

Konstrukcija trijema u Zračnoj luci Split-Kaštela

Jure Radnić, Domagoj Matešan

Ključne riječi

Zračna luka Split – Kaštela, putnički terminal, trijem, konstrukcija trijema, proračunski model, opterećenje vjetrom

Key words

Split-Kaštela airport, passenger terminal, canopy, canopy structure, design model, wind load

Mots clés

aéroport de Split-Kaštela, terminal passagers, avant-toit, structure de l'avant-toit, model d'études, charge de vent

Ключевые слова

Аэропорт Сплит-Каштела, пассажирский аэровокзал, конструкция портика, расчётная модель, ветровая нагрузка

Schlüsselworte

Lufthafen Split-Kaštela, Passagierterminal, Vorhof, Vorhofkonstruktion, Berechnungsmodell, Windbelastung

J. Radnić, D. Matešan

Stručni rad

Konstrukcija trijema u Zračnoj luci Split-Kaštela

Prvo je opisano cjelovito rješenje rekonstrukcije zgrade putničkog terminala Zračne luke Split-Kaštela. Potom su dani osnovni podaci o konstrukciji trijema ispred zgrade putničkog terminala. Prikazano je konstrukcijsko rješenje i proračunski model konstrukcije te dimenzioniranje. U proračunu te složene konstrukcije posebno je analizirano opterećenje vjetrom kao najvažnije opterećenje trijema, a izbor adekvatnog računskog opterećenja vjetrom bio je najsloženiji dio proračuna.

J. Radnić, D. Matešan

Professional paper

Canopy structure at the Split-Kaštela airport

An overall solution for the terminal building rehabilitation at the Split-Kaštela airport is presented. Then basic information is given about the canopy structure situated in front of the passenger terminal building. The structural solution and the structural design model, as well as the dimensioning process, are presented. During the design of this complex structure a special emphasis was placed on the wind load, which was determined to be the most significant load acting upon the canopy structure. The selection of an adequate design wind load was in fact the most complex part of the design work.

J. Radnić, D. Matešan

Ouvrage professionnel

Structure d'avant-toit à l'aéroport de Split - Kaštela

Une solution intégrale pour la restauration du terminal passagers à l'aéroport de Split-Kaštela est décrite. Ensuite, les informations principales sur la structure de l'avant-toit situé en avant du terminal sont présentées. La solution structurale ainsi que le model structural de l'ouvrage sont données, et la procédure de dimensionnement est décrite. Pendant l'étude de cet ouvrage complexe, l'accent a été mis sur la charge de vent, considérée comme la charge la plus importante agissant sur la structure de l'avant-toit. La sélection de la charge de vent adéquate s'est avérée comme la partie la plus complexe de l'étude.

Џ. Раднич, Д. Матешан

Отраслевая работа

Конструкция портика в Аэропорте Сплит-Каштела

В начале работы описано целостное решение реконструкции здания пассажирского аэровокзала Аэропорта Сплит-Каштела. Затем наведены основные данные о конструкции портика перед зданием пассажирского аэровокзала. Показано конструкционное решение и расчётная модель конструкции, а также и димензирование. В расчёте сложной конструкции особо анализирована ветровая нагрузка как важнейшая нагрузка на портик, а выбор адекватной расчётной ветровой нагрузки являлся самой сложной частью расчёта.

J. Radnić, D. Matešan

Fachbericht

Konstruktion des Vorhofes im Lufthafen Split-Kaštela

Zum Anfang beschreibt man die komplette Lösung der Rekonstruktion des Gebäudes des Passagierterminals im Lufthafen Split-Kaštela. Darauf folgend präsentiert man die grundlegenden Angaben über die Konstruktion des Vorhofes vor dem Gebäude des Passagierterminals. Dargestellt ist die konstruktive Lösung und das Berechnungsmodell der Konstruktion, sowie die Bemessung. Bei der Berechnung der komplizierten Konstruktion wurde die Windbelastung als wichtigste Belastung des Vorhofes besonders aufmerksam analysiert. Die Auswahl der entsprechenden rechnerischen Windbelastung war der komplizierteste Teil der Berechnung.

Autori: Prof. dr. sc. **Jure Radnić**, dipl. ing. građ.; Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu; mr. sc. **Domagoj Matešan**, dipl. ing. građ, Institut građevinarstva Hrvatske - Zagreb, Poslovni centar Split, Matice hrvatske 15, 21000 Split

1 Uvod

Rekonstrukcija Zgrade putničkog terminala Zračne luke Split-Kaštela (slike 1. i 2.) obuhvaća:

- dogradnju postojeće zgrade sa zapadne strane,
- izgradnju vanjskih stubišta,
- rekonstrukciju unutrašnjih dijelova postojeće zgrade,
- rekonstrukciju pročelja postojeće zgrade te
- izgradnju trijema ispred zgrade.

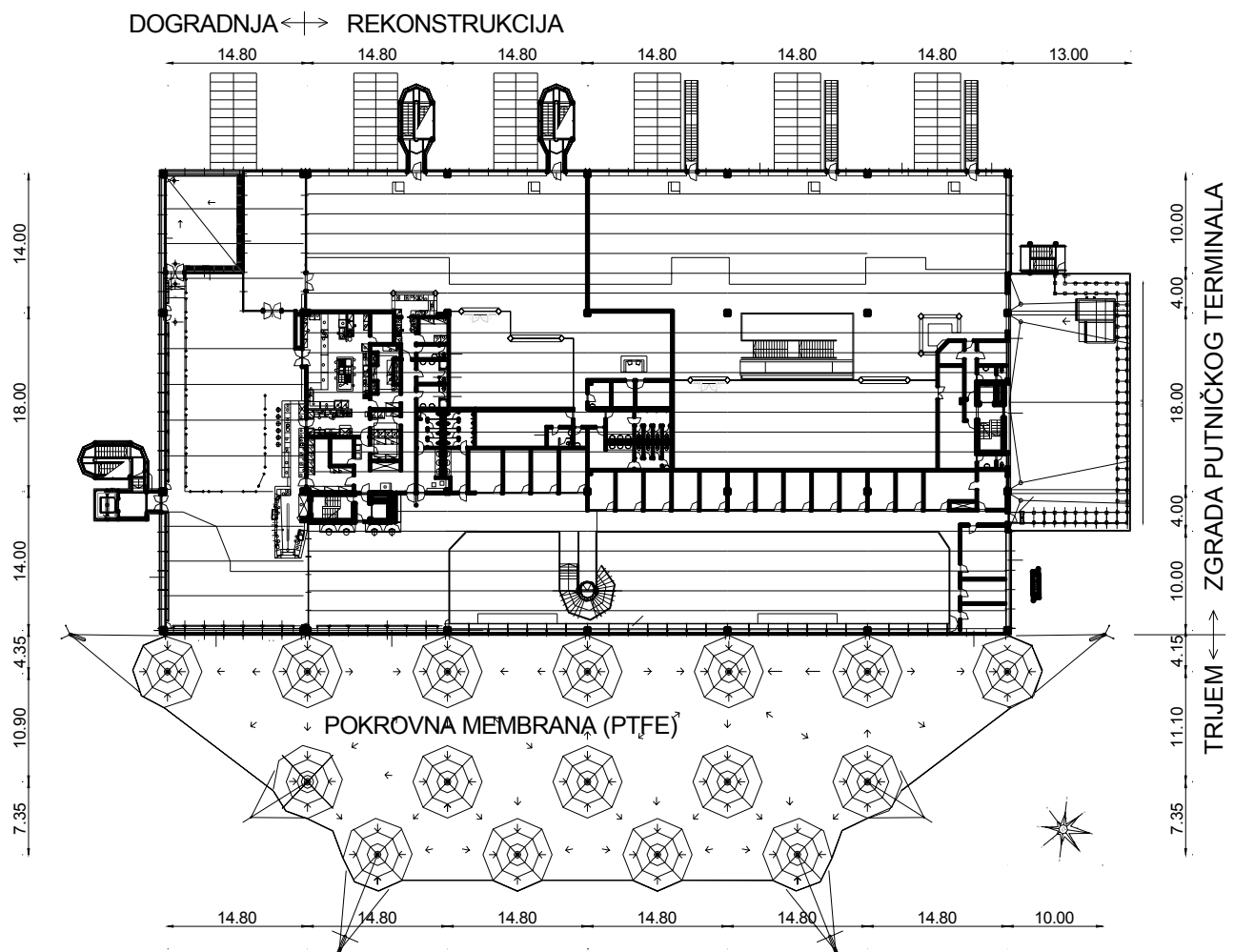
Dogradnja sa zapadne strane ima jednu podrumsku i dvije nadzemne etaže, svaka tlocrtnih dimenzija 14,8 × 42,0 m. Podrumaska je konstrukcija armiranobetonska, a nadzemna čelična. Glavnu nosivu konstrukciju nadzemnih katova formira prostorni okvir, s osnim razmakom stupova 14 m + 18 m + 14 m = 46 m u poprečnom smjeru i 14,8 m u uzdužnom smjeru zgrade. Glavnu međukatnu konstrukciju nadzemnih katova formiraju čelične grede spregnute s betonom, a sekundarnu konstrukciju rebrasti čelični limovi spregnuti s tankom armiranobetonskom pločom.

Nova vanjska stubišta osiguravaju pristup putnicima na nadzemne etaže zgrade putničkog terminala. U sklopu stubišta sa zapadne je strane zgrade i dizalo. Glavnu nosivu konstrukciju ovih dijelova tvore prostorni čelični štapni elementi.

Rekonstrukcija unutrašnjih dijelova postojeće zgrade obuhvaća: "umetanje" čeličnoga međukata na lokaciji restauracije, izgradnju "otvorenog" dizala, izgradnju čeličnoga pješačkog mosta za vezu prvoga kata i novog dizala, određeni broj potrebnih proboja podne betonske konstrukcije i rekonstrukciju dijelova nosive čelične konstrukcije postojeće zgrade.

Rekonstrukcija pročelja postojeće zgrade obuhvaća izvedbu nove prostorne čelične konstrukcije, s novim specifičnim ostakljenjem.

Izgradnja trijema ispred zgrade putničkog terminala svakako je najatraktivniji zahvat u sklopu cjelokupne rekonstrukcije objekta. Nosiva je konstrukcija trijema prilično složena i tehnički zahtjevna. Kako su konstruktivna rje-

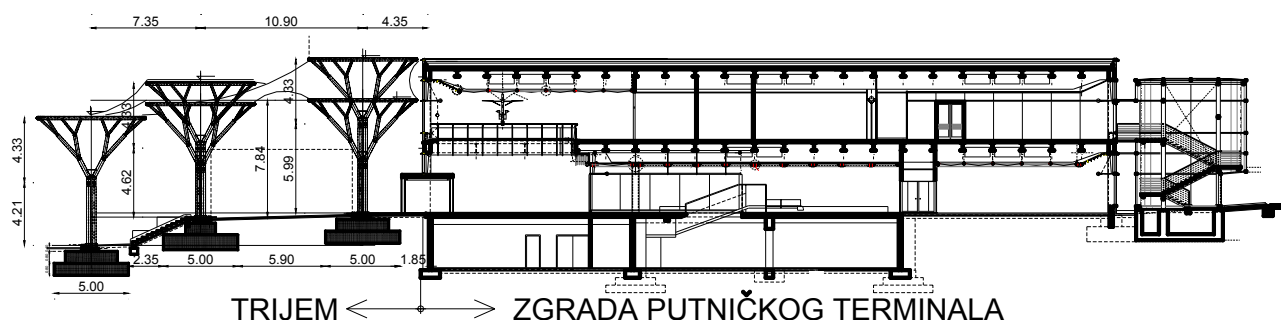


Slika 1. Tlocrt zgrade putničkog terminala Zračne luke Split-Kaštela; rekonstrukcija

šenja ostalih elemenata zgrade putničkog terminala manje-više uobičajena, o njima dalje neće biti riječi. U nastavku je samo opisano konstruktivno rješenje novog trijema ispred zgrade.

2 Osnovni podaci o konstrukciji trijema

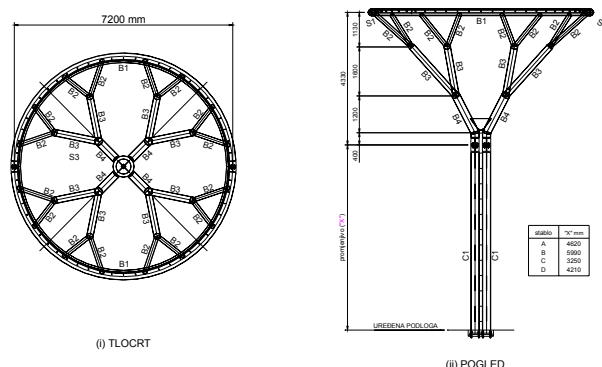
Trijem ispred zgrade putničkog terminala Zračne luke Split-Kaštela (slike 1. i 2.) jest tlocrtna površina oko 2000 m². Trapezastog je tlocrtnog oblika, najveće duljine oko 90 m i širine oko 27 m. Visina trijema je promjenjiva i kreće se između 7,5 i 10 m. Ima funkciju zaštite putnika od atmosferilija pri izlasku iz zgrade i pri korištenju pomoćnog autobusnim prijevozom.



Slika 2. Poprečni presjek zgrade putničkog terminala Zračne luke Split-Kaštela; rekonstrukcija

Glavnu nosivu konstrukciju trijema tvore tzv. stabla, između kojih je razapeta pokrovna membrana. Uzdužni razmak osi stabala jest 14,8 m, a poprečni 10,9 i 7,35 m. Vanjski su rubovi membrane ukrućeni prednapetim kabelima, a vanjska su stabla pridržana tankim kosim kabelima za tlo. Osnovni parametri gradiva prikazani su u tablicama 1., 2. i 3.

Stabla su od zavarenih okruglih čeličnih cijevi, različitih promjera. Formirana su od debla (tvore ga četiri povezanе cijevi), krošnje-grana (račvanje cijevi različitih promjera) i horizontalnog prstena na vrhu (slika 3.).



Slika 3. Konstrukcija stabla

Debla su usidrena u masivne armiranobetonske temelje, koji osiguravaju dostatnu stabilnost konstrukcije za sva mjerodavna opterećenja i djelovanja.

Tablica 1. Svojstva materijala pokrovne membrane

nosivost osnove	91 kN/m
nosivost potke	103 kN/m
modul elastičnosti osnove	900 kN/m
modul elastičnosti potke	580 kN/m
Poissonov koeficijent osnove	0,4
Poissonov koeficijent potke	0,6
faktor sigurnosti za osnovna djelovanja	5× radno opterećenje
faktor sigurnosti za izvanredna djelovanja	4× radno opterećenje

Tablica 2. Svojstva materijala čeličnih elemenata

tip čelika	St 240/360
granica tečenja	240 MPa
modul elastičnosti	200 GPa
faktor sigurnosti	prema DIN 18800

Tablica 3. Svojstva materijala kabela

tip čelika	St 1570/1860
modul elastičnosti	190 GPa
faktor sigurnosti	2× radno opterećenje

Pokrovna je membrana od staklenih vlakana (PTFE). Kao što je već rečeno, dijelom je razapeta između gornjih prstenova stabala, a dijelom između zakrivljenih rubnih kabela. Zakrivljenost membrane postignuta je denivelacijom vrhova stabala. Membransko platno je neprozirno (bijele boje), visoke nosivosti. Osnova i potka membrane imaju različita fizikalna svojstva (tablica 1.).

Vanjske kose vješaljke imaju funkciju smanjenja horizontalnih pomaka vrha stabala, te smanjenja naprezanja u štapovima stabala.

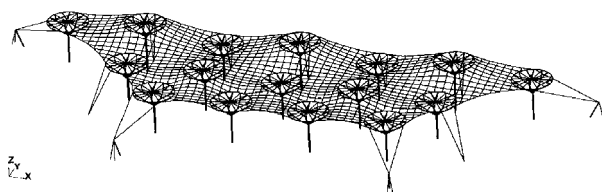
Vanjski zakrivljeni kabeli u krovu pridržavaju slobodne rubove membrane i usidreni su u horizontalni čelični prsten.

Voda s krova odvodi se vrši kroz debla stabala u gradsku kanalizaciju. Predviđena je unutrašnja i vanjska rasvjeta trijema.

3 Računski model konstrukcije trijema i dimenzioniranje elemenata

Primijenjen je prostorni računski model konstrukcije (slika 4.), koji uključuje:

- membranu,
- štapnu konstrukciju stabala,
- zakrivljene kabele u krovu i
- kose kabele za pridržanje krošnji stabala.



Slika 4. Računski model konstrukcije trijema [1]

Upotrijebljeni računalni program [4], koji može simulirati materijalnu i geometrijsku nelinearnost konstrukcije, omogućuje dostatno pouzdani proračun ove složene konstrukcije. Ovdje je iskorištena samo geometrijska nelinearnost sustava (veliki pomaci). Najprije je, za definirano prednapinjanje membrane i kabela, iterativno pronađen tzv. početni položaj membrane (*form finding*), a potom je izvršen proračun sustava (pronađen ravnotežni položaj) za pojedine slučajeve opterećenja. Kao rezultat proračuna, dobiveni su pomaci i naprezanja (sile) membrane, štapnih elemenata i kabela [5].

Dimenzioniranje membrane izvršeno je sukladno uputama proizvođača (odnosno sukladno tablici 2.), a čeličnih elemenata sukladno propisima [1] i [2].

4 Računska opterećenja

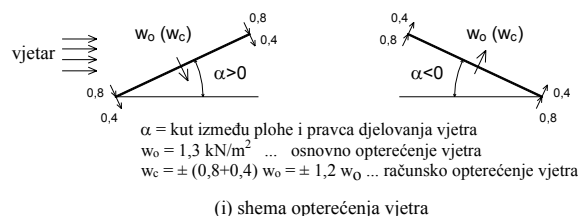
Konstrukcija je računana na sljedeća opterećenja:

- Vlastita težina konstrukcije s prednapinjanjem membrane i kabela
- Opterećenje vjetrom u y smjeru (prema zgradi)
- Opterećenje vjetrom u y smjeru (od zgrade)
- Opterećenje vjetrom u x smjeru (uzduž zgrade)
- Sišuće opterećenje vjetrom u z smjeru
- Tlačno opterećenje vjetrom u z smjeru i opterećenje snijegom.

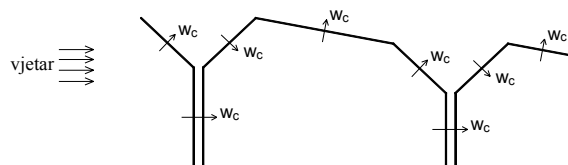
Opterećenje (i) uključeno je u kombinaciji sa svim ostalim navedenim opterećenjima. Membrana je prednapeta sa 2,5 kN/m u smjeru osnove i u smjeru potke. Kabeli su prednapeti na $0,7 \times 1570 = 1099$ MPa. Pretpostavljeno je da opterećenje (iii) iznosi 75% opterećenja (ii).

5 Opterećenje vjetrom

Jedna od najvećih teškoća bilo je utvrđivanje adekvatnoga računskog opterećenja vjetrom, koje je ujedno i najvažnije opterećenje trijema. Kako se radi o složenom otvorenom objektu, s elastičnom krovnom plohom nepravilne geometrije, a uzimajući u obzir specifičnost lokacije i ostale osobitosti, svakako bi bilo najpouzdanije eksperimentalno određivanje opterećenja vjetrom u zračnom tunelu. Međutim, kako se ipak radi o manjoj investiciji, te zbog zahtjeva za što bržim dovršetkom projekta, prihvaćen je pojednostavljeni postupak definiranja opterećenja vjetrom. Naime, opterećenje vjetrom je definirano na analogan način kao i za objekte s krutom krovnom plohom, računajući s tlačnom i sa sišućom komponentom djelovanja vjetra. Očekuje se da stvarna globalna vjetrovna opterećenja neće biti veća od računskih, pri čemu je moguće da stvarna lokalna vjetrovna opterećenja budu iznad predviđenih.



(i) shema opterećenja vjetra



(ii) primjer - jedan presjek konstrukcije

Slika 5. Računsko opterećenje od vjetra [5]

Osnovno opterećenje vjetrom uzeto je $1,3 \text{ kN/m}^2$, što odgovara brzini vjetra od oko 150 km/h. Pri tome je računano s koeficijentom oblika: $0,8$ (tlak) + $0,4$ (vlak) = $1,2$, pa je ukupno računsko opterećenje vjetrom $1,2 \times 1,3 = 1,56 \text{ kN/m}^2$, što odgovara brzini vjetra od oko 170 km/h.

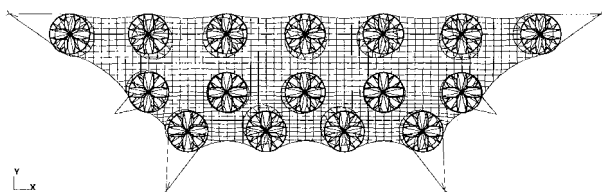
Računano je da vjetar istodobno djeluje na sve plohe u najvećem iznosu, sukladno slici 5.

6 Neki rezultati proračuna

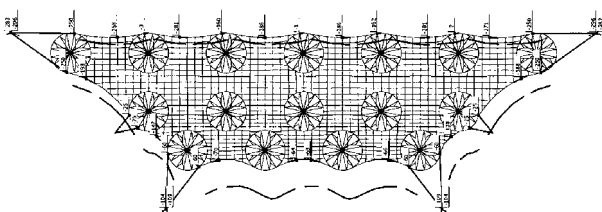
Kao što je već navedeno, rezultati proračuna usvojenog modela konstrukcije s pomoću računalnog programa [5] obuhvaćaju pomake i naprezanja (sile) svih elemenata sustava za sva razmatrana opterećenja. Pritom je opterećenje (i) iz točke 4. sadržano u svim ostalim opterećenjima. Ovdje su, za ilustraciju, prikazani samo neki rezultati proračuna (slike 6. i 7.), a ostali se mogu naći u [5].

SUDIONICI U REALIZACIJI PROJEKTA

- Investitor: *Zračna luka Split-Kaštela*
- Projekt arhitekture: *VV Projekt, Split* (projektant Ivan Vulić, dipl. ing. arh.)
- Projekt konstrukcije:
 - Glavni i izvedbeni projekt (osim izvedbenog projekta trijema): *Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu* (projektant prof.dr.sc. Jure Radnić)
 - Izvedbeni projekt trijema: *BIRDAIR Shade Structures, Australija*. Nostrifikacija projekta: prof.dr.sc. Jure Radnić
- Kontrola projekta konstrukcije glede mehaničke otpornosti i stabilnosti: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu (revident prof. dr. sc. Josip Dvornik)
- Glavni izvođač: *Ugo oprema, Zagreb* (glavni inženjer Cvetko Pilaš, dipl. ing. građ.)
- Nadzor izgradnje: *Bumes, Split* (nadzorni inženjer Žan Bačić, dipl. ing. arh.).



Slika 6. Pomaci – XY ravnina – slučaj opterećenja (iv)



Slika 7. Naprezanja kabela za slučaj opterećenja (i) [MPa]

7 Odstupanja izvedbenog od glavnog projekta konstrukcije

Osnovna čelična konstrukcija stabala u izvedbenom projektu [2] uzeta je kao i ona u glavnom projektu. Isto se odnosi na računski opterećenja i glavčinu drugih globalnih rješenja. Isporučitelj i izvođač membrane BIRDAIR

Shade Structures iz Australije, uz suglasnost investitora, modificirao je rješenje "sekundarne" čelične konstrukci-

je trijema zbog, po njihovu mišljenju, "pojednostavljenja i smanjenja rizika gradnje".

Umjesto vanjskih tankih kosih zatega stabala usvojeni su kruti čelični tlačni štapovi između krošnji stabala i unutar njih. Pritom je većina ovih štapova zakrivljena, što je konstruktivno nepovoljno. Nažalost, ovo je rješenje kvalitativno ispod razine onoga obrađenog u glavnom projektu koje se smatra suvremenijim, tehnički ispravnijim i estetski prihvatljivijim. Na sreću, iz daljih vizura izvedbeno rješenje konstrukcije trijema značajnije ne odstupa od onog obrađenog u glavnom projektu.

8 Izvedba trijema

Realizacija cjelokupne rekonstrukcije zgrade putničkog terminala Zračne luke Split-Kaštela, uključujući i trijem ispred zgrade, izvršena je prema planu i bez većih teškoća. Preostali su samo još manji radovi na dovršenju nekih predviđenih radova.



Slika 8. Neka stanja pri montaži krovne membrane

LITERATURA

- [1] DIN 18800, Steel structures, (1990).
- [2] EUROCODE 3, Design of steel structures, Brüssel. (1993).
- [3] DIN 1055, Action on structures, (2001).
- [4] Radnić, J.; Matešan, D.: JRDM – Računalni program za geometrijski i materijalno nelinearnu analizu ljsaka, membrana, okvira i kabela, Split, (2002).
- [5] Radnić, J.: Glavni projekt konstrukcija rekonstrukcije i dogradnje zgrade putničkog terminala Zračne luke Split-Kaštela, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, (2002). (T.D. 05/2002-JR)
- [6] BIRDAIR Shade Structures: *The porch in front of the Split Airport – final design*, 2003.
- [7] Radnić, J.: *Nostrifikacija projekta "The porch in front of the Split Airport – final design"*, 2003.
- [8] Radnić, J.: *Izvedbeni projekt temeljne konstrukcije Trijema ispred Zgrade putničkog terminala Zračne luke Split-Kaštela*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, (2002). (T.D. 06/2003-JR)
- [9] Radnić J.; Matešan, D.: *Porch in front of the Split Airport Passenger Terminal*, Textile Composites and Inflatable Structures, CIMNE, Barcelona (2003).



NUDIMO NA PRODAJU IZDANJA HRVATSKOG SAVEZA GRAĐEVINSKIH INŽENJERA:

AUTOR/I	NASLOV IZDANJA	KN
Branko Kučinić	OBLE FORME U GRADITELJSTVU	150,00
Branimir Babić	PROJEKTIRANJE KOLNIČKIH KONSTRUKCIJA	275,00
Branimir Babić i dr.	GEOSINTETICI U GRADITELJSTVU	260,00
Petar Đukan i dr.	STROJEVI U GRAĐEVINARSTVU	350,00
Rudolf Lončarić	ORGANIZACIJA IZVEDBE GRADITELJSKIH PROJEKATA	250,00
Stanislav Tedeschi	ZAŠTITA VODA	270,00
Branko Vukmir, Vladimir Skendrović	KONCESIJE I UGOVARANJE B O T PROJEKATA	275,00
Ivan Gulić	OPSKRBA VODOM	295,00
Više autora	GRAĐEVNI GODIŠNJAK '96	280,00
	GRAĐEVNI GODIŠNJAK '98	280,00
	GRAĐEVNI GODIŠNJAK '99	280,00
	GRAĐEVNI GODIŠNJAK 2000	300,00
	GRAĐEVNI GODIŠNJAK '01/'02	300,00
	GRAĐEVNI GODIŠNJAK '03/'04	440,00
Više autora	OPĆI TEHNIČKI UVJETI ZA RADOVE NA CESTAMA	700,00
	(komplet od 6 knjiga u posebnim koricama)	
Ivan Gulić	KONDICIONIRANJE VODE	320,00
Freddy L. Roberts i drugi	VRUĆE ASFALTNE MJEŠAVINE (prijevod)	480,00
Više autora	ZBORNİK RADOVA SABORA HRVATSKIH GRADITELJA 2000	375,00
	ZBORNİK RADOVA SABORA HRVATSKIH GRADITELJA 2004	410,00
Milutin Anđelić	GRAĐEVNA STATIKA II	320,00

Na narudžbenici molimo upisati punu adresu tvrtke i matični broj.

Sva izdanja možete naručiti na tel/fax ili na adresu HSGI Zagreb,

žiro račun: 2360000-1101426005; MB 3213919