

IZVEDBA NARIVANJA MOSTU ČEZ SAVO PRI HE KRŠKO

EXECUTION OF INCREMENTAL LAUNCHING FOR BRIDGE OVER RIVER SAVA BY HE KRŠKO

Luka Bizjak, univ. dipl. inž. grad.

Gradis GP Ljubljana, d. o. o.
C. Krimskega odreda 140, 1360 Vrhnika
luka.bizjak@gradis-gpl.si

Strokovni članek

UDK: 624.21

Povzetek | V prispevku je opisan segment gradnje novega mostu čez reko Savo pri Krškem, ki bo del krške obvoznice. Predstavljeno je projektiranje in izvajanje narivanja konstrukcije mostu kot najzahtevnejšega tehnološkega procesa pri gradnji, ki je zaradi značilne oblike mostu imelo svoje posebnosti. Most dolžine 151,65 m premošča reko Savo v 5 razponih. Gradnja je potekala po tehnologiji postopnega narivanja v poljih 2 do 5 ter na nepomičnem odru v polju 1. Prečni prerez mostu je enocelična škatla, razen v polju 1, kjer sta zaradi razširitve mostu dodani dve stojini. Most je eden najkrajših v Sloveniji, ki se je izdelal po tehnologiji postopnega narivanja. Tehnologija je že dobro poznana, vendar je imela izvedba tega mostu zaradi zelo majhnega horizontalnega radija $R = 180$ m in postavitve vmesnih podpor svoje posebnosti.

Summary | The paper presents a segment of constructing the new bridge over the river Sava near Krško, which will be a part of the Krško bypass. The design and the execution of incremental launching of the bridge construction, as the most pretentious part of the building, which has its own particularities due to the characteristic design of the bridge, are presented. The bridge length is 151,65 m and has 5 spans. The used technology for construction was incremental launching in the fields 2 to 5 and on scaffolding in the field 1. The cross section of the bridge is mono-cellular and box-shaped, except in the field 1, where two walls were added during the widening of the bridge. This bridge is one of the shortest in Slovenia that was constructed with incremental launching technology. This technology is already well known however, the construction of this bridge had its own particularities due to very small horizontal radius $R = 180$ m and the erection of intermediate supports.

1 • UVOD

Krško je večje mesto v spodnjesavski regiji, ki se nahaja na lokaciji, kjer reka Sava pride iz ozke doline in začne teči preko Krško-Brežiškega polja. Preko Krškega poteka pomemben prometni koridor v smeri S–J od Koroške do Bele Krajine. Krško je tudi mesto, ki ga reka Sava deli na dva dela – na staro jedro na desnem bregu in novi industrijski del

na levem bregu. Edini most v Krškem že dolgo ne zmore prenašati povečanih prometnih obremenitev. Najbližja mostova čez Savo sta v Brestanici, 4 km gorvodno, ter v Brežicah približno 11 km dolvodno. Lokalne ceste, ki ju povezujejo, so neprimerne za preusmeritev prometa, s čimer bi razbremenili glavne ceste.

Zaradi razbremenitve prometa skozi stari del Krškega je Direkcija za ceste Republike Slovenije sklenila zgraditi obvoznico Krško. Zaradi danih lokacijskih pogojev je bila umešitev trase težavna in kot najprimernejša rešitev se je izkazala preusmeritev preko reke na levi breg, kjer je še prostor za umestitev prometnice. Trasa poteka iz smeri Sevnice preko mostu še pred pričetkom mestnih površin, nato poteka po poplavni ravnici ob železniški progi, pod starim mostom ter nato se vrne na desni breg preko drugega mostu

in se priključi na glavno prometnico proti priključku avtoceste Ljubljana–Obrežje. Zaradi neposredne bližine lokacije HE Krško se je kot investitor priključil tudi Holding Slovenske elektrarne, ki namerava zgornji most uporabiti pri gradnji hidroelektrarne. Tako je most tudi dobil ime Most čez Savo pri HE Krško in bo prva lefa svojega obratovanja služil zgolj izgradnji hidroelektrarne, po kateri je dobil ime, šele ko bo dokončana obvoznica in spodnji most, pa bo polno služil svojemu namenu.

Osnovni podatki o objektu:

Naziv: Most čez Savo pri HE Krško

Investitor: DRSC, HSE, Občina Krško

Projektant: Ko-Biro, d. o. o.

Izvajalec: Primorje d. d. Ajdovščina

Podizvajalec za izvedbo narivanja in napenjanja: Gradis GP Ljubljana

Velikost: L = 151, 65 m, Š = 12,26 m

2 • POGOJI PREMOSTITVE

Lokacijsko je most postavljen izven naseljene območja Krškega v smeri proti Sevnici. Stisnjen je med strmo brežino na desnem ter železniško progo Ljubljana–Dobova na levem bregu. Takoj za odcepom od sedanje glavne ceste se obvoznica že nahaja na mostu, preko katerega se zasuka, da se priključi vzporedno ob železnico. Tako se trasa na zelo omejenem prostoru zasuka za skoraj 90°, kar daje mostu značilno ukrivljeno obliko proti levemu bregu. Odcep

od glavne ceste je oblikovan kot krožišče, zato se most zvončasto razširi proti desnemu bregu, kar da mostu končni oblikovni zaključek.

Projektna naloga, ki je pogojevala izgradnjo mostu, je vsebovala zahtevo, da se preko mostu vodi več instalacij, poleg visokonapetostnih vodov iz elektrarne tudi vodovod, zato je prečni prerez mostu oblikovan kot prednapeta armiranobetonska škatla z obojestranskima konzolama. Višina škatle je omejena

s spodnje strani z višino visokih voda reke Save ter zgoraj s potekom nivelete, tako da znaša statična višina škatle v osi konstrukcije 2,07 m. Ta višina popolnoma zadostuje za izvedbo prekladne konstrukcije mostu z narivanjem, ker znaša karakteristični razpon med vmesnimi podporami 34,2 m, to pomeni, da je vitkost konstrukcije $h/\ell \approx 1/18$. Svetla odprtina škatle znaša samo 1,63 m, kar je povzročalo precej problemov med samo izvedbo.

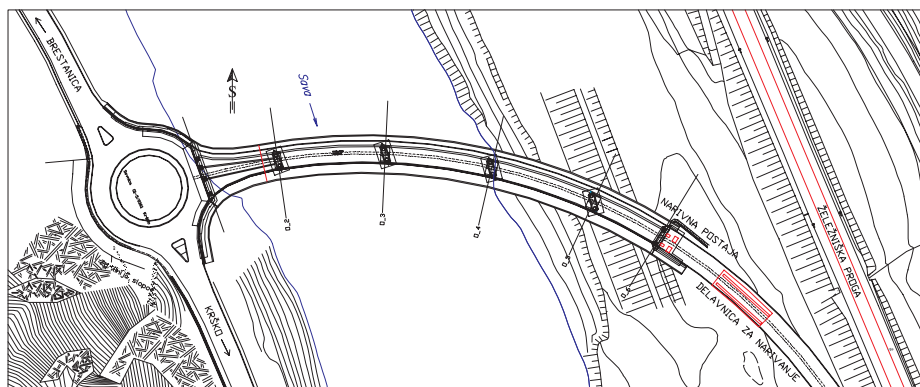
3 • ZASNOVA OBJEKTA

Most je zasnovan s štirimi vmesnimi podporami, tako da premosti reko Savo preko petih razponov. Razponi so usklajeni s položajem prelivnih polj in turbin na hidroelektrarni HE Krško. Vmesne podpore so oblikovane kot stene s koničasto oblikovanimi krajšimi stranicami in so temeljene na pilotnih gredah in pilotih. Vmesne podpore se je izvedlo iz začasnega nasipa v strugi reke Save s pomočjo pogrezajočih vodnjakov. Stene so med seboj vzporedne, ker so postavljene v smeri toka reke. Prekladna konstrukcija poteka v radiju, zaradi tega se z vsako vmesno podporo seka pod drugim kotom. Niveleta ceste preko mostu poteka v radiju 180 m. Pozicija in geometrija mostu je predstavljena na sliki 1.

Reka Sava je za slovenske razmere sorazmerno velika reka, ki pa ima skorajda hudourniški značaj. Kot tehnologija gradnje je bila tako izbrana tehnologija gradnje prekladne konstrukcije s postopnim narivanjem, ki omogoča

neovirano gradnjo konstrukcije po tem, ko so vmesne podpore izvedene. Med samo gradnjo je Sava večkrat narasla in povzročila veliko težav med gradnjo vmesnih podpor. Gradnje pa ni ovirala, ko se je izvajalo prekladno konstrukcijo. Narivanje se je izvedlo z levega

brega v osmih delovnih taktih. Na ta način se je izvedlo konstrukcijo mostu med osmi 6 in 2 ter 4-metrsko konzolo preko podpore 2. Polje med osema 1 in 2, ki je zaradi razširitve neprimeren za narivanje, se je izvedlo na mestu s pomočjo nepomičnega odra.



Slika 1 • Dispozicija mostu

4 • PROJEKTIRANJE IZVEDBE PREKLADNE KONSTRUKCIJE

Pred pričetkom gradnje je vedno treba rešiti vse detajle, tako da lahko gradnja neovirano teče. Zaradi oblike objekta so tu nastopale specifične težave, ki se pri običajnih izvedbah narivanja ne pojavljajo ali ne predstavljajo problema. Glavni vir težav je predstavljal izredno majhen radij pri izvedbi narivanja, poleg tega so težave povzročale poševne vmesne podpore glede na os prekladne konstrukcije ter raven kljun za narivanje. Zaradi konca narivanja v polju med osema 1 in 2 je bila težavna demontaža kljuna, ki je potekala v polju, kjer je bilo treba postaviti delovni oder zaradi varnega dela. Kot dodatna oteževalna okoliščina pa je nastopila zelo nizka svetla višina škatle, ki je onemogočala normalno delo.

Pri tako obsežni problematiki je bilo treba pristopiti k celovitemu reševanju problemov, še posebej, ker so se tu pojavili unikatni problemi. Sam proces je trajal dlje časa ter je zahteval popravljanje in dopolnjevanje posameznih rešitev, ki so se sprva zdele ustrezne, naknadno pa se je izkazalo, da je rešitev prinesla več težav, kot jih rešila. V grobem se da razdeliti probleme v dve skupini, ki ju bomo podrobneje obravnavali.

4.1 Majhen radij in usmerjanje konstrukcije

Gradnja konstrukcij s postopnim narivanjem je mogoča le, če je objekt oblikovan v premi ali s konstantnim radijem. Manjša odstopanja je mogoče korigirati s spreminjanjem velikosti konzol, vendar mora biti floris spodnje plošče konstrukcije v pravilni geometriji. Konstrukcija drsi preko vmesnih podpor po dveh vzporednih drsnih linijah, ki jih definiramo z razmakom obeh pasnic kljuna za narivanje. V osi drsnih linij so na vmesnih podporah postavljene drsne plošče, preko katerih drsi konstrukcija med narivanjem s pomočjo posebnih teflonskih plošč z majhnim trenjem. Na vmesnih podporah se postavi bočna vodila, s katerimi usmerjamo konstrukcijo.

Most v Krškem ima pravilno geometrijo za izvedbo narivanja, razen polja med osema 1 in 2, ki se je izvedel na odru, vendar je konstanten radij zelo majhen. Pri takem radiju je treba aktivno usmerjati konstrukcijo v pravo smer s pomočjo bočnih vodil, ker jo narivna hidravlika potiska naravnost, konstrukcija pa zavija v radij. Pri tem nastajajo precejšnje odklonske sile na bočna vodila.

Oprema, ki smo jo uporabili za izvedbo narivanja, deluje po principu trenja, tako da par dvizhne hidravlike privzdigne konstrukcijo, potisna hidravlika pa potisne naprej dvizhno. Pri tem se zaradi trenja tudi narivana konstrukcija pomakne naprej. Hidravlike so med seboj osno razmaknjene za 3,3 m. Pri tem je radij zunanje drsne linije za 3,5 m večji od notranjega. V praksi to pomeni, da mora imeti v posamezni delovni operaciji hidravlike, ki je dolga 25 cm, notranja hidravlika 5 mm krajši hod. Kasneje, ko je konstrukcija vpeta v bočna vodila na več točkah, se hod hidravlike medsebojno prilagodi, ker deluje po sistemu vezne posode.

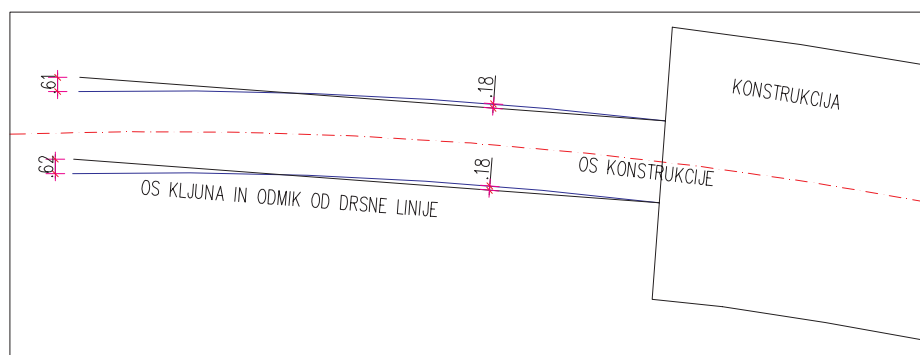
Treba je bilo rešiti narivanje prvega segmenta, tako da ga bo mogoče usmerjati, kljub temu da je s konzolami skoraj tako širok, kot je dolg. Končna rešitev je predvidela postavitev dodatnega para bočnih vodil med delavnico in narivno postajo ter vlečenje z vijačnimi drogovi Ø36: po en par na vsako stojino kljuna. Zakaj je bilo potrebno vlečenje, bo opisano v naslednjem poglavju, tu pa povejmo, da je bil narejen poseben detajl, ki je bil potreben za prehod drogov skozi odlagalno sedlo. S tem smo se izognili vnosu strižnih sil v drogeve. Zaradi radija se je namreč med vleko spreminjal kot, pod katerim smo vlekli konstrukcijo naprej. Drogove smo pritrdili na vsako stran obeh dvizhnih hidravlik skozi za prav ta namen narejena ušesa. Dodatni par bočnih vodil je bil postavljen 1 m pred končno pozicijo prvega segmenta, tako da se ga je lahko pravilno usmerilo v končno pozicijo. Pred tem je konstrukcijo usmerjal par bočnih vodil na izhodu iz delavnice in deloma tudi sam opaž delavnice. Kot smo predvidevali, smo lahko konstrukcijo usmerjali tudi z vlečnimi drogovi, tako da smo pri zatezanju matic na notranjem paru pustili potrebno zračnost.

Na vseh vmesnih podporah smo postavili par bočnih vodil za usmerjanje konstrukcije. Ker so stebri oblikovani in usmerjeni glede na tok reke Save, bi bilo težko montirati bočna vodila iz jeklenih profilov, pritrjenih z vodoravno postavljenimi vijačnimi palicami. Taka pritrditev bi zahtevala specialno predelavo vsakega bočnega vodila posebej, poleg tega bi sidrišča posegala v samo konstrukcijo stebra. Odločili smo se za uporabo trikotnih bočnih vodil, ki so postavljena na vrh blazine začasnih ležišč in so pritrjena z navpičnimi sidranimi navojnimi palicami. Slabost takih ležišč je njihova fiksiranost. Stene prekladne konstrukcije je nemogoče narediti v popolnoma pravilni liniji, tako da se pri drsenju mimo vodil vsako odstopanje pozna s povečano silo na bočna vodila. Težavo se je dalo rešiti z večjim razmakom med konstrukcijo in bočnim vodilom ter s spreminjanjem števila lesenih plošč, ki jih zalagamo med teflonsko ploščo in betonsko konstrukcijo, kar zahteva stalno pozornost pri narivanju.

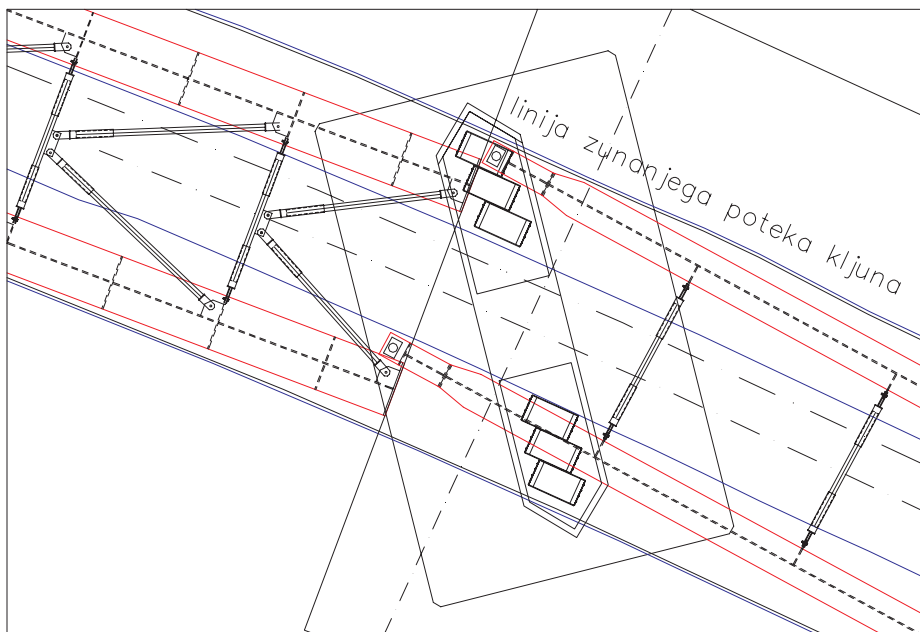
4.2 Ravnost kljuna in prehod preko stebra

Za izvajanje narivanja se na začetek konstrukcije pritrdi jekleno konstrukcijo, da se s tem razbremeni prednji del narivane konstrukcije, na katero delujejo največje konzolne obremenitve tik pred prihodom na vmesno podporo. Tej začasni konstrukciji rečemo kljun za narivanje. Teža te konstrukcije je precej manjša, kot je teža betonske, zato so povese konzole precej manjši. Za izvedbo mosta pri HE Krško smo uporabili kljun dolžine 25 m, ki je sestavljen iz dveh segmentov dolžine 16 in 9 m.

Konstrukcija kljuna je ravna, most pa je v radiju. Ker je kljun sestavljen iz dveh segmentov, smo imeli možnost, da bi kljun »zlomili« na stiku ter posamezen segment postavili kot tivo na radij. Vendar je radij konstrukcije tako majhen, da bi imeli še vedno prevelike puščice na vsak segment, poleg tega bi bil kljun tako



Slika 2 • Postavitev linije kljuna glede na drsno linijo



Slika 3 • Prehod kljuna preko vmesne podpore v osi 5

razprti na stiku, da ne bi mogel opravljati svoje funkcije. Kljun smo postavili ravno, da deloma seka radij kot tetiva, deloma se tangencialno odmika. Tako smo dobili čim manjše odmike od drsne linije, ki znašajo 61 cm na zunanjo stran radija in 18 cm na notranjo stran, postavitev je predstavljena na sliki 2.

Med narivanjem smo pri prehodu preko vmesnih podpor imeli 80 cm prečnega drsenja kljuna. Na drsnih ležiščih smo uporabili drsne plošče širine 45 cm, torej smo morali postaviti

tri vzporedne plošče na vsako drsno ležišče. Zaradi majhnega trenja teflonskih plošč ni bilo ovir za prečno drsenje kljuna. Prehod kljuna preko vmesne podpore v osi 5 je predstavljena na sliki št. 3. Na sliki je kljun ob prihodu na steber, ter ko preide steber, vrisana je tudi linija poteka zunanjih robov kljuna.

Zaradi prečnega drsenja kljuna preko vmesnih podpor smo lahko montirali bočna vodila šele, tik preden je prišel betonski prerež do drsnega ležišča. Sidra za vodila smo morali

postaviti v utor in preko njih postaviti drsno ploščo. Ko je betonski prerež prišel do stebra, smo odstranili vse drsne plošče na vsakem ležišču, razen tiste na drsni liniji konstrukcije, ter montirali bočno vodilo.

Zaradi takšne postavitve kljuna smo morali kljun pri montaži postaviti tako, da je pasnica kljuna nalegala na dvižno hidravliko izven njene osi. Pri takšni postavitvi ne moremo privzdigniti konstrukcije, ker bi med dvigom začelo sukati dvižno hidravliko. Zato smo se odločili, da bomo prvi segment potegnili z vlečnimi drogovi. Tako smo do prehoda kljuna preko narivne postaje zamenjali rebrasto odlagalno ploščo na odlagalnem bloku z drsnim ležiščem ter s pomočjo navojnih drogov potegnili konstrukcijo naprej. Pri tem je narivna hidravlika opravljala samo funkcijo naprej-nazaj.

Poseben problem je predstavljala postavitve vmesnih podpor, ki križajo konstrukcijo pod koti 39°, 28°, 20°, 12°, gledano v smeri narivanja od osi 5 do osi 2. Zaradi povesa konzole je pri narivanju treba privzdigniti prednji del kljuna, ki je navadno opremljen s hidravličnimi dvigalkami. V primeru, da je podpora pod kotom glede na kljun, pride do podpore le ena polovica kljuna. Enostransko privzdigovanje bi vneslo torzijo v konstrukcijo kljuna in jo morda celo preneslo na konstrukcijo mostu. Da smo se temu izognili, smo privzdignili sprednji del kljuna za predviden posed, ki je računsko znašal 6 cm. S tem smo dosegli »mehki« prehod kljuna na vmesno podporo brez večjih enostranskih privzdigovanj.

5 • IZVEDBA

Izvajanje prekladne konstrukcije se je začelo decembra 2007, kar ni bil ugoden čas za izvajanje, vendar je bilo treba nadaljevati z deli zaradi kratkega roka, ki ga je narekoval terminski plan izgradnje HE Krško.

Narivanje objekta se je začelo ravno med božično-novoletnimi prazniki, zato so bile porodne težave toliko večje in je vlečenje prvega segmenta trajalo dalj časa. Kljub dobri pripravi se vsega ni dalo predvideti, predvsem je bila neznanka, kako se bo konstrukcija dejansko obnašala. Kot zelo pomembno se je izkazalo, da je vodja narivanja udeležen že pri projektiranju in da je dobro seznanjen z objektom. Med vlečenjem prvega segmenta je bilo vmesno odstopanje od smeri tudi po nekaj centimetrov, vendar je bila končna pozicija v



Slika 4 • Postavitev kljuna na narivno hidravliko

okviru dovoljenih toleranc. Samo vlečenje je potekalo gladko in se je tudi dalo usmerjati konstrukcijo z navojnimi drogovi. Konstrukcija je bila lahka in sile, ki so nastopale, so bile zelo majhne, zato je hitro prišlo do večjih odstopanj že pri manjši nepazljivosti.

Na sliki 4 je predstavljena postavitve kljuna na narivno hidravliko. Pri taki postavitvi hidravlika ne more privzdigniti kljuna, ker jo med dvigovanjem začne zvrčati. Pred pričetkom narivanja je bilo treba sprostiti kljun, kjer je bil podprt med montažo. Uporabili smo lažje hidravlične dvigalke, ker si z dviznimi nismo mogli pomagati.

Pri narivanju vsakega objekta traja narivanje prvega segmenta dlje časa in tudi ta ni bil izjema. Potem je delovni proces stekel, vendar se ni dalo držati tedenskega ritma, ker se je prečnike izdelovalo skupaj s segmenti. To je bilo potrebno zaradi majhne višine škatle, ki bi močno otežila naknadno izdelavo. Kljub stalnim težavam z usmerjanjem med narivanjem ni bilo končno odstopanje smeri posameznega takta nikoli večje od 15 mm.

S prehodom kljuna preko stebrov zaradi različnih križanj ni bilo težav. Zaradi majhnega radija je bilo na pogled videti še 5 m pred stebrom, kot da bo kljun šel mimo stebra, kot je videti na sliki 6, vendar se to ni zgodilo. Dvig kljuna spredaj se je izkazal za pravilno odločitev. Izkazalo se je, da bi bilo bolje, da so bočna vodila deloma podajna, ki omogočajo manjše bočne pomike zaradi toleranc pri izvedbi. V primeru bočnih vodil s horizontalnim sidranjem z navojnimi palicami lahko konstrukcija odmakne vodilo, vendar večji kot je odklik, večja je sila na konstrukcijo.



Slika 5 • Prihod kljuna na steber v osi 5



Slika 6 • Pogled preko kljuna v smeri narivanja

6 • SKLEP

Ponovno se je izkazalo, kako pomembno je, da se v fazi projektiranja predvidi vse dejanske in potencialne probleme in pripravi ustrezno rešitev

zanje. Reševanje takšnih težav je interdisciplinarna dejavnost in zahteva tako teoretična znanja kot praktične izkušnje z izvajanjem.

Na koncu je pa vedno tako, da se uporabniki mostu sploh ne zavedajo, s kakšnimi težavami je bil most zgrajen in koliko truda in nečloveških naporov so vložili tisti, ki so pri gradnji sodelovali.