

ANALIZA NAPONSKOG STANJA KONSTRUKCIJE MODULARNOG TRAKASTOG TRANSPORTERA PRIMENOM METODE KONAČNIH ELEMENATA**STRESS ANALYSIS OF THE MODULAR BELT CONVEYOR CONSTRUCTION USING FINITE ELEMENT METHOD**Aron Pinter, Nikola Ilanković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je izvršena analiza naponskog stanja konstrukcije modularnog trakastog transportera pomoću softvera Autodesk Inventor i dodatnog modula Nastran. Urađen je proračun osnovnih mašinskih elemenata i na osnovu dobijenih rezultata je primenjena optimizacija konstrukcije transportera.

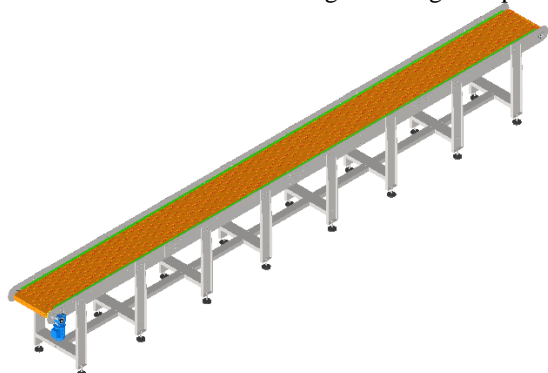
Ključne reči: analiza, metod konačnih elemenata, trakasti transporter

Abstract – In this paper an stress analysis of the modular belt conveyor construction was performed using the software Autodesk Inventor and the additional modul Nastran. The calculation of the basic machine elements was done and based on the obtained results, optimization of the conveyor construction was applied.

Keywords: analysis, finite element metod, belt conveyor

1. UVOD

U radu je izvršena analiza naponskog stanja konstrukcije modularnog trakastog transportera, pomoću programa Autodesk Inventor i dodatnog modula Inventor Nastran. Rad sadrži proračun opterećenja noseće konstrukcije i proračun osnovnih mašinskih elemenata konstrukcije. Dat je proces idealizacije modela i priprema modela prednjeg, srednjeg i zadnjeg modula za analizu metodom konačnih elemenata. Prikazani su dobijeni rezultati simulacije, kao i moguće korekcije u odnosu na prvobitnu konstrukciju, na osnovu rezultata analize i proračuna. Na slici 1. je prikazan CAD model modularnog trakastog transportera.

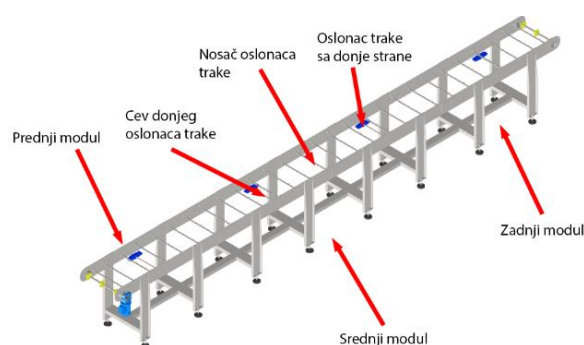


Slika 1. Modularni trakasti transporter

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dragan Živanić, vanr. prof.

Za oslanjanje trake i materijala, osim same noseće konstrukcije, služi nosač oslonaca trake, oslonac trake sa donje strane i cev donjeg oslonaca trake. Na slici 2. je prikazan model transportera bez trake, U i L oslonci trake sa najvažnijim elementima koji su potrebni za analizu.



Slika 2. Elementi modularnog trakastog transportera za oslanjanje trake i materijala

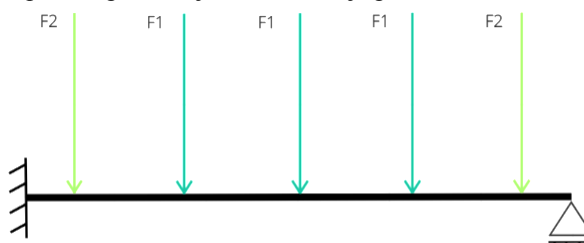
Materijal noseće konstrukcije je čelik S235, vijaka, podložki i navrtki je galvanizovan čelik a donjeg držača trake je PA6. Osobine upotrebljenih materijala pojedinih elemenata transportera su date u tabeli 1.

Tabela 1. Osobine materijala pojedinih elemenata transportera [1] [2] [3] [4] [5]

	S235	galv. čelik	PA6
gustina [kg/m ³]	7850	7850	1150
Jungov modul el.[MPa]	210	200	2400
Poasonov koeficijent	0,3	0,3	0,39
term. koef širenja [K ⁻¹]	12×10 ⁻⁶	12×10 ⁻⁶	101,5×10 ⁻⁶
napon tečenja [MPa]	235	207	66,5

2. PRORAČUN OPTEREĆENJA KONSTRUKCIJE

Raspored opterećenja kod nosača je prikazan na slici 3.



Slika 3. Raspored opterećenja nosača oslonaca trake

Sila koja deluje na sredini nosača oslonaca trake na vertikalne štapove određuje se pomoću sledeće formule:

$$F_1 = \frac{(3 \cdot m_{U0,29} + m_{T0,29} + m_P) \cdot 10}{3} = \frac{(3 \cdot 0,08 + 0,87 + 3) \cdot 10}{3} = 13,7 \text{ [N]}$$

gde su:

- $m_{U0,29}$ [kg] – masa U oslonaca trake na 0,29 m;
- $m_{T0,29}$ [kg] – masa trake na 0,29 m;
- m_P [kg] – masa paketa.

Izbor trake, L i U oslonaca trake i zupčanika sa potrebnim proračunima izvršeno je u [6]. Sila koja opterećuje vertikalne štapove nosača oslonaca trake se određuje pomoću formule:

$$F_2 = m_{L0,29} \cdot g = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ [N]}$$

gde su:

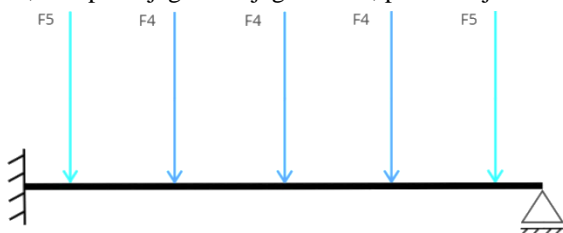
- $m_{L0,29}$ [kg] – masa L oslonaca trake na 0,29 m;
- g [m/s²] – gravitaciono ubrzanje Zemljine težine.

Sila koja deluje na donji oslonac trake određuje se pomoću sledeće formule:

$$F_3 = \frac{m_{T2} \cdot g}{2} = \frac{6,03 \cdot 10}{2} = 30,15 \text{ [N]}$$

gde je m_{T2} [kg] – masa trake na 2 m.

Raspored opterećenja kod spoljašnjih nosača oslonaca trake, kod prednjeg i zadnjeg modula, prikazan je na sl. 4.



Slika 4. Raspored opterećenja spoljašnjih nosača oslonaca trake

Sila koja deluje na sredini spoljašnjih nosača oslonaca trake se određuje pomoću sledeće formule:

$$F_4 = \frac{F_1 \cdot l_{0,2}}{l_{0,29}} = \frac{13,7 \cdot 0,2}{0,29} = 9,45 \text{ [N]}$$

gde su:

- F_1 [N] – sila koja deluje na nosače oslonaca trake koje se nalaze na međusobnom rastojanju 0,29 m;
- $l_{0,2}$ [m] – rastojanje između spoljašnjih nosača oslonaca trake i nosača pored njega;
- $l_{0,29}$ [m] – rastojanje između nosača oslonaca trake na ostalim delovima konstrukcije.

Sila koja deluje na krajeve spoljašnjih nosača oslonaca trake se određuje pomoću sledeće formule:

$$F_5 = \frac{F_2 \cdot l_{0,2}}{l_{0,29}} = \frac{1 \cdot 0,2}{0,29} = 0,69 \text{ [N]}$$

gde je F_2 [N] – sila koja deluje na nosače oslonaca trake koji se nalaze na međusobnom rastojanju 0,29 m.

3. PRORAČUN VRATILA, LEŽAJEVA I KLINOVA

Prečnici vratila, na kojima su postavljeni zupčanici preko kojih se pogoni, odnosno savija traka, kod prednjeg i zadnjeg modula, su zbog geometrijskih ograničenja usvojeni da imaju standardnu vrednost 15 mm. Proračunima su dobijeni zadovoljavajući stepeni sigurnosti, tako da isti odgovaraju [6].

Na delu vratila sa prečnikom 25 mm, za vezu sa zupčanikom, usvojena je standardna dužina klina 80 mm, a kod dela vratila koji se nalazi kod motora standardna dužina od 90 mm. Stepenn sigurnosti je u dozvoljenim granicama, kod oba klina.

Pošto je broj obrtaja vratila veći od 10 min⁻¹, izvršen je dinamički proračun oba ležaja, kod oba vratila. Na osnovu dobijenih rezultata ustanovljeno je da ležajevi imaju veći radni vek, u odnosu na preporuku proizvođača, tako da zadovoljavaju uslov.

4. IDEALIZACIJA

Delovi noseće konstrukcije su pretvoreni pomoću alata Idealizations u Nastran u solid elemente. Kod svakog solida je zadat potreban materijal. Delovi noseće konstrukcije jednostavnijeg oblika nisu modifikovani, odnosno, pojednostavljenje delova nije bio potrebno. Donji deo oslonca transportera sa navrtkama M16 je zamenjen pomoću Fixed Constrain. Na prednjem modulu, prednji podsklop sa ležajevima je zamenjen pomoću koncentrisanih masa. Kod prednjeg modula postavljen je elektromotor, koji je zbog pojednostavljenja analize predstavljen kao koncentrisana masa.

Model elektromotora sastoji se od više elemenata i tokom povezivanja koncentrisane mase sa držačem motora je uzrokovao problem. Da bi se ovaj problem eliminisao, bilo je potrebno elektromotor, pomoću Shrinkwrap alata, konvertovati u jedan solid, tj. part.

5. OSNOVNA PODEŠAVANJA

Da bi se adekvatno postavile vijčane veze u modulu Nastran, model je pripremljen tako što su oko otvora za vijke definisane zone na koje naleže podloška vijčane veze. Za oslonce je izabran Fixed Constrain. Na prednjem i zadnjem modulu je Fixed Constrain postavljen na mestima spoja sa srednjim modulom i na mestima kontakta noseće konstrukcije i poda. Što se tiče srednjeg modula, Fixed Constrain je postavljen na oba kraja jer se smatra da je srednji modul u integralnoj vezi sa preostalim modulima.

Za postavljene vijčanih veza koristio se alat Connection i opcija Bolt. Elementi noseće konstrukcije povezani su vijcima M12. Veza između površine elemenata je zadata pomoću Auto Contacts alata.

Opterećenje je postavljeno pomoću alata Loads na nosač oslonaca trake i na donji držač trake. Mreža konačnih elemenata je generisana automatski, zbog dobijanja tačnijih rezultata i ušteda vremena simulacije, pomoću alata Convergence Settings. Korišćena je opcija Local Refinement, koja samo kod problematičnih zona smanjuje veličinu konačnih elemenata i pravi finiju mrežu.

6. SIMULACIJA I ANALIZA

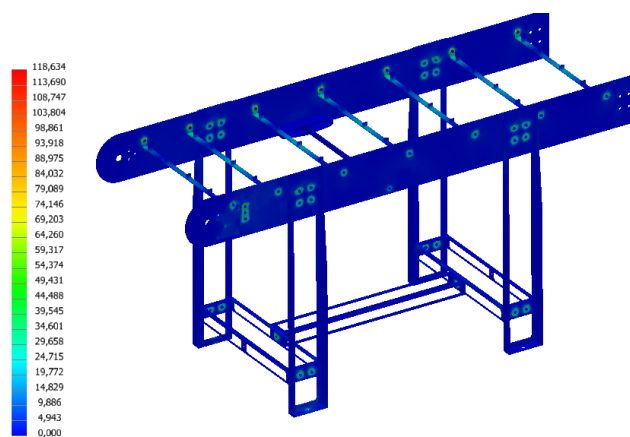
Dobijeni rezultati analize prikazani su u tabeli 2, pri čemu su dati rezultati posebno za prednji, srednji i zadnji modul analiziranog modularnog transportera.

Naponsko stanje srednjeg modula prikazano je na slici 5.

Najveći napon iznosi 149,9 MPa i javlja se samo sa jedne strane nosača oslonaca trake, dok se na drugom kraju javlja 92 MPa. Detaljnijom analizom se zaključilo da uočeni maks. napon predstavlja napon u tački, odnosno koncentrisano opterećenje, i da se može zanemariti.

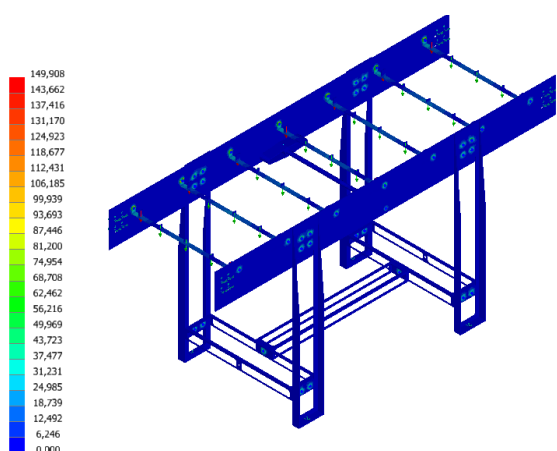
Tabela 2. Rezultati analize

	Prednji modul	Srednji modul	Zadnji modul
Stepen sigurnosti (Solid Von Mises Stress) [-]	1,98	2,54	2,19
Stepen sigurnosti (Beam Von Mises Stress) [-]	1,47	1,44	1,48
Solid Von Mises Stress [MPa]	118	93	107
Deformacija [mm]	0,936	0,908	0,844
Beam Von Mises Stress [MPa]	141	144	141
maks. aksijalna sila u vijku [N]	15210	15222	15205
maks. tangencijalna sila u lokalnom y pravcu [N]	74	117	80
maks. tangencijalna sila u lokalnom z pravcu [N]	59	229	45



Slika 7. Naponsko stanje prednjeg modula

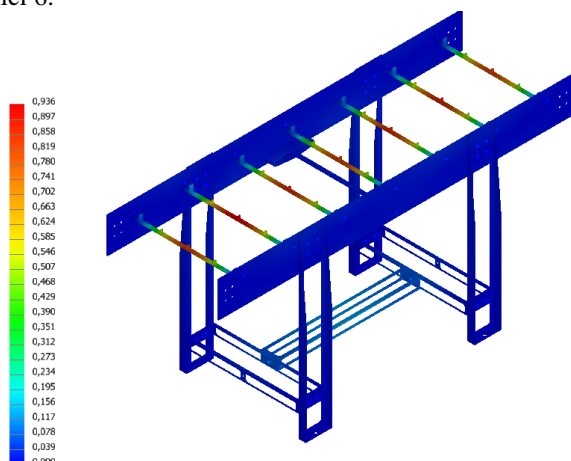
Najveća deformacije kod prednjeg modula javlja se na očekivanom mestu, na sredini oslonaca trake. Deformacija elemenata prednjeg modula prikazana je na slici 8.



Slika 5. Naponsko stanje srednjeg modula

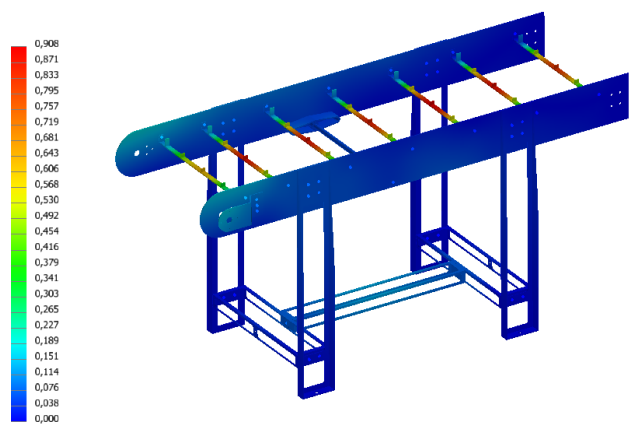
Najveća deformacija kod srednjeg modula javlja se na očekivanom mestu, tačno na sredini nosača oslonaca trake.

Deformacija elemenata srednjeg modula prikazana je na slici 6.



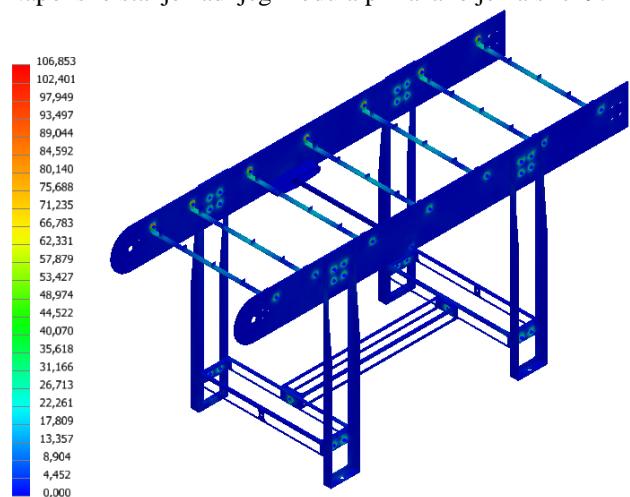
Slika 6. Deformacija srednjeg modula

Kod prednjeg modula dobijaju se najveći naponi, zbog toga što je na ovaj modul postavljen elektromotor i prednji podsklop sa ležajevima, slika 7. Najveći napon iznosi 118,6 MPa.



Slika 8. Deformacija prednjeg modula

Naponsko stanje zadnjeg modula prikazano je na slici 9.

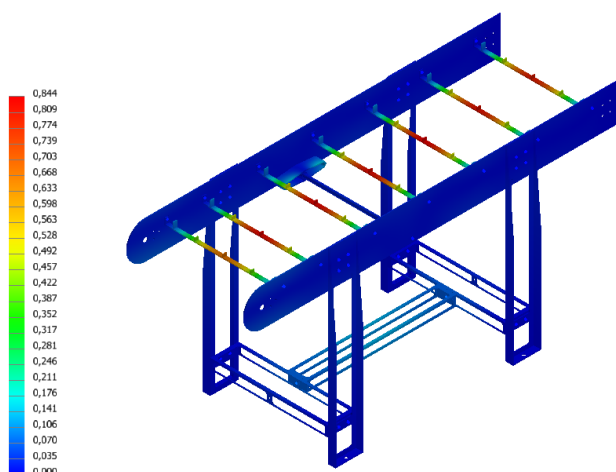


Slika 9. Naponsko stanje zadnjeg modula

Najveći napon se javlja na gornjem delu nosača oslonaca trake i iznosi 107 MPa.

Deformacija zadnjeg modula prikazana je na slici 10.

Rezultati analize kod svakog modula zadovoljavaju uslov za konvergenciju, tj. razlika između poslednje i prethodne iteracije rezultata je ispod 5%.



Slika 10. Deformacija zadnjeg modula

7. MOGUĆE KOREKCIJE PRVOBITNE KONSTRUKCIJE - OPTIMIZACIJA

Analizom dobijenih rezultata mogu se doneti određene preporuke za korekcijama pojedinih elemenata i optimizaciju konstrukcije modularnog trakastog transportera.

Preporuka je da se zameni motor sa reduktorom, zbog velikog momenta koji deluje na noseću konstrukciju, na druge elemente konstrukcije. Iz kataloga istog proizvođača može se izabrati motor i reduktor, koji imaju iste priključne mere i veličinu, tako da na nosećoj konstrukciji zbog toga nisu potrebne izmene.

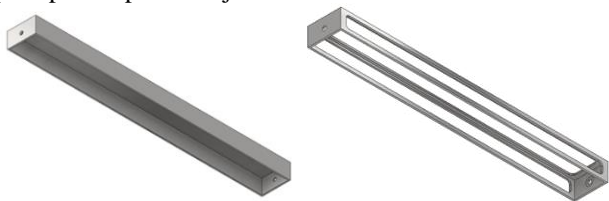
Nakon prve simulacije sa osnovnom konstrukcijom bilo je očigledno da može da se koriguje poprečni presek nekih elemenata, oduzimanjem materijala na neopterećenim ili malo opterećenim delovima [6].

Izgled gornjeg dela oslonaca transportera, pre i posle optimizacije, je prikazan na slici 11.



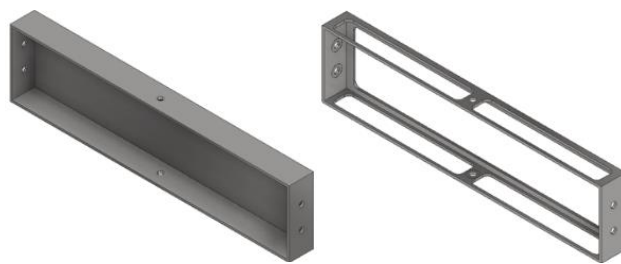
Slika 11. Izgled gornjeg dela oslonaca transportera pre i posle optimizacije

Oduzimanje materijala se preporučuje kod poprečnog i uzdužnog ukrućenja, pošto rezultati pokazuju da su naponi mali. Na slici 12 je prikazano uzdužno ukrućenje pre i posle optimizacije.



Slika 12. Poprečno ukrućenje pre i posle optimizacije

Poprečno ukrućenje pre i posle optimizacije prikazano je na slici 13.



Slika 13. Poprečno ukrućenje pre i posle optimizacije

Ležajevi mogu da se zamene odovarajućim sa slabijim karakteristikama, ali se mora voditi računa da imaju iste dimenzije i oblik, iz konstruktivnih razloga, kako vijci koji povezuju ležajeve i konstrukciju ne bi oštetili traku.

8. ZAKLJUČAK

Analiza elemenata modularnog trakastog transportera je izvršena u savremenom softveru, primenom metode konačnih elemenata. Na osnovu rezultata sprovedene analize i proračuna, zaključilo se da usvojeni elementi zadovoljavaju, ali i da postoji mogućnost optimizacije pojedinih elemenata modularnog trakastog transportera.

Vratilo je predimenzionisano, kao i usvojeni ležajevi. Na pojedinim elementima noseće konstrukcije uočene su gotovo neopterećene ili manje opterećene zone, tako da bi u tim oblastima mogao da se redukuje materijal.

9. LITERATURA

- [1] <https://eurocodeapplied.com/design/en1993/steel-design-properties>, (pristupljeno dana: 14. 3. 2022),
- [2] Invetor 2022: Material library, (pristupljeno dana: 15. 8. 2022),
- [3] <https://www.ensingerplastics.com/en/shapes/products/pa6-tecamid-6-natural>, (pristupljeno dana: 14. 3. 2022),
- [4] <https://designerdata.nl/materials/plastics/thermo-plastics/polyamide-6>, (pristupljeno dana: 14. 3. 2022),
- [5] <https://polymerdatabase.com/polymer%20physics/Poisson%20Table.html>, (pristupljeno dana: 14. 3. 2022),
- [6] A. Pinter: Modeliranje i proračun modularnog trakastog transportera, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2021.

Kratka biografija:



Aron Pinter rođen je 1997. god. u Bačkoj Topoli. Diplomirao je 2021. god. na Fakultetu tehničkih nauka, smer Mehanizacija i konstrukciono mašinstvo. Iste godine upisao master akademske studije.

Kontakt: aron017@hotmail.com



Nikola Ilanković rođen je 1994. god. Završio je master akademske studije 2018. god. na Fakultetu tehničkih nauka i iste godine upisao doktorske studije mašinstva. Zaposlen je u zvanju asistent master na FTN u Novom Sadu.