

RAZVOJ MAŠINE ZA MONTAŽU ŠELNI I OPRUŽNIH PRSTENOVA**DEVELOPMENT OF THE MACHINE FOR CLAMP AND SPRING RING ASSEMBLY***Strahinja Rašuo, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MEHATRONIKA**

Kratak sadržaj – Ovaj rad opisuje razvoj mehanizama, alata i mašine za montažu sklopova (šelni i opružnih prstenova) u automobilske industriji kroz mašinsko, elektro i softversko projektovanje, te fizičku realizaciju mašine i testiranje u realnim industrijskim uslovima rada.

Gljučne reči: mašina, šelne, opružni prstenovi, automobilska industrija

Abstract – This paper describes development of mechanisms, tools and station for assembling components (clamps and spring rings) used in automobile industry through mechanical, electrical and software engineering, as well as the physical realisation of the machine and its testing in real-time industrial circumstances.

Keywords: machine, clamps, spring rings, automobile industry

1. UVOD

Pod pojmom automatizacija podrazumeva se uvođenje automatike u procese rada sa svim potrebnim sredstvima i metodama radi izvođenja procesa po željenom programu. Automatizacija nužno zahteva uvođenje čitavog niza sredstava automatike, računarske tehnike i drugih srodnih grana tehnike. Pored toga, u mnogim slučajevima potrebno je radi uspešnog uvođenja automatizacije promeniti i organizacione aspekte rada nekog sistema što zadire u domen upravljanja celokupnom proizvodnjom a ne samo pojedinim tehnološkim sistemom [1].

Prve primene automatizacije su bile u delatnostima u kojima su nepovoljni uslovi rada za radnika, a kasnije se primena proširila na ublažavanje svake vrste fizičkog napora radnika, monotonosti rada i ubrzavanje ciklusa proizvodnje. Savremenu delatnost i proizvodnju je praktično nemoguće zamisliti bez primene automatizovanih sistema. Primeri automatizacije mogu se pronaći u skoro svakoj delatnosti modernog vremena: korišćenju bankarskih usluga, proizvodnji hrane, testiranju u medicinskim laboratorijama i slično, pa tako, pored drugih namenskih industrija, i u automobilske industriji.

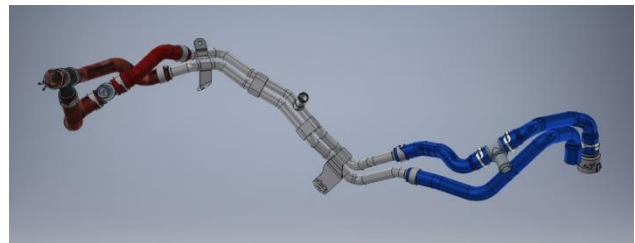
U okviru automobilske industrije, jedan od najvažnijih elemenata svakog motornog vozila predstavljaju creva za kretanje fluida. Prilikom projektovanja vozila, vodi se računa o orijentaciji svakog elementa i definišu se njihove tolerancije. Ukoliko dođe do nedozvoljenih odstupanja, mogu se pojaviti dodatni problemi. Zato je od izuzetne važnosti da sklopovi za kretanje fluida budu tačno sastavljeni bez odstupanja po osama rotacije.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vule Reljić, docent.

Osnovna ideja ovog rada je automatizacija jednog od procesa proizvodnje sistema za protok fluida, odnosno goriva u motornim vozilima. Zbog navedenih problema prilikom projektovanja motornih vozila, tolerancije prilikom montaže ovih sklopova su minimalne i zahtevaju veliku koncentraciju i fizički napor radnika koji ih sastavlja. Automatizacijom ovog procesa bi se smanjio napor čoveka, ali i povećala brzina i konstantnost proizvodnje ovih komponenti.

Prema tome, cilj izrade ovog rada je razvoj fleksibilne mašine sa mogućnošću izmene alata za sastavljanje više različitih sklopova, čija je namena protok fluida u motornim vozilima. Svaki sklop (takozvana referenca) se sastoji od više podsklopova. U okviru 12 različitih sklopova, postoji 58 podsklopova, koje čine komponente za protok fluida, kao što su: gumena creva, metalne cevi, plastični priključci, pumpe itd. Neki sklopovi su složeniji i čini ih više podsklopova. Najsloženije reference (sklopovi) se sastoje od šest podsklopova. Prilikom izrade rada, bilo je potrebno napraviti radnu stanicu sa izmenjivim alatima na kojima će se sastavljati ovi sklopovi, odnosno podsklopovi. Primer jednog sklopa je prikazan na slici 1.



Slika 1. 3D model jednog finalnog sklopa

Jedan od glavnih razloga zašto je nastala potreba za automatizacijom ovog procesa je mogućnost nastanka povreda operatera. Pored toga, otvaranje čeličnih šelni ili opružnih prstenova kod sastavljanja ovih sklopova zahteva određenu silu, što može izazvati zamor kod osobe koja upravlja ovom mašinom. Automatizacijom procesa uklanja se mogućnost pojave navedenih problema.

2. RAZVOJ MEHANIZAMA ZA OTVARANJE / ZATVARANJE ŠELNI I OPRUŽNIH PRSTENOVA

Za merenje sile potrebne za otvaranje šelni i opružnih prstenova je korišćen mehanizam, kojim se provereno može izvršiti neophodno otvaranje. Jedan od takvih mehanizama su klešta za odokativnu montažu, od istog proizvođača od koga su i korišćene šelne i opružni prstenovi. Merenje je izvršeno povezivanjem digitalne cilindrične vage sa oprugom i klešta za odokativnu montažu u koja su postavljani šelna ili opružni prsten.

Manevrom otvaranja šelne ili opružnog prstena se na digitalnoj vagi ispisuje težina, odnosno neophodna sila. Potrebna sila zavisi od tipa i veličine opružnog prstena i šelne. Osim toga, varira kod svakog komada, zbog tolerancija čvrstoće, tvrdoće i mere prilikom proizvodnje šelni i opružnih prstenova. Zbog različitih odstupanja ovih parametara kod svakog komada, za dobijanje tačnijih rezultata vršeno je po pet merenja za svaki od ukupno pet tipova šelni, odnosno opružnih prstenova.

Najveća sila potrebna je za otvaranje opružnog prstena *Mubea MU 27*. Pošto mehanizmi moraju da budu uniformni za svih pet vrsta šelni i opružnih prstenova, sila koja se uzima prilikom odabira aktuatora je ona koja je potrebna za otvaranje navedenog opružnog prstena. Dejstvom ove sile ($486,47\text{ N}$) se mogu otvoriti sve tri vrste šelni i dve vrste opružnih prstenova.

U sklopu rada osmišljena su dva mehanizma za otvaranje i zatvaranje šelni i opružnih prstenova: mehanizam sa makazama i mehanizam sa sajlom. Mehanizam sa makazama je gabaritno veći od mehanizma sa sajlom, ali je njegova proizvodnja jednostavnija i jeftinija od mehanizma sa sajlom. Zbog toga će se mehanizam sa sajlom koristiti samo na alatima gde je to neophodno, zbog nedostatka prostora ili složene orijentacije montaže.

2.1. Mehanizam sa makazama

Kako bi se svi neophodni delovi povezali i podesili, bilo je potrebno napraviti noseću ploču za koju će oni biti vezani. Na ovu ploču se montiraju sve ostale komponente mehanizma. Kako bi se svi delovi pozicionirali, a da pri tome ostane i prostora za podešavanje, ova ploča je gabaritnih dimenzija $270\text{ mm} \times 60\text{ mm} \times 10\text{ mm}$. Komponente se podešavaju na osnovu centralnog spoja koji je fiksiran. Mehanizam sadrži dva mala kraka i dva velika kraka, a na njihovim završecima se nalaze pomoćni krakovi. Veliki i mali kraci su spojeni zavrtnjima $M4 \times 25$ i odgovarajućim navrtkama, a u otvorima kroz koje su spojeni, se nalaze bakarne (CuZn15) čaure. Ove čaure služe kao ležajevi na pokretnim tačkama krakova, kako ne bi došlo do oštećenja delova usled trenja čvrstih materijala. Pošto je predviđeno da se mehanizam sa makazama u primeni kreće zajedno sa predmetima rada koji se sastavljaju, na glavnoj ploči se nalazi osam otvora sa urezanim navojem $M6 \times 1$. Zamišljeno je da se preko ovih otvora mehanizam postavi na dva nosača koji se paralelno kreću. Na taj način bi se mehanizam sa makazama stabilno kretao.

Na krajevima velikih krakova se nalaze pomoćni krajevi koji služe kao nosači čeljusti za prihvatanje šelni i opružnih prstenova. Pomoćni kraci su spojeni sa velikim kracima korišćenjem $M3 \times 8$ zavrtnjeva, a oko zavrtnja se nalazi mala opruga (unutrašnjeg prečnika 4 mm , debljine žice $1,2\text{ mm}$ i dužine 8 mm u stabilnom stanju). Postavljanje šelne ili opružnog prstena pomera čeljusti (gornje i donje) u širinu, prateći luk montažnog predmeta, koje svojim pomeranjem utiču na položaj pomoćnih krakova. Opruge služe da vrate čeljusti u poziciju preko pomoćnih krakova, nakon što operater postavi opružni prsten ili šelnu u čeljusti. Ubacivanjem u čeljusti dolazi do sabijanja opruge kako inserti obuhvataju montažni predmet.

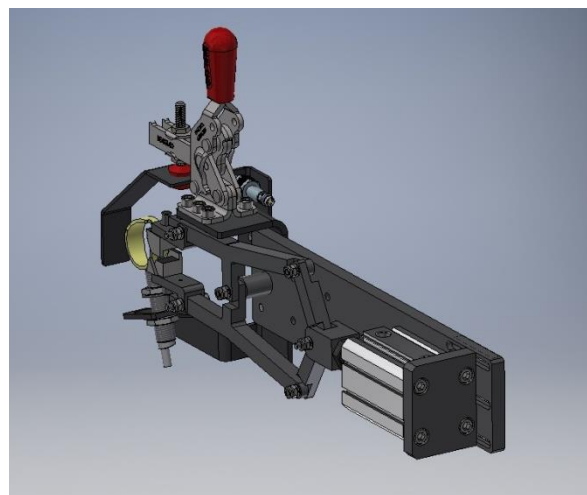
Čeljusti su pozicionirane tako da obezbede *poka-yoke*¹ si-

¹ Poka-yoke je japanski termin često korišćen u industriji koji u prevodu znači „zaštita od greške“ odnosno „sprečavanje greške“ [2].

stem za šelnu ili opružni prsten, odnosno da se montažni predmet može pozicionirati na samo jedan način.

Ovako je obezbedena orijentacija koja je tražena projektnim zadatkom. Šelna ili opružni prsten ne može da stoji u čeljustima mehanizma ukoliko nema dobru orijentaciju, odnosno ne zadovolji *poka-yoke*. Na pomoćnim kracima se nalaze otvori sa urezanim navojem $M4 \times 0,7$ u koje se zavrnju inserti.

Pošto su mehanizmi (slika 2) često izloženi udarcima i sadrže pokretne delove koji su u dodiru sa drugim čvrstim delovima, za glavnu ploču alata, velike, male i pomoćne krakove, nosač aktuatora, spoj krakova sa cilindrom kao i za centralni spoj za materijal od kojeg se izrađuju je odabran poboljšani čelik $\check{C}.1530$ (1.0503 po *DIN* standardu). Ovaj čelik je podložen termičkoj obradi, kako bi mu se čvrstoća povećala na opseg od 50 HRC do 55 HRC . Posle termičkog poboljšanja kaljenjem, ovi delovi se bruniraju. Bruniranje im donosi zaštitu od korozije, ali i bolji estetski izgled [3].



Slika 2. 3D model mehanizma sa makazama

2.2. Mehanizam sa sajlom

Pored prethodno opisanog, napravljen je i mehanizam koji može da otvori sve neophodne šelne i opružne prstenove, osmišljen za montažu sklopova sa ograničenim prostorom, odnosno za rad sa montažnim predmetima gde mehanizam sa makazama ne može da se implementira. Sastoji se iz dva dela: dela za obuhvatanje montažnog predmeta i aktuatorskog dela za zatezanje sajle. Oba dela (slika 3) sadrže pokretne delove, a spregu između njih čini sajla. Sajla je obložena bužirom, kako ne bi došlo do oštećenja komponenti i povrede operatera ukoliko dođe do pucanja sajle. Korišćene su čelične sajle debljine $(1,2+0,1)\text{ mm}$, dok im dužina zavisi od reference kod koje se primenjuju.

Predviđeno je da se deo mehanizma sa sajlom koji drži montažni predmet postavi na nosač tako da zadovoljava zadatu orijentaciju reference. Fiksira se za nosač preko donje pločice za koju su fiksirani i svi delovi ovog mehanizma. Čeljusti koje ovaj mehanizam koristi nisu kataloške, već se izrađuju namenski po tehničkoj dokumentaciji, tako da odgovaraju ovom mehanizmu.

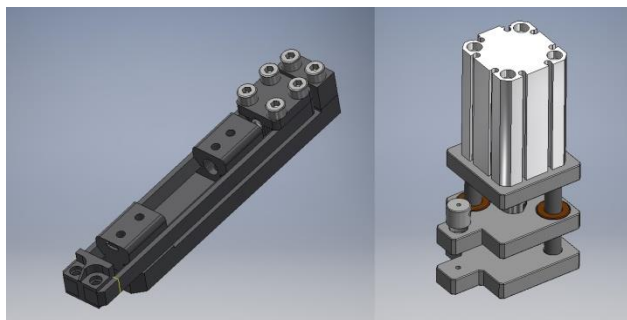
Razlikuju se fiksna čeljust i pomerajuća čeljust. Fiksna čeljust predstavlja kraj mehanizma i u zavisnosti od reference na kojoj se koristi može biti fiksirana $M3 \times 6$

zavrtnjevima ili zavarena za donju pločicu mehanizma. Pomerajuća čeljust se kreće po šinama mehanizma. Njenim kretanjem ka statičnom delu se deluje silom na šelnu ili opružni prsten i ostvaruje se njihovo otvaranje. Kretanje pomerajućih čeljusti izaziva glava mehanizma za koju je vezan drugi kraj sajle, te se zatezanjem sajle ona povlači napred i sprečava pomerajuće čeljusti da se vrate u početni položaj. Ovim dejstvom, pomerajuće čeljusti izazivaju sabijanje slobodnog kraja montažnog prstena. Glava mehanizma je pozicionirana na šinama mehanizma i svrstava se u pokretne delove mehanizma sa sajlom. Kako ne bi došlo do povlačenja glave u nazad, kada je sajla opuštena, na glavnu pločicu je postavljeno kućište mehanizma kao graničnik. Između kućišta i pomerajuće glave mehanizma se nalazi metalna opruga, da ne bi došlo do kontakta između ovih delova.

Deo mehanizma sa sajlom za zatezanje iste dejstvom sile aktuatora se fiskira preko donje aluminijumske ploče, koja ujedno služi i kao graničnik prilikom zatezanja sajle. Cilindar *CD55B50-40M* je fiksiran za gornju aluminijumsku ploču, dok je njegova klipnjača sa navrtkom povezana za srednju aluminijumsku ploču, odnosno pomerajuću ploču mehanizma.

Statične aluminijumske ploče (gornja i donja) su povezane čeličnim vodičama (dobijene struganjem *Č.4580* šipki i urezivanjem navoja) po kojima se aluminijumska ploča kreće. Na gornjem kraju vođica je urezan navoj *M8x1,25* koji omogućava zavrtnanje u gornju aluminijumsku ploču, a na donjem postoji rupa sa urezanim navojem *M8x1,25* dubine *20 mm*, u koju se zavrnju *M8x20* zavrtnjevi kroz donju aluminijumsku ploču.

Na pomerajućoj aluminijumskoj ploči se na otvorima, kroz koje prolaze čelične vođice, nalaze bakarne čaure (*CuZn15*), koje služe kao ležajevi za sprečavanje trošenja materijala ploče prilikom trenja sa mnogo čvršćim vođicama. Ova ploča u centru ima otvor sa navojem *M12x1,25* u koji se uvrne klipnjača cilindra, te se potom stegne navrtkom sa donje strane.

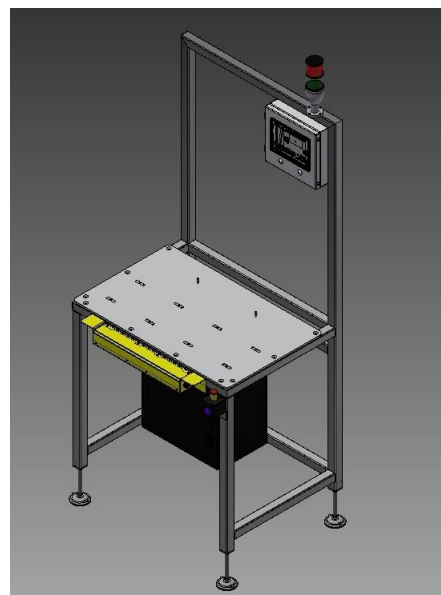


Slika 3. 3D model mehanizma sa sajlom

Izvlačenjem i uvlačenjem klipnjače cilindra dolazi do kretanja pomerajuće ploče mehanizma sa sajlom po vodičama. Dovođenjem cilindra u krajnji izvučeni položaj se pomerajuća aluminijumska ploča spušta do donje aluminijumske ploče, te se kraj sajle fiksira u ovom delu mehanizma zateže. Zatezanje sajle izaziva kretanje pomerajućih delova na drugom kraju sajle. Vraćanjem cilindra u krajnji uvučeni položaj dolazi do podizanja pomerajuće aluminijumske ploče, te se sajla vraća u neopterećeno stanje i pomerajući delovi se vraćaju u svoj početni položaj.

3. STANICA ZA MONTAŽU ŠELNI I OPRUŽNIH PRSTENOVA

Radi efikasnosti montaže svih podsklopova predviđenih projektnim zadatkom, osmišljena je univerzalna stanica sa izmenjivim alatima. Stanica za montažu šelni i opružnih prstenova (slika 4) predstavlja radnu površinu sa konstrukcijom i svim neophodnim komponentama za automatizovani proces rada. Stanica se sastoji od sledećih komponenti: konstrukcije od *Inox* čelika (*Č.4580*) napravljene zavarivanjem profila kvadratnog poprečnog preseka, upravljačkog ormana sa pneumatskim i elektro komponentama za upravljanje, HMI panela za konfiguraciju mašine i biranje režima rada, PLC za upravljanje procesom rada i bezbednosne barijere sa tasterima za rad na mašini.



Slika 4. 3D model stanice za montažu šelni i opružnih prstenova

Kako bi upravljanje osmišljenim mehanizmima bilo uspešno realizovano, korišćene su sledeće komponente: pneumatski ventili sa električnim aktiviranjem za upravljanje aktuatorima (aktuatorima korišćenim za mehanizme i aktuatorima korišćenim za zaključavanje baznog elementa), rid releji za detekciju izvučenog položaja cilindra, tasteri dvoručne komande, priprema grupa, senzori za detekciju prisustva montažnog predmeta, senzori za detekciju prisustva baznog elementa, senzori za detekciju pomerajućih elemenata podsklopa, senzori za proveru geometrije položaja, senzori za proveru zaključavanja baznog elementa, senzori za proveru prisustva bezbednosne klapne, senzori za detekciju početnog položaja komponenti mašine, kao i PLC sa dodatnim modulima.

4. IZMENJIVI ALATI ZA MONTAŽU ŠELNI I OPRUŽNIH PRSTENOVA

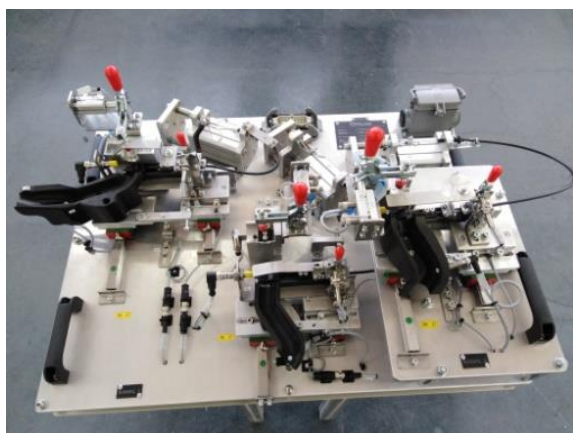
Ukupno postoji 27 izmenjivih alata, a na svakom od njih se montira između jednog i tri podsklopa. U zavisnosti od komponenti koje čine podsklop, gabaritnih dimenzija podsklopa, kao i mesta za montažu, na ove alate su postavljani odgovarajući mehanizmi. Na 21 alatu se koriste mehanizmi sa makazama, a na preostalih deset se koriste mehanizmi sa sajlom.

Svi alati sadrže glavnu aluminijumsku ploču (gabaritne dimenzije variraju između alata, ali ne prelaze $800\text{ mm} \times 500\text{ mm} \times 10\text{ mm}$) i njoj odgovarajuću čeličnu ploču (debljine 3 mm) koja je za nju povezana preko odstojnika. Čelična ploča omogućava postavku alata na stanicu sa odstojanjem, kako se glavna ploča ne bi naslanjala na pneumatske i elektro vodove za komponente koje se na njoj nalaze. Na glavnoj ploči su postavljene sve neophodne komponente za montažu podsklopa jedne reference, što uključuje:

- kalupe za pokretne komponente podsklopa, pozicionirane na nosače koji se kreću na šinama preko nosećih kolica (linearna tehnika);
- bazna kućišta za nepomerajuće komponente podsklopa sa neophodnim delovima za zaključavanje, kako ne bi došlo do nepoželjnog pomeranja ovih komponenti;
- nosače mehanizama koji su pozicionirani na noseća kolica koja se kreću po šinama paralelno sa pokretnim komponentama podsklopa;
- *Harting* konektor za dovođenje pneumatskih i elektro vodova sa stanice;
- plastične U-drške za ergonomičnije postavljanje i prenošenje izmenjivih alata.

5. FIZIČKA REALIZACIJA MAŠINE ZA MONTAŽU ŠELNI I OPRUŽNIH PRSTENOVA

Prvo je projektovana, izrađena i montirana jedna stanica, a potom su alati paralelno projektovani i izrađivani. Projektovanje i proizvodnja su trajali pet meseci, sa dodatnim izmenama nakon puštanja alata i stanica u serijsku proizvodnju. Stanice nisu iziskivale promene u konstrukciji, a nadograđene su plastičnim zavesama i vratima od pleksiglasa sa aluminijumskim ramom, radi zaštite od neželjenih dejstava (kao što je, na primer, prašina). Alati koji sadrže mehanizme sa makazama i sajlama (slika 5) se nisu konceptualno menjali, a realizovani su uz sitne dorade. Razvodni ormani su povezani po elektro i pneumatskoj šemi, a izgled njihovog fizičkog stanja prikazan je na slici 6.



Slika 5. Fizička realizacija alata sa mehanizmima sa sajlom

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu su opisani projektovanje i fizička realizacija mašine za montažu šelni i opružnih prstenova.



Slika 6. Fizička realizacija upravljačkog ormara

Pomenuti opis podrazumeva detaljan prikaz projektnog zadatka, odabir idejnog rešenja, konstrukciju i realizaciju upravljanja, fizičku realizaciju mašine i testiranje u realnim uslovima rada. Osmišljeni su mehanizmi za otvaranje montažnih predmeta (šelni i opružnih prstenova), a potom i razvijeni na osnovu već postojećih rešenja, eksperimentalnih testova i doradivanjem prototipa.

Ovaj projekat, kao što se iz prethodnog da zaključiti, predstavlja praktičan i realan primer iz automobilske industrije. Kao takav, omogućava veoma dobru proveru stečenih znanja iz oblasti pneumatike, upravljačke elektronike, PLC sistema, mašinskih komponenti, mehanike, automatizacije procesa rada i implementacije automatskih sistema.

Projekat je završen uz pojavu manjeg broja problema koji prate svaki razvojni zadatak, dok se nakon brojnih testiranja ne izvrše finalne izmene i ne usavrši dizajn i funkcionalnost alata i mašine. Praktična realizacija i stvarna implementacija pomenute mašine u realnim industrijskim uslovima rada u potpunosti su opravdale očekivanja, kako u pogledu tehničkih karakteristika i funkcionalnosti mašine, tako i u pogledu finansijske konstrukcije.

7. LITERATURA

- [1] Šešlija, D., „Automatizacija procesa rada – pneumatske komponente i sistemi“, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2020.
- [2] Veb sajt: „<https://www.rnaautomation.com/poka-yoke-in-manufacturing/>“, (pristupljeno dana 12.5.2021. godine)
- [3] Gerić, K., „Mašinski materijali, materijali u tehnici 2. deo“, radna skripta, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2015.

Kratka biografija:



Strahinja Rašuo rođen je u Subotici 1996. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronike (Mehatronika, robotika i automatizacija) odbranio je 2021. godine.
kontakt: strale.rasuo@gmail.com