

Najviša željeznica na svijetu: Qinghai - Tibet

Banovac, Nicol

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:818189>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Nicol Banovac

**NAJVIŠA ŽELJEZNICA NA SVIJETU:
QINGHAI-TIBET**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2024. godina



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Nicol Banovac

**NAJVIŠA ŽELJEZNICA NA SVIJETU:
QINGHAI-TIBET**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Izv. prof. sc. Ivo Haladin

Zagreb, 2024. godina



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Nicol Banovac

**HIGHEST RAILWAY LINE IN THE WORLD:
QINGHAI-TIBET**

FINAL EXAM

Supervisor: Assoc. Prof. Sci. Ivo Haladin

Zagreb, year 2024.

SAŽETAK

Željeznica Qinghai – Tibet koja spaja važne gradove Narodne Republike Kine, proteže se na 1956 kilometara od grada Xininga do Lhase (autonomna regija Tibet). Izgrađena je na najvišoj visoravni na svijetu, Tibetu, što podrazumijeva savladavanje velikih nadmorskih visina čemu kao posljedica slijedi smanjen udio kisika, vrlo niske temperature, problem s visinskom bolesti, nesnosni radni uvjeti s jakim vjetrovima i snijegom koji ledi sve pred sobom. Kineski inženjeri najviše su se posvetili permafrostu čiji se problemi očituju u više aspekata. Gradnjom na njemu narušava se njegovo stanje te globalnim zatopljenjem postoji sve veća opasnost od sužavanja njegovog sloja i područja rasprostiranja. Inženjeri su pronašli šest načina očuvanja. Neka od rješenja su termosifoni, suhi mostovi, ventilacijske cijevi, paneli, itd. Mjerenjima i praćenjem pomaka tla otkrivene su neke pukotine, deformacije i slijeganja koja su odmah sanirana. Potresna područja su izbjegavana kod trasiranja, a problem svladavanja planinskih masiva riješena su gradnjom mostova i tunela. Kod tunelogradnje dolazi do zagrijavanja svoda i topljenja leda iznad tunela. Posljednji problem su visinske razlike riješene gradnjom mostova što pozitivno utječe i na migraciju životinja. Izgradnjom željeznice vodilo se računa o zaštiti ugroženih vrsta i njihovih staništa, te očuvanju ekosustava. Zbrinut je i građevinski otpad odmah pri izgradnji čime je prozvana "zelena željeznica". Uz izgradnju, specifična je i zbog moderne opreme kojom su putnici osigurani od nedostatka kisika i ultraljubičastog zračenja. Dva sistema opskrbe kisikom održava se njegov konstantan udio i sprječavaju se simptomi visinske bolesti. U najnovije vrijeme izgrađene su nove dionice i renovirane stare, osim obnove donjeg ustroja, stari vlakovi zamijenjeni su bržima i mogu postići brzine i do 160 km/h što je pravi inženjerski pothvat za to podneblje. Nastankom željeznice jačaju se veze NRK i tibetanske autonomije, te uvelike su smanjene gospodarske razlike. Otkrivena su nalazišta sirovina, troškovi isporuke dobara su jeftiniji, a turizam je u razvitku.

Ključne riječi: permafrost, temperature, planinski masivi, kisik, ekosustav, brzi vlakovi, gospodarske razlike...

SUMMARY

The Qinghai-Tibet Railway, which connects major cities of the People's Republic of China, stretches 1956 kilometers from the city of Xining to Lhasa (Tibet Autonomous Region). It is built on the world's highest plateau, Tibet, which means overcoming significant altitudes that lead to reduced oxygen levels, very low temperatures, altitude sickness, unbearable working conditions with strong winds, and snow that freezes everything in its path. Chinese engineers have focused significantly on permafrost, whose problems manifest in various aspects. Building on it disrupts its state, and with global warming, there is an increasing danger of the layer and area of its spread narrowing. Engineers have found six ways to preserve it. Some solutions include thermosiphons, dry bridges, ventilation pipes, panels, etc. Measurements and monitoring of ground movement have revealed some cracks, deformations, and subsidence, which were immediately repaired. Seismic areas were avoided during tracing, and the problem of overcoming mountain masses was solved by building bridges and tunnels. Tunnel construction heats the vault and melts the ice above the tunnel. The last problem is the altitude differences, solved by building bridges, which also positively affects animal migration. The construction of the railway took into account the protection of endangered species and their habitats and the preservation of the ecosystem. Construction waste was managed immediately during construction, earning it the nickname "green railway." In addition to the construction, it is also specific because of modern equipment that ensures passengers are protected from lack of oxygen and ultraviolet radiation. Two oxygen supply systems maintain its constant level and prevent altitude sickness symptoms. Recently, new sections have been built, and old ones renovated; besides upgrading the lower structure, old trains have been replaced with faster ones that can reach speeds of up to 160 km/h, which is a real engineering feat for that region. The creation of the railway strengthens ties between the PRC and the Tibetan autonomy and significantly reduces economic disparities. Raw material deposits have been discovered, delivery costs of goods are cheaper, and tourism is developing.

Keywords: permafrost, temperatures, mountain masses, oxygen, ecosystem, high-speed trains, economic disparities...



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Student/ica :

Nicol Banovac (Ime i prezime)	0082067091 (JMBAG)
----------------------------------	-----------------------

zadovoljio/la je na pisanom dijelu završnog ispita pod naslovom:

Najviša željeznica na svijetu: Qinghai–Tibet (Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

Highest railway line in the world: Qinghai - Tibet (Naslov teme završnog ispita na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

 (Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

 (Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)
--

Datum: 25.6.2024.

Mentor: izv.prof.dr.sc. Ivo Haladin

Potpis mentora:

Komentor:



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

Nicol Banovac, 0082067091

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio završnog ispita pod naslovom:

Najviša željeznica na svijetu: Qinghai-Tibet

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

25.6.2024.

Potpis:



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Ja:

Nicol Banovac, 14717783823

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela završnog ispita i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela završnog ispita pod naslovom:

Najviša željeznica na svijetu: Qinghai-Tibet

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom prijediplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

izv.prof.sc. Ivo Haladin

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

03.09.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio završnog ispita bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

27.8.2024.

Potpis:

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	i
SUMMARY	ii
SADRŽAJ	vi
1. UVOD	1
2. OBILJEŽJA TRASE.....	4
3. INŽENJERSKI IZAZOVI.....	5
3.1. Permafrost	5
3.1.1. Praćenje deformacija	11
3.1.2. Pukotine i deformacije	14
3.1.3. Rješenja za nastale pukotine i deformacije.....	14
3.2. Područja ugrožena pobudom od potresa	15
3.3. Savladavanje planinskih masiva	16
3.4. Velike nadmorske visine	17
3.5. Radnici na opasnoj visoravni.....	18
4. EKOSUSTAV.....	19
4.1. Zaštita životinja	19
4.2. “Zelena željeznica”	20
4.3. Ekološko zbrinjavanje građevinskog otpada.....	20
5. KISIK.....	22
6. BRZI VLAKOVI NA QINGHAI – TIBET ŽELJEZNICI	26
6.1. Lhasa – Nyingchi.....	26
6.2. Xinning - Golmuda.....	28
7. UTJECAJ ŽELJEZNICE NA GOSPODARSTVO REGIJE.....	29
8. ZAKLJUČAK	30
POPIS LITERATURE	32
POPIS SLIKA.....	34
POPIS TABLICA.....	36

1. UVOD

Jedna od najpoznatijih željeznica istočnog svijeta je takozvana željeznička pruga Qingzang (Qinghai – Xizang, Qinghai – Tibet) koja se smatra nevjerojatnim inženjerskim postignućem, a povezuje gradove tibetanske visoravni kao što su grad Xining pokrajine Qinghai, smješten u podnožju visoravni te grad Lhasa, koji pripada Tibetanskoj autonomnoj regiji u Narodnoj republici Kini. [1]

Grad Xining je povezan s Lhasom tek 2006. godine. Tada su uvedena dva putnička vlaka Qing 1 (od Golmude do Lhase), te s druge strane Tibet 2 (od Lhase do Golmude), dok je do 1984. godine željeznička pruga povezivala samo Xining sa Golmudom [1]. Treća faza produljenja željeznice, ali ne i posljednja, je od Lhase do Shigatse. Započela je 2010. godine i završena 2014. godine [2]. Od tada Tibet je u potpunosti povezan željezničkom prugom. Osim krajnjih gradova pruga povezuje poznate gradove kao što su Peking, Chengdu, Chongging i Lanzhou [3] čime se tibetanski grad Lhasa povezuje s važnijim kineskim gradovima koja su bitna za gospodarstvo regije. Nova dionica od 435 kilometara koja povezuje Lhasu i Nyingchi otvorena je u lipnju 2021. godine. To je prva električna željeznica na tom platou, a brzim vlakom, "bullet trains", nastavlja se na QT željeznicu [4].



Slika 1 QT željeznica povezuje gospodarski značajne gradove (Izvor: [5])

Zbog reljefne i geološke posebitosti tibetanska visoravan bila je posljednje područje u Kini koje nije bilo povezano željezničkim prometom. Uslijedio je nastanak prijevoja Tanggula s najvišom željezničkom prugom na svijetu (5072 m nadmorske visine), tunel Fenghuoshan kao najviši tunel na svijetu sa 4950 m nadmorske visine te tunel Yangbajing, poznat kao najduži tunel na pruzi, dug čak 3345 m. Još neke od specifičnosti željeznice su te što su

vagoni pod tlakom zbog prelaska velikih visinskih razlika u relativno kratko vrijeme, k tome za svakog putnika osigurane su maske za kisik. Osim velikih nadmorski visina, jedan od problema u izgradnji željezničke pruge je zasigurno bio permafrost ili trajno zaleđeno tlo koje je zahtijevalo posebne tehnologije izgradnje [6]. Po "području vječnog leda" položena je jedna trećina Qinzang pruge, što je rezultiralo izgradnju beskrajnih nadvožnjaka sagrađenih na permafrostu što čini tu prugu posebno zanimljivom.



Slika 2 Qinghai-Tibet željeznica kao najviša na svijetu (Izvor: [6])

Sama izgradnja prve dionice tibetanske željeznice započela je početkom sedamdesetih godina prošlog stoljeća u gradu Xining na tibetanskoj visoravni. U gradnji su sudjelovali tibetanski zarobljenici i vojska koji su bili suočeni sa složenim inženjerskim pothvatima, ali i nemilosrdnim uvjetima kao što su permafrost te velike visine što je rezultiralo nedostatkom kisika. Od grada Golmuda sa nadmorske visine 2800 m, željeznica se uspinje na visinu 5072 kod prijevoja Thanggula, potom se kod grada Lhase spušta na 3642 metara nadmorske visine. Usprkos zahtjevnom krajoliku svega šest godina nakon započelo je prometovanje na pruzi [6].

Danas je pruga Qinghai – Tibet duga 1956 km, od grada Xininga do Lhase i po cijeloj dionici ima čak 45 kolodvora od kojih je svaki sam po sebi poseban. Samo šest od njih su one glavne stanice koje su i najvažnije za iskrcaj putnika i kod teretnih vlakova za istovar sirovina i drugih dobara [5].

Tibetanski vlak u području permafrosta može dosegnuti brzinu i do 100 km/h što ga čini najbržim vlakom na permafrostu u svijetu. Na normalnom terenu postiže brzinu od 120 km/h. Ta je činjenica vrlo važna jer permafrost predstavlja velike probleme pri konstruiranju željeznice, a velike brzine bitno utječu na učinkovitost prometovanja po pruzi. Drugi vlakovi

diljem svijeta koji su također građeni na permafrostu projektirani su za brzine od 60 do 70 km/h. Danas je sa brzim vlakom postignuta projektna brzina od 160 km/h [8].

Konačni projekt (do spajanja s Lhasom) koštao je 34 milijardi juana što je nešto manje od 4 i pol milijarde eura. Gradilo se šest godina i postigao cilj sa ekološki prihvatljivim tehnologijama gradnje i održavanja. Oko 1.2 milijarde juana (oko 160 milijuna eura) utrošeno je na objekte za zaštitu okoliša što je rekordan iznos u pogledu izgradnji željeznica u Kini [9].

2. OBILJEŽJA TRASE

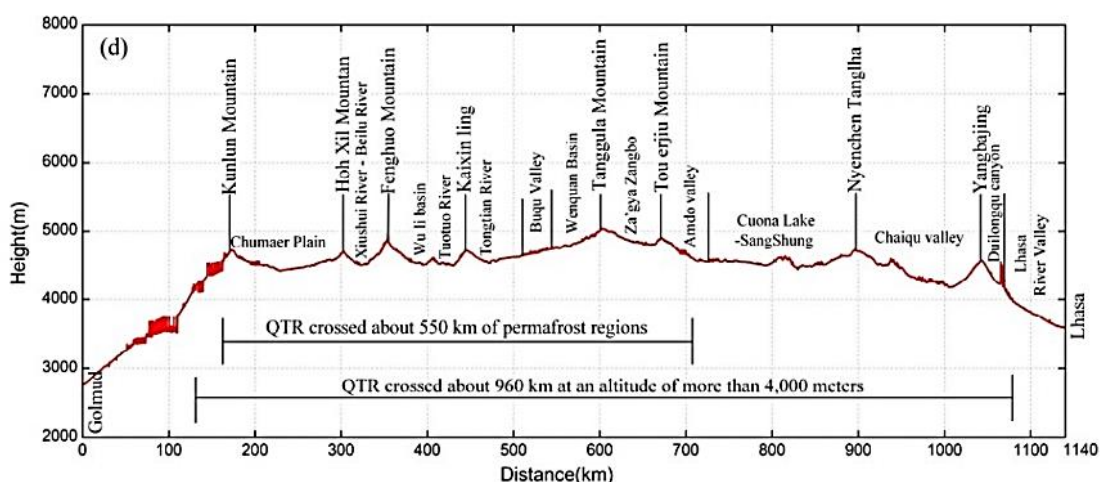
Trasa željeznice Qinghai – Tibet položena je na najvišoj visoravni na svijetu s time da je 960 kilometara na visini višoj od 4000 metara nadmorske visine. Prolazi preko pustinje Gobi, preko velikih močvara, natopljenih područja, planina i snijegom prekrivenih livada sveukupne duljine 1956 kilometara, od kojih je čak 550 kilometara na „vječnom ledu“.

Ako govorimo o novijim produljenjima, treća faza produljenja željeznice, ali ne i posljednja, je od Lhase do Shigatse. Započeta je 2010. godine i završena 2014. godine [2]. Od tada Tibet je u potpunosti povezan željezničkom prugom. Do danas, najnovija dionica duga je 435 kilometara, povezuje Lhasu i Nyingchi, a otvorena je u lipnju 2021. godine. To je prva električna željeznica na Tibetu koja ujedeno označava posljednje produljenje QT željeznice.

Propusni kapacitet pruge je osam pari putničkih vlakova dnevno i to bez teretnih vlakova. Američka tvrtka General Electric projektirala je dizel lokomotive NJ2 za prugu, modificirane za rad u visinskim uvjetima, od 5100 konjskih snaga. Kao trenutno najbrža željeznica na svijetu od onih na velikim visinama, sposobna je postići brzinu do 129 km/h, a u zonama permafrosta vlakovi su ograničeni na brzinu od 100 km/h. [10].

Odgovarajuće horizontalne i vertikalne krivine projektirane su s obzirom na topografiju ali i smjer puhanja vjetra pa tako horizontalne krivulje prate dominantan smjer vjetra. Minimalni radijusi tih krivina su oko 800 metara i takvih ima čak 26.

Slika 3 prikazuje visinski profil koji prati niveletu čitave trase QT željeznice.



Slika 3 Visinski profil QT željeznice od Golmude do Lhase (Izvor: [11])

3. INŽENJERSKI IZAZOVI

3.1. Permafrost

Jedan od glavnih problema u izgradnji koji predstavlja veliki inženjerski izazov je utjecaj trajno zaleđenog tla odnosno permafrosta. Klimatske promjene promatraju se zadnjih 120 godina, a znanstvenici tvrde da će se, krajem 21. stoljeća, temperature povećati za 1.1-6.4°C. Na tibetanskoj visoravni su klimatske promjene nešto ranije i izraženije od globalnog prosjeka. U zadnjem desetljeću temperatura se u prosjeku povećala više od pola stupnja stoga, do 2050. godine na platou Qinghai – Tibet očekuje se da će se temperature tla povećati do čak 2.2 - 2.6 °C. Debljina aktivnog sloja permafrosta (sloj koji se odmrzava i zamrzava ovisno o godišnjem dobu) povećala se za 10 – 40 cm, a granica s trajnim permafrostom se snizila u prosjeku za 22 cm. U sjevernom djelu platoa, niža granica permafrosta povisila se za 50 – 70 cm. Samo područje pružanja permafrosta se također smanjuje odnosno sužava. Prema raznim mjerenjima u 20 godina (od 1975. Do 1995. godine) sjeverna granica permafrosta pomakla se za 0.5 - 1 km južnije, a južna granica se pomakla za 1 – 2 km sjevernije, što je uzrokovalo sužavanje površine permafrosta za čak 10 000 km² po površini Qinghai-Tibet platou. Permafrost koji ima temperaturu veću od -1 °C definiran je kao topli permafrost, a tla s manjom temperaturom je takozvani hladni permafrost [12].

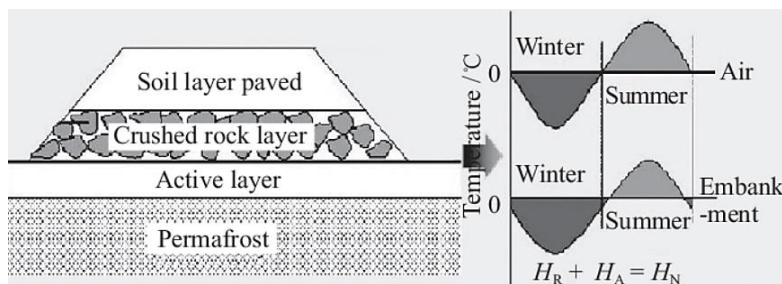
Od ukupne duljine željeznice, nešto manje od jedne trećine (546.41 km) nalazi se trajnom permafrostu, a 82 km je na području privremenog permafrosta [12].



Slika 4 BEIJING (2016) – slika prikazuje vlak koji putuje Qinghai-Tibet željeznicom u Tibetanskoj autonomnoj regiji (Izvor: [13])

Naime, gornji sloj permafrosta debljine 10 cm [10] može se odmrznuti za vrijeme ljetnih mjeseci i tlo postane poput močvare, potpuno nenosivo, što može pridonijeti slijeganjima nasipa i trajnim deformacijama željezničke pruge [6]. Projektanti su dobili ogroman zadatak: postići da se podzemni led ne topi na temperature od 10 °C [10]. Time su razvili specijalnu shemu za njenu izgradnju, kako bi otklonili rizike deformacija to jest otklonili su bilokakav utjecaj okoliša na kolosijek i kolosijeka na okoliš [12].

Nakon razmatranja svih utjecaja kao što su klimatske promijene, ljudski utjecaj i mijenjanje permafrosta, odlučeno je da se konačni projekt konstrukcije bazira na prognozi gdje će se za 50 godina povećati prosječna temperatura za 1 °C. Kod konstrukcije Qinghai-Tibet željeznice, prijašnje mjere poput povišenja nasipa i oblaganja sa toplinskom izolacijom izvedeno je iz razloga da uspori topljenje podzemnog leda ispod nasipa, međutim te mjere nisu zadovoljavale uvjet koji nalaže mjerodavna prognoza (povišenje za 1 °C za 50 godina).



Slika 5 Shematski prikaz načina kako posteljica hladi (Izvor: [12])

Kako održati stabilnost nasipa u regiji permafrosta je najozbiljniji znanstveno-tehnološki izazov za znanstvenike i inženjere, zbog utjecaja toplinskih promjena nastale umjetnim poremećajima za vrijeme izgradnje Qinghai – Tibet željeznica (u daljnjem tekstu QTŽ) i općenito povećanja temperature u budućnosti [12].

Novi tip strukture nasipa projektiran je da kontrolira toplinsku kondukciju, konvekciju i radijaciju. Smanjena je apsorpcija topline ljeti, a povećano otpuštanje topline zimi što je bilo izraženije od ljetne apsorpcije. Takav način izmjene topline osiguran je specijalnim fizikalnim strukturama u nasipu [12].

Jedna od mjera su toplinski piloni koji su zabijeni u tlo i služe za evaporativno hlađenje te prijenos toplinske energije s jedne strane na drugu, isparavanjem tekućeg amonijaka i njegovom kondenzacijom u rashladnom sredstvu. Naime, izvan cijevi može biti od -10 °C - -20 °C, a temperatura tla samo nekoliko celzijevih ispod nule, dakle tlo je toplije. Temperatura tla se smanjuje kada dio za isparavanje koji je zakopan u permafrostu apsorbira toplinsku energiju. Unutarnja smjesa amonijaka prijeđe iz tekućine u plin koji se

kreće uzduž cijevi. Taj se plin u vrhovima cijevi hladi i kondenzira. Dio toplinske energije se radijacijom iz cijevi širi u atmosferu. Na taj način se doslovno izvlači toplina iz podzemlja. Tu su cijevi postavljene čak 33 km duž trase [10].

Toplinski se piloni često primjenjuju u područjima permafosta u SAD-u, Kanadi i Rusiji te smatraju se kao jedna od najefektivnijih mjera. Njihova je uspješnost bolja u kombinaciji sa materijalom, složenog nasipa, za očuvanje topline. Također, važno je za napomenuti da piloni osiguravaju prienos električne energije od 110 kV duž željeznice [12].



Slika 6 Termosifoni (Izvor: [12]).

Iduća mjera za održavanje niskih temperature su paneli koji sprečavaju sunčevu radijaciju. Postavljaju se paralelno s nagibom kosina nasipa te na taj način reduciraju sunčevu radijaciju koja dolazi direktno na panele. Oni su malo odmaknuti od samog nasipa kako bi prostor između panela i nasipa omogućio cirkulaciju zraka i toplina ne bi doprla do površine samog nasipa [12].

Znanstvenici su istraživali utjecaj tendi i procjenjivali temperaturu tla kroz razdoblje od godine dana na području Fenghoushan u točno isto vrijeme, svaki dan u 2 sata popodne. Uočeno je da je temperatura tla unutar nasipa oko 8°C – 15°C niža od one izvana. Zasjenjivanjem kosina temperaturna razlika je čak 25°C [9].

Nasip željeznice može nakon nekog vremena izgubiti onu prvobitnu čvrstoću zbog naizmjeničnih ciklusa zaleđivanja i odleđivanja. Paneli također mogu smanjiti taj utjecaj konstantnih promjena te isto tako zaštititi ga od erozije uzrokovan kišom i vjetrom [9].

Problem je predstavljao način oblaganja i odabir pogodnog materijala stoga je predloženo da se poploče šuplje opeke po kosinama nasipa kako bi se postiglo ventilacijsko djelovanje i riješilo pitanje obloge nasipa [9].

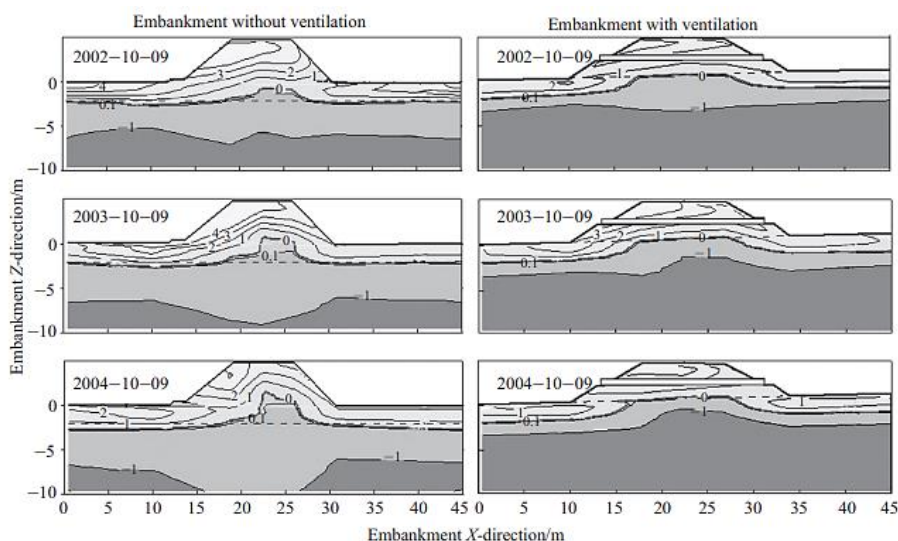


Slika 7 Konstrukcijske tehnike primijenjene na željeznici Qinghai-Tibet u regiji permafrosta. A) Toplinski piloti, B) Ploče za zasjenjivanje, C) Ventilacijske cijevi, D) Nasip obložen drobljencem, E) Kamene obloge u bazi nasipa, F) Most umjesto nasipa (Izvor: [12])

Kontrola konvekcije postiže se podešavanjem termalne konvekcije sa površine kosina nasipa i unutar njega kako bi se poboljšalo ispuštanje topline zime. Ovu tehniku možemo vidjeti na slikama c), d) i e). Postavljene su zato ventilacijske cijevi (slika c)) da pojačaju otpuštanje topline iz podzemlja zimi, međutim ljeti imaju obrnuti efekt. Usprkos tome zime su ondje puno duže pa ukupna količina ispuštene topline je svakako velika i djelovanje je uspješno. Predloženo je, također, da se na ventilaciju montira poklopac koji će se automatski zatvoriti kada temperatura zraka dosegne više od 5 °C [12]. Samu ideju sa ventilacijskim cijevima preuzeli su inženjeri od domorodaca koji su ih postavljali ispod svojih kuća kako bi izbjegli direktnu izloženost slijeganjima i promjenu konzistencije tla. Te su cijevi izrađene od kombinacije PVC-a i betona, poredane jedna do druge i najjeftinija su mjera kod borbe s temperaturom [9]. Promjer cijevi je 35 cm, a razmak između dviju cijevi je dva promjera od cijevi. Instalirane se na dubini od 0.5 – 0.7 metara od površine bankine. Istraživači su proveli niz istraživanja sa u Beiluhu, sa ventilacijskim cijevima. Prosječno, godišnja temperature okolnog zraka je 3°C hladnija od godišnje temperature unutarnjih slojeva tla. Stoga, ventilacijske cijevi može trajno smanjiti toplinu u unutarnjim slojevima nasipa. Zaključili su kako njihovo postavljanje na manjim dubinama ima uočljivi efekt hlađenja nego one postavljene na većim dubinama nasipa. Nakon tri godine njihovog postavljanja, gornja granica permafrosta se čak povisila na površinsku razinu [9].



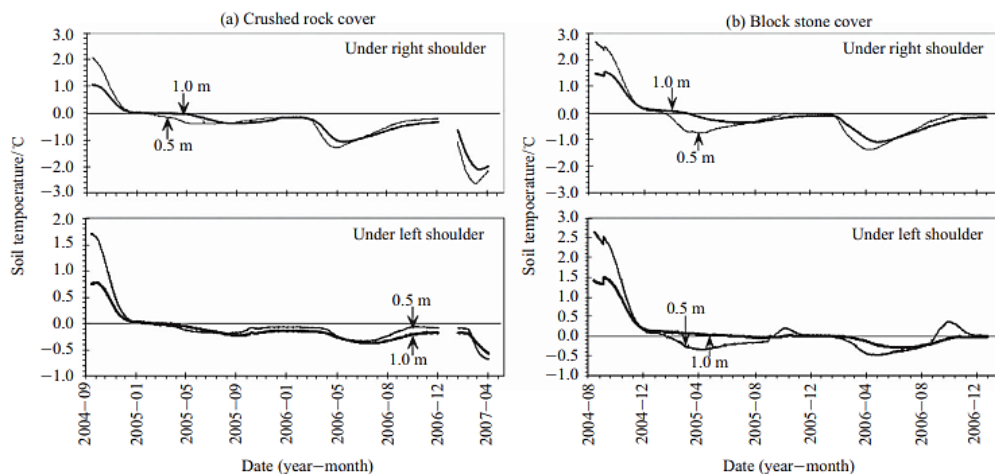
Slika 8 Ventilacijske cijevi (Izvor: [9])



Slika 9 Termalni režimi u nasipu bez (lijevo) i s ventilacijskim sistemom (desno) (Izvor:[12])

Prema istraživanjima po prognozi ventilacijskog modela, ako će se za 50 godina temperature povećati za 2 °C onda će ta tehnologija u nasipu biti efikasna i uspješno će hladiti nasipe u regijama gdje je temperatura manja od -3.5 °C i isto tako osigurati će toplinsku stabilnost permafrosta budućih 50 godina [12].

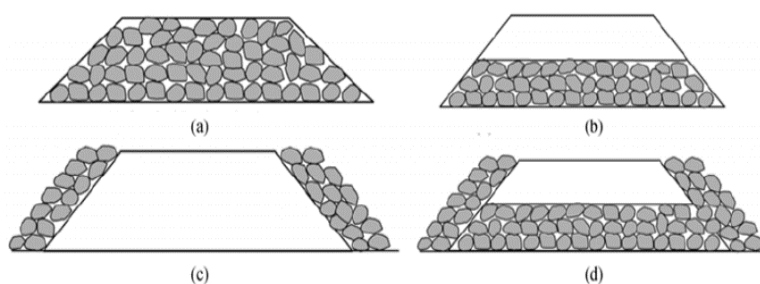
Obloga od drobljenca (slika d) također pospješuje konvekciju jer djeluje kao toplinski izolator, štiti posteljicu, nasip ili oboje od solarnog zagrijavanja i procesom konvekcije hladi nasip. Može se reći da ima efekt poput dimnjaka u zimi i ljeti tako što smanjuje prodiranje topline u nasip. To su grubi, uglati komadi kamenja koji se inače koriste za stabilizaciju površine nasipa. Takva se obloga često postavlja širom svijeta pa i u regiji Qinghai-Tibet i glavna je mjera koja služi za hlađenje nasipa [12].



Slika 10 Varijacije temperature tla ispod desne i lijeve strane nasipa gdje je na lijevo prikazan drobljenac, a desno, utjecaj kamenih blokova (Izvor: [12])

Veći kameni blokovi postavljeni su pri dnu nasipa i isto tako djeluju konvekcijski. Poboljšavaju otpuštanje topline zimi da se smanji temperatura tla. Zbog mnogobrojnih rupa među kamenjem, u dijelovima javljaju se različite toplinske aktivnosti. Ljeti, lagani vjetar pridonosi kondukciji u šupljinama na nasipu. Zimi kad je vjetar snažniji dolazi do jakog strujanja zraka, a njegovim usporavanjem pojavljuje se konvekcija [12].

Temperatura tla ispod središta nasipa, gdje je postavljen drobljenac, smanjila se u 2 godine skoro za 1 °C i brojne simulacije pokazuju da će drobljeni kamen kao obloga i kao baza nasipa pozitivno djelovati čak i sa prognozom povećanja temperature za 2 °C u 50 godina [12].



Slika 11 Različiti načini slaganja kamenih blokova u nasipu (a) Cijela posteljica (b) Kao baza nasipa; (c) Kao obloga nasipa; (d) Oblik slova U. (Izvor: [12])



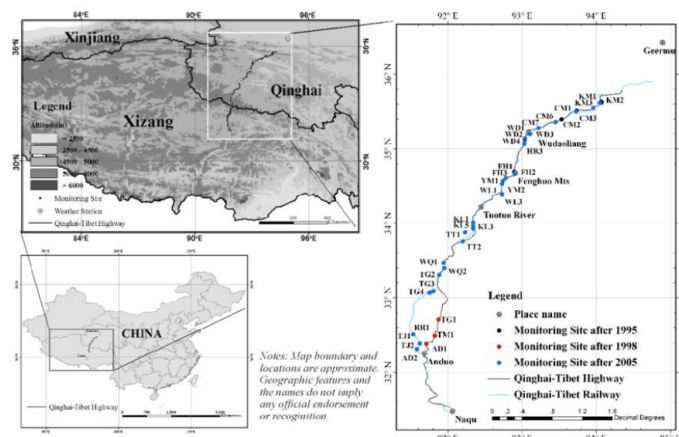
Slika 12 Suhi most kojim se izbjegava kontakt kolosjeka i permafrosta (Izvor: [8]).

Slika 12 prikazuje most umjesto kamenog nasipa i to je sveobuhvatna mjera kojom se kontrolira i radijacija, i kondukcija, i konvekcija, te utječe na ekosustav. Kada je prosječna temperatura tla vrlo visoka ($0^{\circ}\text{C} - 0.5^{\circ}\text{C}$), stanje permafrosta je ozbiljno. Kako bi se smanjile termalne promjene prouzročene samim građenjem, postavljaju se mostovi umjesto posteljica za prijelaz preko permafrosta [12]. Mostovi se grade na dijelovima čistog leda na čijem je tlu skroz nemoguće graditi i gdje niti jedna od mjera za hlađenje tla ne bi bila efikasna. Osim mosta za permafrost, željeznički most je sagrađen i preko rijeke Qingshui koji je ujedno i najveći most na željeznici na permafrostu, dug 11,7 km [8].

Sve te mjere sprečavaju zagrijavanje odnosno odmrzavanje zaleđenog sloja, permafrosta i dodatnu deformaciju željezničke pruge.

3.1.1. Praćenje deformacija

Sustav praćenja deformacija permafrosta je relativno dug i spori proces. Profil temperatura i srednje godišnje temperature mogu se dobiti iz mjerenja temperature, što se direktno odražava na režim posteljice. U svrhu analiziranja deformacija, sustav je pokrenut 2001. godine i uključuje monitor za deformacije sa šest točaka mjerenja na svakih 100 metara duž 546,41 km područja permafrosta i monitor za mjerenje temperature. Ima ukupno stotinjak sekcija na kojima se vrši monitoring i na svakoj je 6 uređaja za mjerenje. Degradacije se mjere svakih 15 dana, ručno; međutim postoji i automatizirano prikupljanje podataka svakih sat vremena i bežično se prenosi s tla na terenu u laboratorij u Golmudi [14].



Slika 13 Lokacije sa postavljenim mjeracima na traci QT željeznice (Izvor: [14])

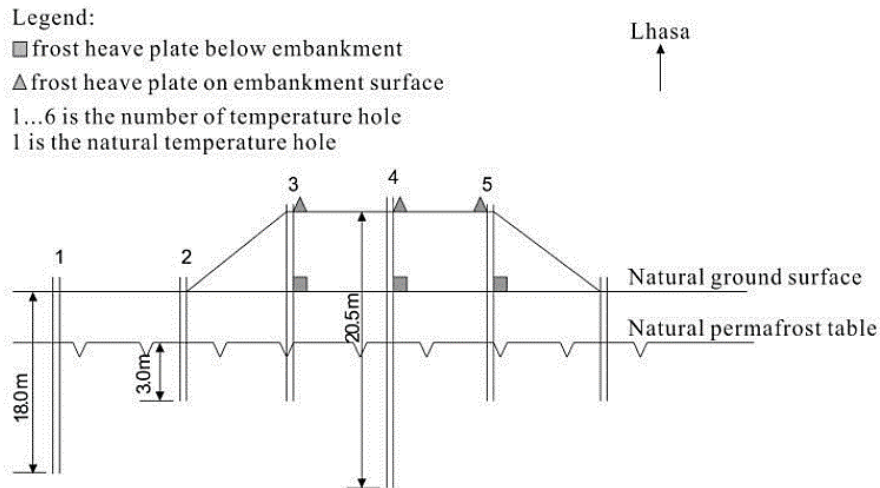
U području „toplog“ permafrosta zabilježene su neke kumulativne deformacije na nasipu, a primjer toga možemo vidjeti na tablici od listopada, 2005. godine do prosinca, 2009. godine, na stanici Wei Ma. Na svim točkama mjerenja mogle su se vidjeti deformacije različitih veličina: Za CRE¹, slijeganja su manja od 35 mm, što znači da je MASR² manji od 10 mm/a. Razlika u slijeganju lijeve i desne strane su manje od 10 mm, no razlika na nekim profilima monitoringa može biti i značajnija; do čak 40 mm [14].

Tablica 1 Kumulativne deformacije lijeve i desne bankine locirane u regiji toplog nestabilnog permafrosta (Izvor: [14])

Stacionaža	Temperatura [°C]	Kumulativne deformacije [mm]	
		lijeva bankina	desna bankina
K1014+895	-0,75	-93	-40
K1033+082	-0,9	-19	-9
K1166+550	-0,65	-77	-38
K1254+020	-0,75	-19	-16
K1262+192	-0,8	-33	-23
K1392+250	-0,9	-31	-24

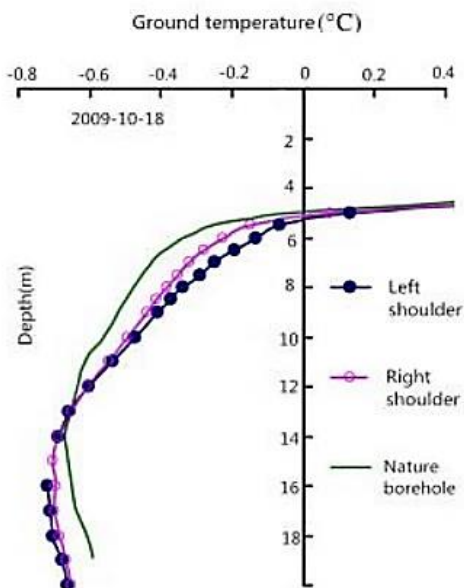
¹ CRE - Consolidation Rate of Embankment (Brzina konsolidacije nasipa)

² MASR - Maximum Allowable Settlement Rate (Maksimalno dopuštena stopa slijeganja)



Slika 14 Poprečni presjek nasipa s rasporedom uređaja za praćenje deformacija i temperatura (Ma Wei) (Izvor: [14])

Slika 15 prikazuje da je temperatura tla u nasipu ostala normalna, naime, sloj permafrosta je ostao na originalnoj razini, ali permafrost ispod tog sloja na dubini od 13 metara je topliji nego tlo ispod same površine tla [14].



Slika 15 Promjena temperature tla ovisno o dubini mjereno na lijevoj i desnoj strani nasipa (Izvor:[14]).

3.1.2. Pukotine i deformacije

Postoji nekoliko aktivnih metoda za očuvanje permafrosta što uključuje zaštitu donjeg ustroja i posteljice sa termalnim sifonima. Problemi su se pojavili već u ranoj fazi operacije. Dva najveća inženjerska problema su nastale pukotine u donjem ustroju i deformacije [14].

Glavni problem nastaje kod pukotina. Od same izgradnje tibetanske željeznice, nastalo je mnogo pukotina, a najveća je 30 cm široka i duga 35 cm. Istraživanjem je 2008. godine pronađeno 21 pukotina, 16 njih locirano je na površini i bermi nasipa, 4 ih je zapaženo na sjecištu kosine i gornje ravnine nasipa [14].

Idući problem su deformacije donjeg ustroja. Slijeganje nakon izgradnje konstrukcije naziva se sekundarno slijeganje, a dopušteno je ukupno manje od 20 centimetara slijeganja; 10 cm kod tranzicije s mostom, a 5 cm godišnje. Karakteristične deformacije za dio kod tranzicije s mostom prikazane su u tablici i većina njih prelaze krajnju vrijednost odnosno 20 cm godišnje, od 2010. do 2011. godine [14].

Tablica 2 Prikaz izmjerenih deformacija tla. Podaci dobiveni s uređaja za praćenje
(Izvor:[14])

Broj	Sekcija	Deformacije [mm]	Lokacija
1	K973+551	42	Strana Golmuda
2	K1161+428	25	Strana Golmuda
3	K1250+017	16	Strana Golmuda
4	K1421+918	24	Strana Lhase
5	K1424+400	35	Strana Golmuda

3.1.3. Rješenja za nastale pukotine i deformacije

Prvo rješenje su komadi kamenja različite debljine položene na kosine nasipa koji mogu ohladiti nasip, smanjiti razliku temperature površine tla i pospješiti kontrolu pukotina i njihovo stvaranje i smanjiti vibracije na pukotinama. Drugo rješenje su zemljane berme koje se moraju izgraditi nakon popunjavanja donjih slojeva u podnožju kosine i nakon postavljanja termalnih sifona na osunčanoj strani nasipa, kako bi sačuvali površinu od vode i topljenja u dubinama. Slijedeća metoda je zaštita od površinskih voda koji je jedan od

glavnih uzroka pukotina. Takav problem može nastati pri topljenju leda u dubinama pri čemu se stvaraju velike količine vode i njeni neregulirani tokovi kroz podnožje donjeg ustroja. Ojačanje pukotina nasipa je četvrta metoda, i izvodi se na način da se iskopa rupa do 0.3 metara unutar pukotine i vertikalno se popuni rupa, pritom se svaki sloj redom prelijeva bitumenom. Nakon preventivnih mjera zbog nastanka deformacija i popravaka pukotina nastale uslijed djelovanja voda i sekundarnog slijeganja od težine konstrukcije, nasip je stabilan. Nakon mnogobrojnih provedenih mjerenja deformacije su kontrolirane i nema opasnih pukotina čime vlak može slobodno služiti svrsi. Metode zaštite posteljice su učinkovite i praktične te svakako će biti upotrijebljene kod drugih budućih željeznica s problemima permafrosta i velikih elevacija [14].

3.2. Područja ugrožena pobudom od potresa

Na nekim područjima duž trase javlja se dodatni problem, a to su potresi koje uzrokuje podvlačenje indijske litosferne ploče pod euroazijsku. Tako je nastao najviši planinski lanac Himalaja, a za njom tibetanska visoravan, regija s intenzivnim tektonskim deformiranjima i velikim potresnim aktivnostima. U prošlih sto godina otkako su izumljeni alati za mjerenje seizmičkih aktivnosti zabilježeno je oko 120 potresa od koji je 18 bilo magnitude veće od 8. Ti su događaji bili grupirani u tri faze potresa ovisno o vremenu i glavnom aktivnom području pojavljivanja. Treća faza je započela početkom ovog stoljeća 2001. godine na planinskom području Kunlun – Wenchuan. Potresi se po magnitudama podudaraju s ostalim bliskim aktivnostima visoke razine, mega – potresima, magnitude većih od 8 i često se događaju duž granica litosfernih ploča, dakle ti su potresi povezani s globalnim „mega – potresima“, dok se „veliki potresi“ događaju unutar ploča duž rasjeda blokova kore i nešto su manjih amplituda, 7 – 8, a nazivaju se regionalni potresi [15]

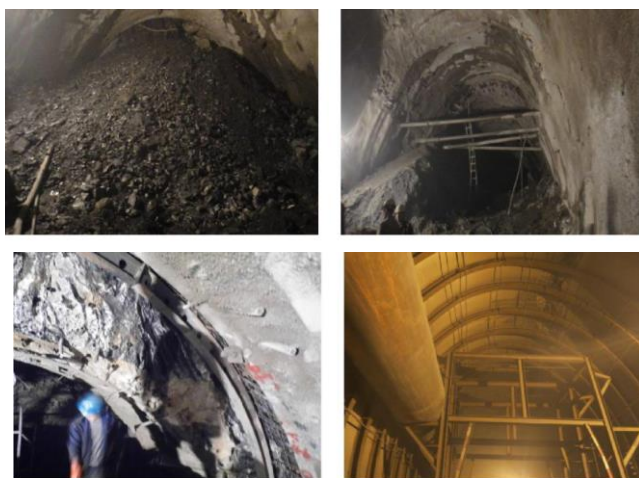
Bitno je za znati da se potresi ne javljaju na cijelom platou već samo na nekim frakcijskim zonama (specifična područja unutar veće cjeline koja su odvojena na temelju određenih svojstava ili kriterija) koje se nastoje izbjeći. Primjerice, željeznica prolazi kroz planinski lanac Kunlun koja je jedna od zona potresa. Godine 2001. to je područje pogodio jedan od najjačih potresa u zadnjih 50 godina, ali na sreću nije bilo velikih oštećenja. Dešavalo se da se trasiranjem ne može više dozvoliti zaobilaženje tih područja i skupu gradnju mostova, pa su umjesto njih gradili nasipe koje je u slučaju potresa lakše i jeftinije za obnoviti.

Zbog potresnog potencijala razvile su se tendencije za njihovo intenzivno praćenje, te se nakon izgradnje željeznice, instaliralo duž trase desetak sustava za mjerenje potresa [16].

3.3. Savladavanje planinskih masiva

Gradnja Qinghai – Tibet željeznice kroz najviše planinske masive zahtijevala je izgradnju tunela što je izazovnije od gradnje na nižim visinama bez permafrosta. Radnici su time dobili vrlo opasan zadatak. Samim radom strojeva unutar tunela zagrijava se unutrašnji zrak kojim se topi permafrost iznad tunela, a leda ima više od 50% od ukupnog materijala. Kako bi se spriječilo urušavanje i odlamanje stijenskih blokova, postavljaju se čelični "kavezi" koji pridržavaju strop i zidove. Slijedeća stavka je beton koji uvijek predstavlja problem zbog niskih temperatura. Naime, potrebno ga je nanijeti na temperaturi atmosfere koja tamo prevladava, a to je -40°C što prijeti njegovom zaleđivanju čime se neće moći pravilno ugraditi. U tu svrhu uz pomoć bojlera se griju pijesak i šljunak, grije se voda, pa i sam beton tokom miješanja. Najprije se nanosi prvi sloj betona, potom slijede vodonepropusna folija koja bi spriječila propuštanje vode nastala topljenjem permafrosta odozgo, a onda se nanose izolacijski paneli. Kod normalnih slučajeva gradnje tunela tu bi bio kraj slojevima, međutim kod ovakve specijalne gradnje potreban je još jedan debeli sloj betona. Velik je to izazov i vrlo skupi proces [16].

Konstrukcija u takvim geološkim i ekološkim uvjetima suočava se s brojnim tehničkim izazovima, a rizici povezani s njom su vrlo visoki. Projektu prijete dva velika problema, prvi su geološke opasnosti, a drugi su značajne inženjerske poteškoće koje usporavaju proces gradnje. Točnije postoje nekoliko primarnih izazova kao što su stijene različitih sastava i kvalitete te njihova prožetost diskontinuitetima, izraženo tektonsko opterećenje, složeni vodni sustav u kombinaciji s nestabilnim ekološkim okruženjem, previše složen teren s brojnim elevacijama te sama lokacija željeznice na aktivnoj tektonskoj ploči [17].



Slika 16 A) Kolaps u tunelu, B) Pukotine na sloju mlaznog betona, C) Izvinuti potporni lukovi, D) Pukotine u oblaganju (Izvor: [17])



Slika 17 A) Ulazak vode u tunel, B) Ulazak vode kroz bočne zidove, C) Nagomilavanje vode na posteljici, D) Blokiranje drenažnog sustava pojavom leda (Izvor: [17]).

3.4. Velike nadmorske visine

Značajan dio čitave željeznice položen je na dugim redovima nadvožnjaka i to na njegovu ukupnu duljinu izgrađeno je nevjerojatnih 675 mostova koji svi zajedno čine dužinu od 160 kilometara. Temelji nosača ovih nadvožnjaka su piloti zabijeni duboko u permafrostu. Zbog velikih dubina zabijanja, sezonsko odmrzavanje aktivnog sloja permafrosta ne predstavlja problem koji bi utjecao na stabilnost konstrukcije nadvožnjaka [6].

Kod gradnje pilota, bušili su rupe u zaleđenom tlu kako bi pilot dobio na kapacitetu opterećenja. Bušenje rupa izvodili su bez vode dok je tlo hladno, u noći kako bi rupa za vrijeme izgradnje bila suha jer bi voda otopila led u podzemlju. Bušili su do dubine od 12 m, a cijeli proces ovisio bi o minimiziranju vremena izloženosti leda suncu to jest toplom zraku. Beton koji je ulijevan za pilot rađen je po posebnoj formuli, takav se beton brzo ugrađuje, štiti od korozije i vrlo je dugotrajan. Najvažnije od svega je temperatura svježeg betona koja je oko 5 °C. Kako se on ugrađuje u tako hladnom stanju, kad dospije do permafrosta, on se brzo zaledi i postane dio njega. Čak i ako se led na površini otopi, beton u podzemlju ostaje zaleđen te i dalje sadrži isti kapacitet opterećenja [16].

Most Snachache koji stoji na stupovima visokim 52 metara, dug je 690,19 m. Poseban je po tome što su ga uz pomoć vrsnih inženjera uspjeli sagraditi u pola vremena nego što je bilo predviđeno, zbog vrlo niskih temperatura (i do -40 °C). trebali su takav beton koji će se ugraditi i stvrdnuti prije zaleđivanja. Kod pravljenja betona koristili su kipuću vodu, fenove s toplim zrakom, palili su vatru na skelama oko stupova i koristili vruću paru kod lijevanja betona. Sagrađen je u godinu dana, od predviđenih dvije godine [16].



Slika 18 Svladavanje visinskih razlika gradnjom mostova. Most Snachache (Izvor: [16]).

Važno je napomenuti i slobodnu cirkulaciju zraka među stupovima nadvožnjaka čime se smanjuje toplinski učinak željeznica, a osim toga dionice s nadvožnjacima dobro utječu na slobodno kretanje lokalnih životinja što utječe na povezanost tibetanskog ekosustava. Za one dionice koje su na nasipima, sagrađeni su posebni tuneli ili mostovi za životinje selice [6].

3.5. Radnici na opasnoj visoravni

Kod rada na velikim visinama javljaju se simptomi visinske bolesti poput glavobolje, brzog otkucavanja srca, povraćanje... Radnici su sa sobom na leđima nosili boce sa kisikom kako bi ih održalo na životu te je to postao dodatni i vrlo bitan zadatak za njih, ali i za bolničko osoblje. Shvatili su, ipak, da ih teške metalne boce preopterećuju pogotovo onda kada su bile prijeko potrebne kod rada u tunelu. Zbog rijetkog zraka, teškog fizičkog rada u tunelu te dodatnog opterećenja, inženjeri su odlučili u tunel postaviti generator s dugom velikom cijevi unutar tunela koji bi puštao kisik te time spriječili stalno hospitaliziranje radnika. Radnici svejedno nisu mogli raditi u takvim uvjetima cijelo vrijeme; radna smjena u tunelu trajala je 4 sata, a izvan njega, na platou, do 6 radnih sati. Uz to, odlučeno je da se cijelo bolničko osoblje i oprema dovedu na gradilište. Prije završetka željeznice, sveukupno oko 14000 radnika dobivalo je doze kisika u posebnim izoliranim kontejnerima. Zahvaljujući ispravnom preventivnom liječenju nije bilo nikakvih slučajeva smrti [16].

4. EKOSUSTAV

4.1. Zaštita životinja

Slobodni prolazi na konstrukciji olakšavaju migracije divljih životinja tibetanske visoravni. Području Qinghai-Tibet željeznice, prijete nestanak rijetkih vrsta poput tibetanskih antilopa, jakova, crnovratih ždralova i ostalih vrsta te su ti prolazi za životinje nešto drukčiji od onih u svijetu poput prolazi kod autoceste u Floridi. Životinjske vrste su u toj regiji endemske i primitivne. Zbog njihove osjetljivosti, političko tijelo uprave koje se bavi tim problemom uzima u obzir minimiziranje utjecaja inženjerskih pothvata i to prije i za vrijeme građenja; iako cijela konstrukcija zauzima samo jedan uži pojas od nešto manje od 20 km. Prema izvještaju tu je i druga infrastruktura na tom području koja je također izgrađena u cilju olakšanja životinjskih migracija i uklapanja u svijet flore i faune.



Slika 19 Tibetanske antilope kreću se pored QT željeznice u rezervatu Hoh Xil (Izvor: [18])

Mjere koje se izvode u cilju neometanja staništa ugroženih vrsta je trasa izvedena na način da zaobiđe ta staništa i to su mjere koje obilježavaju područja duž trase. One se razlikuju od jednog do drugog kraja trase ovisno o vrstama koje obitavaju na određenim regijama. Kao na primjer u Floridi izgrađeni su prolazi za pantere, dok su ispod autoceste u Sloveniji ostavljeni prolazi za smeđe medvjede. Međutim ni jedna ni druga autocesta nije uzela u obzir mjere zaobilaznja ugroženih staništa jer uvelike utječe na ukupnu cijenu čitavog projekta, zato to Qinghai-Tibet željeznicu čini još posebnijom i ekološki prihvatljivijom. Dakle, zaobilazni dijelovi trase nisu izgrađeni samo zbog loših geoloških uvjeta već i u svrhu

sprječavanja potencijalne katastrofe koja se odnosi na izumiranje rijetkih vrsta na tibetanskoj visoravni. Na primjer, kod trasiranja predloženo je da se zaobiđu prirodno osjetljivija mjesta kao što su rijeka Chumar, te rezervati Hoh Xil i Stoga koji su na UNESCO-vom popisu mjesta svjetske baštine u Aziji kao "najveća i najviša visoravan na svijetu". U slučajevima gdje se zaštićena mjesta nisu mogla zaobići izvedeni su "suhi" mostovi [18].

4.2. "Zelena željeznica"

Zbog ekoloških mjera zaštite koje su korištene tokom i nakon izgradnje možemo joj nadjenuti naziv "zelena željeznica". Nikakva zagađivanja okoliša nisu prešle granice kontrole, vegetacijski ekosustav je uspješno zaštićen, permafrost je godinama nakon izgradnje ostao stabilan te svijet flore i faune je ostao neizmijenjen [19].

Kolodvori duž trase koriste ekološki prihvatljive izvore energije kao što su solarna energija i energija vjetra. Otpade uspiju iskoristiti za daljnju upotrebu. Naprimjer, kućna kanalizacija, nakon što se pročisti kako bi zadovoljila uvjete kvalitete i državne standarde odvoda, koristi se za navodnjavanje zelenih površina. Smeće s određenih vlakova se sakuplja u plastičnim vrećama koje se prenose preko kolodvora po platou, također se koristi za šaržnu obradu (obradu materijala u odvojenim, diskretnim skupinama ili šaržama (serijama), za razliku od kontinuirane obrade). Kako bi se prilagodilo karakteristikama platoa, usvojen je način upravljanja središnjom stanicom sa sedam centralnih stanica uspostavljenih duž trase. Svaka od njih je u potpunosti odgovorna za vožnju vlakova i njihovo održavanje u području unutar radijusa 80 kilometara. Gdje god je to moguće, daljinsko automatsko upravljanje i mehanizirano održavanje usvojeni su kako bi se smanjio broj odgovornih jedinica i osoblja, čime se daje maksimalna zaštita okolišu na visoravni [20].

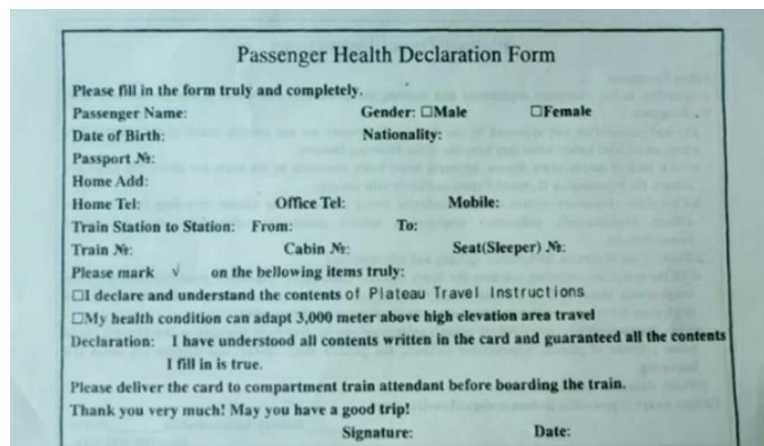
4.3. Ekološko zbrinjavanje građevinskog otpada

Kada je građena željeznica na Tibetu, građevinski materijal poput zemlje za popunjavanje bankine i vruće miješan agregat obično je iskorišten na licu mjesta bez ikakvog odlaganja u okoliš. Čak i nakon desetljeća prirodne "rehabilitacije", krajolik i permafrost su i dalje u fazi oporavka, a brojna iskustva s otpadom daju inženjerima bitne lekcije za daljnje projektiranje. Provedeno je šest mjera za smanjivanje količine građevinskog otpada. Prva je ta da su građevinske jedinice bile potaknute na korištenje opreme visoke učinkovitosti, s nižom razinom buke i onečišćenja. Drugo, preporučalo se korištenje isključivo predgotovljenog betona. Sljedeća je metoda suhog bušenja; bušenje bez korištenja mulja i pumpe kako bi se izbjeglo gomilanje muljnog otpada. Četvrta mjera je razvrstavanje otpada sa gradilišta, i ako

je moguće, njegovo recikliranje, a otpad koji nije moguće reciklirati, odmah je odvezen sa platoa kako bi se izbjeglo onečišćenje okoliša. Potom, otpadna voda s gradilišta je obavezno obrađena odnosno pročišćena kako bi zadovoljila državne zahtjeve čime bi se mogla ispustiti u okoliš. I konačno, šesta mjera; nakon što je vlak počeo s prometovanjem, svaki od njih ima poseban spremnik za privremeno čuvanje smeća i otpadnih voda, koje se kasnije sakupljaju i obrađuju u posebno projektiranima stanicama. Ovih je šest mjera provedeno odmah i vrlo rigidno, a većina otpada je zbrinuto za daljnju obradu u ekološki prihvatljivim odlagalištima [18].

5. KISIK

Prije je spomenuto kako je željeznica Qinghai-Tibet najviša na svijetu. Na visini višoj od 4000 metara je čak 960 km cijele pruge, a najviša točka joj je na visini od 5072 metara nadmorske visine. Iako zvuči zadivljujuće, ta činjenica za sobom nosi i brojne probleme. Putujući od Kine prema Tibetu, vlak prolazi visine koje su nešto više od razine mora pa do visina od 3490 metara, kod Lhase. Možda se ne čini kao velika promjena, ali prolaskom kroz najvišu dionicu od 5072 metara, prolaz Tanggula, simptome visinske bolesti teško je izbjeći. Pri velikim visinskim elevacijama, dolazi do nedostatka dovoljnih količina kisika. Zbog čega je vlak opskrbljen maskama za kisik koje se nalaze na sjedalima vagona i dodjeljuju se svakom putniku. Osim toga u svakom putničkom vlaku postoji doktor za hitni slučaj. Putnički vagoni su dizajnirani posebno za tu svrhu i duž željeznice pruge postoji nekoliko tvornica kisika [21]. Kisik u zraku ponad tibetanske visoravni mnogo je rjeđi i parcijalni tlak zraka je 35% do 40% manji od onog iznad mora. Kineska vlada tvrdi kako nije bilo smrtnih slučajeva kod radnika tokom izgradnje te željeznice, no svejedno putnici moraju biti osigurani [22].



The image shows a 'Passenger Health Declaration Form' with the following fields and instructions:

Passenger Health Declaration Form

Please fill in the form truly and completely.

Passenger Name: _____ Gender: Male Female
Date of Birth: _____ Nationality: _____
Passport No: _____
Home Add: _____
Home Tel: _____ Office Tel: _____ Mobile: _____
Train Station to Station: From: _____ To: _____
Train No: _____ Cabin No: _____ Seat(Sleeper) No: _____

Please mark on the bellowing items truly:

I declare and understand the contents of Plateau Travel Instructions
 My health condition can adapt 3,000 meter above high elevation area travel

Declaration: I have understood all contents written in the card and guaranteed all the contents I fill in is true.

Please deliver the card to compartment train attendant before boarding the train.
Thank you very much! May you have a good trip!

Signature: _____ Date: _____

Slika 20 Dokument koji potpisuje svaki putnik prije puta kojima potvrđuju uvjete putovanja (Izvor: [22])

Ako biste htjeli putovati od Lhase do Golmude, potrebno je sa sobom uzeti zdravstvenu iskaznicu i prije samog putovanja putnik je obavezan pročitati upute zdravstva vezane za visinske elevacije te potpisati ugovor kojim putnik pristaje na putovanje vlakom. Prije nego što je postojala ta procedura bio je prijavljen prvi smrtni slučaj iz istih razloga, međutim danas nema potrebe za brigom [22].

Kanadska tvrtka "Canada's Bombardier Inc" koja se bavi konstruiranjem manjih aviona, izradila je specijalne vagona za prijevoz putnika po području smanjenog udjela kisika u atmosferi te koji je niži od bilo gdje drugdje u svijetu. Kako bi se to postiglo, vlakovi moraju biti pod tlakom, kompresijski zatvoreni zbog čega putnici znaju dobiti visinsku bolest [22].

Ovi posebno dizajnirani vagoni stlačeni su poput zrakoplova, sa specijalno zatvorenim staklima zabrtvljeni gumaticom izvana i iznutra čime kisik ne može izaći [9]. Stakla na prozorima i vratima sadrže poseban sloj koji štiti putnike od ultraljubičastih zraka [22].

Putnički vlakovi su u potpunosti zatvoreni, komprimirani, prilagođavaju se na difuziju kisika i njegovu distribuciju unutar vagona. Količina kisika se unutar vagona povećava za 23,5%, a ako putniku zatreba više kisika, ima pristup ventilu za kisik na različitim dijelovima vagona. Može ga upotrijebiti bilo kada tokom putovanja [22].

Vagoni imaju dva sistema za opskrbu kisikom. Jedan je glavni sistem koji je zadužen za kontrolu zraka tako da omogućava širenje kisika vlakom i zadržava njegov udio u vagonima na optimalnoj količini. Drugi sistem je onaj kojeg koriste putnici. To je mali otvor za kisik i nalazi se kraj svakog sjedala, koriste ga za vrijeme putovanja ili kad god putnici osjećaju nedostatak kisika [22].



Slika 21 Ventil za kisik unutar vagona (Izvor: [22]).

Kontrolni sustav za kisik ne radi konstantno. Uglavnom je to normalna vožnja cijelim putem i zrak koji se udiše je isti onaj kao i izvan vagona. Međutim nakon što vlak prođe stanicu u Golmudi na 2809 metara nadmorske visine upali se sustav za dotok svježeg i čistog kisika. Za vrijeme dok radi kontrolni sustav, nije dozvoljeno pušenje [22].

Kompresor koji se nalazi izvan vlaka pri dnu vagona, generira zrak stlačen na 0.8 – 1 MPa. Taj je zrak kanaliziran posebnim cijevima ispod vlaka sve do generatora za kisik koji se nalazi unutar vlaka [9]. Kisik potom putuje do klima uređaja i ventila za kisik na stropu vagona.

Nastoji se očuvati udio kisika od 23% [22].

Idući je sustav za distribuciju kisika kojeg putnik direktno koristi i oni se mogu pronaći ispod svakog sjedala, pored kreveta u kabini ili na zidu vagona, ovisno o njegovoj vrsti [22].

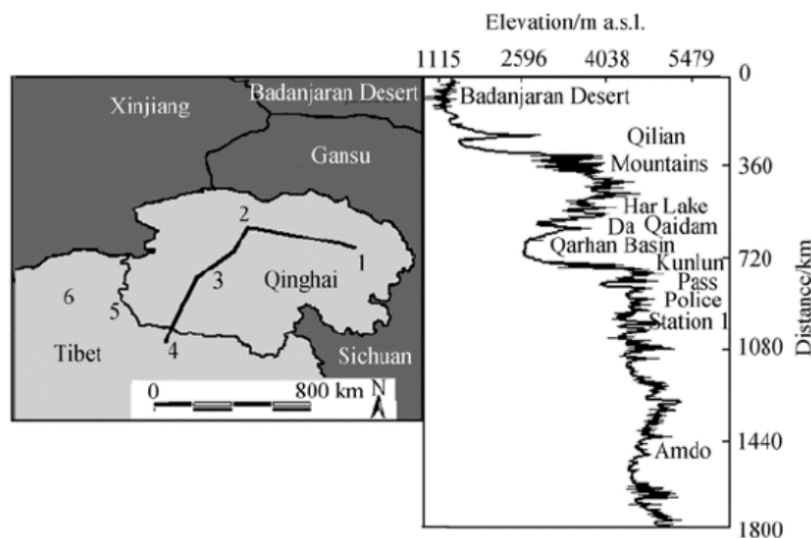
Procedura za korištenje je takva da kondukter svakom putniku dodjeli gumenu cijev čak i prije dolaska u Golmudu. Cjevka se natakne na otvor iznad kojeg je napisano "OXYGEN OUTLET", a druga strana cijevi stavi se u nos te na taj način putnici mogu normalno udisati svježi zrak. Za hitni slučaj tu su i dodatne cijevi za dovod kisika te maske za kisik [22].



Slika 22 Pumpica za kisik kojom se služe putnici prilikom putovanja na određenim visinama (Izvor:[22]).

Putnici vagona biraju ovisno o njihovom zdravstvenom stanju: ako imaju glavobolje, ako su astmatičari ili imaju simptome visinske bolesti. Kod "normalnih" vagona dovod kisika nije striktno naznačen, ali se otvor može lako pronaći u slučaju nedostatka kisika [22].

Od grada Xinning, elevacija započinje sa 2275 metara i oštro se mijenja nakon što vlak prijeđe postaju u Golmudi. U samo nekoliko sati sa 2809 metara nadmorske visine, putnici dolaze na visinu od 4800 metara, kod prolaza Kunlun, što je nevjerovatno brzo u pogledu promjena visina. Bez raspršivanja kisika, mnogi putnici bi dobili simptome visinske bolesti odmah nakon tog prijelaza. Nakon nekog vremena vlak dolazi do najviše točke, prolaz Tanggula od 5072 metara, potom se vlak postepeno spušta kroz Hoh Xil, grad u Yushu prefekturi³ do 4600 metara nadmorske visine. Za sljedećih nekoliko sati visina se mijenja za preko 1000 metara prije grada Lhase (3490 m) [22].



Slika 23 Promjene u nadmorskim visinama duž trase QT željeznice (Izvor: [23]).

³ Prefektura - administrativna jedinica u nekim zemljama, poput Japana, Kine ili Francuske, a može se usporediti s pokrajinom ili županijom

6. BRZI VLAKOVI NA QINGHAI – TIBET ŽELJEZNICI

Jedna od važnijih razlika kod „brzih vlakova“ i tibetanskih vlakova je brzina. Brzi kineski vlakovi obično postižu brzine između 250 – 350 kilometara na sat i to su takozvani „vlak metak“ (eng. „bullet trains“, kin. „Shinkansen“), dok su trase tibetanskih vlakova projektirane za brzine točnije od 73 do 91 kilometar na sat zbog svih prije navedenih uvjeta (velike visine, zaleđeno tlo...). U najnovije vrijeme izgrađene su nove dionice poput Lhasa-Nyingchi i renovirane stare, odnosno osim obnove donjeg ustroja, na dionici Xinning – Golmuda stari vlakovi zamijenjeni su onim bržima koji mogu postići brzine i do 160 km/h što je pravi inženjerski poduhvat. Iako ima je ta brzina dozvoljena, vlakovi rijetko kada premašuju brzine od 100 km/h zbog mjera sigurnosti [21].

6.1. Lhasa – Nyingchi

Nova dionica, ujedeno i posljednja, duga je 435 kilometara, povezuje Lhasu i Nyingchi, a otvorena je u lipnju 2021. godine i to je prva električna željeznica na Tibetu koja spaja dva najveća grada nazvana Linzhi. Dva brza vlaka, „bullet trains“ kreću dvaput dnevno iz grada Lhase i putuju svega 3 i pol do 4 sata do posljednje stanice. Vlak može postići brzinu od čak 160 km/h. Brzi vlak serije „The Fuxing“⁴ D8981 s maksimalnom brzinom (160 km/h) dolazi na odredište za 3 h 34 min [24].



Slika 24 Najnovija trasa Lhasa-Nyingchi (Izvor: [24]).

Gradeći željeznicu velikih brzina i to na Tibetu, takozvanom „krovu svijeta“ zasigurno nije bilo lako. Oko 90% te rute, za koje je bilo potrebno 6 godina da se izgradi, nalazi se na visini od 3000 metara iznad visine mora. Putujući velikim visinama, vlakovi serije The Fuxing

⁴ Fuxing - prema kineskoj mitologiji bog sreće

opremljeni su automatiziranim uređajima za kisik koji održava njegov konstantni udio na 23.6%, nešto više od prosječnog udjela u atmosferi od 21%. Kako bi željeznica imala sve karakteristike suvremenog vlaka, prozori su dizajnirani sa specijalnim slojem koji štiti putnike od ultraljubičastih zraka, čiji je utjecaj izraženiji na većim visinama [24].

Vlakovi serije "The Fuxing" imaju pogon na unutarnje izgaranje i na električni motor. Takav način na dvije vrste pogona omogućuje vlaku da postigne nesmetano putovanje od 2.5 sata na električnom i neelektričnom kolosijeku. Postižu brzinu do 160 km/h, iako najveća brzina na linijama kroz Kinu iznose oko 350 km/h [24].



Slika 25 Brzi vlak na dionici Lhasa – Nyingchi (Izvor: [24])

Vlak tom rutom prolazi kroz 47 tunela, te sveukupno 121 most. Željeznica je na mostu čak 75% ukupne trase od Lhase do Nyingchia, a od njih je željeznički most Zangmu najveći i najviši na svijetu. Građen je lučno na rijeci Yrlung Zangbo [24].



Slika 26 Željeznički most Zangmu u planinama Tibeta, jugozapad Kine (Izvor: 24])

6.2. Xinning – Golmuda

Danas prema najnovijim člancima, najnoviji brzi vlak započeo je s prometovanjem na početnim dionicama QT željeznice, na sekciji Xinning–Golmuda i zamijenio tradicionalni vlak kako bi se povećala učinkovitost. Taj je dio, od ukupne trase, dug 829 kilometara i započinje u gradu Xinning, provincije Qinghai do stanice u Golmudi, na zapadu Kine. Povećanjem brzine na 160 km/h put će na toj ruti trajati oko sat vremena [24].

Brzi vlak CR200J iz serije Fuxing EMU konstruiran je za velike visine i niske temperature. Inženjeri su napravili posebnu preinaku kako bi ventilacijski sustav podnio značajne lokalne temperaturne razlike i snažan vjetar od pješčanih oluja. Osim toga iskoristili su geografske prednosti instalirajući solarne panele da apsorbiraju produljeno dnevno svjetlo te zagrijavajući tračnice kako bi spriječili njihovo zaleđivanje tijekom zime ili noći. Izmjene su napravljene i na kolodvorima uključujući instalacije novih nadstrešnica za kišu, ograde i drenažnih cijevi kako bi se izbjegla potencijalna oštećenja prouzročena lokalnim pješčanim vjetrovima i pružilo bolje iskustvo vožnje za putnike. Prije nadogradnje, taj je odsjek mogao akomodirati samo tradicionalnim vlakovima brzine 120–140 km/h. Obnova donjeg ustroja željeznice je započela u srpnju 2020. godine zbog problema s korozijom i oštećenja bankine i mostova utjecajem pijeska [24].

Projekt je nakon odobrenja statike kolodvora i ostalih objekata na željeznici, prešao u fazu odobrenja dinamičkih sposobnosti, „dynamic acceptance stage“, odnosno, u ljeto 2023. godine provela se testna vožnja s novim brzim vlakovima. Nekoliko dana nakon, 2. srpnja započeto je prometovanje s vlakovima koji mogu postići brzinu do 160 km/h [24].



Slika 27 Brzi vlak na testnoj vožnji na stanici u Xinningu, 29. lipnja 2023. (Izvor: [24]).

7. UTJECAJ ŽELJEZNICE NA GOSPODARSTVO REGIJE

Izgradnja željeznice do Lhase omogućila je zapadnoj Kini veliki gospodarski razvoj. Tek u počecima 21. stoljeća, država je dostigla dostatnu razinu tehnološke spremnosti da izvede projekt povijesnih razmjera. Jedan od ciljeva realizacije takve infrastrukture bilo je uklanjanje velikih gospodarskih razlika između bogatijeg istoka i siromašnog zapada. Idući zadatak tog projekta bio je jačanje veza Narodne Republike Kine (NRK) i tibetanske autonomije. Neki danas tvrde da je njena izgradnja samo slijedeća etapa postepene kineske kolonizacije autonomnih regija. Naime, tibetska visoravan bogata je prirodnim resursima, a geolozi su već otkrili nalazišta ruda poput bakra, olova i cinka. To su sirovine koje će u budućnosti biti kineskoj industriji od velike koristi. Ekolozi, pak, strahuju da će prisustvo modernih željeznica u kineskim regijama potaknuti vladu na razvoj novih industrijskih zona što posljedično znači, loš utjecaj na osjetljivi ekosustav regije [6].

Trenutno se mogu vidjeti samo dobre strane projekta izgradnje, što se može očitovati u puno jeftinijim troškovima isporuke robe i energenata koji su od velikog značaja u planinama. Velikom napretku u gospodarstvu mogu svjedočiti regije poput Tibeta i Qinghai, dakle jedan od zahtjeva projekta je zadovoljen. Isto tako do razvitka došlo je i kod turističke industrije što je zapravo jako zanimljivo jer kineska vlada ne dopušta putnicima slobodan posjet Tibetu već im je potrebna posebna dozvola bez koje je putovanje nemoguće [6].

8. ZAKLJUČAK

U počecima bilo je gotovo nemoguće zamisliti da će se išta moći izgraditi na tibetanskoj pustoši, na čistom ledu, velikim visinama i u uvjetima rijetkog zraka. Tibet je znan kao treći pol svijeta što dovoljno govori o tome koliko vrijeme ondje zna biti žestoko. Jednu minutu je mećava, a u drugoj je već vedrije. Jak vjetar sa sobom nosi oštre čestice leda i pijeska što može djelovati poput milijun noževa na koži. Temperature u najvišim vrhovima dosežu i do -45°C čime možemo zaključiti da mjesta za ljudsku vrstu nema. Međutim, zahvaljujući tipičnoj kineskoj upornošću, kojom su spremni okretati planine, izveli su inženjersko čudo i uspješno savladali sve prepreke koje im nameće surova priroda na visoravni Tibeta.

Gradnja QTŽ vješto je nadišla probleme s permafrostom koristeći samo ekološki prihvatljive tehnologije, pritom minimizirajući ometanje ugroženih životinjskih vrsta na platou i nastojeći zaštititi travnjake i žitnjake njihovom ponovnom sadnjom te uspješno izbjeći izravno odlaganje građevinskog otpada i smeća od ljudi na ekološki osjetljivi krajolik. QTŽ svakako treba biti nagrađena za ovakav rad. Čak i sada godinama nakon izgradnje, čitavo osoblje koje radi na željeznici može se pohvaliti svojom ekološkom osviještenošću.

Punih pedeset godina Kina je sanjala o povezivanju grada Lhase sa nacionalnom željezničkom mrežom, ali ostvarivanje tog sna rezultirat će najtežim inženjerskim projektom u povijesti. Ta željeznica sa 1956 kilometara možda nije najduža na svijetu (iako po svemu drugome obara svjetske rekorde), ali uzimajući u obzir permafrost, potrese i opasne ekstremne visine čine ju najizazovnijom konstrukcijom. Njeno planiranje trajalo je čak 40 godina, od kojih je 5 godina posvećeno istraživanju terena permafrosta i njegovog ponašanja, kategorizaciji nestabilnog tla te proučavanju kako graditi na njemu i u uvjetima s 50% manje kisika nego na nižim nadmorskim visinama.

Izgradnja željeznice Qinghai -Tibet započeta je krajem lipnja 2001. godine i trajala je samo šest godina, do povezivanja s Lhasom, što možemo pripisati velikim ambicijama kineskog naroda. Prema službenim podacima, tijekom gradnje, nije bilo smrtnih slučajeva unatoč dugotrajnom radu u najneugodnijim uvjetima. Otvaranje željeznice utjelovilo je snove i nade stanovnika, a prije svega inženjerima i graditeljima koji su sudjelovali u realizaciji. Vjerski lik koji ima status "živog Buddha" u tibetanskoj religiji, izrazio je želje rekavši: " Željeznica Qinghai-Tibet, poput zlatnog zmaja, donosi ljudima sreću i blagostanje Tibetancima i svim ostalim narodima Kine želim sreću, te da ova željeznica radi za njihovu dobrobit, da putnici i razna dobra budu sigurna i prosperitetna. Želim plodan rad i uspjeh svim onima koji žele pokrenuti vlastiti posao u Tibetu i posloovati u unutrašnjosti zemlje."

Prometovanje željeznice pospješio je priljev turista na Tibetu i promoviranje prirodnih

bogatstva na platou. Međutim, postoji opasnost od zagađivanja prirode sa strane turista koji bi mogli ugroziti okoliš bacanjem smeća. Ekspanzivna eksploatacija i s njom povezana industrijska postrojenja imat će također negativne utjecaje na cjelokupni okoliš okolnih regija. Isto tako, veliki izazov predstavlja tehnologija izvedena u svrhu zaštite permafrosta, koja bi u budućnosti na žalost mogla postati nefunkcionalna. U prilog tomu su klimatske promjene koje će potencirati sve veće topljenje podloge od permafrosta.

Zbog građenja željeznice koja je završena na vrijeme i po planu te uspješnosti same operacije Qinghai-Tibet željeznice na takozvanom "krovu svijeta", smatra se prekretnicom geotehničkog postignuća u 21. stoljeću. [18]

U ovom maestralnom projektu može se uočiti veliki tehnološki napredak i velik broj novih inovacija zbog čega je taj projekt nagrađen prestižnom nagradom u Kini, za znanost i tehnološki napredak, 2008. godine.



Slika 28 Qinghai-Tibetska željeznica. Fotografija: Lonely Planet

POPIS LITERATURE

- [1] China Daily, <http://www.chinadaily.com.cn/home/index.html> , pristupljeno: 25.6.2024.
- [2] Railway Gazette, Tibet railway opens to Xigaze, <https://www.railwaygazette.com/infrastructure/tibet-railway-opens-to-xigaze/39857.article>, pristupljeno: 25.6.2024.
- [3] Kineska tibetanska mreža, <http://www.tibet.cn/>, pristupljeno: 25.6.2024.
- [4] XINHUANET, Bullet train debitirao na novoj pruzi u Tibetu, http://www.xinhuanet.com/english/2021-06/25/c_1310028200.htm , pristupljeno: 25.6.2024.
- [5] China Tibet Tour, Qingzang Railway Stations, <https://www.chinatibettrain.com/qingzang-railway-stations.htm>, pristupljeno: 25.6.2024.
- [6] ElectricianProf, Qinghai tibetanska željeznica, <https://electricianprof.ru/hr/the-fuse-box-is/cinhai-tibetskaya-zheleznaya-doroga-cinhai-tibetskaya-zheleznaya/>, pristupljeno: 25.6.2024.
- [7] GulistanNews, China plans to construct railway to Tibet along LAC, <https://gulistannewstv.com/china-plans-to-construct-railway-to-tibet-along-lac-disputed-aksai-chin/>, pristupljeno: 25.6.2024.
- [8] TibetVisita, Top 5 Statistics You Do Not Know About Tibet Railway, <https://www.tibettravel.org/qinghai-tibet-railway/facts.html> , pristupljeno: 25.6.2024.
- [9] IV. Building an Ecology-Friendly Railway Line — the Qinghai-Tibet Railway, <http://www.china.org.cn/e-white/20030324/IV.htm> , pristupljeno: 25.6.2024.
- [10] ChinaHighlights, The Qinghai-Tibet Railway — Highest Railroad in the World, <https://www.chinahighlights.com/tibet/qinghai-tibet-railway.htm>, pristupljeno: 25.6.2024.
- [11] Tibet Policy Institut, Environmental Impacts of Tso-ngon – Lhasa Railway (Ch: Qinghai-Tibet Railway) in Tibet, <https://tibetpolicy.net/environmental-impacts-of-tso-ngon-lhasa-railway-in-tibet/> , pristupljeno: 25.6.2024.
- [12] ReserchGate, Construction techniques, https://www.researchgate.net/figure/Construction-techniques-applied-in-the-Qinghai-Tibet-Railway-in-permafrost-regions-d_fig2_267818166---RailwayConstructionTechniquesAdaptingtoClimateWarminginPermafrostRegions, pristupljeno: 25.6.2024.
- [13] The Constructor, Qinghai-Tibet: The longest and Highest Railway in the world, <https://theconstructor.org/case-study/qinghai-tibet-longest-highest-railway/440112/>, pristupljeno: 15.6.2024.
- [14] The Solutions and Practical Results for Permafrost Engineering Problems of Qinghai -

Tibet Railway, pristupljeno: 10.6.2024.

[15] Advancing Earth And Space Sciences, Seismic Activities and Earthquake Potential in the Tibetan Plateau,

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cjg2.20133>, pristupljeno: 10.6.2024.

[16] National Geographic, Man Made Marvels The Worlds Highest Railway; video,

<https://www.nzgeo.com/video/man-made-marvels-the-worlds-highest-railway/>,

pristupljeno: 25.6.2024.

[17] ScienceDirect, Scientific problems and research proposals for Sichuan–Tibet railway tunnel construction,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2467967421000969>, pristupljeno: 25.6.2024.

[18] The Qinghai–Tibet Railway: A landmark project and its subsequent environmental challenges Yinghong Qin ■ Bo Zheng , pristupljeno: 25.6.2024.

[19] en.people.cn., Qinghai-Tibet Railway, world's highest and longest plateau railroad (8),

<http://en.people.cn/n3/2016/0701/c90000-9079977-8.html>, pristupljeno: 25.6.2024.

[20] Tibet Facts And Figures, Eco-environmental Protection of the Qinghai-Tibet Railway,

[http://www.china.org.cn/china/tibetfactsandfigures/2008-](http://www.china.org.cn/china/tibetfactsandfigures/2008-04/28/content_15025655.htm)

[04/28/content_15025655.htm](http://www.china.org.cn/china/tibetfactsandfigures/2008-04/28/content_15025655.htm) , pristupljeno: 25.6.2024.

[21] Why Qinghai Tibet Train Extraordinary - Facts and Features of Tibet Train,

<https://www.tibettour.org/tibet-train-tours/facts-and-features.html> , pristupljeno:

25.6.2024.

[22] China Tibet Train Tours, Tibet Train: The Specially Designed Oxygen Train along the

World Highest Railway, <https://www.chinatibettrain.com/oxygentrain.htm> , pristupljeno:

25.6.2024.

[23] ResearchGate, Map of the Qinghai-Tibetan Plateau,

https://www.researchgate.net/figure/Map-of-the-Qinghai-Tibetan-Plateau-left-and-an-elevation-cross-section-from-the_fig1_225730595 , pristupljeno: 25.6.2024.

[24] CGTN, Bullet trains start operation in Xining-Golmud section on Qinghai-Xizang

Plateau, [https://news.cgtn.com/news/2023-07-01/Bullet-trains-debut-in-Xining-](https://news.cgtn.com/news/2023-07-01/Bullet-trains-debut-in-Xining-Golmud-section-on-Qinghai-Xizang-Plateau-1I4PGWuOiQg/index.html)

[Golmud-section-on-Qinghai-Xizang-Plateau-1I4PGWuOiQg/index.html](https://news.cgtn.com/news/2023-07-01/Bullet-trains-debut-in-Xining-Golmud-section-on-Qinghai-Xizang-Plateau-1I4PGWuOiQg/index.html), pristupljeno:

25.6.2024.

POPIS SLIKA

Slika 7 QT željeznica povezuje gospodarski značajne gradove (Izvor: [5])

Slika 8 Qinghai-Tibet željeznica kao najviša na svijetu (Izvor: [6])

Slika 9 Visinski profil QT željeznice od Golmude do Lhase (Izvor: [11])

Slika 10 BEIJING (2016) – slika prikazuje vlak koji putuje Qinghai-Tibet željeznicom u Tibetanskoj autonomnoj regiji (Izvor: [13])

Slika 11 Shematski prikaz načina kako posteljica hladi (Izvor: [12])

Slika 12 Termosifoni (Izvor: [12]).

Slika 7 Konstrukcijske tehnike primjenjene na željeznici Qinghai-Tibet u regiji permafrosta. A) Toplinski piloti, B) Ploče za zasjenjivanje, C) Ventilacijske cijevi, D) Nasip obložen drobljencem, E) Kamene obloge u bazi nasipa, F) Most umjesto nasipa (Izvor: [12])

Slika 8 Ventilacijske cijevi (Izvor: [9])

Slika 9 Termalni režimi u nasipu bez (lijevo) i s ventilacijskim sistemom (desno) (Izvor:[12])

Slika 10 Varijacije temperature tla ispod desne i lijeve strane nasipa gdje je na lijevo prikazan drobljenac, a desno, utjecaj kamenih blokova (Izvor: [12])

Slika 11 Različiti načini slaganja drobljenca u nasipu (a) Cijela posteljica od drobljenca (b) kao baza nasipa; (c) Kao obloga nasipa; (d) Oblik slova U. (Izvor: [12])

Slika 12 Suhi most kojim se izbjegava kontakt kolosjeka i permafrosta (Izvor: [8]).

Slika 13 Lokacije sa postavljenim mjerачima na traci QT željeznice (Izvor: [14])

Slika 14 Poprečni presjek nasipa sa rasporedom uređaja za praćenje deformacija i temperatura (Ma Wei) (Izvor: [14])

Slika 15 Promjena temperature tla ovisno o dubini mjereno na lijevoj i desnoj strani nasipa (Izvor:[14]).

Slika 16 A) Kolaps u tunelu, B) Pukotine na sloju mlaznog betona, C) Izvinuti potporni lukovi, D) Pukotine u oblaganju (Izvor: [17])

Slika 17 A) Ulazak vode u tunel, B) Ulazak vode kroz bočne zidove, C) Nagomilavanje vode na posteljici, D) Blokiranje drenažnog sustava pojavom leda (Izvor: [17]).

Slika 18 Svladavanje visinskih razlika gradnjom mostova. Most Snachache (Izvor: [16]).

Slika 19 Tibetanske antilope kreću se pored QT željeznice u rezervatu Hoh Xil (Izvor: [18])

- Slika 20** Dokument koji potpisuje svaki putnik prije puta kojima potvrđuju uvjete putovanja (Izvor: [22])
- Slika 21** Ventil za kisik unutar vagona (Izvor: [22]).
- Slika 22** Pumpica za kisik kojom se služe putnici prilikom putovanja na određenim visinama (Izvor:[22]).
- Slika 23** Promjene u nadmorskim visinama duž trase QT željeznice (Izvor: [23]).
- Slika 24** Najnovija trasa Lhasa-Nyingchi (Izvor: [24]).
- Slika 25** Brzi vlak na dionici Lhasa – Nyingchi (Izvor: [24]).
- Slika 26** Željeznički most Zangmu u planinama Tibeta, jugozapad Kine (Izvor: 24]).
- Slika 27** Brzi vlak na testnoj vožnji na stanici u Xiningu, 29. Lipnja 2023. (Izvor: [24]).
- Slika 28** Qinghai-Tibetska željeznica. Fotografija: Lonely Planet

POPIS TABLICA

Tablica 3 Kumulativne deformacije lijeve i desne bankine locirane u regiji toplog nestabilnog permafrosta (Izvor: [14])

Tablica 4 Prikaz izmjerenih deformacija tla. Podaci dobiveni s uređaja za praćenje (Izvor:[14])