

# ceste i mostovi

GLASILO HRVATSKOG DRUŠTVA ZA CESTE - VIA VITA

CIM god. 55. br. 4-6 (str. 1-184), Zagreb, srpanj/prosinac 2009.  
UDK 625.7:624.2/8 > CODEN CSMVB2 > ISSN 0411-6380

# ceste i mostovi

GLASILO HRVATSKOG DRUŠTVA ZA CESTE - VIA VITA

**HRVATSKE  
CESTE d.o.o.**



za upravljanje, gradenje i održavanje državnih cesta  
Voncimina 3  
10000 Zagreb  
Hrvatska



- Prostorna, prometna, tehnička i ekonomska istraživanja i analize
- Programiranje i planiranje razvitka javnih cesta, ukupno projektiranje za državne ceste
- Projektiranje sa istražnim radovima te izrada stručne podloge za lokacijsku dozvolu za autoceste
- Gradjenje državnih cesta
- Održavanje državnih cesta
- Upravljanje državnim cestama
- Organiziranje financiranja i financiranje gradjenja državnih cesta
- Provedba mjera za zaštitu cesta i sigurnost prometa
- Zaštita okoliša od utjecaja prometa na državnim cestama
- Praćenje prometnog opterećenja i prometnih tokova na javnim cestama
- Vodenje jedinствene banke podataka o javnim cestama



Foto: Uroš Derenda  
Plakat: Uroš Derenda

**ceste i mostovi**  
ROADS AND BRIDGES  
IZDAVAČ / PUBLISHER  
**HRVATSKO DRUŠTVO ZA CESTE - VIA VITA**  
Zagreb, Voncimna 3

**PREDSJEDNIK / PRESIDENT**  
Željko Vrvoda  
tel. 01/47 22 605 fax 01/47 22 607  
E - mail: cim@hdc - via - vita.hr  
ceste - i - mostovi@zg.hinet.hr  
www/hdc - via - vita.hr

MB 3280004  
**IZDAVAČKI SAVJET / PUBLISHER BOARD**  
Predsjednik / Publishing Director  
Aleksa Ladačac

**Članovi / Members**  
Mate Jurišić, Zdravko Duplancić, Frane Vrkljan,  
Josip Šapunar, Ivan Banjad, Đuro Podvezanec,  
Luka Miličić, Mate Salaj

**UREDNIŠTVO / EDITORS**  
Urednički odbor / Editorial Board  
Glavni odgovorni urednik / Editor - in - Chief  
Miroslav Keller  
Izvršni urednik / Executive Editor  
Bruno Profača  
Grafički urednik / Layout Editor  
Dragutin Novak

**Članovi uredničkog odbora / Members of Editorial Board**  
Mario Crnjak (prostorno i prometno planiranje),  
Mario Erceji (projektiranje), Goran Puž (gradenje), Baldo Bakarić (održavanje), Matja Glad (zimska služba), Željko Schwäbe (cestovni kolonci i asfaltna tehnologije),  
Zlatko Šavor (cestovni objekti), Stanislav Pavlin (aerodromi), Mladen Gledec (promet), Vladimir Golencić (informatički sustavi i ITS), Branimir Pačković (tehnička regulativa), Bojan Vvoda (zaštita okoliša), Gordana Miličković (ekonomske analize), Miloš Martinić (legislativa),  
Eduard Kušeni (hrvatska cestovna baština i estetika cesta)

**PRETPLATA**  
Pojedinci 260 kn, poduzeća 1 200 kn (nije uračunat PDV)  
Za inozemstvo: pojedinci 90 eura, tvrtke 175 eura

**OGLASAVANJE**  
Unutarnja omotnica: 1/2 stranice 1.500 kn,  
1/1 stranica 2.500 kn-Unutarnja u boji: 1/1 stranica  
3.000 kn, unutarnja omotna (b) 1/1 stranica 3.750 kn,  
zadnja omotna (b) 1/1 stranica 5.500 kn.  
Za inozemstvo: unutarnja 1/1 stranica 800 eura,  
unutarnja 1/2 stranice 500 eura, 1/4 stranice 300 eura

ŽIRO RAČUN: ZABA 236000 - 1101356175

**GRAFIČKO OBLIKOVANJE I PRIPREMA ZA TISAK**  
N DESIGN, Bjelovar

**TISAK**  
Vjesnik d.d. Zagreb

**NAKLADA**  
1.400 primjeraka

# cestei mostovi

## SADRŽAJ - CONTENTS

**5** **UVODNIK -**  
**EDITORIAL**  
**UVODNA RIJEČ GLAVNOG UREDNIKA**  
**LEADER EDITORIAL**

**6** **PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE -**  
**PLANNING AND PROJECTING**  
**Ivana Burić, dipl.ing.grad.**  
**ANALIZA DINAMIČKE STABILNOSTI OBJEKTA U**  
**USLJED UTJECAJA VJETRA**  
**ANALYSIS OF DYNAMIC STABILITY OF STRUCTURES**  
**EXPOSED TO WIND**



**16** **GRADNJA I ODRŽAVANJE CESTA -**  
**ROAD CONSTRUCTION AND PRESERVATION**

**Marko Jerinić, dipl.ing.grad.,**  
**Milena Anzulović-Boban, dipl.ing.grad.**  
**OBILAZNICA VELIKE GORICE SA SPOJNOM CESTOM**  
**NA DRŽAVNU CESTU D408**  
**VELIKA GORICA BYPASS WITH CONNECTION**  
**TO NATIONAL ROAD D408**

**22** **Velimir Lacković, ing. grad.**  
**Zdravko Čimbola, dipl. ing. grad.**  
**Tomislav Hojsak, dipl. ing. grad.**  
**PRIMJENA ADITIVA BITUMENU TIPA CWM U**  
**HRVATSKOJ**  
**THE USE OF CWM BITUMEN ADDITIVE IN CROATIA**

**28** **Zdeslav Karlovac,**  
**dipl.ing.geologije**  
**TEHNOLOGIJE**  
**MINIRANJA KOD**  
**ISKOPA TUNELA**  
**MINING**  
**TECHNOLOGIES IN**  
**TUNNEL EXCAVATION**



**36** **Mario Medved, ing.**  
**DAN TEHNOLOGIJE TEGRE D.O.O.**  
**A DAY OF TECHNOLOGY OF TEGRA D.O.O.**

**40** **MOSTOVI -**  
**BRIDGES**

**Prof.emer.dr.sc. Ivan Tomičić, dipl.ing.grad.**  
**OGRAĐENJE RASPUCAVANJA HRPTA**  
**SANDUČASTIH PREDNAPETIH NOSAČA MOSTOVA**  
**RESTRAINED CRACKING IN PRESTRESSED BOX GIRDERS**

**44** **AERODROMI -**  
**AIRPORTS**

**Maja Halle, dig., Barbara Popović, dig.,**  
**mr.sc. Željko Schwabe,dig.**  
**POJAČANO ODRŽAVANJE ASFALTNOG KOLNIKA**  
**UZLETNO-SLETNE STAZE U ZRAČNOJ LUCI ZAGREB**  
**PERIODIC MAINTENANCE OF ASPHALT PAVEMENT ON**  
**RUNWAYS IN ZAGREB AIRPORT**

**52** **GESTOVNI PROMET -**  
**ROAD TRANSPORT**

**Prof.dr. Mladen Gledec dipl.ing.**  
**PROGRAM**  
**UVODENJA**  
**BICIKLISTIČKOG**  
**SERVISA U GRADU**  
**ZAGREBU**  
**PROGRAMS FOR**  
**BICYCLE SERVICE IN**  
**ZAGREB**



**60** **Zvonimir Piliћ, Milan Stanković, Tomislav Piliћ**  
**STANJE SIGURNOSTI PROMETA NA NAPLATNIM**  
**POSTAJAMA AUTOCESTA**  
**ROAD SAFETY ON MOTORWAY TOLL PLAZAS**

**66** **ZASTITA OKOLIŠA -**  
**ENVIRONMENT**

**Sandra Wolf Kramarić, dipl.ing.grad.,**  
**Bojan Vivoda, dipl.ing.geologije**  
**UTJECAJ AUTOCESTE RIJEKA – ZAGREB NA**  
**STANIŠTA VELIKIH ZVJERI.**  
**IMPACTS OF RIJEKA-ZAGREB MOTORWAY**  
**ON HABITATS OF WILD BEASTS**

**72** **Branika Marija Horvat dipl.ing.sig.**  
**ZAŠTITA OKOLIŠA NA ŽUPANIJSKIM CESTAMA**  
**ZAGREBAČKE ŽUPANIJE**  
**ENVIRONMENTAL PROTECTION**  
**ON COUNTY ROADS IN ZAGREB COUNTY**

**77** **EAPA**

**“POTICANJE RECIKLIRANJA I PONOVNE**  
**UPOTREBE STAROG ASFALTA”**  
**“INCENTIVES TO RECYCLING AND REUSE OF**  
**ASPHALT PAVEMENTS”**

**82**

**GESTOVNA BAŠTINA -**  
**ROAD HERITAGE**

**Tomislav Šolić,**  
**tekst i snimke**  
**POVIJESNE CESTE**  
**OŠTARJSKIH**  
**PRJEVOJA**  
**HISTORIC ROADS OF**  
**OŠTARJE PASS**



**90**

**SAVJETOVANJA I KONGRESI -**  
**CONFERENCES AND CONGRESSES**

**Jadranka Juriša, dipl.ing.grad.,**  
**direktorica GIU Hrvatski cestar**  
**U ŠIBENIKU ČETVRTO HRVATSKO**  
**SAVJETOVANJE O ODRŽAVANJU CESTA**  
**THE FOURTH CROATIAN CONFERENCE ON ROAD**  
**MAINTENANCE IN ŠIBENIK**

**96** **OKRUGLI STOL**

**Moderatori: dr.sc. Sadržko Mandžuka, dipl.ing.el., Miroš**  
**Martinić, dipl.iur., Tim Dumbović, dipl.ing.grad.**  
**PROBLEMI STRUČNOG USAVRŠAVANJA IZ**  
**PODRUČJA ODRŽAVANJA CESTA**  
**PROBLEMS IN TRAINING FOR ROAD MAINTENANCE**

**98** **OKRUGLI STOL**

**Moderatori: Josip Škorić,dipl.ing.grad., Stjepan Bogović,**  
**dipl.ing.grad., Boris Raus, ing.grad.**  
**PRAVILNIK O ODRŽAVANJU I ZAŠTITI JAVNIH**  
**CESTA – NUŽNE IZMJENE I DOPUNE**  
**ORDINANCES ON MAINTENANCE AND PROTECTION OF**  
**PUBLIC ROADS – NECESSARY AMENDMENTS**

**104** **Hrvoje Rukavina, dipl.ing.grad.**

**OSVRT NA STRUČNE RADOVE KONGRESA**  
**REVIEW OF CONGRESS PAPERS**

**112** **U PULI ODRŽANO STRUČNO SAVJETOVANJE**  
**HRVATSKOG DRUŠTVA ZA CESTE VIA VITA**  
**STIGRNOST PROMETA NA CESTAMA HRVATSKE**  
**- AKTUALNO STANJE I PLANOVI ZA RAZDOBLJE**  
**2010 – 2015 .**

**ROAD SAFETY IN CROATIA – CURRENT STATUS AND**  
**PLANS FOR 2010-2015**

**PRENOSIMO IZ ZBORNIKA O ODRŽAVANJU CESTA**

**116** **Katarina Kozina, Martina Usijehrka**

**SREDNJOEUROPSKI KONGRES O BETONSKOJ**  
**GRADNJI – BADEN I MARIJANSKE LAZNI**  
**CENTRAL EUROPEAN CONGRESS ON CONCRETE**  
**ENGINEERING, BADEN AND MARIANSKE LAZNI**



Mr. sc. Miroslav Keller, dipl. ing. grad.  
Glavni i odgovorni urednik

U želji da ova godina ipak ne bude "crna" godina hrvatske cestogradnje, svim našim čitateljima želim uspješnu 2010. godinu.

160 **Dr.sc. Darko Mlinarić, voditelj** Sekcije za međunarodnu suradnju  
MEĐUNARODNE AKTIVNOSTI HRVATSKOG DUŠTVA  
ZA CESTE VIA VITA U 2008./2009. GODINI  
INTERNATIONAL ACTIVITIES OF CROATIAN ROAD  
SOCIETY VIA VITA IN 2008/2009

164 **PRAVILNIK O DODJELI  
NAGRADE "STJEPAN LAMER"**

166 **HRVATSKA UDRUGA KONCESIONARA -  
HUKA**  
**Branika Bajčić, dipl. inženjer, koordinator** Udruge HUKA  
HRVATSKA UDRUGA KONCESIONARA ZA  
AUTOCESTE S NAPLATOM CESTARINE (HUKA)  
MEĐUNARODNE AKTIVNOSTI U 2009. GODINI  
CROATIAN ASSOCIATION OF CONCESSION  
MOTORWAY OPERATORS (HUKA)  
INTERNATIONAL ACTIVITIES IN 2009

170 **RAZGOVOR -  
INTERVIEW**

**Prof. dr.sc. Ivan Dadić, dekan** Fakulteta prometnih znanosti  
MOJA ZNAMSTVENA OTKRICA  
PROISTIČU IZ PRAKTIČNE  
SVAKODNEVNE  
MY SCIENTIFIC DISCOVERIES  
STEM FROM DAILY LIFE  
EXPERIENCES  
**Razgovaraoc: Bruno Profača**  
**Snimio: Dražen Pajtlar**



176 **HOMMAGE -  
HOMMAGE**

**Dr.sc. Darko Mlinarić**  
MIHAJLO STREŠNJAK, JEDAN OD POKRETAČA  
CESTOVNOG RAZVIJKA U SLAVONIJI I BARANJI  
MIHAJLO STRESNJAK, A PROMOTOR OF ROAD  
DEVELOPMENT IN SLAVONIA AND BARANJA

184 **KNJIGE I ČASOPISI -  
BOOKS AND JOURNALS**

**Dr. Mladen Gledec**  
ZAŠTO NA CESTAMA POSTOJE CRNE TOČKE  
WHY DO WE HAVE BLACK SPOTS ON ROADS?

120 **Katarina Kozina**  
DANI OVLASTENIH INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA  
(HKIG) U OPATJIJI  
DAYS OF CERTIFIED CIVIL ENGINEERS (HKIG) IN OPATJIA

122 **Mr.sc. Miroslav Keller, dipl.ing.grad.**  
KONFERENCIJA ASPHALT RUBBER 2009. U  
NANJINGU, NR KINA  
ASPHALT RUBBER CONFERENCE 2009. NANJING, CHINA

126 **U CAVTATU - PETI HRVATSKI KONGRES O CESTAMA  
2011. - "STRATEGIJA ODRŽIVOG RAZVOJA"**  
THE FIFTH CROATIAN ROAD CONGRESS IN CAVTAT 2011.

128 **PRENOSIMO -  
FROM OTHER SOURCES**

**Miloš Martinić**  
ODRŽAVANJE CESTA I ZAŠTITA DIVLJAČI NA CESTAMA  
ROAD MAINTENANCE AND PROTECTION OF WILD GAME  
ON ROADS

136 **DingXin Cheng, R. Gary Hicks, California**  
PROMOVIRANJE PRIMJENE ASFALTA S  
DODATKOM GUME KROZ EDUKACIJU  
PROMOVING ASPHALT RUBBER APPLICATION THROUGH  
EDUCATION

142 **CESTOPISLI -  
ROAD REPORTS**

**Bruno Profača, urednik-novinar**  
PARIZ, "METROPOLA  
SVJETLOSTI" S 36  
ČAROBNIH MOSTOVA  
PARIS, "THE CITY OF  
LIGHTS" WITH  
36 WONDERFUL BRIDGES



150 **IZ BADA HRVATSKOG DRUŠTVA  
ZA CESTE - VIA VITA**

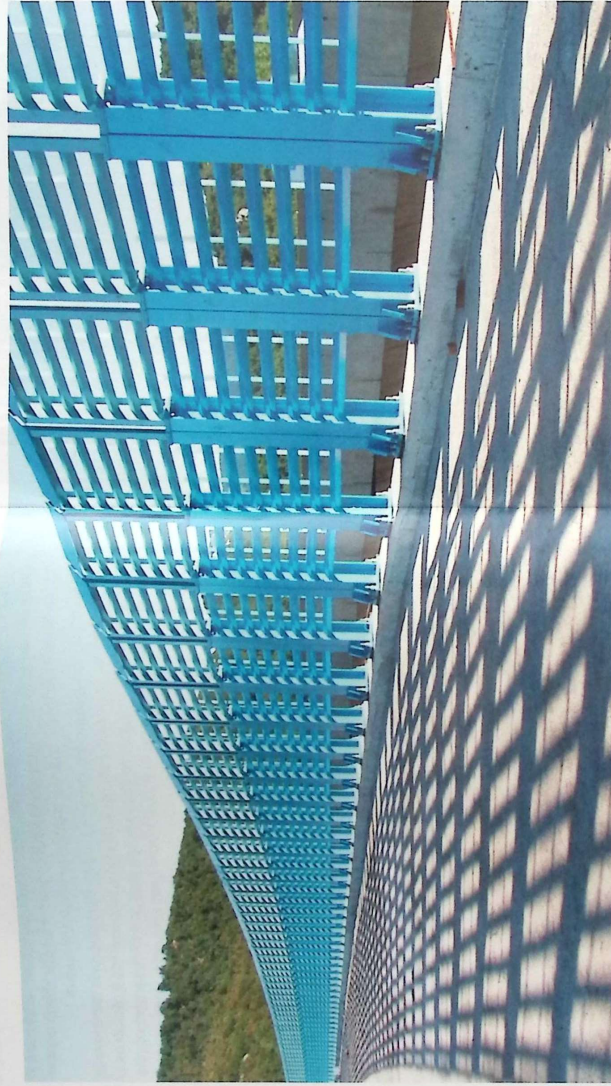
**Mr.sc. Miroslav Šimun**  
GODIŠNJA  
SKUPŠTINA  
DRUŠTVA  
ZA CESTE  
ZAGREB - VIAVITA



158 **Melita Milković, dipl.ing.grad.**  
U POŽEGI ODRŽANA OSMA SJEDNICA  
UPRAVNOG ODBORA HRVATSKOG  
DRUŠTVA ZA CESTE VIA VITA  
EIGHT MEETING OF MANAGEMENT BOARD OF  
CROATIAN ROAD SOCIETY VIA VITA HELD IN POŽEGA

Ivana Burić, dipl.ingrad.

# ANALIZA DINAMIČKE STABILNOSTI OBJEKATA USLIJED UTJECAJA VJETRA



Slika 1. Čelični zid za zaštitu od bure

## 1. Uvod

Već tijekom gradnje vijadukata poluautoceste Rijeka - Zagreb graditelji su se suočili sa problemima izazvanim jakim burom. Jaka bura, silovitim udarima, naročito u zimskom dijelu godine, povremeno je ugrožavala promet poluautocestom na dijelu od naplate u Grobničkom polju do ulaza u tunel «Luhobič» do te mjere da je dionica poluautoceste zatvarana za promet, koji se tada preusmjeravao na staru državnu cestu Zagreb-Rijeka.

Projektom dopune na puni profil autoceste, za koji je 2006. godine dobivena građevinska dozvola, u skladu s projektnim zadatkom, nije predviđena zaštita prometa autocestom od bure. U navedenom projektu lijevi kolnik punog profila poklapa se s kolnikom postojeće poluautoceste, a novi, desni kolnik punog profila točno i visinski definiran je u vrijeme gradnje poluautoceste izvedenim zemljanim radovima trase budućeg dešnjeg kolnika autoceste i u njoj izgrađenim uporištima vijadukata i podvožnjaka.

No, zbog mogućih velikih financijskih gubitaka zbog zatvaranja prometa, naknadno je odlučeno ipak izvesti adekvatnu zaštitu, te je projektantima stavljen zadatak projektiranja istih. Na problem se naišlo već na samom početku zbog nedovoljnih i nepotpunih podataka o smjerovima i brzinama jake i olujne bure koja ometa promet na tom području.

Nakon niza analiza napravljenih na osnovi pretpostavki proizašlih iz raspoloživih podataka, uz primjenu Tehničkog propisa za betonske konstrukcije TPBK, propisanih računskih postupaka za proračun opterećenja vjetrom, na osnovi vjetrovne karte koja je sadržana u TPBK i usporedbom maksimalnih brzina vjetra izmjerenih na Krčkom i Masleničkom mostu sa brzinama vjetra zabliženim na anemografima «Bukova» i «Hreljina», pretpostavljene su mjerodavne brzine i za njih određena ekvivalentna zamjenjujuća kvazi-stalna opterećenja vjetrom. Smjerovi vjetra bili su teže rješiva nepoznanica, raspoloživi podaci bili su nedovoljni za usvajanje prihvatljivih pretpostavki. Bura je vjetar koji često mijenja br-

- HRN ENV 1991-2-4 iz svibnja 2005.
- HRN ENV 1991-3.
- HRN ENV 1993-2-4.
- EN DIN FACHBERICHT iz lipnja 2005.

Opterećenje vjetrom, prema svim navedenim propisima, može se odrediti dvama postupcima:

- **Pojednostavljeni postupak** koji se primjenjuje za konstrukcije koje su neosjetljive na dinamičku pobudu te se djelovanje vjetra uzima kao zamjenjujuće statičko opterećenje, koje se izračunava na temelju 10-minutne srednje brzine vjetra.
- **Detaljni postupak** koji se primjenjuje za konstrukcije za koje se očekuje da su osjetljive na dinamičku pobudu.

Provedenim statičkim računom dokazano je da proračunate konstrukcije, tj. svi objekti na dionici Kikovića-Ostrovnica, sa postavljenim burobranama ispunjavaju uvjete za pojednostavljeni postupak proračuna.

Djelovanje vjetra definira se mjerodavnom maksimalnom prosječnom 10-minutnom brzinom. Iz te brzine izračunava se odgovarajući aerodinamički tlak, odnosno kvazistatička sila kojom se u računima zamjenjuje djelovanje vjetra.

Određivanje mjerodavnog opterećenja izazvanog djelovanjem vjetra na navedene vijadukate tražilo je od projektanta izuzetan napor, jer se na osnovi nedovoljnih podataka o izmjerenim mjerodavnim brzinama nije moglo pristupiti proračunu. Mjerodavna 10-minutna brzina vjetra nije precizno definirana niti važećim propisima (TPBK), u njima su samo orijentaciono navedene vjetrovne zone.

U svim proračunima mehaničke otpornosti i stabilnosti opterećenje vjetrom zamjenjeno je kvazistalnim jednoliko raspoređenim opterećenjem što je daleko od istine kao i pretpostavljeno stacionarno strujanje vjetra.

Čak su i provedena ispitivanja u zračnom tunelu provedena u uvjetima koji su daleko bliži stacionarnom strujanju nego pravoj prirodi strujanja vjetra (određena veličina turbulencije može se u dolaznoj struji vjetra u tunelu izazvati grubijom rešetkom na ulaznom dijelu tunela što je u jednom dijelu eksperimenta i učinjeno).

U prirodi, strujanje vjetra je nestacionarno. Postupci proračuna utječaja nestacionarnog strujanja na građevine vrlo su mlada naučna disciplina, izuzetno su složeni i skupi, traže specijalnu računalnu opremu i složene i teško dostupne programe te se provode samo za iznimno velike i na oscilacije jako osjetljive građevine. Ti postupci proračuna potpadaju u mladu naučnu disciplinu (labelelasticitet) i obično je da nije opravdana njihova primjena na građevine promatrane dionice autoceste.

Strujanje vjetra je turbulentno, što znači izrazito nestacionarno strujanje u kojem sve komponente polja brzine i polje tlaka pokazuju slučajne fluktuacije gledano u vremenskoj i prostornim koordinatama.

## 3. Odabir konstrukcije

Stručnjaci Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Katedre za fluide, angažirani su na odabiru oblika zaštite kojom se postiže maksimalna efikasnost redukcije vjetrovnog djelovanja. Nakon odabira optimalnog oblika zaštite na osnovi numeričkog računa, provedeno je ispitivanje (provjera) na modelu u visokotlačnom tunelu «Crnac» u Italiji.

znu i smjer. Maksimalno opterećenje na vijadukate proizvodi vjetar koji puše okomito na izložene plohe konstrukcije, te je za proračun usvojen smjer vjetra okomit na vijadukate.

Područje zaštite je prostor iza zaštitnog zida u kojem ne dolazi do znatnog odvajanja vrtloga, u kojem je strujanje pravilno, a reducirane ukupne brzine vjetra prihvatljivih veličina.

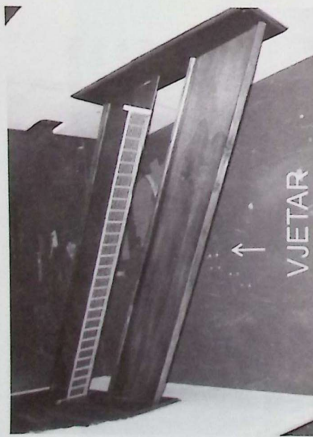
Maksimalna učinkovitost zaštite postiže se za vjetar okomit ili približno okomit na zaštitni zid uz uvjet da puše otprilike horizontalno. Manja skretanja od opisanih smjerova ne mijenjaju značajno efikasnost zaštite. Može se smatrati da je ostvareni stupanj zaštite otprilike konstantan za otklon horizontalnog kuta do  $\pm 30^\circ$  od okomice na točnu liniju zida i do vertikalnog otklona za  $\pm 15^\circ$  prema horizontali.

Uz te pretpostavke, raspoloživo vrijeme za izradu projekata, finansijske mogućnosti, te provedene numeričke račune usvojeno je rješenje zaštite od bure u obliku tzv. zidova što su u biti perforirane stijene čiji će oblik biti naveden kasnije.

Numerički račun za odabir oblika zaštite kojom se postiže maksimalna efikasnost redukcije vjetrovnog djelovanja proveden je od strane stručnjaka Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, katedre za fluide, na modelima vijadukata Hreljin i Bukovo.

## 2. Opterećenje vjetrom

Proračun burabrana i utječaja burabrana na građevine (vijadukate i podvožnjake), dokaz sigurnosti i stabilnosti proveden je u potpunosti i u skladu s Tehničkim propisima za betonske konstrukcije od 29. srpnja 2005. sa obaveznom primjenom od 01. srpnja 2006. godine.



Slika 2. Model vijadukta Hreljin

Naručitelj je definirao fiksnu visinu vjetrobrana od 5 m, a iz tehnoloških razloga je odabrano da će vjetrobran biti izrađen iz horizontalno postavljenih jednakokrakih L profila.

Projektom razrađen čelični burobrani dimenzija cca 2,5 x 5,0 m sastoji se od dva dijela, donjeg visine 2,7 m i gornjeg nazivne visine 2,0m. Horizontalne prigušne leve donjeg i gornjeg panela su jednake. To su jednakokraki kutnici «L 100x6»mm, orijentirani tako da je oštrica usmjerena prema nadolazećoj buri (konkavna strana okrenuta je prema kolniku).

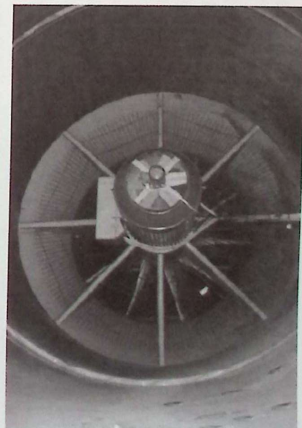
Stupovi panela su standardni valjani profili, donjeg panela «HEB320», gornjeg panela «PE300». Spoj dvaju panela standardni je montažni i izvodi se veznom pločom i vijcima V M 24mm. Zid završava otkepnicom. To je čelična lamela 500x8mm koja je sastavni dio gornjeg panela koja je oblikovana tako da pospiješ skretanje stujanja prema gore.

Svi elementi zida izvode se iz belika kvalitete S355J2G3. Pod zidom za zaštitu od bure podrazumijeva se kompletna čelična konstrukcija sastavljena od čeličnih burobrana, sidrenih vijaka, zaštitne obojnice ograde i zaštitnog plašta iznad armiranobetonskog sidrenog serklaža.

#### 4. Numerički proračun, CFD metoda

Ekperimentalna ispitivanja provedena su u zračnom tunelu s ciljem definiranja forme vjetrobranske ograde koja će osigurati maksimalnu zaštitu vozilima na autocesti Rijeka-Zagreb (vijadukt Hreljin i Bukovo) od djelovanja vjetra.

Jedan od početnih parametara za ispitivanja u zračnom tunelu je Studija zaštite dionica autoceste Rijeka-Zagreb od vjetra izrađena na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.



Slika 4. Ventilator zračnog tunela za generiranje graničnog sloja, CRMACV



Slika 3. Model vijadukta Bukovo

#### Matematički model - model turbulencije

Inženjerski pristup, koji se primjenjuje u navedenoj studiji, temelji se na rješavanju vremenski osrednjenih Navier-Stokesovih jednadžbi. U tom se pristupu proračunom dobivaju samo vremenski osrednjene brzine, a efekti pulsirajućeg dijela brzine se uzimaju u obzir kroz model turbulencije.

#### Ekperimentalna studija aerodinamičke forme cestovnih vjetrobrana

Modeli vijadukata Hreljin i Bukovo sa svim bitnim detaljima vjetrobransko su izrađeni u mjerilu 1:66. Modeli su izrađeni od drveta, a vjetrobranske leve od metala. Odnos širine modela (poprečno na kolnik) prema dužini modela (uzdužno uz kolnik) je pri svim mjerjenjima iznosio približno 1:3, čime su eliminirani utjecaji bočnih nosača modela. Mjerenja polja brzina su provedena približno na sredini vjetrobranske ograde, između dva stupa koji nose i učvršćuju vjetrobransku ogradu.

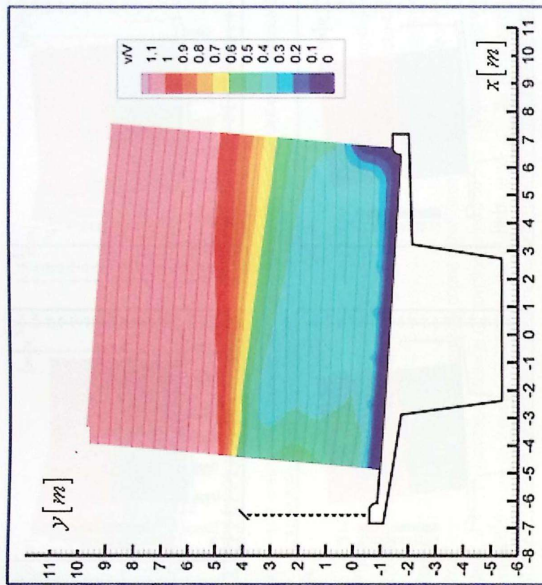
Korištenjem sustava PIV, Particle Image Velocimetry, (neinvazivna na laserska optička mjerna tehnika za istraživanja i dijagnostiku u područjima mehanike fluida, turbulencije...) izmjerene su osrednjene vrijednosti brzine na kolniku vijadukata koji će biti zaštićen vjetrobranskom ogradom.

Tunel je otvorenog tipa, a brzina stujanja zraka kroz mjernu sekciju se može regulirati variranjem kuta nagiba lopatica na rotoru ventilatora, kao i regulacijom brzine vrtnje ventilatora u području 0–35 m/s. Snaga ventilatora je 160 kW.

#### Pritom su varirani sljedeći parametri:

- horizontalni kut nastujavanja vjetra na vjetrobransku ogradu (0°, 15°, 30°, na vijaduktu Hreljin, pri fiksnom vertikalnom kutu vjetra 8°,
- vertikalni kut nastujavanja vjetra na vjetrobransku ogradu (0°, 5°, 10°), na vijaduktu Bukovo, pri fiksnom horizontalnom kutu vjetra 0°,
- turbulenta struktura vjetra (intenzitet turbulencije  $I_u = 1\%$ , 3,3% i 17%),
- poroznost vjetrobranske ograde (31%, 42% i 55%),
- visina vjetrobranske ograde (5m i 4m),
- orijentacija vjetrobranskih letvi ( $\rightarrow < i \rightarrow >$ ),
- visina otvora u donjem dijelu vjetrobranske ograde (bez jedne, dvije i tri donje letve).

Provedeno je mnogo ispitivanja kombiniranjem i variranjem svih pretpostavljenih vrijednosti navedenih parametara, no zbog nave-



Slika 6. Tipičan primjer prikaza rezultata mjerenja

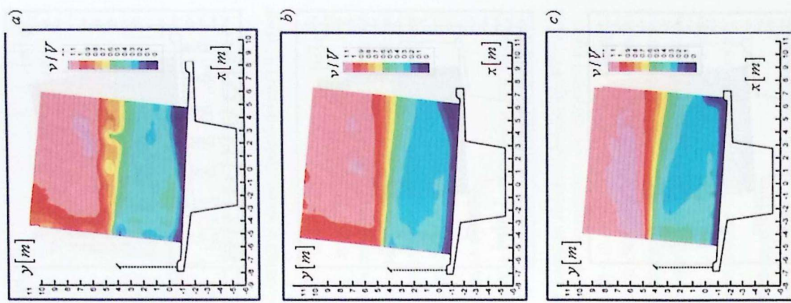
dene opsežnosti i time velikog broja dobivenih rezultata, a i tema rada nije izvještaj eksperimentalne studije jer je to zasebna tema, prikazati će se samo neke, u principu, konačne varijante.

#### Rekapitulacija rada

Apsolutne vrijednosti brzine su normirane s osrednjenim brzinama stujanja zraka u neporemećenoj struji uzvodno od modela danim u tablici 5.

Intenzitet turbulencije $I_u$ %	O srednjena brzina u m/s
1	19,37
3,3	17,1
17	11,66

Slika 5. Osrednjene vrijednosti brzine u neporemećenoj struji



Slika 7. Polje osrednjenih brzina na kolniku – poroznost 31%;  $I_u = 17\%$ ; horizontalni kut nastujavanja a) 30°, b) 15°, c) 0°

#### Utjecaj horizontalnog kuta vjetra:

S promjenom horizontalnog kuta nastujavanja vjetra na vjetrobransku ogradu u području od 0 do 30° ne oblaži do značajnih promjena iznosa osrednjenih vrijednosti brzine na kolniku (gledano u ravni osrednjenog vektora brzine vjetra).

Polja brzina (za prepreke su za sva 3 kuta u pravom području, što znači da je zaštita dovoljno dobra za sva 3 slučaja).

#### Utjecaj vertikalnog kuta vjetra:

Posebno je izražen prirast vrijednosti brzine s povećanjem vertikalnog kuta nastujavanja. Kod vertikalnog kuta nastujavanja 0° brzine su minimalne, a maksimalne su kod kuta 10°. U pojedinim konfiguracijama na identičnim pozicijama na kolniku su vrijednosti brzine gotovo dvostruko veće pri kutu nastujavanja