

**JEDNO REŠENJE IZRADE MEHANIČKIH TOČKOVA KOD MOBILNIH ROBOTA
ONE SOLUTION FOR MAKING MECHANICAL WHEELS IN MOBILE ROBOT**

Zorka Erdeljan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – INDUSTRIJSKO INŽENJERSTVO –
AUTOMATIZACIJA PROCESA RADA**

Kratak sadržaj – U okviru ovog rada opisan je razvoj modela autonomno vođenih vozila sa akcentom na praktičnu izradu mehaničkih točkova. Izvršena je analiza različitih vrsta točkova, a za usvojeno rešenje projektovan je 3D model sa detaljnim uputstvom izrade na 3D štampaču.

Ključne reči: *Automatizacija, Industrija 4.0; Autonomno vođeno vozilo (AGV), Mecanum točkovi, 3D štampanje*

Abstract – *The paper describes the development of an autonomously guided vehicle model with an emphasis on the practical construction of mechanical wheels. It points out the possibility of controlling the AGV device by showing a potential solution. An analysis of different types of mechanical wheels was performed. A 3D model with detailed instructions for production on a 3D printer was designed for the adopted solution. A financial analysis was performed in comparison with another, standard manufacturing process. Based on the findings, suggestions for improvement are provided and directions for further work are presented.*

Keywords: *Automation; Industry 4.0; autonomously driven vehicles (AGV); mechanical wheels; 3D printing*

1. UVOD

Veća efikasnost proizvodnih procesa se postiže pre svega osavremenjivanjem mašina, odnosno proizvodnih komponenti. Naravno, prostora za progres uvek ima i to na različitim poljima, koja čine procese proizvodnje. Industrija 4.0 donela je veliki progres ostvariv u logističkom delu proizvodnje, odnosno u pažljivom planiranju prostora, gde će se proizvodni proces dešavati, kao i prilagođavanju manevarskih mogućnosti i oblika samih transportnih sredstava (vozila) koji se koriste.

Kada govorimo o proizvodnom prostoru, onda najviše mislimo na raspored, ali i kretanje transportnih sredstava unutar sistema. Ta činjenica je važna kod uštede prostora i vremena, odnosno smanjivanja tzv. „praznog hoda“.

Proizvodnim sistemima, velikim skladištima, distributivnim centrima i na mnogim drugim mestima se sve više koriste sistemi unutrašnjeg transporta koji koriste

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Jovan Šulc, docent.

automatski vođena vozila (*Automated Guided Vehicle – AGV*) jer je njihova upotreba postala veoma ekonomična. AGV vozila dozvoljavaju u velikoj meri nezavisno kretanje

materijala između samih stanica u proizvodnji, što sve ukupno dovodi do, mnogo veće fleksibilnosti sistema. Fleksibilnost se ogleda u lakom prilagođavanju AGV vozila novim alternativnim putanjama prilikom izvršavanja zadataka i dostavljanja materijala na novu lokaciju [1].

Shodno tome, u ovom radu je projektovano jedno automatizovano transportno sredstvo sa ciljem izbora i praktične realizacije pogonskih točkova. Na taj način je prikazano koliko je značajna primena samo jedne komponente AGV vozila na fleksibilnost proizvodnog sistema.

2. Automatski vođena vozila (AGV)

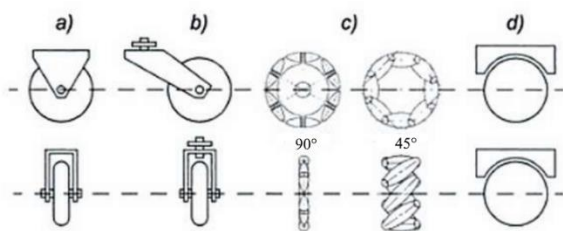
Opšti zaključak je bio taj da se ne treba ubrzati samo transport proizvoda do korisnika, nego da će se sam proces proizvodnje ubrzati ako se komponente i sirovine brže dostave do samih mašina. Sledstveno tome, moderne tendencije Industrije 4.0 promovišu i ideju da se do samih mašina brže dostave potrebni alati koji za kratko vreme mogu da prekomponuju namenu mašine u zavisnosti od toga koji je proizvod u tom trenutku potreban da bi se proizvodnja neometano odvijala.

Automatski vođena vozila, na osnovu jedne od definicija, jesu vozila kojim se upravlja uz pomoć kompjutera. Opremljena su sistemom navođenja i izbegavanja sudara. Takva vozila se, u najvećem broju slučajeva, koriste za transport materijala [2]. Takođe, slična definicija glasi da je sistem automatizovanog ili automatsko vođenog vozila jeste sistem unutrašnjeg transporta koji upotrebljava računarom upravljana, samohodna vozila [3]. Ukoliko se gleda iz aspekta primene, AGV je pogodno sredstvo za automatizovanje funkcije unutrašnjeg transporta u srednje serijskoj proizvodnji, pa čak i u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji. Sistem automatizovanog vođenog vozila predstavlja najprilagodljivije sredstvo za automatsko kretanje materijala. AGV je podesan u primenama gde različiti materijali moraju da se prenesu od raznih utovarnih i istovarnih mesta [3]. Uopšteno govoreći, ova vozila, odnosno sistem se sastoji od samog vozila, nadzornog sistema i potrebne pomoćne opreme. Moderna vozila, kakva se danas koriste, opremljena su mikroprocesorima ugrađenim u njih [2].

3. IZBOR TOČKOVA

Razvojem Industrije 4.0, proizvodnja se znatno proširila. To dovodi do toga da je sve veći broj proizvoda u jednom proizvodnom pogonu, a svi ti proizvodi moraju se razvoziti i skladištiti. Naravno da je ušteda prostora u svakom proizvodnom pogonu veoma bitna. Iz tog razloga za ovaj rad vršilo se istraživanje koji tipovi točkova bi u najvećoj meri ispunili sve zahteve kako bi se izradili i implementirali na projektovano AGV vozilo.

Prilikom projektovanja mehaničkih točkova uzete su u obzir različite mogućnosti kretanja AGV vozila. Proučavanjem različitih konfiguracija točkova izvršena je analiza koji točkovi su najpogodniji za razvijeno AGV vozilo. Generalno postoje četiri različite vrste točkova koji se sastoje od različitog broja stepeni slobode. Na slici 1 pod a) i b) prikazani su standardni i industrijski točak, obe ove vrste točka imaju dva stepena slobode. Točkovi sa tri stepena slobode nalaze se na poziciji c), drugačije se nazivaju „mekanum“ razlika između ova dva tipa prikazana na slici jeste to što su im valjci orjentisani pod različitim uglom. Ovi točkovi nazivaju se još i „omnitočkovi“ jer omogućavaju kretanje u bilo kom smeru. Poslednji koji je prikazan na ovoj slici nalazi se na poziciji d) to je pravi višesmerni točak i on je sfernog oblika. Ovom točku sfera omogućava kretanje u bilo kom smeru [4].



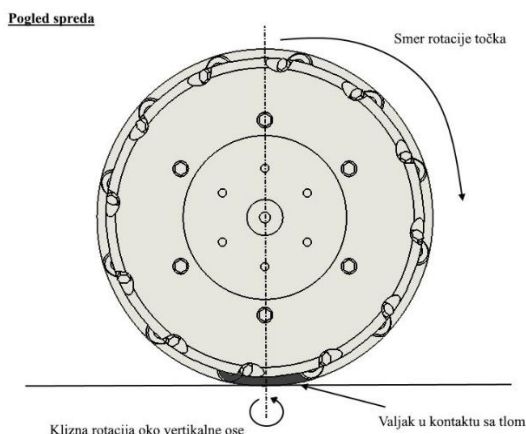
Slika 1. Prikaz različitih vrsta točkova

2.3. Mecanum točkovi

Tokom 70-ih godina dvadesetog veka dolazi se do faze ponovnog projektovanja točka, te tada se dolazi do pronalazjenja novih rešenja. Da bi se mnogobrojna vozila kretala bočno, potreban im je veliki prečnik za rotaciju. Ovo rešenje je veoma malo za primenu na vozilima kao što su automobili ili kamioni, ali se kod viljuškara pokazalo kao idealno, jer se viljuškari kreću po ograničenim zatvorenim prostorijama kao što su npr. skladišta.

2.4. Kretanje točkova

Točak ima tri stepena slobode, koji dobijamo od rotacija točkova, rotacije valjak i kliznog rotiranja oko vertikalne ose koja prolazi kroz dodirnu tačku (prikazano na slici 2.) [5]

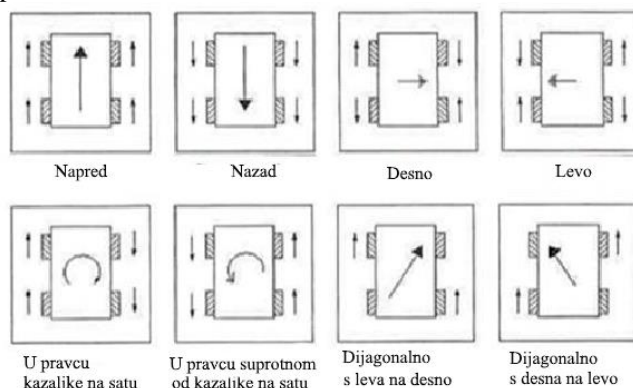


Slika 2. Prikaz „mekanum“ točka spreda

2.5. Kinematika robota

Kada želimo da se krećemo napred ili nazad svi točkovi se kreću u istom smeru, kada želimo da se krećemo levo ili desno možemo primetiti da se dijagonalno postavljene točkovi kreću u istom pravcu. Kada želimo da se naš

AGV kreće u smeru kazaljke na satu, tj. suprotno od kazaljke na satu tada nam se točkovi postavljene sa leve, odnosno desne strane kreću u istom smeru, i kao poslednje kretanje AGV-a dijagonalno tada se pokreću samo dijagonalno postavljene točkovi. Kretanja su prikazana na slici 3.



Slika 3. Prikaz kretanja AGV sa „mekanum“ točkovima

3. EKPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalne potrebe rada, bilo je neophodno konstruisati AGV vozilo sa odgovarajućim pogonskim točkovima. Uslovi koji treba da se zadovolje su:

- Maksimalne gabaritne dimenzije predmeta rada 500 x 600 mm,
- Nosivost vozila ~ 100kg,
- Mogućnost implementiranja različitih sistema za rukovanje materijalom kao što je npr. robotska ruka.

Pošto je cilj ovog rada praktična izrada pogonskih točkova AGV vozila bilo je neophodno osmisliti, projektovati i delom realizovati AGV uređaj koji će biti u stanju da realizuje zadatak sa potrebnim uslovima. Zadatak je da se izvrši transport ambalaže (kutija) unutar proizvodnog pogona, maksimalnih dimenzija 500 x 600 mm i da njihova ukupna masa ne prelazi 100 kg. Na osnovu priloženih informacija konstruisan je 3D model koji zadovoljava se potrebne uslove.

3.1. 3D model

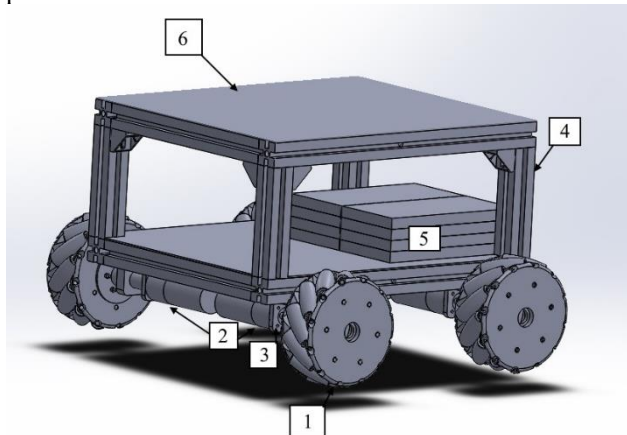
Razvijeni model eksperimentalnog AGV-a prikazan je na slici 4, a glavne elemente predstavljaju četiri mehanička odnosno „mekanum“ točka (pozicija 1). Točkovi su sa specijalno konstruisanim spojnicama (pozicija 2) spojeni sa DC motorima (pozicija 3). Na taj način je obezbeđeno da se svakim točkom upravlja nezavisno što je delom i bio zadatak ovog rada.

„Mekanum“ točkovi su konstruisani na način da su „upareni“ dijagonalno. U tom slučaju uočljiva su po dva para točkova, dijagonalno pozicionirana, koja se razlikuju na osnovu pozicije valjkova, koji se nalaze na njima. Na jednom paru točkova, valjci (12 komada) su postavljeni pod uglom $\pm 45^\circ$ u odnosu na osu obrtanja točka [27].

Izbor elemenata za konstrukciju AGV vozila, izvršen je na osnovu dostupnosti i fleksibilnosti materijala za montažu a to su aluminijumski profili (pozicija 4). Prilikom projektovanja bilo je bitno napraviti konstrukciju tako da može bez poteškoća da nosi teret od ~ 100 kg, a da pritom ne dolazi do plastične deformacije materijala. Naravno, bilo je bitno i izabrati od kod materijala će se praviti konstrukcija, kao i koje će se

komponente koristiti u sistemu, da ne bi došlo do nepotrebnog opterećenja točkova. Iz tog razloga su se za konstrukciju, pri projektovanju, koristili pomenuti aluminijumski „Bosch Rexroth“ profili 45 x 45 mm, sa namenskim ojačanjima na uglovima, kako bi konstrukcija bila jača.

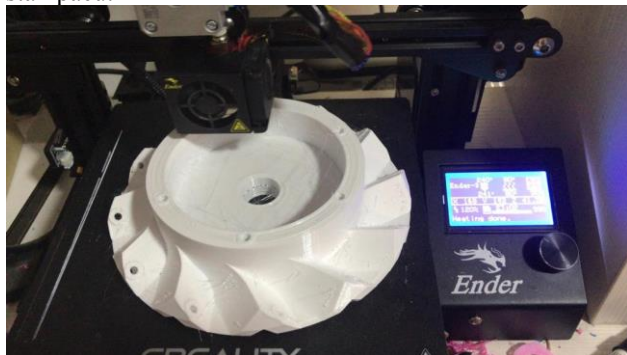
Gabaritne dimenzije AGV-a iznose 734 x 600 x 430 mm, dok je sama radna površina 500 x 600 mm. Na ploči koja se nalazi na konstrukciji, postavljene su baterije i mikroelektronika. Na poziciji 5 nalazi se osam baterija od 3,2 V i kapaciteta od 6000 mAh, one su redno povezane tako da se na kraju dobije 25,4 V i 6000 mAh. Na poziciji 6 nalazi se ploča, na koju će se postavljati predmeti za prenos.



Slika 4. 3D CAD model AGV-a.

4. REZULTATI

Sama izrada točkova rađenja je na 3D štampaču Creality Ender 3 pro. Zbog svojih svojstva, izabran je materijal za štampu PETG. 3D model točkova urađen je u SolidWorks programu i prilagođen je dimenzijama ploče za štampanje na štampaču, koja je dimenzije 200x200 mm. Na slici 5 prikazan je stvaran prikaz štampe ovog modela na 3D štampaču.



Slika 5. Prikaz procesa 3D štampe segmenta točka

Nakon što je izrađen model bilo je potrebno da se u programu „Ultimaker Cura“ uradi detaljno podešavanje štampe. U ovom delu urađena su dva proračuna potrebna za štampanje. Prvi proračun je bio da model bude skroz ispunjen materijalom, a drugi proračun rađen je tako da je unutrašnjost modela povezana mrežom koja se naziva „cubic“ i u tom slučaju je ispunjenost modela oko 50%. Ovaj vid mreže povezivanja u 3D štampi pokazao se veoma dobro kada je potrebno da se dobije na fleksibilnosti materijala a opet sa druge strane da se zadrži

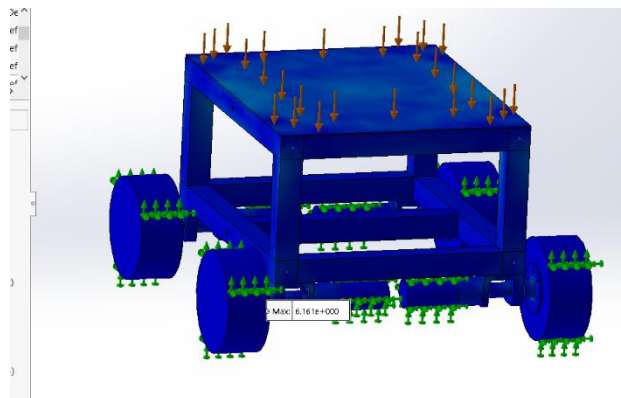
željena krutost. U tabeli 1 prikazano je poređenje potrošnje materijal za 3D štampanje

Tabela 1 Prikaz poređenja potrošnje materijala na 3D štampaču

	Vreme potrebno za izradu (dan)	Potrošnja (g)	Potrošnja (po m)
100% ispunjenosti filamentom	7,17	669 ≈700	201,62
50% ispunjenosti filamentom	1,75	539 ≈600	162,44

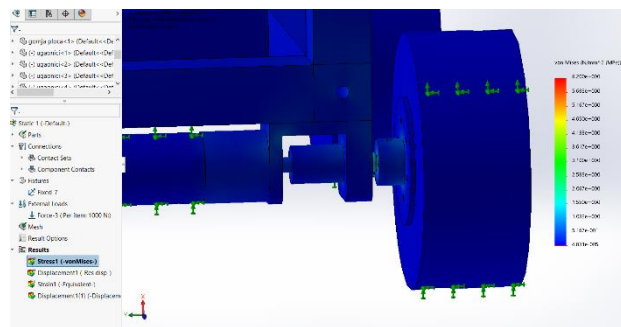
4.1 Simulacija opterećenja konstrukcije i točka

Simulacija opterećenja konstrukcije i točka radena je u „SolidWorks“ programu. Simulacija se vršila tako da se u prvo svakom delu dodelio materijal od kog je napravljen, zatim se moralo označiti koji delovi su fiksirani (na slici 6 prikazani su na zelenim strelicama). Sledeći korak bio je postaviti potrebnu silu koja je zadata u zadatku, a to je da nosivost bude 100 kg. Ona je raspodeljena po celoj gornjoj ploči na konstrukciji (može se videti na slici 7. označene se strelicama koje prikazuju u kom smeru se vrši sila). I pre same simulacije odredilo se koji deo konstrukcije bi bila kritična tačka, to je u ovom slučaju osovina koja spaja točak sa motorom.



Slika 6. Simulacija opterećenja konstrukcije

Pošto je u ovom radu fokus na točkovima na slici 7. prikazana je ista simulacija samo što se akcenat stavlja na opterećenje točka i komponente koje služe za spajanje točka sa motorom i ostatkom konstrukcije. Može se uočiti da se pojavila malo veća sila na osovini koja spaja točak i motor, u odnosu na ostatak konstrukcije.



Slika 7. Simulacija opterećenja točka

S obzirom da su statička testiranja napona daleko ispod pojave plastičnosti odnosno zatezne čvrstoće materijala, može se izvesti zaključak da „mekanum“ točkovi bez ikakvih trajnih oštećenja mogu da nose teret od 100 kg.

4.2 Finansijska analiza izrade točka

Da bi se uspešno izvršila finansijska analiza bilo je neophodno uporediti cenu izrade točkova 3D štampom sa trenutnim cenama komercijalno dostupnih „mekanum“ točkova koji mogu da se nađu na tržištu. Cena jednog gotovog točka na internetu iznosi 200€ po komadu, što znači da nam je za sva četiri točka potrebno 800€ [44].

U tabeli 2 urađeni su proračuni za jedan točak i za sva četiri točka ukupno. Da bi se odštamovala četiri točka potrebno je oko 7480 g materijala, plus podrška koja je neophodna za svaki model tako da možemo reći da nam je za štampanje potrebno oko 10 kg filameta. Cena 5kg filameta iznosi 90 €. Što znači da nam je za štampanje sva četiri točka potrebno 180 € [45]. Kao što se može videti u tabeli, za štampanje sva četiri točka potrebno je 26 dana.

Tabela 2. Proračun potrošnje filameta

	Proračun za jedan točak	Proračun za sva četiri točka
Spoljni deo točka	481 g	1960 g
Unutrašnji deo točka	539 g	2160 g
Valjci x 12	840 g	3360 g
UKUPNO	≈ 2100 g	≈ 7480 g
UKUPNO VREME	6 dana i 12h	26 dana

Sveukupan proračun sadrži cenu materija, cenu radnika, amortizaciju i potrošnju struje.

$$\begin{aligned} & \text{cena filameta} + \text{cena radnika} + \text{amortizacija} \\ & \quad + \text{potrošnja struje} = \\ & 180 \text{ €} + 560 \text{ €} + 46,8 \text{ €} + 26 \text{ €} = 812,8 \text{ €} \approx 815 \text{ €} . \end{aligned}$$

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata rada doneseni su sledeći zaključci:

-Dat je opšti pregled literature sa trenutnim stanjem u oblasti AGV vozila i prikazana su potencijalna mesta primene u industriji;

-Predloženo je detaljno rešenje upravljanja AGV vozilom i izvršen je izbor odgovarajućih komponenti sa detaljnom specifikacijom. Prikazana je kompletna šema povezivanja sa prpratnim objašnjenjem spajanja predloženih komponenti;

-Takođe je prikazan razvoj prototipa AGV vozila, sa akcentom na izradu mehaničkih odnosno „mekanum“ točkova;

-Detaljno je razvijen model AGV vozila i izvršena je kroz odgovarajuće opise i ilustracije analiza izrade točkova 3D štampom. Posebna pažnja je bila usmerena na konstrukciju točkova kao i na njihov spoj sa motorom;

-Jedna od najznačajnijih sfera implementacije AGV vozila jeste, između ostalog i zdravstvo;

-Simulacija koja je rađena na ovom modelu, prikazuje da su „mekanum“ točkovi u granicama očekivanog i mogu da nose zadatu težinu bez deformacija.

-Izradom točkova prikazana je i finansijska analiza pomoću koje se može uočiti gde se sve mogu napraviti uštede prilikom izrade AGV točkova 3D štampom. Zaključak je da se značajne uštede mogu načiniti prilikom izbora materijala od kojeg se izrađuju točkovi;

- S obzirom da je najvažnija odlika ovih točkova veća mobilnost, pokazano je da se ova vrsta točkova može upotrebiti tamo gde se zahteva manji manevarski prostor;

-Činjenica koja je analizirana i dokazana eksperimentom opisanim u ovom radu je ta da se sa ovim, značajnim uštedama proizvodnja i implementacija mehaničkih odnosno „mekanum“ točkova može omasoviti i da će na taj način i same mašine pored veće efikasnosti biti jeftinije;

Na kraju, ali nikako najmanje važno odlike ovih točkova ukazuju na to da su mašine koje se kreću na ovim točkovima stabilnije, te da mogu adekvatnije i sigurnije nositi veće terete, a to praktično znači da AGV vozilo može isporučiti više tereta, za kraći vremenski period, što predstavlja još jedan argument u smislu uštede.

6. LITERATURA

- [1] Šulc, J., *Automatski vođena vozila u rukavanju materijalom-materija za pripremu ispita iz predmeta Tehnologije rukovanja materijalom*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija, 2017.
- [2] Günter, U., *Automated Guided Vehicle Systems*, Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2015.
- [3] Vidak, M., *Završni rad*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska, 2009.
- [4] M,J,E. Legius, *Simulating the Dynamical Behavior of an AGV*, str 10, DCT 2014.012, Eindhoven universitz of technology,2014
- [5] Song, J.B., Byun, K.S. *Design and control of a four-wheeled omnidirectional mobile robot233with steerable omnidirectional wheels*. J. Robot. Syst. 21(4), 193–208 (2004)

Kratka biografija:



Zorka Erdeljan rođena je u Novom Sadu 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Industrijsko inženjerstvo – Automatizacija procesa rada odbanila je 2021. god.
Kontakt: zorka996@gmail.com