

PROJEKT NA 300 METARA DUBINE

PRIPREMILA:  
Tanja Vrančić

## Gradi se najduži i najdublji podvodni tunel na svijetu

Norveška gradi tunel koji će, osim što će skratiti putovanje i ojačati povezanost, imati širu stratešku važnost jer se njime želi potaknuti razvoj gospodarstva, ubrzati prijevoz robe i dodatno otvoriti Norvešku turizmu

U tijeku je izgradnja najdužega i najdubljega podvodnog cestovnog tunela na svijetu, impresivnog projekta poznatog kao Rogfast ili tunel Boknafjord. To je jedan od najspektakularnijih infrastrukturnih pothvata u norveškoj povijesti. Megatunel bit će ključni dio modernizacije obalne autoceste E39 te će znatno poboljšati prometnu povezanost juga i sjevera zemlje. Tunel će povezivati općine Randaberg i Bogn, omogućujući kontinuitet cestovne mreže bez trajekata na relaciji Kristiansand – Trondheim. Planirano je da se vrijeme putovanja skрати s 21 sat na samo 10,5 sati.

Prema dostupnim informacijama, tunel će biti dug 27 kilometara i smješten čak 392 metra ispod razine mora. Vozno

vrijeme kroz tunel trebalo bi iznositi otprilike 35 minuta. Trošak izgradnje procijenjen je na 1,9 milijardi eura. Naplaćivat će se cestarina oko 38 eura po vozilu. Gradnja je započela u 2018., a završetak radova planiran je u 2033. To je jedan od najambicioznijih infrastrukturnih pothvata u Norveškoj i Europi.

Tunel je ključni segment modernizacije europske ceste E39, koja povezuje Kristiansand, Stavanger, Haugesund i Bergen duž zapadne obale Norveške. Zamjenom sedam trajektnih prijelaza vrijeme putovanja između Stavangera i Bergena skratit će se, kako je već spomenuto, s 21 na oko 10,5 sati. Očekuje se da će tunel koristiti oko 6000 vozila na dan, što će znatno poboljšati pro-

metnu povezanost i potaknuti regionalni gospodarski razvoj. Projekt uključuje izgradnju dvaju rotora unutar tunela, što je rijetkost u takvim konstrukcijama. Također, primjenjuje se napredna tehnologija za 3D vizualizaciju i praćenje napretka radova.

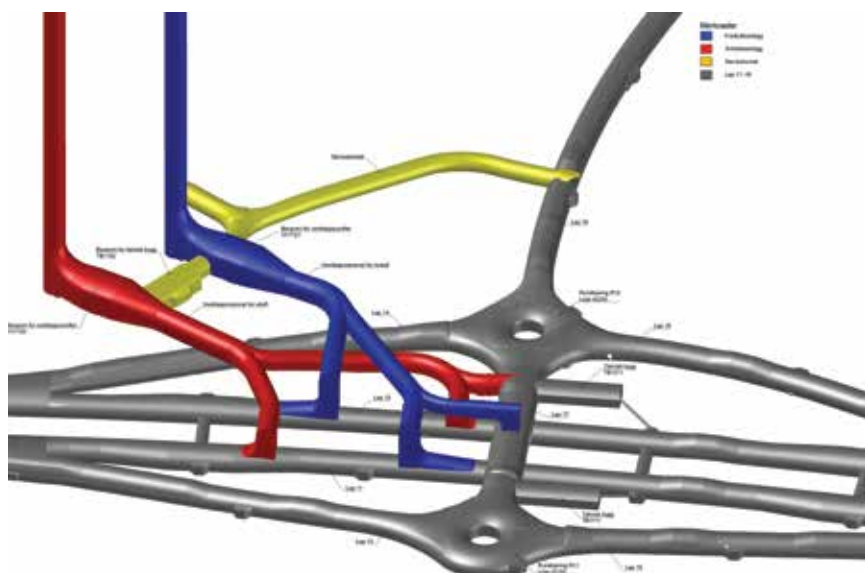
Izgradnja je započela u siječnju 2018., ali privremeno je obustavljena 2019. zbog prekoračenja troškova. Radovi su ponovno pokrenuti 2021., a završetak projekta planiran je u 2033. Do sada potpisani su glavni ugovori s građevinskim tvrtkama *Skanska* i *Implenia/Stangeland* za različite dionice tunela. Tunel je projektirala norveška inženjerska tvrtka *Norconsult*. Ta je tvrtka bila odgovorna za za sveobuhvatno planiranje i projektiranje tunela E39 Rogfast, koji se proteže od Harestada u općini Randabergu do Lauplanda u općini Boknu. Njihov angažman obuhvaća 24 različite inženjerske discipline, uključujući projektiranje ventilacijskih sustava, sigurnosnih rješenja, prometne infrastrukture i estetskih elemenata poput dinamičkog osvjetljenja i umjetničkih instalacija unutar tunela. Projekt Rogfast naručila je Norveška uprava za javne ceste (*Statens vegvesen*), koja također nadzire njegovu provedbu. Za izgradnju različitih dionica tunela angažirani su glavni izvođači radova, uključujući *Skanska* za sjeverni dio tunela te konzorcij tvrtki *Implenia Norge AS* i *Stangeland Maskin AS* za srednji i južni dio.

### Glavni izvođači i dionice

Izvođač dionice E04 – sjeverni dio tunela (*Boknafjord North*) jest *Skanska Norge*. Ta je tvrtka odgovorna za izgradnju sjevernog dijela tunela, uključujući 18,5 km dvocijevnog tunela i dodatna dva kilometra cestovne infrastrukture iznad zemlje. Radovi su započeli početkom 2023., a završetak se očekuje do kraja 2029.



Pregledna karta projekta Rogfast (travanj 2022.)



Shema budućeg tunela Boknafjord

Izvođači dionice E03 – južni dio tunela (*Boknafjord South*) jesu tvrtke *Implenia Norge AS* i *Stangeland Maskin AS*. Ta dionica obuhvaća 8,6 km dvocijevnog tunela i 125 metara cestovne infrastruk-

ture iznad zemlje. *Implenia* zadužena je za iskopavanje i oblaganje tunela, dok *Stangeland Maskin* upravlja transportom iskopanog materijala i izgradnjom cestovne infrastrukture. Radovi su za-

počeli u siječnju 2023., a završetak je planiran do 2030.

Izvođači dionice E02 – Kvitseøy (središnji dio tunela) jesu *Implenia Norge AS* i *Stangeland Maskin AS*. Ta dionica smatra se najsloženijim dijelom projekta, uključujući 8,8 km dvocijevnog tunela na dubini od oko 230 metara ispod razine mora, s raskrižjem unutar tunela koje vodi prema otoku Kvitseøy. *Implenia* odgovorna je za iskopavanje i unutarnje uređenje tunela, dok *Stangeland Maskin* upravlja transportom materijala, zemljanim radovima i izgradnjom cestovne infrastrukture.

Zajednički pothvat *Implenia/Stangeland Maskin* pokriva oko 70 % ukupnog opsega radova na projektu Rogfast. Očekuje se da će cijeli projekt biti dovršen do 2033.

### Detalji o projektu

Projekt Rogfast uključuje dvije odvojene cijevi, svaku s dva prometna traka, ukupnoga poprečnog presjeka od 10,5 metara po cijevi. Nagib glavnog tunela



Novi presjek čvora Kvitseøya

Tablica 1. Usporedba: Rogfast vs. drugi veliki tuneli

| Tunel                                                                                                                                        | Zemlja         | Vrsta                    | Duljina [km]            | Dubina [m] | Napomena                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Rogfast</b>                                                                                                                               | Norveška       | Podmorski cestovni       | 27,0                    | 392        | Najduži i najdublji podmorski cestovni tunel (u izgradnji) |
| <b>Lærdal</b>                                                                                                                                | Norveška       | Cestovni                 | 24,5                    | ~150       | Najduži cestovni tunel na svijetu (trenutno u funkciji)    |
| <b>Gotthard Base</b>                                                                                                                         | Švicarska      | Željeznički              | 57,1                    | do 2.300   | Najduži željeznički tunel na svijetu                       |
| <b>Channel Tunnel (Eurotunnel)</b>                                                                                                           | UK – Francuska | Željeznički              | 50,5 (38 km pod morem)  | 75–115     | Povezuje UK i Francusku                                    |
| <b>Tokyo Bay Aqua-Line</b>                                                                                                                   | Japan          | Kombinirani (most+tunel) | 14,0 (tunel dio ~10 km) | ~60        | Most i tunel preko zaljeva                                 |
| Napomena: Rogfast će prestignuti Lærdal po duljini, a po dubini će nadmašiti sve podmorske cestovne tunele, uključujući Tokyo Bay Aqua-Line. |                |                          |                         |            |                                                            |

ograničen je na 5 %, dok će odvojak prema Kvitsøyu imati nagib do 7 %. Jedna od najupečatljivijih značajki izgradnja je dvaju kružnih raskrižja unutar tunela, smještenih 260 metara ispod razine mora ispod otoka Kvitsøy. To je prvi put da se takva konfiguracija implementira u podmorskome tunelu. Za iskopavanje primjenjuje se metoda bušenja i miniranja kroz čvrstu stijenu umjesto predgo-

tovljenih elemenata, što je uobičajeno u drugim velikim projektima. Norveška ima bogato iskustvo s podmorskim tunnelima jer je oko 40 takvih objekata već u funkciji.

U projektu koristi se napredna tehnologija za 3D vizualizaciju i praćenje napretka radova. Tvrtka *Epiroc* pruža softverska rješenja koja omogućuju praćenje strojeva u stvarnome vremenu, što povećava

razinu sigurnosti i učinkovitosti na gradilištu.

Do svibnja 2025. dovršeno je približno 65 % sjevernog dijela tunela, a na južnome dijelu završeno je oko 45 % radova. Projekt Rogfast ima brojne specifičnosti koje ga izdvajaju kao jedan od najambicioznijih i tehnički najzahtjevnijih infrastrukturnih pothvata u svijetu. Nekoliko ključnih elemenata čini



Dionica Rogfast ispod otoka Kvitsøya





Detalj s gradilišta kružnog toka ispod otoka Kvitsøy

projekt posebnim. To je najduži i najdublji podzemski cestovni tunel na svijetu. Dvostruki cjevasti tunel uključuje dvije odvojene cijevi s po dva prometna traka (ukupno četiri traka). Između cijevi, na svakih 250 metara nalazit će se redoviti sigurnosni prolazi. Cijevi su projektirane tako da izdrže ogroman pritisak i opseg prometa uz pojačane sigurnosne standarde. Unutar tunela bit će kružna raskrižja. Naime, Rogfast uključuje dva podzemna rotora ispod otoka Kvitsøya, što je rijetkost u globalnome tunelskom inženjerstvu. To omogućuje odvajanje prometa iz glavnog tunela prema Kvitsøyu i obratno, bez izlaska na površinu. Rotor Kvitsøy jest kružno raskrižje duboko ispod mora, na oko 260 m dubine. Ima tri izlaza: južno prema Stavangeru/Randabergu, sjeverno prema Boknu i lateralni odvojak prema otoku Kvitsøyu. Rotor je promjera oko 60 m, ukupna širina vozne površine

iznosi oko 10,5 m, a opremljen je prometnom signalizacijom, osvjetljenjem, ventilacijom i detekcijom dima.

Zbog geološke strukture (norveški granit) primjenjuje se klasična metoda bušenja i miniranja *drill & blast*. Ta metoda omogućuje precizniji i sigurniji rad u čvrstim stijenama. Primijenjeni su napredni sustavi ventilacije i sigurnosti. Ugrađeni su sustavi dvostruke ventilacije, senzori za kvalitetu zraka, automatska detekcija požara te sustavi evakuacije i komunikacije. Projekt uključuje i dinamičko osvjetljenje, kako bi se smanjio umor i poboljšala orijentacija vozača. Ogromne količine iskopanog materijala (milijuni kubika) moraju se odvoziti i odlagati u skladu s ekološkim propisima. Neki dijelovi tunela nalaze se na otocima i izoliranim lokacijama, što dodatno komplicira logistiku. U projektu je korišteno 3D modeliranje (*Building Information Modeling* – BIM). Digitalne platforme

poput *Epiroc Tunneling Intelligence* omogućuju praćenje opreme i napretka u stvarnome vremenu. Sve to smanjuje mogućnost pogrešaka i povećava razinu sigurnosti.

U tako dugome i dubokome tunelu najvažnija je sigurnost. Sustavi za upravljanje incidentima jesu detekcija dima i požara automatskim senzorima koji omogućuju trenutno prepoznavanje požara. Koristit će se i CCTV kamere, tj. videonadzor kroz cijeli tunel i sustav za automatsko obavješćavanje vozača putem prometnih znakova i radioprekida. Evakuacijski prolazi (pješački hodnici između cijevi) postavljeni su na svakih 250 metara. Postoje i punktovi za spašavanje s kisikom, komunikacijom i zaštitom od dima. Raskrižje Kvitsøy projektirano je i kao sigurnosni centar s više smjerova evakuacije. Ugrađen je dupli sustav ventilacije (uzdužni + poprečni protok zraka) za izbacivanje dima i osiguranje kisika tijekom incidenta. U slučaju nesreće ventilatori se automatski uključuju.

Prije početka radova provedena su detaljna geološka ispitivanja jer se tunel probija kroz norveški granit, ali i kroz dijelove s vodonosnicima. U područjima s povećanim vodenim pritiskom primjenjuje se injektiranje cementne smjese kako bi se spriječilo propuštanje. Kao metoda bušenja i miniranja primjenjuje se *drill & blast*. Radi se u sekcijama dužine 4 – 5 metara. Postupak uključuje bušenje, punjenje eksplozivom, miniranje, uklanjanje materijala te učvršćivanje stijene betonom i sidrima. Ta je metoda sporija od TBM-a (*Tunnel Boring Machine*), ali pouzdanija u tvrdim stijenama.

Rogfast nije samo još jedan tunel; on je tehnološki pilot-projekt koji kombinira rekordne dimenzije, jedinstvene infrastrukturne elemente poput rotora pod morem, najsuvremeniju digitalizaciju primjenom BIM-a i nadzor u stvarnome vremenu te stroge sigurnosne i ekološke standarde.

#### Izvor:

Øyvind Ellingsen

<https://www.vegvesen.no>