostu je še posebno zanimiva vloga njegovega konstrukcijskega članka v temenu loka.

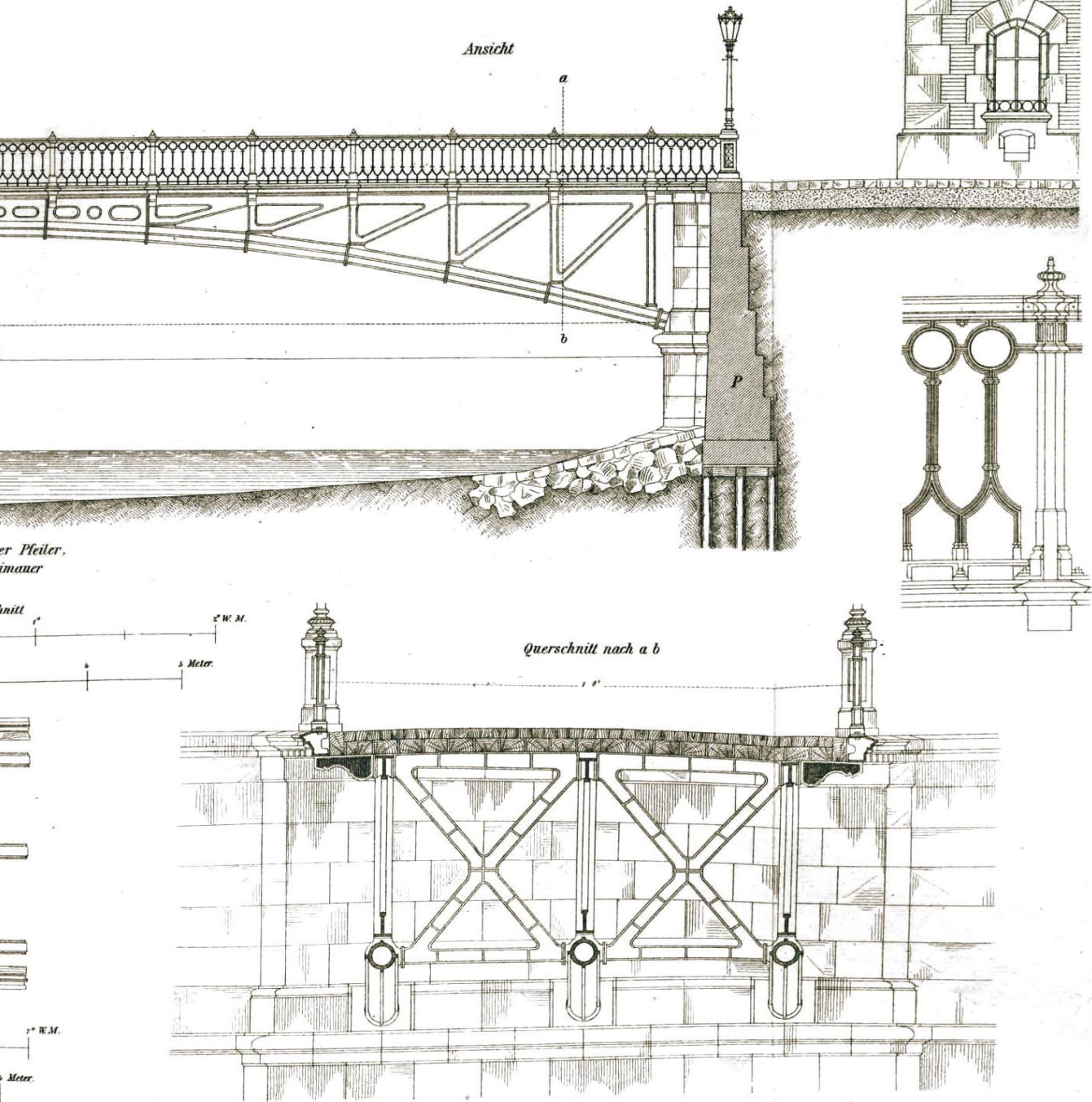
Sicer dokaj kratkemu in tehnično skopemu zapisu iz leta 1868 je priložena odlična risba mostu, ki je služila za načrt (slika 13). Risba je tako zanimiva, da si zasluži posebne pozornosti. Za objavo v tem članku je bila posebej računalniško obdelana s povečavo kontrastov

in očiščenjem sivine ter je taka dosti bolj jasna od izvorne risbe. Na njej se vidi vse glavne gradbene detajle mostu. Razvidno je tudi, da so na levem bregu Ljubljanice novi opornik mostu naslonili na obstoječi opornik starega Čevljarskega mostu, vidno pa je tudi, kje so uporabili beton (rumeno obarvano kasneje). Na vrhu risbe in v naslovu članka je sicer pomotoma napisano, da je to most Radetzkega in ne Hradeckega, nekdanjega ljubljanskega župana, po katerem naj bi bil novi most nosil ime.



Slika 13 • Načrt Hradeckega mostu, ki je bil objavljen leta 1868, (ZÖIAV, 1868). Z rumeno barvo je označeno mesto, kamor so vgradili beton

IN LAIBACH
arnierbögen.



5 • POMEN IN SKRIVNOST ČLENKA V TEMENU LOKA

Posebnost Hradskega mostu je prav v zanimivem konstrukcijskem elementu, ki je v njegovi geometrijski sredini (slika 14). To je konstrukcijski členek ali zglob (v avstrijskem originalu zapisa o mostu je sicer uporabljena beseda **charnier** (ZÖIAV, 1868)), ki je konstruktorjem mostov dobro poznan element mostnih konstrukcij. Ali je to bilo tako tudi daljnjega leta 1867, ko je Hradskega most nastal? Spet se moramo pri razvozlanju in osvetlitvi tega konstrukcijskega fenomena sprehoditi v zgodovino gradnje mostov, nekam v sredino 19. stoletja.

5.1 Nastanek in razvoj členkov v mostnih konstrukcijah

Najprej si pogledajmo, kakšna je vloga oziroma funkcija momentnega členka v mostni konstrukciji. V teoriji gradbene statike je to konstrukcijski element, ki ne prenaša upogibnega momenta (torej znaša v členku upogibni moment $M = 0$), pač pa lahko prenaša osne sile, in sicer tlačne, natezne in prečne sile. Uporaba momentnih členkov pripomore k statični določenosti. Zlasti je njegova uporaba dobrodošla pri mostnih konstrukcijah z velikimi temperaturnimi obremenitvami in tistih, pri katerih je možna delna deformacija ali poseganje temeljnih tal. Členek omogoča delne in omejene zasuke in pomike posameznih delov mostne konstrukcije brez posledic za nosilnost mostu. To se največkrat dogaja prav zaradi temperaturnih sprememb ali obtežb mostu.

Kdaj je bil v mostno konstrukcijo prvič uveden členek kot konstrukcijski element? Znano je, da se je z njegovimi teoretičnimi osnovami med prvimi ukvarjal francoski **Claude Navier** (1785–1836). Pomemben korak k nastanku in razumevanju vloge členkov je bila izgradnja mostu Arcole v Parizu (Pont d' Arcole) leta 1854, ki leži nedaleč od cerkve Notre Dame. Ta most, ki ga je s pomočjo kolega **Nicolas Cadiata** skonstruiral upokojeni inženir **Alphonse Oudry** (1819–1869), je bil narejen iz kombinacije valjanega in kovanega železa in ne iz litega železa ter imel razpon 80 m preko rokava reke Seine. Pri tem razponu je puščica loka znašala vsega 6,12 m, kar nas prepričuje o izredni drznosti konstrukcije. Mostni lok sicer ni imel vgrajenega členka v temenu loka, je pa bil lok na tem mestu izjemno tanek in zato hkrati fleksibilen. Višina loka v temenu je znašala vsega 38 cm (!). Taka zasnova



Slika 14 • Gibljivi členek je v sredini ločne konstrukcije mostu (foto: G. Humar)

je omogočala rahle zasuke in premike obeh polovic mostu, ki so nastajali predvsem zaradi temperaturnih sprememb. Na neki način je ta del mostne konstrukcije s svojo vitkostjo oziroma podajnostjo opravljal določeno vlogo členka. Hkrati je bil most Arcole prvi most v Parizu, ki je z enim samim lokom premostil reko Seine brez uporabe vmesnih stebrov. Ta čast je v Ljubljani pripadla Hradskega mostu, ki je premostil Ljubljano z enim samim manjšim lokom. Konstruktor mostu Arcole je z vitkostjo loka celo pretiraval, saj se je most 16. februarja 1888 nenadoma povsila za 20 cm. Dodatno ojačitev mostu so opravili, preden bi lahko nastala resnejša poškodba mostu (slika 15).



Slika 15 • Most Arcole v Parizu iz leta 1854. Danes je konstrukcija mostu nekoliko spremenjena in posodobljena. (vir: Wikipedia)

Konstruktor Oudry je s tako tehnično rešitvijo poskušal zmanjšati vplive temperaturnih spre-

memb na notranje sile v loku kot tudi njegove deformacije (Kurrer, 1998). Na ta način lahko most statično definiramo kot elastičen lok, ki je vpet na obeh koncih, v sredini pa ima neke vrste členek, ki omogoča zmerne zasuke in s tem statično razbremenjuje celotno mostno konstrukcijo.

Most Arcole je s svojo drzno vitkostjo in izvirno konceptualno konstruktorsko rešitvijo sam po sebi pripeljal do nastanka in uporabe prvega členka oziroma zgloba v prihajajoči generaciji železnih mostov.

Pomemben teoretični korak, ki je pripomogel k uvedbi členkov v mostne konstrukcije (predvsem narejene iz železa), je napravil francoski inženir Charles Bresse (1822–1883). Pri tem je svojo teorijo preveril z meritvami na takrat že zgrajenih francoskih mostovih in je dobil dokaj podobne rezultate. To je bil najboljši dokaz o praktični uporabnosti in veljavnosti njegove teorije.

5.2 Iznajdba in uvedba členkov v železne mostne konstrukcije

Prva, ki sta praktično uporabila teorijo členkov v mostnih konstrukcijah, sta bila francoska inženirja **Couche** in **Salle**. Leta 1858 sta zgradila železniški most iz kovanega železa, ki je prečkal kanal St. Denis na progi Pariz–Creil. Most je bil zgrajen iz dveh nosilnih delov: iz zgornje rešetkaste horizontalne konstrukcije in spodaj ležečega

železnega loka, na katerem je rešetkasta konstrukcija slonela. Lok z razponom 45,16 m in s puščico loka 4,71 m je bil zgrajen kot dvočlenski lok, členska sta seveda bila na obeh podporah. Sprva sta inženirja hotela narediti tričlenski lok, vendar sta zaradi premajhne višine ločne konstrukcije v temenu od te ideje odstopila. Ne glede na to je most vso strokovno javnost presenetil s statično zelo čisto in dognano konstrukcijo, predvsem pa je bila v praksi potrjena tudi Bressejeva teorija o elastičnosti železnih lokov (Coronio, 1997).

Kmalu zatem je bil med letoma 1862 in 1864 pri Koblenzu v Nemčiji zgrajen večji železni most, prvi na svetu, ki je imel palično oziroma rešetkasto ločno konstrukcijo naslonjeno na podpore preko členkov. Posebno se je z uvedbo členkov v mostne (sprva predvsem železne) konstrukcije proslavil nemški inženir **Heinrich Gerber** (1832–1912). Leta 1864 je patentiral tehnično izvedbo cestnega mostu čez reko Main pri Hassfurthu, ki je bil zgrajen med letoma 1862 in 1864 in pri katerem je v mostni konstrukciji paličnega tipa uporabil členke. To je bil prvi prototip konstrukcije, ki jo danes poznamo pod imenom Gerberjev nosilec. Most čez reko Maino je bil tudi prvi moderni most iz jekla, saj so do takrat gradili železne mostove predvsem iz litega, kovanega ali valjanega železa. Dolžina Gerberjevega nosilca z dvema členkoma je znašala 37,9 m. Most so že porušili in tako ni dočkal današnjega časa.

Pot k vsesplošni uporabi členkov pri gradnji predvsem železnih mostov je bila odprta. Členke so kmalu zatem začeli uporabljati tudi pri gradnji masivnih mostov, tako kamnitih kot kasneje betonskih (Humar, 1996).

Prvi most v Sloveniji, ki je v svoji konstrukciji imel vgrajene Gerberjeve členke, je bil današnji Šentjakovski most iz armiranega betona preko Ljubljani (slika 16). Po načrtih Alojzija Krala je bil dokončan leta 1915, s čimer je zamenjal naraščajočemu prometu neustrezen stari leseni most. Novi Šentjakovski most je relativno enostavne in tehnično čiste konstrukcije. Vmesni nosilec je naslonjen na oba obrežna konzolna dela mostu. Členki so izvedeni s posebnim načinom armiranja stikov med vmesnim nosilcem in konzolama.

5.3 Aplikacija členska na Hradeckega mostu v Ljubljani

Le nekaj let po tem, ko sta francoska inženirja Couche in Salle zgradila prvo mostno konstrukcijo z aplikacijo členkov, se je konstruktor Hradeckega mostu, avstrijski inženir Johann Herman, uspešno poslužil te tehnične rešitve. Vedel je, zakaj, in vedel je tudi, kam postaviti členek – v sredino oziroma v teme loka novega mostu (slika 17), ki ga je konstruiral, saj je očitno dobro poznal vlogo in funkcijo členska v novo načrtovani litoželezni konstrukciji. S tem je na naših tleh nastal prvi most, v konstrukcijo katerega je bil vgrajen členek. To dejstvo je s stališča poznavanja gradnje mostov na Slovenskem zelo

pomembno, saj se Hradeckega most uvršča med prve mostove v Evropi in tudi na svetu, v katere je bil vgrajen ta takrat revolucionarni konstrukcijski element (Humar, 2001). Vsekakor pa je takrat (1867) to bil edini litoželezni cevni ločni most, v katerega je bil vgrajen členek. Do sedaj kljub napornemu iskanju in povpraševanju po Evropi še nisem uspel najti starejšega litoželeznega cevnega mostu z vgrajenim členkom.

Glede na to je Hradeckega most vsaj s tega vidika svetovni unikat in zgodnji, če ne celo pionirski predstavnik pomembne stopnje v razvoju inženirskega znanja pri gradnji mostov. Zelo pomembno je, da se tega v Sloveniji dobro zavedamo, saj smo dediči pomembnega tehničnega spomenika iz obdobja industrijske revolucije v 19. stoletju. Zgodovinski okvir razvoja in nastanka členkov v mostnih konstrukcijah sem namenoma podal zato, da lažje in bolje razumemo mesto in pomen Hradeckega mostu tudi za slovensko inženirsko znanost, ki je, danes gledano, tudi v svetovnem merilu še vedno na izredno visoki stopnji znanja.

Ta most je dodaten dokaz, da je bila Ljubljana tudi v 19. stoletju v vrhu evropskih mest, v katerih so bili predstavljeni najnovejši in vrhunski tehnični dosežki. Bojim se, da s tega zornega kota do sedaj Hradeckega most še ni bil zadostno strokovno ovrednoten, in upam, da ga bo ta moj prispevek, ki je sad dolgoletnega raziskovanja, postavil na višje mesto, kot ga ima zdaj.



Slika 16 • Šentjakovski most v Ljubljani, zgrajen leta 1915. Je prvi most v Sloveniji z vgrajenim Gerberjevim nosilcem. (foto: G. Humar)



Slika 17 • Hradeckega most – srednji štiri ločni segmenti imajo nad cevjo samo vzdolžno rebro, medtem ko imajo preostali ločni segmenti diagonale in vertikale. (foto: G. Humar)

6 • PRI GRADNJI HRADECKEGA MOSTU JE BIL PRVIČ NA NAŠIH TLEH UPORABLJEN BETON

Zgodba o gradnji Hradskega mosta mi je postala zanimiva še zlasti po enem dodatnem in novem dejstvu. Iz načrta mostu in zapisa v glasilu združenja avstrijskih inženirjev in arhitektov, letnik 1868, zvezek 2 (ZÖIAV, 1868), je razvidno tudi, da je bil pri temeljenju levega opornika mostu uporabljen beton. To samo po sebi ne bi bilo nič posebnega, če se to ne bi bilo dogajalo leta 1867, ko je bila uporaba betona in drugih hidravličnih veziv še v povojih. V že omenjenem opisu mostu, ki je sicer dokaj skop, ni mogoče natančno razbrati, kakšna vrsta betona ali vsaj cementa je bila uporabljena pri temeljenju mostu. Razvidno je le, da je bil položen sloj betona debeline 1,6 m, vgrajenega pa je bilo po moji oceni največ 15 do 20 m³ betona.

Doslej namreč v dolgoletnem raziskovanju zgodovine gradbeništva na Slovenskem nisem zasledil starejšega pisanega vira ali dokumenta, ki bi omenjal in s tem dokazoval uporabo betona. Obstajajo pisni viri o gradnji betonskih vodohranov za ljubljanski mestni



Slika 18 • Hkraten pogled na Hradskega most in Šentjakovski most (foto G. Humar)

vodovod v zadnjem desetletju 19. stoletja. Prvi slovenski most, zgrajen iz betona, pa je bil, kot že omenjeno, železobetonski Zmajski most, dograjen leta 1901.

Tudi sicer dvomim, da so beton na naših tleh uporabili že pred letom 1867. Pri gradnji južne železnice, ki je leta 1846 prišla v Celje, 1849 v Ljubljano in 1857 v Trst, so se graditelji

izogibali uporabi betona, saj je bil takrat še precej nepreverjene in vprašljive kvalitete ter povsem neprimeren za prevzem velikih obremenitev vlakov. Vesel bom, če se bo kdaj našel kakšen starejši dokumentirani oziroma pisni vir o uporabi betona pri nas. Zatorej je zgodba o gradnji Hradskega mostu zanimiva tudi s te platí.

7 • SKLEP

Če poskušamo zbrati vse tiste karakteristike Hradskega mostu, ki ga postavljajo na mesto znamenitih slovenskih mostov, pomembnih tudi v svetovnem merilu, bi jih lahko strnili takole:

- Hradskega most (slika 18) je prvi in zelo verjetno edini večji litoželezni most, ki je nastal na naših tleh.
- Hradskega most je prvi most, zgrajen pri nas, ki je imel v svoji konstrukciji vgrajen momentni členek. Zanesljivo pa je eden red-

kih še obstoječih mostov tega tipa na svetu. Večina njegovih sodobnikov je namreč že porušeni. Morda je celo najstarejši, zato je vredno v tej smeri še raziskovati.

- Hradskega most je bil prvi most preko Ljubljane, ki je reko premostil z enim samim razponom, brez vmesnih stebrov v strugi.
- Pri gradnji Hradskega mostu je bil na slovenskih tleh, vsaj po ohranjenih dokumentih

sodeč, očitno prvič uporabljen beton, vgrajen je bil v temelje levobrežnega opornika. Starejši ohranjeni viri o uporabi betona pri nas mi za zdaj niso znani.

- Hradskega most je edini slovenski most in zelo verjetno tudi edini most na svetu, ki je bil trikrat postavljen in dvakrat razstavljen. Postavljen je bil vedno na drugi lokaciji, in sicer v letih 1867, 1931 in 2011, razstavljen pa v letih 1931 in 2010. Upam, da je sedaj nameščen na končni lokaciji. Njegovo tehnično stanje, zahvaljujoč temeljiti obnovi, lahko ocenjujemo za odlično. Tak bo lahko služil še mnogim rodovom.

8 • LITERATURA

Coronio, G., 250 Ans de l'École des Ponts en cent portraits, Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées (ENPC), 1997.

ECCE, Civil Engineering Heritage in Europe, 2009.

Humar, G., Kamniti velikan na Soči, Založba Branko, 1996.

Humar, G., Zmajski most, Založništvo Pontis in Založba Branko, 1998.

Humar, G., World famous bridges in Slovenia, Arch' 01, troisième Conférence internationale sur les ponts en arc Paris, Presses des Ponts, str. 121–125, 2001.

Kurrer, K. E., Kahlow, A., Arch and Vaults from 1800–1864, 1998.

ZÖIAV, Zeitschrift der Österreichischen Ingenieur und Architekten – Vereines, H-2, 1868.