

UDK 692.4:541.64

PRIMENA PTFE MEMBRANA ZA POKRIVANJE ATRAKTIVNIH OBJEKATA VELIKOG RASPONA

Dragana Krstić¹, Biserka Marković², Vuk Milošević³

Rezime: U ovom radu dat je prikaz najupečatljivijih objekata, i u konstruktivnom i u arhitektonskom smislu, izgrađenih primenom tekstilnih materijala i to primenom PTFE membrana. Dat je uvid u osnovne karakteristike ovog tekstilnog materijala koji se sve više upotrebljava u svetu za objekte kao što su stadioni kao i za objekte druge namene. Način na koji se ovaj materijal mora obraditi, tj. kakvi mu se premazi treba staviti da bi u finalnom obliku mogao da se koristi kao pokrivni, konstruktivni materijal koji je otporan na atmosferske uticaje. Prikazan je sklop različitih konstrukcija koji imaju glavnu zajedničku crtu a to su PTFE membrane kao pokrivni i konstruktivni elementi. Prikazan je način na koji su oni primenjeni na objektu, i kakve sve forme se mogu dobiti primenom ovog materijala.

Ključne reči: Stadion, PTFE, Membrane, Krovna konstrukcija, Konstruktivni sistem, Tekstil

THE APPLICATION OF PTFE MEMBRANE FOR COVERING THE STADIUM

Abstract: This paper provides an overview of the most impressive buildings, both in constructive and in terms of architecture, constructed using the textile materials by applying PTFE membrane. It has been given an insight into the basic features of the textile material which is increasingly used worldwide for facilities such as stadiums and facilities for other purposes. The manner in which this material must be processed, which coatings should be put, with the view that the final form could be used as roofing, construction material that is resistant to weathering. It has been presented a complex of various structures that have a major thing in common which is PTFE membrane as roofing and structural elements. Moreover, it is shown the way in which they are applied on an object, and what other forms can be obtained by using this material.

Key words: Stadium, PTFE, Membrane, Roof structure, Constructive system, Textil

¹Student master studija, konstruktivnog odeljenja, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, gaga-krstic@live.com

²Redovni profesor, dr, dipl.inž.arh. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

³Student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, vukamer@yahoo.com

1 MEMBRANSKE STRUKTURE

Membranski konstruktivni sistem je onaj sistem koji kao osnovni konstruktivni materijal za pokrivanje i prihvatanje opterećenja ima tekstil [1]. Membranske strukture, gledano po njihovoj formi i njihovoj maloj težini, spadaju u grupu lakih struktura. Što se tiče njihovog ponašanja kao konstruktivnog materijala, ove membrane se razlikuju od konvencionalnih struktura u tome što se spoljašnje sile prenose naprezanjem cele površine membrane. Zato se ove membrane često opisuju kao „aktivni sistem“ [2]. Ove tekstilne membrane se koriste kao spoljašnji elementi koji su otporni na zatezanje ali nisu otporni na pritisak i savijanje [6]. Da bi se poboljšale osobine ovog materijala često se dodaju i drugi materijali koji poboljšavaju njegove karakteristike. Membrane predstavljaju površinske elemente koji pored noseće uloge imaju i ulogu pregrađivanja tj. zatvaranja prostora pa imaju utoliko više zahteva koje treba ispuniti.

Membranske strukture, koje svojim zategnutim materijalom predstavljaju noseću strukturu, mogu premostiti raspone od 3 metara do raspona koji se kreću preko 200 metara. Za raspone veće od 200 metara, membrane se podupiru mrežom čeličnih užadi koja imaju funkciju da smanje raspon membrana. Nekoliko je usvojenih sistema za zategnute membranske sisteme [3].

Dve najbitnije karakteristike membranskih struktura su njihova dvostruka zakrivljenost sa negativnom Gausovom krivinom, i stalno zatezanje u membrani [9]. Da bi se osiguralo da membrana i pod najnepovoljnijim opterećenjem bude zategnuta moraju se uneti sile prednaprežanja. Od zakrivljenosti membrane i intenziteta prednaprežanja u mnogome zavisi odgovor konstrukcije na spoljašnja opterećenja [5, 7]. On se pre svega ogleda u promeni intenziteta sila u membrani i promeni geometrije same membrane. Najveći problem kod projektovanja membranskih struktura je nalaženje njihove geometrije i predviđanje promene te geometrije pod spoljašnjim opterećenjem [10, 8].

Kao tekstilni materijali koji se najčešće koriste kod stadiona su: PVC i PTFE membrane [11]. Ove membrane imaju sličnosti ali se i razlikuju na osnovu različitih mehaničkih karakteristika, različite nosivosti, cene materijala, pa se shodno zahtevima koje treba da ispunjavaju bira određena vrsta materijala. Sličnosti sa ovim materijalima imaju i ETFE membrane [4] koje se razlikuju po svojoj hemiskoj strukturi jer više spadaju u čvršće tj. plastične

materijale. U ovom radu će se najviše govoriti o stadionima od PTFE membrana.

1.1 PTFE MEMBRANE

Politetrafluoretilen (PTFE), membranski materijal je tekstilni materijal koji je sačinjen od vlakana fiberglasa obloženim PTFE-om i određenim dodatcima. Ovaj materijal je prvi put nastao 1969. godine kada je materijal fiberglas obložen teflonskom smolom. Tada je PTFE materijal smatran boljim od PVC materijala tj. membranskog materijala koji je sačinjen od vlakana poliestera zaštićenih PVC-om sa dodatkom aditiva. Ovakav stav je zasnovan na osnovu dužeg veka tarajanja PTFE materijala koji je bio i otporan na prljanje. Međutim, onaj materijal je bio veoma skup i malo otporan na pucanje i lomljenje u odnosu na PVC material, stoga su u upotrebi ostala oba materijala a PTFE materijal se primenjivao za dugotrajne originalne objekte.

Ispitivanjima je utvrđeno da Politetrafluoretilen (PTFE) membrane obložene fiberglasom imaju vek trajanja preko 30 godina. Nekoliko slojeva PTFE tkanine čine je skoro neosetljivom na bilo kakvu štetu od UV zračenja kao i od hemijskih uticaja i velikih temperaturnih varijacija. Postoje i negativni aspekti ovog materijala. Kako PTFE materijal ima malu snagu pri cepanju, njegova ostljivost na cepanje prilikom preopterećenja bitno raste. Cena PTFE materijala obloženog fiberglasom je velika. Za punu izradu krovne strukture od PTFE materijala sa fiberglasom potrebno je od 500 do 1000 dolara po metru kvadratnom, što je pet

do deset puta više nego izrada od poliesterskih niti premazanih PVC-om [3].

2 PRIMERI IZVEDENIH OBJEKATA

2.1 STADION U PORTO ALEGREU

Stadion u Porto Alegreu prvobitno je bio sagrađen 1969. godine da bi nakon više od 40 godina, 2010. godine, došlo do potrebe za renoviranjem ovog stadiona za svrhu svetskog prvenstva u fudbalu. 2010. godine počela je izgradnja novog stadiona za čiji je dizajn zaslužna firma „Hupe studio architecture“. Površina koju zauzima stadion je 44.000 kvadratnih

metara. U sklopu stadiona ulaze i neki od pratećih objekata kao što su maloprodajne prodavnice, muzej, restoran, vip prostor i ceo nivo apartmana [4]. Konstruktivni sistem se sastoji od čeličnih rešetki, koje okružuju arenu i formiraju elipsasti oblik, a obložene su PTFE membranama. Originalni pristup dizajnu ovog stadiona omogućuje posmatračima sagledavanje forme na neobičan i upadljiv način, a najzanimljiviji deo objekta je fasada u obliku palminih listova.



Slika1 - Prikaz konstrukcije stadiona

Nova krovna konstrukcija ovog stadiona sastoji se iz 65 čeličnih rešetki koje su dužine 42 metara. PTFE-fiberglas membrane zategnute između rešetki štite od atmosferskih uticaja 51000 sedišta, rampe, ulaze i izlaze ka golovima [5]. Specifični elementi fiberglas membrana, po uzoru na palmino lišće, okružuju krov stadiona i formiraju venac. Površina krova obuhvata oko 57.000 kvadratnih metara, a sastoji se iz elemenata koje pokrivaju PTFE membrane, razvučene preko konopca, i visoko providne plastične lamelirane ispune koje svetle noću a nalaze se između ovih membrana. Ove membrane su proizvedene u Nemačkoj. Premaz materijala visokih performansi (Dineon PTFE) štiti fiberglas tkaninu i daje joj veću jačinu pod pritiskom, takođe materijal je veoma otporan i na istezanje. Stoga membrane mogu izdržati čak i velika opterećenja od vetra bez ikakvih šteta [5]. Premaz štiti tkaninu od starenja izazvanog sunčevim zracima i sprečava vlagu da dopre do vlakana. Pokazalo se da ova kombinacija materijala predstavlja jednu otpornu konstrukciju u širokom spektru klimatskih zona, za više od 40 godina. U vreme instalacija membrane su blede braon boje, međutim ta boja se brzo izbeljuje do blistavo bele boje i takva

nadalje ostaje. Zahvalne su i sa aspekta održavanja jer u kišnom periodu membrane ostaju znatno čistije.



Slika2–Izgled stadiona

Membrane su pričvršćene za čelične rešetke. Čelična konstrukcija se sastoji od tri čelična pojasa koji su povezani i koji svojom zakrivljenom formom omogućavaju formiranje oblika zatvorenog lista drveta koji formiraju membrane. Između pojaseva rešetke postavljene su unakrsne čelične šipke koje se na kraju nosača stapaju u jednu tačku. Svaki od ovih elemenata je posebno fundiran na temeljima samcima, ima ih ukupno 65 i postavljeni su sa spoljašnje strane stadiona. Sa svojom samo-nosećom strukturom dužine 60 metara formiraju krov stadiona. Svi ovi nosači su na svojim krajevima povezani čeličnim prstenom koji prihvata sile pritiska i doprinosi stabilnosti ove konstrukcije [6].

2.2 STADION U LONDONU

Milenium dome ili samo „dome“ je izložbeni objekat izgrađen 2000. godine u Londonu u znaku obeležavanja početka novog (trećeg) milenijuma. Nalazi se na poluostrvu Grinič u jugoistočnom Londonu u Engleskoj. Izgradnja objekta je završena 1999—te godine, izložbeni prostor je otvoren 1. Januara 2000. godine a zatvoren iste te godine 31-og Decembra. Izložba kao i projekat objekta bili su predmet velikih političkih rasprava, iz razloga što nije privuče broj posetilaca koji je bio predviđen, što je izazvalo veliki finansijski problem pa je ovaj objekat prestao sa radom. Objekat je ponovo otvoren 2007.godine kada je rekonstruisan, tada je dobio novi naziv „The O2“ [9]. Rekonstrukcija objekta je počela 2003.godine a objekat je krenuo sa radom 2007. godine. Novi objekat je zadržao istu konstrukciju, koju je imao i pre rekonstrukcije a promene koje su izvršene bile su u unutrašnjosti objekta (u smislu

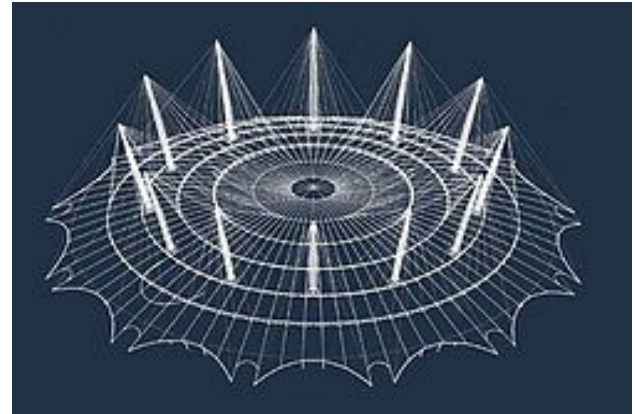
promene prostorija), u predelu glavnog ulaza kao i promene okruženja na parceli. Objekat je dobio funkciju višenamenske hale u kojoj su se održavale razne svečanosti, kao što su izložbe i sportski događaji. Sadašnja hala ima kapacitet 20.000 gledalaca a druga je najveća arena u Velikoj Britaniji (posle Mančester arene) i jedna od najvećih u Evropi.



Slika3–Millenium dome

Lokacija na kojoj je situiran objekat je bila na mestu na kome se nekada nalazila najveća rafinerija gasa u Evropi. Prostor na kome je predviđena izgradnja objekta, je bio zagađen otpadnim produktima procesa gasifikacije uglja pa se pre građenja objekta morao prvo očistiti prostor. Geotehničkim istraživanjima zemlje otkriveno je da je prvih 8 do 10 metara lošijeg kvaliteta, od otpadnog kreča iz fabrike gasa koji se nalazio iznad muljevite gline. Zbog lošeg geomehaničkog profila terena za izgradnju objekta izvršeno je temeljenje na šipovima u sloju šljunka koji se nalazio ispod mulja [10].

Stadion Milenium doum je jedan od najvećih te vrste u svetu. Konstrukcija krova se sastoji od 12 žutih metalnih stubova dugačkih po 90 metara, koji simbolično predstavljaju svaki mesec u godini. Arena je prečnika dužine 365 metara. Postala je jedan od najprepoznatljivih znamenitosti u Velikoj Britaniji. Krovna konstrukcija iako je u obliku kupole nije klasična kupola jer ne nosi samu sebe već je poduprta visokim, metalnim stubovima koji pomoću kablovske mreže nose kupolu. Nadkrivena je membranama PTFE, presvučenim platnom od staklenih vlakana, izdržljiva na sve vremenske uticaje. U sredini dostiže visinu do 52 m, a simetrija cele strukture je prekinuta velikom rupom koja se koristi radi regulisanja ventilacije.



Slika4 - Model konstrukcije

Koncept konstrukcije je vrlo jednostavan. Zategnuti čelični kablovi su radialno raspoređeni na površini kupole i povezani su u čvorovima kablovima na intervalima od 25 m, koji polaze iz gornjih tačaka visokih stubova. Svaki od 12 stubova je dug 90 m i težak oko 95 tona. U preseku stub formira osmougaonu formu, a sačinjen je od čeličnih, kružnih, šupljih profila [10]. Prilikom montaže objekta prvo su postavljeni stubovi, nakon toga je počelo postavljanje kablovske mreže koja je montirana na mestu građenja objekta a potom podignuta na određenu visinu bez korišćenja kranova. Ovi kablovi su podignuti specijalnim uređajima koji su se nalazili na samoj konstrukciji. Sledeći korak je bila postavka pokrivača od PTFE membrana.



Slika5 - Ventilaciona rupa

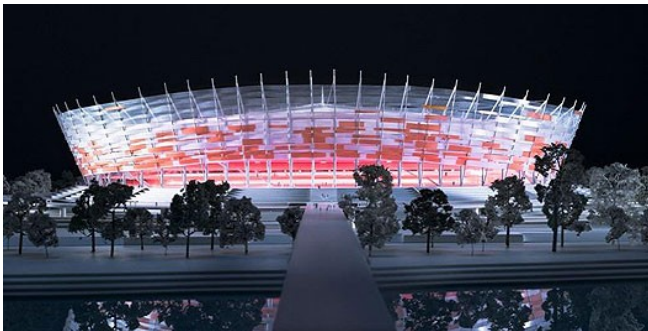
Raspoloživi materijali za oblaganje ove kupole su bile PTFE membrane i PVC membrane. Prvobitno rešenje je bilo zamišljeno primenom PVC poliester. Razlog za to je bilo postizanje što veće providnosti, odnosno prodora prirodne svetlosti u dvoranu, odakle je došla i prvobitna ideja za oblaganje kupole tekstilnim materijalom. Kasnije je ovaj plan promenjen pa je objekat završen primenom PTFE

membrana. Ovakva promena plana je rezultat mnogobrojnih prednosti mehaničkih karakteristika ovog materijala. PTFE materijal je mnogo otporniji i duže traje od PVC materijala, otporniji je na atmosferske uticaje, zračenje od sunca, a pritom, iako u manjem intenzitetu, omogućuje osvetljenje prirodnom svetlošću.

Na krovu se nalazi velika ventilaciona rupa prečnika 50 m. Rupa je obložena mrežom kablova na rastojanju od 1 m, koji na neki način zamenjuju pokrivnu tkaninu a opet omogućuju nesmetanu ventilaciju prostora. Mreža je vezana za tkaninu lučnim šipkama na obodu rupe.

2.3 STADION U VARŠAVI

Nacionalni stadion u varšavi, takođe poznat kao stadion „Narodowy“ u Poljskoj nalazi se u parku Skarizevski, istočno od centra grada, na obali reke Visle. Ovo je stadion poljskog nacionalnog fudbalskog tima. Stadion je rekonstruisan 2012 godine, za potrebe evropskog prvenstva u fudbalu, na mestu postojećeg stadiona. Stadion je zvanično otvoren 29.januara 2012.godine. Ima kapacitet od oko 58.000 sedišta za sport i 72.900 sedišta za koncerte. Ovaj stadion služi takođe i kao višenamenski objekat.Ovde se održavaju koncerti i kulturni programi osim održavanja sportskih utakmica. Fasada podseća na zastavu poljske, crvene i svetlo sive boje, što je primenjeno i u unutrašnjosti objekta.



Slika6 - Izgled stadiona



Slika7–Izgled otvorenog krova

Dimenzije stadiona su 310x280 metara a zapremina iznosi milion kubnih metara, dok površina iznosi 204.000 metara kvadratnih. Ovaj stadion ima jedan od najvećih pokretnih krovova na svetu [7]. Krov ima nezavisnu strukturu od ostalog dela stadiona a sastoji se iz mreže zategnutih kablova obloženih PTFE membranama i to je fiksni deo krova površine 55.000 m², i pokretni deo krova koji je obložen PVC poliesterom, površine od 11.000 m². Između ova dva segmenta nalazi se stakleni deo krova površine 4000 m², širine 8 m. Najzanimljiviji segment ovog stadiona je upravo taj pokretni krov koji se otvara iz malog gnezda koji se nalazi u centralnom delu iznad terena.

Fasada stadiona sastoji se od žičanih, obojenih elemenata od epoksiranog metala. Korišćenje ovakvih žičanih elemenata, čini dizajn fasade ekološki održivim dozvoljavajući upad sunčeve svetlosti i prirodnu ventilaciju stadiona, što pomaže održavanju optimalne toplote unutra, naročito kada je pokretni deo krova zatvoren [7].



Slika8 - Izgled pokretnog krova

Na krovnoj konstrukciji su primenjene obe vrste osnovnih membranskih tkanina. Na fiksnom delu krova postavljene su PTFE membrane sa nosećim slojem vlakana od fiberglasa i PVC membrane sa nosećim slojem vlakana od poliester. Ovaj stadion predstavlja jedan od retkih objekta na kome su dva, ovako slična materijala primenjena. PTFE membrane su na osnovu mehaničkih karakteristika bolje od PVC membrana. Imaju znatno duži vek trajanja od PVC membrana kao i veću otpornost na sile zatezanja koje joj se poveravaju, takođe je i zahvalan u pogledu održavanja jer se manje prlja pogotovo u kišnim periodima. Otporniji je i na razne hemijske uticaje kao i na negativne uticaje sunčevog zračenja. Za razliku od njih, PVC membrane su u prednosti na osnovu

njihove cene koštanja koja je znatno manja od cene PTFE membrana. Savitljivije su i elastičnije pa ih je lakše transportovati i montirati. Stoga se može zaključiti da je raspored materijala na krovu predstavlja racionalnost i u ekonomskom i u konstruktivnom smislu. Skuplji materijal je postavljen na fiksnom delu krova ali je njegova trajnost znatno veća što je ekonomski opravdano, kao i primena PVC materijala koja je izvršena na pokretnom dalu krova gde bi neprikladno bilo korišćenje PTFE materijala koji je malo otporan na sklapanje i rasklapanje.

Konstrukcija stadiona sastoji se iz dva dela: tribina koje su sastavljene od prefabrikovanih elemenata i mreže čeličnih šipki na krovu sa rasklapnom membranom, koji se oslanjaju na nezavisnim čeličnim stubovima i zategama [7]. Postoje 72 oslonjačka elementa raspoređena eliptično po obodu objekta. Svaki od ovih elemenata sačinjen je od 3 štapa koji formiraju trougao [8]. Stubovi koji prenose opterećenje sa krova nalaze se između unutrašnje i spoljašnje fasade. Nisu u vertikalnom već u blago zakošenom položaju a iz njihovih temena polaze dve glavne zatege koje održavaju stabilnost. Pritisnuti prsten na krovu sastoji se od kružnih, šupljih čeličnih profila. Za njega su pričvršćeni horizontalni kablovi koji se šire od prstena ka spoljnim tačkama. Membrana je vezana za zategnute šipke sa radijalnim kablovima. Forma membrana je sedlasta, odnosno forma hipara, a ona se postiže dodavanjem lučnih elemenata preko kablova, pa se takva forma ponavlja deset puta između svaka dva kabla [8].

Čelični leteći stub, poznat i kao „igla“ postavljen je centralno u objektu. Sa njegovog gornjeg dela polazi 60 kablova manjeg poprečnog preseka koji se vezuju za zategnuti unutrašnji element. Ovi kablovi služe kao oslonac za mehanizam koji otvara i zatvara pokretni krov [8].

3 ZAKLJUČAK

Membranski konstruktivni sistem, od PTFE membrana kao glavnih konstruktivnih elemenata membranskog konstruktivnog sistema, karakterišu veliki rasponi premošćavanja, dvostruka zakrivljenost, zatežuće sile i mala težina. Imajući u vidu sve te prednosti PTFE membrane su se pokazale kao veoma dobar materijal za pokrivanje ovakvih arhitektonskih objekata-stadiona. Može se primetiti da ove membrane pored svoje noseće i pokrivačke funkcije, kod stadiona stavljaju u prvi plan i arhitektonsko-oblikovnu, tj. estetsku funkciju. Ovaj materijal se zadnjih godina sve više istražuje i sve više koristi na

objektima kao što su stadioni, ali i na drugim vrstama objekta. Zbog svojih dobrih mehaničkih karakteristika: trajnosti, otpornosti na različite uticaje, svojoj maloj zapreminskoj težini, velikom rasponu koji može da premosti i mogućnosti raznolikih formi i raznovrsnog oblikovanja, ovaj materijal se veoma dobro pokazao za izgradnju stadiona. Stadioni kao objekti koji nemaju izraženu potrebu za termičkim zahtevima, ne ističu veliku manu ovog materijala, a to su veoma slabe termičke karakteristike. Tekstilni materijal kao materijal koji je relativno skoro počeo da se koristi u konstruktivne svrhe, doneo je veliki broj prednosti u odnosu na neke klasičnije pristupe rešavanja konstrukcija stadiona. Njegova sve veća primena kao i brojne pogodnosti dovoljan razlog da se on još više istražuje i da se otkriju sve veće mogućnosti njegove primene i u konstruktivnom i arhitektonskom pogledu.

LITERATURA

- [1] *Primena tekstilnih konstruktivnih materijala u arhitekturi*, V. Milošević, Tekstilna industrija, 2013, broj 2, str. 33-39
- [2] *Tensile Surface Structures: A Practical Guide to Cable and Membrane Construction*, Seidel M., Ernst & Sohn, 2009, Berlin, 1 str.
- [3] *The design and analysis of tenion Fabric structures*, Miriam E., S., Civil & Environmental Engineering University of California, 2007, Berkeley, str. 9
- [4] *ETFE Technology and Design*, Annette LeCuyer, Birkhauser, 2008, Basel, str. 160
- [5] *Zavisnost membranskih sila od prednapreznja i graničnih uslova membranskih konstrukcija*, V. Milošević, D. Kostić, Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta, 2012, broj 27, str. 59-70
- [6] *Forster, B., & Mollaert, M. (2004). European Design Guide for Tensile Surface Structures*, Forster, B., & Mollaert, M., 2004, Brussels: Tensinet, str. 354
- [7] *Form and Function: The significance of material properties in the design of tensile fabric structures*. Bridgens, B., & Birchall, M., 2012, Engineering Structures(44), 1-12
- [8] *Analysis and design of membrane structures: Results of a round robin exercise*. Gosling, P. D., 2013, Engineering Structures(48), 313-328.
- [9] *The form-force relation in membrane structures*, V. Milošević, V. Nikolić, 3rd International Scientific Conference on Geometrija, 2012, Novi Sad, Faculty of Technical Sciences Novi Sad, str. 271-278

- [10] *Structural optimization and form finding of light weight structures*, Bletzinger, K.-U., & Ramm, E., 2001, *Computers and Structures*(79), 2053-2062
- [11] *Expansion of Madrid Stadium: Foundation and Grandstands*, J.Martinez-Calzon, J.Gomez-Hermoso, G.Landron de Gnevara, D.Rodriguez-Munos, F.Rodriguez-Ballesteros, L.Rubin-Fierro. *Structural Engineering International*, 2014, str.45-48.