

UDK 624.192.004.68

Primljeno 26. 11. 2009.

Modernizacija tunela Učka

Gordana Tomašević

Ključne riječi

tunel Učka,
izgradnja,
upotreba,
tehnički elementi,
modernizacija,
koncesionar Bina-Istra,
Direktiva 2004/54/EC

Key words

Učka Tunnel,
construction,
use,
technical elements,
modernisation,
concessionary Bina-Istra,
Directive 2004/54/EC

Mots clés

Tunnel d'Učka,
construction,
utilisation,
éléments techniques,
modernisation,
concessionnaire Bina-Istra,
Directive 2004/54/EC

Ключевые слова

туннель Учка,
строительство,
эксплуатация,
технические элементы,
модернизация,
концессионер Бина-Истра,
Директива 2004/54/EC

Schlüsselworte

Tunnel Učka,
Ausbau,
Benutzung,
technische Elemente,
Modernisierung,
Konzessionär Bina - Istra,
Direktive 2004/54/EC

G. Tomašević

Stručni rad

Modernizacija tunela Učka

U radu je opisana povijest tunela Učka od ideje o gradnji do konačne izgradnje i dugogodišnje upotrebe. Ističe se da je to bio dugi niz godina najdulji tunel u Hrvatskoj, sve do nedavno. Prikazani su tehnički elementi tunela Učka, a u nastavku se detaljno opisuju mjere i zahvati koji su urađeni da bi se ispunili zahtjevi Europske unije izraženi u Direktivi 2004/54/EC. Istaknute su aktivnosti koje je koncesionar Bina-Istra poduzimao u osuvremenjivanju tog važnog prometnog objekta.

G. Tomašević

Professional paper

Modernisation of Učka Tunnel

The history of Učka Tunnel, from the first ideas about its realization, to the final construction and long period of use, is described in the paper. It is emphasized that it had been for many years, in fact until recently, the longest tunnel in Croatia. Technical elements of Učka Tunnel are presented, and measures taken to meet EU requirements specified in Directive 2004/54/EC are described in full detail. A particular emphasis is placed on activities undertaken by the concessionary Bina-Istra to modernise this significant transport facility.

G. Tomašević

Ouvrage professionnel

La modernisation du Tunnel d'Učka

L'histoire du Tunnel d'Učka, depuis les premières idées sur son réalisation, à la construction et la longue période de son utilisation, est décrite dans l'ouvrage. Il est souligné que ce tunnel a été au cours de nombreuses années, à jusqu'à récemment, le plus long tunnel de Croatie. Les éléments techniques du Tunnel d'Učka sont présentés, et les mesures prises pour satisfaire aux exigences de l'UE spécifiées dans la Directive 2004/54/EC sont décrites de manière détaillée. Un accent tout particulier est mis sur les activités faites par le concessionnaire Bina-Istra afin de moderniser cet ouvrage souterrain important.

Г. Томашевич

Отраслевая работа

Модернизация туннеля Учка

В работе описана история туннеля Учка от идеи о строительстве до его многолетней эксплуатации. Подчеркивается, что в течение длительного периода, вплоть до недавнего времени, этот туннель являлся самым длинным туннелем в Хорватии. Показаны технические элементы туннеля Учка с последующим подробным описанием мер и работ, которые были проведены с целью выполнения требований Европейского Союза, содержащихся в Директиве 2004/54/EC. Указываются виды деятельности, предпринятые концессионером туннеля Бина-Истра по модернизации этого важного транспортного объекта.

G. Tomašević

Fachbericht

Modernisierung des Tunnels Učka

Im Artikel beschreibt man die Geschichte des Tunnels Učka von der Idee des Bauens bis zum endgültigen Ausbau und langjähriger Benutzung. Es wird hervorgehoben dass es durch eine lange Reihe von Jahren, bis unlängst, der längste Tunnel in Kroatien war. Dargestellt sind die technischen Elemente des Tunnels Učka, und fortsetzend beschreibt man detailliert die Massnahmen und Eingriffe um die Anforderungen der EU aus der Direktive 2004/54/EC zu erfüllen. Hervorgehoben sind die Tätigkeiten die der Konzessionär Bina - Istra bei der Modernisierung dieses wichtigen Verkehrsobjekts unternahm.

Autor: **Gordana Tomašević**, dipl. ing. građ., Bina-Istra d.d., Savska cesta 106/IV, Zagreb

1 Uvod

Pune 22 godine tunel Učka je bio najdulji tunel u Hrvatskoj s 5.062 m, sve dok ga 2003. nije 'pretekao' Sveti Rok dug 5.727 m. Danas je najdulji tunel u Hrvatskoj Mala Kapela, s 5.780 m, otvoren za promet 2005.

Od ideje do konačne realizacije tunela Učka proteklo je mnogo vremena, uložen je golemi trud i angažman stručnjaka raznih profila; urbanista, ekonomista, projektanta, izvođača, ali i svih onih građana čiji je zajednički san bio povezivanje našeg najvećeg poluotoka s Rijekom odnosno s hrvatskim zaleđem i tadašnjom Jugoslavijom.

Prve aktivnosti na organizaciji izgradnje započinju sedamdesetih godina prošloga stoljeća kada je Istarska zajednica općina osnovala Koordinacijski odbor za izgradnju tunela te organizirala raspisivanje javnog zajma za osiguranje financijskih sredstava. Osnovano je i poduzeće „Učka“ iz Pazina, sa zadatkom da pripremi dokumentaciju za izgradnju tunela Učka.



Slika 1. Ulaz u tunel Učka s istarske strane

Projekt tunela izrađen je 1972. u IGH, Zagreb, glavni projektant Ivan Banjad, dipl. ing. Nakon odluke o gradnji slijede probne bušotine, a paralelno su se gradile prilazne ceste i vijadukti, vododopskrba i elektronapajanje u dovoljnom opsegu za potrebe tunela u uporabi. Ugovor o izgradnji tunela sklopljen je 1976. s GP Hidroelektra iz Zagreba i Konstruktorom iz Splita. Iste je godine zapo-

čeo iskop: na kvarnerskoj strani izvodio ga je Konstruktor, a Hidroelektra na istarskoj strani tunela. Proboj tunela u punom profilu dovršen je 1978. Uslijedila je izrada betonske obloge, uređenje portalnih površina i ugradnja opreme [1].



Slika 2. Tunel Zrinščak II

Valja dodati da se iza portala tunela Učka s istarske strane (slika 1.) nalaze: poluvijadukt duljine 94 m, tunel Zrinščak II (slika 2.), duljine 45 m, vijadukt Vela Draga duljine 124 m i tunel Zrinščak I, duljine 196 m. Slijedi usjek koji nadsvoduje impozantna upravna zgrada Centra upravljanja tunelom, cestarinski prolaz i velika platforma s parkirališnim prostorima (slika 3.). Kada se govori o radovima na tunelu Učka, uvijek se podrazumijevaju i radovi i na navedenim malim tunelima.



Slika 3. Istarski portal

Tunel Učka svečano je pušten u promet 27. 9. 1981.

2 Tehnički elementi tunela Učka

Tunel Učka izveden je u pravcu, a ulazni i izlazni dijelovi su u krivini radijusa 1400 m odnosno 1000 m. Visinski je položaj oba portala na koti 495 m n.m. a niveleta je u obostranom nagibu od 0,4 % prema sredini tunela gdje doseže 505 m n.m. Visina nadsloja je 550 m.

Tunel je jednocijevni s dvosmjernim prometom, širine kolničkih trakova 2 x 3,75 m + 2 x 0,8 m pješačkog hod-

nika (iznad nadsvođenog betonskog energetskog kanala s obje strane). Ploština svijetlog otvora je 54 m², a iznad prometnog gabarita visine 4,5 m, za smještaj ventilatora nalazi se dodatnih 2,35 m, što ukupno čini visinu od 6,85 m od kolnika do tjemena tunela. Tunnel ima 3 okretišta i 1 ugibalište na sjevernoj strani te 4 ugibališta na južnoj strani.

Betonska obloga debljine je 30 cm, osiguranje iskopa provedeno je ugradnjom adhezijskih i *perfo-sidara* duljine 1,5 – 4,0 m i mlaznim betonom debljine 5-20 cm. U zonama procjeđivanja vode izvedena je hidrozolacija primjenom PVC folije debljine 1,5 mm sa zavarenim spojevima.

Poprečni nagib kolnika je dvostrešni prema središnjoj osi kolnika duž koje su smješteni slivnici i revizijska okna koja vodu s kolnika i iz bočnih drenaža vode u centralno smještenu kanalizacijsku cijev.

Voda za gašenje požara dolazi iz cijevi položene duž pješačkog hodnika na južnoj strani tunela.

Napajanje električnom energijom dolazi iz dva neovisna izvora - s kvarnerske i s istarske strane tunela [2].

Od 1981. godine do kolovoza 2009. kroz tunel je prošao 44,8 milijuna vozila, a prosječni godišnji dnevni promet (PGDP) u 2008. bio je 8260 vozila.

Tablica 1. Sigurnosne mjere u tunelu prema *Direktivi 2004/54/EC*

SAŽETAK MINIMALNIH ZAHTJEVA			Promet ≤ 2000 vozila/traku		Promet > 2000 vozila po traku			Dodatni uvjeti da bi provedba bila obvezna, ili napomene
			500-1000 m	>1000 m	500-1000 m	1000-3000 m	>3000 m	
Strukturne mjere	Dvije tunnelske cijevi ili više	§2.1						obvezno kad 15-godišnja prognoza pokazuje da će promet biti > 10 000 vozila/traku
	Gradijenti ≤ 5 %	§2.2	*	*	*	*	*	obvezno, osim ako je zemljopisno nemoguće
	Nogostupi za slučaj nužde	§2.3.1 §2.3.2	*	*	*	*	*	obvezno kada nema zaustavnog traka, osim ako se uzima u obzir stanje iz točke 2.3.1. U postojećim tunnelima gdje nema zaustavnog traka niti nogostupa za nuždu moraju se poduzeti dodatne/pojačane mjere.
	Izlazi za slučaj nužde na najmanje svakih 500 m	§2.3.3 -§2.3.9	○	○	*	*	*	primjena izlaza za nuždu u postojećim tunnelima mora biti ocijenjena za svaki slučaj posebno
	Poprečne veze za hitne službe najmanje svakih 1500 m	§2.4.1	○	○/●	○	○/●	●	obvezno izvan tunela s dvije i više cijevi duljim od 1500 m.
	Prelazak razdjelnog traka izvan svakog portala	§2.4.2	●	●	●	●	●	obvezno izvan tunela s dvije i više cijevi gdje god je to zemljopisno moguće
	Ugibalište na najmanje svakih 1000 m	§2.5	○	○	○	○/●	○/●	obvezno u novim dvosmjernim tunnelima >1500 m bez zaustavnih trakova. Kod postojećih dvosmjernih tunela >1500 m: ovisno o analizi. I za nove i za stare tunele ovisno o dodatnoj iskoristivoj širini tunela.
	Odvodnja za zapaljive i toksične tekućine	§2.6	*	*	*	*	*	obvezno tamo gdje je dopušten prijevoz opasnih tereta.
	Požarna otpornost	§2.7	●	●	●	●	●	obvezno tamo gdje lokalno urušavanje može imati katastrofalne posljedice.

Legenda: ● obvezno za sve tunele ○ nije obvezno * obvezno uz iznimke ☉ preporučeno

3 Upravljanje tunelom Učka

Gospodarenje i upravljanje tunelom zajedno s cestom Matulji – Lupoglav, preuzela je 1981. u to vrijeme osnovana tvrtka RO Tunel Učka.

Republika Hrvatska i koncesionar, tvrtka Bina-Istra d.d., potpisali su 1995. ugovor o koncesiji za financiranje, izgradnju, upravljanje i održavanje „Jadranske autoceste“ s naplatom cestarine u duljini od 145 km na dionicama: Dragonja – Pula i Kanfanar-Pazin-Matulji. Republika Hrvatska unijela je u koncesiju već izgrađene dionice poluautoceste u duljini od 60 km, i to: Buje-Nova Vas i Medaki-Kanfanar (13 km), Matulji-Cerovlje s tunelom Učka (36 km) i Cerovlje-Rogovići (11 km).

Sukladno ugovoru o koncesiji, koncesionar je 1998. ugovorio s novoosnovanim društvom „Bina-Istra upravljanje i održavanje“ poslove upravljanja i održavanja autocestom i tunelom Učka.

4 Sigurnost tunela

4.1 Općenito

Zbog specifičnosti tunnelske građevine, ulazak u tunel kod ljudi može izazvati osjećaj tjeskobe, a u takvom ograničenom prostoru iziskuje se drugačije upravljanje prometom od onog na otvorenoj cesti; potrebna je prilagođena brzina, zabranjeno je pretjecanje u jednocjevnim tunnelima i sl.

Isto tako tunel zahtijeva veoma visok nivo sigurnosti, jer nesreće u tunelima, osobito požari, mogu prouzročiti dramatične posljedice.

4.2 Katastrofe u tunelima

Posljednjih godina prošlog stoljeća dogodilo se nekoliko nesreća u tunelima s katastrofalnim posljedicama: u Mont Blancu uslijed požara 39 ljudi je poginulo 1999., u požaru u tunelu Tauern u Austriji iste je godine poginulo 12 ljudi, 2000. godine 56 ljudi je stradalo u sudaru vlakova zupčaste željeznice na Zugspitze u Njemačkoj, a 155 ljudi u požaru u uspinjači Kaprun u Austriji. U St. Gotthard tunelu u Švicarskoj 2001. je stradalo 11 ljudi.

Osim najgorih posljedica od nesreća u tunelu, kao što su ljudski životi, katastrofe uzrokuju i goleme materijalne štete, nanijete upraviteljima tunela, državi, a prekid pro-

metnih pravaca reflektira se i na gospodarstvo cijeloga područja.

4.3 Odluka Europskog parlamenta i Vijeća EU

Navedene su nesreće dodatno potvrdile potrebu donošenja zajedničkog dokumenta zemalja članica EU o sigurnosti u tunelima. Još 1996. godine u Europskoj Zajednici donesena je Odluka o razvoju Trans-europske cestovne mreže (TERN), a Europski parlament i Vijeće Europske unije 29.4.2004. usvojili su *Direktivu* 2004/54/EC o minimalnim uvjetima sigurnosti za tunele u Transeuropskoj cestovnoj mreži (dalje u tekstu: *Direktiva*) [3].

Direktiva se primjenjuje na sve tunele koji su dulji od 500 m, neovisno o njihovoj starosti ili faznosti izgradnje. Ipak, za postojeće tunele, a mnogi su izgrađeni u sasvim drugačijim prorentim i tehničkim prilikama od

Tablica 2. Oprema tunela prema *Direktivi* 2004/54/EC

SAŽETAK MINIMALNIH ZAHTJEVA			Promet ≤ 2 000 vozila/traku		Promet > 2 000 vozila po traku			Dodatni uvjeti da bi provedba bila obvezna, ili napomene
			500-1000 m	>1000 m	500-1000 m	1000-3000 m	>3000 m	
Rasvjeta	Normalna rasvjeta	§2.8.1	●	●	●	●	●	
	Sigurnosna rasvjeta	§2.8.2	●	●	●	●	●	
	Rasvjeta za evakuaciju	§2.8.3	●	●	●	●	●	
Ventilacija	Mehanička ventilacija	§2.9	○	○	○	●	●	
	Posebni uređaji za (polu) poprečnu ventilaciju	§2.9.5	○	○	○	○	●	obvezno u dvosmjernim tunelima bez kontrolnog centra.
Stanice za hitne slučajeve	Najmanje svakih 150 m	§2.10	*	*	*	*	*	opremljene telefonom i 2 vatrogasna aparata. U postojećim tunelima je dopušten max. razmak od 250 m
Vodoopskrba	Najmanje svakih 250 m	§2.11	●	●	●	●	●	ako nije dostupno, obvezno osigurati dovoljno vode na drugi način.
Cestovne oznake		§2.12	●	●	●	●	●	za sve sigurnosne uređaje za korisnike tunela (vidi Anex III).
Kontrolni centar		§2.13	○	○	○	○	●	nadzor više tunela može biti centraliziran u jedan kontrolni centar.
Sustavi nadzora	Video	§2.14	○	○	○	○	●	obvezna u tunelima s kontrolnim centrom.
	Automatsko otkrivanje incidenata i/ili požara	§2.14	●	●	●	●	●	najmanje jedan od dva sustava je obvezan u tunelima s kontrolnim centrom.
Oprema za zatvaranje tunela	Prometni signali prije ulaza	§2.15.1	○	●	○	●	●	
	Prometni signali unutar tunela najmanje svakih 1000 m	§2.15.2	○	○	○	○	●	preporučuje se ako postoji kontrolni centar, a duljina prelazi 3000 m.
Komunikacijski sustavi	Radio emitiranje za hitne službe	§2.16.1	○	○	○	●	●	
	Hitne radio poruke za korisnike tunela	§2.16.2	●	●	●	●	●	obvezno tamo gdje se radio program emitira za korisnike tunela i gdje postoji kontrolni centar.
	Zvučnici u skloništim i izlazima	§2.16.3	●	●	●	●	●	obvezno gdje korisnici koji se evakuiraju moraju čekati prije nego što mogu izaći na otvoreno.
Opskrba energijom u nuždi		§2.17	●	●	●	●	●	za osiguranje funkcioniranja nužne sigurnosne opreme barem tijekom evakuacije korisnika tunela
Požarna otpornost oprema		§2.18	●	●	●	●	●	mora biti usmjerena održavanju potrebnih funkcija sigurnosti.

današnjih, predviđen je rok od 10 godina (s mogućnošću produljenja na 15 godina) za izradu analiza sigurnosti i usklađivanje propisa svake države s elementima *Direktive* EC te konačno i modernizaciju tunela u skladu s *Direktivom*.

Iako Hrvatska nije još postala članicom EU, investitori, projektanti i operateri tunela prihvatili su ovaj dokument i njime se rukovode pri projektiranju, izgradnji i opremanju novih tunela i modernizaciji postojećih [4].

U tablicama 1. i 2. prikazane su sigurnosne mjere sažete u Dodatku I *Direktive*.

U Dodatku II *Direktive* preporuke su vezane uz dokumentaciju o sigurnosti tunela.

Dodatak III *Direktive* navodi popis cestovne signalizacije, koja omogućuje međunarodno razumijevanje znakova.

5 Provjera sigurnosti tunela Učka

Prvu je provjeru sigurnosti tunela Učka koncesionar zahtijevao 1996. godine. Dobivena studija rezultirala je poduzimanjem organizacijskih mjera protupožarne službe i tehničkih mjera, vezanih uz opremu vatrogasaca i uređaja u tunelu. Program je proveden do 2005. godine, kada je koncesionar naručio novu kontrolu sigurnosti tunela, radi dobivanja preporuka o mjerama koje će podignuti razinu sigurnosti u tunelu.

Konzultanti su se pritom rukovodili *Direktivom*, Europskim sporazumom o međunarodnom cestovnom prijevozu opasnih tereta (ADR), Propisom RABT 02/2002 - Upute za upravljanje i opremanja tunela (Njemačka), Propisom RVS - Upute i propisi za cestogradnju (Austrija), Preporukama Stalnog međunarodnog udruženja cestovnih kongresa (PIARC) i drugim tematskim studijama.

Analizirani su svi elementi tunela, opremljenost opremom i sustavima, način upravljanja i organizacija protupožarnih aktivnosti. Učinjena je usporedba s navedenim elementima iz *Direktive*, izrađena analiza i predložene sigurnosne mjere koje su raspoređene po prioritetima kao: žurne mjere, koje treba provesti u roku od 1 godine, zatim mjere koje treba provesti u razdoblju od 3 godine i ostale mjere koje treba razmatrati i provesti u odgovarajućem razdoblju [5].

U nastavku je naveden pregled sigurnosne opreme instalirane u tunelu Učka, s osvrtom na poboljšanja koja su preporučena u navedenoj Studiji.

6 Sustavi u funkciji upravljanja tunelom Učka

6.1 Napajanje električnom energijom

Opskrba električnom energijom osigurana je iz dva neovisna izvora napajanja: kabelom od 20 kV iz TS Lovran, s kvarnerske strane, te kabelom od 20 kV iz TS Vranja, s istarske strane tunela.

Dvije trafostanice se nalaze izvan tunela (TS1 Kvarner i TS8 Istra), a duž tunelske cijevi visokonaponski kabeli provedeni su u energetske kanal ispod pješačke staze i napajaju 6 trafostanica.

U slučaju prekida oba napajanja, postoji sigurnosno napajanje putem diesel električnog agregata, koji se uklapa radom uređaja za neprekidno napajanje (UPS). Sigurnosno napajanje omogućuje rad Centra upravljanja, daljinskih stanica (DAS), SOS sustava, dojave požara, video nadzora i pumpe za podizanje tlaka u hidrantskoj mreži.

Cijelom duljinom tunela položen je trak za uzemljenje, a 2005. godine obnovljena je gromobrnska instalacija na svim građevinama i povezana na temeljni uzemljivač.

Studija obnove energetske napajanja tunela naručena je 2009. Ona predviđa novo rješenje energetike tunela Učka, zbog povećanih potreba za el. energijom, dodatnu sigurnost, a obuhvaća i budući razvoj.

6.2 Rasvjeta

Stara rasvjeta tunela bila je ostvarena putem svjetiljaka niskotlačnog natrija ugrađenih duž tjemena svoda sa po dvije žarulje u jednoj svjetiljci, svaka spojena na drugu energetske mreže, tako da se u slučaju kvara na jednoj mreži tunel osvjetljava iz druge mreže. U prilagodnim zonama svjetiljke su ugrađene na bočne zidove tunela. Upravljanje iz Centra ostvareno je regulatorom rasvjete automatski ili ručno. Svjetiljke se napajaju iz ormara rasvjete lociranih duž tunela na razmacima od 300 m.

Zbog dotrajalosti električnih instalacija, rasvjeta je obnovljena 2005. godine. Zadržan je sustav postojećeg napajanja do razdjelnika rasvjete, kabeli su zamijenjeni novim, teškogorivim kabelima od razdjelnika do svjetiljaka. Ugrađene su nove visokotlačne natrijeve svjetiljke, ali u postojećem rasteru - na međusobnoj udaljenosti od 12 m (slika 4.). Nove svjetiljke osnovnog niza na



Slika 4. Obnova rasvjete

stropu tunela imaju po dvije žarulje snage 2 x 100 W u sredini tunela, a u prilagodnim zonama tunela jačine se smanjuju od 600 W (na ulazu u tunel) do 100 W (u unutarnjoj zoni). Mjerenja luminancije pokazala su rezultate od 175 cd/m² u prilaznoj zoni te luminanciju od 6 cd/m² u unutarnjoj zoni tunela, koliko iznosi i zahtijevana veličina luminancije prema publikaciji CIE 88/90. Opća jednolikost luminancije, parametar koji se provjerava u tunelu, veći je od 60 %, koliko je i propisano za tunele ove duljine.

Sustav sigurnosne rasvjete sastoji se od svake treće žarulje u svjetiljci osnovnog niza, spajanjem naizmjenično na različit izvor napajanja. Sigurnosni sustav podrazumijeva i rasvjetu u okretištima tunela i to putem fluoizvora svjetlosti radi trenutačnog uključivanja rasvjete i s „emergency“ modulom u sebi. Rasvjeta u ugibalištima uključuje se također daljinski i to samo u slučaju potrebe.

Za potrebe upravljanja i nadgledanja rasvjete, rabi se sustav daljinskog upravljanja kojim se može upravljati i pratiti rad sustava [6].

6.3 Sustav daljinskog upravljanja (SDU)

SDU je tehnička cjelina koja nadzire i upravlja radom svih sustava u tunelu: energetikom, ventilacijom, prometnom signalizacijom, videonadzorom, automatskom detekcijom incidenata, dojavom požara, SOS- sustavom, vodospremom, sustavom neprekidnog napajanja (UPS). Ovaj sustav preuzima i obrađuje nekoliko tisuća signala i omogućuje operaterima koji su smješteni u Centru upravljanja praćenje prometa i sigurnosnih uvjeta, te rada opreme i uređaja u tunelu i upravljanje njima (slika 5.).



Slika 5. Operater u centru upravljanja

Prvotno instaliran sustav znatno je unaprijeđen 1997. opremom u Centru upravljanja, a tijekom 2005. izvedeni su kompleksni radovi na rekonstrukciji daljinskih stanica (DAS) u tunelu i u Centru upravljanja i zamjena pripadajuće opreme. Tri su daljinske stanice smještene u tunelu, a dvije u Centru upravljanja. One čine bazu sus-

tava daljinskog upravljanja preuzimanjem signala iz pojedinih sustava u tunelu, obradom tih signala i upućivanjem u Centar upravljanja gdje se ti signali dalje procesuiraju. Pri nadogradnji izvedena je prstenasta komunikacijska mreža koja povezuje daljinske stanice, čime je u slučaju kvara na mreži omogućen oporavak mreže u intervalu od 0,3 sekunde. Prstenasta je veza osigurana postojećim optičkim kabelima u energetskom kanalu s obje strane tunela do Centra upravljanja [7].

Izmjenom sustava daljinskog upravljanja izmijenjena je i SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), paket programa za nadzor sustava uvedenih u tunel. SCADA omogućava vizualizaciju parametara, kako bi operateri na računalima i na monitorima mogli pratiti i kontrolirati rad sustava i intervenirati prema potrebi.

6.4 Ventilacija

U uvjetima normalnog odvijanja prometa, ventilacijski sustav smanjuje razinu zagađenja zraka u tunelu uzrokovano cestovnim vozilima. Pri požarnom incidentu, ventilacijski sustav treba u prvoj fazi brzo stabilizirati zračnu struju u cilju stratifikacije dima (zadržati ga ispod tunelskog svoda) te omogućiti intervenciju vatrogasne službe i evakuaciju korisnika, a potom kontrolirano odimljavati tunel u željenom smjeru.



Slika 6. Grupa ventilatora s dodatnim sigurnosnim ovješnjem

Tunel Učka opremljen je uzdužnim mehaničkim ventilacijskim sustavom koji se sastoji od 48 grupa, svaka sa po 3 ventilatora (slika 6.). Po 24 grupe ventilatora raspoređene su s obje portalne strane tunela, u duljini od po 1700 m, dok se u središnjoj trećini tunela ne nalaze ventilatori. Ugrađeni ventilatori nemaju mogućnosti promjene smjera djelovanja, pa 24 grupe djeluju u smjeru kvarnerskog portala, a 24 grupe djeluju u smjeru istarskog portala. Time najviše 24 grupe (odnosno 72 ventilatora) mogu istodobno pročišćavati zrak u jednom smjeru. Međutim, nisu u uporabi sve grupe u normalnim uvjetima zagađenja, a zabilježen je tek jedan incidentni slučaj

1981. godine kada je istodobno djelovalo 14 grupa (odnosno ukupno 42 ventilatora).

Kvalitetu zraka u tunelu mjere senzori i to: brzinu i smjer strujanja zraka, vidljivost i koncentraciju CO. Njihovi signali predaju se lokalnim daljinskim stanicama (DAS) smještenim u tunelskim nišama, odakle se optičkim kabelom prenose u Centralni sustav daljinskog upravljanja tunelom, gdje se očitavaju informacije o stupnju onečišćenja zraka. Na temelju dobivenih pokazatelja, operater bi uključivao ventilacijske grupe radi pročišćavanja zraka, prema empirijski ustanovljenim protokolima.

Krajem 2006. naručena je Studija ventilacije radi unapređenja sustava. Skupina autora angažirana na izradi Studije prikupila je podatke o postojećoj opremi, ispitala sustav i projektirala modernizaciju postojeće opreme, kako ventilacijske, tako i one usko vezane uz nju [8]. U sklopu unapređenja sustava ventilacije učinjena su sljedeća poboljšanja u tunelu:

- Povećan je broj *senzora* za mjerenje brzine i smjera strujanja zraka, postojeći su modernizirani i ugrađeni novi senzori za mjerenje vidljivosti i koncentracije CO.
- *Sustav akvizicije podataka* dobivenih sa senzora je izmijenjen, tako da su skraćeni intervali prikupljanja signala.
- Modernizirana je *komunikacijska mreža* za prijenos signala s prihvatnih stanica do Centra upravljanja ugradnjom optičkih kabela.
- U Centru upravljanja ugrađeno je novo centralno računalo, tzv. *master PLC (Programmable logic controller)*, koje prikuplja signale sa svih sustava, obrađuje ih i njima upravlja. Dva su takva uređaja ugrađena u redundantnoj konfiguraciji, da bi bio uvijek osiguran rad tog 'pametnog' računala, ako se jedno pokvari, drugo preuzima sve funkcije.
- Omogućeno je *pojedinačno upravljanje ventilatorima* (prije bi se uključila sva 3 u grupi). Razlog promijenjenog načina upravljanja je potreba da se u prvoj fazi požara umiruje zračna struja radi stratifikacije dima, što je moguće finom rezolucijom upravljanja.
- Primjena *softvera za automatsko upravljanje ventilacijom* u normalnom režimu rada uslijedila je nakon preinaka upravljanjem ventilatorima,
- Sve predranje za *primjenu softvera za automatsko upravljanje ventilacijom u incidentnim situacijama* su dovršene, pa slijedi njegova realizacija.

Na taj način cilj operatera da raspolaže potpuno automatiziranim sustavom ventilacije u svim uvjetima u tunelu bit će ostvaren.

Moguće su i daljnje dorade, kao što je priprema *scenarija i algoritama za postupanje u tipičnim situacijama*, pristup temeljen na već primijenjenim procedurama upravljanja (tzv. DSM, engl. *Decision Support Models*), koji omogućuje automatizaciju svih postupaka koje oprema dopušta, čime se ljudske greške svode na najmanju mjeru.

6.5 Dojava požara

Prvi sustav dojava požara tunela sastojao se od točkastih javljača požara. Odluku o ugradnji novog sustava koncesionar je donio 2007. godine.

Osnovna zadaća sustava za dojavu požara je brzo i pouzdano alarmiranje s preciznom informacijom o lokaciji požara u tunelu, čime se omogućuje trenutačno pokretanje propisanih procedura i kvalitetna intervencija vatrogasne službe.

Moderno rješenje automatske dojava požara podrazumijeva polaganje linearnoga senzorskog kabela s laserski protjecanim optičkim vodičem. Optički senzorski kabel mjeri gradijent temperature i maksimalnu zadanu temperaturu, omogućuje detekciju požara unutar sektora od 4 m te smjer i brzinu njegova napredovanja.

Prednost je ovog kabela velika otpornost na atmosferilije i agresivne sredine, elektromagnetske utjecaje, fizičke udare, vibracije i slično, uz male troškove održavanja. Kabel je postavljen uzduž tunelske cijevi, uz centralnu os u tjemenu cijevi.

Senzorski kabel detektira požar u tunelskoj cijevi, dok točkasti automatski javljači reagiraju na požar u trafostanicama, prostoriji za UPS, centralama dojava požara i SOS nišama. Ručni javljači požara za korisnike tunela nalaze se u nišama kraj SOS-aparata. Svi oni upućuju signale pripadajućoj centrali dojava požara (ima ih 4), koje omogućuju indikaciju požara na licu mjesta, a signale putem optičke niti prenose u Centar upravljanja.

Putem senzorskog kabela učitava se i temperaturni profil u tunelu, podatak koji je napose važan pri predviđanju kretanja dima i donošenja odluka o taktici gašenja požara [9].

U Centru upravljanja instaliran je nadzorni sustav dojava požara, kojim se kontroliraju centrale dojava požara i dobiva pregled dojavnih zona. Signaliziranjem alarma, aktiviraju se kamere najbliže mjestu dojava, u Centru se oglašava zvučni alarm, na računalu se dobiva zona dojava i točna adresa javljača, a na monitorima slika s mjesta dojava.

Ovaj sustav pušten je u rad 2009. godine.

6.6 Videosustav praćenja i automatsko otkrivanje incidenata

Stari video nadzor tunela Učka sastojao se od 40 kamera na tunelskom svodu, spojenih na sustav SCADA.

Bina-Istra je 2008. godine uvela novi video sustav i automatsku detekciju incidenata (engl. *Automatic Incident Detection -AID*).

Uvođenje inteligentnih videosustava potaknuto je željom operatera da trenutačno otkrije incidentne situacije u tunelu. Videosustav kontinuirano prenosi slike ciljanih dijelova tunela u Centar upravljanja, a zapisi se pohranjuju, kako bi se mogli pretraživati. AID-sustav otkriva incidentnu situaciju, obrađuje podatke i informacije prosljeđuje operateru u Centru upravljanja. U tunelu Učka detektiraju se:

- dim u tunelu
- zaustavljeno vozilo u tunelu
- prepreke na kolniku (pješač, ispali teret...)
- neočekivano male brzine kretanja vozila
- otkrivanje vožnje u suprotnom smjeru (pretjecanje)
- rasuti teret.

Zbog visokih zahtjeva za učinkovitost sustava ugrađene su 83 kamere, od čega 75 kamera s video- strojnom detekcijom, 6 kamera u okretištima tunela te po jedna kamera s rotacijom i *zoomom* na portalnim zonama tunela. Vidna se polja susjednih kamera kojima automatski otkriva incident se preklapaju, čime se isključuju tzv. "mrtve zone".

Zbog velikog broja novih signala na AID-u, trebalo je ugraditi jednu novu daljinsku stanicu, koja preuzima i očitava sve signale iz video detekcije.

Pri otkrivanju incidenta, kamera automatski šalje alarmni signal Sustavu daljinskog upravljanja (SDU), koji signal obradi, pa ga kao videoalarm prosljeđuje na određeni monitor. Od 20 monitora u Centru upravljanja 12 njih služi za prikaz incidentnih situacija, a 8 za stalno praćenje prometa. Na velikom, središnjem monitoru vidi se jednostavan prikaz matrice AID, tako da je svakoj kameri dodijeljen broj u stupcima, a nazivi 6 alarma su poredani u recima. Svjetlo na poziciji kamere koja je uočila incident će bljeskati, a alarm će popratiti i zvučni signal. U jednoj grupi od po 3 monitora na videozidu prikazat će se incidentna situacija i to s tri kamere najbliže incidentu.

Pri uvođenju ovoga novog sustava, izveden je i rezervni centar upravljanja u zgradi vatrogasne postrojbe na kvarnerskoj strani tunela Učka (slika 7.). Ovdje je ugrađeno 6 monitora koji omogućuju praćenje prometa u tunelu.



Slika 7. AID rezervni centar kod vatrogasne postrojbe

Videosustav automatske detekcije incidenta povezan je i sa SOS-sustavom, sustavom prijave požara i detekcijom vozila u ugibalištima i okretištima. Pojavom bilo kojeg od tih alarma, uključuje se kamera koja snima dio tunela u kojem je ustanovljen alarm, a istodobno se pojavljuje i prikaz na videozidu. Operater potom pravodobno poduzima daljnje radnje radi otklanjanja posljedica incidenta [10]. Ovime je znatno povećana sigurnost sudionika u prometu u tunelu.

6.7 Radio komunikacija

Sustav radiodifuzije ostvaruje radio vezu dviju ili više radiostanica unutar tunela te vezu radiostanica u tunelu sa vanjskim radiostanicama.

Prvenstvena namjena ovog sustava je radioveza službi održavanja tunela, radioveza s policijom, vatrogascima, hitnom pomoći i Državnom upravom za zaštitu i spašavanje (112) u tunelu i izvan njega.

Važan je i prijenos javnih FM radioprograma unutar tunela (u Učki se re-emitiraju: HRT-HR 2, Radio Istra i Radio Rijeka).



Slika 8. obavijest o radijskim frekvencijama u tunelu

Sustav radiodifuzije u tunelu Učka uveden je 2007. godine. Sastoji se od centralne RF stanice smještene u upravnoj zgradi tunela kao centru sustava, putem koje se uspostavljaju veze između radiostanica unutar tunela i njihova komunikacija s vanjskim radiomrežama.

U tunelu su izvedene pojačivačke podstanice, kako bi se osigurao jak i ravnomjerno raspoređen signal svim korisnicima, a za distribuciju signala unutar tunela rabi se zračni kabel, koji prenosi FM, UHF i VHF signale (slika 8.). Pojačivačke podstanice spojene su na zračni kabel, a optičkim kabelom s centralnom RF stanicom u Centru upravljanja.

Ovdje operater raspoložuje upravljačkom konzolom te ima mogućnost prekida radio emitiranja kako bi u slučaju potrebe priključenjem na FM pojačalo putem mikrofona uputio informaciju korisnicima tunela u slučaju nužde. Usporedno s audiosignalom, postoji i mogućnost slanja predefinirane digitalne informacije, tzv. RDS (*Radio Data System*), koja se može očitati na zaslonu radiouređaja [11].

6.8 Stanice za hitne slučajeve - SOS

Stanice za hitne slučajeve sadrže telefon za hitne slučajeve i dva vatrogasna aparata. Telefonski SOS pozivni sustav omogućuje korisnicima u slučaju nezgode komunikaciju s operaterom u Centru upravljanja.

Rekonstrukcijom sustava koja je izvedena 2007. godine, na postojećih 38 lokacija stari su uređaji zamijenjeni novima. K tome su novi aparati ugrađeni i između postojećih, tako da razmak između dva susjedna SOS telefona sada iznosi 150 m (prema *Direktivi*).

Na novim pozicijama uređaji su ugrađeni direktno na betonsku oblogu tunela. Pozivni uređaji su vizualno naglašeni, sa svjetlećim piktogramom u obliku telefonske slušalice na prednjoj ploči. Sigurnost korisnika uređaja nije ugrožena, jer je aparat dizajniran tako da korisniku nameće položaj kojim je bočno okrenut prema kolniku, pa može pratiti odvijanje prometa u tunelu. Kriterij dobre čujnosti pri visokoj razini buke u tunelskoj cijevi zadovoljen je ugrađivanjem mikrofona koji anulira vanjske zvukove. Pritiskom tipkala pozivnog uređaja, upućen je poziv operateru, koji nakon uspostavljanja veze informaciju o nezgodi može po potrebi prenijeti dalje putem radiostanice ili telefonske mreže.

U Centru upravljanja nalazi se upravljački pult kojim operater upravlja sustavom. Osim uspostavljanja komunikacije s korisnikom, operater na grafičkom prikazu vidi trenutačno stanje cijelog sustava.

Tijekom svake uspostavljene veze snima se audio zapis u memoriju radne stanice, a sustav ga sprema s točnim vremenom početka i trajanjem. Zapisi su pohranjeni u bazi podataka i mogu se pretraživati i preslušavati [12].

Pri ugradnji novih SOS-uređaja na pozicije između postojećih, na zahtjev Inspektorata unutarnjih poslova MUP-a, uz svaki aparat na novoj poziciji postavljen je i ormarić s dva vatrogasna aparata (slika 9.). Podizanjem PP aparata aktivira se alarm vezan za sustav dojave požara, koji u Centru upravljanja signalizira poziciju na kojoj se ova radnja događa.



Slika 9. Novi SOS telefon i niša s PP aparatima

Poštovana je preporuka projektanta tunela da se u betonsku oblogu ne zadire više od 20 cm dubine pri izvedbi niša i pripadajućeg betonskog nadvoja. Izvoditelj radova točno je izrezao oblogu za konture budućih niša i nadvoja, a hidrorazaranjem betonske obloge izveo potrebnu dubinu, čime su negativni učinci intervencije u postojećem betonu svedeni na minimum, korektno je izvedena hidroizolacija i ugrađeni ormarići za protupožarne aparate.

6.9 Prometna signalizacija

Postojeća prometna oprema i signalizacija bile su zastarjele i nisu odgovarale tehničkim i sigurnosnim suvremenim zahtjevima pa je 2008. godine ugovoren projekt njihove obnove, kojim je obuhvaćena zamjena postojeće dinamičke prometne signalizacije i opreme u tunelima Učka i Zrinščak I, na cestarskim prolazima i portalnim površinama na istarskoj i kvarnerskoj strani tunela te dopuna novom dinamičkom signalizacijom i opremom u skladu sa zahtjevima Direktive.



Slika 10. Montaža displeja na istarskom portalu

Projektirani su lokalni upravljački uređaji standardnih dimenzija, njihova komunikacija sa znakovima i displejima unutar tunela ostvarena je optičkom niti, odvojene su komunikacijske trase i upravljanja znakovima i uređajima, a promjenjiva signalizacija izvodi se u LED tehnologiji.

Postavljaju se i informacijski displeji, koji odgovarajućim pisanim porukama obavještavaju vozače o trenutnom stanju prometa, odnosno raspoloživosti tunela (slika 10.). Ove poruke pružaju vozaču osjećaj sigurnosti i pouzdanosti tunela, a u izvanrednim prilikama informiraju kako izbjeći incidentne situacije. Na ulaznim zonama tunela postavljaju se 'markeri' za razdvajanje smjerova vožnje u tehnici bijelih LED po središnjoj osi u asfaltu.

Modernizacija cestarskih prolaza rješava se ugradnjom displeja s obavijesti o vrsti naplate, a signali voznog traka usmjeravaju promet određenim voznim trakom. Rekonstruirana se sustav za mjerenje visine vozila [13].

Sustav promjenljive prometne signalizacije je integriran u sustav daljinskog upravljanja tunelom, a njegova modernizacija jednoznačno informira vozače, čime se povećava sigurnost sudionika u prometu.

7 Organizacija radova pri uvođenju novih sustava

Svi navedeni radovi na izmjenama postojećih sustava ili uvođenju novih odvijaju se noću, između 22:00 i 6:00



Slika 11. Radovi na 1 prometnom traku

sati. Pri tome promet u tunelu nikada nije obustavljan, nego teče prema posebnoj regulaciji po jednom prometnom traku, dok se radovi izvode zauzećem drugog prometnog traka (slika 11.). Operator iz Centra upravljanja organizira izmjenu smjera odvijanja prometa u tunelu naizmjeničnim propuštanjem vozila u tunel. Ovdje je iskorištena povoljna okolnost reguliranog ulaza vozila u tunel radi pozicioniranja naplatnih kućica na portalnim zonama tunela. Zahvaljujući dobroj organizaciji posla prijelaz sa starih na modernizirane sustave tekao je bez

problema i sigurno, pri čemu korisnici tunela ne trpe značajne zastoje u prometu, osim kraćih čekanja na naplatnim postajama noću.

8 Zaključak

U proteklih tridesetak godina od izgradnje i puštanja u promet tunela Učka do danas obavljani su značajni poslovi na modernizaciji i podizanju razine opremljenosti ovoga važnog tunela.

I slijedom uvjeta iz *Direktive* u tunelu su načinjena bitna i opsežna poboljšanja, mada je do potpunog zadovoljenja propisanih kriterija potrebno poduzeti još aktivnosti. Naglašavan je nedostatak poprečnih veza za hitne službe u incidentnim situacijama.

Počevši od 1995. brigu o financiranju novih projekata vodi koncesionar Istarskog ipsilona, Bina-Istra d.d., dok operater; društvo Bina-Istra upravljanje i održavanje održava i upravlja tunelom.

Stručnjaci ovog društva „žive s tunelom“, neki i od njegovih najranijih dana, vodeći računa o sigurnosti i udobnosti vožnje koju treba pružiti korisnicima. Njihova aktivnost od neprocjenjive je pomoći projektantima i izvođačima radova prilikom uvođenja novih sustava. Na to ukazuju mnogi projektanti, koji se prilikom odabira ulaznih parametara pri projektiranju novih rješenja često služe empirijskim podacima prikupljenim u službi održavanja, kao i sugestijama njenih stručnjaka. Dragocjenu pomoć operateri pružaju i pri izvođenju radova i probnom radu pri prelaska sa starog na novi režim rada.

Na koncu valja istaknuti kako je u tijeku izrada Studije o utjecaju na okoliš za izgradnju punog profila dionice istarskog ipsilona od Rogovića do Matulja, u sklopu koje se nalazi i druga cijev tunela Učka.

Prema optimističnoj varijanti, dovršetak izgradnje druge cijevi tunela Učka predviđen je 2015. godine.

LITERATURA

- [1] *Učka-cestovni tunel*, izdavač: Istarska naklada Pula, Pula-Pazin (1981), predsjednik ur. odbora Črnja, Z.
- [2] *Istarski ipsilon*, nakladnik Bina-Istra d.d., Zagreb (2001), glavni urednik Ladavac, A.
- [3] *Directive 2004/54/EC of the European Parliament and the Council of 29.4.2004. on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network*, Official Journal of the European Union, Volume 47 (2004)
- [4] *Pravilnik o minimalnim sigurnosnim zahtjevima za tunele*, NN 119/2009 (stupit će na snagu danom pristupanja Republike Hrvatske Europskoj uniji)
- [5] Vergnault, J. M.; Boncour, A.: *Safety Audit of the Učka Tunnel*, Setec Tpi, Pariz (2006)
- [6] Kranjec, M.; Perušić, Lj.: *Projekt električne instalacije napajanja svjetiljaka tunela Učka*, IPT Inženjering, Zagreb (2005)
- [7] Krepela, M.; Jakopović, V. i drugi: *Projekt rekonstrukcije SDU*, Exor, Zagreb (2005)
- [8] Drakulić, M.; Lozica, M.; Herve, F.; Binacchi, M. i drugi: *Studija ventilacije tunela Učka*, Brodarski institut i Setec Tpi, Zagreb (2007)
- [9] Lozica, M.: *Vatrodajava tunela Učka*, Brodarski institut, Zagreb (2008)
- [10] Vujović, Z.; Martinović, A.: *Projekt video sustava*, Promel projekt, Zagreb (2007)
- [11] Cimaš, B.: *Sustav radio difuzije tunela Učka*, TEB inženjering, Zagreb (2006)
- [12] Palac, N.: „SOS sustav tunela Učka“, Telefon-gradnja, Zagreb (2007)
- [13] Bukvić, I.; Vuković, Z. i drugi: *Prometno-tehnički projekt tunela Učka*, Promel-projekt, Zagreb, (2008).