

NAGRAJENI JEKLENI MOST ŠTUDENTOV FG IZ MARIBORA NA MEDNARODNEM TEKMOVANJU DECO 2014 V CARIGRADU

AWARD-WINNING STEEL BRIDGE MADE
BY STUDENTS FROM THE FG MARIBOR
AT THE INTERNATIONAL COMPETITION
DECO 2014 IN ISTANBUL

Andrej Jazbec, študent gradb.

andrej.jazbec@gmail.com

Matjaž Klemenčič, študent gradb.

matto.klemencic@gmail.com

Tadej Medved, študent gradb.

tadej.medved@gmail.com

Žiga Unuk, študent gradb.

ziga.unuk@gmail.com

Matic Urbanč, študent gradb.

m4tic.urbanec@gmail.com

prof. dr. Stojan Kravanja, univ. dipl. inž. grad.

stojan.kravanja@um.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo

Strokovni članek

UDK 624.014.2:624.21-057.875(560 Carigrad)

Povzetek | Članek prikazuje zasnovo in izdelavo jeklenega mosta, s katerim je ekipa študentov z imenom Trust'n'truss iz Fakultete za gradbeništvo Univerze v Mariboru sodelovala na mednarodnem študentskem tekmovanju v postavitvi jeklenih mostov DECO 2014 v Carigradu. Podrobno je opisan tudi potek tekmovanja, kjer so se ocenjevali videz mostne konstrukcije, čas sestavljanja, pomiki konstrukcije, masa konstrukcije ter usklajenost s programom tekmovanja. Ekipa študentov iz Maribora je po seštevku točk vseh omenjenih kriterijev osvojila drugo mesto in prejela nagrado.

Ključne besede: DECO, nagrada, most, jeklo

Summary | The paper presents the design and construction of a steel bridge, with which a team of students, called Trust'n'truss, from the Faculty of Civil Engineering, University of Maribor, participated in an international student competition of the installation of steel bridges DECO 2014 in Istanbul. The development of the competition is described in details, where the aesthetics of the bridge structure, the assembly time, the displacements, the dead-weight of the structure and the consistency to the program of the competition were assessed. With accumulated points of the mentioned criteria the team of students from Maribor won the 2nd place and received an award.

Keywords: DECO, award, bridge, steel

1 • UVOD

DECO (Design and Construct) je vsakoletno mednarodno študentsko tekmovanje v načrtovanju in gradnji jeklenih mostov, ki poteka v Carigradu v Turčiji. Organizator tekmovanja je Univerza Boğazici (Bospor) iz Carigrada. Tekmovanje se vsako leto pripravi v kampusu Univerze Boğazici, glej sliko 1. Na prejšnjih tekmovanjih so že sodelovale ekipe iz Bolgarije, Hrvaške, Irana, Nemčije, Portugalske, Srbije, Romunije in Turčije. Letos smo se tekmovanja udeležili tudi študentje iz Fakultete za gradbeništvo Univerze v Mariboru, in sicer absolventi 2. stopnje gradbeništva, smer gradbene konstrukcije: Andrej Jazbec, Matjaž Klemenčič, Tadej Medved, Žiga Unuk in Matic Urbanč.

Osnovni namen tekmovanja je čim bolj zastopati svojo fakulteto v načrtovanju, izdelavi in postavitvi jeklenega mosta ter sklepanje novih poznanstev med kolegi – bodočimi gradbenimi inženirji iz različnih držav. Tekmovalci pri projektu dobijo bogate izkušnje. Kriteriji za oceno nosilnosti, uporabnosti in estetike prijavljenega mosta so opredeljeni v pravilih

tekmovanja, ki so prenesena iz resničnih pravil jeklogradenj in mostogradenj. Točkovali so se videz in edinstvenost mostne konstrukcije, čas sestavljanja, pomiki konstrukcije, masa

konstrukcije ter usklajenost s programom tekmovanja, ((glej) DECO, 2014). Naša naloga je bila v skladu s pravili tekmovanja:

1. zasnovati, izračunati odpornost in izrisati načrt mosta ter se prijaviti na tekmovanje,
2. izdelati jekleni most po načrtu prijave,
3. se udeležiti tekmovanja in doseči čimboljši rezultat.



Slika 1 • Tekmovanje DECO 2014 v kampusu Univerze Boğazici v Carigradu

2 • PRAVILA TEKMOVANJA DECO

2.1 Pravila za zasnovo in izdelavo mosta

Treba je zasnovati jekleni most razpona 6000 mm (dolžina vozne ploščadi, razpon med stebri). Most je lahko visok največ 2000 mm in se dotika tal samo s svojimi 4 stebri. Vozna ploščad mora biti izvedena na višini od 900 do 1300 mm in mora biti vzporedna s tlemi. Most mora dopuščati prečkanje »vozila« širine 800 mm in višine 500 mm. Za kontrolo dimenzij se uporabi škatla velikosti 800 x 500 x 500 mm³. Pod mostom mora biti dovolj prostora za »reko«, kar se preverja s škatlo velikosti 2000 x 2000 x 750 mm³ (750 mm je višina).

Most je sestavljen samo iz nosilnih elementov in veznih sredstev. Nosilni element je del mosta, ki tehta največ 7 kilogramov in ga je mogoče dati v škatlo dimenzij 1200 x 250 x 250 mm³. Izjema so stebri, za katere velja, da jih je mogoče postaviti v škatlo dimenzij 1200 x 350 x 350 mm³. Nosilni elementi morajo biti sestavljeni iz enega ali več togih delov, ki so med potekom izdelave zvarjeni. Nosilni elementi morajo biti izdelani iz jekla kakovosti

S235. Tekmovalci morajo predložiti dokument s podatki dobavitelja materiala in dokazilo o ustreznosti materiala. Žirija izbere naključni nosilni element mosta in opravi natezni preizkus. Nosilni elementi morajo biti med seboj povezani vsaj z enim vijakom. Prednapeti ali naknadno napeti elementi niso dovoljeni.

Vezno sredstvo v fazi montaže je lahko le vijak. Vezna sredstva ne smejo biti pritrjena (npr. privarjena) na nosilne elemente niti ne smejo biti v stiku z nosilnimi elementi pred pričetkom sestavljanja mostu. Največji dovoljeni premer vijakov je 20 mm, največja dolžina pa 240 mm. Vijaki morajo imeti šesterkotne glave. Dovoljena je uporaba podložk.

Zasnovati je mogoče tudi začasno podporo, ki jo je dovoljeno uporabiti le med sestavljanjem mosta. Uporaba ene začasne podpore se ne prišteva k času sestavljanja, drugače pa število začasnih podpor ni omejeno. Dovoljeni material je jeklo S235.

Most mora izkazati odpornost, tj. zadostno nosilnost in togost, na vodoravno in navpično obtežbo:

1. Vodoravna obtežba. Na sredini razpona, na višini vozne ploščadi, je most obremenjen s prečno vodoravno silo 250 N. Hkrati je most na sredini razpona obtežen še s težo mase 35 kg (350 N).
2. Navpična obtežba. Most je treba dimenzionirati na sočasno delovanje navpične teže 10 kN na sredini razpona in teže 2,5 kN na četrtini rapona.

Most se lahko samo elastično deformira. Vodoravni pomik mosta ne sme preseči 1,5 cm, navpični pomik pa 2,5 cm.

2.2 Pravila tekmovanja

Na tekmovanje se lahko prijavi ekipa, sestavljena iz 4 ali 5 tekmovalcev, ki imajo v času tekmovanja veljaven status študenta gradbeništva ali arhitekture. Tekmovalci morajo imeti na tekmovanju svoja orodja, bele čelade, rokavice in zaščitna očala. Tekmovalci, ki bodo obteževali most, morajo imeti tudi čevlje z jekleno kapico.

Most se na tekmovanju sestavlja na za to določenem t. i. gradbišču. Na gradbišče je dovoljen dostop samo tekmovalcem in sodnikom. Pred začetkom gradnje so lahko na gradbišču le sledeči elementi: nosilni elementi mosta, vezna sredstva, orodja in začasne

podpore. Vsi elementi se morajo dotikati tal, ne smejo pa se dotikati med seboj. Med sestavljanjem ni dovoljeno prinašati ali odnašati kakršnihkoli elementov z gradbišča ali nanj. Ko so pripravljene vse ekipe, sodnik naznani pričetek sestavljanja mosta. Čas sestavljanja je čas med začetkom in koncem sestavljanja mosta. Pri tem je definiranih precej pravil za ekipo: nihče od tekmovalcev ne sme stopiti z gradbišča, samo en tekmovalec lahko enkrat prečka »reko« in se potem vrne na isto stran, začasne podpore se ne smejo porušiti/prevrniti, v sestavljalnem delu gradbišča se lahko sestavijo največ 3 sestavljeni deli, sestavljeni deli se lahko pritrdijo samo na že zgrajeni del mosta, zgrajenih delov mosta se ne sme premikati, nosilni element lahko nosi le en tekmovalec, sestavljen del mosta morata nositi vsaj 2 tekmovalca, v reko ne smejo pasti orodja ali elementi itd. Vsaka napaka se kaznuje s kazensko točko. Kapetan ekipe mora dati signal, da je ekipa končala sestavljanje mosta, pri čemer morajo biti vsi elementi sestavljeni, orodja in začasne podpore pa morajo biti položeni nazaj na tla gradbišča.

2.3 Pravila ocenjevanja

Komisija mostove oceni glede na videz in edinstvenost, čas sestavljanja, pomike konstrukcije, maso konstrukcije ter usklajenost s programom

tekmovalja. Vpliv posamezne kategorije na skupno oceno mosta je naslednji:

1. videz in edinstvenost: 25 %,
 - videz: 15 %,
 - edinstvenost: 10 %,
2. čas sestavljanja: 25 %,
3. pomiki konstrukcije: 25 %,
4. masa konstrukcije: 20 %,
5. usklajenost s programom tekmovalja: 5 %.

Kriterij »videz« vsebuje uravnoteženost, razmerja, elegantnost in kakovost izdelave mosta, kriterij »edinstvenost« pa ustvarjalnost in drugačnost. Nosilnost oz. stabilnost konstrukcije pri tem ne igrata nobene vloge. Videz in edinstvenost ocenjuje posebna žirija. Med ocenjevanjem mora biti na mostu vidno ime univerze, s katere prihajajo tekmovalci. Vsaka ekipa mora izdelati plakat v velikosti do 100 x 100 cm. Plakat naj vsebuje ime ekipe, opis in pojasnila o načrtovanju mosta, stranski ris mosta, pojasnila o izbrani obliki in morebitna dodatna tehnična pojasnila. Ekipa mora tudi pripraviti 5-minutno predstavitev mosta.

Čas sestavljanja mosta je omejen na 120 minut. Največje število točk (25) prejme najhitrejša ekipa, preostale ekipe pa so ocenjene linearno glede na čas najboljše ekipe in najdaljši čas sestavljanja (120 min.).

Točke (25) pri kriteriju »pomiki konstrukcije« so odvisne od vodoravnega pomika konstrukcije (20 %) in od navpičnega upogibka (80 %) na sredini razpona. Ekipe, katerih most bo izkazal vodoravni pomik, manjši od 0,15 cm, dobijo vse možne točke za vodoravni pomik. Največji možni vodoravni pomik je omejen na največ 1,5 cm. In ekipe, katerih most bo izkazal navpični upogibek, manjši od 0,5 cm, dobijo vse možne točke za navpični upogibek. Največji možni navpični upogibek mora biti manjši od 2,5 cm.

Skupna masa konstrukcije je vsota dejanske mase nosilnih elementov in veznih sredstev. Orodja in začasne podpore se ne prištevajo k masi konstrukcije. Največja dovoljena masa je 300 kg. Če je masa prevelika, ekipo doleti točkovna kazen. Največje število točk (20) prejme ekipa z najlažjim mostom, preostale ekipe pa so ocenjene linearno glede na maso najlažjega mosta in največje dovoljene mase mosta (300 kg).

Usklajenost s programom tekmovalja je kategorija, kjer se ocenjuje organizacijska skladnost programa, udeležba na sestankih, oddaja poročil in upoštevanje pravil med tekmovaljem. Zatem komisija sešteje točke. Skupni uspeh ekipe je seštevok vseh točk, pridobljenih po zgoraj naštetih kriterijih. Ekipa z najvišjim številom točk je zmagovalka tekmovalja.

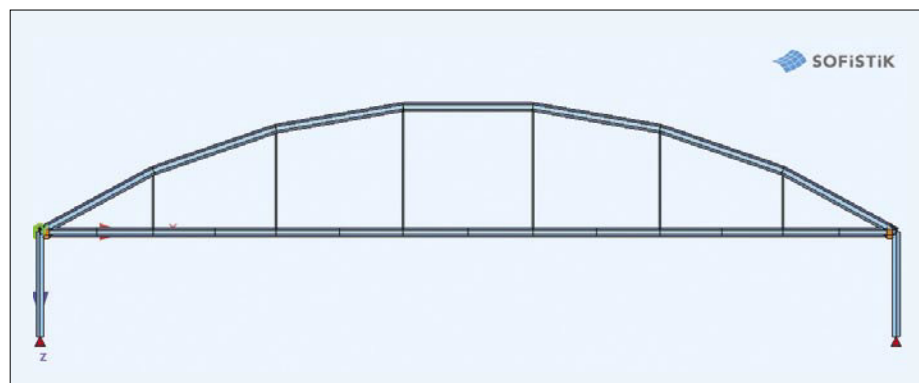
3 • ZASNOVA IN RAČUNSKA ANALIZA ODPORNOSTI MOSTA

Potem ko smo preučili navodila in pravila za tekmovalje DECO 2014, smo naš most zasnovali v kar nekaj različnih konstrukcijskih variantah. V osnovi smo se odločili za ločni most, različne variante pa so vsebovale različno topologijo, tj. različno število in razpored polnilnih elementov. Vsaka konstrukcijska varianta je vsebovala 2 enaka, vzporedna ločna nosilca, povezana z vodoravnimi prečkami. Izbrani prerezi nosilnih elementov so votli profili – pravokotne cevi po standardu SIST EN 10305-5 (SIST, 2010) z debelino sten od 1,5 do 2 mm. Uporabili smo material S235. Za izračun notranjih statičnih količin, pomikov in dimenzioniranje smo uporabili program Sofistik (Sofistik, 2012). Odločili smo se za besedni vnos podatkov, da smo lahko hitreje spreminjali konstrukcijo. Kontrola nosilnosti prevezov in stabilnosti elementov je bila izvedena v skladu z evropskimi predpisi Evrokod 3 (SIST, 2005a). Pri izračunu mejnih stanj nosilnosti smo, v skladu s standardom

Evrokod, vse obtežbe pomnožili s parcialnim faktorjem varnosti za stalno obtežbo 1,35. Obtežni primer, merodajen za dimenzioniranje mosta, je vsota lastne teže in obeh obtežnih primerov navpične obtežbe, definiranih v navodilih tekmovalja: 1000 kg na sredini razpona in 250 kg na četrtini razpona.

Pri iskanju zasnove našega mosta smo se najprej osredotočili na togost in lastno težo konstrukcije. V mislih smo imeli tudi dejstvo, da več elementov pomeni tudi večji čas sestavljanja. Za vse v nadaljevanju prikazane različice smo modelirali tridimenzionalne modele. Preverjali smo različice s pomičnimi in nepomičnimi podporami. Problem podpor je podrobneje obravnavan v nadaljevanju.

Prva konstrukcijska varianta je bila zasnova ločnega mosta z natezno tetivo – zatego in



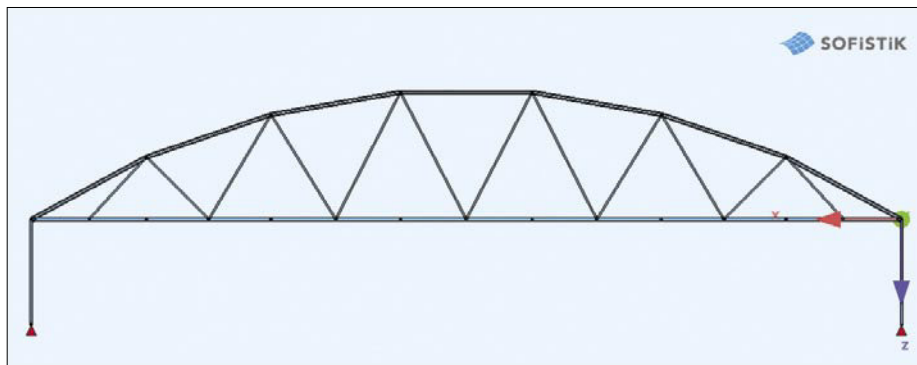
Slika 2 • Ločni most z zatego in navpičnimi vešalkami

navpičnimi vešalkami, glej sliko 2. Geometrija loka je krožni izsek oziroma poligonalni približek le-tega. Razpon mosta (širina reke) je določil organizator in je znašal 6,0 m. Horizontalna togost je bila zagotovljena s pomičnim okvirjem. Ker je bila obtežba postavljena na spodnji pas, je bil ta obremenjen tudi z upogibnim momentom, zaradi katerega smo dobili težjo konstrukcijo.

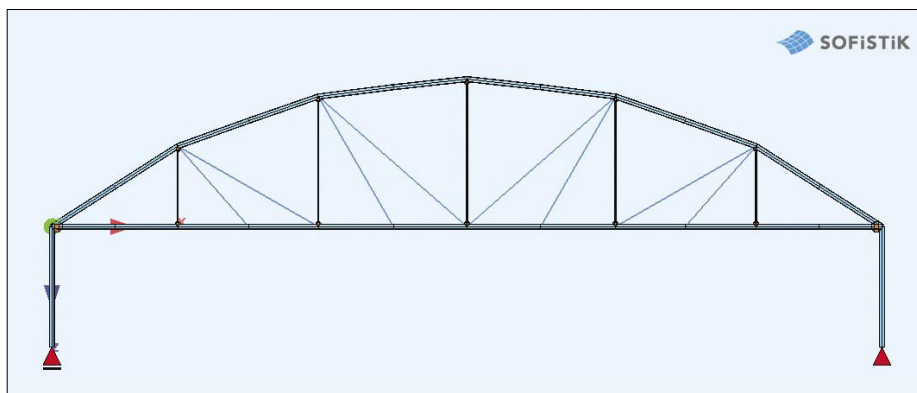
V želji po zmanjšanju mase jeklene konstrukcije smo prišli do naslednje zasnove – lok z diagonalami in zatego, glej sliko 3.

Zaradi tlačno obremenjenih diagonal, ki zaradi pojava uklona zahtevajo večji prečni prerez, smo spremenili usmerjenost omenjenih diagonal v navpične vertikale. Hkrati smo na mestu vsake natezne diagonale zasnovali 2 natezna elementa manjšega prereza, glej sliko 4. Ta konstrukcija je v bistvu kombinacija konstrukcij s sliko 2 in 3.

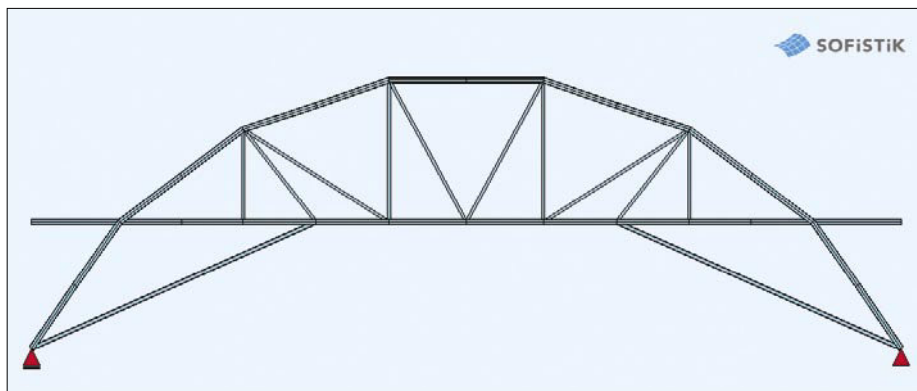
Konstrukcijsko varianto s slike 4 smo poskušali še izboljšati. S programom Sofistik smo opravili nekaj izračunov podobnih primerov z različno višino loka. Tako smo prišli do končne variante, razvidne s slike 5. Dolžina konstrukcije končne variante mosta znaša 6280 mm, širina 960 mm in višina 1934 mm. Loka in spodnja pasova glavnih okvirjev sta izdelana iz votlega pravokotnega profila 40 x 30, nenosilni (zunanj) del vozne konstrukcije iz profila 40 x 20, diagonale podpor iz profila 30 x 15, vertikale, prečke in druge diagonale iz profilov 20 x 10 in 15 x 10. Debeline sten profilov znašajo 1,5 oziroma 2 mm. Končna varianta (slika 5) je izkazovala najmanjšo lastno težo konstrukcije, vendar pa se je pokazala pomanjkljivost te variante v primerjavi s predhodnimi v problemu obnašanja podpor (slike 2, 3 in 4). Izdelani most bo pri obteževanju položen na asfaltno podlago, kar pomeni, da podpore stebrov ne bodo nepomične. Koeficient trenja med asfaltom in jeklom znaša $\nu = 0,4$. Pri globalni računski analizi smo v primeru računanja konstrukcije z nepomičnimi podporami dobili vrednosti horizontalnih akcijskih sil v podporah, ki so večje od sile trenja, kar pomeni, da vzdolžni vodoravni pomiki podpor pri največjih obremenitvah mosta ne bodo preprečeni in bi se lahko zgodilo, da podpore zdrsnejo zunaj predvidenega polja. Pripomočki, npr. ploščice iz gume ali različnih umetnih mas, ki bi bili nameščeni na mestih stikanja mosta s podlago, niso bili dovoljeni. Iz tega razloga smo poleg poševnih stebrov vgradili po 2 diagonali, s tem dobili palično ločno konstrukcijo in precej zmanjšali računske pomike podpor. Konstrukcijo smo preračunali tudi s



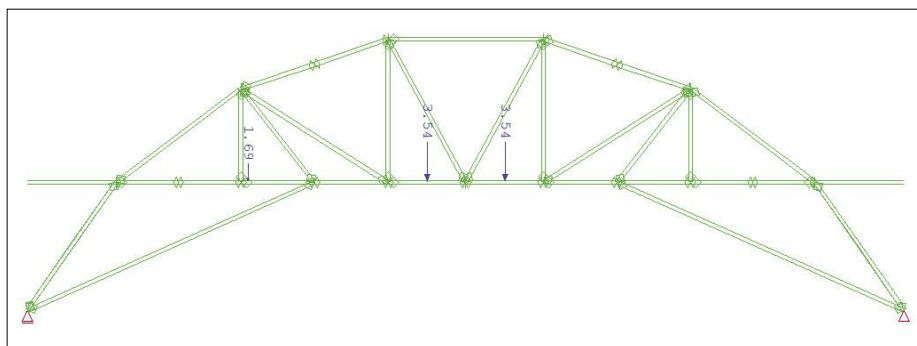
Slika 3 • Ločni most z zatego in diagonalami



Slika 4 • Ločni most z zatego, nateznimi diagonalami in vertikalami



Slika 5 • Palični ločni most – končna varianta



Slika 6 • Prikaz obtežbe na lok

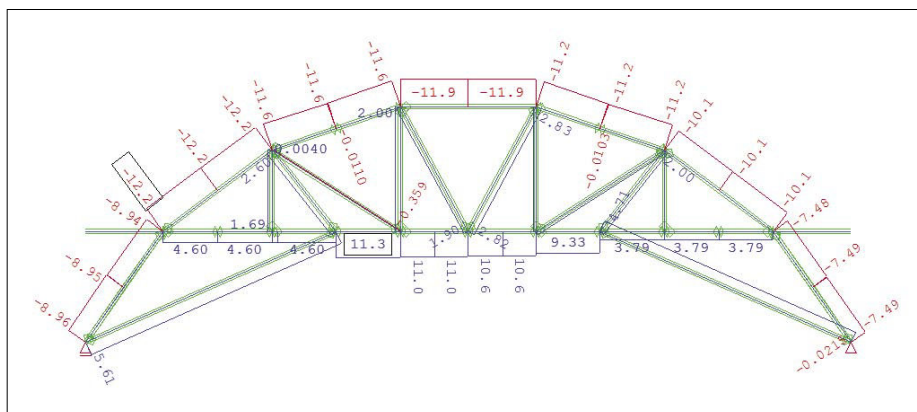
programom SAP2000 (SAP, 2000). Izračune statike sta zaradi kontrole ločeno opravila dva člana ekipe. Rezultati so seveda bili identični.

Po pričakovanju so bile osne sile merodajne notranje statične količine, glej sliko 7. Upogibni momenti in strižne sile se pojavijo le lokalno (na elementih, na katere deluje obtežba) (slika 6). S programom smo preverili tudi globalni uklon. Na podlagi rezultatov smo se odločili, da loka povežemo samo na območju, kjer so po prvi uklonski obliki vrhovi »valov« (slika 8). Ob podporah sta loka prečno povezana s skupaj štirimi prečnimi diagonalami. Na mestu vešalk sta loka povezana s prečkami pa tudi z diagonalami. Spodnja pasova sta povezana s prečkami in diagonalami, glej slike 8 in 11.

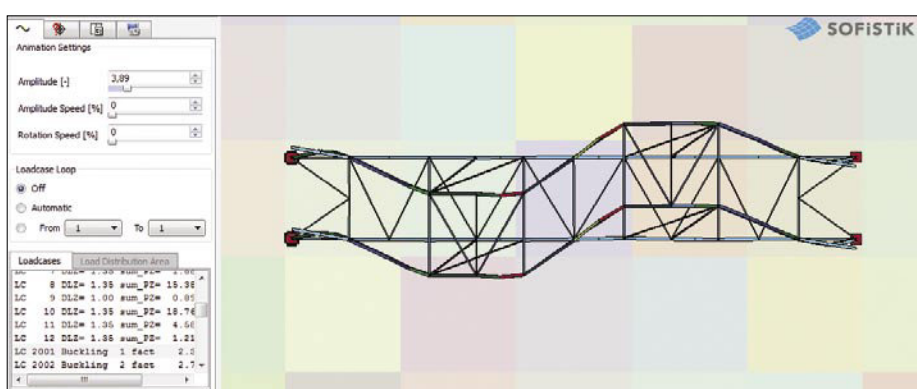
V želji, da bi po kriteriju pomikov konstrukcije dobili največje možno število točk, smo tudi pomike in upogibke mosta izračunali tako, da smo obtežbo pomnožili z varnostnim faktorjem obtežbe 1,35. Na ta način smo zaradi morebitnih nenatančnosti in napak pri izdelavi mosta, razlik med statičnim modelom in izdelano konstrukcijo ter nepredvidenimi razmerami na tekmovališču (npr. neravnost terena) upoštevali dodatno varnost pri pomikih. Z zadovoljivjo kriterija prečnega vodoravnega pomika računsko ni bilo težav. Računski vodoravni pomik na sredini razpona mostu znaša 0,18 mm. Pri tem izračunu smo modelirali nepomične podpore, saj je sila trenja oz. lepenja v podpori večja od vodoravne akcijske sile.

Izračunani največji navpični upogibek na sredini razpona mostu znaša 3,63 mm, glej sliko 9. Ker pa se bodo merilne naprave postavile po tem, ko bo na konstrukciji že 35 kg uteži, lahko odštejemo upogibek zaradi lastne teže in omenjenih 35 kg. Ta upogibek znaša 0,3 mm. Dejanski računski navpični upogibek torej znaša $3,63 \text{ mm} - 0,3 \text{ mm} = 3,33 \text{ mm}$ (še vedno povečan s faktorjem 1,35).

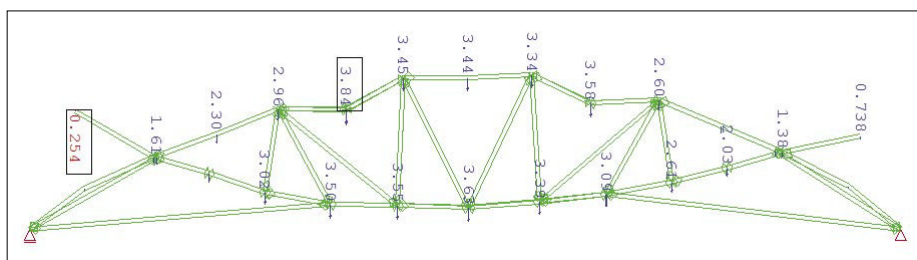
Vijačne stike in zware smo dimenzionirali v skladu z Evrokodom 3 (SIST, 2005b). Uporabili smo vijake premerov 6 in 8 mm trdnostnega razreda 8.8. Obnašanje nekaterih stikov smo poskušali simulirati s programom Solidworks (Solidworks, 2014). Rezultati so bili zadovoljivi: izračunane napetosti so bile pod mejo tečenja, glej sliko 10. V prikazanem primeru smo »površine« lukenj (valjev) vijakov podprli z drsnimi podporami. Element smo obremenili s silo, ki je v točki med luknjama povzročala upogibni moment, enak največjemu upogibnemu momentu v mostu (na srednjem elementu spodnjega pasu).



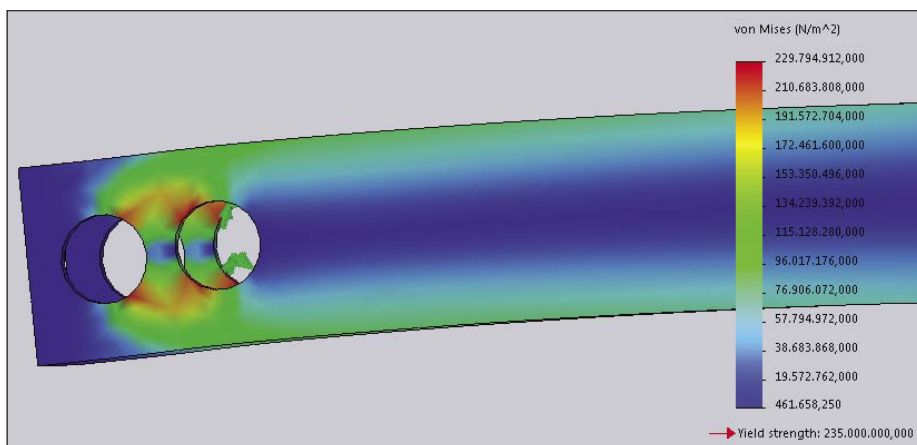
Slika 7 • Izris osnih sil (kN) s programom Sofistik



Slika 8 • Globalna uklonska analiza konstrukcij



Slika 9 • Izris navpičnih upogibkov (mm) s programom Sofistik

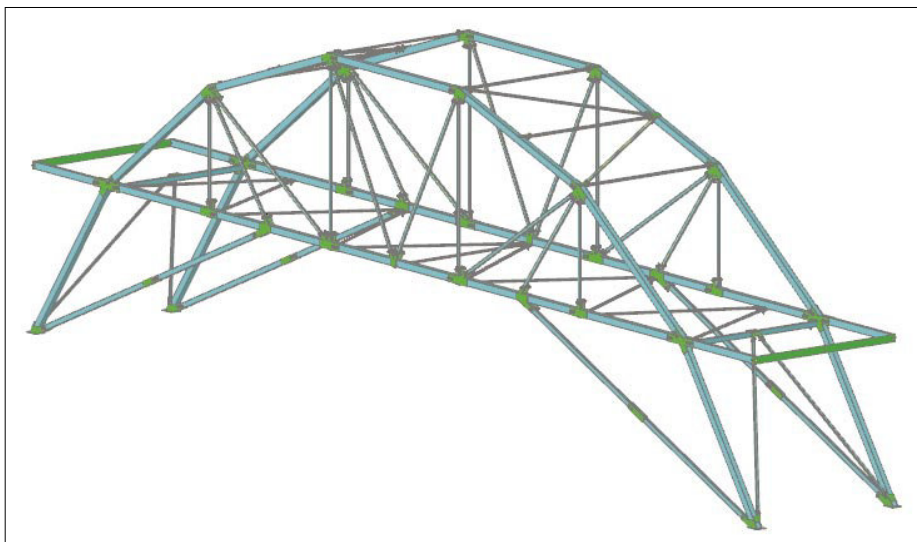


Slika 10 • Prikaz napetosti v stiku nosilnega elementa z dvema vijakoma

Za izris tehniških risb smo uporabili program Autocad (Autocad, 2013), glej sliko 11. Narisali smo 3D-model s vsemi potrebnimi detajli. Načrt mosta vsebuje izometrično projekcijo, floris, naris in stranski ris celotnega mostu ter naris, floris in izometrično projekcijo za vsak sestavni del mosta.

Na ta način smo tudi dobili precej natančno oceno o potrebni masi konstrukcije, ki naj bi skupaj znašala nekaj manj kot 109 kg. Masa nosilnih elementov konstrukcije znaša 81,13 kg (glej preglednico 1), 170 vijakov bo imelo maso 4,2 kg in vezne plošče 21 kg.

Ko smo dokončali načrt mosta, smo se lahko prijavili na tekmovanje. Organizator je prijave na tekmovanje zbiral do 15. januarja. Verjeli smo v nosilnost našega paličja, zato smo enostavno povezali angleški besedi trust (zaupanje) in truss (paličje) in dobili ime naše ekipe Trust'n'truss, s katerim smo se tudi prijavili na tekmovanje. 10. februarja so organizatorji objavili imena 16 ekip, ki so se pomerile na tekmovanju DECO 2014. Med izbranimi ekipami je bila tudi naša.



Slika 11 • Prikaz jeklene konstrukcije mosta s programom Autocad

Prerez SIST EN 10305-5 S235	Dolžina (mm)	Masa	
		Na enoto (kg/m)	Skupaj (kg)
15 x 10 x 1,5	24111,95	0,486	11,66
20 x 10 x 1,5	18383,00	0,590	10,85
30 x 15 x 2,0	10319,81	1,221	12,35
40 x 20 x 1,5	2454,06	1,271	3,12
40 x 30 x 2,0	9820,00	1,942	19,46
40 x 30 x 1,5	15507,32	1,531	23,69
Skupaj			81,13

Preglednica 1 • Masa nosilnih elementov konstrukcije mosta

4 • IZDELAVA MOSTA

Po potrditvi, da se naša ekipa lahko udeleži tekmovanja, smo pričeli izdelavo mosta. Potrebovali smo velik delovni prostor z dobro osvetlitvijo in zagotovljen trifazni električni tok za potrebe varjenja. Pri tem nam je pomagalo podjetje Hetit, d. o. o., iz Maribora, pri katerem smo si uredili prostor za izdelavo. To podjetje je za nas pred začetkom del dobavilo vse jeklene profile. Profili so bili sicer standardni, vendar smo zaradi optimizacije teže mosta izbirali čim manjše profile, ki pa se redkeje uporabljajo. Zaradi nedobavljivosti določenega votlega profila, smo bili celo primorani spremeniti debelino stene pri eni vrsti profilov. Profil 20 x 10 x 2 smo zamenjali s profilom 20 x 10 x 1,5. Masa mosta je tako bila manjša za okoli 3 kg.

Najprej smo naredili razrez profilov za nosilne elemente. Ker v danem času nismo imeli na voljo primerne tračne žage z nastavljivim kotom rezanja, smo rezali s kotnimi brusilkami. Izkazalo se je, da je bila natančnost rezanja še vedno dovolj velika. Vezne ploščice za stikovanje profilov smo dali lasersko izrezati, ker je bila njihova oblika preveč zahtevna za ročni izrez. Iz CAD-modela konstrukcije mosta smo tehniške risbe ploščic v DXF-obliki poslali podjetju, ki je nato ploščice lasersko izrezalo iz pločevine zahtevane debeline.

Z namenom, da bi lažje in hitreje sestavili most, smo se že med projektiranjem odločili, da bodo vsi stiki med nosilnimi elementi izdelani tako, da na prvi element navarimo vezno ploščico, na katero se privijači drugi

element, glej sliko 12. Ker so bili izbrani profili zelo tanki, debeline 1,5 mm in 2 mm, smo se odločili za MAG-tehniko varjenja. Uporabili smo varilni stroj Varstroj Supermig 191 in CO₂ za zaščitni plin. Izbrana tehnika se je izkazala za zelo primerno, varjenje je bilo hitro in dovolj kakovostno.

Nekaj težav nam je na začetku povzročalo določanje geometrije celotnega mosta, zagotavljanje simetrije in kako natančno izvrtati luknje za vijake na spojih. Da bi zagotovili simetrijo in čim manjša geometrijska odstopanja, smo izdelali pomožno konstrukcijo – šablono, na kateri smo nato izdelali in sestavili nosilne elemente v oba glavna ločna nosilca. Po treh dolgih dnevih je bila izdelava mosta v končni fazi, glej sliko 13. Odločili smo se, da bomo novi izdelek preizkusili. Obremenili smo ga z enako obtežbo, kot je bila predvidena na tekmovanju, in merili navpični upogibek. Za merjenje upogibka smo imeli na voljo



Slika 12 • Vijačni stik nosilnih elementov



Slika 13 • Izdelava mosta v delavnici

tahimeter z natančnostjo merjenja 1 mm, kar je bilo dovolj, da smo okvirno ugotovili, ali je konstrukcija dovolj toga. Pred obremenjevanjem z utežmi smo most preverili tako, da smo

se nanj povzpeli sami (skupna teža približno 5 kN) in tako izničili pomike zaradi zračnosti v stikih. Pri največji obtežbi smo izmerili upogibek $3 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, kar je zadovoljivo, saj

je bila izračunana (nefaktorirana) vrednost $3,33/1,35 = 2,47 \text{ mm}$. Sledil je le še nanos protikorozijske zaščite konstrukcije in vaja v sestavljanju mosta.

5 • POTEK TEKMOVANJA

Preden smo se odpravili na pot iz Maribora v Carigrad, smo morali urediti še nekaj formalnosti, da smo lahko z našim (sicer razstavljenim) mostom brez težav prečkali državne meje. Za ta namene smo pridobili ATA-carnet oziroma ATA-zvezek, ki omogoča tranzit blaga skozi državo ter ureja začasni uvoz in izvoz. Kljub temu pa nas je prečkane različnih meja še vedno skrbelo. Upravičeno, saj nekateri cariniki niso razumeli slovenskega, srbohrvaškega ali angleškega jezika. K sreči smo imeli pri sebi načrt mosta, tako da smo carinikom lahko razložili, bolje rečeno, pokazali, kakšen tovor prevažamo.

1. dan tekmovanja – spoznavanje mesta in ekip

V Carigrad smo prispeli s kombijem po utrudljivi, neprekinjeni 20-urni vožnji v ponedeljek zjutraj, 14. aprila lani. Carigrad je zelo veliko mesto. Nekaj časa smo iskali univerzo Boğaziçi in smo jo na koncu uspešno našli. Organizatorji so nas lepo sprejeli in nam na kratko predstavili in razkazali kampus. Po predstavitvi kampusa so nas peljali do hostla v središču mesta, v bližini trga Taksim. Prvi dan je minil v prijetnem spoznavanju sodelujočih ekip in organizatorjev.

2. dan tekmovanja – trening v sestavljanju mosta

V torek, 15. aprila, sta v kampusu univerze Boğaziçi bila po zajtrku razlaga pravil in nato trening sestavljanja mostov. Trening je trajal približno do 13. ure. Most smo sestavljali pod budnimi očesi sodnikov, ki so nas opozarjali na napake in dajali nasvete. Na treningu smo most sestavili v solidnem času 25 minut. Prvič smo videli večino mostov preostalih

konkurenčnih ekip. Popoldan smo se udeležili ekskurzije, ki jo je za tekmovalce organiziral prireditelj. Srečali smo se tudi z mentorjem prof. Stojanom Kravanjo.

3. dan – ocenjevanje estetike in tehtanje mosta

V sredo, 16. aprila, dopoldne je bila najprej organizirana uvodna slovesnost tekmovanja, kjer so se predstavili organizatorji, sponzorji in seveda posamezne ekipe. Vsaka ekipa je morala v petih minutah predstaviti svoje člane in most. Posebna komisija je ocenjevala videz in edinstvenost mostov, ki šteje 25 %



Slika 14 • Sestavljeni most pri ocenjevanju estetike

točk skupne ocene. Mostove smo sestavljali v središču kampusa, na travi. Ni bil pomemben čas sestavljanja, ampak samo videz. Most smo sestavili in ga skušali še na hitro malo polepšati in popraviti z barvo, ki smo jo prinesli s seboj v ta namen, glej sliko 14. Zraven mosta smo morali postaviti plakat s podatki ekipe in mosta. Estetiko mosta je ocenjevala posebna žirija, sestavljena iz profesorjev, študentov, sponzorjev. Ocenjevanje je trajalo približno dve uri, do okoli 16. ure. Koliko točk smo zbrali, nismo zvedeli takoj, ampak šele po zaključku tekmovanja. Prvič smo videli mostove vseh naših konkurentov.

Po končanem ocenjevanju estetike smo morali most razstaviti in pustiti vse dele na tleh. Sledilo je tehtanje jeklene konstrukcije. Masa mosta prinese 20 % točk celotnega točkovanja. Tehtal se je vsak element mosta posebej do grama natančni tehtnici. K masi mosta se niso šteli začasni podpori in vijaki. Naš most je pri tehtanju izkazoval maso 104,342 kg. Slutili smo, da se lahko dobro odrežemo, saj je naš most spadal med lažje mostove na tekmovanju. Za uradne rezultate tehtanja vseh ekip smo sicer izvedeli šele po koncu tekmovanja. Najlažji most je imel maso 94,2 kg, ki pa se je kasneje ob obremenitvi žal podrl.

4. dan – merjenje časa sestavljanja, obremenitev in upogibki mosta

V četrtek, 17. aprila, se je ob 9. uri začelo tekmovanje v hitrosti sestavljanja mostov. Čas sestavljanja konstrukcije prinese 25 % vseh možnih točk. Vse ekipe so tekmovale naenkrat na parkirišču kampusa univerze. Ekipe so žrebale svoj prostor, tj. »gradbišče«, na katerem so sestavljale svoj most in ga kasneje tudi obremenjevale. Mi smo sestavili most v 27,17 minute. Potrebovali smo 5 minut dlje kot

na treningu doma, saj nam je na tekmovanju zaradi treme in napetosti šlo marsikaj narobe, k temu času pa smo dobili še 2 dodatni minuti kazni, ker sta nam na tla (v »reko«) padla dva ključa. Tako je bil naš končni čas sestavljanja 29,17 minute. Medtem ko je najhitrejša ekipa potrebovala čas 21,52 minute, so nekatere ekipe most sestavljale tudi več kot 2 uri. Bili smo malo razočarani, saj smo vedeli, da bi zmogli hitreje, precej hitreje.

Po kosilu je sledilo še zadnje dejanje tekmovanja: obremenitev mostov in merjenje pomikov. Najprej smo merili prečni vodoravni pomik na sredini razpona. Ta se je meril tako, da smo most na sredini razpona obremenili s prečno vodoravno silo 250 N in maso 35 kg. Most je obremenjevala vsaka ekipa posebej. Nato pa se je meril še navpični upogibek. Most smo obtežili na sredini razpona z maso 1000 kg in na četrtinki razpona z maso 250 kg. Stran, kjer smo konstrukcijo obremenili z dodatnimi 250 kg, smo določili z metom kovanca. Vodoravni pomik in navpični upogibek sta skupaj predstavljala 25 % točk celotnega točkovanja. Ta del tekmovanja je trajal dolgo časa. Vsaka ekipa je sama obremenila most. Obteževanje se je izvajalo z jeklenimi ploščami, ki smo jih nalagali na konstrukcijo na točno določeno mesto. Med obteževanjem smo videli dve porušitvi mostov, ena ekipa pa se je odločila, da mosta raje ne bo obremenila. K sreči ni bilo nobenih resnih poškodb kateregakoli udeleženca.

Prav zadnji pri obremenjevanju smo bili na vrsti mi, glej sliko 15. Pričakovali smo, da bo navpični upogibek znašal okrog 4 mm, vendar smo bili neprijetno presenečeni, da je znašal kar 6,7 mm. Tako velik upogibek je nastal zaradi zračnosti stikov. Vijaki so bili očitno tako priviti, da se teža 350 N pri legi vijakov

v luknjah praktično ni poznala. Možen razlog je tudi neravnost terena, zaradi katerega je bila lega začnih podpor višja in je most bil nekoliko nadvišan. Ker konstrukcije nismo pred tem nič obremenili, da bi izničili vpliv zračnosti vijakov, se je naš upogibek iz (v delavnici izmerjenih) 3 milimetrov povečal na 6,7 mm. Ponovno smo postali zaskrbljeni nad našo uvrstitvijo.

5. dan – razglasitev rezultatov

V petek, 18. aprila, smo ob 10. uri prisostvovali zaključni slovesnosti tekmovanja DECO 2014, kjer so razglasili vrstni red ekip in število doseženih skupnih točk. Po primerjavi našega in drugih mostov smo nekako pričakovali uvrstitev med prvih pet, tako kot vse ekipe pa smo želeli nagrado za uvrstitev med prve tri. Ker delni rezultati niso bili sproti objavljeni, nismo vedeli, kaj točno naj pričakujemo. Napetost je rasla. Po uvodnih govorih je končno sledila razglasitev rezultatov. Nagrado za estetiko je dobila ekipa Engineers of Eye z Univerze Mustafe Kemala, Turčija. To je bil sicer most, ki se je pri obremenjevanju podrl.

Zatem je sledila razglasitev prvih treh mest. Napetost med ekipami je še bolj narasla. Tretje mesto je osvojila ekipa Archers s Tehnične univerze Karadeniz, Turčija. Nato pa je za nas, slovenske tekmovalce, sledilo navdušenje, saj so prireditelji oznanili naše ime: »2. mesto je osvojila ekipa Trust'n'truss z Univerze v Mariboru, Slovenija!« Bili smo ponosni in zadovoljni. 1. mesto pa je osvojila ekipa Spiders Team z Univerze Mustafe Kemala, Turčija. Prva tri mesta in nagrada za estetiko so bili tudi finančno nagrajeni. Po razglasitvi rezultatov je sledilo obvezno slikanje, glej sliko 16. Dan je nato minil mirno in sproščujoče. Končno je napočil čas za počitek in ogled Carigrada.



Slika 15 • Obremenitev mosta z jeklenimi ploščami mase 1000 kg



Slika 16 • Nagrajena ekipa Trust'n'truss z Univerze v Mariboru, 2. mesto, DECO 2014

6 • SKLEP

V pričujočem članku smo prikazali potek aktivnosti, potrebnih za prijavo in udeležbo na mednarodnem študentskem tekmovanju za najboljši jekleni most DECO 2014 v Carigradu. Po pravilih tekmovanja smo zasnovali in izdelali jekleni most razpona 6 m, ki more prenesti težo mase 1250 kg. Pridobili smo bogate

izkušnje iz načrtovanja konstrukcij, saj smo morali most izračunati in zanj izrisati načrt. V različnih fazah načrtovanja smo uporabili različna programska orodja. Morda je bila še zanimivejša izdelava mosta: razrez elementov, varjenje, vijachenje in sestavljanje konstrukcije pa obremenitev in meritev pomikov.

Na DECO smo se prijavi z imenom Trust'n'truss. Tekmovanje med različnimi ekipami je bilo v kampusu Univerze Boğazici v Carigradu. Ocenjevalo se je videz in edinstvenost mostne konstrukcije, čas sestavljanja, pomike konstrukcije, maso konstrukcije in usklajenost s programom tekmovanja. Med 16 ekipami smo osvojili 2. mesto in prejeli nagrado.

7 • ZAHVALA

Zahvaljujemo se vsem, ki so finančno podprli naš projekt. Brez njihove pomoči se zagotovo ne bi mogli udeležiti tekmovanja. Hvala:

- Fakulteta za gradbeništvo Univerze v Mariboru
- Gradbeno podjetje Jazbec, d. o. o., Žetale

- Hetit, proizvodnja in trgovina s kovinskimi izdelki, d. o. o., Maribor
- Ponting, inženirski biro, d. o. o., Maribor
- Tehnocenter Univerze v Mariboru
- Lineal, biro za projektiranje, inženiring, storitve in gradbeništvo, d. o. o., Maribor

- Gradis, biro za projektiranje, Maribor, d. o. o.
- Občina Slovenska Bistrica
- Študentski svet študentov Fakultete za gradbeništvo, Univerza v Mariboru
- Komunala Slovenska Bistrica, podjetje za komunalne in druge storitve, d. o. o.
- Društvo študentov Fakultete za gradbeništvo, Univerza v Mariboru
- Haki zaščita, družba za storitve, proizvodnjo, posredništvo in trgovino, d. o. o., Maribor

8 • LITERATURA

Autocad, 3D CAD Software Products, 2013.

DECO, Design & Construct, <http://www.boundc.com/2012/en/>, 2014.

SAP2000, Integrated Structural Analysis and Design Software, 2000.

SIST EN 10305-5, Jeklene cevi za precizno uporabo – Tehnični dobavni pogoji, 5. del: Varjene in hladno dimenzionirane kvadratne in pravokotne, 2010.

SIST EN 1993-1-1: 2005, Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij, 1.1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005a.

SIST EN 1993-1-8: 2005, Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij, 1.8. del: Projektiranje spojev, 2005b.

Sofistik, Finite Elemente & CAD Software, študentska različica, 2012.

Solidworks, 3D CAD Design Software, 2014.