

PRIPREMILI:

Goran Puž, Ana Mandić Ivanković,  
Zlatko Šavor

# U povodu desete godišnjice smrti prof. dr. sc. Jure Radića

**Prošlo je deset godina otkako nas je 10. rujna 2016. napustio prof. dr. sc. Jure Radić, jedan od najistaknutijih hrvatskih građevinskih inženjera svojega vremena. Desetljeće koje je proteklo omogućuje da se njegov iznimno bogat profesionalni put sagleda s vremenskim odmakom, ali istodobno pokazuje koliko su njegova djela, ideje i ljudi koje je okupljao ostali prisutni u hrvatskome graditeljstvu.**

Profesor Radić cijeli je svoj akademski život bio vezan uz Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, na kojemu je diplomirao 1977. i iste se godine zaposlio. Prošao je sva nastavna zvanja, od asistenta do redovitog profesora u trajnome zvanju, bio dugogodišnji predstojnik Zavoda za konstrukcije te od 1988. do smrti pročelnik Katedre za mostove. Kao nastavnik i mentor obrazovao je generacije građevinskih inženjera, bio mentor više od stotinu diplomanata i 16 doktoranata te svojim suradnicima otvarao prostor za stručno, znanstveno i osobno sazrijevanje. Njegov stručni rad obilježio je jedno od najintenzivnijih razdoblja hrvatske mostogradnje. S Katedrom za mostove sudjelovao je u projektiranju niza građevina koje su postale prepoznatljiv dio hrvatskog prostora: Masleničkog mosta, mosta preko Rijeke dubrovačke, vijadukta Mirna, mosta preko Krke kod Skradina i mosta preko Rječine. Bio je jedan od autora novoga putničkog terminala Zračne luke Franjo Tuđman u Zagrebu, radio je na projektu mosta kopno – Pelješac te na prvonagrađenim natječajnim rješenjima za zagrebačke mostove Jarun i Bunde. Iza tih projekata stajalo je njegovo uvjerenje

da racionalan projektantski pristup treba rezultirati postojanim i gospodarski prihvatljivim građevinama koje istodobno "zrače ljepotom" i nose prepoznatljive autorske vrijednosti.

Širinu njegova stručnog pogleda pokazuje i promišljanje razvoja hrvatske cestovne mreže. Isticao je potrebu da se ona razvija polazeći od interesa Hrvatske i njezinih prostornih i prometnih potreba, oslanjajući se na Strategiju razvoja cestovne mreže iz 1996. Dvadesetak godina poslije velik dio tada zacrtane mreže autocesta postao je stvarnost; Pelješkim mostom i pristupnim cestama ostvarena je cestovna povezanost krajnjeg juga Hrvatske, a daljnjom izgradnjom autocesta i brzih cesta nastavlja se ostvarivati mreža čije je obrisu tada pomagao zacrtati. Jednako je snažan trag ostavio u znatnosti i stručnoj publicistici. Objavio je više od 300 znanstvenih i stručnih radova, održao desetak pozvanih predavanja te napisao ili uredio velik broj knjiga, udžbenika, priručnika i zbornika. S časopisom *Građevinar* bio je posebno povezan: u njemu je objavio 27 znanstvenih i stručnih radova, a od 1987. do kraja 2011. bio je član njegova Redakcijskog odnosno Uredničkog odbora.

Međutim, brojke samo djelomično opisuju profesora Radića. Njegovi ga suradnici pamte kao čovjeka iznimne energije i optimizma, zahtjevnog i poticajnog mentora, vještog organizatora koji je znao povezivati ljude i, možda najvažnije, vjerovati da se može napraviti više nego što se na prvi pogled činilo mogućim. Svojim je suradnicima postavljao nove izazove, poticao ih na međunarodno usavršavanje i rad u stručnim i znanstvenim organizacijama te se iskreno veselio njihovim uspjesima.

Posebno mjesto u njegovu radu imale su knjige. Govorio je da će "od svega što radimo, najdulje ostati knjige", a uz brojne objavljene naslove stalno je pripremao nove rukopise i prikupljao građu za buduća izdanja. Njegove knjige pritom nisu bile samo stručni priručnici. U njima je nastojao zabilježiti ljude, građevine i razdoblja koja su oblikovala hrvatsko graditeljstvo te sačuvati iskustvo prethodnih generacija za one koje dolaze.

Upravo zato deset godina nakon njegove smrti posebno značenje dobiva rukopis "Građevinarstvo u Hrvatskoj u 20. stoljeću", koji nije stigao objaviti. Njegovim objavljivanjem ne vraćamo se samo jednome nedovršenom poslu profesora Radića. Vraćamo se njegovoj trajnoj potrebi da bilježi, sistematizira i prenosi znanje te da ostvarenja hrvatskih graditelja sačuva od zaborava.

Zato u nastavku donosimo njegov tekst onako kako nam ga je ostavio, kao još jedan pogled profesora Jure Radića na struku kojoj je posvetio život i kao još jedan dio njegove ostavštine hrvatskome graditeljstvu.

## UVOD

Trajna prožetost građevinarstva u Hrvatskoj s njezinim mediteranskim i srednjoeuropskim okruženjima kao i nedvojbenu bitnu doprinosi razvitku onoga čime se i Europa može dičiti kao svojim ishodisnim i najvećim dosegom odlike su graditeljstva u Hrvatskoj kroz mnoga stoljeća, od daleke prošlosti sve do našega dana.

Arhitekture Pali Džokćanove palače, grad Dubrovnik spektakularni su elementi svjetskog graditeljskog naslijeđa, ali i planinske ceste poput Jozefine, Karoline, Terezijane, Luizijane i još velik su broj domova, dvoraca, vrtića, kao i druge oblike građevine.

I u teorijskom smislu hrvatski su dali značajan onlog razvika graditeljskih znanja poput proučavanja karpata Sv. Petra i Pava (Ante Borković) ili prvog ikad i igdje viđenog svjetskog mosta (Faust Vrančić).

Potkraj 19 st. posljedice nacionalnog preporoda znažno se ogledaju i u građevinarstvu, ponajviše kroz osnivanje i jačanje inženjerske udruge Društvo inženjera i arhitekata (1888) kojim čine inženjeri, školarci, uglednici u Beču, Beogradu, Pragi i koji su prve zgrade reši: stoljetni osnutak visoke inženjerske škole, pok.

Prof.dr.sc. **Jure Radić**, dipl.ing.građ.

Institut IGH d.d.

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

# Građevinarstvo u Hrvatskoj u 20. stoljeću

Neobjavljeni članak prof. dr. sc. Jure Radića iz 2014. godine

## 1. Uvod

Trajna prožetost građevinarstva u Hrvatskoj s mediteranskim i srednjoeuropskim okruženjima te nedvojbeni važni doprinosi razvitku onoga čime se i Europa može dičiti kao svojim ishodišnim i najvećim dometima odlika su graditeljstva u Hrvatskoj kroz mnoga stoljeća. Arena u Puli, Dioklecijanov palača i grad Dubrovnik spektakularni su elementi svjetskoga graditeljskog nasljeđa, ali i planinske ceste poput Jozefine, Karoline, Terezijane, Lujzijane velik su domet svoga vremena, kao i brojne druge građevine.

I u teorijskome smislu Hrvati su dali znatan prilog razvitku graditeljskih spoznaja poput proračuna kupole bazilike sv. Petra u Rimu (Ruđer Bošković) ili prvog ikad i igdje viđenoga ovješena mosta (Faust Vrančić).

Potkraj 19. stoljeća posljedice nacionalnog preporoda snažno su se osjećale i u građevinarstvu, ponajprije kroz osnivanje i jačanje inženjerske udruge *Društvo inženjera i arhitekta* (1878.), koju su činili inženjeri školovani uglavnom u Beču, Pragu ili Pešti i koji su si za prvi zadatak zadali osnivanje visoke inženjerske škole, pokretanje stručnih časopisa i uvođenje stručnog nazivlja na hrvatskome jeziku.

Prvi broj *Viesti društva inženjera i arhitekta* izišao je ubrzo i uz višestruke promjene naziva i formata traje i danas. I u pogledu nazivlja postignuti su važni rezultati, no sa školstvom je išlo puno teže jer su mnoge zapreke koje je postavila ondašnja državna vlast bile nepremostive, pa je Visoka tehnička škola s građevinskim studijem osnovana tek 1918., a u Tehnički fakultet prerasla je 1936.

Odmah po utemeljenju Visoke tehničke škole 2. travnja 1919. imenovani su i njezini prvi profesori, i to građevinar ing. Milan Čalogović (za katedru za mostogradnje i statiku) te strojar ing. Jaroslav Havliček i arhitekt Milan Pilar.

Profesor Čalogović je kao prvi i vodeći profesor građevinarstva u Hrvatskoj te kao pedagog, projektant i pisac stručnih knjiga u prvoj polovini prošlog stoljeća odigrao važnu ulogu u razvoju statike.

Građevinski odjel postao je središnje mjesto razvitka struke na kojemu je uskoro osnovan i laboratorij za konstrukcije koji je u

početnome razdoblju vodio Stjepan Timošenko, koji je pobjegao iz Rusije i nakon osnivanja i početnog razvitka laboratorija u Zagrebu otišao u SAD, gdje je kao vodeći svjetski autoritet teorije konstrukcija prve polovine 20. stoljeća objavio brojne znanstvene knjige i rasprave.

U radu opisana su ostvarenja hrvatskoga građevinarstva europskog značaja, nastala u posljednjih stotinjak godina, nakon početnog razdoblja visokog obrazovanja u području građevinarstva.

## 2. Mostovi

### 2.1. Mostovi prve polovine 20. stoljeća

Raznolikost reljefa u Hrvatskoj, kojoj doprinose mnoge rijeke, kanjoni, uvale i brojni otoci, prilikom gradnje prometnica stvara potrebu za brojnim mostovima, pa su na tlu Hrvatske nastala ostvarenja koja po svojim konstruktorskim, estetskim i funkcionalnim osobinama spadaju u skupinu vrhunskih.

Početak 20. stoljeća bio je obilježen prvom primjenom tada inovativnog materijala u mostogradnji – armiranog betona. Među prvim betonskim mostovima ondašnje Austro-Ugarske Monarhije ističe se jedna manja građevina grednog sustava – most Lomost u Ogulinu. Radi se o relativno malome mostu preko potoka, raspona 10 metara, no izveden je za ono vrijeme suvremenim sustavom Hennebique, koji je francuski inženjer razvio desetak godina prije 1900., kada je za promet otvoren Lomost, nagoviještajući velika ostvarenja od armiranog betona koja će u Hrvatskoj nastati u stoljeću koje je započelo [12].

Razdoblje između dvaju svjetskih ratova je u stručnome i graditeljski stvaralačkome planu najsnažnije povezano s imenom Milivoja Frkovića, čiji mostovi svojim obilježjima jedinstvenosti, racionalnosti i ljepote postavljaju načela na kojima se graditelji školuju i danas. Frkovićovo djelo treba ocjenjivati u kontekstu vremena, jer se počelo pojavljivati tijekom dominacije industrijski proizvedenih tipiziranih čeličnih rešetkastih mostova. Frković se nije priklonio tome trendu. Bezlični su mostovi iščekzli, dok su njegovi ostali kao trajni ukras prirodnoga ili urbanoga krajolika. Na mostu preko Kupe u Sisku, koji je po rasponima impresivan

domet za zidane svodove, u prvi plan izbija briga za oblikovanje. Izveden je većim dijelom od opeke, uz detalje od kamena, dok su nosivi betonski elementi sakriveni [1]. Sagrađen je od 1927. do 1934. s četiri elegantna luka preko rijeke, respektabilnog raspona od 42 metra i još tri na inundacijama, sa skladno ostvarenom kombinacijom opeke prepeke i prirodnoga kamena i izvrsno oblikovanim detaljima vijenca, ograda, čeonih ploha i stupova (slika 1.).



Slika 1. Most preko rijeke Kupe u Sisku autora Milivoja Frkovića

Među znatne konstruktorske domete spada čelični most na Savskoj cesti, preko Save u Zagrebu, izveden u potpuno zavarenoj izvedbi u razdoblju 1935. – 1937. Ispitivanja dovršene građevine potvrdila su sudjelovanje ploče kolnika u glavnome prijenosu opterećenja, čime je prvi put potvrđena učinkovitost spreznja čelika i betona.

Most je sagrađen na stupovima starijeg mosta, čija je konstrukcija premještena, kao čelična punostijena kontinuirana gredna konstrukcija, prema projektu Milivoja Frkovića, dok je građenje vodio ing. Jure Erega, poslije redoviti profesor na Građevinskome fakultetu u Zagrebu. Na dvama čeličnim nosačima razmaknutima 5,8 m izrađena je armiranobetonska ploča kolnika koja zajedno sa svojim konzolama čini ukupnu širinu mosta od 9 m. Niveleta mosta jest konveksna krivulja, a tu zaobljenost prati i linija intradosa te je tako dobiven oblikovno

skladan most. Važno je istaknuti iznimnu vitkost te konstrukcije koja, uzevši u obzir visinu nosača od 250 cm, iznosi samo 1 : 21. Izvedba mosta jednako je važna. Naime, korišten je čelik za koji je bilo vrlo problematično zavarivanje debelih lamela debljine 95 mm, ali je unatoč tome, zavarivanjem uz predgrijavanje, postignuta iznimna kvaliteta vara.

Sudjelovanje armiranobetonske ploče u prijenosu opterećenja zajedno s glavnim nosačima ostvareno je spreznjem moždanicima. Gotov most pokusno je opterećen i vrlo opsežno ispitivan pod rukovodstvom prof. Mirka Roša, koji je u to vrijeme bio na čelu jedne od najprestižnijih ustanova za istraživanja u građevinarstvu *Eidgenössische Materialprüfungsanstalt* iz Züricha. Ispitivanja dovršenog sklopa dokazala su postavke projekta, odnosno da beton ploče zajedno s čeličnim nosačima prenosi opterećenje, pa je taj most jedan od prvih europskih spregnutih mostova uopće. Kao takav, unatoč prijedlozima da se produlji, proširi i podigne te tako prilagodi novim prometnim potrebama, ostao je netaknut do danas te je od 1975. pod spomeničkom zaštitom kojom je spriječena njegova obnova, iako je vidljivo da je ona danas i više nego potrebna (slika 2.). Služi za ograničeni pješački promet, a ostale uvelike povećane prometne potrebe tog područja preuzeo je novi most u njegovoj blizini [2].

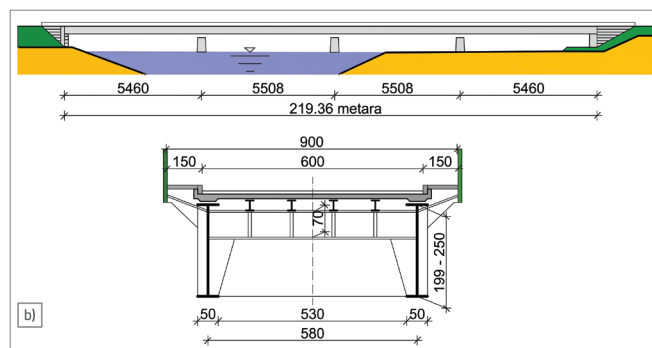
Iz razdoblja nakon Drugoga svjetskog rata, u kojemu je najveći broj mostova u Hrvatskoj srušen, najdelikatniji je most na Krki kod Skradina, pri čijoj je izgradnji izrazitu smjelost i originalnost pokazao veliki hrvatski mostograditelj, profesor Kruno Tonković. Njegova ideja, odnosno punjenje cijevnih nosača betonom, prethodi tehnologiji kojom je 1998. u Kini izveden danas najveći lučni most od armiranog betona.

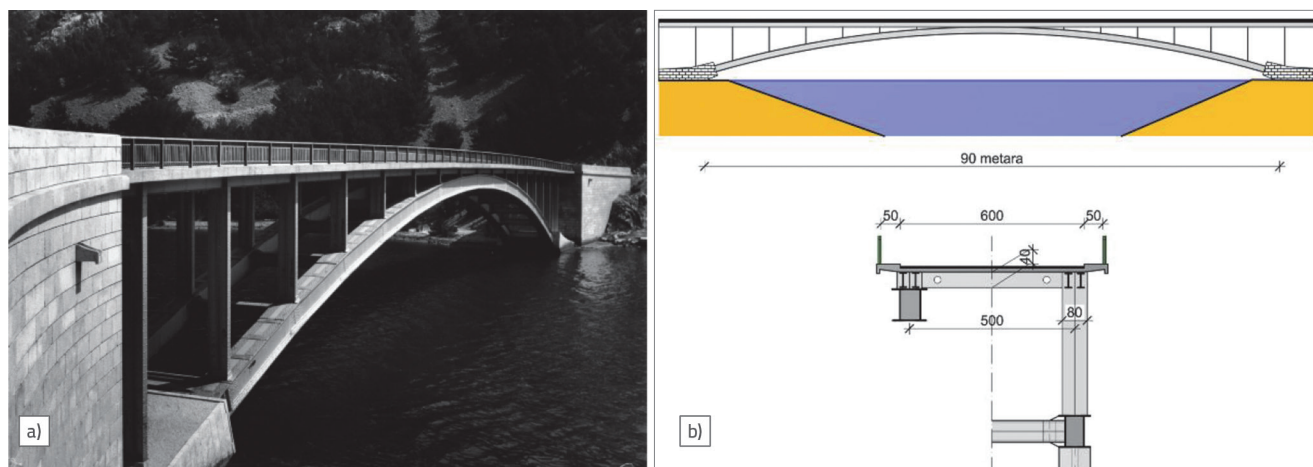
Do Drugoga svjetskog rata na rijeci Krki kod Skradina postojao je uzak cestovni most s čeličnom rešetkastom konstrukcijom raspona 110 metara [3]. U ratu most je srušen, a konstrukcija teško oštećena pa ga nije bilo pogodno obnavljati. Međutim, u vremenu oskudice ostatke je trebalo racionalno iskoristiti. Nastojanjem da se gradivo uštedi izmjenom koncepta mosta i preoblikovanjem prometnice ostvareni su znatno širi kolnik na mostu i viši slobodni profil ispod mosta.

Čelična lučna konstrukcija srušenog mosta, raspona 110 metara, iskorištena je dvostruko: prvo je poslužila kao oplata za dva paralelna betonska lučna nosača, raspona 90 metara,



Slika 2. Most na Savskoj cesti u Zagrebu: a) pogled na most; b) osnovna skica





Slika 3. Most na Krki kod Skradina iz 1955.: a) pogled na most; b) osnovna skica

oslonjena na upornjake srušenog mosta i drvenu skelu, da bi potom, po otpuštanju skele, bila aktivirana kao kruta armatura betonskih lukova. Sprezanju betona i čelične obloge pri izvedbi posvećena je posebna pozornost. Beton je ugrađivan u nosače koji su prethodno bili zagrijani vrućom vodom da bi se rastegnuli. Koncept takvih nosača bio je poznat iz literature, ali nikada ranije nije primijenjen na tako velikoj građevini. Dva dvozglobna luka razmaknuta 5 metara povezana su prečkama, a nadlučni se sklop sastoji od čeličnog roštilja s armiranobetonskom pločom koja se nalazi povrh njega. Most je i danas u prometu kao primjer kako se inženjerskom domišljatošću u vrijeme oskudice mogu stvoriti konstrukcije koje su bolje od onih iz vremena kada se gradi bez posebnih ograničenja (slika 3.).

## 2.2. Veliki lukovi Jadrana

Hrvatska ima bogatu tradiciju građenja lučnih i svođenih mostova od povijesnih kamenih građevina do suvremenih lukova najvećih raspona. Novi, ekonomičniji, konstrukcijski sustavi i postupci gradnje na neko su vrijeme potisnuli lukove, no upravo u Hrvatskoj u drugoj polovini 20. stoljeća razvijena je tehnologija gradnje kojom se danas grade lukovi najvećih raspona [4].

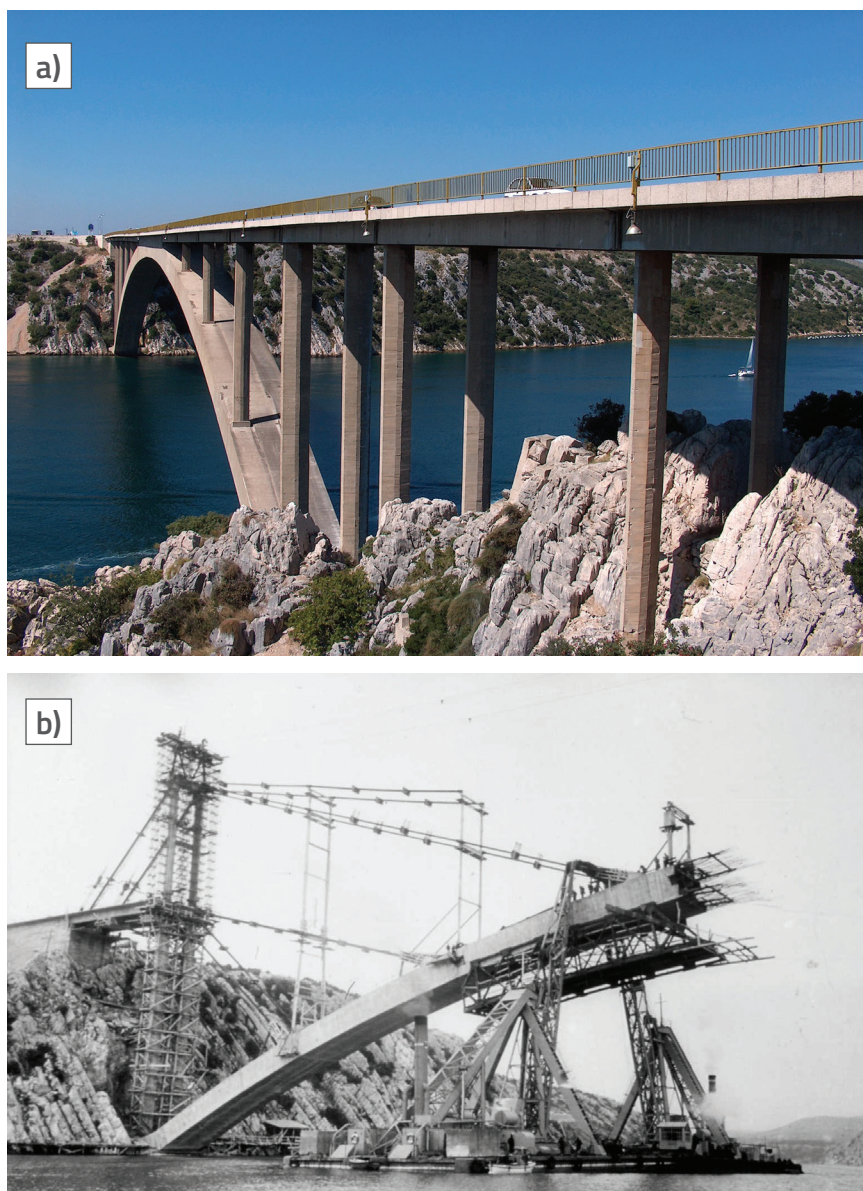
Među vrhunske domete mostogradnje po konstruktivnim značajkama na prvome mjestu treba izdvojiti skupinu lučnih mostova na Jadranu, koji su izvedeni konzolnim postupkom bez fiksne skele. Šibenski most, sagrađen 1965., bio je pionirsko dostignuće u primjeni izvorne tehnologije, koja je potvrđena izvedbom nešto manjega pašskog luka 1969. Nakon njih, godine 1979. izveden je grandiozni Krčki most, čiji je veći luk, s rasponom od 390 m, držao rekord za takvu vrstu sklopa gotovo 20 godina. Tradicija velikih lukova nastavljena je Masleničkim mostom, dovršenim 1997., koji je osim po relativno velikome rasponu poznat i po mjerama poduzetima za osiguranje trajnosti u uvjetima primorskog okoliša, koje su, među ostalim, rezultirale nekim oblikovnim osobitostima. Na lučnome mostu Krka izgrađenome za potrebe autoceste, koji je za sada posljednji u nizu jadranskih lukova, dovršenome 2004., inovativnost se

očituje u kombinaciji betonskog luka i lake a široke nadlučne konstrukcije u spregnutoj izvedbi [7].

Tri armiranobetonska lučna mosta na Jadranu, Šibenski, Paški i Krčki, imaju četiri luka iznimnog raspona (Krčki most sastoji se od dviju građevina) koja su u vrijeme izgradnje bila velik i hrabar tehnološki iskorak. Rekordni raspon luka Krčkog mosta od 390 m (iz 1980.) nadmašen je tek izvedbom kineskog mosta Wangxian – Yangtze 1997., s time da je kineski most izveden ispunjavanjem i oblaganjem čelične rešetke betonom, dakle krutom armaturom, pa krčki luk ostaje najveći od klasičnog armiranog betona.

Veliki luk Krčkog mosta, teorijskog raspona od 390 m, zajedno s temeljnim razupornim sklopovima čini statičku cjelinu raspona od 457 m, a projektiran je u doba kada je najveći izvedeni armiranobetonski luk imao raspon od 305 m. Opće okolnosti u doba gradnje inovativnih jadranskih lukova (1965. – 1980.) nalagale su štednju čelika, pa su bili preferirani betonski mostovi. Također, bilo je teško nabaviti opremu koja se nije mogla proizvesti unutar države. Uspješnom se smatrala struktura na kojoj su ostvarene minimalne statičke potrebne izmjere presjeka svih elemenata, odnosno minimalna vlastita težina nosivog sklopa. Bilo je to u vrijeme kada problemi trajnosti armiranobetonskih konstrukcija u agresivnome okolišu još nisu imali današnju ulogu. Iz tih okolnosti izviru neki nedostaci tih mostova, što ne umanjuje njihovu važnost i graditeljski domet [8].

Lukovi su šupljega sandučastog presjeka s trima komorama, s osima oblikovanim prema tlačnoj liniji za stalno opterećenje. Svi su upeti u masivne temelje na stijeni, osim velikog luka Krčkog mosta, koji je elastično upet u razuporni temeljni sklop. Na Šibenskome (slika 4.) i Paškome mostu vanjske izmjere lukova najveće su u tjemenu, a smanjuju se prema petama, u kojima su pojasnice sanduka znatno podebljane. Na Krčkome mostu zadržan je stalni vanjski obris duž cijelog luka, uz podebljanje pri petama koje se ostvaruje u unutrašnjosti nosača. Projektant je utvrdio da promjena debljine u statičkome smislu znači malen, a u oblikovnome nikakav dobitak, dok se izvedba nepotrebno komplicira.



Slika 4. a) Most na ušću Krke kod Šibenika; b) Izgradnja luka Šibenskog mosta – pionirska primjena slobodne konzolne gradnje na lučnome mostu velikog raspona

Stupovi Šibenskog, Paškog i Krčkog mosta iznimno su vitki, a nadlučni rasponski sklop sastoji se od predgotovljenih nosača povezanih tankom kolničkom pločom. Sustave tih mostova može se svrstati u konstrukcije krutog luka s gipkim nadlučnim sklopom.

Armirani beton omogućio je projektiranje lukova iznimno velikih raspona, no za njihovu je izvedbu trebalo razviti nove metode izgradnje kojima bi se smanjile poteškoće i troškovi vezani uz skupe i složene skele. Prije jadranskih lukova konzolni način gradnje luka, odnosno bez skele oslonjene o tlo, bio je tek ideja [4]. Konzolni postupak gradnje lukova betoniranjem na ovješenoj skeli razrađen je za Šibenski i Paški most. Segmenti lukova izvedeni su na čeličnoj skeli dugoj 27 m, koja je s jedne strane bila pridržavana za očvrslu dio betonskog sklopa, dok je s druge

strane bila pridržavana zategama koje su se zrakasto širile od stupova na obalama. Lukovi su bili građeni istodobno s obje strane, a privremene zatege uklanjane su nakon spajanja u tjemenu. Stupovi nad lukom i nadlučni rasponski sklop Šibenskog i Paškog mosta bili su izvedeni nakon spajanja luka, dok su kod krčkih lukova bili uklopljeni u privremenu rešetku.

Skele na kojima su betonirani odsječci šibenskog i paškog luka premještane su plovnom dizalicom velike nosivosti, koja inače nije bila potrebna na gradilištu, što je kompliciralo izvedbu. Međutim, u to vrijeme je u zapadnoj Europi već bio razrađen konzolni postupak izvedbe grednih sklopova od odsječaka duljine oko pet metara. Primjena takvog postupka bila je logičan korak naprijed u konstruiranju lukova Krčkog mosta. Lukovi su načinjeni privremenim formiranjem konzolne rešetke, čiji su tlačni elementi prethodno izvedeni dijelovi luka i stupovi, dok su vlačni elementi bili privremene zatege (slika 5.). Konfiguracija terena i vrsta tla uz hrvatsku obalu Jadrana pogoduju izvedbi lukova, pa su na trasi Jadransko-jonske autoceste krajem 20. odnosno početkom 21. stoljeća sagrađena dva mosta koji po svojim značajkama pripadaju novoj generaciji lučnih mostova [9].

Maslenički most omogućuje prelazak autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik i Jadranske autoceste preko Novskoga ždrila te povezuje hrvatski sjever i jug, Dalmaciju s Primorjem i središnjom Hrvatskom.



Slika 5. Most između kopna (desno) i otoka Krka (lijevo). U sredini između dvaju lukova je otočić Sv. Marko



Slika 6. Most preko Krke, odmorište i vizura Skradina: skladan primjer uklapanja suvremene prometnice u prirodni i povijesni okoliš

Izgrađen je tijekom Domovinskog rata, nakon što je rušenjem starog mosta prekinuta glavna hrvatska veza od sjevera prema jugu. Bio je građen u dometu agresorskog topništva te je puno više no veliki i lijepi most postao simbol obnove Hrvatske. Mikrolokaciju mosta odlikuje izloženost utjecajima mora, snažnih vjetrova i potresa, što je uvelike utjecalo na njegovo projektiranje. Most preko Krke kod Skradina također se nalazi na trasi autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik, gdje na dionici Zadar – Šibenik prelazi kanjon rijeke Krke u neposrednoj blizini vrijednoga i zaštićenoga nacionalnog parka Krka. Budući da je u blizini i živopisan povijesni gradić Skradin, projektanti autoceste odstupili su od prakse projektiranja linearnih odmorišta uz trasu i doveli putnike s autoceste na rub kanjona, stvorivši

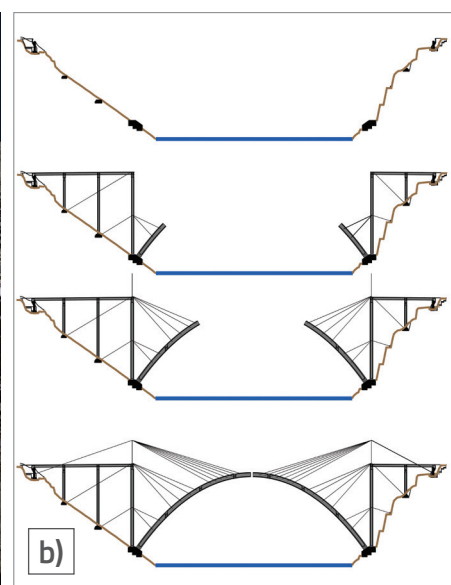
jedinstvenu atrakciju – odmorište Krka (slika 6.). Oba lučna mosta, Maslениčki most i most Krka kod Skradina, izvedeni su u kanjonima vrlo strmih i dubokih strana, pa je strelica relativno visoka, a rasponski sklop razdvojen od tjemena luka. Na fotografijama mostovi izgledaju vrlo slično, no među njima postoje velike razlike u konstruktivnome oblikovanju koje ilustriraju nastojanje projektanta da optimira strukturu.

Os luka Maslениčkog mosta (slika 6.) oblikovana je kao složena logaritamska funkcija kako bi se minimizirali momenti savijanja, odnosno naprezanja u betonu. Lučni je nosač sandučastog presjeka s dvjema komorama. Široki kontinuirani rasponski sklop oslanja se na znatno užu luk, pa se dovršeni sustav može promatrati kao kruti luk povezan na zajedničko nošenje s krutom gredom, za

razliku od mostova prethodne generacije.

Nad lukom je gredni sklop od prednapetih nosača povezanih monolitnom kolničkom pločom povrh gornjih pojasnica. Polumontažni sklopovi susjednih polja povezani su uzdužno naknadno izvedenima poprečnim nosačima te čine kontinuiranu gredu. Stupovi su šuplji, sandučastog presjeka.

Izmjere svih konstruktivnih elemenata Maslениčkog mosta povećane su u odnosu na uobičajenu praksu s ciljem da se formiraju jednostavni presjeci u kojima je moguće postići vrhunsku kakvoću izvedbe i da se spriječi gomilanje armature. Maslениčki most izveden je konzolnim postupkom s privremenim kosim zategama usidrenima u tlo i betoniranjem odsječaka na pomoćnoj skeli.



Slika 7. Maslениčki most za autocestu: a) dovršena građevina u prometu; b) skica faza izgradnje konzolnim postupkom

Upravo u vrijeme projektiranja Masleničkog mosta s betonskim nadlučnim sklopom u Hrvatskoj su uvedeni novi propisi za antiseizmičko projektiranje. Usporedba rezultata proračuna po starim i novim propisima pokazala je kako širok i masivan betonski nosač nad vitkim lukom nije optimalna struktura za područje izloženo potresima, no odlučeno je da će ono ipak biti primijenjeno zbog nastojanja da se iskoristi potencijal domaće operative. Za sličan most preko Krke kod Skradina (slika 6.), desetak godina nakon projektiranja Maslenice, isti projektant razradio je dva rješenja, s težim betonskim i lakšim spregnutim nadlučnim sklopom nad betonskim lukom. Projektant je podupro odabir spregnutoga nadlučnog sklopa, izvedenog povezivanjem čeličnih nosača i armiranobetonske kolničke ploče, pa se investitor odlučio za tu varijantu. Osnovnu prednost spregnutog sklopa ilustrira usporedba mase mosta Krka s novim Masleničkim mostom. Ukupna masa mosta preko Krke, bez temelja i upornjaka, jest 35 % manja od mase Masleničkog mosta [6].

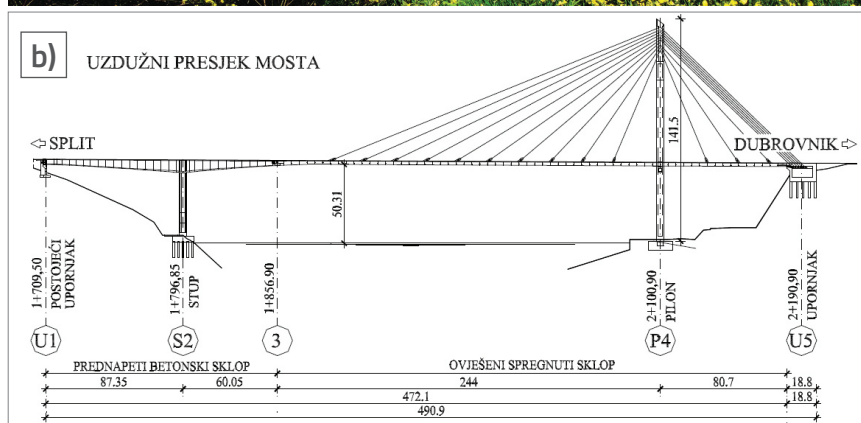
Izvedba spregnutoga rasponskog sklopa nije dopustila kruto povezivanje stupova s nadlučnom konstrukcijom u okvirni sustav kao na Maslenici, već je oslanjanje riješeno sustavom ležaja, dok su za prijam sila od potresa ugrađene posebne naprave. Luk mosta Krka bio je izveden postupkom sličnim kao na Masleničkome mostu, dok je nadlučni sklop izveden potiskivanjem čeličnih nosača, montiranih na obali, nakon čega je kolnička ploča izvedena sklapanjem montažnih elemenata.

### 2.3. Most preko Rijeke dubrovačke

Most preko Rijeke dubrovačke, dovršen 2002., prvi je hrvatski zavješeni most.

Svojom nesimetričnim rasporedom i neobičnom kombinacijom dvaju različitih sustava, prednapetoga grednog mosta u konzolnoj izvedbi i zavješene sklopa sa spregnutom gredom, posve je jedinstvena konstrukcija, znatnoga glavnog raspona [13].

Asimetrična dispozicija ovješene sklopa s jednim pilonom odlikovana je ostrim zavojem kojim cesta sa zapada vodi na most



Slika 8. Most preko Rijeke dubrovačke: a) pogled na most; b) osnovna skica mosta

te nije bilo moguće ostvariti ekonomičniji simetrični raspored raspona. Most je smješten u zoni visoke seizmičnosti, u zoni jakih vjetrova. Te činjenice uvelike su obilježile projekt.

Od zamisli do ostvarenja mosta preko Rijeke dubrovačke prošlo je više od 30 godina. Izvedba je započela po jednome projektu, a nakon desetogodišnje stanke izazvane Domovinskim ratom, nastavljena po drugome, izmijenjenome projektu.

Most ima dvije konstrukcije spojene zglobovom u središnjemu rasponu, a ukupna duljina između krajeva upornjaka iznosi 518 metara. Prednapeti prilazni sklop na zapadnoj strani započinje gredom raspona 87,4 m, sandučastoga poprečnog presjeka, a nastavlja se konzolnom istakom u glavni raspon, duljine 60 m. Zavješeni sklop sa spregnutom gredom za ukrućenje dug je 244 m u glavnome otvoru, a nastavlja se rasponom veličine 80,7 m u krajnjemu otvoru. U poprečnome smislu zatege su nagnute u dvije ravnine kako bi se zajedničko djelovanje pilona, grede i zatega približilo modelu prostorne rešetke. Uzdužno razmak između zatega iznosi 20 m. Spregnuta greda je na svojem kraju upeta u istočni upornjak, u koji je usidreno devet parova zatega (slika 8.).

Prilazni most izveden je slobodnom konzolnom gradnjom obostrano od razdjelnog stupa u segmentima duljine oko 5,0 m, osim manjeg dijela u blizini upornjaka koji je izveden na skeli. Stabilizacija sklopa tijekom gradnje izvedena je pomoću dvaju pomoćnih stupova koji su poslije uklonjeni.

Pri izvedbi spregnutoga rasponskog sklopa glavnog mosta korištena su dva različita montažna postupka. Čelični dio rasponskog sklopa u malome otvoru, raspona 80,7 m, zajedno s 33 m sklopa u velikome otvoru izveden je uzdužnim potiskivanjem uz pridržavanje pomoćnim kabelima. Postupak potiskivanja odabran je da se ne bi morali izvoditi pomoćni oslonci ispod mosta, gdje postoje kuće. Gradnja je nastavljena konzolnim postupkom, podizanjem elemenata pomoću derrick krana. Neposredno nakon podizanja sekcije ugrađivane su pripadne prednapete kose zatege i odgovarajuće sidrene zatege u malome otvoru. Betoniranje kolničke ploče na pomoćnoj skeli slijedilo je dva takta nakon podizanja pripadne čelične sekcije.

## 2.4. Mostovi u gradnji

Najjužnije područje Hrvatske razdvojeno je od ostatka države uskim obalnim područjem koje pripada susjednoj Bosni i Hercegovini, pa je ideja o čvrstoj vezi kojom bi se izbjeglo dvostruko prelaženje granice studirana dulje od petnaest godina. Nov poticaj toj zamisli dao je ulazak Hrvatske u Europsku uniju 2013.

U to vrijeme bio je izrađen glavni projekt mosta kopno-Pelješac, ishodišna građevna dozvola, no radovi započeti 2007. zaustavljeni

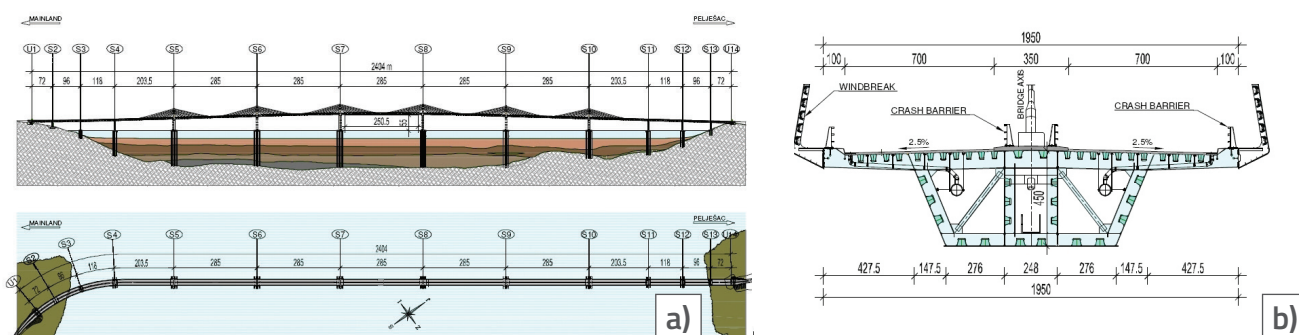
su 2012. zbog financijskih poteškoća. U međuvremenu predložena su dva alternativna rješenja razradom novih idejnih projekata. Prvim alternativnim rješenjem predložen je gredni kontinuirani čelični most, a drugim most s jedrom, odnosno s kabelima izvan poprečnog presjeka koje nad potporama imaju skretnik u obliku jarbola. Oba rješenja u cijelosti poštuju zahtjeve postavljene za izvorni most, a nakon analize za daljnju razradu odabran je most s jedrima.

Most prelazi tjesnac širok oko 2140 metara na razini mora, a plovni prolaz koji je trebalo osigurati širok je 200 metara i visok 55 metara, po zahtjevima nadležnih tijela susjedne Bosne i Hercegovine. Glavni izazovi pri projektiranju i gradnji bili su i visina sklopa nad morem, nepovoljno temeljno tlo, visoka seizmičnost okoliša i strogi uvjeti na zaštitu okoliša. Problem je i vjetar, zbog kojeg je predviđena zaštita prometa na mostu posebnim vjetrobranima visine 3 metra iznad kolnika.

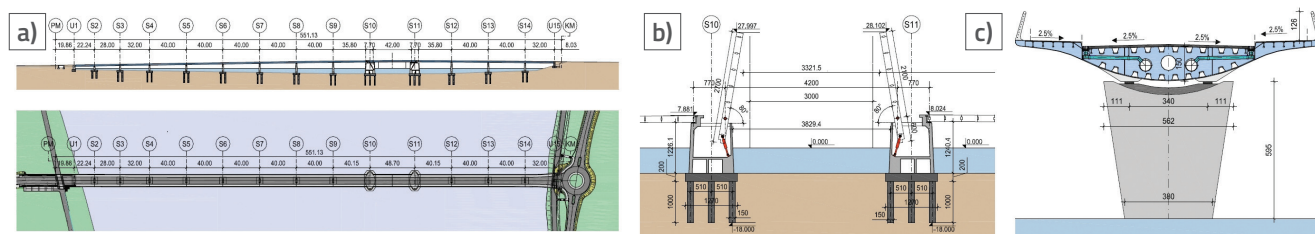
Struktura i arhitektonska obilježja mosta razvijena su iscrpnim optimiranjem. Glavni nosač s jedrom ima šest pilona i pet rasponskih sklopova s otvorima veličine od po 285 metara, pa se ostvaruje potpuno simetrična vizura. U krajoliku most se pojavljuje kao laka i mirna kompozicija. Pokušalo se kreirati strukturno, tehnički i tehnološki suvremenu i ekonomski isplativu konstrukciju mosta (slika 9.).

Središnji dio glavnog nosača mosta, dug 1832 metra, s armiranobetonskim pilonima, elastično je upet sa stupovima u moru, pa stupovi i nosač čine okvir bez pomičnih ležaja. Na taj način postiže se dodatna stabilnost mosta u slučaju potresa ili udara vjetra. Ležaji i vodilice predviđeni su samo na krajnjim osloncima: upornjacima i na po dva njima najbliža stupa sa svake strane. Piloni su visoki 33 metra, pa je omjer duljine glavnog raspona prema visini pilona 11,6. Greda ojačana vanjskim nategama jest sandučastog presjeka s trima komorama i konzolama koje su prepuštene 4,3 metra sa svake strane sanduka. Sandučasti nosač visok je 4,5 metara, a gornja ortotropna čelična ploča nad njim široka je 19,5 metara.

Armiranobetonski piloti elastično su spojeni s betonskim dijelom rasponskog sklopa i izravno povezani sa stupovima, a prednapeti kabeli usidreni su u njih. Stupovi su armiranobetonski, šuplj i osmerokutnog presjeka. Najviši među njima, koji dosežu 53 metra, široki su sedam metara u uzdužnome i 10 metara u poprečnome smjeru mosta.



Slika 9. Osnovne skice mosta kopno – poluotok Pelješac – inačica odabrana za daljnju projektnu razradu i izgradnju 2013.: a) pogled na most i tlocrt; b) poprečni presjek mosta



Slika 10. Osnovne skice mosta kopno – otok Čiovo: a) pogled na most i tlocrt; b) presjek kroz pokretni dio sklopa; c) poprečni presjek

Stupovi u moru temelje se na skupinama zabijenih čeličnih pilota promjera 2 metra, koji su dugi od 55 do 125 metara. Piloti su međusobno povezani betonskim naglavnim pločama koje su u razini mora, a debele su 5 metara jer služe i kao zaštita stupova od udara broda.

Za neometan prostorni razvoj grada Trogira bila je važna i prijeko potrebna izgradnja novog mosta kopno – otok Čiovo. Novi cestovni most kopno – otok Čiovo preko Trogirskog kanala nalazi se u blizini povijesne jezgre grada Trogira koji je zaštićen kao spomenik kulture. Već samim projektnim zadatkom i zadanom trasom izrečene su osnovne premise u oblikovanju. Vrlo mala raspoloživa konstrukcijska visina, s obzirom na blizinu splitskog aerodroma, uvjetovala je odabir grednog mosta, koji je riješen minimalnim brojem neophodnih nosivih elemenata [5].

Kao glavno gradivo rasponskog sklopa odabran je čelik, koji omogućuje ne samo bolji vizualni dojam od betona, nego je i lakše izvodiv, a stupovi i upornjaci su betonski. Uzdužni raspored (dispozicija) mosta odabran je prema načelima izgleda, učinkovitosti i optimalnog uklapanja u urbani okoliš. Naglasak je bio na uklapanju u krajolik, pa je most gotovo nevidljiv, a poseban, no bez pretenzija da se nametne vizuri prekrasnoga grada Trogira. Projektiran je gredni most nepromjenjive visine u cijeloj duljini, pa i na pokretnome dijelu mosta. Veličine raspona odabrane su tako da se postigne dojam harmonije cijele građevine. Dispozicija ima tri dilatacije, uvjetovane pokretnim mostom (slika 10).

Projektiran je dvostruko rasklopni pokretni most. Taj tip omogućuje najveću brzinu rada od svih pokretnih mostova i arhitektonski je najprihvatljiviji. Sastoji se od dvaju krakova. Svaki od krakova ima konzolu duljine  $42/2 = 21,0$  m i stražnji dio duljine 6,0 m s betonskim protutezima, postavljenima tako da se rezultanta ukupne težine krakova za nepromjenjiva djelovanja nalazi u osi ležajeva, pa je za otvaranje i zatvaranje mosta potrebna vrlo mala sila.

## 3. Autoceste

### 3.1. Strategija

Kvalitetna mreža autocesta, uklopljena u globalni prometni sustav, jedan je od osnovnih predujeta razvitka države. Republika Hrvatska smještena je u srednjoeuropskome, mediteranskome i podunavskome okružju, na sjecištu važnih prometnih koridora. Preko Hrvatske vode putovi iz zapadne i srednje Europe prema zemljama jugoistočne Europe i Bliskog istoka te iz zemalja srednjeg Podunavlja i njihova zaleđa do morskih luka na Jadranu. Neki od glavnih riječnih, cestovnih i pomorskih puteva nalaze se na prostoru gdje se Mediteran najdublje usjekao u europsko kopno.

Prednosti koje proizlaze iz tako povoljnog položaja nisu bile u punoj mjeri iskorištene prije uspostave državne neovisnosti, jer je



Slika 11. Hrvatski autocestovni pravci prema strateškim dokumentima

prometna mreža bila planirana i građena prema prioritetima ondašnje države. Pravci koji Hrvatsku povezuju od izvorišta prometa na sjevernim i zapadnim granicama do mora bili su zapostavljeni. Uz to, središta pojedinih hrvatskih regija nisu bila na zadovoljavajući način povezana s glavnim gradom, Zagrebom, kao ni međusobno.

Još tijekom Domovinskog rata izgradnja mreže autocesta prepoznata je kao strateški preduvjet razvitka države i njezina ekonomskog rasta. Od 1990. do 1998. izgradnja prometnica tekla je sporo, ali je rad na izradi studija i projekata bio vrlo intenzivan, što je omogućilo ubranu realizaciju autocestovne mreže početkom novog tisućljeća. Ambiciozan plan, prema kojemu će mreža autocesta biti duga oko 1500 km, predstavljen je Vladinom Strategijom prometnog razvitka iz 1999., koja je kreirana jer raniji program gradnji nije jamčio željeni gospodarski rast (slika 11.). Donošenjem strateških dokumenata i odluka projekt su prihvatili Vlada Republike Hrvatske i Hrvatski sabor, a široka javnost ocijenila ga je neophodnim i dostižnim. Strateško usmjerenje pokrenulo je najveći hrvatski razvojni projekt, znatan i u svjetskim razmjerima [6]. Složena konfiguracija terena na trasi većine hrvatskih autocesta zahtjeva izgradnju brojnih vijadukata i tunela, a velik broj manjih građevina, nadvožnjaka i podvožnjaka izvodi se zbog zahtjeva denivelacije svih križanja. Većinom se radi o standardnim, tipiziranim objektima, no na nekim je preprekama trebalo izvesti vrlo zahtjevne tunele i mostove. Treba istaknuti da su najveći broj zadataka visoke složenosti uspješno odradili domaći projektanti i izvoditelji.

Izgradnja mreže autocesta, promatrana kao cjelovit projekt, najveće je graditeljsko ostvarenje u neovisnoj Hrvatskoj. Građevine koje nas spajaju ostaju trajan spomenik vizija i napora jedne generacije.

Mreža autocesta u današnjemu obliku nije dovršena; prometnice se razvijaju u skladu s promjenama, odnosno s povećanjem prometnih zahtjeva: grade se nova odmorista i čvorišta, a na nekim dionicama treba planirati i povećanje kapaciteta. Radi se na studijskoj i projektnoj dokumentaciji za obilaznice Zagreba, Rijeke i Splita te za dogradnju autoceste Zagreb – Karlovac – Bosiljevo još jednim trakom.

### 3.2. Prometno-tehnička obilježja

Nove dionice autocesta povezuju Lijepu Našu prolazeći kroz ravnice i gorske masive, uz more, kroz krajeve poznate po snijegu, buri ili magli. Autoceste se provlače kraj zaštićenih krajolika, uz vodocrpilišta i naselja. Suvremeni principi projektiranja u takvim okolnostima nalažu izvedbu velikog broja složenih građevina



Slika 12. Odsječak autoceste s građevinama

kao što su dugi tuneli, veliki mostovi, nevidljivi, ali složeni sustavi odvodnje, zidovi za zaštitu od vjetrova i buke...

Autocesta, smještena unutar kontinuiranog ograđenog koridora, sastoji se od dvaju kolnika odvojenih razdjelnim pojasom. Svaki kolnik ima po dva vozna traka i zaustavni trak. Sva križanja s ostalom prometnom mrežom denivelirana su, a spojevi autoceste s drugim prometnicama omogućeni su samo u čvorištima. Slobodni profil iznad autoceste je minimalno 4,80 m od najviše kote kolnika. Elementi poprečnog presjeka autoceste koncipirani su na temelju računske brzine konfiguracije terena, režima vožnje u duljim tunnelima i kriterija zaštite okoliša. Osim same prometnice, autocestu čine drugi sadržaji u funkciji sigurnog i udobnog prometa kao što su:

- građevine za odvodnju i pročišćavanje vode
- zemljišni pojas s obiju strana ceste potreban za održavanje prometne plohe
- zračni prostor iznad kolnika do visine od 7 m
- cestovno zemljište na kojemu su sama prometnica i ostali povezani sadržaji
- građevine u sklopu sustava naplate, održavanja i pružanja usluga vozačima
- mjerni objekti i uređaji za nadzor i kontrolu prometa
- priključci na javnu cestu
- prometni znakovi, cestovna oprema, telekomunikacijski uređaji i razne instalacije
- građevine i oprema za zaštitu ceste, prometa i okoliša.

Pri vođenju trase autoceste u prostoru nastoji se što više umanjiti negativan utjecaj na kvalitetu i organizaciju života. To znači da se ponajprije nastoji izbjeći presijecanje ili tangiranje naselja, a potom devastacija građevinskih zemljišta i vrijednih poljoprivrednih površina. Također se nastoji voditi računa o spomenicima kulturno-graditeljske povijesne baštine te arheološkim lokalitetima.

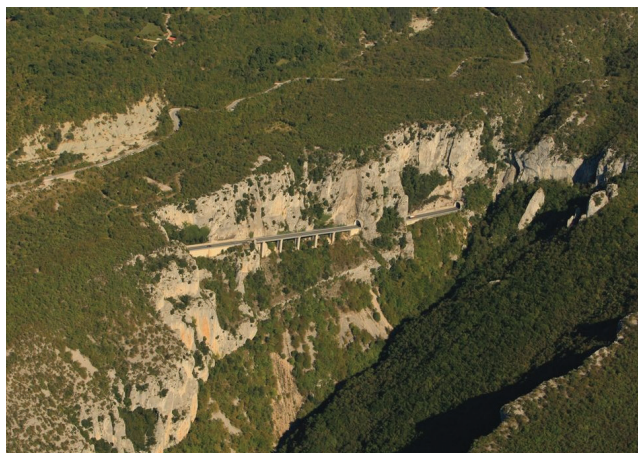
Na većini dionica autocesta u Hrvatskoj geometrijski elementi odabrani su za računsku brzinu od 120 km/h. Na težim, planinskim dijelovima trase prihvaćeni su elementi koji zadovoljavaju računsku brzinu od 100 km/h. U praksi projektna brzina diktira maksimalni nagib na usponima, koji nigdje na hrvatskim autocestama ne premašuje 6 %, i najmanji radijus horizontalne krivine.

Kolničke konstrukcije hrvatskih autocesta u načelu su dimenzionirane na projektno razdoblje od 20 godina, što znači da će nakon isteka tog roka kolnik biti u stanju kada ga se može popraviti relativno jednostavnim zahvatom.

## 4. Tuneli

### 4.1. Tunel Učka

Hrvatski graditelji cestovnih tunela afirmirali su se izvedbom tunela Učka, koji je 1981. pušten u promet kao tada najdulji cestovni tunel u Hrvatskoj (i u bivšoj Jugoslaviji), duljine 5062 m. Masiv Učke kroz koji tunel prolazi sastoji se od dviju vrsta stijena: čvrstih karbonatnih stijena (vapnenci i dolomiti) i klasičnih poluvezanih stijena (lapori). Niveleta tunela oblikovana je u simetričnome obostranom nagibu od 0,4 %, a prijelom tangenti je u sredini tunela zaobljen vertikalnom krivinom radijusa 40.000 m. Površina svijetlog otvora tunela iznosi 54,0 m<sup>2</sup>. Širina ceste u tunelu iznosi 7,5 m (dva traka po 3,75 m), a sa svake je strane pješačka staza široka 0,80 m. Obloga tunela je od betona debljine 30 cm po cijeloj duljini. Ventilacija je riješena sustavom uzdužne ventilacije s ventilatorima ovješanima o strop tunela. U jednocijevnome tunelu izveden je određen broj niša, odnosno proširenja za uklanjanje vozila, kao i tri okretnice za vozila u sredini i na četvrtinama duljine. Promet u jednocijevnome tunelu teče u oba smjera, uz ograničenje brzine od 80 km/h.



Slika 13. Spektakularan južni portal tunela Učka prije gradnje druge cijevi

Projektiranje druge cijevi tunela započelo je 2011., nakon što se pokazalo da porast opsega prometa na Istarskome

ipsilonu opravdava početak proširenja u doglednoj budućnosti. Izvedba druge cijevi, koja će s prvom biti povezana poprečnim komunikacijama, omogućit će znatno veću razinu sigurnosti prometa.

### 4.2. Tuneli na autocestama najsigurniji u Europi

Na novim je dionicama hrvatskih autocesta zbog konfiguracije terena izveden veći broj tunela, među kojima se duljinom ističu tuneli Mala Kapela i Sveti Rok, dok se svi tuneli veće duljine ističu najvišim sigurnosnim standardima u Europi.

Većina tunela nalazi se na autocestama prema moru, pa prolaze kroz podzemlje okršanih masiva Dinarskoga gorja. Ono je znakovito po inženjersko-geološkim i geotehničkim obilježjima koja uzrokuju izrazitu geološku neizvjesnost u predviđanju prilika stijenskih masa kroz koje tuneli prolaze.

Pri gradnji tunela primijenjena je metoda konvencionalnog iskopa (bušenje i miniranje), po konceptu Nove austrijske tunnelske metode, koja ima odliku da se prilagođava čestim promjenama geoloških i geotehničkih uvjeta na čelu iskopa. Pri primjeni te metode iskopa stijena ili tlo oko iskopa služe kao podgradna komponenta, odnosno formira se nosivi prsten u stijeni ili tlu oko podzemnog iskopa, koji s ugrađenom podgradom služi kao nosiva konstrukcija. Glavna komponenta podgrade tunela jest čvrstoća stijene. Ona se može mobilizirati svođenjem deformacije stijene na minimum i sprečavanjem rahljenja stijene. Osnovni uvjet za pouzdanu primjenu metode jest mjerenje pomaka oko podzemnog iskopa i naprezanja u elementima podgrade i ojačavanje podgrade u slučaju potrebe, do konačnog uravnoteženja i smirivanja stijene i podgrade. Definitivna betonska obloga, betonirana na licu mjesta, izvodi se nakon što je tunel stabiliziran, odnosno kada je zadovoljen kriterij dopuštenih pomaka.

Posebna pozornost pri projektiranju, izvedbi i održavanju tunela posvećena je sigurnosti prometa, pa su nadležne europske institucije nekim hrvatskim tunelima dodijelile visoku ocjenu za sigurnosne mjere.

Tunel Sveti Rok, ukupne duljine 5670 m, i tunel Mala Kapela, ukupne duljine 5780 m, imaju po dvije cijevi, za svaki trak autoceste po jednu, i projektirani su za brzine od 100 km/h. Obloge tunela betonske su, minimalne debljine 30 cm. Obloga je u pravilu nearmirana, osim na mjestima niša, poprečnih prolaza i mjestima ovješnja ventilatora. Širina kolnika u pojedinoj cijevi je 2 x 3,85 m, a slobodna visina u sredini kolnika 7 metara. S obje strane kolnika jesu revizijski trakovi širine 90 cm, ispod kojih je prostor za instalacije.

Tunel Sveti Rok nalazi se na dionici Sveti Rok – Maslenica, na autocesti Zagreb – Split – Dubrovnik, i prolazi kroz Velebit u koridoru velebitskog prijevoja Malog Halana. Površina svijetlog otvora tunela je 58,09 m<sup>2</sup>. Odvodnja tunela riješena je uzdužnom kanalizacijom od betonskih cijevi promjera 50 cm. Okretišta za vozila su na svakih 1150 m, a pješački prolazi za nuždu projektirani su kao veza dviju tunnelskih cijevi na svakih 350 m. Niše za zaustavljanje vozila, širine 3,0 m te dužine 40 m, nalaze se na svakih 500 m tunela (slika 14.).

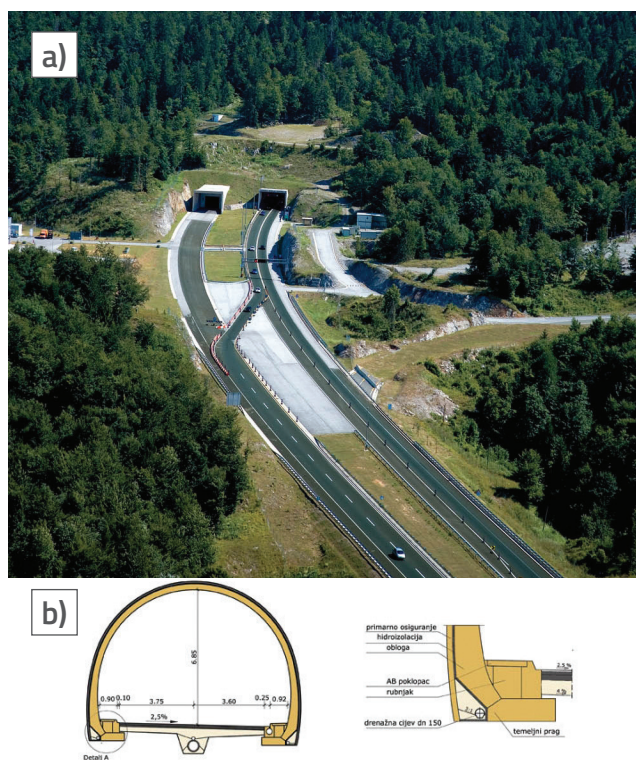


Slika 14. Južni portal – ulaz u tunel Sv. Rok. Stara cesta koja se penje prema Malome Halanu, izgrađena početkom 19. stoljeća, vrijedan je spomenik graditeljske baštine.

Tunel Mala Kapela prolazi kroz planinski masiv Male Kapele. Izgrađene su dvije paralelne tunnelske cijevi razmaka osi 25 m. Niveleta ulaza u tunel je na nadmorskoj visini od 562 m, dok je izlaz iz tunela na 575 m. Stara cesta preko prijevoja Kapele doseže visinu od 887 metara nad morem. Poprečni presjek tunela svijetlog otvora je 56,17 m<sup>2</sup>.

Nakon katastrofalnih požara u nekim alpskim tunnelima pitanje sigurnosti u tunnelima, najsloženijim objektima na autocesti, podignuto je na najvišu razinu. Strogi uvjeti koje treba ispuniti u tunnelima duljima od 500 metara definirani su posebnom smjernicom Europskog parlamenta, čije se odredbe od njezina donošenja 2004. primjenjuju na autocestama u Hrvatskoj.

Zaštita od požara u tunnelima ponajprije se postiže konstrukcijom i izvedbom dvocijevnih tunela. Dvije cijevi spojene su prolazima za sigurnu evakuaciju pješaka i vozila u slučaju incidenta. Glavni dio strojarske opreme čini ventilatorski sustav izmjene zraka koji može zaustaviti širenje dima između opožarenih zona u tunelu, a instaliran je i hidrantski sustav za gašenje velikoga kapaciteta. Svi hrvatski tuneli dulji od 1000 metara opremljeni su sustavom za nadzor i kontrolu prometa, kojim se upravlja iz Centra za održavanje i kontrolu prometa. Sustav videonadzora zasnovan na snimanju videokamerama ima mogućnost automatske detekcije požara i dima, zastoja, vožnje u suprotnome smjeru, očitavanja broja i vrste vozila. Korisnicima je na raspolaganju i komunikacijski sustav za intervencije neposredno od nadležnog operatera. Sustav radiodifuzije omogućuje prijenos



Slika 15. a) Poprečni presjek jedne cijevi tunela Mala Kapela; b) Ulazna građevina tunela

radioprograma, ali i izravno uključenje operatera u Centru u program radi obavljanja korisnika. Za davanje uputa korisnicima koji su zaustavljeni u tunelu postavljen je sustav ozvučenja, a uz to u tunelu je omogućeno korištenje mobilnih telefona [6].

Dugi tuneli ne sastoje se samo od građevine, svjetlosne signalizacije, elektro i strojarne opreme, već važnu sastavnicu njihove funkcionalnosti čini organizacija ljudstva te propisivanje procedura postupanja u svakodnevnim radnjama, ali i u incidentnim situacijama.

## 5. Velike građevine

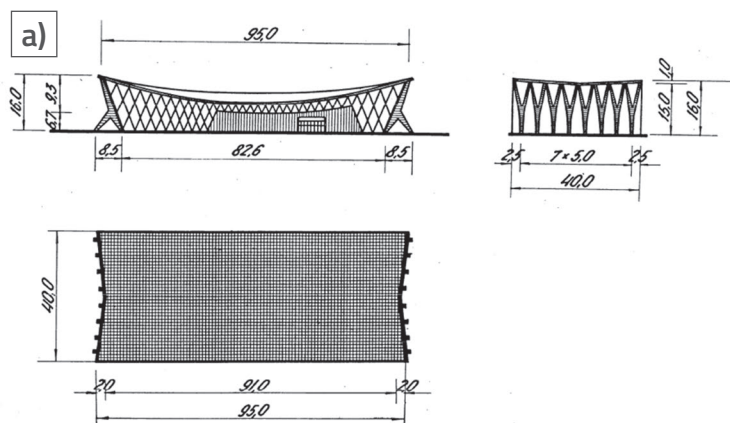
### 5.1. Drvena kupola Brodarskog instituta i velesajamski paviljon

Početkom pedesetih godina prošlog stoljeća u sklopu izgradnje Brodarskog instituta u Zagrebu sagrađen je okrugli bazen natkriven drvenom kupolom kružnog tlocrta, u to doba rekordnog raspona. Kupola raspona 39,2 m ima strelicu (mjeru koliko se vrh odije nad rubom) samo 6,5 m, pa je odnos spljoštenosti, kojim se mjeri smjelost projekta, 1 : 6. To znači da je to osebjuno dostignuće građenja drvom uistinu konstruktorsko postignuće svjetske važnosti, to više što je visina krutih rebara, što je mjerilo stabilnosti kupole, također smiona 1/50 raspona. Drvena kupola sastoji se od 54 gipka i 27 krutih rebara oslonjenih na armiranobetonski vijenac pri dnu, prstenaste i dijagonalne oplaste. U vrijeme izvedbe bila je to jedinstvena drvena konstrukcija u europskim mjerilima (slika 16.). Nad tjemnom kupole izveden je svjetlik kupolasto izvedenog pokrova. Pokrov je od bakrenog lima. Kupolu je projektirao prof. Kruno Tonković, a dovršena je 1953. [3]. Sredinom 20. stoljeća zanimljiv graditeljski izazov bio je razvitak Zagrebačkog velesajma na novoj (današnjoj) lokaciji. U vrijeme

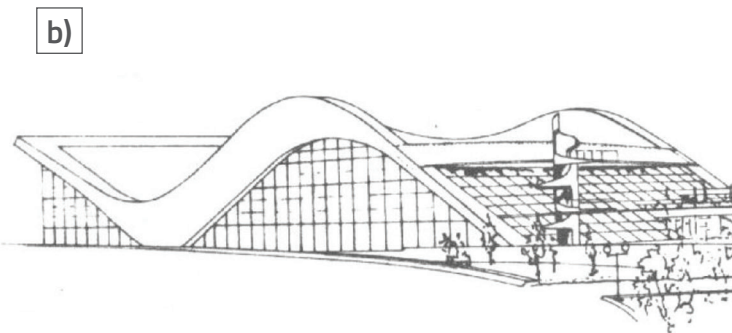


Slika 16. Pogled na drvenu kupolu Brodarskog instituta u Zagrebu

kada je službeni Beograd želio preuzeti Velesajam kao glavnu sajamsku priredbu u ovome dijelu Europe tome se suprotstavio legendarni zagrebački gradonačelnik Večeslav Holjevac, među ostalim, i izgradnjom novih, reprezentativnih paviljona, pa su nastale zanimljive, izvorne, čak i ekstravagantne konstrukcije. Tako je prihvaćen prijedlog da se izgradi paviljon s krovom – vlačnom membranom – koji se svojim rješenjem i dimenzijama mogao mjeriti s vrhunskim svjetskim ostvarenjima tog vremena. Paviljon s visećim krovom, dovršen 1955., tlocrtnih izmjera 95 x 40 m svakako spada među takve građevine (slika 17.). Zabatne stijene rebraste konstrukcije pri vrhu prihvaćaju strukturu glavnih krovnih užadi, koja formiraju sedlastu krovnu plohu. Krovšte hale sastoji se od pravokutne mreže uzdužno i poprečno napete užadi koja tvori okna veličine 1,25 x 1,25 m. Progib napete užadi uz rub plohe veći je od progiba užadi u sredini, što znači da je ploha prednapeta opna zakrivljena u smjeru glavnih užadi prema dolje (udubljena), a u smjeru poprečnih



Slika 17. Sajamski paviljon s prednapetim krovštem od užadi u Zagrebu: a) skica; b) današnji pogled na paviljon



Slika 18. a) Pogled na bazen na Poljudu, Split, 1978.; b) Perspektivni crtež građevine

užadi prema gore (izbočena), što u konačnici čini prostorno krut nosač. Na tome ostvarenju sretno su se spojila dva velikana hrvatskoga graditeljstva: autor arhitektonskog projekta bio je arhitekt Vitić, a projekta konstrukcije prof. Tonković [3]. Arhitekt Vitić, koji je u brojnim projektima kao važnu oblikovnu značajku predviđao primjenu suvremenih plošnih konstrukcija velikih raspona, našao je u Tonkoviću konstruktora koji će primjereno realizirati hrabar dizajn.

## 5.2. Poljudski bazen

Za Mediteranske igre u Splitu 1979. izgrađeni su kompleks bazena i gradski stadion na Poljudu. Bazen su smješteni u halu veličine 102 x 65 m, koja je s konstruktorskoga gledišta vrlo zanimljiva građevina. Konstrukcija se sastoji od dvaju dijelova: betonskoga donjeg dijela i gornje prednapete viseće krovne konstrukcije. Donji dio konstrukcije sastoji se od dvaju armiranobetonskih nosača oblika položenog slova "S" koji su međusobno povezani s dvama vrlo vitkim prednapetim nosačima tribina i s poprečnim nosačima. Krovna konstrukcija ovješena je po gornjoj konturi obaju nosača oblika nalik slovu "S" te po rubu poprečnih nosača (slika 18.).

## 5.3. Novi putnički terminal Zračne luke Zagreb

Projekt novoga putničkog terminala Zračne luke Zagreb, čiji su autori Branko Kincl, Velimir Neidhardt i Jure Radić, osvojio je prvu nagradu na međunarodnome natječaju koji je raspisao Grad Zagreb 2008., u konkurenciji nekih od najvećih svjetskih arhitekata. Glavni projekt dovršen je 2013., a izgradnja je započela tijekom proljeća 2014. [10].

Zagrebačka zračna luka razvija se u faktor urbanizacije između Zagreba i Velike Gorice, formirajući poveznicu dvaju gradova oblikovanjem prilaza i neposrednog okoliša zgrade terminala. Dominantna arhitektonska forma terminala projektirana je kao prepoznatljivo obilježje krajolika. Glavna strukturna forma jest valoviti krov koji lebdi poput zastave nad glavnom zgradom. Krov mirno prelazi u zakrivljenu plohu u dvama pristaništima za prihvat zrakoplova. Čitav terminal podsjeća na izduženi stup u kojemu su zrakoplovni pristani mekano omotani dinamičnom ovojnicom koja se odmatu u krov terminala generirajući

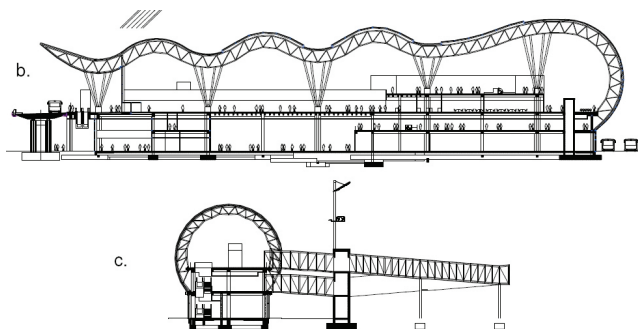
slobodnu dinamiku lebdećega krova kao odraz krajolika. Takva prostorna harmonija nastavlja se u unutrašnjosti terminala serijom različitih estetskih atrakcija generiranih njihovom funkcijom. Lebdeća krovna ovojnica omogućuje maksimalnu izloženost unutrašnjosti hale i najširi mogući panoramski pogled i orijentaciju prema Zagrebu i njegovoj planini te dinamični razvoj na prilazu novome terminalu (slika 19.).



Slika 19. Simulacija buduće zgrade putničkog terminala Zračne luke Zagreb

Osnovni projektantski princip zasnovan je na racionalnosti, postignutoj distribucijom funkcija i jasnim prostornim žarišnim točkama, koje su projektirane tako da jasno naznače smjerove orijentacije putnika. Metoda projektiranja usmjerena je na fleksibilnost konceptualne sheme. Prostor je prilagodljiv razvitku promjenjivih potreba i u konačnici optimalnoj funkcionalnosti terminala. Rezultat je racionalna uporaba prostora u bilo kojemu budućem scenariju prometnih potreba.

Ukupne izmjere glavne zgrade su 136,8 metara u smjeru poprijeko na pristane i 151,2 metra uzdužno (slika 20.). Najviša točka krova je na 34 metra. Pristani su dugi 82,8 m (lijevo) i 39,6 m (desno), a široki 14,4 m. Glavna je zgrada betonska građevina koja se sastoji od prizemlja i triju katova. Prizemlje je na koti 0,0 m, prvi kat na +5,4 m, drugi kat na +10,2 m, a treći kat na 15,00 m. Krovna konstrukcija jest čelična prostorna rešetka na visini od 20 m do vrha na 34 m. Pristani su betonske konstrukcije koje imaju prizemnu etažu i dva kata, a njihovo je krovište lučni svod s čeličnom prostornom rešetkastom konstrukcijom.



Slika 20. Osnovne skice – presjeci novoga putničkog terminala Zračne luke Zagreb

## 6. Hidrotehnički objekti

### 6.1. Brana Peruća

Brana Peruća je u građevinskom smislu najvažniji hidroenergetski objekt u Hrvatskoj, ujedno građevina svjetskog dometa. Radi se o prvoj građevini te veličine u kršu, po čemu je važan građevinski iskorak. Izgrađena je na Cetini, najduljoj i vodom najbogatijoj dalmatinskoj rijeci. Prema godišnjoj proizvodnji energije te raspoloživoj snazi i regulacijskim mogućnostima, sliv Cetine najvažniji je energetska sliv u Hrvatskoj, a i najbolje iskorišten. Osim toga služi za vodoopskrbu šireg područja te za navodnjavanje. Na Cetini je još 1912. izgrađena prva hidroelektrana – HE Kraljevac, jedna od najstarijih u Europi, a tijekom 20. stoljeća sagrađene su još tri elektrane koje daju znatan doprinos ukupnoj proizvodnji električne energije.

Brana Peruća i Perućko akumulacijsko jezero izgrađeni su u gornjem dijelu toka Cetine radi reguliranja njezina protoka. Gradnjom akumulacijskog jezera na rijeci Cetini postavljeni su temelji hidroenergetskog sustava Cetine kakvog danas poznajemo.

Perućko je jezero površinom od gotovo 20 km<sup>2</sup> kod najvećeg uspora treće po veličini jezero u Hrvatskoj, iza Vranskog i također umjetnoga akumulacijskoga Dubravačkog jezera na rijeci Dravi u Međimurju [11].

Pregradni je profil brane smješten na uzvodnome kraju uskoga kanjona, na lokaciji znatne vodopropusnosti, pa je prije same brane izgrađena injekcijska zavjesa najveće dubine od približno 200 m, za što je izbušeno gotovo 160 kilometara injekcijskih bušotina. Visina brane u profilu Cetine iznosi 63 m, širina u dnu do 220 m, a duljina u kruni 450 m. Ukupni je volumen brane 874.097 m<sup>3</sup>.

Izgradnjom brane formirano je akumulacijsko jezero volumena kod najvećeg uspora od 541,249 milijuna m<sup>3</sup>, površine do 20 km<sup>2</sup> i dužine od gotovo 23 km. Brana i akumulacijsko jezero

zajedno s hidroelektranom izgrađeni su od 1956. do 1960. (slika 21.).

Brana Peruća pune je 32 godine bila uzor brojnim elektranama izgrađenima poslije u kraškim predjelima i u Hrvatskoj i u svijetu. U cijelosti je ispunjavala svoju zadaću i bila poticaj njezinim graditeljima za nove izazove. Bila je vrhunsko djelo svojih graditelja i skladno se uklopila u okoliš te je postala nedjeljivim dijelom krajolika.



Slika 21. Pogled na branu Peruća

Tijekom Domovinskog rata, 28. siječnja 1993. neprijateljske su snage miniranjem pokušale srušiti branu, ugrožavajući pritom živote stanovništva koje je živjelo nizvodno. Miniranje je bilo planirano i dobro pripremljeno; eksploziv u brani aktiviran je na pet mjesta u injekcijskoj galeriji. Brzom akcijom Hrvatske vojske područje oko brane oslobođeno je, nakon čega su uspješno poduzete hitne mjere zaštite od rušenja. Obnova brane temeljito je planirana i provedena od 1993. do 1995.

## 7. Zaključak

Iznimne se građevine prepoznaje po tome što su oblikovno vrijedne, ili je tijekom izvedbe primijenjena inovativna tehnologija, ili se radi o dometima po veličini, rasponu ili visini. U radu prikazani su oni mostovi, zgrade i inženjerske konstrukcije koji pružaju dobar uvid u djelatnost građevinarske struke u Hrvatskoj, bez pretenzija na to da odabir bude sveobuhvatan ili reprezentativan. Pokazuje se da su kroz povijest hrvatski graditelji bili duboko uklopljeni u tokove struke šireg, europskog okružja, nimalo ne zaostajući, dapače, ponekad i predvođeci trendove u svojim ostvarenjima. Započete gradnje potvrđuju da će se i nastaviti u istome smjeru.

## LITERATURA

- [1] Radić, J., Puž, G.: Djelatnost građevinskih konstruktora u Hrvatskoj, Poglavlje u: Spomen-knjizi stodvadesetpetogodišnjice Hrvatskog inženjerskog saveza (J. Radić, ur.), Hrvatski inženjerski savez - HIS, Zagreb 2003., str. 171-190
- [2] Tonković, K.: Zagrebački mostovi, monografija, USIZ komunalnih djelatnosti Zagreba 1978.
- [3] Radić, J.: Pontifex Maximus, Dom i svijet – Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu – Jadring, Zagreb, 2003.
- [4] Puž, G., Šavor, Z., Radić, J.: Razvitak građenja lučnih mostova u Hrvatskoj, Zbornik radova Zlatnog sabora HDGK 1953.-2003. Zagreb: Hrvatsko društvo građevinskih konstruktora, 2003. str. 37-56.
- [5] Radić, J., Šavor, Z., Hrelja, G., Mujkanović, N.: Most kopno – otok Čiovo, Građevinar, 61 (2009) 9, 863-870
- [6] Puž, G.: Autoceste u Hrvatskoj (glavni urednik), HAC d.o.o., Zagreb 2005.
- [7] Radić, J., Šavor, Z., Puž, G.: Sixth Large Reinforced Concrete Arch on the Adriatic Coast. Proceedings of International Symposium Role of Concrete Bridges in Sustainable Development, Cornwall, Great Britain : Thomas Telford Ltd
- [8] Radić, J., Puž, G., Gukov, I.: Croatian Experience in Design of Long Span Concrete Bridges, Proceedings of International Symposium System-based Vision for Strategic and Creative Design, Lisse: Swets & Zeitlinger (A.A. Balkema), 2003. pg. 941-945
- [9] Radić, J., Šavor, Z., Puž, G.: World – Renowned Contemporary Croatian Bridges. Annual 2003 of the Croatian Academy of Engineering, Hrvatska akademija tehničkih znanosti, Zagreb, 2003, str. 35-40
- [10] Radić, J., Vlašić, A.: Structure of the new Zagreb airport passenger terminal, Proceedings of Future Trends in Civil Engineering, University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering, Zagreb, 2014. str. 109.-122.
- [11] Nadilo, B.: Dramatično spašavanje i uspješna obnova – oštećenje i obnova brane Peruća, Građevinar, 65 (2013) 1, str. 45-59
- [12] Radić, J.: Masivni mostovi, Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Andris, Zagreb, 2007.
- [13] Radić, J., Šavor, Z., Hrelja, G., Puž, G.: Bridge Across Rijeka Dubrovačka, Proceedings of International Symposium NEW DIMENSIONS IN BRIDGES, Singapore: CI-Premier, 2003. pg. 333-340