

PROJEKT TUNELA ROHTANG U INDIJI

PRIPREMILI:

Anđela Bogdan, Marko Mrazovac,  
Josip Sertić

# Hrvatski stručnjaci na krovu svijeta: iskustvo rada na Himalaji

Kako bi se spriječile nesreće na opasnim planinskim cestama, indijske su vlasti donijele odluku o gradnji tunela kroz Himalaju koji će povezati sela odsječena od ostatka svijeta zbog ekstremnih uvjeta u zimskim mjesecima

## Uvodne napomene

Ni jedna prometnica na svijetu nije bezopasna. Idealni vremenski uvjeti, stroga ograničenja brzine i pregledna cesta vozačima mogu pomoći tek djelomično. Međutim, neke ceste diljem svijeta zasigurno ne spadaju među svijetle točke prometne infrastrukture. Štoviše, neke od njih nose neslavan epitet najopasnijih cesta na svijetu, a na toj ljestvici prednjače ceste u Indiji, i to one koje prolaze kroz Himalaju. Kako bi se spriječile nesreće, indijske su vlasti donijele odluku o gradnji tunela kroz Himalaju koji će povezati sela odsječena od ostatka svijeta zbog ekstremnih uvjeta u zimskim mjesecima, kada te ceste nisu prohodne zbog velikih snježnih nanosa, odrona zemlje i jakih udara vjetrova.

Svoja iskustva života i rada na Himalaji s nama je podijelio Marko Mrazovac, jedini



Pogled na cestu preko prijevoja Rohtang

Hrvat koji s međunarodnim projektним timom sudjeluje u ostvarenju projekta koji pripada u kategoriju ekstremnog in-

ženjerstva. Zašto? Pa ekstreman je svaki pothvat za koji zdrav razum govori da ga je fizički gotovo nemoguće izvesti, ali stručnjaci i inženjeri to ipak nekako pretvore u stvarnost. Jer kako drugačije opisati uspješno probijanje tunela Rohtang

kroz Himalaju, na kojemu je radnicima, uz sve ostale nedaće, najveći problem bio – manjak kisika u zraku?



Marko Mrazovac na gradilištu južnog portala tunela Rohtang

Međunarodni projektни tim sudjeluje u ostvarenju projekta koji pripada u kategoriju ekstremnog inženjerstva – probijanje tunela Rohtang kroz Himalaju, na kojemu je radnicima najveći problem bio manjak kisika u zraku

Marko Mrazovac, MBA, ekonomski je stručnjak s dvanaest godina međunarodnog iskustva u operativnome i financijskome menadžmentu u sektoru

građevinarstva. Profesionalnu je karijeru započeo 2006. u zagrebačkoj tvrtki Viadukt d.d. u Odjelu za financije, gdje je stekao stručna znanja proaktivnog povezivanja s operativnim menadžmentom, radeći na procesima financijskog poslovanja, kontrole troškova, logistike, nabave i strateškog planiranja građevinskih projekata. Mlad, ali vrlo ambiciozan, već nakon nekoliko godina unaprijeđen je na poziciju osobe odgovorne za financijsko-komercijalno poslovanje tvrtke Viadukt u Libiji. Na projektu izgradnje autoceste u zapadnoj Libiji, vrijednome 128 milijuna eura, radio je od 2008. do 2011. te je stekao međunarodno iskustvo u organizaciji, nadgledanju i razvoju aktivnosti tvrtke u područjima financija, računovodstva, poslovnog analiziranja i planiranja, pregovarajući s bankama, dobavljačima i investitorima iz cijelog svijeta. U proljeće 2016. prelazi raditi u austrijsko građevinsko poduzeće Strabag AG, u kojem i danas radi na provedbi projekta izgradnje tunela Rohtang u Indiji. Mrazovac je glavni i odgovorni voditelj tzv. komercijalnog dijela poslovanja koje obuhvaća financije, računovodstvo, nabavu, skladište te upravljanje ljudskim potencijalima, a rukovodi multinacionalnim timom kojeg čini 191 zaposlenik raznih profesija. U radu su prikazana neka



Položaj tunela Rohtang na zemljovidu

iskustva i rizici s kojima su se Mrazovac i projektni tim suočili tijekom provedbe tog megaprojekta.

### Indijski prilaz krovu svijeta

Himalajska je cesta duga približno 475 km, a nalazi se na najsjevnijem kraju indijskoga potkontinenta. Ona povezuje gradove Manali i Leh u središtu pokrajine Ladakh. Cesta prelazi preko pet najviših prohodnih prijevoja na svijetu, a među

njima su Rohtang La na 3978 m, Lungalacha La na 5059 m i Taglang La na 5328 m nadmorske visine. Prelazak tih prijevoja pravi je izazov i za najspretnije vozače. Planinski su vrhovi pod snježnim pokrivačem čak i usred ljeta, a bogata raznolikost raslinja i krševit krajolik pretvaraju svako putovanje u fascinantnu pustolovinu, koja, nažalost, ponekad završi s tragičnim posljedicama. Uostalom, naziv toga planinskog prijevoja "Rohtang" u prijevodu znači "gomila leševa",



Planinski krajolik na Himalaji

što slikovito dočarava izuzetno opasne uvjete vožnje na takvim cestama.

Himalajska cesta povezuje gradove Manali i Leh u središtu pokrajine Ladakh, a prelazi preko pet najviših prohodnih prijevoja na svijetu, a među njima su Rohtang La na 3978 m, Lungalacha La na 5059 m i Taglang La na 5328 m nadmorske visine

Prijelaz Rohtang nalazi se na sjeveroistoku Indije, na visini od 4000 metara u himalajskome gorju, a povezuje dolinu Kullu s dolinama Lahaul i Spiti. Svake godine indijska služba za održavanje ceste *Boarder Roads Organization* koristi se



Opskrba zabačenih sela zalihama hrane traje od lipnja do rujna



Projektni tim konzorcija Strabag Afcons

GPS-om kako bi nakon lavina i odrona ponovno pronašla put i opet ga iskopala. Usred prolaza mogući su iznenadni odroni zemlje i snježne oluje. Iako je vrlo opasan i nepredvidiv, Rohtang privlači turiste radi prekrasnoga planinskog pejzaža.

Od listopada do svibnja, a ponekad i do sredine lipnja, cesta nije prohodna zbog visokih snježnih nanosa. Utrka u opskrbi zabačenih sela zalihama hrane traje od lipnja do rujna kada neprekidna rijeka kamiona, autobusa, kamioneta i automobila prolazi tom cestom. No, kada tunel Rohtang bude otvoren za promet, ta će se ruta zatvoriti, a odsječena će sela konačno imati komunikaciju s ostalim indijskim gradovima.

Ideja o gradnji tunela ispod prolaza Rohtang potječe još iz 1983. godine, međutim indijska je vlada tek u rujnu 2009. odlučila pokrenuti taj strateški građevinski pothvat, kada je potpisan ugovor za izvođenje radova s konzorcijem tvrtki Strabag i Afcons (*Strabag Afcons Joint Venture – SAJV*).

Investitor projekta jest Ministarstvo obrane Republike Indije, odnosno njegov tehnički odjel BRO (engl. *Boarder Roads Organisation*), a u projekt se ulaže približno 235 milijuna eura. Projekt tunela izradila je tvrtka *SMEC International Pty*,



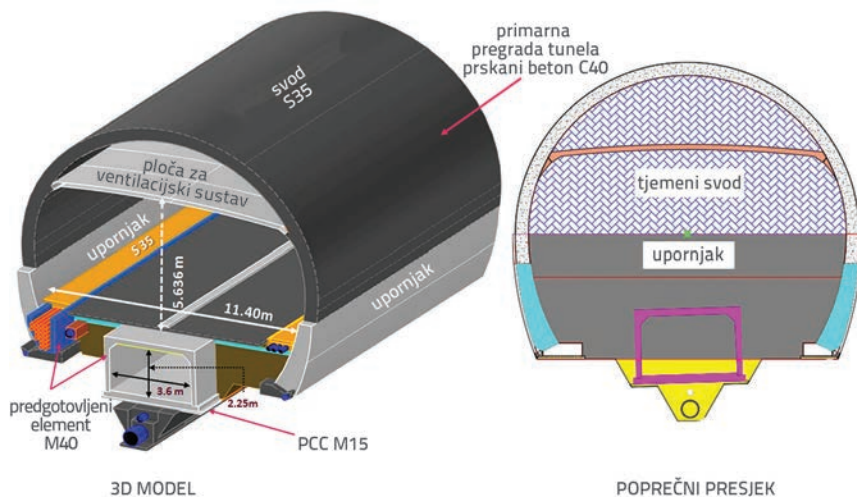
Nakon što budu dovršeni tunel i nova cesta; vožnja između gradova Manali i Keylong skratit će se za pet sati

Ltd. Nadzor nad gradnjom povjeren je konzorciju *D2 Consult ICT JV in association with PEMS*, koji čine austrijska konzalting tvrtka *D2* iz Linza i lokalni indijski partneri.

### Gradnja tunela Rohtang

Tunel Rohtang projektiran je kao dvosmjerni cestovni tunel u kojemu će najveća dopuštena brzina iznositi do 80 km/h. Gradi se na nadmorskoj visini od 3060 m, u podnožju prolaza Rohtang koji je na visini od 3978 m. Dugačak je približno 9 km i širok 10 m, a uzdužni nagib tunela iznosi 0,5 posto. Tunel je jedna od ključnih građevina na dionici buduće ceste Manali – Leh, koja će, kada bude otvorena za promet, skratiti udaljenost između gradova Manali i Keylong za približno 46 km, a vrijeme vožnje na toj relaciji bit će kraće za čak pet sati.

Tunel Rohtang projektiran je kao dvosmjerni cestovni tunel u kojemu će najveća dopuštena brzina iznositi do 80 km/h, gradi se na nadmorskoj visini od 3060 m



#### Detalji poprečnog presjeka tunela

Organizacija gradilišta nije bila jednostavna, a ni inženjeri nisu bili u cijelosti svjesni toga što ih ondje čeka. Projektni je tim najprije iz Europe zrakoplovom doputovao u Delhi, a od gradilišta usred Himalaje dijelilo ih je još 600 km. To se i ne čini tako daleko, s obzirom na to da se prvih 340 km putuje koliko-toliko funkcionalnom autocestom, no pravu noćnu moru predstavljalo je preostalih 260 km uspona po planinskim strmim cestama, koje su na pojedinim dijelovima široke tek tri do četiri metra, pune su blata i ka-

menja, pa su se tom, naizgled kratkom dionicom vozili osam sati do svojega privremenog doma u središtu Himalaje. Što se tiče pripreme gradilišta, električna energija dovedena je iz obližnjeg sela, jer je cijelo to područje u Indiji vrlo dobro elektrificirano, čak i neka manja sela u himalajskome gorju. Ipak, struja često nestaje, pa je gradilište opskrbljeno i dizelskim agregatima koji omogućuju neometan rad i u trenucima kada električna energija nije dostupna iz javne mreže. Dio građevinske mehanizacije na gradilište se dopremao u dijelovima, i to brodskim kontejnerima, a potom su tehničari dijelove strojeva sastavljali na licu mjesta. Kako bi gradilište moglo normalno funkcionirati, neposredno uz sjeverni i južni portal tunela montirani su betonara, skladište za građevni materijal i opremu, postrojenje za proizvodnju predgotovljenih betonskih elemenata, postrojenje za preradu miniranih materijala, koje obuhvaća tehnološki postupak usitnjavanja i razvrstavanja kamena, te uredski prostori. Gradilište je službeno otvoreno 28. lipnja 2010., kada je postavljen kamen temeljac.

Presjek tunela ima oblik potkove (engl. *horseshoe*), a portali tunela (sjeverni i južni) podijeljeni su na tri glavna dijela: tjemeni svod (engl. *heading*), upornjak (engl. *benching*) i podnožni svod (engl. *invert*). Početak radova na južnome portalu započeo je u kolovozu 2010., a na sjevernome u listopadu iste godine. S obzirom na



Pogled na gradilište u blizini južnog portala tunela



Oplata za betoniranje tunelske obloge

zatečene geološke i geotehničke uvjete na terenu, za gradnju tunela korištene su metode miniranja i bušenja. Primijenjena je metoda NATM (engl. *New Austrian Tunneling Method*), postupak gradnje tunela temeljen na znanstveno utvrđenim i u praksi potvrđenim idejama i principima kako bi se mobiliziranjem kapaciteta stijenske mase postigli optimalna sigurnost i ekonomičnost.

Postupak gradnje tunela zasnovan je na znanstveno utvrđenim i u praksi potvrđenim idejama i principima kako bi se mobiliziranjem kapaciteta stijenske mase postigli optimalna sigurnost i ekonomičnost

Koncept te metode bazira se na činjenici da je stijenska masa tunela ugrađena u cjelokupnu nosivu strukturu i stijena se aktivira na nosivi prsten oko tunela. Nakon bušenja stijene i odvoza iskopanog

materijala pristupilo se izgradnji primarne podgrade tunela. Primarna podgrada tunela ovisila je o vrsti tla u prokopu, pa su se kombinirale tehnike prskanog betona (ojačanog čeličnim vlaknima ili običnog betona) te ugradnje armaturne mreže, rešetkastih nosača, vijaka i cijevi za ventilaciju. Na gradilištu smješten je privremeni deponij na koji se odlaže građevni otpad, koji se zatim kamionima otprema na odlagališta. Do siječnja 2012. iskopano je 2,5 km tunela i većina se radova izvodila prema dinamičkom planu. Treba napomenuti to da su radovi na južnome portalu ipak malo brže napredovali, jer se sjeverni portal tunela nalazi ispod prolaza Rohtang koji je zimi zatvoren za promet, pa nije bio omogućen pristup toj strani gradilišta.

Na dijelovima tunela s visokim deformacijama koje su uzrokovale tlak u stijenama, ugrađeni su takozvani LSC elementi (engl. *Lining Stress Controllers*) kako bi se izbjegla pojava pukotina zbog koncentracije naprezanja u uglovima u kojima počinje progresivni lom (u blizini otvora,

naglih prijelaza ili na mjestu djelovanja koncentriranih sila). Nakon što je dovršena primarna tunelska podgrada, počela je gradnja završne podgrade tunela od nearmiranog betona.

Na dijelovima tunela s visokim deformacijama koje su uzrokovale tlak u stijenama, ugrađeni su takozvani LSC elementi kako bi se izbjegla pojava pukotina zbog koncentracije naprezanja u uglovima u kojima počinje progresivni lom

Oblaganje armiranim betonom predviđeno je samo na dijelovima tunela s lošom stijenskom masom, a cjelokupna je podgrada dodatno ojačana. Ploča za ventilacijski sustav ugrađivana je na licu mjesta. Ispod razine ceste u tunelu nalaze se izlazi u slučaju nužde, koji su smješteni svakih 500 m duž glavnog tunela, a



Postrojenje za proizvodnju predgotovljenih betonskih elemenata na gradilištu

a građeni su predgotovljenim betonskim elementima.

Do lipnja 2012. iskopano je 3,5 km budućeg tunela, kada je planirani napredak ra-

dova naglo zaustavljen. Naime, veliko je iznenađenje radnike dočekalo na sredini tunela, u zoni koja se naziva Seri Nallah, kada su tijekom bušenja stijene naišli na

podzemnu rijeku.

Cijeli taj dio planine karakteriziraju izrazito loši geološki uvjeti, a zbog rijeke koja je presijecala planiranu dionicu tunela trebalo je ugraditi kvalitetan vodonepropusni sustav koji se sastoji od geotekstila i vodonepropusne membrane. Zbog toga je planirani rok za otvaranje

tunela znatno produljen, ali to je bila izvanredna situacija koja je uz podršku investitora uspješno savladana.

### Život i rad iznad oblaka

Graditi tunel na visini od 3000 m vrlo je složen i opasan pothvat, no taj je izazov još više motivirao projektni tim, koji je dao sve od sebe kako bi tunel ugledao svjetlo dana u listopadu 2017., kada je konačno probijen.

Kada se kaže opasan pothvat, ponajprije se misli na složene radne uvjete s kojima su se susreli radnici na terenu. U neposrednoj blizini sjevernog i južnog portala tunela izgrađene su zgrade u kojima je bio smješten dio radnika, a ostalima je smještaj bio osiguran u obližnjim mjestima, odakle su ih autobusi prevozili do gradilišta. U pojedinim fazama grad-



Detalj s gradilišta



Gradilište sjevernog portala tunela u zimskim (lijevo) i ljetnim mjesecima (desno)

nje na terenu je bilo i do tisuću radnika. Relativno čest zdravstveni problem velikog broja radnika bio je povišeni krvni tlak uzrokovan manjkom kisika na tako velikoj nadmorskoj visini. Neki od njih su zbog toga morali biti udaljeni s gradilišta. Zanimljivo je to da te zdravstvene poteškoće nisu imali samo radnici koji su na gradilište stigli iz Europe, već i indijski radnici koji su na teren stigli iz drugih, nižih krajeva te zemlje.

U listopadu 2017., tunel je konačno probijen, u pojedinim fazama gradnje na terenu je bilo i do tisuću radnika

Taj su medicinski problem pokušali objasniti znanstvenici diljem svijeta. Tako se u literaturi često mogu pročitati svjedočanstva ljudi koji su doputovali na velike nadmorske visine te su se odmah po dolasku žalili na vrtoglavice i probleme sa spavanjem, a neki su se znali buditi usred sna s osjećajem da se guše. Liječnici tu pojavu nazivaju periodičnim disanjem. Istraživanja su pokazala to da gotovo polovica ljudi koji se nađu na visini većoj od 3000 m ima zdravstvene poteškoće zbog manjka kisika. Što je nadmorska visina veća, to je atmosferski tlak niži. Tako na visini od 2000 m zrak sadrži otprilike 20 posto manje kisika nego zrak na nultoj nadmorskoj visini. Na visini od 4000 m zrak sadrži čak 40 posto manje kisika, a to utječe gotovo na cijeli organizam: mi-

šići su slabiji, a živčani sustav teže podnosi stres.

Dodatni problem gradilišta Rohtang bila je i njegova dislociranost, jer u blizini prolaza Rohtang nema kvalitetno opremljene regionalne bolnice. Srećom, primarna zdravstvena zaštita organizirana je u sklopu projekta, pa su svim zaposlenicima na gradilištu 24 sata dnevno na raspolaganju bili liječnici i ostalo medicinsko osoblje. Zahvaljujući edukacijama i kontrolama koje su na terenu provodili stručnjaci za zaštitu na radu, nisu zabilježene teže ozljede radnika ni drugi nesretni slučajevi.

S obzirom na hladnu planinsku klimu, nevjerojatan je podatak da velik broj kuća u obližnjim naseljima uopće nema izolaciju, pa se često događa to da se zbog niskih temperatura zraka voda u cijevima smrzne. Tada se i najjednostavnije stvari poput kuhanja ili održavanja osobne higijene čine nemogućima.

Poprilično neugodna situacija dogodila se u zimi 2014. kada su usred snježne oluje naglo bile prekinute sve telekomunikacijske veze s ostatkom svijeta. Veze su bile prekinute čak 14 dana, a radnicima nije preostalo ništa drugo nego da čekaju da se mreža ponovno uspostavi. Bilo je i situacija kada nije bio moguć prijevoz goriva na gradilište, pa se Komercijalna služba (*Team Procurement Department*) morala snalaziti na razne načine. Oštre zime s obilnim snijegom ponekad su stvarale probleme i u pogledu izdržljivosti opreme i funkcioniranja skladišta jer bi u samo nekoliko sati znalo napadati i do dva metra snijega. Zbog toga su se u zimskim mjesecima agregati skladištili u montažne nadstrešnice, tzv. *Shed*, a strojevi su bili transportirani u unutrašnjost iskopanog dijela tunela.

Himalaj je nastala (i još uvijek raste) sudarom indijske tektonske ploče s euroazijskom. S obzirom na to da je to po-



Dio gradilišta snimljen u siječnju 2018.



Pogled na sjeverni portal tunela Rohtang

druže seizmički aktivno, na gradilištu su potresi relativno česti, no, srećom, manje su magnitude, pa zasada nisu oštetili građevinske strojeve ni uzrokovali materijalnu štetu. Ipak, u zimskim mjesecima oni mogu pokrenuti snježne lavine. Zbog podizanja razine svijesti o opasnosti i o području na kojemu se radnici nalaze, stručni tim na gradilištu vodi posebnu brigu o edukaciji i pravilima ponašanja i zaštite u slučaju podrhtavanja tla.

Radovi na tunelu izvode se 24 sata dnevno, trenutačno se izvode betonski radovi i dodatni iskopi, nakon čega će se pristupiti postavljanju protupožarne zaštite, ventilacijskih i svjetlosnih sustava te ostale opreme

Radovi na tunelu izvode se 24 sata dnevno, pa je takvome načinu rada prilagođen i cijeli sustav. Trenutačno se izvode betonski radovi i dodatni iskopi, nakon čega će se pristupiti postavljanju protupožarne zaštite, ventilacijskih i svjetlosnih sustava te ostale opreme. S obzirom na specifične radne uvjete na gradilištu, indijska je vojska poprilično oprezna u definiranju roka za dovršetak radova na projektu. No kada bude otvoren za promet, tunel Rohtang vrlo će vjerojatno i službeno biti uvršten u Guinnessovu knjigu rekorda kao najdulji tunel na svijetu koji se nalazi na nadmorskoj visini većoj od 3000 m.

### Zaključne napomene

Što se dogodi kada dopustite inženjerima da sanjaju? Koncepti novih svjetskih čuda, među koja će se jednog dana sigurno ubrojiti i projekt tunela Rohtang. Vrlo složen građevinski pothvat, nakon brojnih prepreka koje je priroda stavila na put njegove provedbe, uspješno se bliži svojem kraju. Za njegovu je provedbu ključan iskusan međunarodni tim stručnjaka, koji je unaprijed predvidio neke

potencijalno opasne scenarije, zahvaljujući kojima su spriječeni veći financijski gubici i nesreće na radu. Osim iskustva važni su i kvalitetna komunikacija te prihvaćanje kulturoloških razlika multidisciplinarnog tima. *Strabag* je u suradnji s indijskim partnerom uspio doći do prvoga zajedničkog cilja – proboja tunela, a sada s optimizmom gledaju na dovršetak tunela i završetak radova. S obzirom na sve do sada uspješno prevladane nedaće koje su pratile radnike na Himalaji, a koje su za ljudsko zdravlje itekako opasne, na kraju se može zaključiti da se taj projekt koji pomiče granice inženjerstva jednostavno može opisati u tri riječi: *Impossible is nothing*.

### IZVORI:

- Projektna dokumentacija izvođača *Strabag Afcons Joint Venture*
- <http://www.strabagindia.com/ROHTANG-HIGHWAY-TUNNEL-PROJECT-STRABAG.html>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Rohtang\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Rohtang_Tunnel)
- <https://www.youtube.com/watch?v=NgioFN4sCwE>



Tunel snimljen u siječnju 2018.