

tuneli, podzemne građevine koje služe za provođenje pješačkih, cestovnih i željezničkih prometnica, plovnih putova, vode te komunalnih instalacija kroz prirodne ili umjetne prepreke ili ispod njih. U širem smislu tunelima se smatraju i podzemni prostori za energetska ili druga postrojenja, garaže, trgovačke prostore, skladišta, skloništa, sportske objekte, trajne vojne ili rudarske podzemne prostori i podzemna odlagališta opasnog otpada. Prema namjeni dijele se na prometne (pješački, plovni, željeznički, cestovni, metro), hidrotehničke (dovodni, odvodni i reverzibilni tuneli kod hidroelektrana, tuneli za vodoopskrbu i kanalizaciju, za melioracijske potrebe, obilazni tuneli), komunalne (tuneli za električne i telefonske vodove, plinovode, vrelovode) i specijalne (podzemni hangari, skloništa za ljude, podmornice i brodove, vojni i rudarski objekti); prema prepriku koju savladavaju na brdske, podvodne i gradske; prema načinu izvedbe bušene koji se izvode iskapanjem stijene ili tla, ukopane koji se izvode u otvorenom rovu i naknadno zatrpavaju te uronjene kojih se gotovi segmenti uranjaju na mjestu ugradnje.

Pri izvedbi bušenih tunela nakon iskapanja stijene ili tla obavlja se stabilizacija iskopa i ugradnja tunelske obloge. Klasičnim metodama (u primjeni od kraja XVII. st.) iskop se provodi sekvencijalno, iskapanjem potkopa malih površina, uz naknadno proširenje na puni otvor tunela. Pri tim su se metodama za privremenu stabilizaciju iskopa do ugradnje konačne nosive obloge (zidane ili betonske) primjenjivale drvene grede i čelični lukovi. Suvremene metode pretpostavljaju iskop tunela u punom profilu bez privremene stabilizacije. Takav je način rada brži, ali traži dobro poznavanje uvjeta u podzemlju, složenije strojeve, mehanizirane radne faze i trajno osiguranje iskopa stijenskim sidrima, čeličnim mrežama, lukovima i mlaznim betonom. Suvremena je metoda izvedbe bušenih tunela i potpuno mehaniziran iskop, a obavlja se bušilicama velikoga promjera koje rotacijom bušaće glave s ugrađenim rezačima režu i drobe stijenu te dodatnim sklopovima i uređajima mehanizirano i susljedno obavljaju sve druge tunelske radove (tzv. tunelske krtice, engl. *Tunnel Boring Machine*, TBM). Odabir metode izvedbe bušenih tunela ovisi o geološkom sastavu i svojstvima stijene ili tla, hidrološkim uvjetima, veličini i obliku poprečnog presjeka tunela, duljini i namjeni tunela.

Smatra se kako je najstariji prometni tunel izgrađen u XXI. st. pr. Kr. u današnjem Iraku, ispod rijeke Eufrata kojoj je za potrebe izgradnje tunela preusmjeren tok. Ovaj ukopani pješački tunel lučnog otvora površine oko 17 m² obložen je opekam i dug oko 900 m. Grci i Rimljani često su gradili tunele kako bi isušili močvarna područja ili za akvedukte. Primjer je takvog tunela hidrotehnički tunel Eupalinos (1036 m) izgrađen u VI. st. pr. Kr. na grčkom otoku Samosu. Izveden je u vapne-



TUNELI, ostatci akvedukta za opskrbu vodom Novalje na Pagu
foto: K. Regan

načkoj stijeni, a površina otvora mu je oko 2 m². Tunel se iskapao istodobno s obje strane i smatra se da je prvi tunel iskopan primjenom geometrijskog pristupa. Vjerojatno najveći tunel antike bio je cestovni tunel Crypta Neapolitana (711 m), smješten na cesti između Napulja i Pozzuolija, otvoren 36. pr. Kr. Bio je u redovitoj uporabi do 1885., a u potpunosti je zatvoren za javnost 1929. Nakon pada Rimskog Carstva (476) nastupio je prekid u gradnji tunela za javne potrebe koji je trajao oko 1000 godina. Tijekom tog razdoblja podzemne građevine izvodile su se najčešće za potrebe rudarenja i vojnog inženjerstva.

Većina tunela na → plovnim putovima izgrađena je u XVIII. st. i početkom XIX. st. u Europi i Sjevernoj Americi. Prvi je izgrađen tunel Malpas na Canal du Midi u Francuskoj, 1666–81. Duljine je 157 m i otvora 55 m², a njegova izgradnja uključivala je prvu primjenu veće količine eksploziva u javnim radovima tunelogradnje. Izumom parne lokomotive, prijevoz plovnim kanalima gubi svoj značaj, a željeznica postaje glavno sredstvo prijevoza tereta i putnika. Velik dio pionirske tunelogradnje na željezničkim prugama odvijao se u Velikoj Britaniji i Sjevernoj Americi, no najveća iskustva stečena su na izgradnji željezničkih tunela kroz Alpe. Prvi od važnijih željezničkih alpskih tunela je 13 km dug tunel Fréjus kroz Mont Cenis, koji spaja gradove Modane (Francuska) i Bardonecchiau (Italija), građen 1857–70. Značajni alpski željeznički tuneli su i Gotthard (15 km) u Švicarskoj te Simplon (20 km) između Italije i Švicarske, koji je do izgradnje tunela Daishimizu u Japanu (22 km) 1982. bio najdulji željeznički tunel na svijetu. Su-

TUNELI,
radovi na portalu tunela
Učka s istarske strane,
1970-ih (*lijevo*)

Radovi na probijanju
druge cijevi tunela
Učka, 2023 (*desno*)
foto: R. Ibrišević / CROPIX

Nova cijev tunela Učka
na dan puštanja u
promet, 2024 (*dolje*)
foto: D. Škomrlj / CROPIX



vremenu tunelogradnju karakterizira izgradnja metro-tunela te dugih cestovnih i željezničkih tunela poput Eurotunela (50,5 km, otvoren 1994) koji spaja Coqueles kraj Calaisa (Francuska) i Folkestone (Velika Britanija), cestovnog tunela Lærdal (24,5 km, otvoren 2000) u Norveškoj te željeznickog Gotthardskog baznog tunela (57 km, otvoren 2016) u Švicarskoj.

Do 1970-ih razvoj tunelogradnje uključivao je postupne pomake u planiranju i izgradnji, koji su se odnosili na razvoj opreme za bušenje i procedure za iskop eksplozivima, geodetskih radova i geoloških istraživanja, ventilacije, stijenskih sidara, čeličnih rebra, ploča te mlaznog betona u zaštiti iskopa, nove austrijske tunelske metode (NATM; Ladislaus von Rabcewicz; prva primjena: hidrotehnički tunel Prutz-Imst, 1956), hidrauličkog udarnog bušenja te uređaja za opažanje pomaka i naprezanja u stijenskoj masi. Razdoblje od 1970-ih obilježeno je znat-

nim razvojem mehanizacije s velikim radnim učinkovima (TBM), primjenom kvalitetnih materijala i gotovih elemenata za stabilizaciju iskopa i izvedbu obloge te razvojem metode kontrolirane deformacije (ADECO-RS; Pietro Lunardi, Renzo Bindi; prva primjena: željeznički tunel na pruzi za velike brzine Milano-Rim-Napulj, 1985).

Tuneli u Hrvatskoj

Tuneli su se u Hrvatskoj tijekom povijesti gradili iz različitih razloga, npr. radi dopreme pitke vode, vojne obrane, prometne povezanosti, energetske proizvodnje i dr. Najstariji tuneli u Hrvatskoj prokopani su u antičko doba za potrebe gradnje vodovoda i rimskih akvedukata te rudnika. U srednjem i novome vijeku gradili su se uglavnom u vojne svrhe, kao što su utvrde, skloništa i topničke pozicije. Primjeri takvih tunela nalaze se u tvrđavama Nehaj u Senju, Klis u Klisu iznad Splita te Medvedgrad u



TUNELI, gradnja tunela Mala Kapela, 2003.
foto: S. Vrančić / CROPIX

Zagrebu. U moderno doba tuneli su se gradili uglavnom za potrebe željezničkog i cestovnog prometa, ali i u energetske i turističke svrhe.

Cestovni tuneli

Do danas je u Hrvatskoj više od 750 km trase cesta u tunelu. Početak razdoblja izgradnje suvremenih cestovnih tunela u Hrvatskoj označila je izvedba dvosmjernog tunela Učka (5062 m) te pratećih tunela Zrinščak I (200 m) i Zrinščak II (45 m) na današnjoj autocesti A8. Projekt tunela izrađen je 1972. u → Institutu građevinarstva Hrvatske (IGH; glavni projektant Ivan Banjad). Ugovor o izgradnji tunela sklopljen je 1976. s poduzećima → Hidroelektra iz Zagreba i → Konstruktor iz Splita. Iste je godine započeo iskop bušenjem i miniranjem stijene tunela Učka, proboj tunela dovršen je 1978., otvoren je 1981., a moderniziran 2005. Planiranje izvedbe druge cijevi započelo je 2010 (5630 m), projekt tunela izrađen je u IGH-u (glavni projektant Darko Šarić), a radove na izvedbi tunela provela je 2021–24. hrvatska podružnica francuskog poduzeća Bouygues Travaux Publics.

Većina cestovnih tunela u Hrvatskoj iskapa se u čvrstoj stijeni (kršu) kombinacijom mehaničkoga te iskopa bušenjem i miniranjem stijene. Pritom su se iskapanje i stabilizacija iskopa provodili prema postavkama NATM-a. Kod tunela u tlu niske čvrstoće (rastresiti, rahli i koherentni materijali) primjenjuje se tehnologija izvedbe zaštitnog svoda od čeličnih injektiranih cijevi, tzv. metoda cijevnog štita (engl. *Pipe Roof*). Ta je tehnologija u Hrvatskoj prvi put primijenjena na izvedbi tunela Sveti Marko na autocesti A1. Tunel je probijen 1999., a otvo-

ren 2001., sastoji se od dvije cijevi (243 m i 266 m) na razmaku od 25 m te je malog nadsloja (do 22 m). Projekt tunela izrađen je u IGH-u, a gradilo ga je poduzeće → Strabag. Izazovi izvedbe tunela u kršu uključuju pojavu ponornica i kaverni koje mogu biti ispunjene trošnom stijenom i glinom pa može doći do obrušavanja rastresitog materijala. Jedna od najvećih kaverni pronađenih u hrvatskom kršu (duga 73 m, široka 51 m i visoka 37 m) otkrivena je prigodom probijanja desne cijevi tunela Vrata (262 m) na autocesti A1. Ta je kaverna jedan je od najvećih speleoloških objekata na svijetu kroz koji prolazi tunel, a premoštena je mostom raspona 46 m. Projekt ovog tunela izrađen je 2005. u IGH-u, projekt mosta izrađen je 2007. u → Inženjerskom projektom zavodu (IPZ; glavni projektant Jure Galić), a izvođač radova bilo je poduzeće → Viadukt iz Zagreba. Druga cijev tunela Vrata puštena je u promet 2008.

Danas je najdulji cestovni tunel u Hrvatskoj Mala Kapela (5780 m) na autocesti A1. Projekt tog tunela izrađen je u IGH-u (glavni projektant D. Šarić). Radovi na istodobnom iskopu obje cijevi započeli su 2002. a provodila ih je zagrebačka podružnica talijanskog poduzeća Coopcostruttori. Desna tunnelska cijev puštena je u dvosmjerni promet 2005., a radove na dovršetku lijeve cijevi koji su trajali 2007–09. izvela su poduzeća Viadukt i Strabag. Također na autocesti A1, proboj tunela Sv. Rok duljine 5679 m započeo je 1993., za Domovinskoga rata. Radovi su krenuli s južne strane jer je sjeverna strana Velebita bila pod okupacijom. Sa sjeverne strane proboj miniranjem obavilo je poduzeće Hidroelektra iz Zagreba, a s južne strane Konstruktor-



TUNELI,
radovi u tunelu
Mala Kapela, 2008.
foto: D. Matić / CROPIX

-Inženjering iz Splita. Nadzor nad izvođenjem minerskih radova povjeren je Zavodu za rudarstvo i geotehniku → Rudarsko-geološko-naftnoga fakulteta (sv. 2) iz Zagreba. Jedna je tunelska cijev u cijelosti probijena 1999., a u sredini tunela probijen je paralelni servisni tunel duljine 1500 m. Tunel je otvoren 2003., na početku razdoblja intenzivne izgradnje autocesta u Hrvatskoj. Na osnovi usvojenih znanja i tehničkih kriterija stečenih pri dokopu servisne tunelske cijevi tunela Sv. Rok izvedena su uspješna miniranja na iskopima tunela pri izgradnji autoceste Zagreb–Rijeka na puni profil, riječke obilaznice i tunela spojne ceste Dugopolje–Klis–Solim.

U Hrvatskoj je tunel s najvećim nadslojem (1330 m) tunel Sveti Ilija (4248 m) na državnoj cesti DC532, koji prolazi kroz planinu Biokovo. Prva nastojanja u probijanju tunela kroz masiv Biokova javila su se za austrijske uprave potkraj XIX. st., odbačena su zbog slabog prometa i neisplativosti, a ponovno su oživjela s najavama produljenja autoceste A1 do Dubrovnika. Projekt tunela izrađen je 2007. u IPZ-u (projektanti Mijo Dolanjski i Mato Miloglav), a u izvedbi su sudjelovala poduzeća Konstruktor-Inženjering iz Splita i Hidroelektra niskogradnja iz Za-

TUNELI,
pristupni tunel podzemnoj
strojarnici Hidroelektrane
Zakućac



greba. Tunel ima glavnu i servisnu tunelsku cijev koje su spojene poprečnim vezama za prolaz pješaka i interventnih vozila. Probioj je započeo 2008., a tunel je otvoren 2013.

Najdulji cestovni tuneli u RH

Tunel	Duljina (m)	Cesta
Mala Kapela	5821	A1
Sv. Rok	5679	A1
Učka	5062	A8
Sv. Ilija	4248	D532
Debeli brijeg	2467	D674
Plasina	2300	A1
Tuhobić	2141	A6
Sveta tri kralja	1741	A2
Brinje	1560	A1
Selca–Dubovica	1516	D116
Javorova kosa	1460	A6
Pitve	1400	L67190
Pećine	1342	D404
Konjsko	1261	A1
Grič	1231	A1
Veliki Gložac	1130	A6
Mali Prolog	1029	D425
Šubir	962	A1
Dubrave	868	A1
Vršek	868	A6

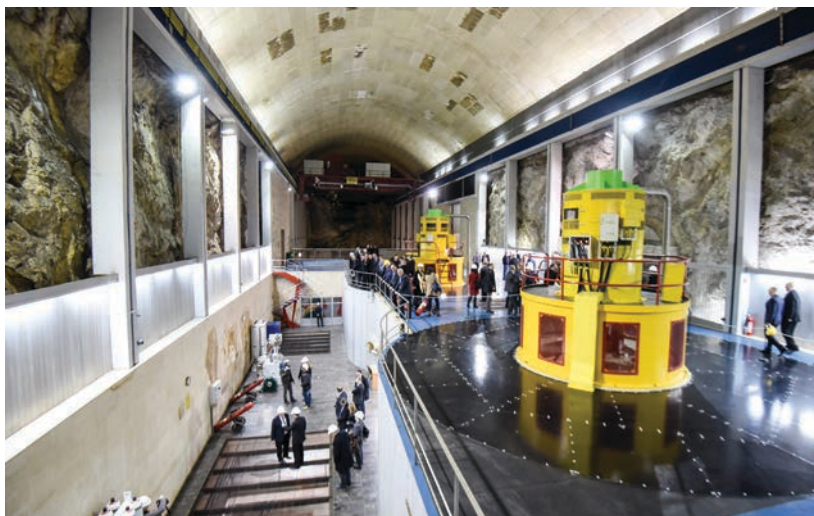
Željeznički tuneli

Prvi suvremeni željeznički tuneli izgrađeni su na dionici pruge Zagreb–Rijeka od Karlovca do Rijeke građenoj 1869–73. Tadašnje je ugarsko Ministarstvo za javne radove i komunikacije gradnju te planinske pruge povjerilo 1867. konzorciju Generalno građevno poduzetništvo željezničke pruge Karlovac–Rijeka, sa sjedištem u Beču, koji su činile Francusko-austrijska i Francusko-mađarska banka te građevinsko poduzeće braće Guida i Oscara Pongratza. U Budimpešti je za taj pothvat osnovana Željeznička građevna direkcija, za pročelnika koje je imenovan švicarski inženjer Achilles Thommen (1832–1893), prijašnji upravitelj gradnje pruge preko prijevoja Brenner u Tirolu. Budući da se iskop u stijenama obavljao miniranjem, pri čemu su se bušotine za umetanje eksploziva (u početku crnog baruta, a tek potkraj gradnje i dinamita) bušile ručno, najveći izazov na pruzi bila je izgradnja najduljega tunela Kupjak (1222,8 m) kraj Ravne Gore. Iskop s obje strane započeo je 1869., a tunel je probijen 1872. U središnjem dijelu tunela probijeno je vertikalno okno dubine 110 m koje je služilo za vađenje materijala, crpenje vode i prijenos alata.

Tunel Brajdica (1838 m) kraj Rijeke treći je po duljini, poseban jer je zbog skućenog terena i velike visinske razlike između portala (Sušaka i riječke luke) izgrađen u obliku spirale s kutom od 315° i velikim nagibom za željeznicu od 25 mm/m. Radovi na izgradnji tunela započeli su 1898., a otvoren je za promet 1900. U ono doba bio je najdulji tunel toga tipa u Europi. Zavojnim oblikom ostvarena je visinska razlika od čak 44 m na portalima zrakom udaljenima 350 m. Zaslugom glavnog inženjera → Nikole Turkalja, poprečno, uzdužno i visinsko odstupanje izvedene osi od projektirane iznosilo je svega nekoliko centimetara. U sklopu cjelovite rekonstrukcije riječke luke planiran je novi izvlačni kolosijek duljine 500 m kojega je trasa postavljena paralelno sa starom. Zbog toga je tunel Brajdica 2020. u donjem dijelu reprofilirani u dvokolosiječni, što je izvedeno ispod gusto izgrađenoga gradskog područja na duljini od 423 m, s promjenjivom svjetlom visinom tunela (zbog razlike u uzdužnim nagibima starog i novog kolosijeka) i visinama nadsloja od 4 m do 46 m. Iskop i podgrada izvedeni su prema postavkama NATM-a s primjenom cijevnog kišobrana (projektant tunela: → Rijekaprojekt; izvođač radova: Kolektor-koling; nadzor: Investinženjering).

Na dionici pruge Oštarije–Knin–Split od Ogulina do Gospića, između Vrhovina i Ličkog Lešća probijen je 1914. tunel Sinac (2273 m), najdulji željeznički tunel u Hrvatskoj, kroz stijensku vapnenačku masu u nagibu od 10 mm/m, s najvišom visinom nadsloja iznad tjemena svoda od 255 m. Godine 2006. obnovljena je odvodnja i obavljena potpuna zamjena gornjeg ustroja pruge u tunelu, a radi osiguranja trajne stabilnosti tunnelske obloge, tunnelski obzid izveden je u betonu. Na toj se pruži nalazi i drugi najdulji tunel Split (1892,6 m) otvoren 1984., jedini dvokolosiječni tunel u prometu danas. Na južnome dijelu izveden je natkrivanjem usjeka, a na sjevernome ukopavanjem pruge (glavni projektant: Igor Krstulović; izvođač radova: → Pomgrad). Proizvedeni armiranobetonski elementi slagani su u tunel, što je ujedno bio početak uporabe prednapetih betonskih nosača u našim krajevima. Danas se pod upravljanjem željezničke infrastrukture, HŽ Infrastruktura d. o. o., nalazi 109 tunela ukupne duljine 29,65 km što čini oko 1% ukupne duljine pruga.

Najdulji željeznički tuneli u RH		
Tunel	Duljina (m)	Pruga
Sinac	2273	M604
Split	1893	M604
Brajdica	1838	M603
Debeljak	1326	M606
Kupjak	1222	M202
Dujmovac	888	M604



Vranje 2	728	L213
Kobiljak	577	M202
Sleme	457	M202
Kalvarija	451	M202

TUNELI,
pogon Hidroelektrane
Dubrovnik, 2016.
foto: T. Plazibat / CROPIX

Hidrotehnički tuneli

Iz antičkoga doba u Hrvatskoj su poznati vodoopskrbni tunel u Novalji dug 1200 m i tuneli za dovod vode u Dioklecijanovu palaču u Splitu. Prvi hidrotehnički tunel u sklopu hidroenergetskog postrojenja u Hrvatskoj izgrađen je 1906. za potrebe hidroelektrane (HE) Miljacka na rijeci Krki. Tunel je dug 1620 m, svijetlog otvora oko 10 m² i uzdužnog pada 1‰, te maksimalnog protoka 24 m³/s. Neobložen je, koritastog profila s polukružnim svodom i visine 3 m. U doba poslijeratne izgradnje hrvatskih hidroelektrana izgrađeno je više hidrotehničkih tunela znatne duljine, čak i veće od 10 km (npr. tuneli HE Senj i HE Orlovac). Danas je u Hrvatskoj izgrađeno više od 100 km hidrotehničkih tunela, većinom u sklopu hidroenergetskih postrojenja (→ hidroenergetski sustavi).

Osnovna koncepcija tehničkog rješenja hidroenergetskog sustava Vinodol temelji se na zahvaćanju voda rijeke Lokvarke u akumulacijskom jezeru Lokvarka i zahvaćanju voda rijeke Ličanke u akumulacijskom jezeru Bajer, izgradnji spojnog tunela između ta dva jezera i derivacijskog dovoda od jezera Bajer do strojarnice HE Vinodol u Vinodolskoj dolini. Jezero Lokvarka i jezero Bajer međusobno su spojeni tunelom duljine 3456,5 m i čeličnim tlačnim cjevovodom. Na lijevom boku jezera Bajer smještena je ulazna građevina, kao početak tlačnog dovoda za strojarnicu HE Vinodol puštenu u pogon 1952. Tlačni dovod je ukupne duljine oko 10,5 km, a sastoji se od ukopanog armiranobetonskog cjevovoda, tlačnog tunela s vodnom i zasunskom komorom i čeličnoga tlačnog cjevovoda.



TUNELI,
sustav tunela tzv. Zerostrasse,
izgrađen tijekom I. svj. rata,
Pula
foto: G. Šebelić / CROPIX

Osnovna koncepcija rješenja hidroenergetskog iskorištavanja u slijevu rijeke Kupe sastoji se od pregrađivanja rijeke Zagorske Mrežnice, prevođenja njezinih voda tlačnim tunelom do zahvata Dobre te dovođenja voda obiju rijeka tlačnim tunelom i tlačnim cjevovodom do strojarnice HE Gojak puštene u pogon 1959. Ukupna je duljina tunela 9386 m, promjer 4,5 m, a projektirani protok 50 m³/s.

Hidroenergetski sustav Senj koristi se hidroenergetskim potencijalom rijeka Like i Gacke. U tom sustavu akumulacija Kruščica omogućava izravnane vode Like koje se zatim, zajedno s vodama Gacke, sustavom kanala i tunela dovode na HE Senj koja je izgrađena 1965. Gravitacijski tunel Lika-Gacka vode rijeke Like prebacuje u slijev Gacke i spaja s vodom Gacke u čvoru Šumečica. Tunel je dug 10,5 km, protočnog kapaciteta 49 m³/s. U istom sustavu izgrađen je i gravitacijski tunel potkovastog presjeka Gornja Švica–Marasi duljine 9216 m, protočnog kapaciteta 60 m³/s. Konačno, do strojarnice HE Senj, puštene u pogon 1965., vodi tlačni tunel Gusić polje–Hrmatine dug 13 574 m na koji se nastavlja tlačni cjevovod HE Senj.

HE Rijeka, puštena u pogon 1968., koristi se bruto padom od 228 m, uz instalirani protok od 21 m³/s. Od akumulacije Valići tlačnim tunelom, promjera 3,20 m, duljine 3290 m, dovodi se voda do vodne i zasunske komore gdje počinje kosi čelični tlačni cjevovod koji završava u podzemnoj strojarnici koja je spojena odvodnim tunelom s koritom rijeke Rječine.

Hidrotehnički tuneli imaju važnu ulogu i u hidroenergetskom sustavu rijeke Cetine. Zahvat vode za HE Orlovac, puštenu u pogon 1974., nalazi se u bazenu Lipa odakle se voda kroz dovodni tlačni tunel dug 12,1 km i čelični tlačni cjevovod dug 1577 m dovodi na turbine hidroelektrane Orlovac. U istom sustavu iz akumulacije Prančevići voda se dovodi na turbine HE Zakučac dvama dovodnim tlačnim tunelima duljine 9876 m (desni) i 9894 m (lijevi) te dvama tlačnim cjevovodima duljine 289 m svaki.

Reverzibilna hidroelektrana (RHE) Velebit, puštena u pogon 1984., iskorištava vode područja Gračačke visoravni. U tom hidroenergetskom sustavu hidrotehničkim tunelom duljine 2825 m i promjera 3 m provodi se voda vodotoka Otuča u akumulacijsko jezero Štikada iz kojeg se tlačnim tunelom promjera 4,5 m i dužine 8200 m provodi do tlačnog cjevovoda RHE Velebit. Uz plato strojarnice smješteno je akumulacijsko jezero Razovac za crpni rad elektrane spojeno strojarnicom s dva ulazno-izlazna tunela.

Hidrotehnički tunel Čiovo duljine 2824 m najvažniji je objekt kanalizacijskog sustava EKO-Kaštelanski zaljev dovršen 2006. Hidrotehnički tunel Stupe izgrađen 2002. duljine 2512 m u kanalizacijskom sustavu Split/Solin projektiran je i izveden sa svrhom omogućavanja gravitacijskog transporta otpadnih voda sjevernog slijeva Splita i Solina do uređaja za mehaničko pročišćivanje otpadnih voda Stupe. Hidrotehnički tunel Srđ, kao dio vodoopskrbnog sustava Dubrovnik, izgrađen je 1961., duljine je 2994 m, širine 1,75–2,25 m, visine u osi 1,7–2,2 m. Odvodni tunel Konavosko polje dug oko 1,97 km prokopani je 1958. s ciljem odvodnje vode prema moru tijekom kišnog razdoblja. Tunel Pitve na otoku Hvaru (1400 m) izgrađen je za potrebe vodoopskrbe 1966. Za tu se namjenu nije rabio, već je zbog prometne izoliranosti južnoga dijela otoka, iako neprikladne širine, prenamijenjen u cestovni tunel. (→ vodoopskrba; → odvodnja)

Primjeri tunela drugih namjena u Hrvatskoj

Vojna zrakoplovna baza Željava – Bihać, smještena na granici RH i BiH, najveća je podzemna zračna luka i nekadašnja baza JNA. Projektirana je i građena 1948–68., a u punoj funkciji bila je do 1992. kada je uništena pri povlačenju JNA. Podzemni dio zračne luke Željava (tuneli objekta Klek) nalazi se u RH, a sadržava četiri međusobno povezane galerije za smještaj 58 zrakoplova *MiG 21*, radionice za njihov popravak te niz pomoćnih prostorija (skladišta raketa i bombi, spremnici s gorivom, elektro-generatorska postrojenja, klimatizacijske komore, kuhinja, učionice, liječničke prostorije). Galerije su bile duge 350–500 m, visoke 8–12 m i široke oko 20 m. Ostale prostorije raznih namjena i hodnici bili su širine 3–12 m. Ukupna duljina podzemnih objekata iznosila je oko 3,5 km. Stotinjak metara dug plovni tunel u kanalu Sv. Ante kraj Šibenika, tzv. Hitlerove oči, prokopala je nacistička njemačka vojska za smještaj torpednih čamaca. Gradnju i preuređivanje nastavila je poslijeratna Jugoslavija. Nakon što su u uporabu ušli novi tipovi torpednih čamaca tunel se prestao koristiti.

Grad Pula počiva na mreži tunela i galerija koja se prostire na nekoliko desetaka kilometara. Tunele je počela graditi Austro-Ugarska Monarhija u I. svj. ratu, jer je Pula bila njezina najveća vojna luka, a velik dio prokopan je za II. svj. rata. Mreža tunela sastoji se od skloništa za stanovništvo u slučaju zračnih

napada, rovova, galerija i prolaza, spremišta za streljivo i komunikacijskih hodnika. Najveći tuneli nalaze se u samom središtu grada, pod brežuljcima Kaštel, Monte Zaro i Monte Ghiro. Samo su podzemni prostori ispod Kaštela mogli zaprimiti oko 6000 ljudi, dok je kapacitet svih pulskih skloništa više od 50 000 ljudi. Danas je sustav tunela i galerija pod Kaštelom otvoren za javnost te povezan dizalom s Povijesnim i pomorskim muzejom Istre na Kaštelu, smještenim u mletačkoj tvrđavi iz XVII. st. Podmorski tunel u Bakru izgrađen je 1978. za potrebe prijevoza ugljena Koksare Bakar. Ukupne je duljine 400 m, sastavljen od devet predgotovljenih tunelskih modula dugih 40 m te prilaznih objekata na krajevima. Tunelom se prevozio ugljen od lokacije istovara prema koksari, a koks u suprotnome smjeru. Zbog velikog onečišćenja koksara je napuštena, a zatim i razrušena, pa je i tunel izgubio svoju prvotnu namjenu.

Tunel Grič u Zagrebu smješten je ispod Griča (srednjovjekovni Gradec) koji povezuje Mesničku i Radićevu ulicu, a okomito izlazi na tri mjesta u Ilici i jednome u Tomičevoj ulici prema jugu. Dug je 350 m, širok od 3,2 m do 5,5 m. Projektiran je 1943. za NDH, kada su počela saveznička bombardiranja, a dovršen 1945. Otvoren je za javnost 2016., iako je i prije bio otvoren kao sklonište za građane i mjesto kulturnih događanja tijekom Domovinskoga rata. Osim tunela Grič, postoji i tunel koji povezuje Tkalčićevu ulicu i Tuškanac kraj Dubravkina puta, a početkom Domovinskoga rata u njemu se nalazio Glavni stožer OS RH.

Visoko školstvo i publicistika

Visokoškolska nastava i znanstvena aktivnost iz područja tunelogradnje u Hrvatskoj odvija se u Zagrebu (→ Građevinski fakultet u Zagrebu; Rudarsko geološko naftni fakultet; → Tehničko veleučilište u Zagrebu; sv. 4), Splitu (→ Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije), Rijeci (→ Građevinski fakultet u Rijeci), Osijeku (→ Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek), a započela je institucionalizacijom nastave iz područja tehnike u Hrvatskoj osnivanjem Tehničke visoke škole u Zagrebu (→ Tehnički fakultet u Zagrebu; sv. 4). Akademске godine 1921/22. profesor → Jerko Alačević provodio je nastavu iz kolegija Gradnja tunela kojim su bila uključena područja projektiranja i građenja te zemljani radovi. Zavod za zemljane radove i tunele osnovan je 1937/38. (osnivač → Ivo Poletti-Kopešić), a do završetka II. svj. rata u okviru Građevnog odjela Tehničkoga fakulteta u Zagrebu djelovala je i Katedra za željeznice i tunele te se provodila nastava iz kolegija Osnivanje i gradnja tunela (I. Poletti-Kopešić). Od 1956. nastavu iz kolegija Tuneli i Zemljani radovi i tuneli provodili su Juraj Šiprak, Ljudevit Tomičić, Nikola Horvat, Josip Radolović, Ivan Rečaj, Ivan Banjad i dr. Od akademske godine 1996/97. do danas se pri Građevinskom fakultetu u Zagrebu odvija nastava iz kolegija Prometni tune-



li (Andrija Prager, Damir Pološki, Saša Ahac) pri Zavodu za prometnice.

Uz mnoštvo objavljenih znanstvenih i stručnih radova vezanih uz problematiku tunela, ističu se skripta *Tuneli* (I. Banjad, 1982) i *Podzemne građevine i tuneli* (I. Vrkljan, 2003), te knjige *Tuneli* (I. Banjad, 1982., 1989), *Tuneli: iskop i primarna podgrada* (M. Hudec, 2009), *Tuneli: odabrani primjeri iz Hrvatske* (Zagreb, 2013) i dr., kao i opsežan članak tunel (I. Banjad, D. Desselbrunner, M. Hudec, et al.) objavljen 1997. u 13. svesku *Tehničke enciklopedije LZ-a*.

LIT.: S. Dakić: *Tunel kroz Učku*. Čovjek i prostor, 19(1972) 226, str. 27. — I. Banjad: "Učka" – cestovni tunel. *Građevinar*, 33(1981) 10, str. 423–430. — I. Banjad: *Tuneli*. Zagrebu, 1982. — D. Desselbrunner: *Gradnja Riječke željeznice na relaciji Karlovac – Rijeka (1869.–1873.)*. U: 110 godina riječke željeznice. Rijeka, 1983. — B. Balen: *Tunel Tuhobić*. *Građevinar*, 50(1998) 11, str. 677–682. — J. Mikulić, A. Stipetić: *Željezničke pružne građevine: projektiranje, izgradnja i održavanje*. Zagreb, 1999. — *Hidroelektrane u Hrvatskoj*. Zagreb, 2000. — B.

TUNELI,
obnovljeni tunel Grič podno
Gradeca iz 1945., Zagreb
foto: D. Tadić / CROPIX

TUNELI,
tunel trafostanice Srd,
2016., Dubrovnik
foto: T. Plazibat / CROPIX



Stojković, B. Stanić, M. S. Kovačević: *Metodologija geotehničkog projektiranja tunela Sveti Marko*. Građevinar, 53(2001) 8, str. 507–516. — I. Vulić: *Tunel sv. Rok: opći podatci*. Ceste i mostovi, 48(2002) 1/2, str. 4–9. — B. Nadilo: *Tunel Mala Kapela – najduži tunel u Hrvatskoj*. Građevinar, 56(2004) 1, str. 25–32. — B. Nadilo: *Gradnja drugih cijevi tunela Sv. Rok i Mala Kapela*. Građevinar, 61(2009) 2, str. 177–187. — B. Nadilo: *Tunel Sv. Ilija kroz Biokovo*. Građevinar, 61(2009) 8, str. 745–756. — B. Nadilo: *Druga faza Istarskog ipsilona*. Građevinar, 62(2010) 5, str. 423–434. — G. Tomašević: *Modernizacija tunela Učka*. Građevinar, 62 (2010) 9, str. 813–822. — *Tuneli: odabrani primjeri iz Hrvatske*. Zagreb, 2013. — J. Galić: *Premoštenje špilje u tunelu "Vrata"*. Politehnika i dizajn, 2(2014) 2, str. 230–235.

M. Ahac, S. Ahac, E. Ocvirk

Turato, Darko (Omišalj, 18. VI. 1935), arhitekt, zapažen po mnogobrojnim realizacijama turističke i stambene arhitekture.

Diplomirao je 1962. na Arhitektonskom odsjeku Arhitektonsko-građevinsko-geodetskoga fakulteta (→ Arhitektonski fakultet) u Zagrebu. Cijeli je radni vijek proveo radeći u → Građevno projektном zavodu u Rijeci. U svojim je mnogobrojnim radovima ostvario spoj suvremene arhitekture i graditeljstva mediteranskoga podneblja, skladno ih uklapajući u krajobraz. Među njegovim se realizacijama ističu turističko naselje Ad Turres u Crikvenici (1970), hotel Selce u Selcu (1985), stambeni nizovi i naselja u Bakru (1977), Sv. Lucija u Kostreni (1977) i u Omišlju (1979), niz trgovačkih zgrada na crikveničkom području (Crikvenica, Jadranovo, Dramalj, Kloštar; 1970), rekreacijski centar Jugolinije u Kostreni (1980) te

stambeno-poslovni centar i autobusni kolodvor u Novom Vinodolskom (1994). Kao suradnik javlja se u realizacijama Ribarskog sela turističkog kompleksa Haludovo u Malinskoj (1970., s → B. Mašašem) te hotela Eva na Suhoj Puntici na Rabu (1971., sa → Z. Bregovcem).

LIT.: D. Turato: *Turističko naselje Ad Turres u Crikvenici*. Čovjek i prostor, 18(1971) 223, str. 8–9. — T. de Canziani Jakšić: *Darko Turato. Skica za monografiju*. Omišalj, 2018.

Turato, Idis (Rijeka, 10. I. 1965), arhitekt, predstavnik suvremenog arhitektonskog izraza, autor niza projekata uglavnom na riječkome području.

Diplomirao je 1991. na → Arhitektonskome fakultetu u Zagrebu, gdje je i doktorirao 2012. disertacijom *Arhitektura »gotovih elemenata« – projektiranje metodom slaganja i prilagođavanja ranije pripremljenih sklopova i fragmenata* (mentori → M. Hrčić i → D. Tušek). Od 1992. vodio je sa → Sašom Randićem arhitektonski biro Randić-Turato u Rijeci, a od 2009. djeluje samostalno. Od 2011. zaposlen je na Arhitektonskome fakultetu u Zagrebu, od 2021. u zvanju redovitoga profesora. U okviru Katedre za arhitektonsko projektiranje predaje kolegije Prakticiranje arhitekture, Radionica arhitektonskog projektiranja III i dr. Gostujući je profesor na arhitektonskim fakultetima u Beogradu, Splitu i Ljubljani. Godine 2020. s Martinom Mataijom i Dorom Sipinom osnovao je projektantski biro mataija x sipina x turato.

Za djelovanja s Randićem izradio je niz projekata, od javnih objekata do infrastrukturnih, te niz prostornih planova, posebice u Rijeci. Među ostvarenjima iz toga razdoblja ističu se: Rektorat Sveučilišta u Rijeci (1996), stambeno-poslovne zgrade u Supilovoj ulici 6–8 (1997), pješački most Vrata Jadrana (1999), Ekonomski fakultet (2000), više-stambene zgrade u Marčeljevoj dragi (2001), nadogradnja Tehničkoga fakulteta (2002), poslovna zgrada na Korzu 11 (2005), Centar Zagrad (2007), Dvorana Ivana Pavla II. u sklopu svetišta Majke Božje Trsatske (2008) – sve u Rijeci, Osnovna škola Fran Krsto Frankopan (2005) i Dječji vrtić Katarina Frankopan (2009) u Krku, Muzej Lapidarium u Novigradu (2006) i Muzej Apoksiomena u Malom Lošinj (2009–15). Iz kasnije faze djelovanja značajni su izvedeni projekti: sportska dvorana i trg u Krku (2013), obiteljske kuće Gumno u Risici (2014), Drvena kuća u Klimnu (2016), Bedrock u Brzecu (2018) – sve na Krku, obiteljska kuća Nest and Cave u Voloskom (2014), hotel Navis u Opatiji (2016), Plivalište Vukovar (2017) i hotel i vinarija Roxanich u Motovunu (2019).

Na Venecijanskom bijenalu predstavljao je Hrvatsku 2006. i 2010., a 2021. bio je kustos Hrvatskoga paviljona. Stručne članke i kritike objavljuje u periodici *Oris*, *Čovjek i prostor*, *Prostor*, *Novi list*, *Jutarnji list*, *Vjesnik* i dr. Dobitnik je mnogobrojnih na-

TURATO, Darko,
stambeno naselje iz 1979.,
Omišalj

