

URONJENI PLUTAJUĆI PROMETNI TUNELI

Nevidljive infrastrukturne građevine

PRIPREMILE:
Jasmina Dizdar, Saša Ahac

Složenost strukturalnih i ekonomskih problema koji se javljaju prilikom projektiranja, izvedbe i korištenja velikih infrastrukturnih građevina eksponencijalno raste s porastom njihove duljine, zbog čega velike vodene površine često nije moguće "premostiti" tradicionalnim rješenjima kao što su mostovi i podvodni uronjeni ili bušeni tuneli

Uvod

Prometno povezivanje nasuprotnih obala jezera, rijeka ili morskih zaljeva oduvijek je bio jedan od najvažnijih građevinskih zadataka. Brojne suvremene infrastrukturne građevine kao što su podvodni bušeni tunel Channel koji povezuje obale Francuske i Velike Britanije te uronjeni tunel Marmaray ispod Bosporskog tjesnaca u Turskoj, kao i dugotrajni nerealizirani planovi izgradnje spoja kopna talijanskog poluotoka i Sicilije dokazuju njihovu iznimnu važnost kako za razvoj prometne mreže tako i za budućnost priobalnih područja.

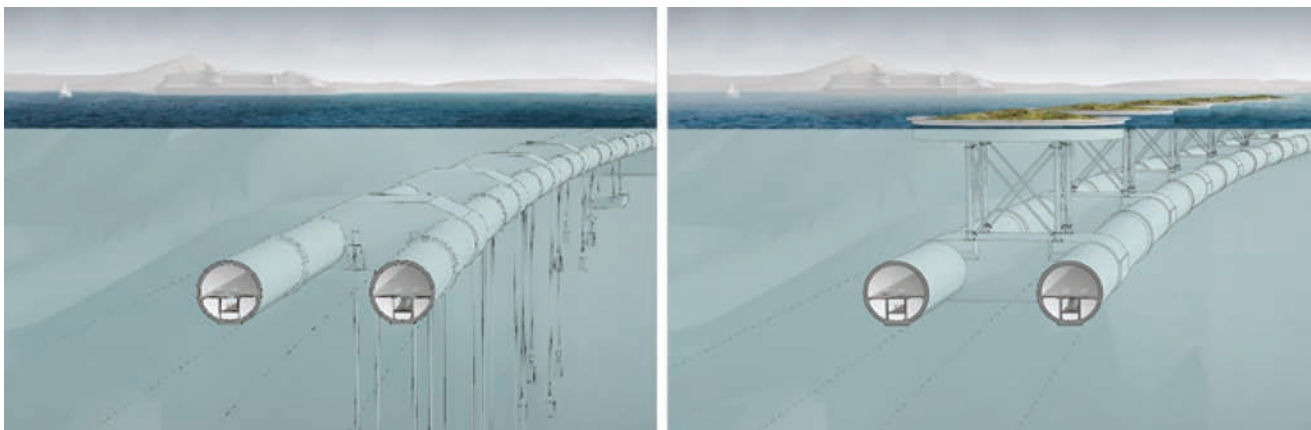
Složenost strukturalnih i ekonomskih problema koji se javljaju prilikom projektiranja, izvedbe i korištenja velikih infrastrukturnih građevina eksponencijalno raste s porastom njihove duljine, zbog čega velike vodene površine često nije

moguće "premostiti" tradicionalnim rješenjima kao što su mostovi i podvodni uronjeni ili bušeni tuneli. Rješenje kojim bi se ublažili navedeni problemi kao i smanjio negativan utjecaj građevine na okoliš mogao bi biti takozvani uronjeni plutajući tunel (engl. *Submerged Floating Tunnel* – SFT) poznat i kao Arhimedov most. Ta je građevina zamišljena kao cjevasta konstrukcija koja pluta na određenoj dubini ispod vodene površine, osiguravajući minimalnu dubinu za siguran prolazak plovila. Njezina vertikalna i horizontalna stabilnost osigurana je sidrenjem kablama, šipkama ili stupovima povezanim s morskim dnom ili pontonima koji plutaju po slobodnoj vodnoj površini (slika 1.) [1]. Iako je ideja o uronjenim plutajućim tunelima u svijetu prisutna već gotovo stotinu godina, činjenica da predstavljaju potpuno inovativno strukturalno rješenje [1] te da do danas nije izgrađena ni jedna takva

građevina stvara dodatno nepovjerenje u njihove moguće prednosti. Zbog toga je prvi korak u daljnjoj razradi ideje izrada prototipa takvog tunela koji bi poslužio za prikupljanje eksperimentalnih podataka neophodnih za potvrdu numeričkih analiza i teorija o njegovim karakteristikama. U ovome radu prikazani su koncept i razvoj ideje o uronjenim plutajućim tunelima u svijetu, njihove specifičnosti, prednosti i mane te je opisan prototip uronjenoga plutajućeg tunela.

Osnovni koncept

Prva ideja o uronjenim plutajućim tunelima pojavila se u drugome desetljeću prošloga stoljeća u Norveškoj [3], no tek su veliki napretci u *offshore* i podmorskim tehnologijama u posljednjih tridesetak godina omogućili rješavanje brojnih problema koji su priječili mogućnost realizacije takvih građevina [1]. Zbog toga je posljednjih godina pokrenut i niz istraživanja te razrađen veći broj projektnih rješenja i studija uporabivosti uronjenih plutajućih tunela [4]. Razvoju ideje o uronjenim plutajućim tunelima doprinijelo je i veliko iskustvo stečeno prilikom izgradnje "klasičnih" uronjenih tunela (od izvedbe prvoga hidrotehničkog uronje-



Slika 1. Mogući načini osiguranja stabilnosti uronjene plutajuće tunelske cijevi [2]

nog tunela 1893. do danas izgrađeno je više od 200 uronjenih tunela [5] jer su ta dva tipa modularnih vodonepropusnih konstrukcija u osnovi vrlo slična [1].

Uronjeni i plutajući tuneli sastoje se od jednog ili više predgotovljenih šupljih tunnelskih elemenata (sekcija) izvedenih na suhim dokovima u blizini mjesta ugradnje. Krajevi svakog elementa zabrtvljeni su kako bi se spriječilo njihovo ispunjavanje vodom prilikom prijevoza na mjesto ugradnje. Nakon što budu izvedene tunnelske sekcije, suhi se dok potopi, a sekcije se dotegele na mjesto ugradnje, gdje im se dodaje trajni balast kako bi se spriječilo njihovo plutanje, tj. poništio utjecaj uzgona. Kod izgradnje uronjenih tunela sekcije se zatim potapaju u pret-hodno izveden jarak na dnu i zatrpavaju, obično u sloju debljine od dva metra [5]. Za razliku od takvih, "klasičnih" uronjenih tunela, kod izvedbe uronjenih plutajućih tunela nije potrebno iskapati jarke na dnu, ni zatrpavati tunnelske cijevi, jer je njezin konačni položaj negdje između površine vode i dna. Prema načinu osiguranja vertikalne i horizontalne stabilnosti tunnelske cijevi, do danas su razmatrana četiri osnovna tipa stabilizacije uronjenih plutajućih tunela [6]:

- tunnelska cijev pričvršćena je za dno čeličnim cijevima ili kabelima (slika 2. – tip 1 a, b), koji mogu biti postavljeni pod kutem ili vertikalno u odnosu na dno te se mogu primijeniti i na dubini od nekoliko stotina metara
- tunnelska cijev povezana je s plutajućim pontonima (slika 2. – tip 2), pri čemu je sustav izložen vjetru, valovi-

ma, strujama i opasnostima od mogućeg udara plovila, ali istodobno ne ovisi o dubini vode

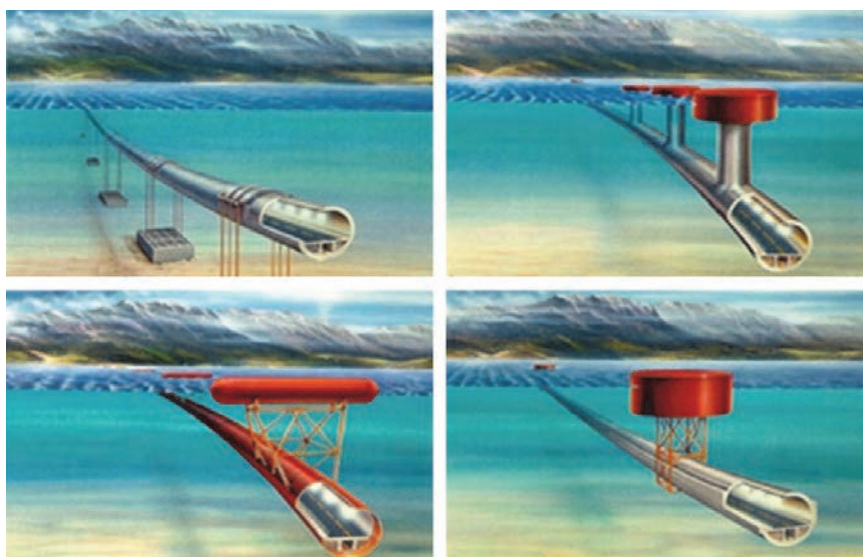
- tunnelska cijev položena je na stupove (slika 2. – tip 3), pri čemu znatno ograničenje predstavlja dubina vode i čvrstog tla u kojemu se stupovi temelje
- tunnelska cijev učvršćena je samo na sekcijama uz obalu, zbog čega primjenjivost takvog sustava ne ovisi o dubini vode, ali ovisi o prometnome opterećenju i duljini plutajućeg dijela tunela.

Razvoj ideje

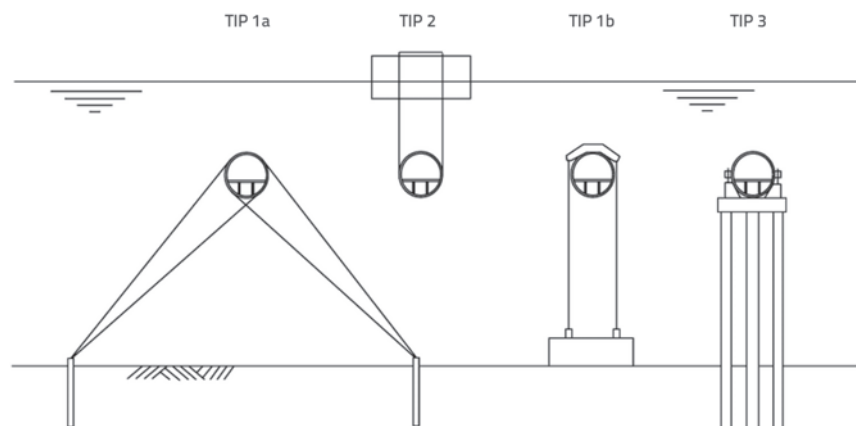
Iako je prvi poznati podvodni tunel sa-građen prije više od četiri tisuće godina (pješački tunel ispod rijeke Eufrat u današnjemu Iraku izgrađen je u razdoblju

od 2180. do 2160. prije nove ere), uronjeni i plutajući tuneli relativna su novost u prometnome povezivanju. Tako je prvi zabilježen prijedlog povezivanja nasuprotnih obala "uronjenim mostom" bio onaj inženjera S. Préaulta, koji ga je zamislio još 1860., ali ga nije i ostvario. Riječ je o elegantnome željezničkom uronjenom vijaduktu preko Bospora, dugačkome približno 150 metara, temeljenome na stupovima te uronjenome u dubinu od 20 metara ispod površine vode [5]. Na toj lokaciji danas se nalaze dva tunela koja povezuju Europu i Aziju: uronjeni željeznički tunel Marmaray, koji je za promet otvoren 2013. [8], te bušeni cestovni tunel Eurasia, koji je za promet otvoren krajem 2016. godine.

Potencijal uronjenih plutajućih tunela prepoznat je u dvadesetim godinama



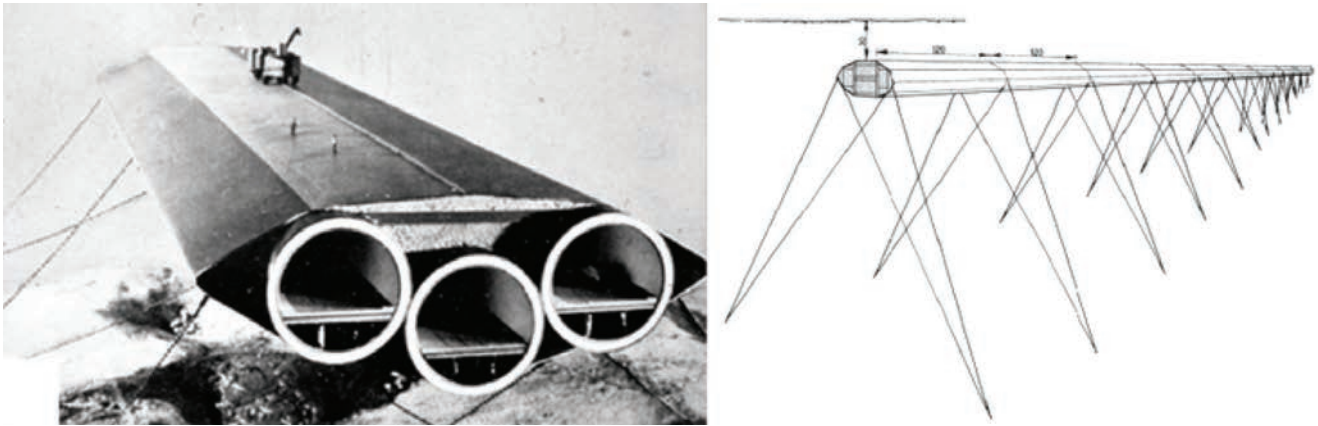
Slika 3. Četiri rješenja uronjenoga plutajućeg tunela za prijelaz preko Høgsfjorda [6]



Slika 2. Tipovi stabilizacije uronjenih plutajućih tunela [7]

prošloga stoljeća, ponajprije u Norveškoj zbog želje za izgradnjom obalne autoceste koja bi prolazila ispod dubokih fjordova, gdje nije opravdana gradnja bušenih podvodnih tunela: takvi su tuneli iznimno dugački i uz vrlo strme nagibe nivelete od 10 posto. Potreba za kraćim i plićim tunnelskim cijevima na mnogobrojnim prolazima ispod norveških fjordova ponukala je detaljna istraživanja i terenska ispitivanja koja se nastavljaju i danas [4, 5].

Jedan od najrazrađenijih prijedloga rješenja prelaska preko fjorda uronjenim plu-



Slika 4. Rješenja uronjenoga plutajućeg tunela za prijelaz preko Mesinskoga tjesnaca: desno je rješenje iz 1969., a lijevo patentirano rješenje Arhimedova mosta iz 1984. [1]

tajućim tunelom jest projekt tunela kroz Høgsfjord [6], koji je širok 2000 metara, a dubok od 150 do 250 metara. Godine 1987. predstavljena su idejna rješenja tunela, pri čemu je osnovna razlika između njih u konceptu sustava stabilizacije (slika 3.). Ipak, planovi za izvedbu uronjenoga plutajućeg tunela na toj lokaciji napušteni su ponajprije zbog političkih razloga [5].

Veliki iskorak u razvoju koncepta uronjenih plutajućih tunela bio je prijedlog za prijelaz preko oko 350 metara dubokog Mesinskog tjesnaca smještenog između Apeninskog poluotoka i Sicilije u cilju uspostavljanja stalne cestovne i željezničke veze između otoka i kopna. Tako je 1969. kao moguće rješenje predložen uronjen plutajući tunel sastavljen od tri kompozitne cijevi povezane čeličnom okvirnom konstrukcijom eliptičnoga poprečnog presjeka (slika 4. a). U središnjoj je cijevi smještena željeznička pruga, dok su vanjske cijevi namijenjene cestovnim vozilima. Rješenje je patentirano 1984. pod nazivom "Arhimedov most" (slika 4. b). Uslijedila je izrada velikog broja detaljnih studija o mogućim načinima stabiliziranja tunelske cijevi, no uronjeni plutajući tunel napušten je kao moguće rješenje, navodno zbog opasnosti od udara brodova. Rješenje koje je u konačnici prihvaćeno 2006. jest izgradnja mosta koji bi sa svojih 3300 metara duljine ujedno bio najdulji most u Europi, no projekt je u cijelosti napušten zbog prevelikog zadržavanja u okoliš i nedostatka financijske potpore [9].



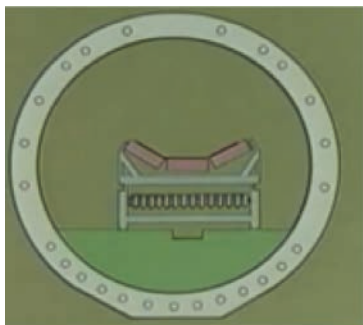
Slika 5. Pogled na Bakarski zaljev s naznačenim položajem uronjenog tunela

Od početka devedesetih godina prošloga stoljeća zanimanje za uronjene plutajuće tunele raste i u drugim dijelovima svijeta: u Japanu su provedena brojna istraživanja i studije izvodljivosti s obzirom na njihovu konstrukciju i izvedbu (na primjer istraživanje mogućeg savladavanja 34 km dugačkog prijelaza preko zaljeva Funka na otoku Hokkaido), razmatrano je savladavanje Gibraltarskih vrata kombinacijom uronjenoga i poluuronjenoga plutajućeg tunela (predloženo rješenje odbacila je marokanska vlada), a razmatran je i prijelaz preko jezera Lugano u sklopu izgradnje cestovne obilaznice [5]. Prvi uronjeni tunel na teritoriju Hrvatske bio je tunel za prijevoz ugljena i kokska za potrebe koksara u gradu Bakru (slika 5.). U vrijeme kada je izgrađena koksara brodovi koji su dostavljali ugljen mogli su biti istovarivani samo na nasuprotnoj obali. Kako ugljen ne bi morali prevoziti kroz Bakar i time narušavati vizuru grada, bilo je potrebno riješiti problem prijevoza preko zaljeva. Jedan od prijedloga

bio je most s transportnom trakom preko zaljeva, no takvo je rješenje odbačeno zbog problematike prolaska brodova ispod mosta. Zbog toga je 1978. odabran projekt uronjenog tunela s transportnom trakom (slika 6.).

Objavljen je međunarodni natječaj u kojemu je jedan od zahtjeva bio da se iznad uronjenog tunela mora osigurati dubina od šest metara na širini od 200 metara za potrebe prolaska plovila. Izvedeni je tunel ukupne duljine 400 m, a sastavljen je od devet predgotovljenih tunelskih modula dugih 40 m, a na krajevima su predviđeni prilazni objekti. Kroz tunel prevozio se ugljen od lokacije istovara prema koksari, a koks se prevozio u suprotnome smjeru. Zbog velikog onečišćenja koksara je napuštena, a zatim i razrušena, pa je i tunel izgubio svoju prvotnu namjenu, a zbog velikih troškova rušenja još uvijek se nalazi na istoj lokaciji [10].

Nažalost, zanimanje za uronjene i plutajuće tunele kao rješenja za prometno povezivanje ponajprije mnogobrojnih otoka



Slika 6. Poprečni presjek, proizvodnja, prijevoz i kontrolirano potapanje modula tunela u Bakarskome zaljevu [10]

u Jadranu s kopnom u međuvremenu nije zaživjelo. Ipak, krajem 2012. Zadarska županija pokrenula je projekt ocjene mogućnosti i izradu projektnog rješenja prometnog povezivanja kopna i otoka zadarskog arhipelaga podmorskim tunelima s težištem na podmorskom povezivanju Zadra (Gaženica) i otoka Ugljana (Pašman) "tunelskim mostom" duljine oko pet kilometara (slika 7.). Procjenjuje se da bi se izgradnjom takvoga "podmorskoga tunelskog mosta" poboljšala prometna povezanost otoka u cestovnome, pomorskome i zračnome prometu, povećao broj stanovnika otoka Ugljana i Pašmana, ali i ukupna kvaliteta življenja na otocima (poboljšanjem i uvođenjem komunalne i

druge infrastrukture s kopna na otoke) [11, 12].



Slika 7. Prikaz portala planiranoga uronjenog plutajućeg tunela Zadar (Gaženica) – otok Ugljan (Pašman) [12]

Prototip uronjenoga plutajućeg tunela

Uz provedena opsežna teorijska istraživanja koncepta uronjenih plutajućih tunela u svijetu [1, 4] pokrenut je i projekt izgradnje prototipa uronjenoga plutajućeg tunela u umjetnome jezeru Qiandao u okrugu Chun'an (provincija Zhejiang, Kina). Projekt je pokrenulo udruženje SIJLAB (*Sino-Italian Joint Laboratory for Archimedes Bridge*), udruženje talijanskih i kineskih istraživačkih institucija i tvrtke *Ponte di Archimede S.p.A.*, osnovano 2004. upravo u tu svrhu [4].

Prototip će poslužiti u planiranju izgradnje 3,3 km dugačkoga uronjenog plutajućeg tunela u arhipelagu Zhoushan, također smještenome u provinciji Zhejiang. Ukupna duljina prototipa iznosi 100 metara, a sastoji se od pet sekcija dugih 20 metara, predgotovljenih u pogonu predviđenome za proizvodnju elemenata te spojenih *in situ*.

Tunelska konstrukcija ima višeslojni poprečni presjek (slika 8.) sastavljen od tri različita materijala:

- unutarnji sloj izrađen je od čelika kojim se dobivaju visoka mehanička svojstva, manja masa, a s unutarnje strane zaštićen je od korozije
- središnji sloj izrađen je od betona C 20/25, koji je iskorišten kao stabilizirajući element zbog svoje mase, a koji ujedno štiti čelični sloj od prodora vode i osigurava balastnu težinu te zajedno s čeličnim slojem čini kompozitnu strukturu koja pruža bolji otpor na savijanje i aksijalno opterećenje

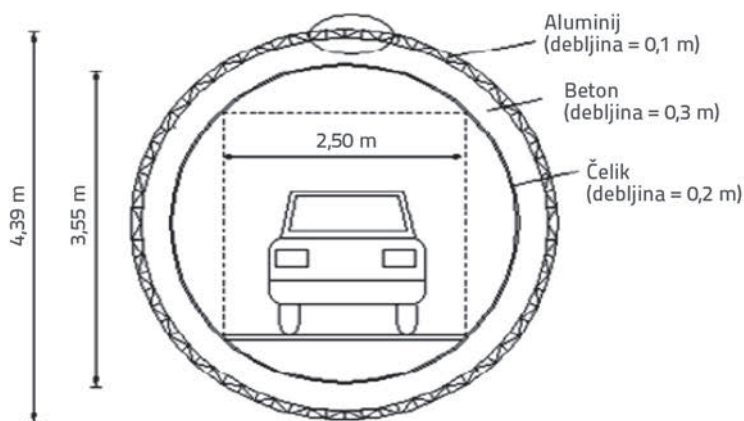
- vanjski sloj izrađen je od aluminija koji ima visoku otpornost na koroziju, dobra mehanička svojstva i obradivost, ali slabu vatrootpornost i malu krutost. Taj aluminijski sloj valovitog je oblika koji ujedno služi za apsorpciju energije udara.

Širina prometnog profila iznosi 2,5 metara, a unutarnji promjer tunelske cijevi je 3,55 metara (slika 8.). Debljine svih slojeva određene su s obzirom na omjer uzgona i vlastite mase konstrukcije, uključujući i promjenjivo opterećenje [1].

Sustav sidrenja tunela sastavljen je od



Slika 10. Utjecaj uronjenog tunela u Bakarskome zaljevu na vizuru grada Bakra



Slika 8. Poprečni presjek prototipa uronjenoga plutajućeg tunela u jezeru Qiandao [1]

čeličnih kabela učvršćenih za jezersko dno i povezan je s tunelom sferičnim zglobovima. Tijekom projektiranja analizirano je pet različitih konfiguracija kabela i njihove reakcije na vertikalna i horizontalna opterećenja (slika 9.), a najučinkovitijim pokazao se sustav sastavljen od četiriju kosih kabela koji tvore konfiguraciju u obliku slova "W".

Prednosti uronjenih plutajućih tunela

Prednosti uronjenih plutajućih tunela opisane u ovome poglavlju pretežno se

odnose na njihov utjecaj na okolno stanovništvo i okoliš u usporedbi s tradicionalnim rješenjima savladavanja vodenih prepreka, ali i na troškove njihove gradnje i održavanja [6].

Uronjeni plutajući tuneli gotovo su nevidljivi za okolno stanovništvo, što je vrlo važno u pogledu sprečavanja vizualne devastacije okoliša, a time i narušavanja vrijednosti priobalnih područja (slika 10.). Naime, današnji način savladavanja vodenih prepreka, bilo u cilju spajanja nasuprotnih obala jezera ili kopna i otoka, odnosi se najčešće na izgradnju mostova i s njima povezanim problemima deva-

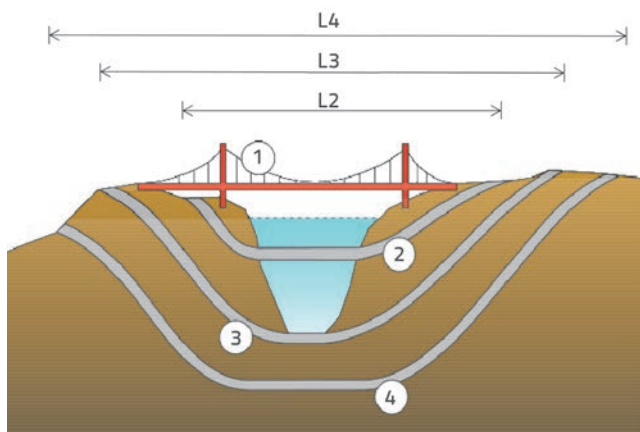
stacije okoliša i negodovanja stanovnika i/ili turista (očiti primjeri su više od tri kilometara dugačak most preko Mesinskog tjesnaca, čija je gradnja spriječena i zbog velikog protivljenja javnosti). Zato bi primjena uronjenih plutajućih tunela mogla biti posebno zanimljiva na područjima koja su zaštićena zbog svoje ljepote ili povijesne važnosti.

Duljina uronjenog plutajućeg tunela jednaka je tlocrtnoj udaljenosti između nasuprotnih obala koje povezuje (slika 11.). Zbog toga bi njihova primjena kod povezivanja nasuprotnih obala uskih, dubokih morskih zaljeva ili rijeka uklonila potrebu za izvedbom iznimno dugačkih (bušenih ili uronjenih) tunelskih cijevi koje prate dno te vodene prepreke.

Zbog različitih sustava stabilizacije uronjeni plutajući tuneli posebno su pogodni za savladavanje iznimno dubokih, ali i širokih vodenih prepreka kod kojih primjena tradicionalnih rješenja poput mostova, uronjenih ili bušenih tunela nije prikladna. U takvim su situacijama uronjeni plutajući tuneli i jedina moguća alternativa trajektima, koji pak ne mogu prometovati po nepovoljnim vremenskim uvjetima, odnosno ne mogu omogućiti stabilnu vezu između nasuprotnih obala. Dodatna prednost uronjenih plu-



Slika 9. Pet razmatranih konfiguracija sustava sidrenih kabela [1]

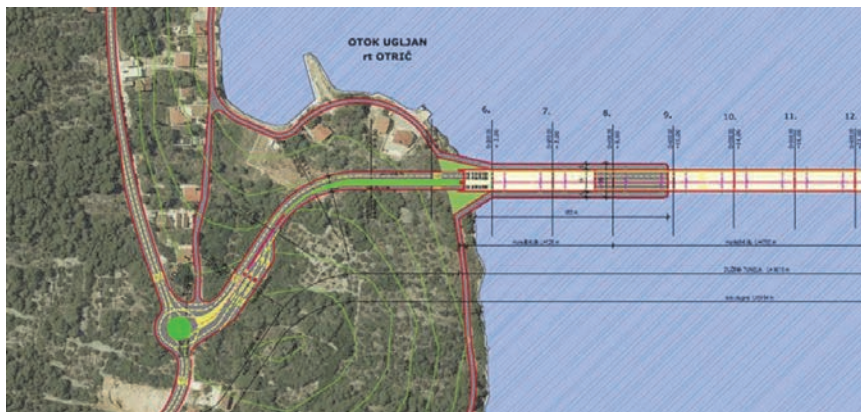


Slika 11. Usporedba tradicionalnih rješenja (1 – mostova, 3 – uronjenih tunela, 4 – bušenih tunela) i uronjenog plutajućeg tunela (2) [1]

tajućih tunela u odnosu na trajekte jest manja potrošnja energije potrebne za prijevoz dobara s jedne obale na drugu. U usporedbi s tradicionalnim tipovima mostova te uronjenim ili bušenim podvodnim tunelima uronjeni plutajući tuneli zahtijevaju manje uzdužne nagibe (slika 11.). Manjim uzdužnim nagibima prometnice koja prolazi kroz tunel postiže se manja ukupna dužina građevine i s time povezano smanjenje troškova izvedbe i održavanja kao i ušteda energije u eksploataciji.

Nadalje, plutajuće cijevi uronjenih plutajućih tunela mogu se položiti na različitim dubinama, što omogućuje veliku fleksibilnost pri projektiranju pristupa tunelu. Prema potrebi, takav tunel moguće je položiti i tako da su mu ulazni i izlazni segmenti odmah na nasuprotnim obalama ili u njihovoj neposrednoj blizini, čime se postiže jednostavno priklju-

čivanje postojećih prometnica na tu novu građevinu (slika 12.). U današnje doba, kada je u većini gusto izgrađenih priobalnih područja izgradnja infrastrukturnih građevina vrlo problematična, posebno povoljnom ističe se karakteristika uronjenih plutajućih tunela koja se odnosi na njihovu modularnu izvedbu. Naime, izvedba sekcija tunelskih cijevi uronjenih plutajućih tunela može se provoditi daleko od mjesta ugradnje, na primjer u postojećim brodogradilištima. Nakon izvedbe tunelske se sekcije brtve kako bi se spriječilo njihovo ispunjavanje vodom prilikom prijevoza na mjesto ugradnje, suhi se dok potapa ili se gotova cijev izvlači na *syncrolift* (slika 13.), a potom se sekcije tegle na mjesto ugradnje, potapanja i ugradnje (slika 14.). Prema potrebi, sekcije se mogu uroniti i povezati i na lokaciji koja je udaljenija od mjesta ugradnje. Takav pristup izvedbi i ugradnji sekcija uronjenih plutajućih tunela eliminira zauzimanje velikih površina u zoni gradilišta i ometanje tijeka prometa u njegovoj okolini te skraćuje vrijeme izgradnje s nekoliko godina na nekoliko mjeseci.



Slika 12. Tlocrtni prikaz portalnog dijela tunela Zadar (Gaženica) – otok Ugljan (Pašman) [12]

čivanje postojećih prometnica na tu novu građevinu (slika 12.).

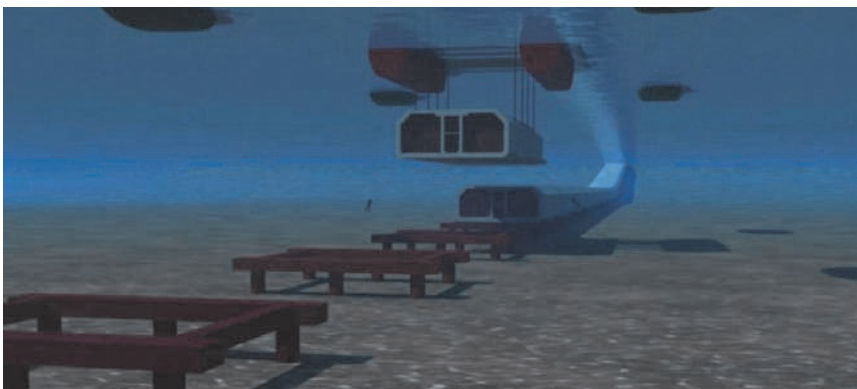
U današnje doba, kada je u većini gusto izgrađenih priobalnih područja izgradnja infrastrukturnih građevina vrlo problematična, posebno povoljnom ističe se karakteristika uronjenih plutajućih tunela koja se

Sve građevine prije ili kasnije treba ukloniti ili zamijeniti, zbog čega je pogodno pripremiti se za takve zahvate već u fazi njihova projektiranja. U bliskoj će budućnosti uklanjanje, recikliranje ili ponovna upotreba materijala ili čitavih segmenata građevina biti neophodno kako iz ekonomskih tako i iz ekoloških razloga. Pritom ponovno dolazi do izražaja karakteristika uronjenih plutajućih tunela koja se odnosi na njihovu modularnu izvedbu, zbog koje je uklanjanje segmenata tih tunela na kraju vijeka vrlo jednostavno. Naime, plutajuću cijev potrebno je samo odtegliti na neku drugu lokaciju na kojoj se može reciklirati ili ponovno upotrijebiti u cjelini ili u dijelovima. Postoji i mnogo mogućnosti za recikliranje ili ponovnu upotrebu sekcija uronjenih plutajućih tunela ili cijele tunelske cijevi, što ovisi o njihovoj veličini i stanju u kojemu se nalaze, a najvjerojatnija je njihova primjena u izvedbi građevina za skladištenje ili kao elemenata umjetnih morskih grebena.

Nedostaci uronjenih plutajućih tunela

Uz navedene prednosti potrebno je navesti i osnovne nedostatke i izazove u razvoju koncepta uronjenih plutajućih tunela koji su znatno utjecali na njihovu potencijalnu primjenu u budućnosti [6].

- Usprkos intenziviranju istraživanja o uronjenim plutajućim tunelima u posljednjih dvadeset godina još uvijek ne postoji dovoljno saznanja o njihovim karakteristikama i ponašanju u realnim uvjetima.
- Činjenica da je tunelska cijev uronjenoga potopljenog tunela u cijelosti okružena vodom može stvoriti nelagodnu kod potencijalnih korisnika i tako ih odvratiti od korištenja tunela.
- Zbog sustava sidrenja uronjeni plutajući tunel može biti vrlo osjetljiv na podvodni promet.
- Tijekom planiranja, izgradnje i eksploatacije uronjenoga plutajućeg tunela veliku pozornost potrebno je posvetiti njegovu utjecaju na okoliš. Naime, zbog buke i vibracija koje se kroz tunelsku cijev šire u vodu moguć je negativan utjecaj na podvodni svijet.

Slika 13. Izvlačenje gotove cijevi na *syncrolift* [12]

Slika 14. Spuštanje cijevi na oslonce [12]

Zaključak

Uronjeni plutajući tunel jest koncept tunela čija cijev zbog uzgona pluta pod vodom, na dubini od 20 do 50 metara, i koja će osigurati siguran prolazak plovilima, izbjegavanje nepovoljnih vremenskih uvjeta te sprečavanje problema koje bi povećan tlak vode mogao predstavljati za prometovanje vozila.

Tehnologija izvedbe uronjenoga plutajućeg tunela svojevrsna je kombinacija tehnologija primjenjivanih kod postojećih građevina: tehnologije izvedbe betonskih elemenata posuđuje od bušenih i uronjenih tunela, tehnologije izvedbe pontona od pontonskih mostova, a tehnologije sidrenja s *offshore* naftnih platformi. Kompatibilnost uronjenih plutajućih tunela s okolišem njegova je najprivlačnija karakteristika, a najveći je nedostatak taj što se još nalazi u fazi konceptualnog rješenja. Uronjeni plutajući tuneli bili bi pogodna konstruktivna rješenja za povezivanje i

vrlo razvedene hrvatske obale gdje nepovezanost otoka s kopnom sprječava infrastrukturni razvoj kakav postižu mnoge otočne zemlje Europe i svijeta. Na ubrzani razvoj otočnih predjela utjecala bi i činjenica da se prilikom proizvodnje tunelskih elemenata istodobno ugrađuju komponente za dovod vode, struje i plina, što je uvjet ne samo za turizam tijekom cijele godine, već i za naseljavanje napuštenih otoka. Također, izgradnja tunela otvorila bi brojna radna mjesta i omogućila revitalizaciju postojećih brodogradilišta kao i otvaranje novih gdje bi se smjestili pogoni za proizvodnju tunelskih elemenata. Neovisnost putovanja tunelom o pojavi bure, koja je najčešći razlog zatvaranja postojećih prometnih infrastrukturnih objekata u primorskim područjima, čini tu jedinstvenu konstrukciju atraktivnim i praktičnim rješenjem za povezivanje hrvatskih otoka s ostatkom Hrvatske i Europe.

LITERATURA

- [1] Martire, G.: The development of submerged floating tunnels as an innovative solution for waterway crossings, doktorska disertacija, Università degli Studi di Napoli Federico II, Facoltà di Ingegneria Napoli, 2003.
- [2] Vizualizacija: Snøhetta (<https://www.flickr.com/photos/96309692@N06/21457771458/in/photostream/>)
- [3] Tveit, P.: Submerged floating tunnels for Norwegian Fjords, Strait Crossings, pp. 515–520, 2009.
- [4] Long, X., Ge, F., Hong, Y.: Feasibility study on buoyancy–weight ratios of a submerged floating tunnel prototype subjected to hydrodynamic loads, *Acta Mech. Sin.*, 31 (2015) 5, pp. 750–761.
- [5] Ingerslev, C.: Immersed and floating tunnels, *Procedia Engineering*, 4 (2010), pp. 51–59
- [6] Østlid, H.: When is SFT competitive?, *Procedia Engineering*, 4 (2010), pp. 3–11
- [7] Lunniss, R., Baber, J.: *Immersed Tunnels*, CRC Press 2013, Print ISBN: 978-0-415-45986-0
- [8] Marmaray project: The clock is ticking, *Railway Gazette International*, pp. 72–74, 2013.
- [9] Environmental Justice Atlas Report (<https://ejatlas.org/conflict/the-bridge-over-the-strait-of-messina>)
- [10] Video: The Tunnel of Bakar - izgradnja podmorskog tunela u Bakru, YouTube, objavljeno 26. svibnja 2013., pristupljeno 4. travnja 2016.
- [11] Vidov, P.: Mrak na kraju tunela, portal Faktograf.hr, 22. ožujka 2016. (<http://faktograf.hr/2016/03/22/1937/>)
- [12] Perić, L.: Nakon najave gradnje Pelješkog mosta, vrijeme je i za tunelski most Zadar - Ugljan!, *Zadarski list – online izdanje* od 24.4.2017. (<http://zadarskilist.hr/clanci/24042017/nakon-najave-gradnje-peljeskog-mosta-vrijeme-je-i-za-tunelski-most-zadar-ugljan>)