

# Resekciona tumorska endoproteza „Spacer”

Jovan Grujić  
 DOO Grujić & Грyјuћ  
 Novi Sad, Srbija,  
 grujicgrujicns@gmail.com

Slobodan Tabaković,  
 Milan Zeljković,  
 Departman za proizvodno mašinstvo  
 Fakultet tehničkih nauka  
 NoviSad, Srbija  
 tabak@uns.ac.rs,  
 milanaz@uns.ac.rs,

Zoran Vučinić,  
 Aca Đorđević,  
 Nikica Mandić,  
 Nenad Lujčić,  
 Stanislav Rajković,  
 IOHB Banjica  
 Beograd, Srbija

**Sažetak**— Jedna od metoda koje omogućuju saniranje malignih oboljenja medijalnog dela dugih kostiju, nadlaktice, podkolenice i butne kosti predstavlja hirurško odstranjivanje obolelog koštanog i okolnog mekog tkiva i ugradnja specijalne custom-made tumorske endoproteze „Spacer”. Projektovanje i izrada tumorske endoproteze „Spacer” obuhvata proceduru koja započinje obradom dijagnostičkih snimaka Rtg, MRI ili CT. Na osnovu ovako dobijenih snimaka mogu se dovoljno pouzdano odrediti geometrijski parametri obolele kosti koja se snima kao i dopunske informacije neophodne za razvoj endoproteze. Na osnovu geometrijskih parametara omogućeno je definisanje računarskog modela kosti i primenom CAD sistema tumorske endoproteze „Spacer”. Formiranje računarskog modela omogućava simulaciju ugradnje, i ponašanja proteze u eksploataciji kao i izradu endoproteze primenom CAM tehnologije.

**Ključne riječi:** tumorska endoproteza; CAD/CAE/CAM tehnologije

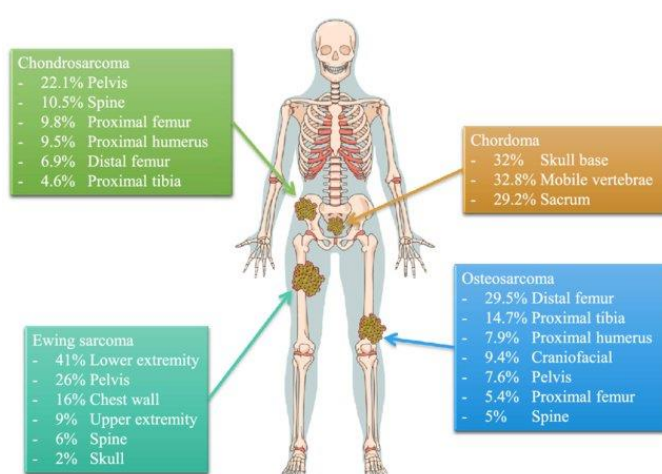
## I. UVOD

Pojava koštanih tumora predstavlja dramatično oboljenje koštanog sistema čoveka koje ugrožava funkcionisanje lokomotornog sistema. Učestanost pojave koštanih tumora na medijalnom delu dugih kostiju [1] iznosi:

- Butna kost 29.5%
- Podkolenica 14.7%
- Nadlaktica 7.9%

Koštani tumori se mogu sanirati hirurškim odstranjivanjem obolelog koštanog i okolnog tkiva i ugradnjom specijalne endoproteze „Spacer” čiji je zadatak da nadomesti otklonjeni segment koštanog tkiva. Na slikama 2 i 3 su prikazani primeri endoproteze „Spacer” pre i posle ugradnje [2].

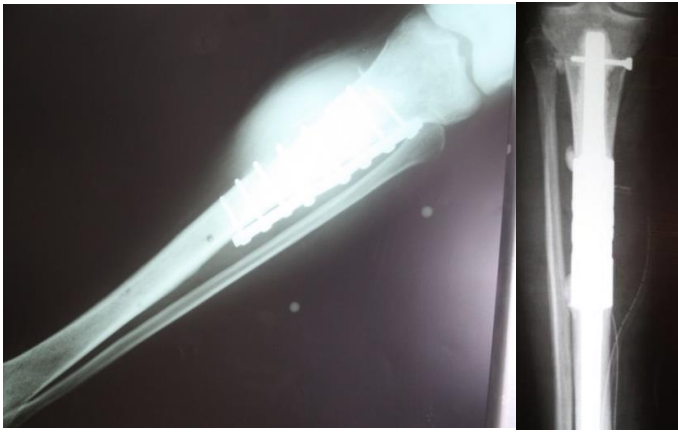
Sa onkološkog aspekta ugradnja endoproteze predstavlja opšte prihvaćenu metodu sa dobrom postoperativnom prognozom zbog čega se i smatra zlatnim standardom u tretmanu koštanih tumora imajući u vidu da omogućuje eliminaciju bola i obezbeđuje očuvanje estetike i funkcionalnosti ekstremiteta.



Slika 1. Učestalost pojave malignih promena na koštanom sistemu [1]



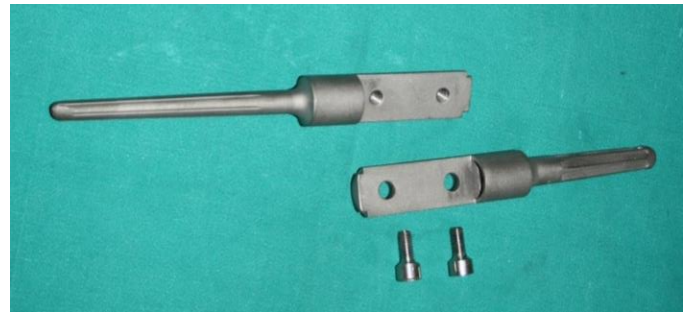
Slika 2. Endoproteza „Spacer” za butnu kost [2]



Slika 3. Endoproteza „Spacer” za podkolenicu [2]

Posmatrano po strukturi, tumorska endoproteza „Spacer” je sastavljena iz dva segmenta, proksimalnog i distalnog [3], koji se posebno ugrađuju u kost, a zatim se spajaju vijčanom vezom. Struktura endoproteze „Spacer” je prikazana na slici 4.

Konstruktivno, segmenti endoproteze su izrađeni sa uzdužnim žljebovima u delu koji se ugrađuje u medularni kanal (unutrašnju šupljinu) kosti. Navedeni žljebovi sprečavaju razlabavljenje i rotaciju endoproteze dok vijčana veza obezbeđuje inicijalnu stabilnost [4]. Endoproteza „Spacer” je tako dimenzionisana da može da preuzme i prenese u dinamičkom smislu puno opterećenje sa proksimalne na distalnu komponentu i obrnuto i time obezbedi normalno funkcionisanje celokupnog koštanog sistema [5].



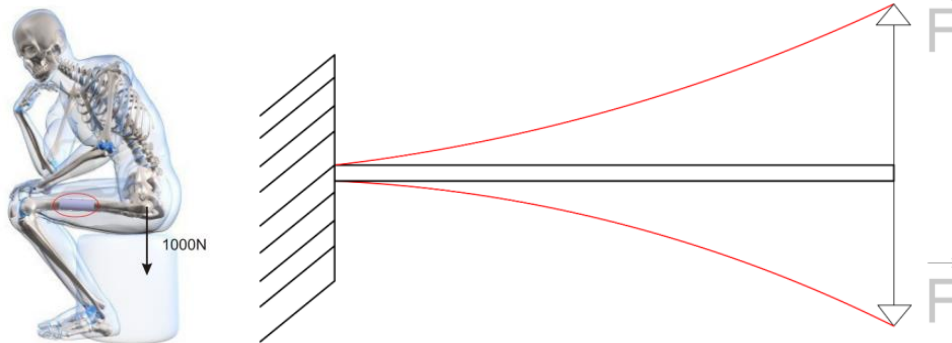
Slika 4. Struktura endoproteze „Spacer” [3]

U radu se opisuju postupci određivanja uslova funkcionisanja, dimenzionisanja i verifikacije tumorske endoproteze „Spacer” koji predstavljaju osnovu razvoja ove proteze prema merama pacijenta („Custom made” proteza).

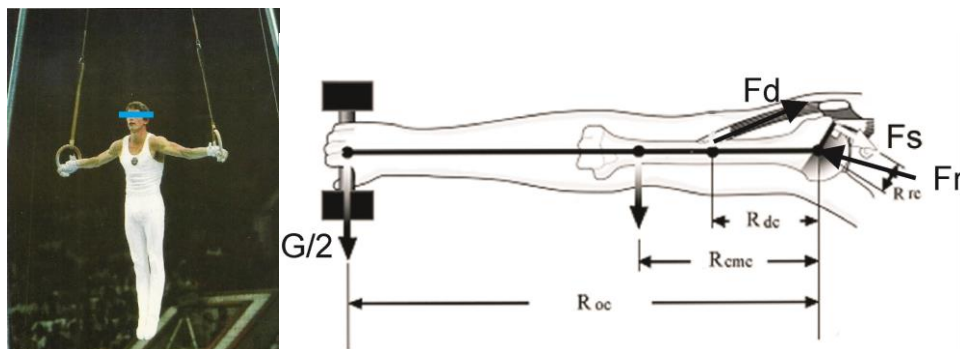
## II. MATERIJAL I METODE

### A. Definisane uslova opterećenja

Na osnovu biomehničke analize uslova opterećenja može se zaključiti da je butna kost, a time i tumorska endoproteza „Spacer” (prikazano na slici 5) izložena opterećenju na savijanje pri promeni položaja od stajanja ka sedenju i obrnuto. Promena položaja predstavlja najkritičniju fazu u eksploataciji endoproteze. Analizom biomehničkih uslova kojima je izložena kost nadlaktice može se zaključiti da je takođe izložena opterećenju na savijanje za slučaj horizontalnog položaja gornjih ekstremiteta (Slika 6) [6].



Slika 5. Biomehnički uslov opterećenja endoproteze „Spacer”



Slika 6. Biomehnički uslov opterećenja nadlaktice [4]

Pozicija, intenzitet i orijentacija opterećenja na butnoj kosti i nadlaktici su od ključne važnosti za dimenzionisanje endoproteze i predstavljaju osnovne ulazne parametre za projektovanje.

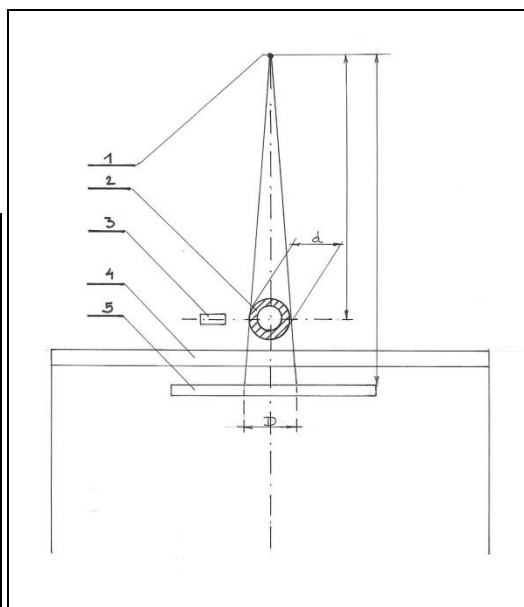
### B. Dimenzionisanje endoproteze „Spacer”

Osnovne preduslove za uspešan razvoj „custom made” endoproteze čine: tačno određivanje dimenzija koštanog tkiva koje je zahvaćeno tumorom i tačno dimenzionisanje medularnog kanala unutar kosti u koji se ugrađuje endoproteza. Ovaj proces je karakterističan po:

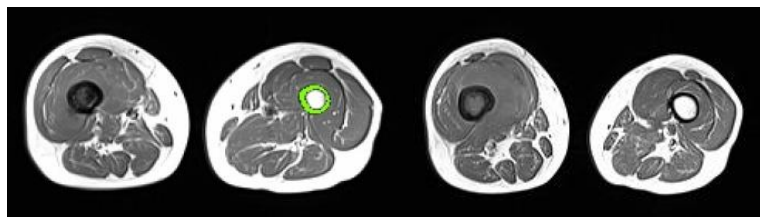
- Postupku definisanja geometrijskih parametara endoproteze
- Relativno dugačkom vremenskom periodu neophodnom za projektovanje i formiranje računarske simulacije u cilju verifikacije endoproteze

- Postupku izrade, karakterističnom za pojedinačnu proizvodnju proizvoda složene geometrije od biokompatibilnih materijala
- Visokoj ceni

Definisanje geometrijskih parametara endoproteze se zasniva na utvrđivanju karakterističnih geometrijskih veličina obolele kosti do kojih se dolazi primenom Rtg snimaka ili primenom kompjuterske tomografije [7]. U prvom slučaju snimci su ravanski i za pravilno dimenzionisanje kostiju zahtevaju pažljivu pripremu i kalibraciju pri snimanju (Slika 7). Savremeniji dijagnostički uređaji bazirani na digitalnom tomografskom snimanju omogućuju formiranje detaljnog digitalizovanog snimka (Slika 8) koji nakon obrade obezbeđuju prostornu interpretaciju geometrije kosti pogodne za merenje, projektovanje i računarske analize (Slika 9).



Slika 7. Rtg aparat [7]



Slika 8. Digitalizovane slike poprečnog preseka kosti

Obrada dobijenih snimaka u oba slučaja omogućava određivanje dimenzija obolelog dela kosti u spoljnoj i unutrašnjoj koštanoj strukturi.

### C. Računarsko modelovanje

Računarsko modelovanje endoproteza, posebno kada se radi o protezama koje se izrađuju po merama pacijenta počiva na geometrijskoj rekonstrukciji obolele kosti a zatim i modelovanju odgovarajućeg implantata.

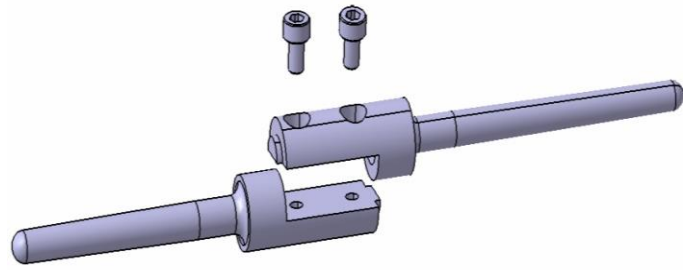
Formiranje geometrijskog modela kosti se, u praksi, najčešće realizuje primenom tehnike površinskog modelovanja pri čemu se kao osnova za geometriju koristi oblak karakterističnih tačaka dobijen obradom dijagnostičkih snimaka. Na slici 9 je prikazan model butne kosti formiran ovim postupkom [8].



Slika 9. Računarski model butne kosti [8]

Analizom karakteristika uređaja za kompjuterizovanu tomografiju i karakteristika primenjene metode može se zaključiti da su greške koje nastaju računarskim modelovanjem kostiju u granicama neophodnim za primenu tih modela u projektovanju endoproteza.

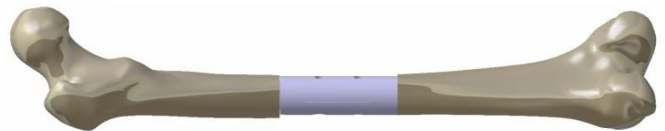
Drugi deo modelovanja, koncipiranje i projektovanje endoproteze obuhvata uklanjanje obolelog koštanog tkiva u virtuelnom, računarskom obliku i na osnovu dostupnog prostora dimenzionisanje endoproteze „Spacer”. Na slici 10 je prikazan model endoproteze koji čine dva segmenta i elementi veze.



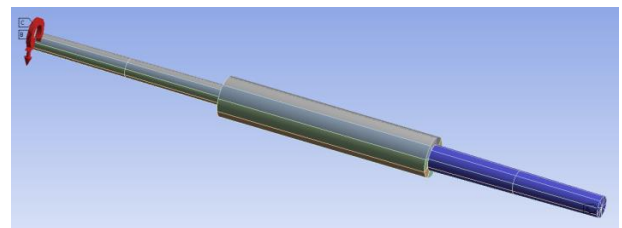
Slika 10. Zapreminski model endoproteze „Spacer“

### III. VERIFIKACIJA RAZVIJENIH REŠENJA

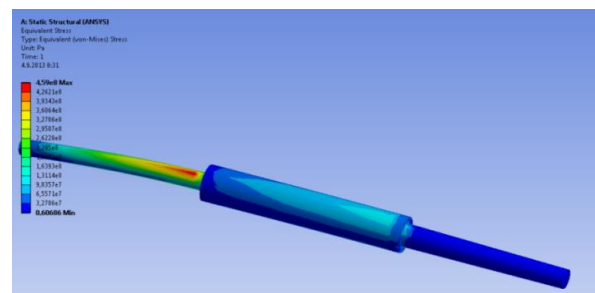
Endoproteze po meri pacijenta spadaju u proizvode koji se projektuju i izrađuju u pojedinačnoj proizvodnji, za koje u većini slučajeva nije moguće izvršiti eksperimentalnu verifikaciju. Zbog toga je od velikog značaja za kvalitet dobijnog rešenja virtuelna simulacija eksploatacionih uslova i verifikacija projektovanog rešenja. Na slici 11 je prikazan model endoproteze ugrađene u butnu kost koji se koristi za analizu geometrijskih parametara i kao osnova za dalje analize. Sledeću fazu u razvoju endoproteze predstavlja analiza naponskog stanja kojim se određuje maksimalno opterećenje endoproteze u eksploataciji, što je osnova za procenu veka endoproteze kao posledica zamora materijala. Na slikama 12 i 13 su prikazani proračunski model i analiza naponskog stanja endoproteze.



Slika 11. Simuliranje ugradnje endoproteze „Spacer” u butnu kost

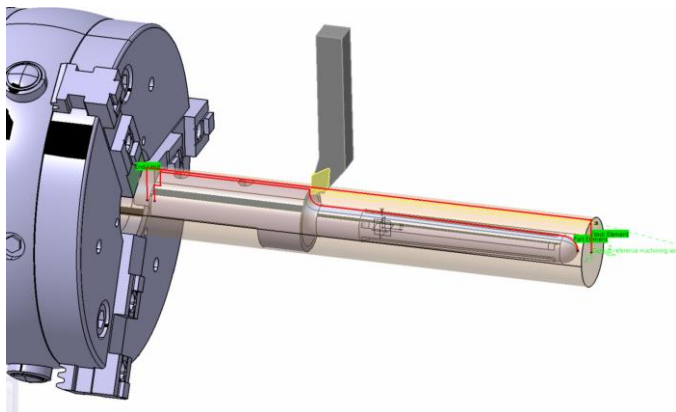


Slika 12. Prikaz opterećenja i ukleštenja endoproteze



Slika 13. Raspored maksimalnih ekvivalentnih napona pri ukleštenju tela endoproteze po celoj dužini distalnog segmenta

Nakon procesa projektovanja, finalnu fazu u razvoju endoproteze predstavlja njena izrada. Primena računarskih modela u predhodnim fazama omogućava primenu programskih sistema za automatizovano programiranje numerički upravljanih mašina u cilju brze i efikasne pripreme proizvodnje. Pored toga, njihovom primenom se omogućava i verifikacija upravljačkih programa primenom simulacije procesa obrade (Slika 15).



Slika 15. Simulacija obrade endoproteze „Spacer“

Poslednju fazu u procesu pripreme proizvodnje predstavlja automatska izrada upravljačkog programa u procesu postprocesiranja putanje alata, kao i formiranje tehnološke dokumentacije neophodne za pripremu mašine i kontrolu kvaliteta nakon izrade endoproteze (Slika 16)



Slika 16. Segment izrađene endoproteze „Spacer“

#### IV. DISKUSIJA

Računarski modeli kosti i endoproteze omogućuju simuliranje ugradnje, simuliranje biomehaničkih uslova opterećenja i ograničenja i metodom konačnih elemenata, određivanje stanja napona i defomacija, položaj i intenzitet maksimalnih Von Misesovih napona, tj. mesto kritičnog preseka na kom može doći do loma usled zamora materijala. Pored toga primena navedenih tehnologija omogućava pripremu proizvodnje i izradu endoproteze prema merama pacijenta u stanju pogodnom za ugradnju primenom savremenih CAD/CAM tehnologija.

Pravilni izbor odgovarajućih materijala i konstruktivnih rešenja omogućuje optimizaciju morfoloških uslova i naponskog stanja da bi se izbegli uslovi za pojavu preopterećenja ili neopterećenja koštane mase kako bi se onemogućila pojava apsorpcije ili resorpcije koštane mase i pojava razlabavljena endoproteze.

Primenom ovih metoda se omogućava eliminisanje većeg broja komplikacija koje nastaju nakon ugradnje endoproteze, među kojima su najvažnije:

- Rane komplikacije usled infekcija i/ili
- Kasne komplikacije koje rezultiraju razlabavljenjem ili lomom implantata usled zamora materijala (Slika 14.).



Slika 17. Kasna komplikacija - prelom endoproteze „Spacer“

#### V. ZAKLJUČAK

Prikazana istraživanja ukazuju na pogodnost primene savremenih tehnologija u procesu razvoja proizvoda. To se posebno odnosi na proizvode u pojedinačnoj proizvodnji prilagodene korisniku kod kojih se izrada fizičkog prototipa i njegova eksperimentalna verifikacija praktično ne može realizovati, već se isto vrši na virtuelnim (računarskim) modelima.

Uređaj za kompjuterizovanu tomografiju i dijagnostiku omogućuje poboljšanje i ubrzanje komunikacije na liniji bolesnik - lekar - proizvodnja implantata. Računarsko modelovanje u toku preoperativne pripreme i planiranja hirškog zahvata omogućuje brži razvoj pouzdane tumorske „custom made“ endoproteze „Spacer“ i njenu izradu primenom CAM tehnologije.

#### NAPOMENA

Rad predstavlja prezentuje deo istraživanja sprovedenih na projektu: „Inovativna naučna i umetnička istraživanja iz domena delatnosti FTN“, podržanom od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Republike Srbije

#### LITERATURA

- [1] Thanindratam, P., Dean, D.C., Nelson, S., Hornicek, F., Duan, Zh.: Advances in immune checkpoint inhibitors for bone sarcoma therapy, Journal of Bone Oncology, Vol. 15, 2019, 100221, ISSN 2212-1374
- [2] Grujić, J.: Računarsko modeliranje i eksperimentalno ispitivanje proteze zgloba kuka, Magistarska teza, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [3] Chandrasekar, C., Grimer, R., Carter, S., Tilman, R., Abud, A., Bickley, L.: Modular endoprosthetic replacement for metastatic tumours of the proximal femur, The Journal of orthopaedic surgery and Research, 2008.
- [4] Grujić, J., Tabaković, S., Zeljković, M., Živković, A., Vučenić, Z., Đorđević, A., Mandić, N., Lujić, N., Sekulić, J.: Projektovanje specijalne endoproteze „SPACER“, Acta chirurgica iugoslavica, Broj 2, Volumen 60, ISBN: 0354-950X, UDK 616.72-089-77, DOI 10.2298/ACI1302109G, Str. 109-115, 2013.
- [5] Bombelli, R.: Osteoarthritis of the hip, Springen verlag, New York, 1983.
- [6] Grujić, J.: Tumorska modularna endoproteza zgloba kuka, doktorska teza, fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad, 2018.

- [7] Zlatić, M., Radojević, B.: Degenerativna oboljenja kuka i hirurško lečenje, Zavod za stručno usavršavanje i istraživačku delatnost, Beograd, 1989.
- [8] Tabaković, S., Živković, A., Grujić, J., Zeljković, M.: Using CAD/CAE software systems in the design process of modular, revision total hip endoprosthesis, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 9, No. 2, "Politehnica" University of Timisoara, 2011, pp. 97-102, ISSN 1583-7904

#### ABSTRACT

One of the methods that enable the repair of malignant diseases of the medial part of the long bones, upper arm, lower leg and femur is the surgical removal of diseased bone and surrounding soft tissue and the implantation of a special custom-made tumor endoprosthesis "Spacer". Design and production of tumor endoprosthesis "Spacer" is a complex procedure that begins with the processing of diagnostic imaging Rtg or MRI. Based on the images thus obtained, the

geometric parameters of the bone being recorded as well as the supplementary data necessary for the development of the endoprosthesis can be determined with sufficient confidence. The geometric parameters allow the creation of a computer model of bone and, based on it, the tumor endoprosthesis "Spacer". This enables simulation of implantation, and simulation of biomechanical loading and fixing. By applying the finite element method, it is possible to determine the stress state and deformation state as well as the position of the maximum Von Mises stresses. Finally, using the CAM technology, the Spacer endoprosthesis is made suitable for implantation.

**RESECTION TUMOR ENDOPROSTHESIS "SPACER"**  
Grujić, J., Tabaković, S., Zeljković, M., Vučinić, Z., Đorđević,  
A., Mandić, N., Lujčić, N.