

Analiza uticaja vibracija pri razvoju noseće konstrukcije bicikle

Gordana Jović, Nikola Kostić

Akademija tehničko - vaspitačkih strukovnih studija – odsek Niš
Niš, Srbija

gordana.jovic@akademijanis.edu.rs

nikola.kostic@akademijanis.edu.rs

Sažetak— Savremene tehnologije su doprinele tome da je danas proces razvoja proizvoda gotovo nemoguć bez upotrebe računara, pa je samim tim, on virtualan. Virtualni razvoj proizvoda podrazumeva „virtualna“ ispitivanja i optimizaciju digitalnog modela u „virtuelnom“ okruženju umesto ispitivanja fizičkog prototipa. Ovakvim pristupom se značajno skraćuje vreme razvoja proizvoda i smanjuju se troškovi proizvodnje. Istovremeno, podiže se kvalitet proizvoda. U ovom radu je prikazana primena softvera Ansys Workbench 19.2 Student Version sa ciljem „virtualnog“ ispitivanja sopstvenih frekvencija noseće konstrukcije bicikle. Sopstvene frekvencije noseće konstrukcije bicikle mogu delimično da opišu dinamičko ponašanje bicikla pri eksploataciji.

Ključne reči: CAD dizajn, metoda konačnih elemenata, CAE, modalna analiza, harmonijska analiza.

I. UVOD

U savremenom dobu gotovo je nemoguće zamisliti razvoj proizvoda bez primene softverskih alata baziranih na numeričkim analizama i metodama konačnih elemenata. Metoda konačnih elemenata i virtuelni prikaz proizvoda u velikoj meri su omogućili da se vrši brzi razvoj novih proizvoda i novih konstrukcionih rešenja za dati problem.

Primenom ovih metoda moguće je simulirati ponašanje samog konstrukcionog rešenja u uslovima njegove eksploatacije. Na osnovu sagledavanja moguće je izvršiti brže izmene i optimizaciju samog konstrukcionog rešenja za dati problem, samim tim, i za brzu izradu potrebne tehničke dokumentacije.

Mohammad Al Bukhari Marzuki [1] je u svom radu analizirao uticaj vibracija na konstrukciju šasije trkačkog automobila. Sama konstrukcija je bila izložena dinamičkim opterećenjima koja su poticala od strane motora, menjača, sistema vešanja, elektromotora kao i drugih izvora vibracija. Došao je do zaključaka da se pojava frekvencije na šasiji i frekvencija spoljašnjih opterećenja ne podudaraju, kao i da su same frekvencije konstrukcije većeg intenziteta od onih koji dejstvuju na sistem. Jedan od njegovih predloga za poboljšanje bio je ugradnja poprečnih nosača na šasiji.

Primenom softverskih rešenja moguće je izvršiti prevođenje realnog stanja u virtuelno stanje i njegovo ispitivanje kao što su tu uradili S. Pedrammehr i drugi [2]. Oni su izvršili dimenzionisanje alatne mašine FP4M u CAD softveru gde su izmodelirali samu mašinu. Nakon dobijenog CAD modela odrađena je analiza uticaja vibracija u virtuelnom i realnom okruženju gde su se dobijeni rezultati poklapali. Dobijeni rezultati su pomogli prilikom izrade alata za analiziranu mašinu.

Proces konstruisanja i analize nekog proizvoda takođe može se izvršiti primenom alata baziranih na metodi konačnih elemenata. U radu J. Wang i ostali [3] su izvršili ispitivanje proizvoda kroz tri faze. U prvoj fazi izvršio je modeliranje procesa za ispitivanje statičke i modalne analize, u drugoj fazi odradio je modeliranje i ispitivanje prve verzije noseće konstrukcije trkačke bicikle, i u poslednjoj fazi je izvršio uporednu analizu dobijenih rezultata simulacije i eksperimentalnog ispitivanja.

U svom radu Y. Li i ostali [4] analizirali su noseću konstrukciju bicikle sastavljenog od kompozitnih materijala. U radu je izvršena analiza prostiranja vibracija kroz materijale sa nasumičnim različitim sastavom, primenjene su modalna i harmonijska analiza. Modul elastičnosti, zatezna čvrstoća i gustina kompozitnog materijala su modelirani kao nezavisne nasumične varijabile. Gde je došao do zaključka, da se za analizu kompozitnih materijala treba primenjivati nasumične vrednosti prilikom analize kompozitnih nosećih konstrukcija bicikle. Primenom ovakvih materijala se znatno može smanjiti ukupna težina same bicikle.

U ovom radu biće analizirana noseća konstrukcija bicikle izrađena od legure aluminijuma. U analizi biće primenjene metode kao što su modalna analiza i harmonijska analiza. Simulacije ovih analiza su odrađene u softverskom paketu baziranom na metodi konačnih elemenata pod nazivom Ansys Workbench 19.2 Student Version.

II. KONSTRUKCIJA BICIKLE

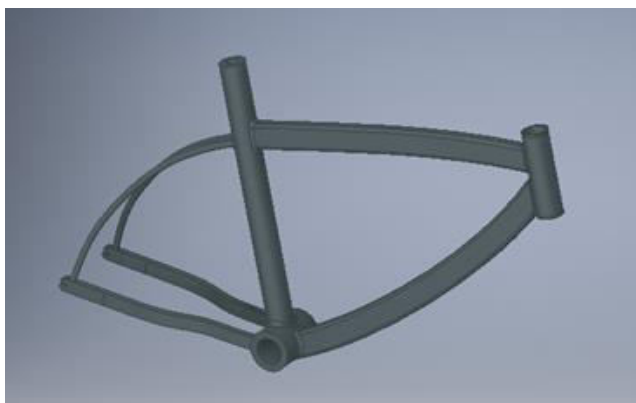
Ram bicikle predstavlja jedan od osnovnih elemenata same konstrukcije bicikle. Bicikl je „laka konstrukcija“ koja ima

zadatak da izdrži mnogo veće opterećenje nego opterećenje od mase bicikliste.

Ram bicikla ima važan uticaj i na udobnost, gde uticaj geometrije na udobnost puno veći od uticaja materijala. Sam okvir zahteva da bude čvrst i lagan, što se postiže kombinovanjem različitih materijala i oblika. Najčešće korišćeni materijali su aluminijum, čelik i titanijum, najpopularniji materijal odabran za ramove i za skoro sve komponente bicikle koriste se ugljenična vlakna. Što je lakši, samim tim doprineće da se smanji potrošnja energije uzbrdo ili tokom ubrzanja [5].

Materijal noseće konstrukcije bicikle je aluminijum, koji spada u grupu metala sa odličnim mehaničkim osobinama. Mnogo je lakši od ostalih metala, samim tim poseduje vrlo visoku mehaničku čvrstoću, takođe je i vrlo otporan na različite oblike korozije. Zatezna čvrstoća ide od 70 MPa do 700 MPa u zavisnosti od legure i proizvodnog procesa. Jungov modul elastičnosti kod legura aluminijuma je 70 GPa, takođe jedna od najpoznatijih karakteristika je njegova mala težina sa gustinom od 2700 kg/m^3 , što je za trećinu manja od čelika [6].

Kako bi odradili potrebne analize, neophodno je pre svega izraditi prototip odnosno proizvod, potrebno je izvršiti detaljnu analizu varijantnog rešenja, kako bi dobili optimalnije rešenje. 3D virtualni model noseće konstrukcije bicikle je izrađen u softverskom paketu Autodesk Inventor. Ovaj softverski paket omogućava proveru svih karakteristika 3D modela proizvoda bez njegove izrade ili fizičkog testiranja. Kod izrade 3D modela, ovaj softver poseduje alate kako bi definisali geometriju, pored toga uključuje parametarski dizajn okruženja za razvoj proizvoda na konceptualnom nivou (skica) i kinematike delova kao i sklopova. Kretanje proizvoda se može simulirati, a takođe i opteretiti. Samim tim što ima mogućnost izrade 3D modela, program nam omogućuje i izradu radioničkog i sklopnog crteža. 3D model noseće konstrukcije je prikazan na sledećoj Sl. 1.



Slika 1. 3D model noseće konstrukcije

Rastojanje između centara prečnika vertikalne šipke sedišta i prečnika vertikalne šipke upravljača iznosi 400 mm, koje su povezane nosećim elementima.

Zadatak vertikalne šipke sedišta je da prenese opterećenje od strane bicikliste na točkove, koji se oslanjaju na podlogu kretanja. Viljuška ima zadatak da poveže točak sa horizontalnom šipkom. Gornja i donja noseća šipka imaju

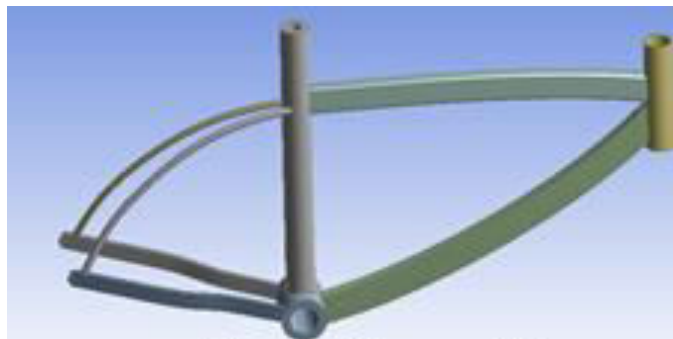
zadatak da ostvare spoj između prednje vertikalne šipke upravljača i glavne vertikalne šipke sedišta. Prednja vertikalna šipka upravljača služi za povezivanje prednje viljuške sa ostatkom konstrukcije, ujedno se na ovu šipku montiraju elementi za upravljanje.

Dimenzije noseće konstrukcije bicikle se mogu videti u sledećoj tabeli.

Tabela I Dimenzije elemenata noseće konstrukcije

Naziv elemenata	Dimenzije	
	Debljina zida	Spoljašnji prečnik
Vertikalna šipka sedišta	20 mm	40 mm
Vertikalna šipka upravljača	5 mm	40 mm
Gornja noseća šipka	30 mm	-
Donja noseća šipka	30 mm	-
Viljuška	10 mm	-
Horizontalna noseća šipka	22 mm	60 mm

Kako bi izvršili odgovarajuću analizu metodom konačnih elemenata koristićemo softver Ansys Workbench. Prvi korak u predprocesiranju predstavlja pojednostavljenje (diskretizacija) geometrijskog modela. Pojednostavljenje modela postiže se uklanjanjem delova koji nisu značajni za dalju analizu, kao što su radijusi, oborene ivice i određeni otvori. Optimizovan model možemo videti na Sl. 2.



Slika 2. Diskretizovan model noseće konstrukcije

Za dalji rad je neophodno konvertovati izrađeni model u STEP fajl formatu, upotrebom istog softvera je izvršena navedena konverzija.

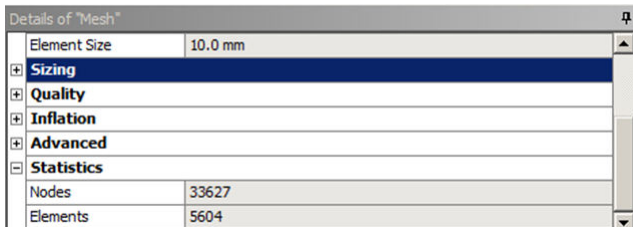
U daljem radu biće prikazana analiza, pomoću metode konačnih elemenata u softveru Ansys Workbench.

Kako bi analiza bila što tačnija neophodno je formirati mrežu tako da bude što finija, odnosno potrebno je definisati oblik elemenata i njihovu veličinu, za svaki deo modela. Na pojedinim delovima veličina elemenata nema veliku ulogu, i u tim delovima ostavljamo krupniju mrežu, odnosno elemente većih dimenzija, dok je na kritičnim mestima, koja su od veće važnosti za analizu, potrebno je imati što gušću mrežu, odnosno konačne elemente manjih dimenzija, time je odstupanje od tačnog i približnog rešenja manja [7]. Sa povećanjem broja konačnih elemenata dobijamo tačnija rešenja ali povećavamo vreme trajanja simulacije, tako da trebamo odabrati optimalan broj konačnih elemenata, tako da dobijamo što tačnije rezultate u optimalnom vremenskom periodu.

Metoda konačnih elemenata (FEM) se zasniva na određenim pretpostavkama i kao takva u sebi poseduje određena odstupanja od stvarnog stanja, ali nam pruža uvid u stanje konstrukcije koje je dovoljno tačno i na osnovu koga možemo doneti određene zaključke i pretpostavke.

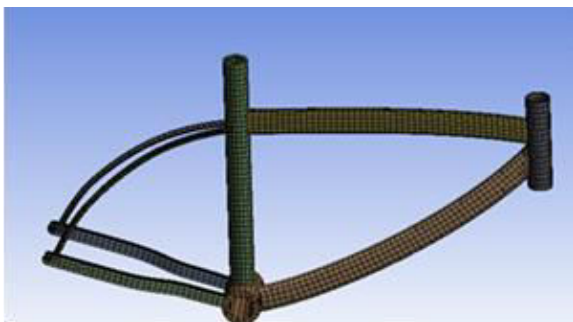
Konačni elementi su međusobno povezani samo u čvorovima, postoje različiti tipovi konačnih elemenata, najčešći oblici konačnih elemenata za linearne funkcije su 2D i 3D oblici.

Dimenzije konačnih elemenata su prikazane na sledećoj Sl. 3, na osnovu koje je softver generisao broj čvorova kao i broj konačnih elemenata.



Slika 3. Podešavanje mreže

Za diskretizaciju modela korišćeni su 3D elementi tetrahedralnog oblika. Nakon diskretizacije modela na Sl. 4. možemo videti prikazan i dobijen 3D model sa definisanim konačnim elementima.



Slika 4. 3D model sa definisanim konačnim elementima

Noseća konstrukcija bicikle je opterećena na pojavu harmonijskih oscilacija koje potiču od dejstva spoljašnjih uticaja kao što su neravnine i prepreke na putu, koje su prenešene od strane točkova koje se oslanjaju na podlogu kretanja. Jedan deo tih oscilacija upijaju pneumatici točka, dok drugi deo prenosi na samu konstrukciju bicikle [8].

Modalna analiza omogućuje uvid u to kako će se konstrukcija nakon određenih frekvencija pomerati. Podprogram Ansys-a omogućava predprocesiranje, procesiranje i analizu.

Ako je strukturna vibracija poznata kao perioda, jednačine ekvilibrijuma konačnih elemenata ove analize uključuju rešenja homogenih algebarskih jednačina, čije sopstvene

vrednosti odgovaraju frekvenciji, sopstveni vektori predstavljaju modele vibracija.

Broj generisanih frekvencija je zadat da bude 6, pri čemu je program generisao vrednosti frekvencija koje možemo videti na sledećoj Sl. 5.

Tabular Data		
	Mode	Frequency [Hz]
1	1.	52.16
2	2.	110.09
3	3.	259.04
4	4.	298.94
5	5.	316.2
6	6.	359.09

Slika 5. Generisanih frekvencija oscilacija

Kako bismo simulirali uticaj vibracija na noseću konstrukciju bicikle koristili smo modalnu analizu, koja je osnova za ulaz u harmonijsku analizu.

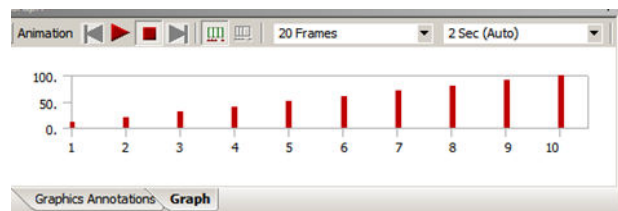
Ograničenja primene harmonijske analize su:

- Sva opterećenja moraju biti sinusoidna u funkciji vremena,
- Sva opterećenja moraju imati istu frekvenciju,
- Struktura mora pokazivati linearno elastično ponašanje (da ne postoje geometrijska nelinearnost i nelinearnost u materijalu).

Ram bicikla, u zoni vertikalne šipke upravljača je fiksiran kako bi predstavljao ukrućenje koje potiče od upravljača.

Harmonijska analiza se primenjuje kada je objekat izložen cikličnim opterećenjima. Sinusoidna opterećenja su određena kroz parametre amplitude, ugla faze i frekventnog opsega [1].

Prilikom generisanja frekvencija korak između frekvencija iznosi 10, a opseg se kreće od 10 Hz do 100 Hz. Na osnovu unetih podataka generisan je grafik na Sl. 6. Ograničenje u harmonijskoj analizi koje je zadato jeste da pomeranje ne bude veće od 2 mm po Z osi.



Slika 6. Grafik generisanih harmonijskih frekvencija

III. ANALIZA REZULTATA SIMULACIJE

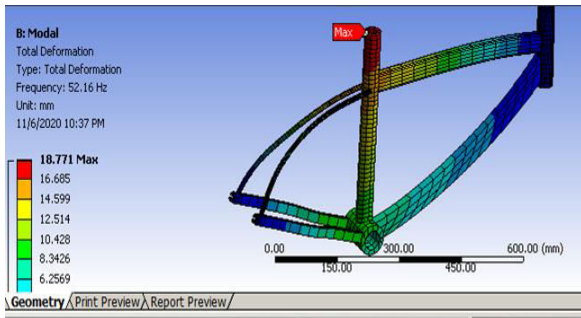
Na osnovu unetih podataka sprovedenih analiza dobijeni su rezultati koji nam ukazuju na to kako se ponaša struktura izložena uticaju vibracija.

A. Rezultati Modalne analize

Na osnovu rezultata modalne analize može se predvideti ponašanje parametara konstrukcije pri dinamičkim

opterećenjima. Sama analiza može nam pokazati kako će se vršiti pomeraj konstrukcije.

Na osnovu sprovedene numeričke analize u softveru Ansys Workbench 19.2 dobijeni su rezultati koji ukazuju da se najveće opterećenje javlja na vertikalnoj šipci sedišta, gde maksimalna deformacija iznosi 18.7 mm što možemo videti na Sl. 7.



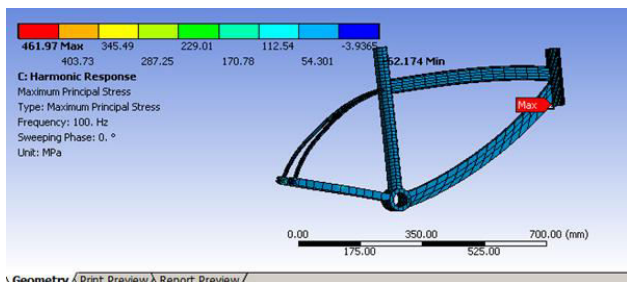
Slika 7. Polje deformacija noseće konstrukcije bicikle

B. Rezultati harmonijske analize

Nakon sprovedene harmonijske analize dobijeno je:

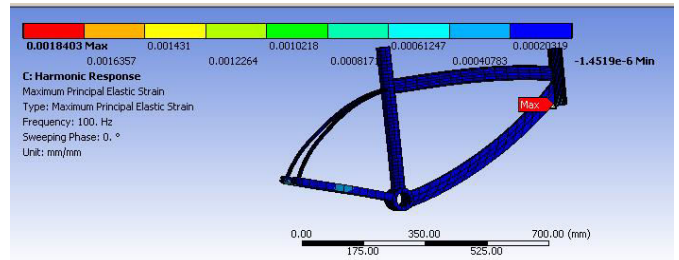
- Maksimalni napon,
- Maksimalno elastično naprezanje,
- Odziv frekvencije.

Maksimalni dobijeni napon nakon sprovedene analize iznosi 461.97 MPa, dok opseg napona nakon noseće konstrukcije bicikle se kreće od -3.9365 MPa do 461.97 MPa, što se može videti na sledećoj Sl.8.



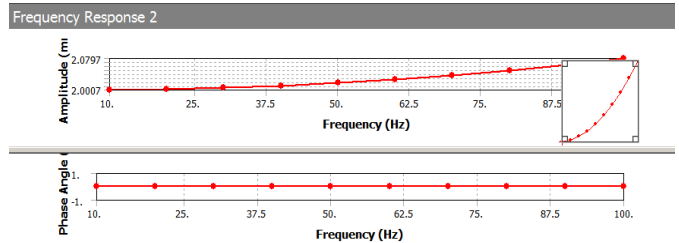
Slika 8. Naponska stanja noseće konstrukcije bicikle

Usled pojave vibracije dolazi do elastičnih deformacija, nakon sprovedene simulacije je utvrđeno da se najveće elastične deformacije javljaju na vertikalnoj šipki upravljača, koje iznosi 0.0018403 mm/mm. Opseg elastičnih deformacija je od 0.00020319 mm/mm do 0.0018403 mm/mm, pri frekvenciji oscilacija od 100 Hz. Raspored elastičnih deformacija se može videti na Sl. 9.



Slika 9. Elastične deformacije noseće konstrukcije bicikle

Na osnovu analize dobijen je odziv (frekventna kriva), čije ponašanje možemo videti na dijagramu koji se nalazi na Sl. 10.



Slika 10. Odziv frekvence

IV. ZAKLJUČAK

Primena softverskih alata bazirana na metodama konačnih elemenata omogućava brz i efikasan način razvoja novih konstrukcionih rešenja. Primenom ovakvog načina konstruisanja smanjuju se troškovi, kao i potreba za izradu prototipova konstrukcija. Same analize nam daju uvide u stanje konstrukcionog rešenja u predviđenim uslovima za rad kao i mogućnost predviđanja njihovog otkaza. Samim uvidom u stanja možemo izvršiti određene optimizacije, unapređenje i razvoj više konceptualnih rešenja za date probleme.

Harmonijska frekventna analiza pomaže pri konstruisanju same noseće konstrukcije bicikle omogućavajući inženjerima, dizajnerima i istraživačima uvid u stabilnost linearne konstrukcije i njenu otpornost, kao i izdržljivost na vibracije tokom svog radnog veka.

Sama pojava vibracija može negativno uticati na stabilnost konstrukcije naročito kada se frekvencije opterećenja konstrukcije i prirodna frekvencija konstrukcije izjednače, što u velikoj meri dovodi do ubrzanja pojave defekata na konstrukciji, ako je sama konstrukcija izložena takvim opterećenjima u dužim vremenskim intervalima.

LITERATURA

- [1] Marzuki, Mohammad Al Bukhari; Halim, Mohammad Hadi Abd; Mohamed, Abdul Razak Naina (2015). *Determination of Natural Frequencies through Modal and Harmonic Analysis of Space Frame Race Car Chassis Based on ANSYS*. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(4), 538–548. doi:10.3844/ajeassp.2015.538.548
- [2] Pedrammehr, S.; Farrokhi, Hamid; Rajab, A. Khani Sheykh; Pakzad, S.; Mahboubkhah, M.; Etefagh, M.M.; Sadeghi, M.H. (2011). *Modal Analysis of the Milling Machine Structure through FEM and*

Experimental Test. *Advanced Materials Research*, 383-390(), 6717–6721. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.6717

- [3] Wang, Jian Hua; Zhao, Jing Nan; Zhao, Yong Sheng; Wang, Zhe; Guo, Dong Liang (2010). *Simulation about Sports Bicycle Frame Based on the Experiments. Applied Mechanics and Materials*, 37-38(), 1142–1147. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.37-38.1142
- [4] Li, Yefei; Li, Fangyu (2012). Effect of uncertainty on vibration analysis of composite bicycle frame. *Noise & Vibration Worldwide*, 43(1), 21–26. doi:10.1260/0957-4565.43.1.21
- [5] M.S.M. Sani, N.A.Nazri, S.N.Zahari, N.A.Z. Abdullah, G.Priyandoko, „Dynamic Study of Bicycle Frame Structure“, doi:10.1088/1757-899X/160/1/012009.
- [6] AluMil Building excellence every day, „Baza informacija u vezi aluminijuma“ izvor: <http://skr.rs/z7Hi>, pristupljeno: 20.12.2021.god.
- [7] Yucheng Liu and Gary Glass, „Effects of Mesh Density on Finite Element Analysis“. doi:10.4271/2013-01-1375.
- [8] M. Banić, Alati i tehnologije u razvoju proizvoda, Autorizovane prezentacije, Mašinski fakultet Niš, 2020. godina.

ABSTRACT

Modern technologies have contributed to the fact that today the construction process is almost incomprehensible without use of computers. Virtual product development involves testing and optimizing a digital model in a virtual environment instead of testing a physical prototype, which significantly reduces the time and cost required to introduce new products to the market while raising quality. In this paper, the application of Ansys 19.2 software will be presented, where a modal and harmonic analysis of the influence of vibrations on the load-bearing structure of a bicycle was performed.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VIBRATIONS DURING THE DEVELOPMENT OF THE SUPPORTING STRUCTURE OF A BICYCLE

Gordana Jović, Nikola Kostić