

# Optimalno disponiranje artikala u tkaonici

---

**Pražić, Ema**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:201:132425>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-26**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)



---

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

---

TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO

DIPLOMSKI RAD

Optimalno disponiranje artikala u tkaonici

Ema Pražić

Zagreb, listopad 2020.

---

---

# SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

## TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

---

### TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO

Zavod za projektiranje i menadžment tekstila

#### DIPLOMSKI RAD

Optimalno disponiranje artikala u tkaonici

**Mentor:**

Prof.dr.sc. Stana Kovačević

**Student:**

Ema Pražić,  
10946 / TTI-PMT

Zagreb, listopad 2020.

---

---

## Zahvala

Zahvaljujem mentoru prof.dr.sc. Stani Kovačević na pomoći i korisnim savjetima tijekom izrade diplomskog rada.

Veliko hvala dr.sc. Snježani Brnadi i dr.sc. Danielu Domoviću na pomoći pri realizaciji eksperimentalnog dijela rada.

Od srca zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na pruženoj potpori tijekom studija.

---

---

## Zavod za projektiranje i menadžment tekstila

### *Opći podaci o diplomskom radu:*

Broj stranica

Broj tablica 8

Broj slika 24

Broj formula 5

Broj matematičkih izraza 0

Broj literaturnih izvora 12

Broj likovnih ostvarenja 0

### *Članovi povjerenstva:*

doc. dr. sc. Ivana Schwarz , predsjednik povjerenstva

prof. dr. sc. Stana Kovačević , član povjerenstva

doc. dr. sc. Irena Šabarić , član povjerenstva

### *Datum predaje rada:*

### *Datum obrane rada:*

---

## SAŽETAK

Optimalno planiranje artikala na tkalačke strojeve podrazumijeva što manje izmjena artikala te što više privezivanja stare osnove za novu. Kriteriji za privezivanje novog artikla je jednak broj osnovinih niti stare i nove osnove, jednak uvod u brdo i jednak uvod u listove (broj listova i uvod). U diplomskom radu snimalo se postojeće stanje u pogonu tkaonice i napravio plan za naručene artikle, izradio se dijagram tijeka za izradu algoritma za optimalno disponiranje u pogonu uzimajući u obzir gore navedene kriterije te rokove isporuke.

Prema dobivenim analizama može se utvrditi da je disponiranja artikala pomoću genetskog algoritma puno brže i efikasnije u odnosu na ručno disponiranje artikala.

**Ključne riječi:** optimiranje proizvodnje tkanina, privezivanje osnovinih niti, uvađanje niti u listove i brdo, planiranje proizvodnje, proces tkanja, efikasnost u procesu tkanja



**HRZZ**  
Hrvatska zaklada  
za znanost

HR: "Ovaj je rad financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom IP-2018-01-3170"

---

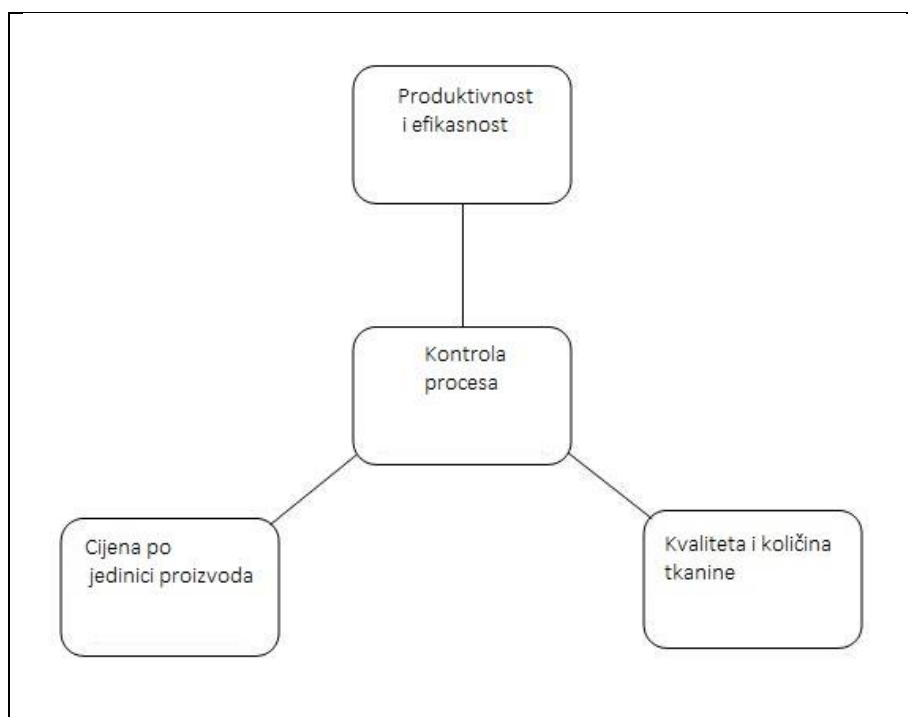
## SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
2.	TEORIJSKI DIO .....	3
2.1	Planiranje proizvodnje u tkaonici .....	3
2.2	Žakarski tkalački stroj .....	4
2.2.1	Glavni dijelovi jednopodizajnog žakarskog stroja .....	5
2.2.2	Galiranje na žakardima .....	7
2.3	Izmjena artikla .....	11
2.3.1	Utjecaj promjene artikla na kvalitetu .....	13
2.3.2	Utjecaj promjene na zauzetost radnika .....	14
2.4	Privezivanje .....	14
2.5	Optimiranje proizvodnje povećanjem broja privezivanja i smanjenjem promjena artikla .....	19
2.5.1	Proizvodni postupci .....	19
2.5.2	Poslovanje .....	19
2.5.3	Proces planiranja .....	20
2.5.4	Tehnička ograničenja linearnog programa .....	20
2.6	Računalom potpomognuto planiranje proizvodnje .....	20
2.6.1	Pretpostavka modela .....	23
2.6.2	Opis modela .....	23
3.	EKSPERIMENTALNI DIO .....	26
3.1	Metodika rada .....	26
3.1.1	Snimak stanja u proizvodnji tkanina u TTT .....	26
3.1.2	Razrada plana mjesečne proizvodnje .....	26
3.1.3	Računalom potpomognuto optimiranje .....	28
4.	REZULTATI RADA I RASPRAVA .....	31
4.1	Snimak stanja u tkaonici TTT-a na dan 15.7.2020: .....	31
4.2	Razrada mjesečnog plana proizvodnje .....	33
4.3	Ručno disponiranje artikala .....	37
4.4	Prijedlog i primjena genetskog algoritma za optimiranje plana proizvodnje u tkaonici .....	40
5.	ZAKLJUČAK .....	49
6.	LITERATURA .....	50

---

## 1. UVOD

Tekstilna industrija koja se odnosi na proizvodnju tkanina ima cilj proizvesti što više tkanina odgovarajuće kvalitete po prihvatljivoj cijeni. Da bi se to postiglo potrebno je potpuno razumijevanje procesa proizvodnje, mogućnosti strojeva, kvaliteta materijala, rada i osposobljenost, te organizacija osoblja. Uspjeh proizvodnje ovisi prvenstveno o kombinaciji odabira asortimana prema potrebama tržišta i marketinškim vještinama. Da bi se postigli ciljevi kvalitete i proizvodnje uz najniže moguće troškove potrebno je da tkaonica ima zadovoljavajući sustav kontrole procesa koji se fokusira na proizvodnju, nadzor kvalitete i troškove proizvodnje tkanina [1].



**Slika 1** Glavni elementi kontrole procesa tkanja

Kontrola produktivnosti tkalačkih strojeva, učinkovitosti i kvalitete procesa i tkanina ključni su u proizvodnji tkanina po prihvatljivim cijenama s odabranim pređama i za uspjeh u konkurentnom okruženju.

Produktivnost tkalačkog stroja ovisi o njegovoj brzini, širini i gustoći osnove i potke. Teorijska (idealna) produktivnost se teško postiže zbog problema koji nastaju pri oštećenju pređe, kvarovima na stroju ili potrebe za promjenom praznog osnovinog



---

valjka s novom osnovovom, odnosno svega što uzrokuje zastoje tkalačkog stroja. Učinkovitost tkanja utječe na stvarnu proizvodnju tkalačkih strojeva. Na učinkovitost, koja se može prikazati kao omjer stvarne proizvodnje prema potencijalnoj proizvodnji, utječu sljedeći čimbenici:

- 1) Vrsta tkalačkog stroja, brzina i radna širina
- 2) Vrsta pređe, kvaliteta i priprema pređe (snovanje, škrobljenje)
- 3) Struktura tkanine i složenost izrade
- 4) Uvjeti u tkaonici (vlažnost, temperatura, osvjetljenje, buka, broj smjena)
- 5) Vještina radnika u tkaoni i opterećenje radnika, organizacija rada, i obučenos [1].

Broj prekida osnove i potke je izuzetno važan faktor učinkovitosti proizvodnje tkanina. Prema brojnim studijama, broj prekida uvjetovan je kvalitetom, jednolikošću i debljinom pređe, ali i kvalitetom snovanja i škrobljenja. Poblize promatrajući glavne uzroke zastoja tkalačkog stroja tijekom tkanja s pamučnom pređom, učestalost broja prekida je najčešći razlog zastoja stroja. Prema mnogim istraživanjima može se utvrditi da 3 do 5 zastoja stroja na 100 000 potki može postići besćunkovni tkalački stroj s ispunjenim navedenim uvjetima.. Od tih zastoja 20% se događa zbog problema s potkom, a 80% zbog osnove. Općenito govoreći, većina zastoja do kojih je došlo zbog osnove rezultat su: deformacija pređe (20 – 30%), priprema osnove za tkanje (30 – 40%) i proces tkanja (30 – 40%).

Učinkovitost tkanja ovisi također i o opterećenju radnika, odnosno o broju tkalačkih strojeva raspoređenih po radniku. Taj broj može varirati, ovisno o broju zastoja strojeva u jednom satu i vremenu koje je potrebno radniku za uklanjanje prekida na stroju. Manjim frontom posluživanja tkalačkih strojeva po radniku povećava broj radnika, pa se povećava cijena rada, kvaliteta tkanina, ali se smanjuje količina proizvoda. Većim frontom posluživanja tkalačkih strojeva po radniku smanjuje iskorištenje tkalačkih strojeva, smanjuje se kvaliteta tkanina, ali se povećava količina proizvoda. Prema navedenom razvidan je nedostatak jednog i drugog slučaja (manji i veći broj strojeva po radniku). Pronalazak optimalnog opterećenja radnika je u interesu radnika i poslodavca. Radnik će biti opterećen toliko da može svojim normalnim radom i zalaganjem postići količinu i kvalitetu koja će mu dati zadovoljavajući osobni dohodak i poslodavac će biti zadovoljan s pozitivnim poslovanjem. Da bi radnik postigao ciljane vrijednosti u količini i kvaliteti poslodavac mu je dužan opskrbiti sve potrebno od materijala s zadovoljavajućom pripremom u prethodnim fazama, ispravne strojeve i propisane uvjete rada [1].

---

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1 Planiranje proizvodnje u tkalnici

Planiranje proizvodnje mora se suočava se s mnogim problemima koja se moraju pratiti u procesima izrade od vlakana, pređe do izrade tkanina. Prvo je potrebno definirati ciljne datume isporuke kako bi se mogla provjeriti raspoloživost materijala i strojeva kroz faze izrade, te mogućnost poštivanja datuma isporuke. Prema načinu rada u procesu izrade tkanina najčešće je moguć sukcesivan način isporuke gotove tkanine. Budućii se istovremeno proizvode različite vrste tkanina organizacija rada je izuzetno važna u provedbi izrade pojedinih artikala. Pomnom analizom tijeka proizvodnje pojedinih artikala, njihove složenosti izrade (vrsta strojeva, materijala, pomoćnih materijala, postupka izrade, potrebnih faza izrade, te mnogih drugih parametara) odlučuje kontinuitet cjelokupne proizvodnje. Raspored strojeva po vrstama materijala ili artiklima te vremenski tijek po fazama izrade dat će precizan način isporuke pojedinog artikla, uz uvjet da postoje svi raspoloživi predmeti i sredstva rada.

U nastavku slijedi objašnjenje tehnoloških ograničenja koja se moraju uzeti u obzir. Svaki tkalački stroj, prema svojim karakteristikama, mora biti opremljen s osnovnim valjkom odgovarajuće pređe, odgovarajuće duljine, za odgovarajući artikl koji se može otkati na tom stroju odgovarajućeg veza, gustoće i širine.

Svaki tkalački stroj ima standardnu produktivnost koja se mjeri brojem utkanih potki i izračunava se statistički uzimajući u obzir vrijeme zastoja stroja. Vrijeme potrebno za izradu tkanine na tkalačkom stroju proizlazi iz navedenih podataka. Kad se potroši osnova s osnovnog valjka potrebno je nekoliko sati za zamjenu istoga ukoliko se osnova privezuje ili nekoliko smjena za zamjenu drugačijeg osnovnog valjka kod promjene artikla (ponovno uvađanje u listove, brdo i lamele), za to vrijeme tkalački stroj ne radi. Kod trenutnog planiranja plan se izrađuje ručno ili pomoću gantograma te softverski. Ručnim načinom potrebno je više vremena za izradu optimalnog plana. Kako bi se povećala produktivnost i pomoglo u određivanju datuma isporuke isplatilo bi se češće izrađivati nove planove pomoću računalne podrške. Izrada novog artikla može se disponirati na bilo koji skup kompatibilnih tkalačkih strojeva. Kad je riječ o rokovima, važno je napomenuti da su rokovi određeni tjednima, a u praksi kraće vremenske jedinice se ne uzimaju u obzir [2].

---

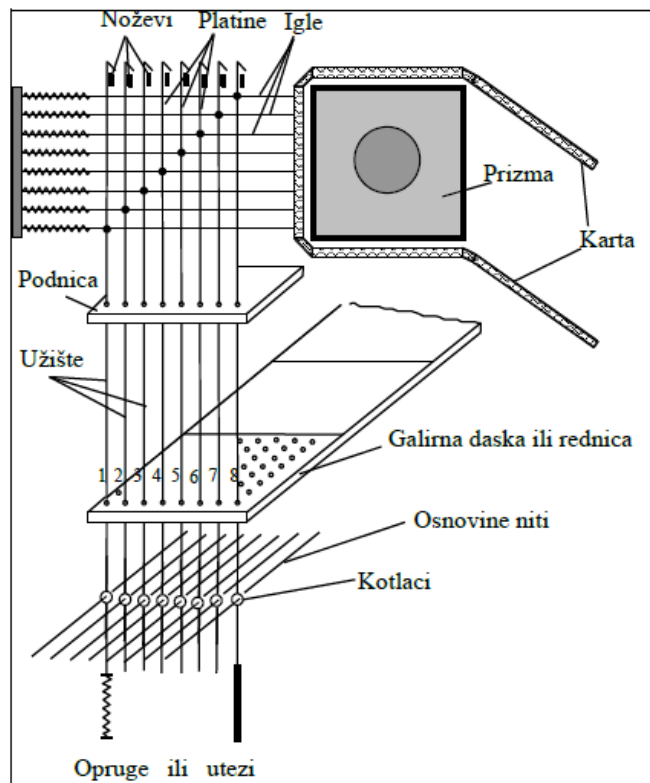
Mirovanje tkalačkog stroja uzrokovano zamjenom osnovinog valjka u malom udjelu je prisutan u ukupnoj proizvodnji te se može uzeti u obzir u standardnoj produktivnosti. Glavni cilj proizvodnog procesa je poštivanje rokova u najvećoj mogućoj mjeri, uzimajući u obzir da nisu svi proizvodi isti. Još jedna značajka proizvodnog procesa je ta da je svaki tkalački stroj podložan čestim i vrlo kratkim zastojsima uzrokovanim prekidom potke. Ti kvarovi traju od nekoliko sekundi do nekoliko minuta, koliko je radniku potrebno da ih ukloni. Kod prekida niti javlja se drugi problem u planiranju proizvodnje, a to je broj radnika koji rade na strojevima. Ukoliko nema dovoljno radne snage ne mogu se koristiti svi tkalački strojevi ili se mogu koristiti ovisno o njihovoj distribuciji unutar tekstilne tvornice. Ovaj problem predstavlja izazov za model matematičkog algoritma planiranja. Zato je razumnije planiranje prepustiti ekspertizi menadžera uz pomoć djelomičnog rješenja kojeg nudi matematički model [2].

## **2.2 Žakarski tkalački strojevi**

Žakarski tkalački strojevi su dobili ime po svom izumitelju Joseph Marie Jacquardu. Koriste se za programiranu tvorbu zijeva i za složene vezove s više od 28 raznovozujućih osnovinih niti. Žakarski strojevi se dijele na jednopodizajne, dvopodizajne, mehaničke i elektroničke žakarske strojeve.

Kod jednopodizajnih žakarskih strojeva cjelokupan ciklus se obavi za jedan okretaj (dovođenje karte, očitavanje, prijenos signala na platine, zahvat platina za nož, povlačenje platina u gornji zijev ili dovođenje platina u donji zijev ovisno o mjestu na karti bušeno mjesto – gornji zijev, nebušeno mjesto – donji zijev. Dvopodizajni žakarski strojevi imaju za svaku raznovozujuću osnovinu nit po dvije platine koje su međusobno povezane. Na takve platine se djeluje sa dva sustava noževa koji se naizmjenično kreću dolje-gore. Elektronički žakarski strojevi dizanje platine ostvaruju mehaničkim radom dvaju sustava noževa . Elektronički dio se sastoji od uređaja za upravljanje s procesorskom centralnom jedinicom za elektroničku obradu podataka, memorijom na tvrdim diskovima, ugrađenim i mobilnim uređajima za čitanje podataka, tipkovnicom, monitorom, prijenosnikom podataka za periferne uređaje, terminalom i mrežnim sustavom. Memorirani podaci o vezu se pretvaraju u uređaju za upravljanje u signale za upravljanje kretanja zijeva na žakarskom stroju [3].

## 2.2.1 Glavni dijelovi jednopodizajnog žakarskog stroja



**Slika 2** Glavni dijelovi žakarskog stroja [3]

Opis dijelova žakarskog uređaja:

- Platine: okrugle čelične žice s kukom na vrhu.
- Igle: horizontalno postavljene žice za očitavanje karte i povlačenje platina.
- Prizma: element sa 4 ili 6 strana koji služi za dovođenje karata na očitavanje.
- Podnica: daska s rupicama koja daje raspored platinama.
- Užište: splet svih uzica.
- Rednica (galirna daska): daska s rupicama kroz koje prolaze uzice. Smještena je iza i iznad brda, daje raspored uzicama, određuje gustoću osnove i široka je kao uvod osnove u brdo.
- Karta: za svaku potku buši se jedna od karata na stroju za bušenje, koje su poredane po redoslijedu potki na uzornici.

Veličina, kapacitet ili snaga žakarskog tkalačkog stroja definirani su brojem kotlaca u žakarskom stroju. Postoje dva standarda, britanski i kontinentalni standard. Britanski standard ima raspon veličina od 100 do 900 kotlaca (ili 104 do 924) kao što je prikazano u tablici. U britanskom sustavu veličina je manja od ukupnog broja kotlaca.

---

Na primjer u stroju veličine 100 postoje 4 dodatna kotlaca, a u stroju veličine 900 postoje 24 dodatna kotlaca [4].

**Tablica 1** Britanski standard žakardskih strojeva [4]

Broj platina	Broj platina, dugi red	Broj platina, kratki red	Ukupni broj platina
100	26	4	104
200	26	8	208
300	38	8	304
400	51	8	408
500	51	10	510
600	51	12	612
900	77	12	924

Tablica 2 prikazuje veličine kontinentalnog žakarskog stroja. Raspon veličine je od 448 do 1792 platina. Veličina i ukupni broj platina su identični u kontinentalnom standardu. Ove veličine omogućuju tkanje kompliciranijih dizajna izrađenih od finih pređa [4].

**Tablica 2** Kontinentalni standard žakarskih tkalačkih strojeva [4]

Broj platina	Broj platina, dugački red	Broj platina, kratki red	Ukupni broj platina
448	16	28	448
896	16	56	896
1344	16	84	1344
1792	16	112	1792

Za proizvodnju izrazito velikih uzoraka izumljeni su žakarski tkalački strojevi još većih veličina. Brojni strojevi razvijeni su za proizvodnju jednog velikog dizajna koji se ponavlja po cijeloj širini tkanine. Takvi žakarski strojevi su ekstremno veliki i posjeduju individualnu kontrolu prediva (ukupan broj niti osnove jednak je broju kotlaca na stroju).

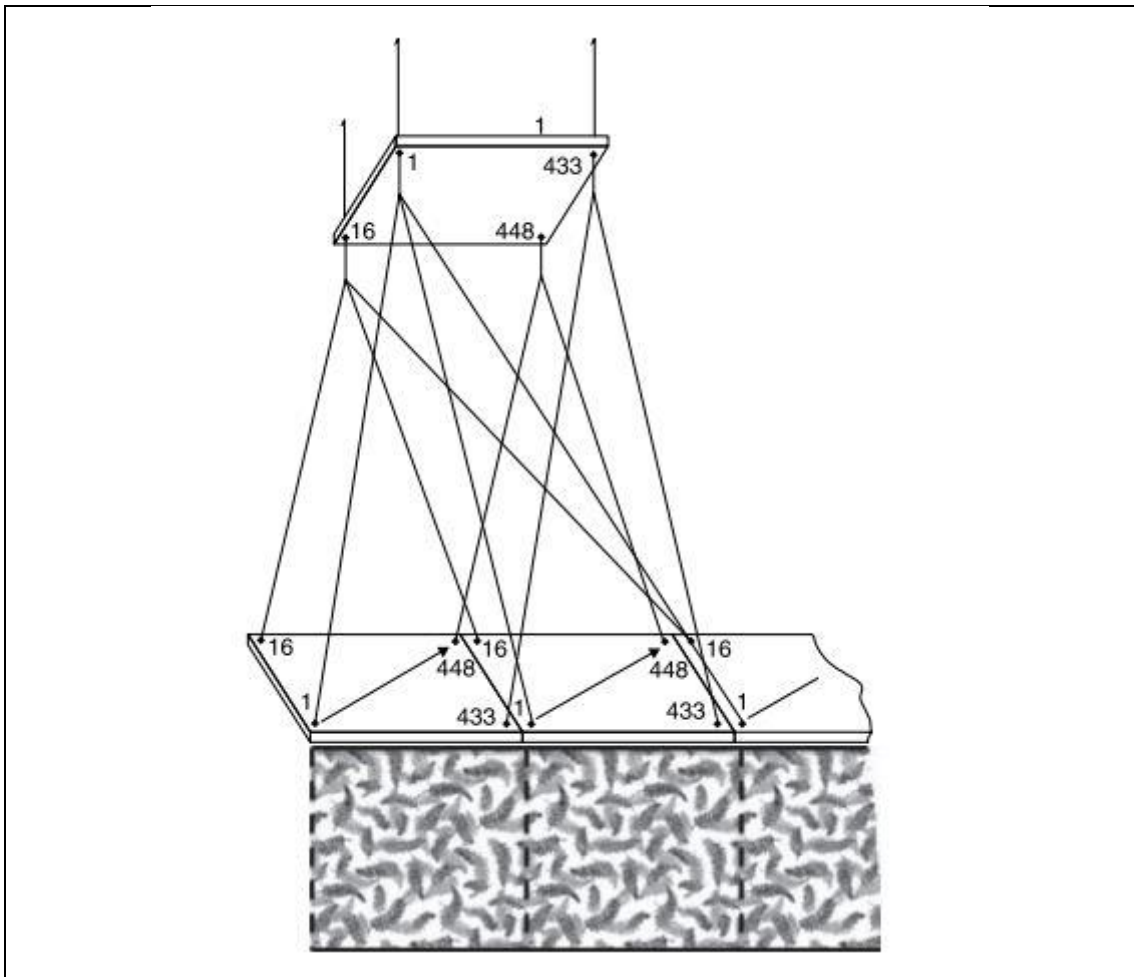
Ukoliko je potrebno dva žakarska tkalačka stroja mogu biti postavljeni jedan pored drugog kako bi broj platina bio dovoljan za proizvodnju velikog zahtjevnog dizajna tkanine. Na primjer dva žakarska stroja veličine 12 288 mogu se postaviti na vrh tkalačkog stroja kako bi se dobila kombinirana veličina od 24 576 platina. Ti veliki žakarski strojevi se nazivaju i mega žakardi [4].

---

## 2.2.2 Galiranje na žakardima

Galiranje u žakarskom stroju odnosi se na raspored užišta (splet svih uzica) koje su provedene kroz galirnu dasku. Galiranje na žakarsom stroju je slično kao uvađanje na listovnom i ekscentarskom. Uvađanja može biti ravno, povratno ili kombinirano što ovisi o uzornici koja se tka.

Ravno galiranje je slično ravnom uvađanju na listovnom i ekscentarskom stroju. Ono se koristi kod tkanina koje imaju asimetričan izgled. Na slici 3. je primjer ravnog uvađanja na žakardu s 448 platina koji su raspoređeni u 16 platina u kratkom redu i 28 platina u dugom redu (tablica 2.) [4].

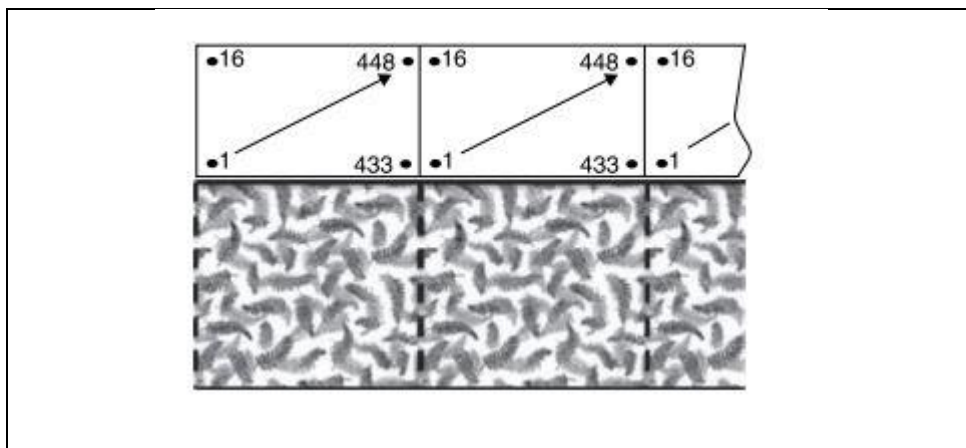


**Slika 3** Ravno galiranje

---

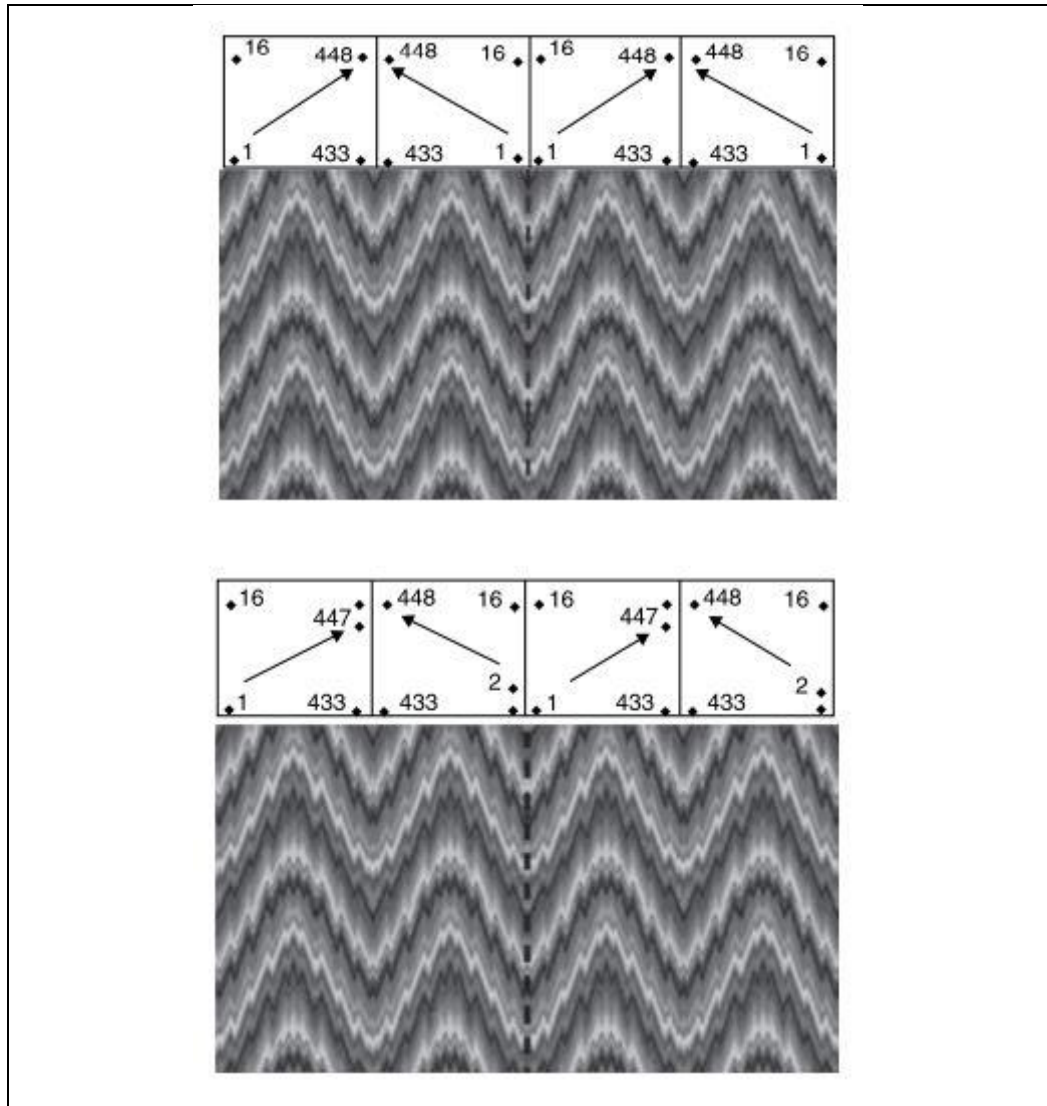
Za jasnije viđenje, samo prvi i zadnji kratki redovi platina, zajedno sa užištem, pojavljuju se na slici 3. i samo platine 1 i 16 prvih kratkih redova i platine 433 i 488 zadnjih kratkih redova su prikazani na slici. Galirna daska i uzorak tkanja prikazani su na dnu. Broj ponavljanj uzorka tkanja određuje broj uzica po platini. U ravnom galiranju broj uzorka ponavljanja jednak je broju uzica po platini.

Na slici 3. prikazana su samo 2 ponavljanja i dio trećeg. Slika prikazuje da platina 1 kontrolira kraj osnovine niti broj 1 svakog ponavljanja uzorka tkanja, a platina broj 448 kontrolira kraj osnovine niti broj 448 svakog ponavljanja uzorka tkanja. Ukoliko postoji 10 uzoraka tkanja po širini cijele tkanine za to će biti potrebno 10 uzica za svaku platinu i ukupan broj od 4480 uzica. Ovaj proračun je potreban za izradu galiranja. Jednostavnija metoda prezentacije galiranja ili uvađanja užišta u galirnu dasku je prikazano na slici 4 [4].



**Slika 4** Jednostavna prezentacija ravnog galiranja [4]

Središnje ili šiljasto galiranje se koristi za tkanje simetričnih tkanina (slika 5.) Prednost središnjeg galiranja je mogućnost stvaranja većih uzoraka (dvostruke veličine) u odnosu na ravno galiranje. Na slici 5. prikazano je šiljasto galiranje na žakard veličine 448, koje je iste veličine kao ravan uvod na slici 3.



**Slika 5** Središnje ili šiljasto galiranje

Uzice 1 i 896 tkaju se potpuno isto kao i uzice 2 i 895. Uzice 1 i 896 privezane su za platinu 1, uzice 2 i 895 privezane su za platinu 2, itd. Ispravak se izvršava sa šiljastim uvađanjem da bi se izbjeglo tkanje dvaju krajeva s istim preplitanjem u središtu uzorka i na početku novog ponavljanja. Ukoliko se ne napravi korekcija na dvije pređe koje se tkaju na isti način, one će biti prikazane kao greška [6].

Gornji dio slike 5 prikazuje pogrešno privezivanje, a donji dio slike 5 prikazuje napravljenu korekciju. Užišta privezana na platinu 1 i 448 su uklonjena. Pod pretpostavkom da je istkano 10 ponavljanja, broj uzica je 20 po platini s izuzetkom platina 1 i 448 gdje ih je 10. Ukupni broj uzica je 8940 ( $2 \times 448 \times 10 - 2 \times 10$ ).

Miješanje privezanih krajeva koristi se za ponovljene dizajne tkanina u kojima su pomiješani simetrični i ravni dijelovi u uzorku kao što je uzorak na slici 5.

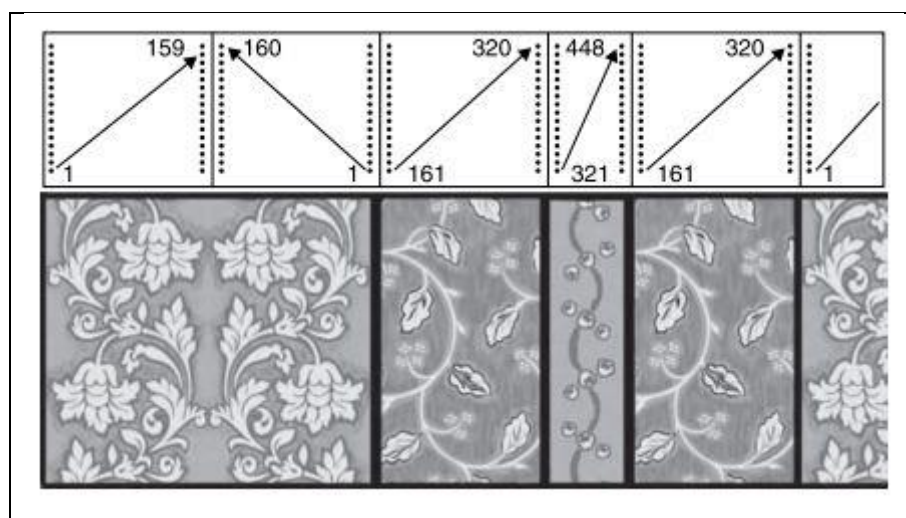


Prvi dio dizajna je simetričan i zahtijeva 160 platina (platine 1 do 160), drugi dio se ponavlja 2 puta unutar tkanja i zahtijeva 160 platina (platine 161 do 320), treći dio zahtijeva 128 platina (platine 321 do 448) [4].

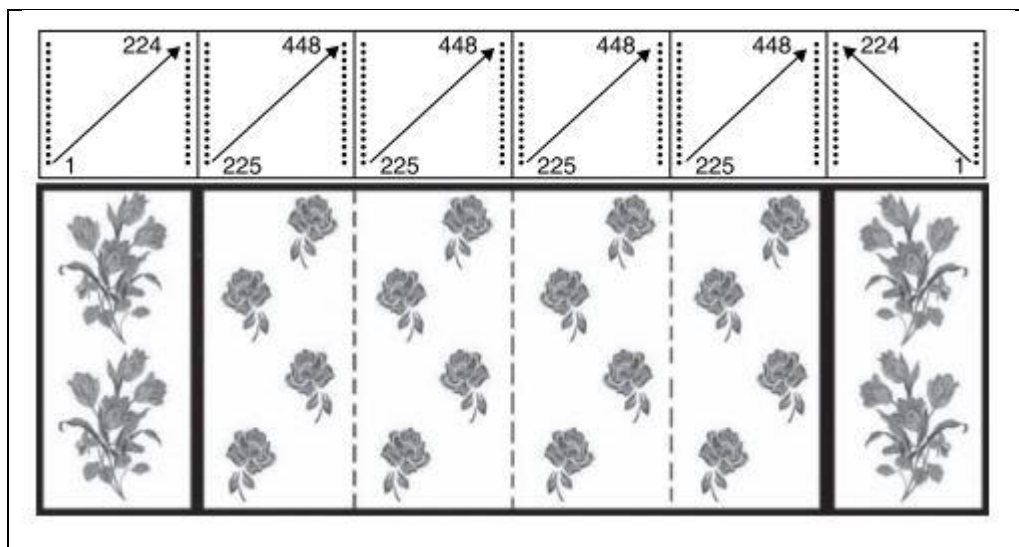
**Tablica 3** Izračun galiranja

Platine	Broj platina	Broj privezanih platina / uzica	Broj ponavljanja raporta	Ukupni broj uzica
1 – 159	159	2	5	1590
160	1	1	5	5
161 – 320	160	2	5	1600
321 – 448	128	1	5	640
Ukupan broj uzica				3835

Tablica 3 prikazuje izračun povezan s galiranjem. Ovi izračuni su potrebni za konstrukciju galiranja. Privezivanje uzica na rubovima je za obrubljene tkanine. Primjer za privezivanje uzica na obrubljenim tkaninama je u tablici 3. Ovdje su prikazane sve privezane uzice zajedno sa dizajnom obrubljene tkanine. Lijeva i desna strana obruba obično su simetrični uzorak ili mogu biti osnovni keper ili saten. Mnoge od ovih tkanina kombiniraju dva ruba s osnovnim keperom za vanjski obrub, a unutarnji obrub je simetrični uzorak. Veličina žakarda prikazana na slici 6. ima 448 platina. Polovica platina (platine 1 do 224) oblikuju obrub, a druga polovica platina (platine 225 do 448) tvore bazu tkanine. Pridruženi izračun galiranja je prikazan u tablici 4 [4].



**Slika 6** Kombinirano galiranje



**Slika 7** Galiranje na rubovima obrubljene tkanine

**Tablica 4** Izračun galiranih pređa na obrubu [4]

Platine	Broj platina	Broj platina / uzica	Ukupan broj uzica
1 – 224	224	2	448
225 - 448	224	4	896
Ukupan broj uzica			1344

Žakard prikazan na slici 7 ima 448 platina, polovica platina (platine od 1 do 224) oblikuju rub, a druga polovica platina (platine od 225 do 448) čine ostatak tkanine. Povezan izračun galiranja na obrubu je prikazan u tablici 4 [4].

### 2.3 Izmjena artikla

Nakon škrobljenja, osnova je spremna za postavljanje na tkalački stroj. Tkanine za odjeću visoke mode uobičajeno imaju veliku gustoću. Kao rezultat, sve više se koristi uređaj za privezivanje osnove. Različite kombinacije uvađenja mogu biti određene sa automatiziranim uređajem za uvađanje niti osnove.

Svaka nit osnove je provedena kroz jednu lamelu - metalnu pločicu koja čuva osnovinu nit. Ukoliko dođe do pucanja osnovine niti ili se ona olabavi, lamela pada, zatvara strujni krug i tkalački stroj prestaje raditi. Strojevi za postavljanje lamela na niti osnove postavljaju otvorene lamele na svaku osnovinu nit. Strojevi za privezivanje koriste se za privezivanje osnovinih niti. Budući da je brzina privezivanja velika ( 200 niti u minuti ) ovi strojevi su ekonomični kod osnove sa više od 3000 niti.

---

Nakon lamela, osnovine niti prolaze kroz kotlance listova, jedna nit prolazi kroz jedan kotlac. Ovo se radi prema planu uvađanja niti osnove u listove . Nakon toga, niti osnove se uvode kroz brdo. Uobičajeno je da se kroz jedan prolaz na brdu provuku jedna ili više niti. Plan za brdo je određen brojem osnovinih niti koje se zatim podijele po uzubinama (otvorima) na brdu. Svaka nit osnove bi se trebala slobodno pomicati u brdu, neovisno o drugim nitima [5].

Kod ručnog uvođenja osnove, jedna osoba sortira osnovine niti, a druga ih provlači.

Danas procesi uvađenja i privezivanja mogu biti potpuno automatizirani, ali se još uvijek koristi i ručno uvađanje.. Proces automatskog uvođenja niti odvija se uz pomoć stroja za uvađenje. Krajevi osnove, uzeti sa osnovinog valjka se uvode jedan po jedan u dijelove stroja za uvađenje, niti se odvajaju od snopa i dovode u položaj za uvađenje, plastični nož otvara snop niti, a kuka uvlači niti kroz kotlance i brdo u jednom potezu. Automatsko uvađenje povećava brzinu, fleksibilnost i kvalitetu pripreme za tkanje u usporedbi s ručnim uvađanjem. Moguće je provući 50000 osnovinih niti u 8 sati ( 200 niti u minuti ).

Promjena artikla znači kreiranje postavki na stroju za tkanje novog artikla, odnosno tkaninu drugačijih svojstava, a privezivanje podrazumijeva povezivanje osnove novoodsnovanog osnovinog valjka s krajevima osnova artikla na stroju što rezultira tkanjem iste tkanine samo sa novim punim osnovinim valjkom [5].

Primjena elektronike u tkanju rezultirala je kvalitativnim poboljšanjima što se tiče proizvoda, kvalitete i produktivnosti. Također je omogućila određeno povećanje fleksibilnosti, jer za promjenu jedne vrste tkanine ili dizajna u neki drugi nije potrebno puno vremena sa CAD programom. Međutim ovaj sustav se ne može u potpunosti upotrijebiti ukoliko zamjena osnove nastavi oduzimati puno vremena. Promjena osnove započinje uklanjanjem niti osnove iz brda, kotlaca i lamela, uklanjane osnovinog valjka te njegova pohrana do sljedeće uporabe. Zatim se stavlja novi osnovin valjak gdje se niti osnove uvode u dijelove tkalačkog stroja. Cijeli postupak traje par sati do nekoliko smjena ovisno o širini tkalačkog stroja i broju kotlaca. Ubrzavanje procesa proizvodnje tkanina je zahtjevalo uklanjanje navedenog problema. Ovim se su pitanjem pozabavili proizvođači tkalačkih strojeva i pribora, što je dovelo do komercijalizacije koncepta 'brze promjene stila' (QSC). Prema ovom konceptu, stražnji dio tkalačkog stroja označen kao SCM (modul za promjenu stila), može se odvojiti od ostatka stroja [6].

---

Ovaj segment podržava osnovin valjak. Nakon što se niti osnove izvedu iz brda, kotlaca i lamela, tada se SCM (style changing modul) sa osnovinom valjkom može odvojiti od ostatka tkalačkog stroja i zamjeniti novim osnovinim valjkom. Dva pogona tj. mehanizma upravljaju sustavom i odvojivim dijelom tkalačkog stroja i omogućuju brzo uklanjanje brda, kotlaca i lamela te zamjenu s novim setom. Iz tog razloga ta dva mehanizma su centralni dio prve faze operacije. Prilikom postavljanja nove osnove, dio osnove koji viri izvan tkalačkog stroja se privezuje i provlači u plastični dio pored tkalačkog stroja. Kada je osnovin valjak postavljen na tkalački stroj, a višak osnove ubačen u dio za preuzimanje, tkanje može početi. QSC (quick style change) tkalački stroj nema nikakvu dodatnu elektroniku, iako je njegova razvojna potreba potpomognuta fleksibilnošću koju je moderni tkalački stroj postigao zahvaljujući širokoj primjeni elektronike. Bez sumnje, brza izmjena artikla koju diktira sve zahtjevnije tržište također je igrala veliku ulogu.

Zahvaljujući razvoju sustava uvađanja osnovinih niti u dijelove tkalačkog stroja, cijeli taj proces je pretrpio velike promjene. Sustavi mikrokontrolera su preuzeli posao radnika u tkalačnici. Niti osnove se uvode u dijelove tkalačkog stroja brzinom do 140 niti u minuti [6].

### 2.3.1 Utjecaj promjene artikla na kvalitetu

Nakon promjene postavki stroja, slijedi faza finog podešavanja kod koje su nužni „nekvalitetni metri“.

Literatura sugerira različite čimbenike koji utječu na rad tkalačkog stroja. AHP (analitičko hijerarhijski proces) kvantificira čimbenike koji utječu na performanse. Uloga ljudskih resursa je jako važna jer je industrija radno intenzivna. Odsutnost radne snage znači gubitak proizvodnje. Za postizanje visokih performansi važna je motivirana radna snaga. Drugi važan čimbenik je proizvod, to znači dizajn, volumen i kvalitetu proizvoda koji utječu na performanse. Loša kvaliteta sirovina i pribora (dijelovi opreme, boje, dijelovi stroja...) imaju visoki utjecaj na performanse jer dovode do loše kvalitete proizvoda koja smanjuje vrijednost proizvoda. Česta promjena artikala i količina proizvodnje također utječu na performanse tkalačkog stroja. Starost tvornice i dobre prakse upravljanja utječu na performanse.

Na performanse tkalačkih strojeva najviše utječu: ljudski resursi, promjena stila i volumen proizvodnje, održavanje tkalačkih strojeva i starost tvornice [7].

---

### 2.3.2 Utjecaj promjene na zauzetost radnika

Pored samog procesa tkanja postoje i postupci pripreme koji utječu na planiranje proizvodnje. Odgovarajuće vrste i količine pređe moraju biti dostupne u određeno vrijeme. Postupci pripreme su općenito planirani da imaju veći kapacitet od kapaciteta tkanja. Na nekim strojevima je potrebno duže vrijeme pripreme što zahtijeva i veći broj radnika koji će raditi na tome [8].



**Slika 8** Automatizirani stroj za uvođenje osnove[5]

Kod ručnog uvođenja osnove, jedan radnik sortira niti osnove, a drugi provlači niti osnove uvodeći ih na stroj. Danas su procesi uvođenja i privezivanja potpuno automatizirani. Uvođenje se vrši pomoću brzih strojeva kao što je prikazano na slici 8. Automatsko uvođenje povećava brzinu, fleksibilnost i kvalitetu u pripremi tkanja u usporedbi s ručnim uvođenjem. Moguća je stopa uvođenja je 50.000 niti u 8 sati [5].

### 2.4 Privezivanje

Kada se potroši osnova s osnovinog valjka, ukoliko neće doći do promjene dizajna artikla, tada se postupak uvođenja osnove ne ponavlja. Krajevi starih osnovinih niti sa starog osnovinog valjka će se privezati na osnovine niti novog osnovinog valjka. Zatim se krajevi osnove provlače kroz tkalački stroj dok se osnova ne očisti od mjesta vezivanja (uzlova) [5].

Mali prijenosni uređaj se koristi na ili izvan tkalačkog stroja i služi privezivanju osnovinih niti. Uobičajeni uređaj za privezivanje osnovinih niti može privezivati pređe finoće 340 – 7 tex. Uređaj privezuje pamučne, vunene, sintetičke i miješane pređe različitih finoća. Uobičajeno takav uređaj privezuje od 60 do 600 uzlova u minuti.

---

Kod pređa većih finoća preporuča se dvostruki uzao koji može napraviti uređaj za privezivanje. Vrpčasta pređa i monofilamentna pređe zahtijevaju malo drugačije uređaje za privezivanje. Vrpčaste pređe do širine 8 mm mogu se privezivati. Brzina privezivanja je od 60 do 450 uzlova u minuti. Moguće je unaprijed programirati broj potrebnih privezivanja, nakon što se priveže određen broj uzlova, uređaj se automatski zaustavlja. Na tkalačkom stroju sa dvostrukim osnovinim nitima, postavljaju se dva uređaja za privezivanje koji rade svaki sa jedne strane stroja s desna na lijevo i sa lijeva na desno istovremeno [5].

Uređaj za zavarivanje osnove se koristi kako bi krajeve osnovinih niti obložio plastičnom kuglicom kako bi se lakše uvodile u tkalački stroj. Ovo rezultira uštedom vremena pri pokretanju tkalačkog stroja. Nakon uvlačenja osnovinih niti, krajevi osnove koji strše poravnavaju se paralelno i ravnomjerno se protežu. Plastična folija širine oko 5 cm postavljena je na donju šipku za zavarivanje, a duži dio plastične folije postavljen je na osnovinim nitima iznad donje dijela plastične folije. Pomicanjem gornje šipke za zavarivanje prema dolje, plastične folije zavaruju se zajedno sa nitima osnove.

Prilikom uvođenja i privezivanja, potrebno je uzeti u obzir par činjenica. Nepravilno uvođenje i privezivanje može biti presudno za dobar rad tkalačkog stroja. Za kvalitetno tkanje je važna izravnatost pojedinih niti osnove i njihova neovisnost dok prolaze kroz tkalački stroj [5].

Privezivanje osnove je proces koji se događa u trenutku zamjene osnovinog valjka novim. Vrijeme potrebno za operaciju privezivanja ne bi trebalo utjecati na učinkovitost rada tkalačkog stroja [9].

Strojevi za automatsko privezivanje mogu obraditi širok raspon vrsta pređe i imaju brzinu do 600 uzlova u minuti sa mehaničkom ili elektroničkom kontrolom na duplim uzlovima i na redosljedu osnovinih niti u slučaju raznobojnih osnova. Uređaj na kojem se nalazi stara osnova se odstranjuje od tkalačkog stroja i odnosi u drugu prostoriju kako bi se privezivanje odvijalo u boljim uvjetima, a tkalački stroj se čisti.

Krajevi stare osnove se režu, a krajevi nove osnove vežu se za odgovarajuće krajeve stare osnove i taj proces se naziva privezivanje. Nakon krajevi osnove se provlače kroz kotlance i brdo sve dok se ne očisti od uzlova.

Postoje dvije vrste operacije privezivanja osnove:

1. Ručno privezivanje osnove
2. Automatsko privezivanje osnove

Ručno privezivanje se koristilo prije uvođenja automatskog privezivanja osnova. U ručnom privezivanju osnove bilo je potrebno više radnika u odnosu na automatsko privezivanje.

---

Tijekom ručnom privezivanja, vrijeme trajanja procesa je dulje, a svaki radnik privezuje drugačije uzlove, drugih dimenzija i dužina repova na uzlovima te se ujedno i kvaliteta razlikuje.

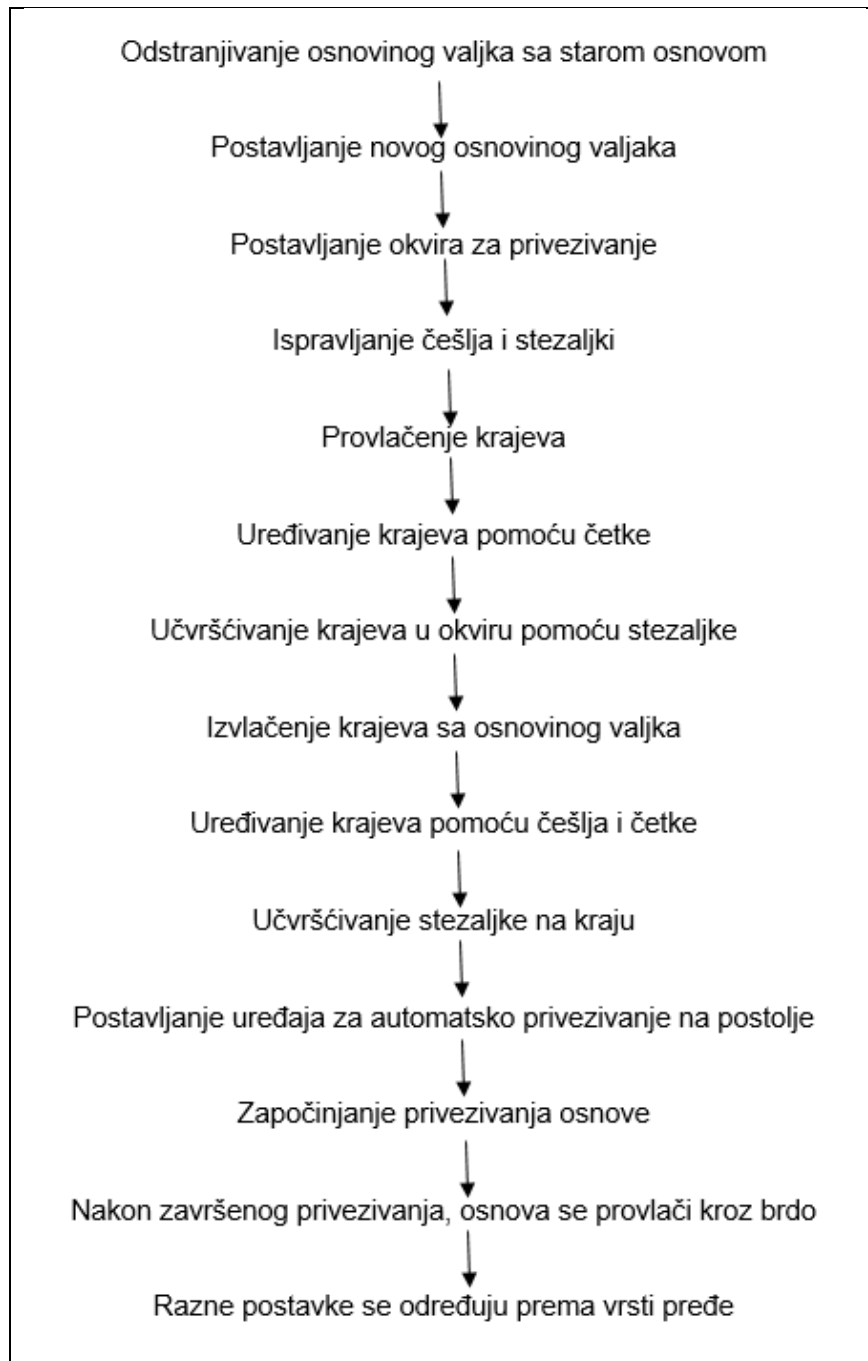
Automatsko privezivanje traje puno kraće od ručnom privezivanja. U tom procesu koristi se stroj za automatsko privezivanje koji doprinosi poboljšanoj kvaliteti, zahtjeva manje radnika i sl. [9].

Kvaliteta uzla:

1. Čvrstoća uzla trebala bi biti dovoljna da izdrži naprezanja tijekom tkanja i ne smije skliznuti.

2. Veličina uzla mora biti što je moguće manja s obzirom da mora proći kroz kotlance i brdo.

3. Duljina repa uzla trebala bi biti manja od 1 - 2 mm i ne bi smjela izazvati petljanje na drugim krajevima [9].



**Slika 9** Dijagram procesa privezivanja



Aktivnosti privezivanja:	
1. Odstranjivanje starog i postavljanje novog osnovnog valjka	Odstranjivanje starog i postavljanje novog osnovnog valjka
2. Postavljanje okvira	Nakon postavljanja novog osnovnog valjka, postavlja se okvir za privezivanje osnove
3. Uređivanje krajeva osnove	Nakon postavljanja okvira, krajevi osnove se češljaju kako nebi došlo do križanja starih i novih osnovinih niti
4. Privezivanje osnove	Nakon završetka češljanja osnove, privezuje se stara osnova za novu osnovu
5. Odstranjivanje okvira	Nakon završenog procesa privezivanja osnova, odstranjuje se zatezna ploča u okviru za privezivanje, okvir za privezivanje i uređaj za privezivanje
6. Prolazak uzlova	Nakon uklanjanja okvira za privezivanje sljedeći postupak je provlačenje uzlova kroz lamele, kotlace i brdo tkalački stroj se pokreće

**Tablica 5** Aktivnosti privezivanja [9]

---

## 2.5 Optimiranje proizvodnje povećanjem broja privezivanja i smanjenjem promjena artikla

Problem optimiranja proizvodnje uključuje tehnička pitanja optimiranja i praktična pitanja oblikovanja optimiranja. Za uspješno rješavanje problema potrebna je kompetencija u pogledu tehničkih pitanja, međutim glavni zahtjev je razumijevanje temeljnih operacija. Ključ za uvažavanje rješenja je isti kao i ključ za stvaranje rješenja – razumijevanje operacija koje se modeliraju. Opisana su četiri elementa problema: proizvodni postupci, poslovanje, proces planiranja i tehnička ograničenja [8].

### 2.5.1 Proizvodni postupci

Tkalački strojevi koriste 2 sustava pređa: osnovu i potku. Osnova ima duljinu tkanine koja se proizvodi, a potka prolazi po širini tkanine. Različiti stilovi tkanina se proizvode uporabom različitih vrsta pređa i promjenom uzorka tkanja. Tkanina se može tkati korištenjem prethodno obojane pređe ili ne obojane pređe. Postoji nekoliko vrsta tkalačkih strojeva od kojih svaki ima svoje karakteristike poput brzine tkanja i stilova tkanina koje može proizvesti. Većina tkalačkih strojeva koristi jedan ili više osnovinih valjaka.

Osim samog procesa tkanja postoje i postupci pripreme na koje utječu planovi napravljeni za doređene tkalačke strojeve. Prave vrste i količine pređe moraju biti dostupne u točno određeno vrijeme. Tkalački strojevi se mogu podijeliti na skupine strojeva koji tkaju slične predmete. Ukoliko će se na strojevima mijenjati osnova kako bi se tkao drugi predmet, može doći do velikog gubitka vremena proizvodnje što se može pokazati kao uzaludno iskorišteno vrijeme. Moguće je koristiti tkalački stroj za kratku proizvodnju, ali samo u posebnim situacijama jer ukoliko bude previše posebnih situacija to bi zahtijevalo više radnika nego inače što nije povoljno [8].

### 2.5.2 Poslovanje

Tekstilne tvrtke poput svih drugih firmi, razlikuju se u svojoj integraciji poslovanje. Često, to znači da se njihovi proizvodi prodaju izravno krajnjem korisniku, distributerima ili drugim trgovcima, a neki se prodaju trgovcima koji robu dalje prerađuju prije stavljanja u prodaju. Neke tkanine se prodaju neposredno nakon tkanja, a neke se podvrgavaju raznim dodatnim postupcima kao što je bojanje. Općenito tkanine koje se prodaju što dalje u lancu, a tretirane su dodatnim obradama, donose najvišu dobit. Jednostavno maksimiziranje dobiti može predvidjeti dodatna ulaganja u resurse i vrijeme obrade i dodatne rizike povezane s proizvodnjom ove robe, što rezultira odlukama koje bi bile jednake napuštanju jednostavnih poslova [8].

---

### 2.5.3 Proces planiranja

Različite tekstilne tvrtke mogu različito upravljati svojim tkaonicama. Tvrtka Milliken & Co. weaving koristila je središnju funkciju planiranja i funkciju planskog raspoređivanja. Svrha funkcije planiranja bila je odlučiti koliko treba proizvesti određenih artikala na temelju prošlih narudžbi, narudžbama prema godišnjem dobu, predviđenih cijena i marži, poslovnog kapaciteta i bilo kojih drugih relevantnih poslovnih informacija. Plan tkaonice bio je alat za komuniciranje o daljnjim odlukama. Plan tkaonice sastojao se od popisa svih dizajna tkanina i brojeva određenog tkalačkog stroja koji su dodjeljeni tim dizajnima za svaki mjesec (kroz cijelu godinu). Svrha funkcije planiranja bila je provedba što većeg broja planova uzimajući u obzir dostupne tkalačke strojeve, dostupne dijelove, anomalije u isporuci, broj radnika i ostali mogući problemi. Cilj planera je bio zadovoljiti tri skupine ljudi: top menadžment koji je želio maksimizirati varijabilnu maržu, unutarnji poslovni menadžment koji je htio maksimizirati svoj pristup proizvodnji i menadžere tkaonice koji su željeli uravnotežene planove i nekomplikirane izvedive rasporede [8].

### 2.5.4 Tehnička ograničenja linearnog programa

U vrijeme implementacije ovog linearnog programa, postojala su stroga ograničenja veličine imena varijabli. Broj varijabli u ovom problemu i količina informacija koje su bile potrebne da se identificira svaka varijabla kod čovjeka su učinile nemogućim koristiti LP varijable, bilo je potrebno kodiranje imena varijable. Zapravo su bile potrebne dvije razine kodiranja. Jedna razina se sastojala od značajnih inicijala i bila je korištena kako bi se ulazni podaci mogli uklopiti u ograničenja od 80 stupaca (veličina slike kartice) i 132 stupca (veličina ispisne stranice). Ova shema kodiranja bila je značajna za planere, ali je bilo potrebno značenje za poslovno i proizvodno osoblje. Druga razina planiranja bila je proizvoljna, slijedila je prvu razinu kodiranja i proizvela imena varijabli poput '132' (koja predstavlja 132 varijablu) kako bi se uklopila u ograničenja imenovanja LP-a. Ova razina kodiranja trebala bi tumačenje prije predstavljanja planerima koji upravljaju sustavom jer bi se identitet varijable '132' mijenjao kako bi se mijenjao broj varijabli [8].

## 2.6 Računalom potpomognuto planiranje proizvodnje

Kako proizvodnja malih serija i više vrsti tkanina postaje sve popularnija u tkalačkim tvornicama, proizvodnja postaje sve kompliciranija, tako i rad planera postaje sve opsežniji. Tekstilne tvornice imaju velike zahtjeve za automatskim planiranjem proizvodnje i sustavom koji će smanjiti radno opterećenje te napraviti zadovoljavajući raspored. Ključni zadatak sustava je da organizira raspored proizvodnje [10].

---

Općenito, planeri izračunavaju vrijeme potrebno za izradu jednog proizvoda u proizvodnom procesu, a zatim svaku narudžbu uvrste u plan proizvodnje. Rezimiranjem iskustva sa proizvodnim procesima, ručna izrada plana proizvodnje ima 3 problema:

- 1) Velika količina ponovljenog rada može dovesti do pogreške u proizvodnji,
- 2) Ručna izrada plana proizvodnje može zanemariti radno opterećenje zbog čega neki strojevi neke početi sa radom na vrijeme,
- 3) Ne raspoređivanje osnove na specifične tkalačke strojeve tijekom izrade plana proizvodnje može uzrokovati nepotrebne korake koji će dovesti do smanjenja efikasnosti proizvodnje i rada radnika [10].

Pristup modeliranja i optimizacija algoritma su dva glavna dijela rješavanja problema planiranja. Matematičko modeliranje, Petri net i simulacijska metoda su uobičajeni pristupi modeliranju. Operativno istraživanje, heuristički algoritam i algoritam umjetne inteligencije su uobičajeni optimizacijski algoritmi.

Ciljajući problem planiranja u tkalačkim tvornicama, većina istraživača usvaja matematičko programski pristup. Ciljna funkcija, ograničenje uvjeta i varijabilne odluke formalno se mogu opisati koristeći ovaj pristup. Usprkos primjeni istog pristupa, istraživači su obratili pažnju na različite aspekte. U tim aspektima, ključna činjenica i najveća briga je kašnjenje u isporuci. Ukratko, kašnjenje u isporuci, vrijeme potrebno za skladištenje, vrijeme praznog hoda i troškovi proizvodnje su četiri ključna parametra na koja istraživači obraćaju pažnju [10].

U srodnim poljima odabran je Petri net za izradu modela u proizvodnji pređa (Du, Han & Liu, 2011.). Prednosti ovog pristupa su stroge u teoriji i intuitivne u grafičkom izražavanju. Usprkos tome, model proizvodnog procesa koji jenapravio Petri net obično rezultira niskom računskom učinkovitošću. Ovaj pristup nije bio primjenjivan u proizvodnji tkanina. Uz to, ova metoda nije upotrebljena u rješavanju problema planiranja tkanja zbog velikog radnog opterećenja, loše prilagodbe u planiranju u stvarnom vremenu i velikog utjecaja na ljudske čimbenike (Liu, 2009.).

U tekstilnim tvornicama proces tkanja određuje učinkovitost cijele proizvodnje. Neki istraživači koriste heuristički algoritam za rješavanje problema planiranja u tekstilnim tvornicama ( Liao, Zhou, 2006.; Silva, Magalhaes, 2006.). Heuristički algoritam ima lako opisive prednosti, dobra interpretacija, lako integrirano stručno znanje, jednostavno računanje i dobra prilagodba u stvarnom vremenu planiranja, ali rezultat planiranja je obično nezadovoljavajući kada problem planiranja ima karakteristike većih razmjera, složena ograničenja ili višestruki cilj.

Jedna skupina istraživača je koristila algoritam optimizacije skupova čestica i algoritam kolonije mrava za rješavanje problema planiranja u tekstilnim tvornicama

---

(Feng, Fei, 2011.; Mohamed, Thouraya, Bessem, Nourreddine, 2013.). Ova dva algoritma su evolucijski algoritmi. Njihova primjena u tekstilnoj proizvodnji zahtijeva još istraživanja.

Većina istraživača je riješila problem planiranja u tekstilnoj proizvodnji pomoću GA, poboljšanog GA ili GA u kombinaciji sa drugim metodama (Chen, Chen, Feng, 2006.; Du, 2011.; Hsu, 2009.; Liu, 2003.; Shiroma, Niemeyer, 1998.; Zarandi, Esmaeilian, 2007.; Zhang, 2009.).

GA je algoritam optimizacije koji je predložio Holland i njegov student 1975. godine (De, 1975.; Holland, 1975.). Potječe iz Darwinove teorije evolucije prirode i Medelove teorije genetike i mutacije s osnovnom idejom simulirajući mehanizam evolucije prirode. GA se primjenjuje u rješavanju problema planiranja tkanja. Koraci rada su sljedeći: izgraditi matematički model, dizajnirati GA, izvesti GA operacije (Bian, Mi, 2010.). Izgradnja GA uključuje način kodiranja, fitness funkciju, genetiku operatora i genetskih parametara.

Kromoson utjelovljen u GA je osnovni objekat obrade. Metoda kodiranja odlučuje kako se rješenje problema transformira u kromosome (Zhang, Zheng, Qian, 2011.). Kada se GA primjenjuje za rješavanje složenih problema sa ograničenim uvjetima, obično se usvaja metoda kaznene funkcije da bi se izgradio nesputani model. Zatim se nesputana funkcija može transformirati u fitness funkciju (Ge, Qui, Wu, Pu, 2008.).

Osnovni podaci modela planiranja proizvodnje sastavljeni su od uvjeta proizvodnje svakog procesa i detalja naloga. Količina tkalačkih strojeva izražena je kao **M**. Kodno ime tkanina za proizvodnju i status svakog tkalačkog stroja izraženi su u dvije dvodimenzionalne matrice **L<sub>f</sub>** i **L<sub>c</sub>**. U I-toj smjeni J-tog tkalačkog stroja, **L<sub>fi,j</sub>** je kodno ime proizvođača tkanina, a **L<sub>ci,j</sub>** je status proizvodnje [10].

Vrijednost **L<sub>ci,j</sub>** je cijeli broj koji pripada skupu (1 – 6) s različitim značenjima kako slijedi:

- 1 - rad stroja,
- 2 - pokretanje nakon postavljanja osnove,
- 3 - zaustavljanje nakon što se osnova potroši,
- 4 - stop,
- 5 – pokretanje nakon zaustavljanja,
- 6 – pokretanje nakon rada (gaiting ?).

Pored toga postavljena je još jedna dvodimenzionalna matrica **L<sub>ti,j</sub>** kako bi iskazala detalje vremena pokretanja stroja i potrošnje osnove. Količina snopa osnove je izražena kao **N**. Podaci o osnovnim valjcima, uključujući naziv osnovinog valjka, kodno ime tkanine, dužinu, datum isporuke, očekivanu brzinu rada tkalačkog stroja,

---

očekivanu proizvodnu učinkovitost, gustoću potke i očekivani postotak skupljanja osnove mogu se izraziti vektorima. Očekivano vrijeme proizvodnje može se izračunati prema jednadžbi (1).

$$B_{tk} = \frac{B_{lk} \times (1 - B_{rk}) \times B_{yk}}{B_{sk} \times B_{ek}} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, N)$$

**Slika 9** Jednadžba za izračun vremena proizvodnje

- B<sub>tk</sub>** je vrijeme proizvodnje **kth** osnovinog valjka;
- B<sub>lk</sub>** je dužina pređe na **kth** osnovinom valjku;
- B<sub>rk</sub>** je očekivano skupljanje pređe **kth** osnovinog valjka;
- B<sub>sk</sub>** je očekivana brzina odmotavanja **kth** osnovinog valjka;
- B<sub>ek</sub>** je očekivana proizvodna efikasnost **kth** osnovinog valjka;
- B<sub>yk</sub>** je gustoća niti **kth** osnovinog valjka [10].

### 2.6.1 Pretpostavka modela

U proizvodnji uvijek postoje mnoge nepredvidive pogreške. Ali planeri to zanemaruju zbog planiranja proizvodnje koje ovisi o empirijskim podacima. Pretpostavke modela se predlažu kao sljedeće:

- (1) Svi osnovini valjci na tkalačkim strojevima moraju se voditi empirijskim podacima
- (2) Nesreće uzrokovane ljudskim faktorom ili nepredvidive nesreće se ne događaju
- (3) Na svakom tkalačkom stroju proizvodnja je kontinuirana. Kada nestane osnove na osnovinom valjku, odmah se privezuje drugi
- (4) Trošak skladištenja se zanemaruje jer nema nedostatka skladišnog prostora u proizvodnji [10].

### 2.6.2 Opis modela

Rezimirajuća prethodna istraživanja, kašnjenje u isporuci, vrijeme skladištenja, opterećenje i troškovi proizvodnje su četiri ključna faktora zakazivanja. Osim toga, broj opterećenja je još jedan važan faktor koji su bivši istraživači zanemarili. Prema istraživanjima proizvodnje, kada opterećenje premašuje maksimalno opterećenje u jednoj smjeni, preopterećeni tkalački strojevi prestaju proizvoditi. S druge strane, na

---

temelju pretpostavke (4) vrijeme skladištenja može biti zanemarivo u modelu. Štoviše, trošak proizvodnje se sastoji od kazne za kašnjenje isporuke i učinkovitosti proizvodnje u problemu planiranja proizvodnje. Učinkovitost se određuje opterećenjem, brojem preopterećenja i vremenom prekida rada. Uklanjanje ponovljenih faktora, ključni modeli zakazivanja su kašnjenje u isporuci, ukupno opterećenje, ukupno vrijeme prekida rada i broj preopterećenja. Model se može opisati kako slijedi [10].

Ciljevi:

- (1) smanjenje vremena prekida rada
- (2) smanjenje opterećenja rada

Uvjet ograničenja:

- (1) Svaka narudžba je dostavljena na vrijeme
- (2) U svakoj smjeni opterećenje nije veće od krajnjeg opterećenja

Varijabla odluke:

- (1) Broj tkalačkih strojeva svakog osnovinog valjka
- (2) Vrijeme pokretanja svakog osnovinog valjka

Analizirajući dva uvjeta ograničenja, neki specifični status proizvodnje može rezultirati sa jednim ili dva uvjeta ograničenja koja se nisu poštovala. Štoviše, složena ograničenja bi mogla izazvati veliku količinu neizvedivih rješenja u GA. Za rješivost modela, funkcija penala se primjenjuje kako bi se ograničenja transformirala u ciljeve. Za pretpostavku 3, u planiranju se ne mora uzeti vrijeme prekida i time se postiže cilj 1. U međuvremenu pretpostavka 3 čini vrijeme pokretanja određenim vremenom pokretanja valjaka osnove koji su pripremljeni za proizvodnju na tkalačkim strojevima. Posljedično, varijable odluke su pojednostavljene. Pojednostavljeni model i matematički izraz se ažurira kako slijedi.

Ciljevi:

- (1) Smanjenje količine opterećenja
- (2) Smanjenje vremena kašnjenja u isporuci
- (3) Smanjenje broja preopterećenja u svakoj smjeni

Varijabla odluke:

- (1) Količina proizvodnje svakog tkalačkog stroja sa osnovinim valjkom
- (2) Redoslijed pokretanja svakog tkalačkog stroja

Varijabla odluke	
$\min A1 = \sum_{j=1}^M \sum_{i=Ej}^{Ej'} (1 \mid L_{cij} = 5,6) \quad (1)$	
$\min A2 = \sum_{k=1}^N (B_{bk} + B_{tk} - B_{dk} \mid B_{bk} + B_{tk} > B_{dk}) \quad (2)$	
$\min A3 = \sum_{i=\min(E)}^{\max(E')} \left( (\sum_{j=1}^M 1 \mid L'_{cij} = 5,6 - Fi \mid (\sum_{j=1}^M 1 \mid L'_{cij} = 5,6) > Fi \right) \quad (3)$	

**Slika 10** Varijabla odluke

A1 označuje ukupnu količinu rada, A2 označuje ukupno vrijeme kašnjenja isporuke, A3 označuje ukupno vrijeme preopterećenosti.  $E_j$  označuje ukupni pomak osnovinog valjka na  $j$ -tom tkalačkom stroju u trenutnom planu.  $E'_j$  označuje konačni pomak osnovinog valjka na  $j$ -tom tkalačkom stroju u novom planu. Značenje podataka je isto kao u  $L_{ci,j}$ :  $B_{bk}$  je vrijeme pokretanja  $k$ -tog osnovinog valjka,  $B_{dk}$  je vrijeme isporuke  $k$ -tog osnovinog valjka,  $F_i$  je krajnje opterećenje  $i$ -te smjene,  $\max()$  je maksimalna funkcija za izračunavanje maksimuma u vektoru;  $\min()$  je minimalna funkcija za izračunavanje minimuma u vektoru [10].

GA se koristi za rješavanje optimalnog problema raspoređivanja u procesu tkanja. Postupak je kako slijedi:

1. Analiziranje problema i predlaganje pretpostavki,
2. Izgradnja modela rasporeda,
3. Kodiranje varijabilne odluke,
4. Dizajniranje fitness funkcije i
5. Dizajniranje i implementiranje GA.

Bez obzira kako se mijenja stil proizvodnje, ako istraživač može izvršiti sve navedene korake (a posebno korak 2. i 3.) uspješno, problem može riješiti GA. To ovisi o velikoj prilagodljivosti GA. Prije svega, informacije se moraju temeljiti na intenzivnom istraživanju stvarne proizvodnje ili će rezultati izgubiti svoju izvedivost [10].



---

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1 Metodika rada

Izrada popisa svih strojeva i artikala iz tvornice TTT. Karakteristike strojeva i artikala su upisane u tablice programa MS Excel. Izrađen je popis artikala i strojeva koji su kompatibilni tj. strojeva na koje se određeni artikli mogu disponirati. Izračunato je vrijeme potrebno za izradu jednog reda artikla pomoću karakteristika artikala i strojeva. Izračunato je vrijeme potrebno za izradu naručenih artikala. Artikli su disponirani na strojeve prema shemi GA genetskog algoritma, ali i ručno pomoću gantograma.

##### 3.1.1 Snimak stanja u proizvodnji tkanina u TTT

Izrada popisa svih numeriranih strojeva s relevantnim postavkama (uvod, širine, brzina, gustoća osnove, tehnologija) te iz radnih naloga uzet snimak trenutne situacije po pitanju artikala na stroju, otkana količine / naručena količina, rok isporuke pri čemu se pod „isporuka“ podrazumijeva isporuka otkane tkanine iz tkaone.

##### 3.1.2 Razrada plana mjesečne proizvodnje

Razrada plana mjesečne proizvodnje pri čemu su bitne relevantne karakteristike naručenih artikala, naručene količine u metrima te rok isporuke (iz tkaonice).

Pomoću karakteristika artikala i strojeva izračunato je koliko vremena je potrebno za izradu svakog artikla na određenom stroju. Prvo je izračunato koliko je minuta potrebno da se izradi 1 red jednog artikla, nakon toga se pomoću tog rezultata računa vrijeme za izradu cijelog naručenog artikla.

$$Vrijeme za 1 red = \frac{Br\ udara\ po\ redu}{(RPM\ (100\%) \times \frac{E}{100})}$$

- Br udara po redu
- RPM – okretaja (potki) u minuti (Iskorištenje 100%)
- E (Realno iskorištenje iskorištenje 80%)

Primjer izračuna vremena potrebnog za izradu jednog reda (1 red je jednak 2920 udara za artikl broj 1) artikla na stroju 1:

$$Vrijeme za 1 red (artikl 1, stroj 1) = \frac{2920}{(307 \times \frac{80}{100})} = 11,89 \text{ min}$$

**Tablica 5** Vrijeme tkalačkog stroja potrebno za izradu 1 reda artikla u min

	Naziv	Vrijeme tkalačkog stroja za izradu 1 reda, min
1	Artikl 1	11,89
1	Artikl 1	11,37
2	Artikl 2	13,86
3	Artikl 3	18,13
4	Artikl 4	5,85
4	Artikl 4	5,45
4	Artikl 4	5,45
4	Artikl 4	5,85
5	Artikl 5	7,83
6	Artikl 6	11,89
6	Artikl 6	11,37
7	Artikl 7	5,85
7	Artikl 7	5,45
7	Artikl 7	5,45
7	Artikl 7	5,85
8	Artikl 8	11,89
8	Artikl 8	11,37
9	Artikl 9	20,26
10	Artikl 10	4,27
11	Artikl 11	20,26
12	Artikl 12	5,73
13	Artikl 13	17,93

U tablici 5 prikazano je vrijeme koje je potrebno tkalačkom stroju za izradu jednog reda artikla. Vrijeme je izraženo u minutama, a potrebno je za izračunavanje ukupnog vremena za izradu naručenog artikla. Nakon što je izračunato vrijeme potrebno za izradu jednog reda artikla, potrebno je izračunati ukupno vrijeme za izradu cijelog artikla. Za izračun se koristi formula:

$$\text{Ukupno vrijeme za izradu artikla (dani)} = \frac{\left(\frac{\text{Količina}}{\text{Br traka}} \times \text{Vrijeme za 1 red}\right)}{1440}$$

Primjer izračuna ukupnog vremena za izradu naručene količine artikla iz plana:

$$\text{Ukupno vrijeme za izradu artikla (artikl 1, stroj 1)} = \frac{\left(\frac{500}{3} \times 11,89\right)}{1440} = 1,38 \text{ dana}$$

---

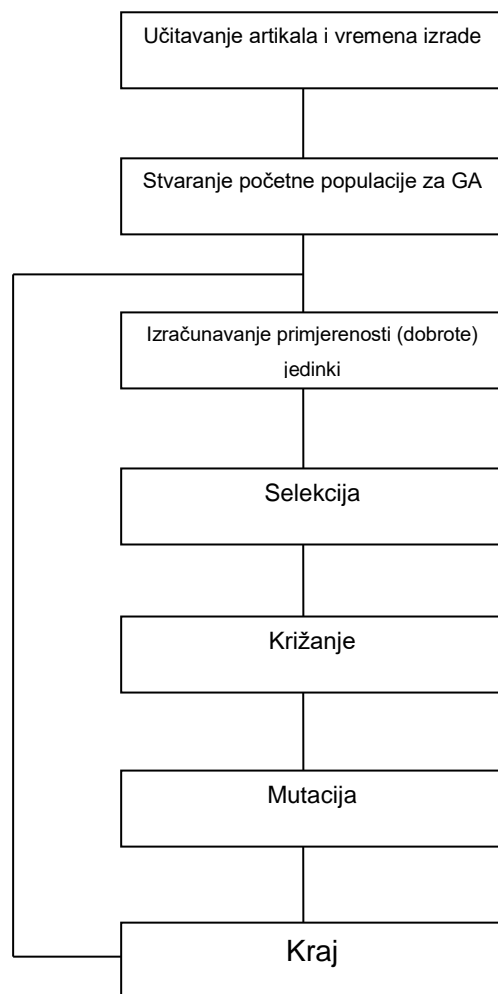
**Tablica 6** Izračunato vrijeme za izradu artikala (u danima)

	Naziv	Vrijeme ukupno za naručenu količinu, dani
1	Artikl 1	1,38
1	Artikl 1	1,32
2	Artikl 2	0,96
3	Artikl 3	1,89
4	Artikl 4	6,77
4	Artikl 4	7,57
4	Artikl 4	7,57
4	Artikl 4	6,77
5	Artikl 5	2,72
6	Artikl 6	2,76
6	Artikl 6	2,64
7	Artikl 7	3,39
7	Artikl 7	3,78
7	Artikl 7	3,78
7	Artikl 7	3,39
8	Artikl 8	4,13
8	Artikl 8	3,95
9	Artikl 9	1,76
10	Artikl 10	1,19
11	Artikl 11	2,11
12	Artikl 12	5,97
13	Artikl 13	1,24

Tablica 6 prikazuje koje vrijeme koje je potrebno za izradu jednog naručenog artikla. Vrijeme izrade je prikazano u danima. Vrijeme potrebno za izradu artikla se kasnije u radu koristilo za disponiranje artikala na strojeve.

### 3.1.3 Računalom potpomognuto optimiranje

Genetski algoritam je inspiriran procesom prirodnog odabira koji pripada klasi evolucijskih algoritama. Genetski algoritmi se koriste za generiranje kvalitetnih rješenja za optimizaciju i probleme pretraživanja pouzdajući se u biološke operatore kao što su selekcija, križanje i mutacija [11].



**Slika 15: Dijagram toka genetskog algoritma disponiranja artikala**

#### **1) Učitavanje artikala i vremena izrade**

#### **2) Stvaranje početne populacije**

Stvaranje niza jedinki u permutacijskom obliku (niz brojeva koji se ne ponavljaju), najčešće 30 – 50. Jedinka je redoslijed raspoređivanja artikala na stroj.

#### **3) Izračunavanje primjerenosti (dobrote) jedinki**

Raspoređivanje artikala po redoslijedu iz jedinice na strojeve. Dobrota jedinke označuje najkraće trajanje izrade na bilo kojem stroju.

#### **4) Selekcija**

Na osnovu primjerenosti (dobrote) jedinki, bolje imaju veću šansu biti izabrane. Bolja jedinica je ona koja traje kraće. Za selekciju se koristi proporcionalna selekcija. Dobivaju se jedinke koje se križaju i mutiraju.

---

### **5) Križanje**

Koriste se operatori križanja i mutacije za permutacijski prikaz.

### **6) Mutacija**

2 artikla će zamjeniti mjesta u nizu jedinki.

### **7) Kraj**

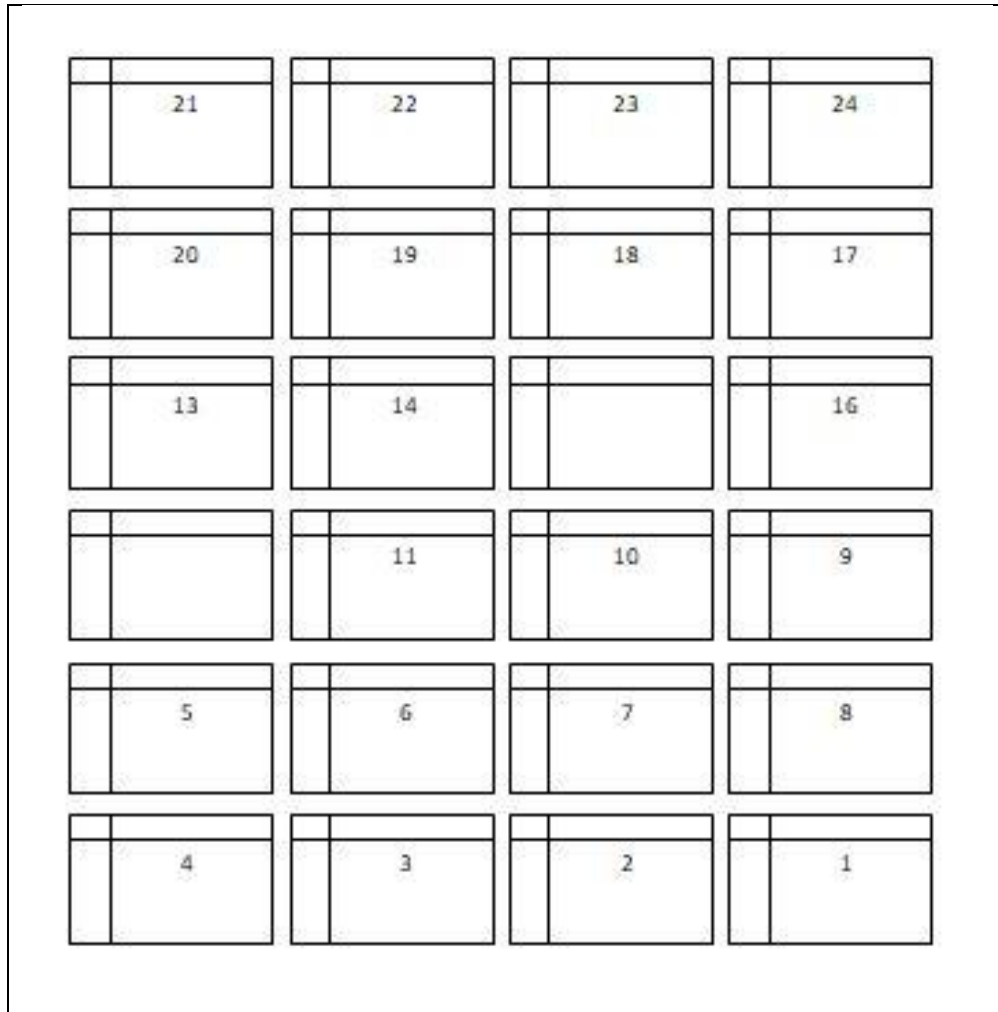
Ispituje se uvjet završetka.

---

## 4. REZULTATI RADA I RASPRAVA

U rezultatima rada prikazano je stanje proizvodnje u tkaonici tt TTT na dan 15.7.2020. te 4 verzije raspodjele planirane proizvodnje po strojevima u cilju postizanja optimalne proizvodnje sa što manje kašnjenja. Na kraju je dan prijedlog algoritma.

### 4.1 Snimak stanja u tkaonici TTT-a na dan 15.7.2020:



**Slika 25** Tlocrt razmještenosti strojeva u TTT-u

Na slici je prikazan tlocrt razmještenosti strojeva u TTT-u. Strojevi koji su korišteni za proizvodnju artikala praćenih u ovom radu su strojevi: 1, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 16, 23 i 24.

**Tablica 7** Strojevi i karakteristike

Str.	Širina stroja	Stroj (tkalački stroj / žakard)	Iskorišćenje (100%)	Širina osnove u brdu (cm)	Gotova širina tkanine nakon dorade (cm)	Uvod u listove	Broj traka	Grupa
1	390	Sulzer / Staubli	307	114	106	ravni	3	4
2	360	Sulzer Staubli	322	172	160	s povratom	2	7
3	360	Sulzer Grosse	335	150	140	s povratom	2	6
4	360	Sulzer Grosse	327	172	161	raport pod 44°	2	9
5	360	Sulzer Grosse	340	152	143	raport pod 45°	2	8
6	360	Sulzer Grosse	323	140	130	s povratom	2	5
7	360	Sulzer Grosse	321	114	106	ravni	3	4
8	390	Sulzer Staubli	312	60	56	ravni	6	2
9	390	Sulzer Grosse	312	57	53	ravni	6	1
10	360	Sulzer Grosse	335	57	53	ravni	5	1
11	360	Sulzer Grosse	334	150	140	s povratom	2	6
13	360	Sulzer Grosse	335	57	53	ravni	5	1
14	360	Sulzer Staubli	322	150	140	s povratom	2	6
16	390	Sulzer Grosse	312	57	53	ravni	6	1
17	320	Sulzer Grosse	345	302	283	raport pod 45°	1	14
18	220	Sulzer Grosse	364	196	183	s povratom	1	11
19	390	Sulzer Staubli	313	Promjenjljiva	promjenjljiva	promjenjljivi	1	-
20	390	Sulzer Staubli	313	Promjenjljiva	promjenjljiva	promjenjljivi	1	-
21	280	Sulzer Staubli	331	Promjenjljiva	promjenjljiva	promjenjljivi	1	-
22	390	Sulzer Staubli	331	Promjenjljiva	promjenjljiva	promjenjljivi	1	-
23	220	Sulzer Staubli	365	196	183	razni	razni	16
24	360	Sulzer Grosse	340	344	320	s povratom	1	15

U tablici 7 su prikazane karakteristike tkalačkih ( širina, iskorišćenje 100%, širina osnove u brdu, gotova širina tkanine nakon dorade, uvod u listove, broj traka i grupa ) strojeva iz TTT-a koji su korišteni za disponiranje artikala u ovom radu. Prema grupi stroja se određuje koji artikl se može tkati na određenom tkalačkom stroju.

## 4.2 Razrada mjesečnog plana proizvodnje

Tablica 8 Karakteristike naručenih artikala

Str.	Naziv	Dimenzije, cm	Porub, cm	Širina, cm	Dužina korig, cm	Količina (kom)	Gustoća potke	Stroj	Vrijeme za naručenu količinu, dani
1	Artikl 1	106x106	1,08	106	106	500	27	1	1,38
1	Artikl 1	106x106	1,08	106	106	500	27	7	1,32
2	Artikl 2	130x130	1,33	130	130	200	27	6	0,96
3	Artikl 3	130x170	1,76	130	170	300	27	6	1,89
4	Artikl 4	53x53	0,55	53	53	10000	27	9	6,77
4	Artikl 4	53x53	0,55	53	53	10000	27	10	7,57
4	Artikl 4	53x53	0,55	53	53	10000	27	13	7,57
4	Artikl 4	53x53	0,55	53	53	10000	27	16	6,77
5	Artikl 5	83x83	0,85	83	83	1000	27	23	2,72
6	Artikl 6	106x106	1,08	106	106	1000	27	1	2,76
6	Artikl 6	106x106	1,08	106	106	1000	27	7	2,64
7	Artikl 7	53x53	0,55	53	53	5000	27	9	3,39
7	Artikl 7	53x53	0,55	53	53	5000	27	10	3,78
7	Artikl 7	53x53	0,55	53	53	5000	27	13	3,78
7	Artikl 7	53x53	0,55	53	53	5000	27	16	3,39
8	Artikl 8	106x106	1,08	106	106	1500	27	1	4,13
8	Artikl 8	106x106	1,08	106	106	1500	27	7	3,95
9	Artikl 9	130x190	1,96	130	190	250	27	6	1,76
10	Artikl 10	130x40	0,45	130	40	800	27	6	1,19
11	Artikl 11	130x190	1,96	130	190	300	27	6	2,11
12	Artikl 12	56x56	0,6	56	56	9000	25	8	5,97
13	Artikl 13	210x210	1	210	210	100	23	24	1,24

U tablici 8 su prikazane karakteristike naručenih artikala. Prema karakteristikama, neki artikli se mogu tkati na više tkalačkih strojeva.

Artikl 1 Nadstolnjak Lanterna ima gustoću potke 27 niti/cm i može se tkati na strojevima 1 i 7.

Artikl 2 Stolnjak Lanterna ima gustoću potke 27 niti/cm i može se tkati samo na stroju 6.

Artikl 3 Stolnjak Lanterna ima gustoću potke 27 niti/cm i može se tkati samo na stroju 6.



---

Artikl 4 Salveta Lanterna ima gustoću potke 27 niti/cm i može se tkati na strojevima 9, 10, 13 i 16.

Artikl 5 Nadstolnjak Lanterna ima gustoću potke 27 niti/cm i može se tkati na stroju 23.

Artikl 6 Nadstolnjak Lanterna ima gustoću potke 27 niti/cm i može se tkati na strojevima 1 i 7.

Artikl 7 Salveta Lanterna ima gustoću potke 27 niti/cm i može se tkati na strojevima 9, 10, 13 i 16.

Artikl 8 Nadstolnjak Lanterna ima gustoću potke 27 niti/cm i može se tkati na strojevima 1 i 7.

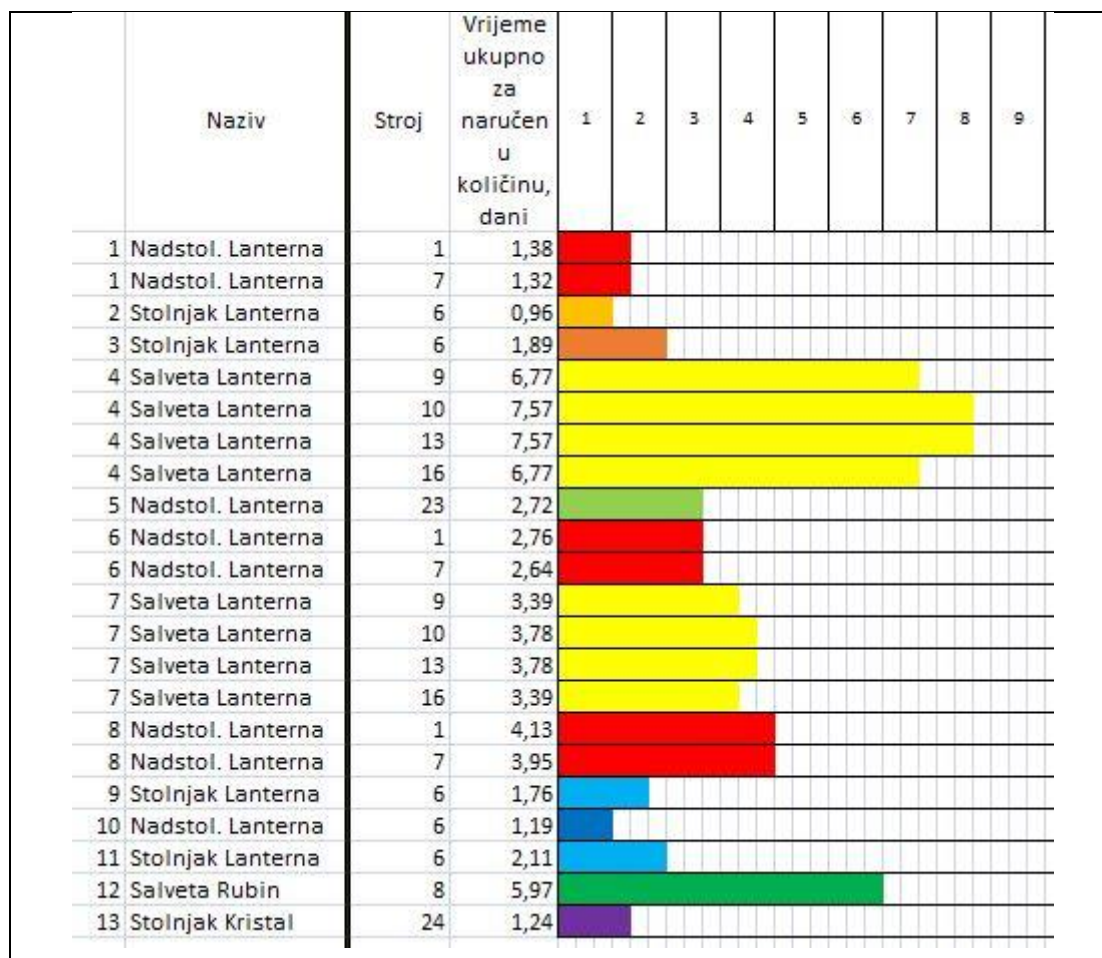
Artikl 9 Stolnjak Lanterna ima gustoću potke 27 niti/cm i može se tkati na stroju 6.

Artikl 10 Nadstolnjak Lanterna ima gustoću potke 27 niti/cm i može se tkati na stroju 6.

Artikl 11 Stolnjak Lanterna ima gustoću potke 27 niti/cm i može se tkati na stroju 6.

Artikl 12 Salveta Rubin ima gustoću potke 25 niti/cm i može se tkati na stroju 8.

Artikl 13 Stolnjak Kristal ima gustoću potke 23 niti/cm i može se tkati na stroju 24.



**Slika 26** Ukupno vrijeme proizvodnje artikala po strojevima

Na slici 26 su prikazani artikli i vrijeme koje je potrebno da se ti artikli proizvedu na tkalačkim strojevima.

Artikl 1 Nadstolnjak Lanterna se može tkati na strojevima 1 i 7. Na stroju 1 je potrebno 1,38 dana za tkanje, a na stroju 7 je potrebno 1,32 dana za tkanje tog artikla.

Artikl 2 Stolnjak Lanterna se može tkati samo na stroju 6 i potrebno je 0,96 dana za tkanje tog artikla.

Artikl 3 Stolnjak Lanterna se može tkati na stroju 6 i potrebno je 1,86 dana za tkanje tog artikla.

Artikl 4 Salveta Lanterna može se tkati na strojevima 9, 10, 13 i 16. Na stroju 9 potrebno je 6,77 dana, na stroju 10 potrebno je 7,57 dana, na stroju 13 potrebno je 7,57 dana, a na stroju 16 potrebno je 6,77 dana za tkanje tog artikla.

Artikl 5 Nadstolnjak Lanterna može se tkati na stroju 23 i potrebno je 2,72 dana za tkanje tog artikla.

Artikl 6 Nadstolnjak Lanterna može se tkati na strojevima 1 i 7. Na stroju 1 potrebno je 2,76 dana, a na stroju 7 potrebno je 2,64 dana za tkanje tog artikla.

---

Artikl 7 Salveta Lanterna može se tkati na strojevima 9, 10, 13 i 16. Na stroju 9 potrebno je 3,39 dana, na stroju 10 potrebno je 3,78 dana, na stroju 13 potrebno je 3,78 dana, a na stroju 16 potrebno je 3,39 dana za tkanje tog artikla.

Artikl 8 Nadstolnjak Lanterna može se tkati na strojevima 1 i 7. Na stroju 1 potrebno je 4,13 dana, a na stroju 7 potrebno je 3,95 dana za tkanje tog artikla.

Artikl 9 Stolnjak Lanterna može se tkati na stroju 6 i potrebno je 1,76 dana za tkanje tog artikla.

Artikl 10 Stolnjak Lanterna može se tkati na stroju 6 i potrebno je 1,19 dana za tkanje tog artikla.

Artikl 11 Stolnjak Lanterna može se tkati na stroju 6 i potrebno je 2,11 dana za tkanje tog artikla.

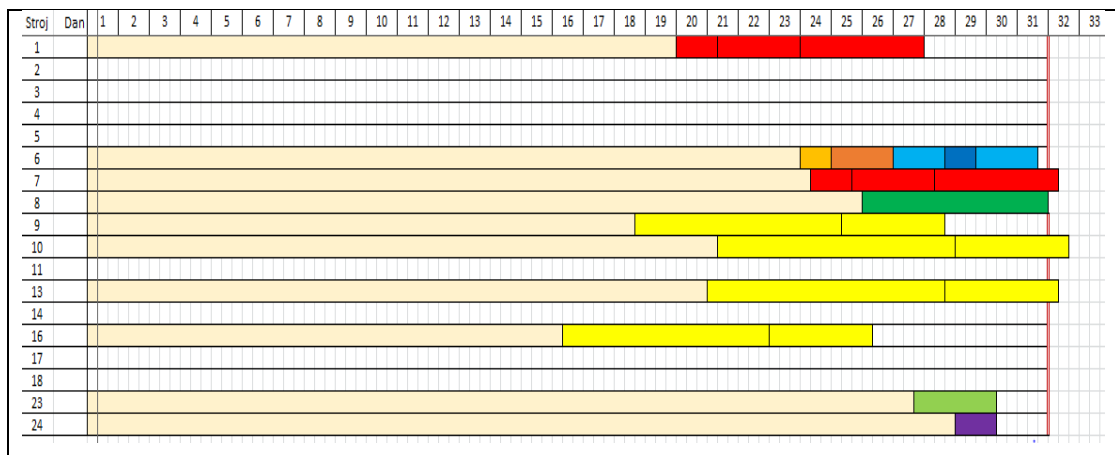
Artikl 12 Salveta Rubin može se tkati na stroju 8 i potrebno je 5,97 dana za tkanje tog artikla.

Artikl 13 Stolnjak Kristal može se tkati na stroju 24 i potrebno je 1,24 dana za tkanje tog artikla.

### 4.3 Ručno disponiranje tkanina

Uzevši u obzir strojeve na kojima se određeni artikli mogu tkati, karakteristike strojeva i karakteristike artikala, napravljena su 4 slučaja ručnog disponiranja artikala na strojevima. U svakom od slučajeva disponiranja su zabilježeni artikli koji vremenski prelaze rok isporuke. Iz tog razloga napravljeno je više slučajeva disponiranja artikala kako bi kašnjenje bilo što manje, a time i disponiranje optimiziranije.

#### Slučaj 1

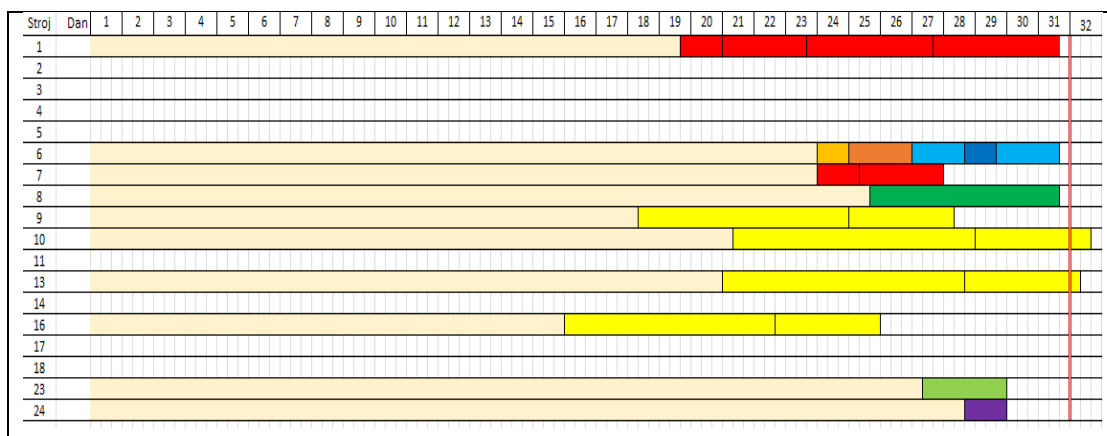


Slika 27 Prvi slučaj ručnog disponiranja artikala

Slika 27 prikazuje ručno disponiranje artikala na tkalačkim strojevima u prvom slučaju. Artikl na stroju 7 ima kašnjenje 0,33 dana, artikl na stroju 10 ima kašnjenje 0,67 dana, a artikl na stroju 13 ima kašnjenje 0,33 dana.

Prema slučaju 1, artikli na strojevima 7, 10 i 13 imaju ukupno kašnjenje od 1,33 dana.

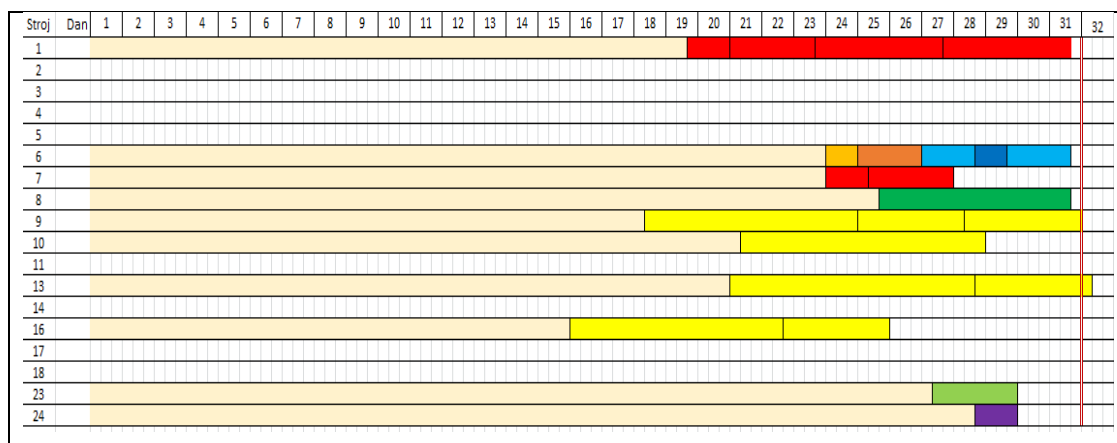
## Slučaj 2



**Slika 28** Drugi slučaj ručnog disponiranja artikala

Slika 28 prikazuje ručno disponiranje artikala na tkalačkim strojevima u drugom slučaju. U odnosu na prethodni slučaj 1, artikl sa stroja 7 je premješten na stroj 1 i nema kašnjenja. Artikl na stroju 10 ima kašnjenje 0,67 dana, a artikl na stroju 13 ima kašnjenje 0,33 dana. Prema slučaju 2, artikli na strojevima 10 i 13 imaju ukupno kašnjenje od 1 dan.

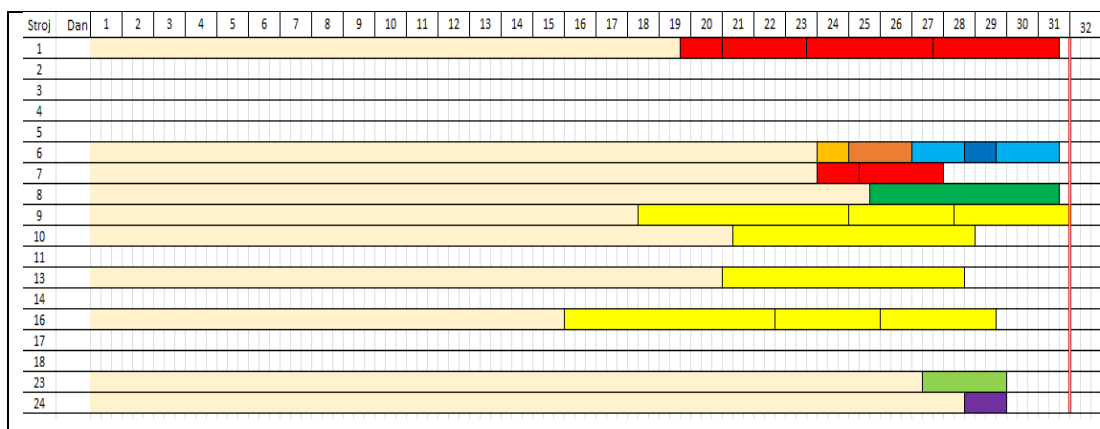
## Slučaj 3



**Slika 29** Treći slučaj ručnog disponiranja artikala

Slika 29 prikazuje ručno disponiranje artikala na tkalačkim strojevima u trećem slučaju. U odnosu na prethodni slučaj 2, artikl sa stroja 10 je premješten na stroj 9 i nema kašnjenja. Artikl na stroju 13 ima kašnjenje 0,33 dana. Prema trećem slučaju, ukupno kašnjenje je 0,33 dana.

### Slučaj 4



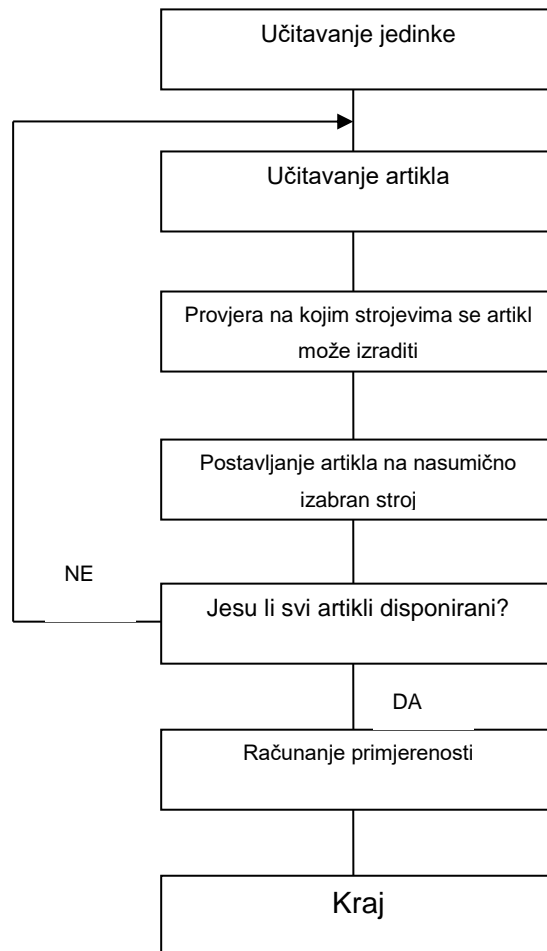
**Slika 30** Četvrti slučaj ručnog disponiranja artikala

Slika 30 prikazuje ručno disponiranje artikala na tkalačkim strojevima u četvrtom slučaju. U odnosu na prethodni slučaj 3, artikl sa stroja 13 je premješten na stroj 16 i nema kašnjenja. Prema četvrtom slučaju, nema kašnjenja.

U prvom slučaju ručnog disponiranja artikala, artikli su diponirani na tkalačke strojeve, ali artikli na strojevima 7, 10 i 13 imaju ukupno kašnjenje od 1,33 dana. Prema drugom slučaju, jedan artikl je premješten sa stroja 7 na stroj jedan i time je kašnjenje smanjeno na 1 dan. Kod trećeg slučaja ručnog disponiranja artikala jedan artikl je premješten sa stroja 10 na stroj 9 i ukupno kašnjenje iznosi 0,33 dana. U četvrtom slučaju jedan artikl je premješten sa stroja 13 na stroj 16 i u ovom slučaju kašnjenja nema.

---

#### 4.4 Prijedlog i primjena genetskog algoritma za optimiranje plana proizvodnje u tkaonici



**Slika 16:** Dijagram toka računanja primjerenosti za jedan tkalački stroj

##### 1) Učitavanje jedinke

Jedinka označuje redoslijed disponiranja artikala na strojeve.

##### 2) Učitavanje artikla

##### 3) Provjera na kojim strojevima se artikl može izraditi

##### 4) Disponiranje artikala na nasumično izabrane strojeve

##### 5) Jesu li svi artikli disponirani?

---

Ukoliko su svi artikli disponirani (DA), dijagram toka računanja primjerenosti za jednu jedinku ide dalje. Ukoliko svi artikli nisu disponirani (NE), dijagram toka računanja primjerenosti za jednu jedinku se vraća na korak 2).

## **6) Računanje primjerenosti**

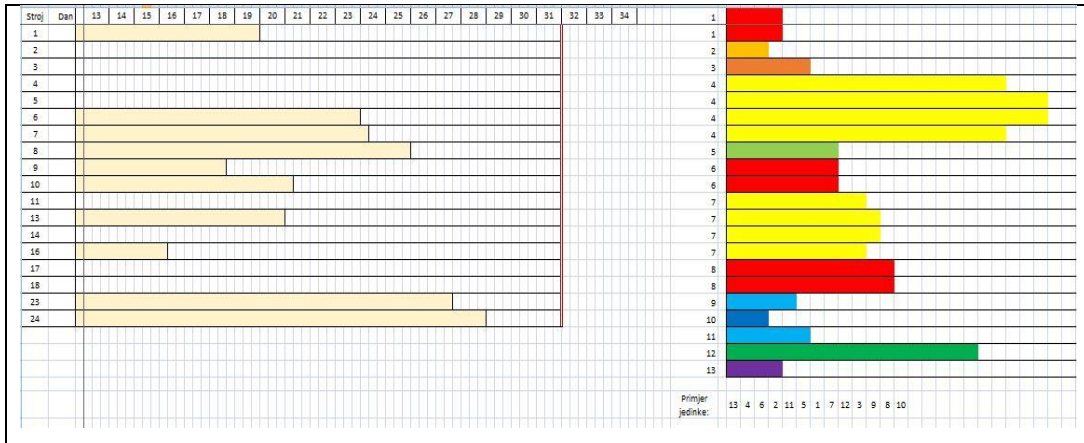
Računanje primjerenosti označuje maksimalnu duljinu trajanja rada bilo kojeg stroja.

## **7) Kraj**

Za disponiranje artikala na tkalačke strojeve pomoću GA (genetskog algoritma) prvo je potrebno učitati sve artikle i strojeve. Nakon toga se učitavaju karakteristike tih artikala i strojeva. Sljedeći korak je provjera – na koje strojeve je moguće disponirati učitanu artiklu. Strojovima se određuje dobrota (primjerenost) tj. koliko vremena je potrebno da se artikl izradi na određenom stroju. Što je vrijeme izrade manje, dobrota (primjerenost) je veća. Strojevi koji imaju veću dobrotu (primjerenost) imaju više mogućnosti da će biti izabrani kao strojevi na kojima će se tkati artikli. Pomoću permutacije stvara se niz jedinki (artikala) koji će određenim redoslijedom biti raspoređeni na tkalačke strojeve (artikli se ne smiju ponavljati). U koraku mutacije dva artikla će zamijeniti mjesta u nizu jedinki. Nakon što je zapisan niz jedinki, počinje disponiranje po strojevima. Strojevi se odabiru nasumično (ovisno o tome na koje strojeve artikli mogu biti disponirani). Artikli se disponiraju na strojeve redom kako su zapisani u nizu jedinki. Nakon što su svi artikli disponirani po strojevima računa se primjerenost, tj. koliko je artiklima potrebno da budu proizvedeni na strojevima. Ukoliko artikli prelaze rok isporuke, potrebno je ponoviti proces disponiranja artikala pomoću GA. Kako bi se dobilo što bolje rješenje, potrebno je napraviti 30 – 50 niza jedinki i isto toliko puta ponoviti proces disponiranja.

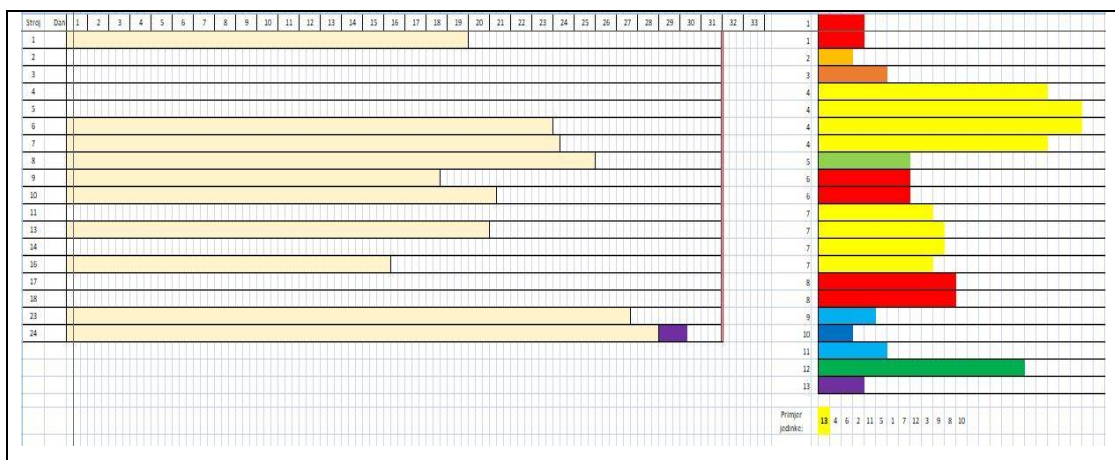
U ovom radu napravljen je jedan proces disponiranja artikala na strojeve po shemi GA. Permutacijski niz jedinki koji je dobiven je sljedeći: 13, 4, 6, 2, 11, 5, 1, 7, 12, 3, 9, 8, 10.





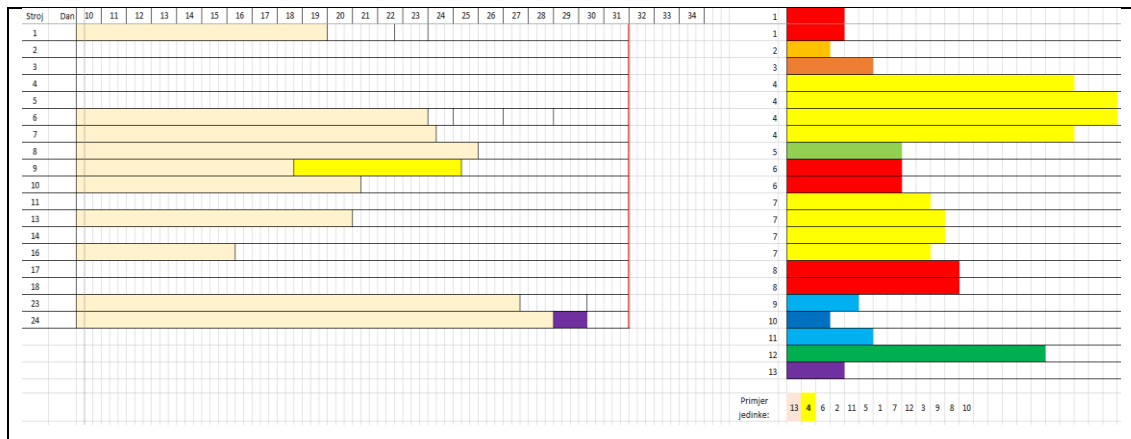
**Slika 11** Skica nultog koraka disponiranja artikala na tkalačke strojeve

Slika 11 prikazuje nulti korak disponiranja artikala na tkalačke strojeve. U nultom koraku stvara se niz jedinki u permutacijskom obliku (niz brojeva koji se ne ponavljaju). Jedinka je redoslijed raspoređivanja artikala na stroj. U ovom koraku artikli su raspoređeni na sljedećim redoslijedom: 13, 4, 6, 2, 11, 5, 1, 7, 12, 3, 9, 8, 10. Artikli će biti disponirani na strojeve redoslijedom kojim su navedeni.



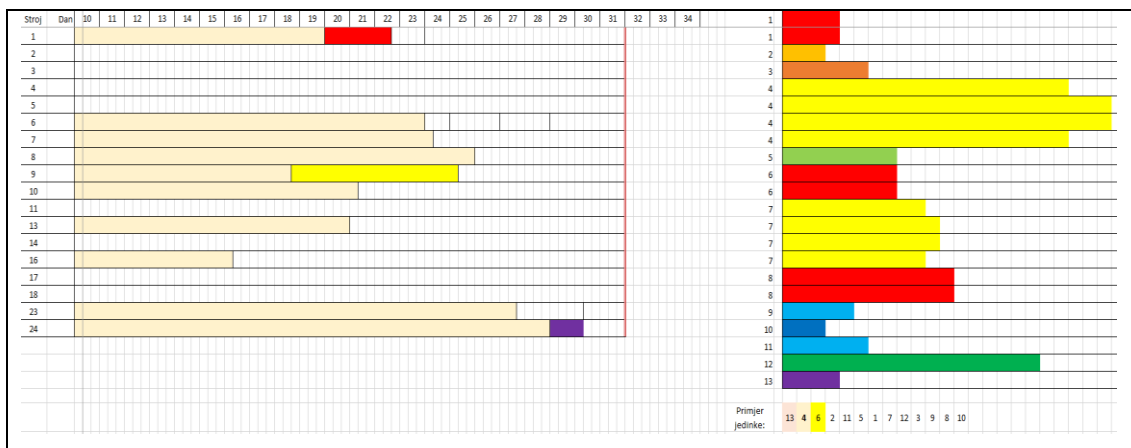
**Slika 12** Skica prvog koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 12 prikazuje skicu prvog koraka disponiranja artikala na strojeve. Artikl 13 se može proizvesti samo na stroju 24. U ovom koraku je artikl 13 disponiran na stroj 24. Artikl 13 je označen žutom bojom u nizu jedinki.



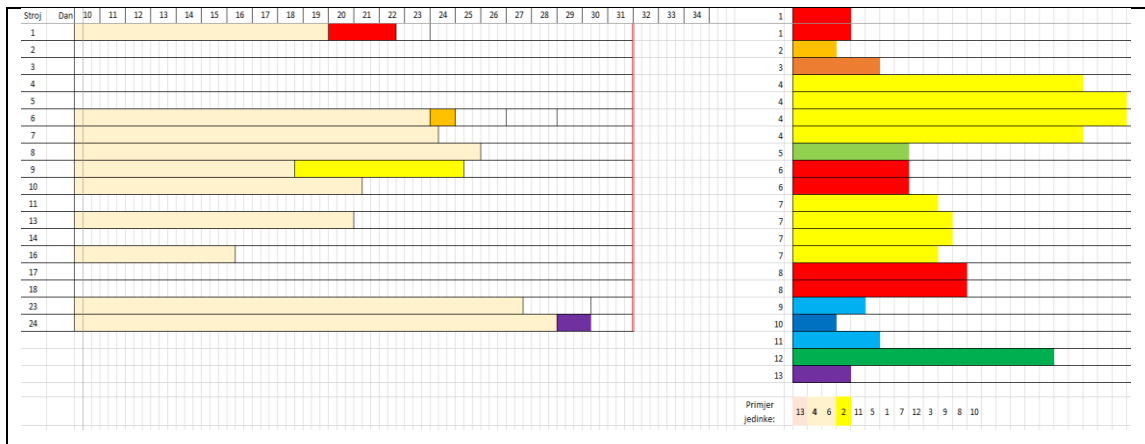
**Slika 13** Skica drugog koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 13 prikazuje skicu drugog koraka disponiranja artikala na strojeve. U ovom koraku prema nizu jedinki, artikl 4 se disponira na stroj. Artikl 4 se može disponirati na strojeve 9, 10, 13 i 16. Nasumičnim odabirom, artikl 4 je disponiran na stroj broj 10. Artikl 4 je označen žutom bojom u nizu jedinki.



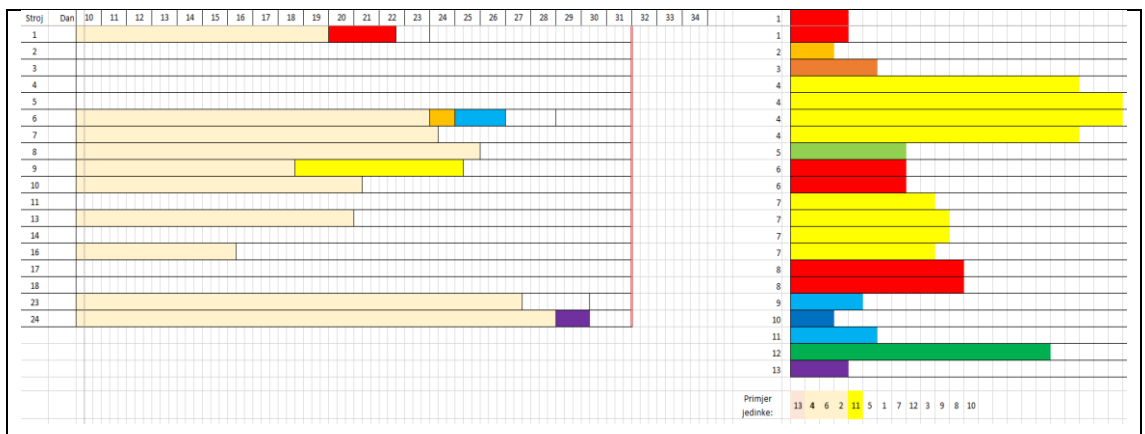
**Slika 14** Skica trećeg koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 14 prikazuje skicu trećeg koraka disponiranja artikala na strojeve. U ovom koraku prema nizu jedinki, artikl 6 se disponira na stroj. Artikl 6 se može disponirati na strojeve 1 i 7. Nasumičnim odabirom, artikl 6 je disponiran na stroj broj 1. Artikl 6 je označen žutom bojom u nizu jedinki.



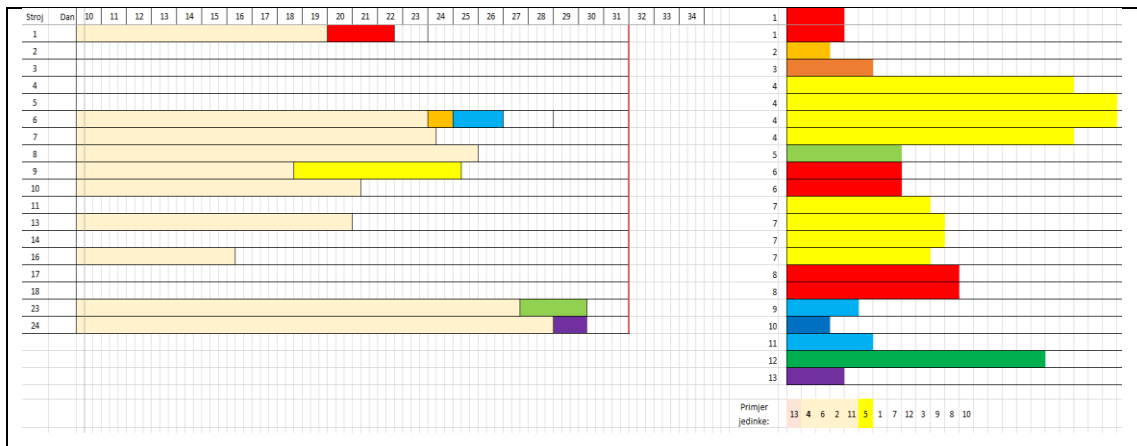
**Slika 15** Skica četvrtog koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 15 prikazuje skicu četvrtog koraka disponiranja artikala na strojeve. U ovom koraku prema nizu jedinki, artikl 2 se disponira na stroj. Artikl 2 se može disponirati na stroj 6. Artikl 2 je disponiran na stroj broj 6. Artikl 2 je označen žutom bojom u nizu jedinki.



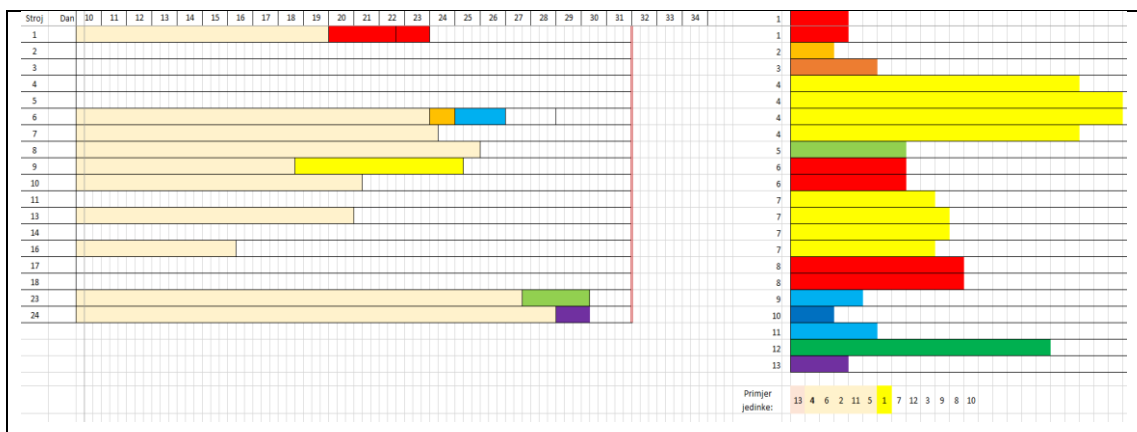
**Slika 16** Skica petog koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 16 prikazuje skicu petog koraka disponiranja artikala na strojeve. U ovom koraku prema nizu jedinki, artikl 11 se disponira na stroj. Artikl 11 se može disponirati na stroj 6. Artikl 11 je disponiran na stroj broj 6. Artikl 11 je označen žutom bojom u nizu jedinki.



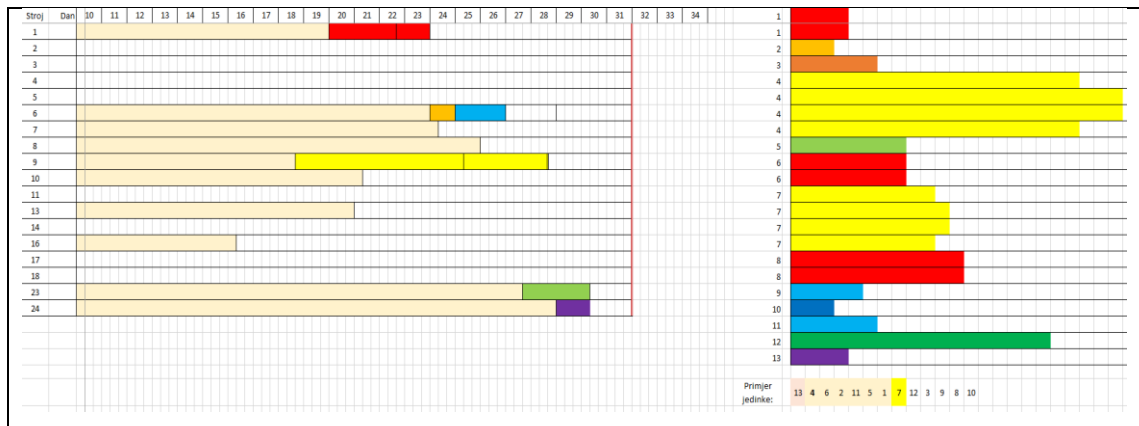
**Slika 17** Skica šestog koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 17 prikazuje skicu šestog koraka disponiranja artikala na strojeve. U ovom koraku prema nizu jedinki, artikl 5 se disponira na stroj. Artikl 5 se može disponirati na stroj 23. Artikl 5 je disponiran na stroj broj 23. Artikl 5 je označen žutom bojom u nizu jedinki.



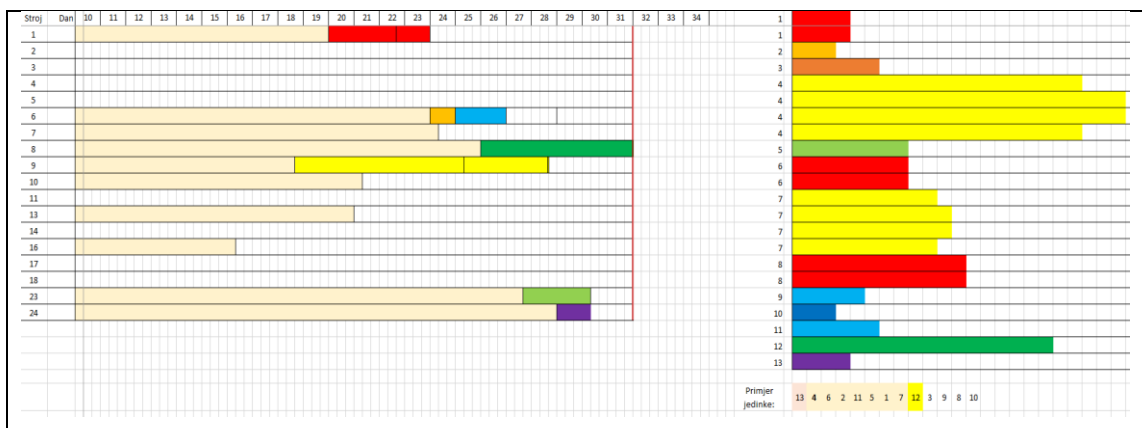
**Slika 18** Skica sedmog koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 18 prikazuje skicu sedmog koraka disponiranja artikala na strojeve. U ovom koraku prema nizu jedinki, artikl 1 se disponira na stroj. Artikl 1 se može disponirati na strojeve 1 i 7 . Artikl 1 je disponiran na stroj broj 1. Artikl 1 je označen žutom bojom u nizu jedinki.



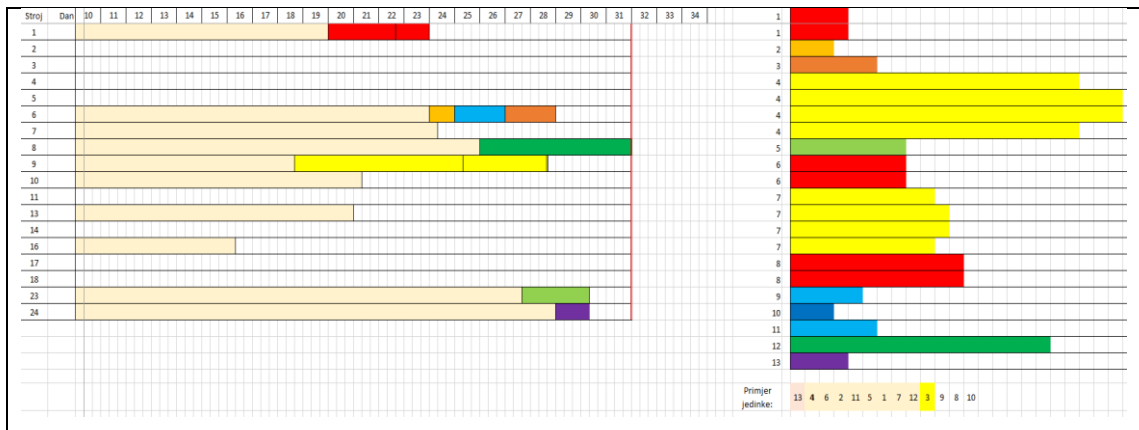
**Slika 19** Skica osmog koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 19 prikazuje skicu osmog koraka disponiranja artikala na strojeve. U ovom koraku prema nizu jedinki, artikl 7 se disponira na stroj. Artikl 7 se može disponirati na strojeve 9, 10, 13 i 16. Artikl 7 je disponiran na stroj broj 9. Artikl 7 je označen žutom bojom u nizu jedinki.



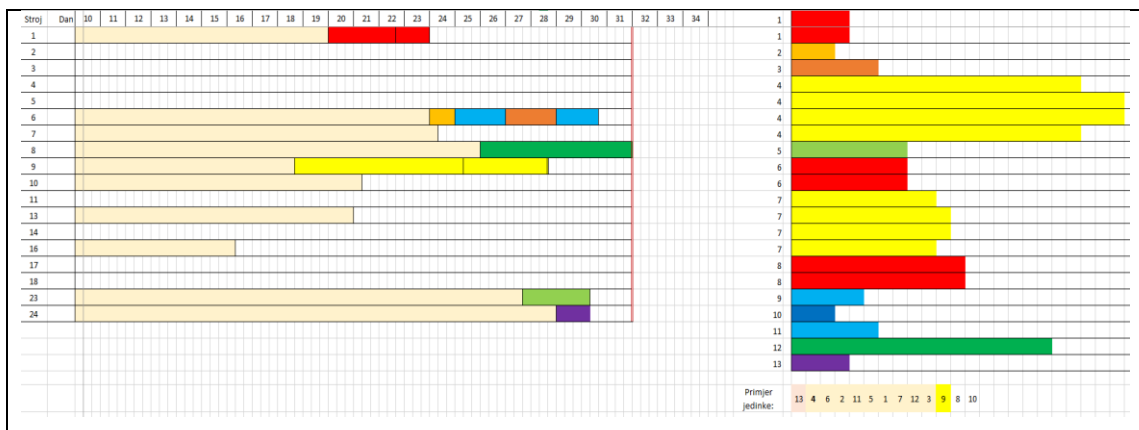
**Slika 20** Skica devetog koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 20 prikazuje skicu devetog koraka disponiranja artikala na strojeve. U ovom koraku prema nizu jedinki, artikl 12 se disponira na stroj. Artikl 12 se može disponirati na stroj 8. Artikl 12 je disponiran na stroj broj 8. Artikl 12 je označen žutom bojom u nizu jedinki.



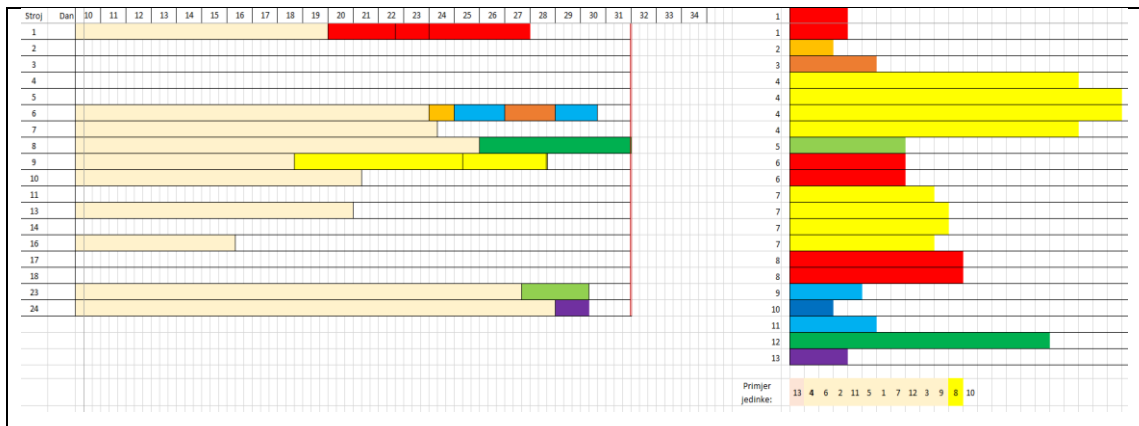
**Slika 21** Skica desetog koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 21 prikazuje skicu desetog koraka disponiranja artikala na strojeve. U ovom koraku prema nizu jedinki, artikl 3 se disponira na stroj. Artikl 3 se može disponirati na stroj 6 . Artikl 3 je disponiran na stroj broj 6. Artikl 3 je označen žutom bojom u nizu jedinki.



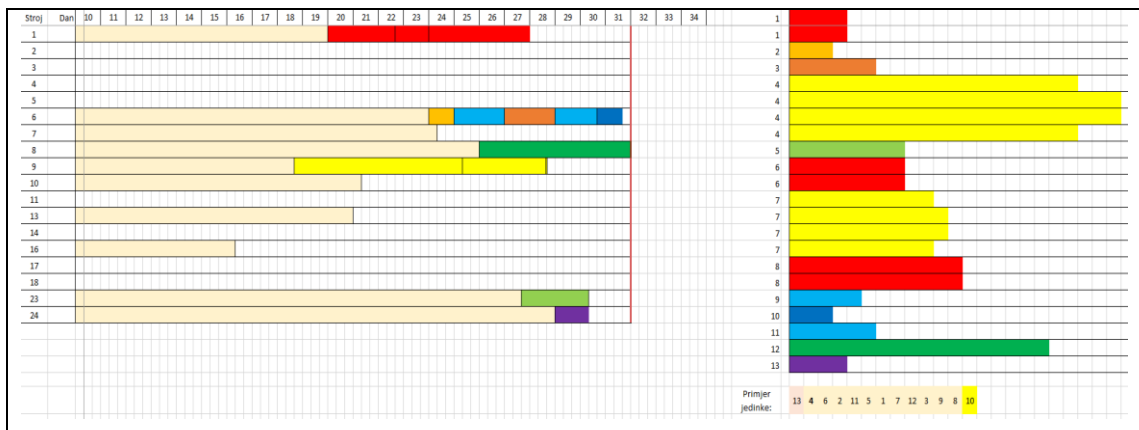
**Slika 22** Skica jedanaestog koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 22 prikazuje skicu jedanaestog koraka disponiranja artikala na strojeve. U ovom koraku prema nizu jedinki, artikl 9 se disponira na stroj. Artikl 9 se može disponirati na stroj 6. Artikl 9 je disponiran na stroj broj 6. Artikl 9 je označen žutom bojom u nizu jedinki.



**Slika 23** Skica dvanaestog koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 22 prikazuje skicu dvanaestog koraka disponiranja artikala na strojeve. U ovom koraku prema nizu jedinki, artikl 8 se disponira na stroj. Artikl 8 se može disponirati na strojeve 1 i 7. Artikl 8 je disponiran na stroj broj 1. Artikl 8 je označen žutom bojom u nizu jedinki.



**Slika 24** Skica trinaestog koraka disponiranja artikala na strojeve

Slika 14 prikazuje skicu trinaestog koraka disponiranja artikala na strojeve. S obzirom da se artikl 10 može proizvesti samo na stroju 6, artikl 10 je disponiran na stroj 6. Artikl 10 je označen žutom bojom u nizu jedinki.

Trinaesti korak je zadnji korak u disponiranju artikala prema shemi GA (genetskog algoritma). U zadnjem koraku je prikazano kako su raspoređeni svi artikli na strojevima. Artikli su raspoređeni tako da nema kašnjenja u isporuci naručenih artikala.

---

## 5. ZAKLJUČAK

Problem optimiranja proizvodnje uključuje tehnička pitanja optimiranja i praktična pitanja oblikovanja optimiranja. Većina istraživača je riješila problem planiranja u tekstilnoj proizvodnji pomoću GA, poboljšanog GA ili GA u kombinaciji sa drugim metodama . Genetski algoritam je inspiriran procesom prirodnog odabira koji pripada klasi evolucijskih algoritama. Genetski algoritmi se koriste za generiranje kvalitetnih rješenja za optimizaciju i probleme pretraživanja pouzdajući se u biološke operatore kao što su selekcija, križanje i mutacija.

Upotrebom genetskog algoritma kod disponiranja artikala na strojeve, smanjuje se vrijeme disponiranja. U odnosu na ručno disponiranje artikala, disponiranje artikala korištenjem GA je puno brže. Ručno disponiranje artikala zahtijeva vrijeme koje je potrebno za planiranje proizvodnje. Uporabom GA to vrijeme planiranja se smanjuje, ali je potrebno stvaranje 30 - 50 niza jedinki u permutacijskom obliku kako bi se dobilo najpovoljnije rješenje. Vrijeme potrebno za disponiranje artikala pomoću GA iznosi svega nekoliko sekundi, a vrijeme potrebno za ručno disponiranje artikala iznosi par sati.

U ovom radu dobivena su 2 rješenja pomoću ručnog disponiranja i disponiranja artikala pomoću genetskog algoritma.

Prvo rješenje dobiveno ručnim disponiranjem artikala na strojeve je rezultiralo ukupnim kašnjenjem od 1,33 dana. Drugo rješenje dobiveno ručnim disponiranjem artikala na strojeve je rezultiralo ukupnim kašnjenjem od 1 dan. Treće rješenje dobiveno ručnim disponiranjem artikala na strojeve je rezultiralo ukupnim kašnjenjem od 0,33 dana. Četvrto rješenje dobiveno ručnim disponiranjem artikala na strojeve je rezultiralo bez kašnjenja.

Disponiranje artikala pomoću genetskog algoritma rezultiralo je rješenjem da nema kašnjenja u isporuci naručenih artikala.

Oba dobivena rješenja su povoljna, ali prednost ima rješenje dobiveno korištenjem GA jer je vrijeme planiranja kraće.



---

## 6. LITERATURA

- [1] Majumdar A., Das A., Alagirusamy R., Kothari V.R.: Process Control in Textile Manufacturing, 2012.
- [2] Serafini P., Sheduling jobs on several machines with job splitting property, Italy, 1996.
- [3] S. Kovačević, K. Dimitrovski, J. Hadjina: Procesi tkanja, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet Zagreb, 2008.
- [4] Gong R.H., Specialist yarn and fabric structures, New Delhi, 2011.
- [5] Mahmud H., Weaving Mechanism: Drawing-in & Tying-in, 2014.
- [6] QSC and Automation in Drawing-in, <https://nptel.ac.in/courses/116/102/116102017/>
- [7] Dulange S. R., Pundir A. K. & Ganapathy L.: Prioritization of factors impacting on performance of power looms using AHP , 2014.
- [8] Hartley D.S., Optimatization in the Textile Industry: Loom Scheduling, 2016.
- [9] Bajudgar S.S., Raichurkar P.P., Kulkarni S., Patil L.C. & Patil T.: To reduce the downtime during warp knotting operation and improve the quality of warp knotting process, Maharashtra, 2011.
- [10] Wang J., Pan R., Gao W & Wang H.: An automatic scheduling method for weaving enterprises based on genetic algorithm, The Journal of The Textile Institute, 106:2, 1377-1387, 2015.
- [11] Mitchell M., An Introduction to Genetic Algorithms, Cambridge, 1996.
- [12] Hearle J.W.S.: High-performance fibres, The Textile Institute, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, England, 2001.