

## RAZVOJ AVTOMATSKEGA STROJA ZA TKANJE MALOSERIJSKIH IZDELKOV IZ ŽICE

Rok JESENEK<sup>1</sup>, Peter JELENKO<sup>2</sup>, Gašper GANTAR<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Žična Kovina, d. o. o., <sup>2</sup>Peter Jelenko, s. p.,

<sup>3</sup>Visoka šola za proizvodno inženirstvo,

<sup>4</sup>Visoka šola za varstvo okolja

### IZVLEČEK

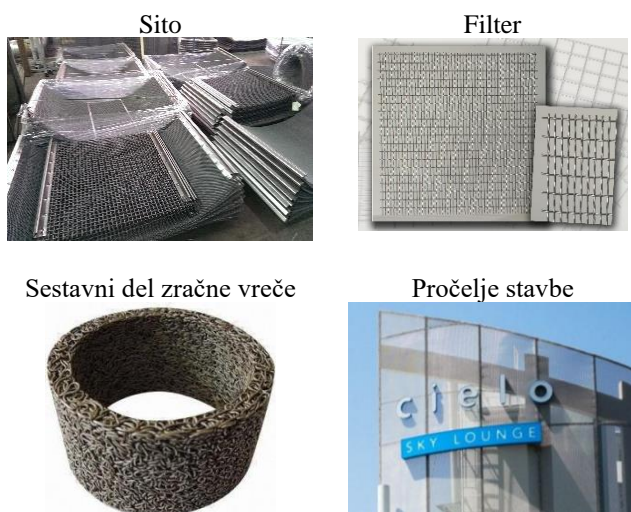
V prispevku je prikazan razvoj avtomatskega stroja za tkanje maloserijskih izdelkov iz rebkane žice. Z lastnim znanjem smo uspeli razviti stroj, ki predstavlja optimalno izbiro za uporabnike, ki izdelujejo maloserijske izdelke (izdelki velikosti od 50 m<sup>2</sup> naprej z isto zanko). Stroj omogoča predelavo žice s premerom 1–8 mm in razponom odprtine v tkanju izdelka do 80 mm z visoko produktivnostjo do 20 vstavljanj prečnih žic na minuto.

### 1 UVOD

Na svetu se vsako leto proizvede 18.000.000 ton izdelkov iz rebkane jeklene žice iz različnih materialov (jekla, nerjavnega jekla, aluminija, bakra ipd.). Povpraševanje po teh izdelkih raste 7% letno [1]. Gre za paleto različnih izdelkov, ki so prikazani na sliki 1, od enostavnih (npr. komarnikov) do zahtevnih (npr. filtrov, tkanin za varnostne zračne vreče v vozilih ali izdelkov za medicino), ki se proizvajajo maloserijsko (npr. industrijska sita) ali masovno (npr. embalažni materiali, ki pri transportu ščitijo nerjavne komponente).

Glavni uporabniki tovrstnih izdelkov so avtomobilska industrija, strojogradnja, gradbeništvo, rudarstvo, prehrabna industrija, papirna industrija, livarne, termoelektrarne, lesnopredelovalna industrija, medicina itd.

Vse omenjene izdelke se izdelava iz žice, ki je pred tkanjem ukrivljena v želeno obliko oz. narebkana na namenskih izdelovalnih strojih, imenovanih tudi statve za tkanje žice. Letno se na svetu proda za 30 mio evrov strojev za tkanje izdelkov iz žice. V grobem jih delimo na polavtomatske in avtomatske stroje. Polavtomatski stroji za svoje delovanje potrebujejo posluževalca, ki med obratovanjem stroja vanj neprestano vstavlja prečne žice, kot je prikazano na sliki 2.



Slika 1: Primeri izdelkov iz tkane žice



Slika 2: Ročno vstavljanje prečnih žic na polavtomatskem stroju za tkanje žice

Polavtomatski stroji se uporabljajo pri izdelavi maloserijskih izdelkov, z manj kot 500 m<sup>2</sup> z isto zanko. Na trgu so dostopni tudi avtomatski stroji za tkanje žice. Ti so opremljeni z mehanizmom, ki med vzdolžne žice v končnem izdelku vstavlja prečne žice, zato prisotnost posluževalca stroja ni nujna (stroj deluje samostojno). Cena takšnih strojev je visoka (od 250.000 do 500.000 evrov), zato je njihova uporaba rentabilna samo v masovni proizvodnji tkanih izdelkov iz žice (pri izdelavi več kot 500 m<sup>2</sup> izdelkov z isto zanko).

Na podlagi interne raziskave trga smo ugotovili, da se na trgu odpira poslovna priložnost v tržni niši prodaje avtomatskih strojev za tkanje maloserijskih zahtevnih izdelkov iz tkane žice (količina izdelka z isto zanko od 50 m<sup>2</sup> naprej).

V nadaljevanju je v prispevku prikazan potek razvoja avtomatskega stroja za tkanje maloserijskih izdelkov iz žice in rezultati, ki smo jih izmerili pri preizkušanju izdelanega prototipa.

## 2 POTEK RAZVOJA

Razvoj je potekal v skladu s smernicami VDI-R 2221 z namenom izdelave vitke konstrukcije z minimalnih številom sestavnih delov [2].

### 2.1 Tolmačenje naloge

Pripravili smo zahtevnike za različne skope stroja (mehanski del, sistem za premikanje žice, sistem za pletenje žice, varnostni sistemi in ostali sistemi), jih uskladili in rangirali. V tabeli 1 so prikazane samo ključne ciljne lastnosti novega stroja, ki so primerjane z lastnostmi konkurence na trgu.

Tabela 1: Ključne tehnične in ekonomske ciljne vrednosti stroja v primerjavi s konkurenco

Lastnost	Konkurenca	Ciljne vrednosti
Razpon debeline žic za tkanje	$\Delta \leq 5$ mm (1-3,2 mm; 2-6 mm ...**)	$\Delta = 7$ mm (1-8 mm)
Dosegljiv razpon odprtine v tkanju izdelka	$\Delta \leq 70$ mm (1-20mm; 1,5-70mm ...**)	$\Delta = 80$ (1-80 mm)
Produktivnost	15 vstavljaj prečne žice /	20 vstavljaj prečne žice /

	min*	min
Čas nastavljanja stroja pri menjavi izdelka	0,5 h	0,5 h
Širina pletenih izdelkov	od 1600 mm do 2700 mm**	2000 mm
Kontrola kakovosti izdelkov z računalniškim vidom	NE	DA
Cena	250.000-500.000€**	120.000€
Rentabilnost uporabe	od 500m <sup>2</sup> naprej z isto zanko	od 50m <sup>2</sup> naprej z isto zanko

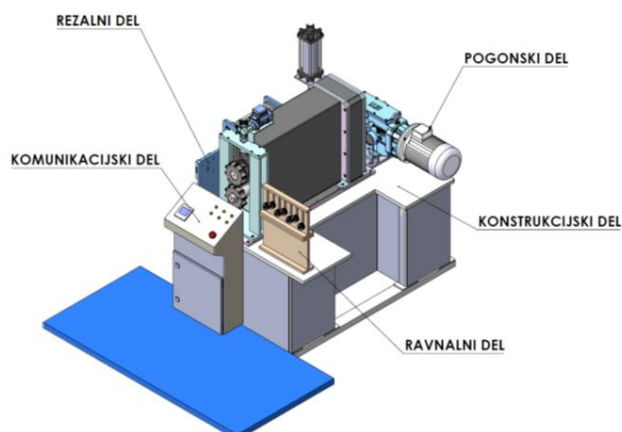
\* Obstajajo tudi stroji za tkanje jeklene tkanine, ki imajo višje produktivnosti (več kot 30 vstavljaj prečne žice/min), ki pa so namenjeni samo za manjše debeline ravnih žic (nerebkanih)

\*\*Različni tipi strojev (proizvajalci ne ponujajo samo ene izvedbe strojev, ampak paleta različno velikih strojev)

### 2.2. Koncipiranje

Postavili smo funkcijsko strukturo stroja in s pomočjo metod za kreativno iskanje idej izdelali koncepte posameznih delnih funkcij stroja.

Posebno pozornost smo posvetili inovativni konstrukcijski rešitvi na sistemu za uvajanje prečnih žic, ki mora zagotavljati zanesljivo delovanje tudi pri večji produktivnosti.



Slika 3: Koncept stroja

Za izbrani koncept smo grobo ocenili tudi lastno ceno stroja. Izračunali smo, da je strošek vgrajenih komponent in dela 115.000,00 EUR.

Čeprav se na področju strojegradnje industrijskemu oblikovanju posveča manj

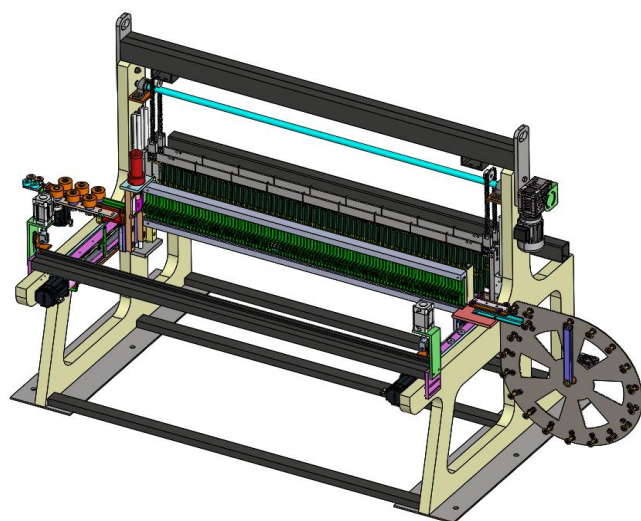
pozornosti, smo v fazi izdelave koncepta vključili tudi industrijsko oblikovalko z namenom izboljšanja vizualnega izgleda stroja. Predlog izgleda stroja je prikazan na sliki 4.



Slika 4: Predlog industrijskega dizajna

### 2.3. Snovanje in razdelava

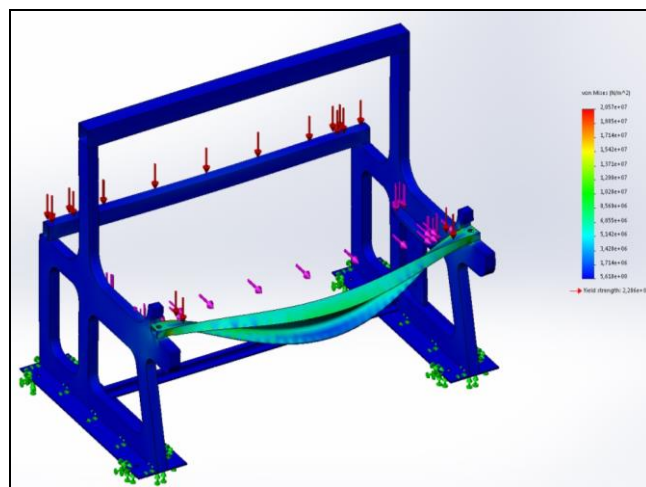
Na sliki je 5 predstavljena zasnova stroja, ki je bila izdelana s programom SolidWorks. Za razliko od stalih strojev je sistem za uvajanje prečnih žic zasnovan tako, da prečne žice ne potiska skozi vzdolžne žice, ampak jo povleče.



Slika 5: Zasnova avtomatskega stroja za tkanje maloserijskih zahtevnih izdelkov iz žice

Za vse ključne komponente stroja smo izvedli preračune za dimenzioniranje, s katerimi smo

preverili nosilnost ter izbrali optimalne standardne komponente (hidravlične cilindre, motorje, ležaje, jermene, gredi itd.). Napetosti in deformacije v ohišju stroja, ki so posledica sile zaradi pletenja mreže, sunkov sile pri potisku prečne žice med vzdolžne žice in sil zaradi same teže ohišja in vgrajenih komponent, so bile preverjene tudi s pomočjo numeričnih simulacij. Napoved napetosti in deformacij (v povečanem merilu) je prikazana na sliki 6.



Slika 6: Primerjalne Misesove napetosti v ohišju stroja med obratovanjem

Načrtovane so bile tudi varnostne komponente in elektro sheme. Samostojno smo razvili tudi programsko opremo za krmiljenje stroja in pripadajoč uporabniški vmesnik.

V fazi snovanja smo želeli preveriti tudi okoljske vidike izbranih tehnoloških rešitev. S pomočjo LCA analize smo vrednotili projektne rešitev iz okoljskega vidika. Kot pričakovano, je LCA analiza pokazala, da ključni negativni vplivi na okolje v celotnem življenjskem ciklu stroja nastanejo v fazi uporabe (skoraj 85%) in sicer predvsem zaradi porabljene električne energije, ki jo stroj porablja za svoje delovanje. Druga najpomembnejša faza je pridobivanje surovin in komponent, ki so vgrajene v stroj za tkanje žice (skoraj 15%). Na podlagi rezultatov analize smo v fazi razvoja iskali predvsem energetsko učinkovite rešitve ter seveda rešitve za zanesljivo delovanje brez zastojev in izmeta. Uporabljeni so bili materiali, ki jih je mogoče reciklirati.

Na podlagi 3D zasnove stroja je bila izdelana še delavniška dokumentacija.



### 3 IZDELAVA IN TESTIRANJE PROTOTIPA

Izdelali smo ohišje prototipnega stroja ter vse mehanske komponente (mehanizem tkalnega glavnika, čolniček za tkanje, mehanizem izvlačanja glavnika, sistem za prijemanje žice in postavitev v pravi položaj, sistem za odrez žice na pravo dolžino, sistem za nastavitev debeline mreže, varnostne zavese, hidravlični sistem za platenje). Pri tem uporabljeni izdelovalni postopki so bili: plazemsko rezanje, različna mehanska obdelava, varjenje, montaža. Prototip stroja je prikazana na sliki 7.



Slika 7: Prototip stroja za tkanje maloserijskih zahtevnih izdelkov iz žice

Najprej smo preverili pravilnost kinematike gibanja in hitrosti. Nato smo izvedli testiranje delovanja v operativnem okolju. Pri tem smo

seveda opazili številne pomanjkljivosti ter korigirali prototip in spreminjali fine nastavitve sistemov.

### 4 SKLEP

S testiranjem smo ugotovili, da smo dosegli zastavljene cilje. Na stroju je s predvideno hitrostjo do 20 vstavljanje prečnih žic na minuto mogoče tkati izdelke iz žice debeline 1-8 mm z razponom odprtine v tkanju izdelka do 80 (preizkušanci so prikazani na sliki 8).

Debelina žice = 1 mm

Razpon odprtine v tkanju izdelka = 4 mm



Debelina žice = 8 mm

Razpon odprtine v tkanju izdelka = 80 mm



Slika 8: Primeri preizkušancev

### Zahvala

Razvoj avtomatskega stroja za tkanje maloserijskih izdelkov iz žice je sofinanciralo Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo (številka operacije OP20.04173), za kar se najlepše zahvaljujemo.

Viri:

- [1] <https://www.wirenet.org/> (ogled 1.4.2021).
- [2] Pehan, S.: Metodika konstruiranja: učbenik, Fakulteta za strojništvo Univerze v Mariboru, 2005