

Koncept *Membrain* – dosad najveći studentski projekt u Republici Hrvatskoj – projekt samoodržive montažne drvene kuće

Uvod

Tim studenata Sveučilišta u Zagrebu prvi je put sudjelovao na prestižnom međunarodnom natjecanju *Solar Decathlon Europe* s projektom *Koncept Membrain*. Mjeseci truda i rada rezultirali su gradnjom samoodržive montažne kuće u parku dvorca Versailles u Francuskoj. Hrvatski tim studenata dobio je mnoge pohvale i osvojio simpatije organizatora i posjetitelja, ali i ostalih natjecatelja.

Solar Decathlon

Tijekom 1990-ih u SAD-u je nastala ideja o natjecanju kojim bi se studente, buduće inženjere, potaknulo na korištenje obnovljivim izvorima energije. Stoga je pod pokroviteljstvom Ministarstva energetike SAD-a 2002. organizirano prvo natjecanje *Solar Decathlon*. Održano je u Washingtonu, u parku National Mall (ispred Bijele kuće). Sudjelovali su isključivo timovi s američkih sveučilišta, a posjetilo ga je više od 100 000 posjetitelja. Sljedeći *Solar Decathlon* održan je 2005. na istome mjestu, a već su tada uz timove američkih sveučilišta na njemu sudjelovali i timovi iz Kanade i Španjolske. Od te se godine natjecanje održava svake druge godine na istome mjestu, a popis zemalja sudionika sa svakim je natjecanjem sve veći, kao i broj posjetitelja. Zbog velikog interesa natjecanje se s vremenom proširilo na Europu i Kinu.

Pravo sudjelovanja na natjecanju ostvaruju sva registrirana sveučilišta i stručni studiji koji u svom sastavu imaju fakultete arhitektonske, elektrotehničke, strojarke i građevinske struke te drugih struka koje pronalaze interese u temama o energetske učinkovitosti i održivosti. Natječu se ponajprije studenti, ali je dopušteno, a katkad i nužno, sudjelovanje profesora i profesionalaca. Dopušteno je i sudjelovanje timova sastavljenih od više sveučilišta iz pojedine zemlje, kao i više sveučilišta iz različitih zemalja.

Natjecanje *Solar Decathlon* temelji se na izgradnji samoodržive montažne kuće čije se potrebe za energijom zadovoljavaju iz obnovljivih izvora, prije svega od Sunca. Natjecanje se sastoji od dvije faze. U prvoj fazi, koja traje dva mjeseca, potrebno je napraviti idejno rješenje te dokazati da natjecateljski tim ima znanja, mogućnosti i ambicije dovesti projekt do završetka, tj. do izgradnje kuće na natjecanju *Solar Decathlon*. Najvažniji kriteriji koji se pri tome razmatraju jesu financijska i organizacijska mogućnost završetka projekta.

Usto, za odabir finalista bitni su kriteriji inovativnost i integracija projekta u nastavni program sveučilišta. Ako tim prođe u drugu fazu natjecanja, tj. ako uđe među 20 finalista, ima 18 mjeseci za dovršetak izvedbenog projekta i izgradnju objekta. Organizator periodično provjerava izvedbu projekta na temelju projektne dokumentacije koju su timovi dužni dostaviti prema unaprijed određenim rokovima. Vrhunac natjecanja je izgradnja svih objekata i njihovo izlaganje na lokaciji održavanja natjecanja.

Objekti se ocjenjuju u deset kategorija, a to su:

1. arhitektonska izvedba
2. konstrukcije
3. energetska učinkovitost
4. ravnoteža proizvodnje i potrošnje električne energije
5. ugodnost stanovanja
6. funkcionalnost
7. industrijalizacija
8. inovativnost
9. održivost
10. društvena prihvatljivost.

Svaku kategoriju ocjenjuje tročlana komisija, a ocjenjivanje se provodi tijekom cijelog trajanja natjecanja. Sve dok traju mjerenja, npr. energetske učinkovitosti, kuće su zatvorene za javnost kako bi se uklonila mogućnost utjecanja na rezultate.

Solar Decathlon Europe

Zahvaljujući velikom uspjehu *Solar Decathlon*a u SAD-u, 2010. prvi je put održano natjecanje *Solar Decathlon Europe* u Madridu, na temelju sporazuma između španjolske vlade i Ministarstva energetike SAD-a. Prvi *Solar Decathlon Europe* posjetilo je oko 190 000 osoba, a za sudjelovanje na natjecanju prijavilo se 46 timova od kojih je izabrano 17 finalista. Idući *Solar Decathlon Europe* održan je 2012., također u Madridu, a razgledalo ga je oko 250 000 posjetitelja. Sudjelovalo je 20 timova finalista iz 11 zemalja svijeta, a samo dva tima zbog tehničkih i/ili financijskih razloga nisu mogli izložiti svoju kuću.

Dogovorom između vlada SAD-a i Francuske, *Solar Decathlon Europe 2014.* održan je u Versaillesu, u parku dvorca, od 16. lipnja do 19. srpnja. Poziv za prijavu objavljen je 10. listopada 2012. pod pokroviteljstvom francuske vlade. Na natjecanje su se prijavila 44 tima iz 23 zemlje svijeta. Prijave su stizale iz Europe, Azije te Sjeverne i Južne Amerike. Neki su timovi bili sastavljeni

od sudionika sa sveučilišta iz različitih zemalja, čime je započeta nova era natjecanja, ali i znanstvene suradnje u istraživanju i razvoju solarne energije.

Za *Solar Decathlon Europe 2014.* iznimno su formirane dvije skupine finalista: 20 glavnih i pet zamjenskih timova. Zamjenski su timovi osmišljeni za slučaj da neki glavni tim odustane u procesu razrade projekta. Prvotni je plan bio da svi timovi do 1. studenog 2013., tj. do treće isporuke dokumentacije, ravnopravno sudjeluju u natjecanju. Tada se, prema stanju projekata, trebalo odlučiti o nastavku rada na projektu za glavne timove, ili o prekidu rada za zamjenske timove. No ponukani ozbiljnošću zamjenskih timova i njihovim angažmanom, organizatori su pokušali, i uspjeli, naći način da se i zamjenskim timovima omogući sudjelovanje na natjecanju te izlaganje njihovih objekata. Do početka natjecanja ostala su dva zamjenska tima koja su u zadanom roku uspjela izvesti svoje projekte do kraja.

Tim UniZG

Tim UniZG (sl 1.) tim je studenata Sveučilišta u Zagrebu, sastavljen radi sudjelovanja na natjecanju *Solar Decathlon Europe 2014.* To je prvi tim iz Republike Hrvatske koji je sudjelovao na natjecanju tog tipa. Osim sudjelovanja na natjecanju, njihovim se radom željelo postići povećanje svijesti javnosti i studenata o potrebi iskorištavanja obnovljivih izvora energije i o održivom razvoju. S vremenom se tim razvijao te je od malog broja studenata narastao do više od 70 studenata i 30 profesora mentora s 13 zagrebačkih fakulteta. To su Fakultet elektrotehnike i računarstva, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Građevinski fakultet, Arhitektonski fakultet, Šumarski fakultet, Ekonomski fakultet, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Filozofski fakultet, Fakultet političkih znanosti, Tekstilno-tehnološki fakultet i Grafički fakultet.

Da bi projekt bio uspješno proveden, studenti su bili podijeljeni u nekoliko timova: Arhitektura, Konstrukcije i materijali, Strojstvo, Elektroenergetika, Automatika, Organizacija građenja, Drvna tehnologija, Ekoinženjerstvo i Marketing.

Potrebno je napomenuti kako su u trenutku gradnje kuće granice među tim timovima praktički izbrisane, te su svi zajedno radili u skladu sa svojim mogućnostima i kompetencijama prema potrebama projekta.



Slika 1. Tim UniZG na dan otvorenja natjecanja u Versaillesu (Foto: tim UniZG, 2014.)

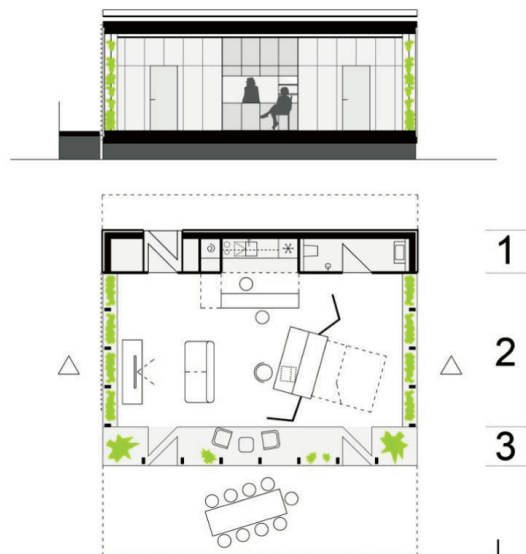
Glavni je mentor tima prof. Mladen Jošić s Arhitektonskog fakulteta u Zagrebu, voditelj cijelog tima Hrvoje Nikola Vučemilo, student Fakulteta elektrotehnike i računarstva, a menadžer za sponzorstva je Stipo Dubravac, student Šumarskog fakulteta.

Većina članova tima UniZG kao motivaciju za rad na projektu ponajprije ističe interdisciplinarnost koja se zbog isprepletenosti različitih struka danas nameće kao nužnost. Također treba spomenuti da su iz rada na projektu proizašli mnogi završni i diplomski radovi koji svjedoče o važnosti projekta. Projekt je pokazao da studenti Sveučilišta u Zagrebu svojim znanjem i idejama, te uz pomoć mentora sa Sveučilišta, itekako mogu biti konkurentni na međunarodnoj razini. To je dobar pokazatelj u kojem smjeru treba ići kako bi se ostvario puni potencijal studenta Sveučilišta u Zagrebu.

Jedna od glavnih ideja kojom su se studenti vodili pri izradi projekta bila je da kuća u konačnici bude izrađena iskorištenjem domaćih resursa ako je ikako moguće. Zahvaljujući tome, ostvarena je suradnja s brojnim domaćim tvrtkama koje su prepoznale značajne projekta. Pri tome treba istaknuti tvrtke iz Hrvatske drvne industrije koje su financijski i materijalno potpomogle uspješnu izradu projekta. To su Spin Valis, Hrvatske šume, Drvene kuće – Macola, Drvene konstrukcije – Voćin, Bernarda, Lokve, Schachermayer, Hafele, Elgrad, Egger i obrt Kolar.

Koncept Membrain

Počevši već od stanice, membrane su vitalni dijelovi svih živih organizama – one moraju biti u izravnom kontaktu s okolišem, dok tvari selektivno cirkuliraju unutar staničnog prostora. Slično tome, i *Koncept Membrain* projekt je pametne samoodržive kuće koncipirane s visokotehnoškom membranom koja štiti jezgru kuće te omogućuje život u njoj. Membrana apsorbira sekundarne prostore i oslobađa jezgru koju korisnik potom prilagođuje svojim potrebama.



Slika 2. Prikaz slojeva *Kocept Membrain* kuće (1 – sjeverni zid unutar kojega su smješteni strojmarnica, ulazni prostor, kuhinja, garderobni ormar i kupaonica, 2 – centralni dio – jezgra okružena staklenicama, 3 – zimski vrt) (Foto: Tim UniZG, 2013.)

Ovojnica komunicira s vanjskim svijetom, upija energiju i prenosi je u unutrašnjost, gdje stvara ugodnu mikroklimu. Također, membrana obuhvaća kuhinju, kupaonicu, spremište, strojarnicu, ulaz i staklenik, a time oslobađa unutarnji prostor i stvara fleksibilni prazni prostor. Ona je „mozak“ cijele kuće, prilagodljiva je i slojevita, a obavlja kuću sa svih njezinih strana. Dakle, dvije ključne komponente kuće jesu membrana i jezgra (sl. 2.).

Projekt *Koncept Membrain* također je usko vezan za izgradnju kampusa Borongaj. Kampus je osmišljen kao ekološki rezervat, pa se i gradi u skladu s ekološkim i energetske standardima. Energetski koncept u potpunosti slijedi najsuvremenija načela i tehnologije iskorištavanja te primjene obnovljivih izvora energije, uštede energije, zaštite okoliša i održive gradnje te potiče na eksperimentiranje sa svim poznatim novim energentima i tehnologijama njihove primjene.

Sustavi kuće

Kako bi se osigurala brza gradnja kuće te njezino normalno funkcioniranje nakon sastavljanja, studenti su implementirali mnoge sustave koje su uglavnom sami osmislili i izradili.

Nosiva konstrukcija kuće napravljena je od drvenih lameliranih stupova, horizontalnih podnih i stropnih ploča te ukrutnih zidova. Drvo je odabrano kao materijal s dugom tradicijom u hrvatskoj kulturi gradnje, a ima sjajna svojstva – malu specifičnu gustoću, nisku toplinsku provodljivost i negativan utisak CO₂.

Kao toplinska izolacija upotrijebljena je ovčja vuna. Ona je korištena za ispunu posebno projektiranih kutija od OSB ploča na ukrutnim zidovima te na podnim i stropnim pločama. Vuna je izabrana kao prirodni materijal i nusproizvod uzgoja ovaca koji se zbog preniske kvalitete ne rabi za izradu odjevnih predmeta, a ima jednako dobra svojstva kao i klasična mineralna vuna.

Na južnome, istočnome i zapadnom zidu toplinska se izolacija postiže sustavom staklenika koji svojim dvostrukim izostaklom smanjuju gubitke topline, stvaraju prostor za uzgoj biljaka, a zbog solarne energije zimi smanjuju potrebu aktivnoga grijanja.

Krov kuće je dinamična površina fotonaponskih solarnih panela, poznatija pod nazivom „harmonika“. Ovisno o insolaciji, ona mijenja svoju geometriju i kut nagiba panela te se prilagođuje za optimalno skupljanje električne energije i štiti kuću od prekomjernog osunčavanja ljeti. Zimi, kada je Sunce nisko, krov se nabere povećavajući tako nagib fotonaponskih panela te proizvodi više energije i istodobno propuštajući više Sunčeve energije u unutrašnjost kuće.

Unutar konstrukcije spuštenog stropa ugrađen je pasivni sustav phase-change materijala (PCM) koji promjenom svoga agregatnog stanja povećava toplinski kapacitet kuće zadržavajući konstantnu temperaturu prostora.

Sve potrebe za grijanjem i hlađenjem koje pasivni sustavi ne mogu ostvariti, kao i potrebe za sanitarnom toplom vodom, nadoknađuje sustav dizalice topline koji, koristeći se energijom dobivenom od solarnih panela, hladi/grije vodu koja se sustavom niskotemperaturnog podnoga grijanja distribuira kroz kuću. Za

aktivan sustav grijanja/hlađenja primijenjen je sustav ventilacije s rekuperacijom zraka.

Svim sustavima unutar *Membrain kuće* upravlja glavni računalni sustav koji istodobno omogućuje nadzor i upravljanje. Interakcija s korisnikom ostvaruje se putem tableta ili pametnog telefona. Na kampusu će služiti kao glavni obrazovni alat koji će posjetiteljima davati informacije o potrošnji energije te uštedama ostvarenim korištenjem obnovljivih izvora i održive gradnje.

Za zvučnu izolaciju strojarnice upotrijebljene su drvo-cementne ploče koje nude mnoge pogodnosti za okoliš i održivi razvoj, a vrlo se jeftino proizvode – dva najskuplja elementa su cement i radna snaga. Kako se ne proizvode u velikoj tvornici ili postrojenju, tijekom proizvodnje znatno su umanjeni ugljični otisak i potrošnja energije. Cilj nije bio proizvesti materijal velike čvrstoće, već lagan i porozan, pogodan za korištenje na fasadi, koji omogućuje bolju toplinsku i zvučnu izolaciju. Vrlo je otporan na vlagu, nametnike, insekte i vatru.

Drvena tehnologija

Studenti Šumarskog fakulteta okupljeni u timu Drvena tehnologija bili su zaduženi za mnoge poslove u sklopu rada na projektu *Koncept Membrain*. Među ostalim bili su to poslovi osmišljavanja i izrade namještaja, proračuni trajnosti drvene fasade kojom se oblagao sjeverni zid kuće, izrada drvene ograde terase, izrada unutarnjih vrata te savjetovanje s ostatkom tima u vezi s uporabom drva i drvnih materijala.

Unutarnja vrata na strojarnicama, ulaznom prostoru i kupaonici izrađena su od jelove konstrukcije i brezovih furnirskih ploča, a studenti su ih izradili sami. Za toplinsku i zvučnu izolaciju upotrijebljena je ovčja vuna, što je koncept primijenjen i na ostatku kuće.

Namještaj, koji su projektirali i velikim dijelom izradili studenti Šumarskog fakulteta, u potpunosti je prilagođen konceptu pametne prilagodljive kuće. Kuhinja se, sa svim svojim uređajima, nalazi unutar membrane, a namještaj u jezgri kuće jednostavan je, lako pomičan i sklopiv. Ta je ideja jasno naglašena i korištenim materijalom – namještaj u jezgri kuće izrađen je od hrastovine kao tradicionalnoga hrvatskog materijala za izradu namještaja i opremu interijera. Drvo hrasta lužnjaka visokokvalitetni je materijal iznimnih estetskih, fizikalnih i mehaničkih svojstava. Kuhinja i garderobni ormar izrađeni su od suvremenih materijala kakvi se rabe u izradi namještaja da bi se približili suvremenom visokotehnološkom konceptu membrane u kojoj se nalaze. To je prije svega ploča iverica, oplemenjena folijom, ploče sa saćastom ispunom, furnirska ploča od brezovine, inoks i aluminij. Ploče iverice dobar su primjer održivih materijala zato što se za njihovu proizvodnju uglavnom upotrebljava drvo koje se zbog nešto niže kvalitete ne može iskoristiti za izradu drugih predmeta, kao i reciklirano drvo, što smanjuje potrebu za sječom šuma. Namještaj izrađen od ploča iverica na kraju svojega životnog vijeka može se iskoristiti za proizvodnju biogoriva.

Koncept namještaja

Osnovni koncept namještaja kojim su se vodili studenti Šumarskog fakulteta prilikom projektiranja



Slika 3. Kuhinja u različitim fazama otvorenosti (a – zatvorena, b – poluotvorena, c – otvorena, sa spremljenim kuhinjskim otokom, d – otvorena, s izvučenim kuhinjskim otokom) (Foto: Novak, M., 2014.)

namještaja bila je prilagodljivost. Ona se ponajprije ogleda u tome što je sav namještaj lako pomičan i nenametljiv u prostoru. Stoga se kuhinja sastoji od dva dijela. Nepomični dio s ugrađenim uređajima nalazi se u membrani kuće, dok se pomični kuhinjski otok može izvući iz membrane u središnji prostor kuće prema potrebi. Ako korisnici kuće imaju potrebu za više prostora u jezgri kuće, kuhinjski se otok vrlo jednostavno može spremiti u membranu i zatvoriti. Slika 3. prikazuje kuhinju u različitim fazama otvorenosti. Kuhinjski je otok projektiran u tri dijela kako bi se uštedio prostor i povećala funkcionalnost namještaja. On se sastoji od šanka, sklopivoga blagovaoničkog stola za šest osoba i kuhinjskog elementa. Funkcionalnost kuhinjskog elementa dodatno je povećana time što se dva barska stolca mogu spremiti unutar njega da ne smetaju u prostoru dok nisu potrebni.

U membrani je uz kuhinju smješten i garderobni ormar koji se izvlači iz zida. Dok je garderobni ormar zatvoren, pročelje ormara postaje dio zida. Na taj je način jezgra kuće rasterećena od monumentalnih formi koje bi mogle biti nametljive u prostoru, a korisnici kuće i dalje imaju dovoljno prostora za spremanje.

Namještaj u jezgri kuće čine radni stol i ladičar (sl. 4.), preklopni bračni krevet (sl. 5.), četiri ormarića koja mogu poslužiti i za sjedenje te šest blagovaoničkih stolaca.

Pri projektiranju namještaja vodila se briga i o povećanoj funkcionalnosti. To se vidi na primjeru ormarića koji mogu poslužiti za spremanje predmeta, kao

i za sjedenje i odlaganje predmeta. Naravno, uz sve navedeno bilo je potrebno voditi brigu o kvaliteti, trajnosti i održivosti izrađenog namještaja.

Gradnja Koncept Membrain kuće

Nakon mjeseci rada na dokumentaciji, planiranja te prikupljanja financijskih i materijalnih sredstava, u proljeće 2014. počela je i gradnja kuće u Kineskom paviljonu Zagrebačkog velesajma (sl. 6.). Kako bi se ispunili ograničeni rokovi za sastavljanje kuće, mnogi su sustavi zamišljeni kao prefabrikati, tj. predmontirani su kako bi se smanjilo vrijeme potrebno za sastavljanje u Versaillesu. Kuća je odmah nakon sastavljanja rastavljena te uz pomoć pet šlepera otpremljena na put prema Versaillesu.

Sastavljanje kuće u Versaillesu (sl. 7.) počelo je 16. lipnja, a trajalo je do 28. lipnja. U tom roku kuća je uspješno sastavljena, s tim da je potrebno napomenuti kako su neki sustavi prvi put postavljeni tek u Francuskoj, što je važno istaknuti s obzirom na to da je neolicina ostalih timova kasnila s izgradnjom i produžila je za vrijeme natjecanja. Pri izgradnji kuća organizatori su timove smatrali pravim građevnim tvrtkama, stoga su svi sudionici tijekom cijelog vremena gradnje na gradilištu nosili zaštitnu opremu, svako je gradilište bilo ograđeno zaštitnom ogradom te je osim organizatorskih nadzornika za zaštitu na radu svaki tim imao i svoje nadzornike. Radilo se u dvije smjene, jutarnjoj i večernjoj, kako bi kuće bile izgrađene navrijeme, tj. do početka službenog dijela natjecanja.



Slika 4. Radni stol, ladičar i ormarić (Foto: Novak, M., 2014.)



Slika 5. Preklopni bračni krevet i ormarić (Foto: Novak, M., 2014.)



Slika 6. Postavljanje stropne ploče u Kineskom paviljonu (Foto: tim UniZG, 2014.)



Slika 7. Sastavljanje kuće u Versaillesu

Kuća je bila otvorena za javnost od 28. lipnja do 14. Srpnja, kada je završeno natjecanje. Timovi su imali rok za rastavljanje objekata do 19. srpnja, a tim UniZG kuću je uspješno rastavio i poslao na put prema Zagrebu u zadanom roku.

Rezultati *Solar Decathlon Europe 2014.*

Na natjecanju *Solar Decathlon Europe 2014.*, održanome u parku dvorca Versailles, svoje su projekte predstavila 22 sveučilišna tima iz 17 zemalja s područja Europe, Azije te Sjeverne i Južne Amerike (sl. 8.), tj. 20 natjecateljskih timova i dva izložbena. Tim UniZG sa svojim je projektom *Koncept Membrain* sudjelovao kao jedan od izložbenih timova. Za vrijeme cjelokupnog trajanja natjecanja, tj. do izložbe, kuću *Koncept Membrain* razgledalo je otprilike 80 000 posjetitelja.

Natjecanje su posjetile osobe različitih interesnih skupina, a mnogi od njih bili su puni pohvala za *Koncept Membrain kuću* (sl 9.). Posjetitelji su bili zadivljeni time



Slika 8. Pogled na Solarno selo u Versaillesu (Foto: *Solar Decathlon Europe 2014.*)



Slika 9. Eksterijer *Koncept Membrain kuće* u Versaillesu (Foto: *Solar Decathlon Europe 2014.*)



Slika 10. Interijer *Koncept Membrain kuće* u Versaillesu (Foto: *Solar Decathlon Europe 2014.*)

što je hrvatski tim projektirao i izgradio svoju kuću bez pomoći profesionalaca i uz znatno skromnija sredstva od ostalih timova. Posjetitelja se najviše dojmila jednostavnost izvedbe ukomponirana u funkcionalnost, a doživjeli su je kao ugodan i otvoren prostor ispunjen svjetlošću i toplinom (sl. 10.). Potrebno je naglasiti kako se koncept same *Membrain kuće* toliko razlikovao od ostalih kuća na natjecanju da je označen kao jedan od inovativnijih. To je bitna činjenica zato što je to prvo sudjelovanje nekog tima iz Hrvatske na takvom natjecanju, a tim UniZG pokazao je što studenti zagrebačkog Sveučilišta znaju i mogu napraviti kad dobiju priliku.

Nakon zbrajanja bodova za svih deset ocjenjivanih kategorija, ukupnim je pobjednikom proglašen talijanski tim *RhOME* s projektom *RhOME for denCity*, a tim UniZG dobio je posebno priznanje za sudjelovanje na *Solar Decathlonu Europe 2014.* Edwin Rodríguez Ubiñas, jedan od glavnih organizatora natjecanja, tijekom cijele gradnje i natjecanja pomno je pratio UniZG tim te je izrazio veliko zadovoljstvo radom i trudom hrvatskog tima.

Više o natjecanju *Solar Decathlon Europe 2014.* možete saznati na web adresi: <http://www.solardecathlon2014.fr/en/>, a o timu UniZG i *Konceptu Membrain* možete saznati na web adresi: <http://www.membrain.com.hr/>.

Marko Šostar, mag. ing. tech. lign.
Stipo Dubravac, univ. bacc. ing. techn. lign.