

Metode i suvremena tehnička rješenja za povećanje produktivnosti u proizvodnim ćelijama

Jukić, Fran

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:256502>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-11**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Fran Jukić

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Hrvoje Cajner, dipl. ing.

Student:

Fran Jukić

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru, docentu dr.sc. Hrvoju Cajneru, na konstruktivnim idejama i pomoći pri pisanju ovog rada.

Isto tako, htio bih se zahvaliti radnicima tvrtke Feroimpex d.o.o. Danielu Grgečiću, Velimiru Đaniću i Vladimiru Hajtoku na pruženim informacijama.

Fran Jukić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student:

Fran Jukić

Mat. br.: 0035200442

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

**Metode i suvremena tehnička rješenja za povećanje produktivnosti u
proizvodnim ćelijama**

Naslov rada na
engleskom jeziku:

**Methods and new technical solutions for increasement of the
productivity in the production cells**

Opis zadatka:

Proizvodne ćelije su rezultat specifičnog pristupa proizvodnji u kojem su oprema i radne stanice raspoređene u grupe. U proizvodnoj ćeliji, sve operacije koje su potrebne za proizvodnju komponente ili podsklopa izvode se u neposrednoj blizini, čime se omogućuje brza povratna informacija između operacija, poglavito u slučaju pojave nesukladnosti.

U radu je potrebno definirati proizvodnu ćeliju te dati sažetak metoda i tehničkih rješenja za povećanje produktivnosti. Na primjeru iz prakse analizirati značajke proizvodne ćelije te mogućnosti primjene određene metode ili tehničkog rješenja u svrhu povećanja produktivnosti.

Zadatak zadan:

29. studenog 2018.

Zadatak zadao:

Dr. sc. Hrvoje Cajner, doc.

Rok predaje rada:

1. rok: 22. veljače 2019.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.

3. rok: 20. rujna 2019.

Predvideni datumi obrane:

1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.

2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.

3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. PROIZVODNE ĆELIJE	2
3. LEAN PROIZVODNJA	6
3.1 5S metoda.....	9
3.2 Analiza uskog grla	10
3.3 Andon.....	10
3.4 Jidoka	11
3.5 Poka-Yoke.....	11
3.6 Just-in-time.....	12
3.6.1 Kanban	14
3.6.2 Standardizacija posla	14
3.6.3 Heijunka	15
3.6.4 Analiza vremena takta.....	15
4. DIZAJNIRANJE ĆELIJA	16
4.1 Analiza kapaciteta i vremena ciklusa	17
4.2 Analiza balansiranja troškova/kapaciteta	19
4.3 Ergonomija unutar ćelije	20
4.4 Kontrola kvalitete unutar ćelija.....	23
5. ANALIZA PROIZVODNIH ĆELIJA U TVRTKI FERIOIMPEX D.O.O.	26
5.1 Trenutno stanje proizvodne ćelije	28
5.2 Opažanja i moguća poboljšanja postojećih ćelija	33
5.3 Produktivnost ćelije u raznim konfiguracijama strojeva i ljudi	37
6. ZAKLJUČAK.....	43
LITERATURA.....	44
PRILOZI.....	45

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Proizvodna ćelija [3]	2
Slika 2.2. Shema komadne proizvodnje [6]	3
Slika 2.3. Shema linijske proizvodnje [5]	4
Slika 2.4. Shema proizvodnje u ćelijama [4]	5
Slika 3.1. Ilustracija ideja radnika [9]	8
Slika 3.2. 5S kotač.....	9
Slika 3.3. Pojava uskog grla u proizvodnji [11].....	10
Slika 3.4. Andon sustavi.....	10
Slika 3.5. Evolucija prema Jidoki [12].....	11
Slika 3.6. Primjer onemogućavanja krivog umetanja	11
Slika 3.7. Primjer pravovremene proizvodnje pizze	12
Slika 3.8. Kanban tablica zadataka.....	14
Slika 3.9. Ideja standardizacije.....	14
Slika 3.10. Varijacija u Lean proizvodnji zbog Heijunke	15
Slika 3.11. Optimizacija takta cjelokupne proizvodnje [20].....	15
Slika 4.1. Fleksibilnost U-oblika ćelije [16]	16
Slika 4.2. Ćelija s jednim radnikom [17] [15].....	17
Slika 4.3. Ćelija s pet radnika [17].....	17
Slika 4.4. Ćelija s dva radnika [17].....	17
Slika 4.5. Moderna ćelija s jednim radnikom [15].....	18
Slika 4.6. Moderna ćelija s dva radnika [15].....	18
Slika 4.7. Montažna ćelija [17]	19
Slika 4.8. Primjer integracije ljudi i računala.....	21
Slika 4.9. Loše biomehaničke pozicije ruku [18].....	22
Slika 4.10. Zone dosega [18].....	22
Slika 4.11. Vizualizacija DMAIC metode	24
Slika 4.12. Moderna rješenja korištenja senzora za kontrolu kvalitete [22]	25
Slika 5.1. Logo poduzeća [23]	26
Slika 5.2. Proizvodna hala.....	26
Slika 5.3. Proizvodni program tvrtke Feroimpex [23]	27
Slika 5.4. Proizvodna ćelija – Linija 3	28
Slika 5.5. Sustav za odvođenje odvojenih čestica iz stroja	30
Slika 5.6. Sanduk s otkivcima	30
Slika 5.7. Stol za pripremu otkivaka	30
Slika 5.8. Dokumentacija	31
Slika 5.9. Zamjenske pločice.....	31
Slika 5.10. Postupak mjerenja	32
Slika 5.11. Mjerni uređaj.....	32
Slika 5.12. Posude za doradu i škart.....	32
Slika 5.13. Zadržavanje odvojene čestice na reznoj oštrici.....	33
Slika 5.14. Ulazak odvojene čestice ispod konvejera	33
Slika 5.15. Stroj bez andon sustava.....	34
Slika 5.16. Stroj s modernim andon sustavom	34
Slika 5.17. Neurednost radnog mjesta.....	34
Slika 5.18. Preporučena visina spremnika za lakše izuzimanje otkivka	35
Slika 5.19. Trenutna pozicija spremnika.....	35
Slika 5.20. Loše stanje emulzije.....	35

Slika 5.21. Konzola NC stroja.....	36
Slika 5.22. Velik broj mjernih uređaja unutar jedne ćelije.....	36
Slika 5.23. Skica korištenih strojeva	37
Slika 5.24. Trenutna konfiguracija	37
Slika 5.25. Ćelija sa četiri stroja postavljena u obliku kvadrata	37
Slika 5.26. Ćelija sa četiri stroja postavljena u oblik dijamanta	38
Slika 5.27. Ćelija sa četiri stroja postavljenih u oblik dijamanta i dva radnika	38
Slika 5.28. 6 strojeva - 1 radnik	39
Slika 5.29. 6 strojeva - 2 radnika.....	39
Slika 5.30. 6 strojeva - 3 radnika.....	39
Slika 5.31. Graf produktivnosti po konfiguracijama.....	40
Slika 5.32. Graf iskorištenosti strojeva	40
Slika 5.33. Graf iskorištenosti radnika	41

POPIS TABLICA

Tablica 4.1. Rezultati analize	19
Tablica 4.2. Cijena izrade proizvoda za slučaj 1	19
Tablica 4.3. Cijena izrade proizvoda za slučaj 2	19

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
CT	s/proizvodu	Vrijeme ciklusa proizvodnje komada
CT _{radnik}	s/proizvodu	Vrijeme ciklusa radnika
CT _{najdulje obrade}	s/proizvodu	Vrijeme ciklusa stroja s najduljom obradom
t1	s	Vrijeme trajanja operacije 1
tp1	s	Pomoćno vrijeme na operaciji 1
t2	s	Vrijeme trajanja operacije 2
tp2	s	Pomoćno vrijeme na operaciji 2
tp3	s	Vrijeme stroja u mirovanju
tp4	s	Vrijeme trajanja primarne kontrole kvalitete
tp5	s	Vrijeme trajanja sekundarne kontrole kvalitete

SAŽETAK

Cilj ovoga rada je definirati proizvodnu ćeliju, te dati sažetak metoda i tehničkih rješenja za povećanje produktivnosti. Na primjeru iz prakse analizirati značajke proizvodne ćelije, te mogućnosti primjene određene metode ili tehničkog rješenja u svrhu povećanja produktivnosti. Teorijski dio rada opisuje proizvodnu ćeliju, njezine prednosti pred tradicionalnim sustavima proizvodnje, bitne značajke koje ulaze u njezino dizajniranje i važnost Lean alata koji se koriste kako bi se u njoj postigla bolja proizvodnost i fleksibilnost. Drugi, praktični, dio rada sastoji se od snimanja stanja trenutno postavljenih proizvodnih ćelija u tvrtki Feroimpex d.o.o., analize sustava koje koriste, opisanih prijedloga za razna poboljšanja unutar postojeće ćelije korištenjem Lean alata i ergonomije rada, analize raznih mogućih konfiguracija ljudi i strojeva, te odabir i argumentacija najbolje opcije u vidu sadašnjeg stanja unutar poduzeća.

Ključne riječi:

proizvodna ćelija, proizvodnja, Lean, analiza konfiguracija, tehnička rješenja, dizajn ćelije

SUMMARY

The goal of this thesis is to define the production cell and provide a summary of methods and technical solutions to increase productivity. From a practice example, analyze the features of an existing production cell and the ability to apply a particular method or technical solution to increase its productivity. The theoretical part of the paper describes the production cell, its advantages over traditional production systems, the essential features that come into its design and the importance of Lean tools used to achieve better productivity and more flexibility. The second, practical part of the work, consists of recording the state of the currently placed production cells at Feroimpex d.o.o., analysis of the systems that are being used, the proposed suggestions for various improvements within the existing cell design using Lean tools and ergonomics, study of the various possible design configurations of people and machines, and argumentative choice for the best option in terms of the present state of the company.

Keywords:

production cell, manufacturing, Lean, configuration analysis, technical solutions, cell design

1. UVOD

Da bi bili uspješni u današnjem konkurentnom proizvodnom okruženju, u kojem dominiraju mogućnosti svjetskog tržišta poput fleksibilnosti i brzih mogućnosti isporuke, inženjeri su morali tražiti novi pristup planiranju proizvodnje. Proizvodnja u ćelijama („Cellular manufacturing“) evoluirala je kao dio „lean“ i „just-in-time“ proizvodnje kako bi ispunila suvremenu potražnju na tržištu koju tradicionalni proizvodni sustav nije bio sposoban ispuniti. Grupiranjem strojeva u skladu s izradbenim procesom skupine tehnološki sličnih predmeta rada dobivaju se proizvodne ćelije koje posjeduju efikasnost proizvodnih linija i dio fleksibilnost klasične komadne proizvodnje. Cilj proizvodnje u ćelijama je brz i optimalan protok izradaka i mogućnost proizvodnje širokog spektra sličnih proizvoda uz što manje gubitaka. Takvim strukturiranjem sustava na proizvodne ćelije dobiva se podjela na manje podsustave, pri čemu se značajno pojednostavljuje sustav toka materijala, a time i planiranje te upravljanje proizvodnjom. Stoga su posebno prikladne za primjenu koncepta skupne tehnologije i automatizaciju proizvodnje.

U ovom radu će se opisati pojam proizvodne ćelije i njena povezanost sa Lean proizvodnjom i Lean alatima. Nadalje će se opširnije analizirati mogućnosti i dizajn proizvodnih ćelija sa stajališta izvedbe oblika same ćelije, te ergonomije i kontrole kvalitete unutar ćelije. Nakon toga će se primijeniti svi principi opisani u ovom radu kako bi se u tvrtki Feroimpex d.o.o. moglo analizirati postojeće stanje proizvodnih ćelija, te ponuditi metode i tehnička rješenja za povećanje produktivnosti..

2. PROIZVODNE ĆELIJE

Proizvodnja u ćelijama je nastala kao derivacija principa grupne tehnologije, načina proizvodnje u kojem su se proizvodi slični po geometriji, funkciji ili proizvodnom procesu grupirali i izrađivali na jednoj lokaciji sa manjim potrebnim brojem strojeva. Pojam grupne tehnologije je 1925. godine predstavio američki inženjer Ralph Edward Flanders, a 1933. godine adaptirao, u svojoj knjizi, ruski industrijski inženjer Sergei Petrovich Mitrofanov. Prva primjena tehnologije proizvodnje u ćelijama zapisana je njenim korištenjem u Japanu, primarno u već poznatom Toyota proizvodnom sustavu, nakon čega je tehnologija bila usvojena od strane Sjedinjenih Američkih Država zajedno sa „just-in-time“ proizvodnjom. [1]

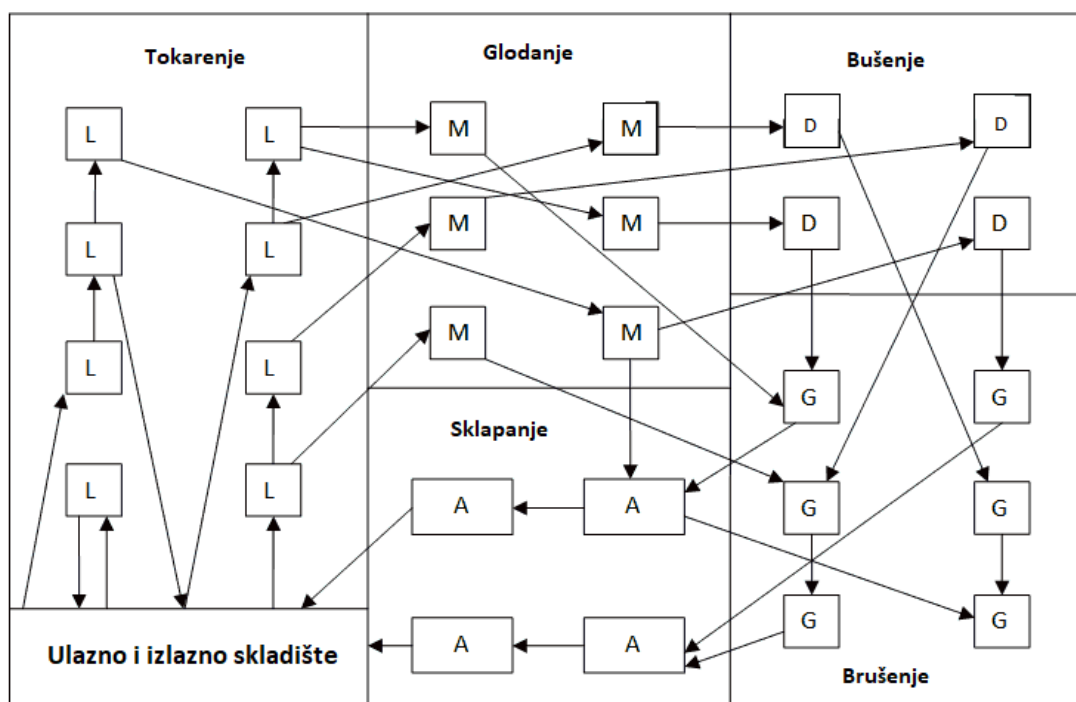
Ćelija je manja, jasno definirana jedinica u proizvodnji unutar veće tvornice, koja proizvodi cijeli asortiman sličnih dijelova ili gotovih proizvoda. Sva radna snaga i potrebni strojevi sadržani su u toj ćeliji, dajući joj mogućnost autonomije, ali i vlastite odgovornosti za kvalitetu izradaka koji izađu iz ćelije. Unutar ćelije od svakog se radnika očekuje da je obrazovan i u mogućnosti odraditi sve zadatke koji su potrebni unutar njegove ćelije. Zbog toga sistematska rotacija ljudi na određenim poslovima, te kontinuirano unaprjeđenje i treniranje radnika su bitni uvjeti za efikasno razvijanje ćelije i zadovoljavanje mogućnosti fleksibilnog raspoređivanja samih radnika.



Slika 2.1. Proizvodna ćelija [3]

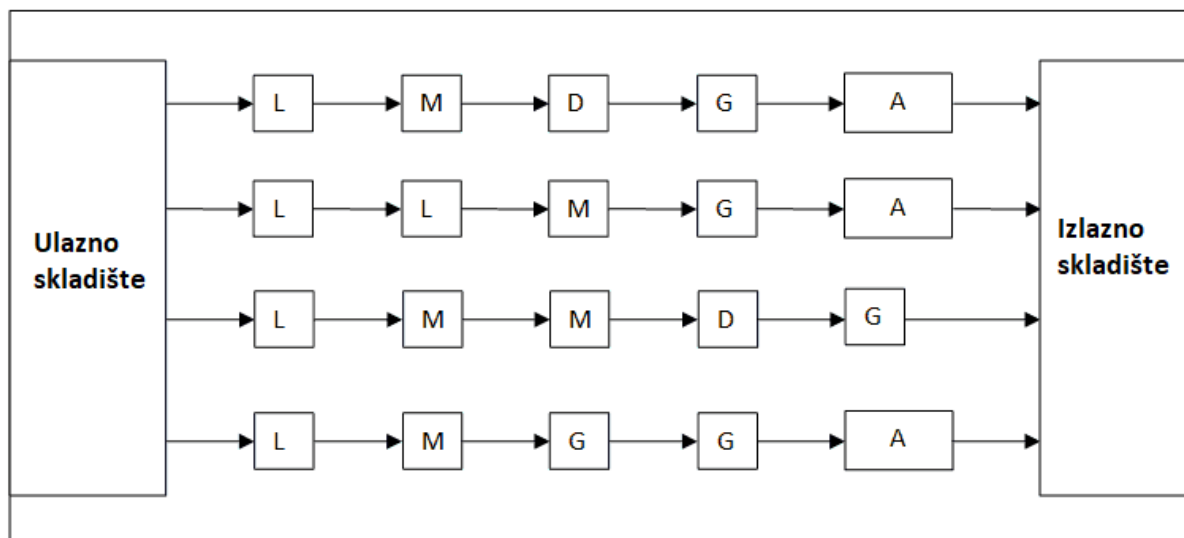
U klasičnoj proizvodnji postoje dva najčešća slučaja proizvodnje, komadna i linijska proizvodnja, svaka sa svojim prednostima i nedostacima.

Komadna proizvodnja ima visoku razinu fleksibilnosti budući da se sastoji od strojeva sa velikim brojem mogućnosti i ljudima koji su specijalizirani za rad na njima. Uz to, glavne prednosti komadne proizvodnje su lako proširivanje dodavanjem dodatnih strojeva, mali rizik zastarijevanja opreme, te što se kvarom jednog stroja rad lako premješta na drugi, dok su glavni nedostaci mali kapaciteti, visoka nepreglednost procesa, teška organiziranost zbog velike različitosti proizvoda i mali iskorišteni kapacitet opreme.



Slika 2.2. Shema komadne proizvodnje [6]

Linijska proizvodnja ima visoku razinu efikasnosti zato što se sastoji od redosljeda predodređenih operacija na predodređenim visoko specijaliziranim strojevima, često povezanih konvejerima, koji imaju nisku fleksibilnost i zaposlenika specijaliziranih za rad na jednom određenom stroju, uz to glavne prednosti linijske proizvodnje su logičan tok materijala, dobra preglednost procesa i lako planiranje proizvodnje, smanjeni logistički troškovi, te mali dio dijelova u procesu, dok su glavni nedostaci vrlo niska fleksibilnost promjene proizvoda, jako skupa oprema i zaustavljanje rada zbog kvara jednoga stroja.

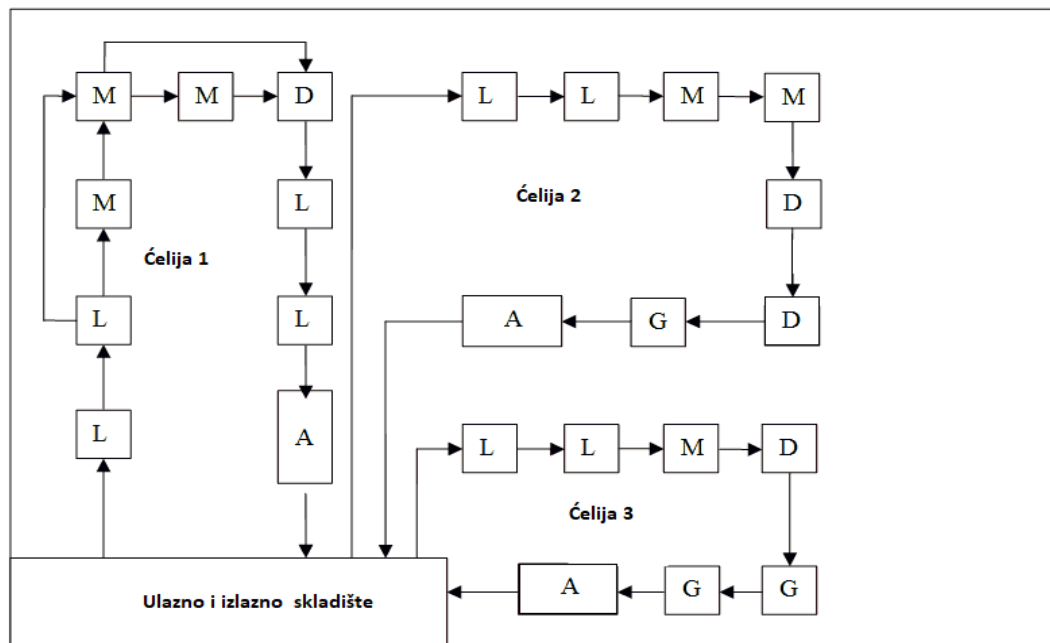


Slika 2.3. Shema linijske proizvodnje [5]

Proizvodne ćelije predstavljaju hibridni sustav između komadne i linijske proizvodnje kako bi, što je više moguće, iskoristili prednosti i minimizirali moguće mane te dvije vrste proizvodnje. Dizajn ćelije omogućava brz i efikasan protok ljudi, materijala i informacija, te visoku produktivnost povezanu s proizvodnim linijama, ali uz to osigurava fleksibilnost specifičnu za komadnu proizvodnju osiguravajući mogućnost dodavanja sličnih ali i različitih proizvoda u ćeliju bez znatnog usporavanja procesa.

Mnoga poduzeća, koja upotrebljavaju proizvodne ćelije izvještavaju o trenutnim poboljšanjima u sustavu proizvodnje, s relativno niskim negativnim posljedicama. Kratko nakon implementacije, poboljšanja koja se navode uključuju smanjenje rada u procesu „Work-In-Process“, smanjenje količine završenih proizvoda u skladištu, smanjenje vremena proteklog od primanja narudžbe do isporuke iste, smanjenja otpada, te smanjenja prerađenosti radnika i bolje zadovoljstvo radnom okolinom

Ipak, do najvećih poboljšanja dolazi u kontroliranju proizvodnje i kvalitete izradaka zbog rastavljanja proizvodnog toka na manje homogene ćelije. Ćelije koje ne ispunjavaju normu proizvodne količine i normu zadane kvalitete mogu lako biti izolirane zbog lakog praćenja dijelova koji izlaze iz pojedine ćelije, uz to zbog svoje manje veličine lako je doći i do korijena problema unutar ćelije. Ćelije se dizajniraju tako da iskorištavaju specifične karakteristike određene grupe izradaka čime se optimizira protok za svaku ćeliju zasebno, ali istovremeno i za cijelu grupu ćelija.



Slika 2.4. Shema proizvodnje u ćelijama [4]

Analiza i optimizacija toka se radi tako da se ćelije promatraju jedna po jedna čime se izbjegavaju poremećaji u ostatku sustava. Takva optimizacija protoka koja je optimizirana po specifikacijama svakog dijela koji se proizvodi u svakoj ćeliji omogućava poduzeću da istovremeno proizvodi veliki volumen i veliku raznolikost proizvoda odjednom. Sistematska rotacija poslova unutar ćelije i obrazovanje radnika za razne vještine omogućavaju brzo i fleksibilno raspoređivanje radnika kako bi se izbjegla uska grla unutar ćelije. Kada radnicima raznolikost poslova postane rutina mogu se lako prebacivati na različite poslove unutar ćelije, ali i unutar poduzeća između raznih ćelija, kako bi se odgovorilo na povećanje volumena proizvodnje ili mijenjanje proizvodnog plana.

Unatoč svim dokumentiranim korisnim stvarima, treba se napomenuti da neki tvrde da implementacija proizvodnje u ćelijama dovodi do smanjenja proizvodne fleksibilnosti. Balansiranje između ćelija je isto teže od balansiranja kod komadne ili linijske proizvodnje jer komadna proizvodnja ima mogućnost upravljanja fondom spretnih radnika, dok linijska proizvodnja ima relativno fiksni kapacitet proizvodnje. Zbog toga se pri naglom smanjenju potražnje za određenom vrstom dijelova neke ćelije moraju rastaviti i njihovi strojevi raspodijeliti na druge dijelove sustava što povlači za sobom visoke troškove kojih nema u drugim vrstama proizvodnje. Isto tako moraju se uzeti u obzir visoki troškovi preraspodijele strojeva kada se prelazi s procesnog rasporeda u proizvodnju u ćelijama, te je zbog toga bitno odrediti da li su troškovi toga prelaska isplativi naspram troškova loše efikasnosti ili nefleksibilnosti postojećeg rasporeda. [2]

3. LEAN PROIZVODNJA

Lean filozofija proizvodnje, ili često samo „Lean“, je metodologija koja se fokusira na minimiziranje gubitaka unutar proizvodnog procesa, dok istovremeno pokušava maksimizirati produktivnost kroz kontinuirana poboljšanja u procesu. [8]

Lean proizvodnja je predstavljena zapadnom dijelu svijeta 1990. godine kroz objavu knjige „The Machine That Changed the World“, koja je bazirana na petogodišnjem istraživanju američkog sveučilišta MIT o budućnosti automobilske industrije u kojoj se detaljno opisuju Toyotin lean proizvodnji sustav. Od tada nadalje, lean principi su mnogo utjecali na koncepte proizvodnje u čitavom svijetu, ali i u industrijama izvan same proizvodnje, poput zdravstva, razrade računalnih programa i uslužnih djelatnosti. [8]

Glavne koristi primjene Lean-a uključuju smanjena vremena od primanja narudžbe do njenog izvršenja, smanjenje operativnih troškova i povećanje kvaliteta proizvoda. U široko poznatoj knjizi „Lean Thinking“, objavljenj 1996. godine, priloženo je 5 principa proizvodnje koji se smatraju osnovnim načelima lean proizvodnje. [8]

1. Utvrđivanje vrijednosti od strane kupca

- vrijednost stvara proizvođač, ali ju kupac definira time koliko je spreman platiti određeni proizvod ili uslugu. Tvrtka mora eliminirati gubitke i troškove unutar procesa kako bi postigla optimalnu cijenu za kupca, i samim time najviši profit za kompaniju.

2. Određivanje toka vrijednosti

- ovaj princip uključuje snimanje i analizu toka informacija i materijala potrebnih za proizvodnju određenog proizvoda ili usluge s ciljem otkrivanja gubitaka unutar procesa i metoda poboljšanja. Sve što ne dodaje vrijednost mora se eliminirati.

3. Stvaranje toka

- eliminacija funkcionalnih zastoja i otkrivanje načina poboljšanja vremena proizvodnje osiguravaju glatki protok proizvoda i informacija od trenutka dobivanja narudžbe do trenutka njenog ispunjavanja. Gladak tok materijala i informacija je bitan dio eliminacije gubitaka.

4. Postavljanje proizvodnje povlačenja

- rad počinje tek kada postoji potražnja za njim. Dok se u klasičnoj „push“ proizvodnji stvaraju visoki troškovi inventara, u „pull“ vrsti proizvodnje se ništa ne naručuje i ne proizvodi dok ne nastane potreba za tim. Sustav se oslanja na fleksibilnost i pravovremenu komunikaciju.

5. Težnja savršenstvu kroz kontinuirano poboljšanje - Kaizen

- Lean proizvodnja počiva na konceptu kontinuirane težnje prema savršenstvu, koja implicira rješavanje korijena problema kvalitete, te pronalazak i eliminaciju gubitaka unutar toka vrijednosti.

Prema definiciji Toyotinog proizvodnog sustava definirano je sedam gubitaka unutar upravljanja proizvodnjom i resursima koji ne pridodaju vrijednost kupcu, te ih on nije spreman platiti. [9]

1. Nepotreban transport

- predstavlja nepotrebno kretanje materijala između operacija ili između skladišnih površina, neučinkovitost transporta informacija, te neuspješnost komunikacije.

2. Prekomjerna proizvodnja

- stvaranje proizvoda koji se ne mogu plasirati na tržište i prodati, stvaranje dokumentacije i procedure koju nitko ne zahtijeva, slanje uputa prema previše ljudi i početak proizvodnje proizvoda za koju ne postoji kupac.

3. Prekomjerne zalihe

- nepotrebno gomilanje velikih zaliha koja je povezana s prekomjernom proizvodnjom, gdje zbog toga dolazi do pojave „zamrznutog kapitala“ u skladištima.

4. Nepotrebna kretanja ljudi i opreme

- zbog loše organizacije i lošeg rasporeda strojeva dolazi do nepotrebnog kretanja i nepotrebnih gibanja zaposlenika, te do nepotrebnog kasnijeg premještanja strojeva.

5. Čekanja i zastoji

- postojanje čekanja materijala između operacija, čekanja radnika na strojevima ili čekanje materijala na stroju, te čekanje na isporuku zbog kašnjenja sirovina.

6. Prekomjerna obrada

- pretjerano dimenzionirani strojevi, korištenje krive tehnološke opreme, povećano pripremno-završno vrijeme, previše raznih procesa obrade, te predetaljna obrada u smislu lošeg projektiranja proizvoda koji onda zahtijeva previše koraka obrade.

7. Pojava škarta

- dolazak do prekida proizvodnje zbog pojave grešaka unutar proizvodnog procesa, reklamacije prodanih proizvoda, trošenje vremena i novčanih sredstava za analizu grešaka i otklanjanje uzroka

„8.“ Iako nije predstavljen kao gubitak u originalnom Toyotinom proizvodnom sustavu mnogi stručnjaci koji se bave primjenom Lean-a ukazuju na postojanje osmog gubitka koji predstavlja nedovoljno iskorištavanje ljudskih potencijala i neprimjenjivanje ideja poboljšanja koja dolaze od strane samih radnika.



Slika 3.1. Ilustracija ideja radnika [9]

Lean proizvodnja zahtijeva neumornu težnju prema smanjenju gubitaka. Smanjenje tih gubitaka koji ne donose vrijednosti i kupac ih nije spreman platiti dolazi kroz primjenu lean koncepata i alata koji pridonose kontinuiranom poboljšanju koje predstavlja srž lean proizvodnje. Neki od najbitnijih alata koji se koriste i odnose na proizvodnju u ćelijama bit će sada ukratko objašnjeni radi boljeg upoznavanja s mogućnostima njihove primjene.

3.1 5S metoda

5S metoda predstavlja set postupaka za bolju organizaciju radnih mjesta kako bi se stvorila efikasna, efektivna i sigurna područja za radnike, što sprječava gubitke nepotrebnog napora i kretanja radnika. 5S naglašava važnost organizacije i čistoće i sastoji se od 5 aktivnosti [10]:

1. Sortiranje (eng. „sort“, jap. „seiri“) – svodi se na eliminaciju onoga što nam nije potrebno. Sortiranjem alata, sirovina i sličnih stvari odbacuje se i zbrinjava ono što se ne koristi i zadržava se samo ono što je potrebno.
2. Dovedi u red (eng. „straighten“, jap. „seiton“) – organizacija preostalih alata nakon sortiranja. Svaki alat mora imati svoje zadano mjesto i biti lako pristupačan za korištenje.
3. Čišćenje (eng. „scrub“, jap. „seiso“) – čišćenje i inspekcija radne okoline. Postupak čišćenja pomaže organizaciji radnog mjesta, a može poslužiti i kao oblik inspekcije koji identificira otklon od nominalnog stanja što dovodi do preventivnog otkrivanja mogućeg kvara.
4. Standardizacija (eng. „standardize“, jap. „seiketsu“) – standardizacija gore opisanih postupaka. Razvijanje procedura i sustava koji će pomoći lakom održavanju radnji sortiranja, čišćenja i dovođenja u red.
5. Samodisciplina (eng. „sustain“, jap. „shisuke“) – održavanje postignutih standarda. Održavanje stabilne radne okoline u kojoj se radnici pridržavaju navedenih principa predstavlja neprekidan proces kontinuiranog napredovanja.

Uvođenjem i provođenjem 5S metoda eliminiraju se gubitci do kojih dolazi zbog loše organiziranosti radne okoline, poput trošenja vremena na traženje alata, te se tim poboljšanjem omogućava nesmetano funkcioniranje proizvodnje i olakšani tok kretanja materijala u proizvodnji.



Slika 3.2. 5S kotač

3.2 Analiza uskog grla

Analizira i pronalazi dijelove u proizvodnom procesu koji smanjuju ukupnu propusnosti, te poboljšava taj dio izradbenog procesa. Umjesto da se samo površno pronade usko grlo, ovom metodom se ulazi duboko u srž problema kroz analizu podataka kako bi se otkrio korijen uzroka, čime se sprječava pojava uskog grla sada i u budućnosti. [12]

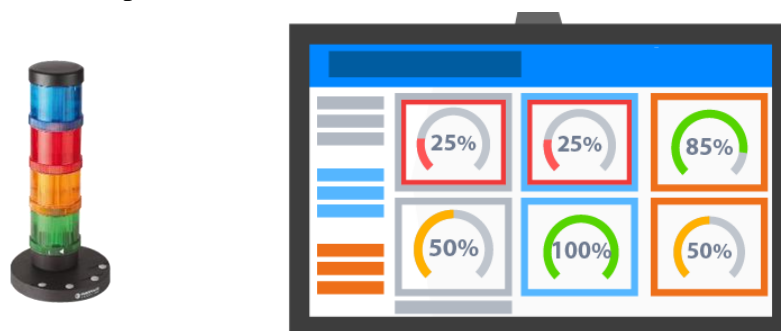


Slika 3.3. Pojava uskog grla u proizvodnji [11]

Potencijalna rješenja uključuju dodavanje dodatnih strojeva i ljudi na određena radna mjesta, smanjenje ukupne proizvodnje, eliminacija nepotrebnih značajki na proizvodu, te prilagodba toka kako bi se smanjila pojava uskih grla. Glavni cilj ovog lean alata je poboljšanje propusnosti cijelog sustava ojačavanjem najslabije karike u procesu.

3.3 Andon

Andon je sustav vizualnih povratnih informacija koje označavaju trenutni status proizvodnje, upozoravaju na potrebu za pomoći na određenom stroju i daju mogućnost operatoru da zaustavi proizvodni proces. [12]

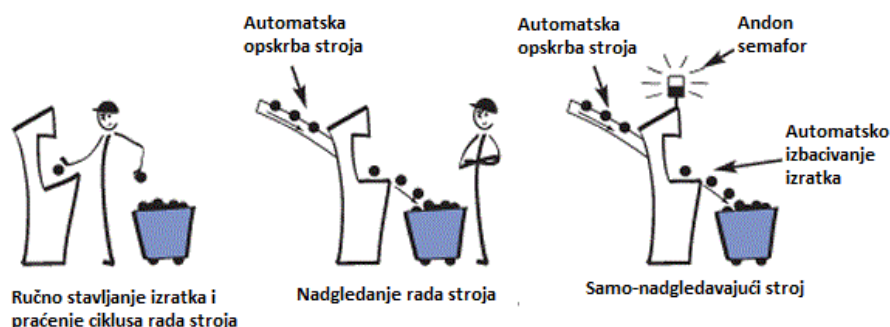


Slika 3.4. Andon sustavi

Ponaša se kao komunikacijsko sredstvo u realnom vremenu koje pravovremeno ukazuje na probleme koji se pojavljuju u procesu proizvodnje kako bi se oni mogli brzo i učinkovito sankcionirati.

3.4 Jidoka

Oprema se dizajnira i modificira tako da se djelomično automatiziraju strojevi unutar proizvodnog procesa. Djelomična automatizacija je često puno jeftinija nego automatizacija cjelokupnog sustava pa samim time i isplativija, a stroju se omogućuje i automatsko zaustavljanje kada otkrije grešku u radu ili na izratku. [12]

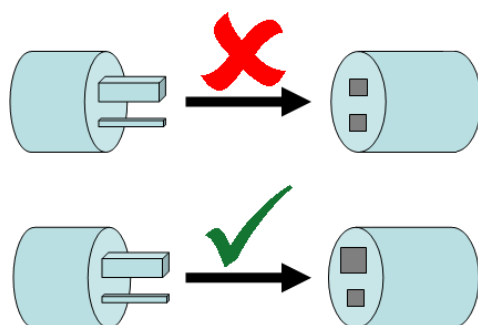


Slika 3.5. Evolucija prema Jidoki [12]

Nakon primjene Jidoke, uvođenjem djelomične automatizacije, radnici često mogu kontrolirati i nadgledati veći broj raznih strojeva, čime se smanjuju kadrovski troškovi. Isto tako njihovom primjenom se omogućuje brza detekcija grešaka, čime se povisuje kvaliteta ukupnog proizvoda.

3.5 Poka-Yoke

Otkrivanje grešaka u dizajnu sustava i rekonstrukcija njegove izvedbe u cilju trajnog sprječavanja pogrešaka u proizvodnim procesima i postizanja sustava s nula grešaka. Mehanizam kojim se dizajniraju procesi izrade kako bi se onemogućila ljudska pogreška, poput postavljanja indikatora koji se upali ako je propušten neki korak u proizvodnji, znak koji se dobije kada se vijak dovoljno stegne ili pričvršćivanje na stroj alata koji se ne smije zagubiti.



Slika 3.6. Primjer onemogućavanja krivog umetanja

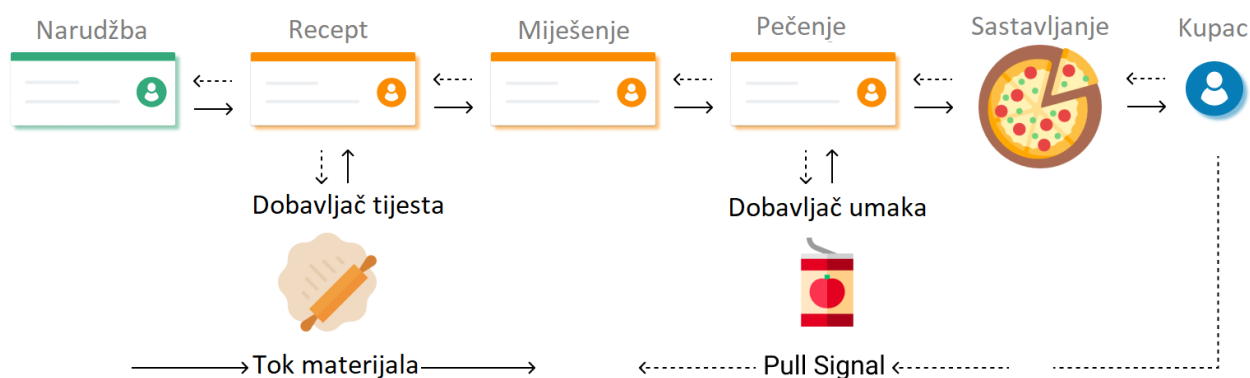
Traženje svih grešaka u završenom proizvodu kontrolom kvalitete je težak i skup postupak, te je ispravljanje napravljenih grešaka sve skuplje kako se proizvod bliži krajnjoj obradi, zato se onemogućavanjem nastanka pogreške dizajnom jeftino i efikasno smanjuju troškovi koji su povezani s nedostatkom kvalitete. [12]

3.6 Just-in-time

Just-in-time ili tzv. pravovremena proizvodnja predstavlja, kako i samo ime govori, filozofiju upravljanja koja teži proizvodnji samo onih proizvoda koje kupac želi kupiti, tek kada ih želi, samo u zahtijevanim količinama, te bez zastoja u njihovoj proizvodnji. Znači da umjesto da se proizvode velike zalihe proizvoda kojih mislimo da možemo prodati, proizvodimo samo proizvode koje kupac direktno traži i to točno kada ih traži. Unutar takvog procesa, svaka ćelija proizvodi samo ono što traži kupac ili sljedeća ćelija u redosljedu proizvodnje gotovog proizvoda. [14]

U klasičnoj proizvodnji pokušava se predvidjeti što će kupac htjeti kupiti i stvaraju se velike serije tih, predviđeno popularnih, proizvoda zato što se vjeruje da će se tako povećati iskoristivost nabavljenih strojeva i efikasnost sveukupne proizvodnje. Zbog toga se često događa da se unutar proizvodnog procesa stvara velik udio rada u procesu („WIP“), zaliha sirovina i zaliha gotovih proizvoda, koji predstavljaju „zamrznuti“ kapital, za koje još ne postoji kupac. Sve to određuje tzv. proizvodnju „za svaki slučaj“. Kod takve vrste proizvodnje ako kupac naruči nešto što se trenutno ne nalazi u zalihama, kupac će morati ili dugo čekati na isporuku proizvoda ili će se proizvodnja tog određenog proizvoda požuriti i izazvati poremećaje unutar predodređenog plana proizvodnje, što u takvim slučajevima uzrokuje visoke troškove ponovnog planiranja i postavljanja proizvodnje. [14]

Nasuprot tome, sustav pravovremene proizvodnje će iskoristiti jednostavne vizualne alate poput Kanban kartica kako bi povukli proizvod kroz sustav proizvodnje prema specifikacijama koje kupac zahtjeva. Time se uvelike smanjuje količina sirovina i gotovih proizvoda u skladištima, te se značajno smanjuje vodeće vrijeme izrade proizvoda, često s nekoliko tjedana na nekoliko sati ili dana.



Slika 3.7. Primjer pravovremene proizvodnje pizze

Primjena sustava pravovremene proizvodnje povlači za sobom velik broj povlastica [14]:

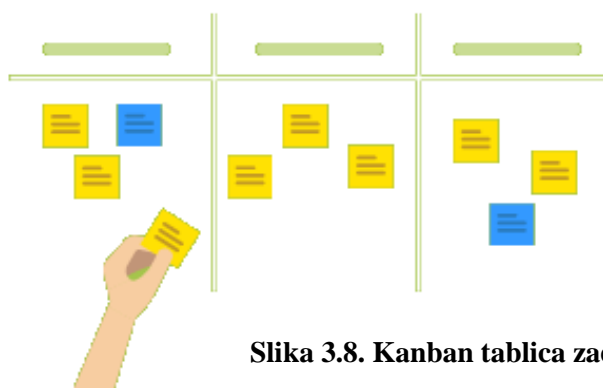
1. Smanjenje zaostalih plaćanja – Mnoge tvrtke imaju problema s financijama budući da moraju kupiti velike zalihe sirovina čak nekoliko mjeseci prije nego će kupcu naplatiti gotov proizvod. Implementacijom pravovremene proizvodnje to vrijeme između početnih troškova do krajnje isplate se značajno smanjuje.
2. Smanjenje troškova zaliha – jedan od glavnih ciljeva pravovremene proizvodnje je smanjenje zaliha, čak do 90%, i njihovo brzo iskorištavanje, čime se oslobađa prostor za ostale dijelove proizvodnje.
3. Smanjenje potrebnog prostora – smanjenjem rada u procesu i zaliha između operacija, strojevi se mogu kompaktnije slagati i time imati bolju korisnost na manjem prostoru.
4. Smanjenje troškova transporta – smanjenjem zaliha i serija u procesu smanjuje se potreba za kompleksnim strojevima za njihov transport i njihovim operaterima.
5. Smanjenje vodećeg vremena – jedno od najučinkovitijih poboljšanja pravovremene proizvodnje je smanjenje vodećeg vremena izrade gotovog proizvoda.
6. Lakše planiranje procesa – upotreba jednostavnih vizualnih sustava poput Kanbana, čak i s nabavljačima, može se uvelike smanjiti potreba za kompleksnim planiranjem.
7. Povećanje kvalitete – eliminacija velikih serija i smanjenje količine rukovanja materijalom često dovodi do povećanja kvalitete od čak 25%.
8. Povećanje morala zaposlenika – značajka pravovremene proizvodnje, poput i mnogih Lean metoda, je uključivanje zaposlenika u konstruiranje sustava i njegovog poboljšanja.

Ipak, kao i svaki sustav, pravovremena proizvodnja povlači neke nedostatke poput visokog rizika kod implementacije takvih sustava, ali i visokih početnih ulaganja, problem osiguranja stabilne organizacije za primjenjivost metode, konstanta daljnja ulaganja, potreba za angažiranosti svih zaposlenika, mijenjanje rasporeda strojeva radi poboljšanja toka i smanjenja nepotrebnih kretnji, te prilagodba radnika povećanoj odgovornosti.

Pravovremena proizvodnja predstavlja jedan od stupova Lean proizvodnje i kao takva ne može se implementirati bez prijevremene implementacije nekih drugih lean alata kao baze.

3.6.1 Kanban

Kanban je metoda koja koristi signal, da li fizički, poput etikete ili prazne kutije, ili elektronički signal poslan kroz sistem, da bi prilagodila tok materijala i ljudi unutar ali i izvan sustava, naprimjer u dogovoru sa dobavljačima. Bazira se na automatskom nadopunjavanju nekog proizvoda ili radnog mjesta kroz signalne kartice koje ukazuju na potrebu za njima. [12]



Slika 3.8. Kanban tablica zadataka

Primjenom Kanban-a eliminiraju se gubitci koji se pojavljuju kod velikih zaliha i prekomjerne proizvodnje. Može eliminirati potrebu za fizičkim zalihama nekih dobara, budući da se koriste signalne kartice kako bi se na vrijeme naručile potrebne sirovine i/ili gotovi proizvodi.

3.6.2 Standardizacija posla

Proces standardizacije poslova sastoji se od dokumentiranja najboljih proizvodnih praksi za određeni izradak, uključujući vremena izrade. Dokumentacija se izrađuje tako da bude fleksibilna i lako u budućnosti modificirana i poboljšana. [12]



Slika 3.9. Ideja standardizacije

Standardizacijom posla se eliminiraju gubitci, koji nastaju kod pokušavanja samostalnog pronalaska najbolje prakse, korištenjem već dobro dokumentiranih najboljih praktičnih proizvodnih sustava koji postaju baza za daljnje poboljšavanje procesa u budućnosti.

3.6.3 Heijunka

Heijunka predstavlja oblik raspoređivanja proizvodnje tako da se namjerno proizvodi u malim serijama, što se postiže miješanjem raznih varijanti proizvoda unutar istog proizvodnog sustava. To je sustav planiranja razina proizvodnje koji pokušava postići kontinuirani tok materijala u proizvodnji puštanjem rada u postrojenje u potrebnom omjeru i izbjegavajući prekinde u procesu.

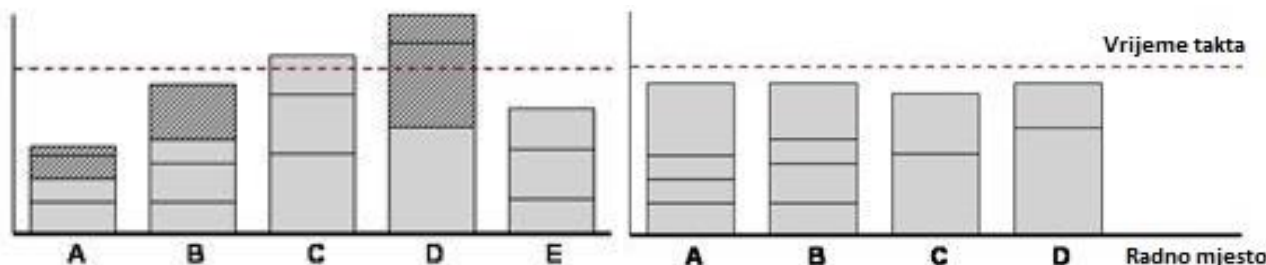


Slika 3.10. Varijacija u Lean proizvodnji zbog Heijunke

Primjenom tog procesa smanjuju se vodeća vremena u proizvodnji, budući da se svaki izradak ili neka njegova varijanta često proizvode, te dovodi do smanjivanja zaliha, budući da su serije male, fleksibilne i proizvedene po potrebi. [12]

3.6.4 Analiza vremena takta

Tempo u kojem se izvodi proizvodnja, npr. jedan dio svakih 38 sekundi, mora se podudarati s potražnjom kupca. Takt proizvodnje osigurava da se ispunjavaju svi kapaciteti unutar proizvodnog procesa uz istovremeno postizanje svih zahtjeva kupca. U suštini, pravo određivanje vremena takta će pomoći dostaviti pravi proizvod, u pravo vrijeme i u pravoj količini, krajnjem kupcu. Isto tako određivanje njegovog optimalnog trajanja stvara konstantan „puls“ u procesu proizvodnje pomoću kojeg će se lako istaknuti problemi s kapacitetom i sinkronizacijom proizvodnje, kao i problemi s kvalitetom. Računa se kao planirano vrijeme izrade svih dijelova podijeljeno s rokom isporuke. [20]



Slika 3.11. Optimizacija takta cjelokupne proizvodnje [20]

Određivanjem optimalnog takta proizvodnje dobiva se jednostavna, konstantna i intuitivna metoda balansiranja tempa proizvodnje. Isto tako omogućuje lagano postavljanje i praćenje ciljeva efikasnosti za cijeli pogon - (stvarni broj proizvedenih komada / ciljani broj komada).

4. DIZAJNIRANJE ĆELIJA

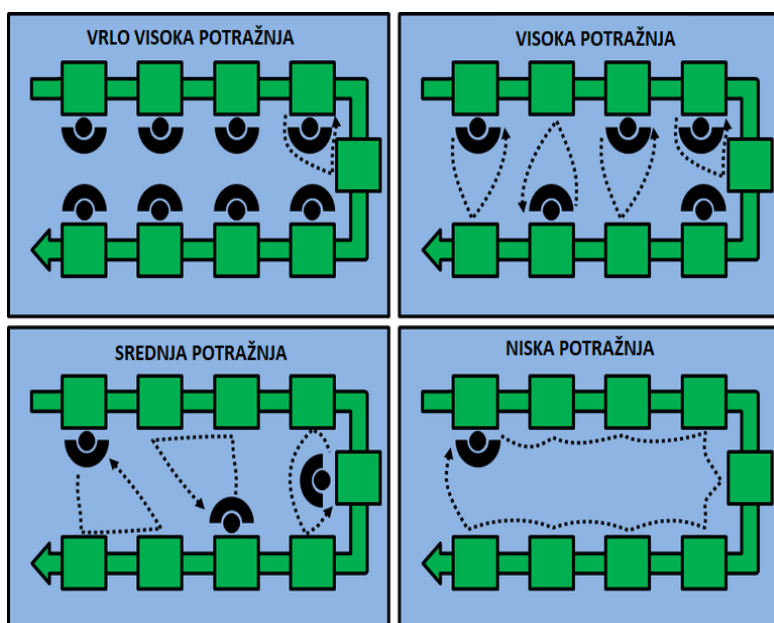
Kao što je već prije navedeno, iskorištavanjem grupnih tehnologija formiraju se proizvodne ćelije kao najbolja opcija između nefleksibilne linijske i maloserijske komadne proizvodnje. Isto tako proizvodnja u ćelijama pomaže u ostvarivanju mnogih ciljeva Lean proizvodnje budući da omogućuje eliminaciju aktivnosti koje ne donose vrijednost poput vremena čekanja, zastoja, nepotrebnog transporta i rada u procesu. Ćelije se formiraju kako bi se poboljšao protok materijala, ljudi i informacija kroz proizvodni sustav. To se postiže grupiranjem i približavanjem strojeva kako bi se eliminirale zalihe između operacija i omogućio osnovni elementa Lean-a, a to je protok jednog dijela ili „one-piece flow“ koji određuje proizvodnju samo onoga što kupac traži i spreman je platiti, u količini i vremenu u kojem to želi. Fleksibilnost je vrlo bitan dio dizajna proizvodne ćelije, tako da se svaka ćelija dizajnira kako bi mogla ponuditi više razina fleksibilnosti. Najbitnije od tih su [15]:

Fleksibilnost vrste obrade – mogućnost strojeva grupiranih u ćelije da izrade velik broj posebnih operacija

Fleksibilnost usmjeravanja – mogućnost ćelije da izradi kompletan proizvod u nekoliko ćelija

Fleksibilnost volumena dijelova – mogućnost ćelije da se nosi s promjenama u volumenu proizvodnje određenog dijela

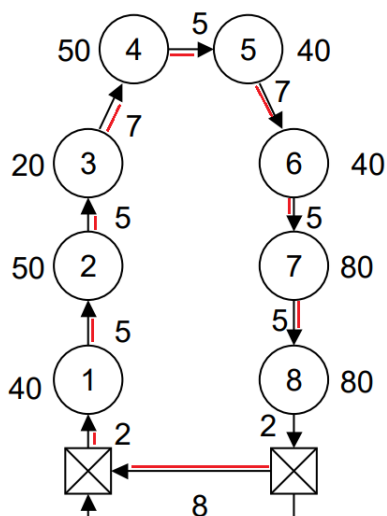
Fleksibilnost miješanja dijelova – mogućnost ćelije da se nosi s promjenama izradaka koji se izrađuju uz minimalne smetnje i zastoje.



Najčešći dizajn ćelije je U-oblik. Često se navodi kao optimalan oblik zbog mogućnosti radnika da rade na više radnih mjesta povezanih kratkim udaljenostima, uz lagano povećanje njihovog broja u zavisnosti o potražnji i mogućnosti lake kontrole kvalitete nadgledanjem početka i kraja svake ćelije. [16]

Slika 4.1. Fleksibilnost U-oblika ćelije [16]

4.1 Analiza kapaciteta i vremena ciklusa



Brojevi kraj strelica označuju vrijeme hodanja između stanica, dok brojevi pored kruga označavaju vrijeme rada na stanicama. Pretpostavlja se jedna osmosatna smjena po danu. [17]

Primjer 1. Jedan radnik u definiranoj montažnoj ćeliji [17]

Vrijeme ciklusa = sva vremena operacije + vremena hodanja
 $CT = 400 + 51 = 451$ sekunda/jedinici proizvoda

Pretpostavlja se osmosatno radno vrijeme te se računa kapacitet ćelije:

$$Kapacitet \text{ ćelije} = \frac{8 * 60 * 60 \text{ sekundi}}{451 \text{ sek/proizvod}} = 63,9 \text{ proizvoda dnevno}$$

Slika 4.2. Ćelija s jednim radnikom [17]

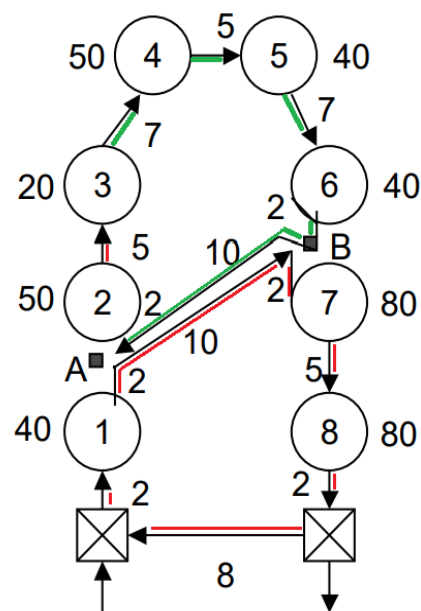
Primjer 2. Dva radnika u definiranoj montažnoj ćeliji [17]

Radnik #1 → A,2,3,4,5,6,B
 Vrijeme ciklusa radnika br.1 = $CT_1 = 238$ s

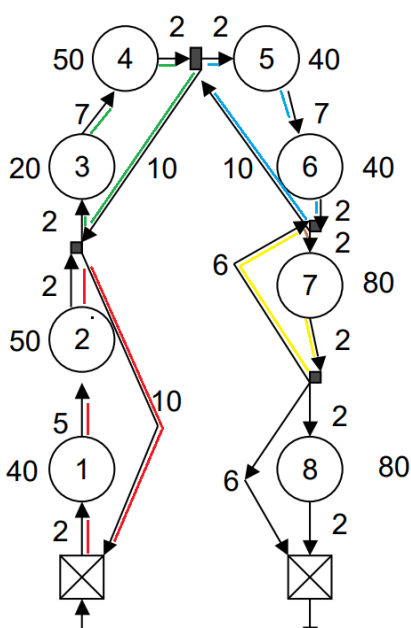
Radnik #2 → 1,A,B,7,8
 Vrijeme ciklusa radnika br.2 = $CT_2 = 231$ s

Kod izračuna kapaciteta ćelije uzima se vrijeme ciklusa najsporijeg radnika:

$$Kapacitet \text{ ćelije} = \frac{8 * 60 * 60 \text{ sekundi}}{238 \text{ sek/proizvod}} = 121 \text{ proizvod dnevno}$$



Slika 4.4. Ćelija s dva radnika [17]



Slika 4.3. Ćelija s pet radnika [17]

Primjer 3. Pet radnika u definiranoj montažnoj ćeliji [17]

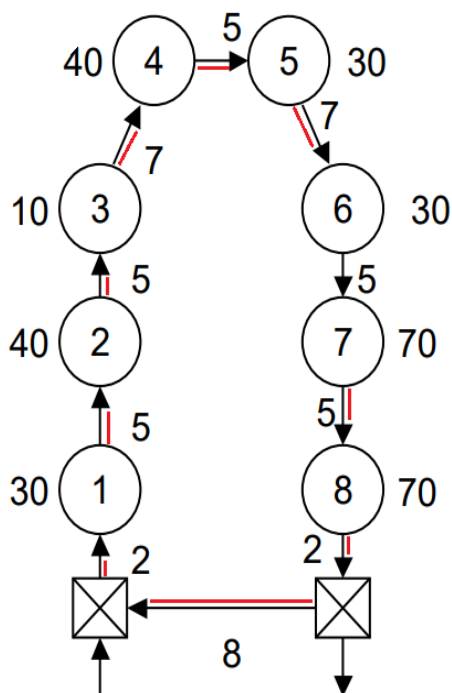
Radnik	Radne stanice	Vrijeme ciklusa
1	1,2	109
2	3,4	91
3	5,6	101
4	7	90
5	8	90

$$Kapacitet \text{ ćelije} = \frac{8 * 60 * 60 \text{ sekundi}}{109 \text{ sek/proizvod}} = 264 \text{ proizvoda dnevno}$$

Ukupno vrijeme mirovanja = 18+8+19+19 = 64 sekunde/proizvodu

U gornjim primjerima bili su analizirani primjeri s montažnim stanicama. Nadalje će se analizirati dva primjera modernih automatiziranih ćelija gdje se strojna obrada odvija na strojevima dok radnik ima zadatak stavljanja i vađenja obradaka iz tih strojeva.

Brojevi kraj strelica označuju vrijeme hodanja između stanica, dok brojevi pored kruga označavaju vrijeme strojne obrade na stroju. Pomoćna vremena su 10 sekundi na svakom stroju (vađenje, stezanje i pokretanje).



Primjer 4. Jedan radnik u definiranoj ćeliji s automatiziranom strojnom obradom [15]

Vrijeme ciklusa ćelije = CT =
Max (ciklus radnika, ciklus najdulje strojne obrade)

CT_{radnik} = 8*10 + 51 = 131 sekunda/proizvodu
CT_{najdulje obrade} = 70 + 10 = 80 sekundi/proizvodu

Kapacitet ćelije = $\frac{8 * 60 * 60 \text{ sekundi}}{131 \text{ sek/proizvod}} = 219,8 \text{ proizvoda dnevno}$

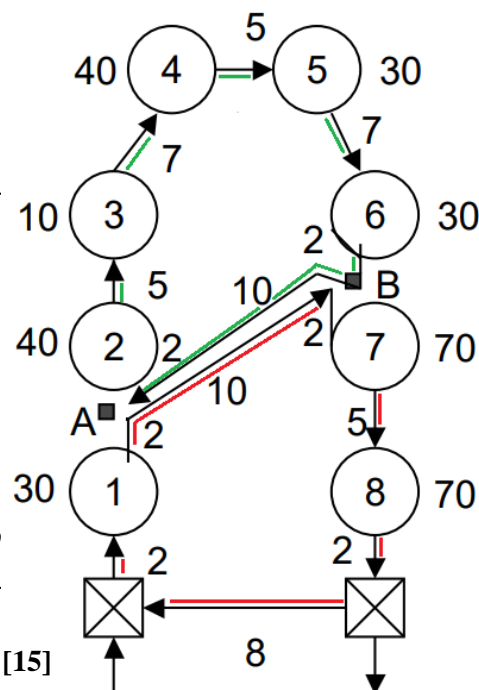
Slika 4.5. Moderna ćelija s jednim radnikom [15]

Primjer 5. Dva radnika u definiranoj ćeliji s automatiziranom strojnom obradom [15]

CT_{radnik1} = 3*10 + 31 = 61 sekunda/proizvodu
CT_{radnik2} = 5*10 + 38 = 88 sekunda/proizvodu

CT_{najdulje obrade} = 70 + 10 = 80 sekundi/proizvodu

Kapacitet ćelije = $\frac{8 * 60 * 60 \text{ sekundi}}{88 \text{ sek/proizvod}} = 327 \text{ proizvoda dnevno}$



Slika 4.6. Moderna ćelija s dva radnika [15]

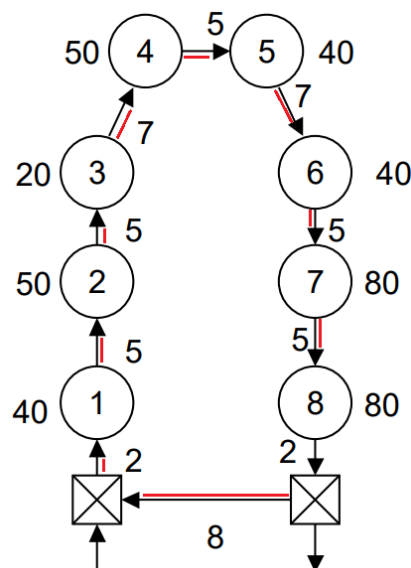
Uvođenjem trećeg radnika u ovaj sustav nastalo bi usko grlo kod stroja s najduljom obradom, te bi zbog toga radnici imali visoka vremena mirovanja, što smanjuje efikasnost cijele ćelije.

4.2 Analiza balansiranja troškova/kapaciteta

Iz ranijih analiza montažne ćelije s 8 stanica dobiveni su sljedeći rezultati [17]:

Tablica 4.1. Rezultati analize

Broj radnika	Vrijeme ciklusa [s]	Kapacitet [proizvoda/h]
1	451	7,98
2	238	15,13
5	109	33,03
8	84	42,86



Slika 4.7. Montažna ćelija [17]

Za slučaj 1 pretpostavit ćemo da je cijena radnog sata za radnike 50kn/h, a cijena rada strojeva 400 kn/h. Znači da je ukupna cijena rada radnika 40kn/h * broj radnika.

Tablica 4.2. Cijena izrade proizvoda za slučaj 1

Broj radnika	Cijena rada radnika [kn/h]	Troškovi rada stroja [kn/h]	Ukupna cijena rada/Kapacitet [kn/proizvodu]
1	50	400	$450/7,98 = 56,39$
2	100	400	$500/15,13 = 33,05$
5	250	400	$650/33,03 = 19,68$
8	400	400	$800/42,86 = 18,67$

U ovakvoj raspodijeli cijena rada stroja i cijene rada radnika povećanje kapaciteta dodavanjem radnika dovodi do nižih cijena po proizvodu. Ako se cijena rada radnika u slučaju 2 poveća na 100kn/h, a cijena rada stroja ostane istih 400kn/h.

Tablica 4.3. Cijena izrade proizvoda za slučaj 2

Broj radnika	Cijena rada radnika [kn/h]	Troškovi rada stroja [kn/h]	Ukupna cijena rada/Kapacitet [kn/proizvodu]
1	100	400	$550/7,98 = 68,92$
2	200	400	$600/15,13 = 39,66$
5	500	400	$900/33,03 = 27,25$
8	800	400	$1200/42,86 = 28,00$

Može se vidjeti da kad dođe do povećanja cijene rada radnika, više se ne isplati dodavati radnike nakon određenog broja, u ovom slučaju optimalan je broj radnika oko 5 znači 4,5 ili 6.

Ipak, u situacijama kada se unutar ćelije obrađuju manji poslovi na različitim proizvodima, uz česte izmjene proizvoda koji se izrađuju, broj radnika se određuje više prema potrebama vremena ciklusa, tj. prema potražnji zahtijevanog proizvoda, nego prema cijenama izrade dijela. Prema ovim rezultatima može se vidjeti prednost radnika obučenih na većem broju strojeva jer oni omogućavaju lako prebacivanje radnika iz ćelije u ćeliju kako bi se istovremeno zadovoljila maksimalna efikasnost i efektivnost proizvodnje.

4.3 Ergonomija unutar ćelije

Ergonomija proučava kako rad utječe na ljudsko tijelo. Ergonomija može pomoći proizvodnim i industrijskim inženjerima postići maksimalnu efikasnost bez riskiranja fizičkog zdravlja radnika. Ergonomija predstavlja bitan dio kod dizajniranja proizvodne ćelije. Prema njihovoj prirodi, dobro dizajnirani proizvodni sustavi u ćelijama olakšavaju rad i smanjuju rizike koji postoje u tradicionalnim proizvodnim sustavima. Naprimjer, u ćelijama se radnici često rotiraju na raznim zadacima unutar ciklusa proizvodnje, čime se smanjuju rizici koji se pojavljuju kod izvođenja ponavljajućih i statičkih zadataka. [18]

Dvije fiziološke kategorije su obično relevantne tijekom rada, a to su statički i dinamički rad. Statički rad se događa kada je tijelo u stacionarnom položaju kroz dulje vrijeme, a dinamički kada rad uključuje velik broj kretanja. Mišićno-koštani sustav nije primijenjen za dugoročni statički rad zato što tijelo ne može dovoditi svježe hranjive tvari napregnutom tkivu, što dovodi do inflamacije mišića i ligamenata. Kod dinamičkog rada hranjive tvari se kreću u i iz mišića, što pomaže tijelu da radi dulje vremena ako se tijelo ne dovodi u bitna stresna naprezanja.

Dijeljenje poslova između ljudi i strojeva uvelike određuje kvalitetu iskustva u radu. Dobro osmišljen sustav optimizira interakciju ljudi i strojnih elemenata. Odgovori na pitanja „koji dio poslova bi trebali raditi ljudi a koji strojevi?“ predstavljaju bitan dio dizajna ćelije i ima velike posljedice na kvalitetu proizvoda, fleksibilnost sustava, troškova u sustavu, zdravlja radnika i ekonomsku isplativost proizvodnje.

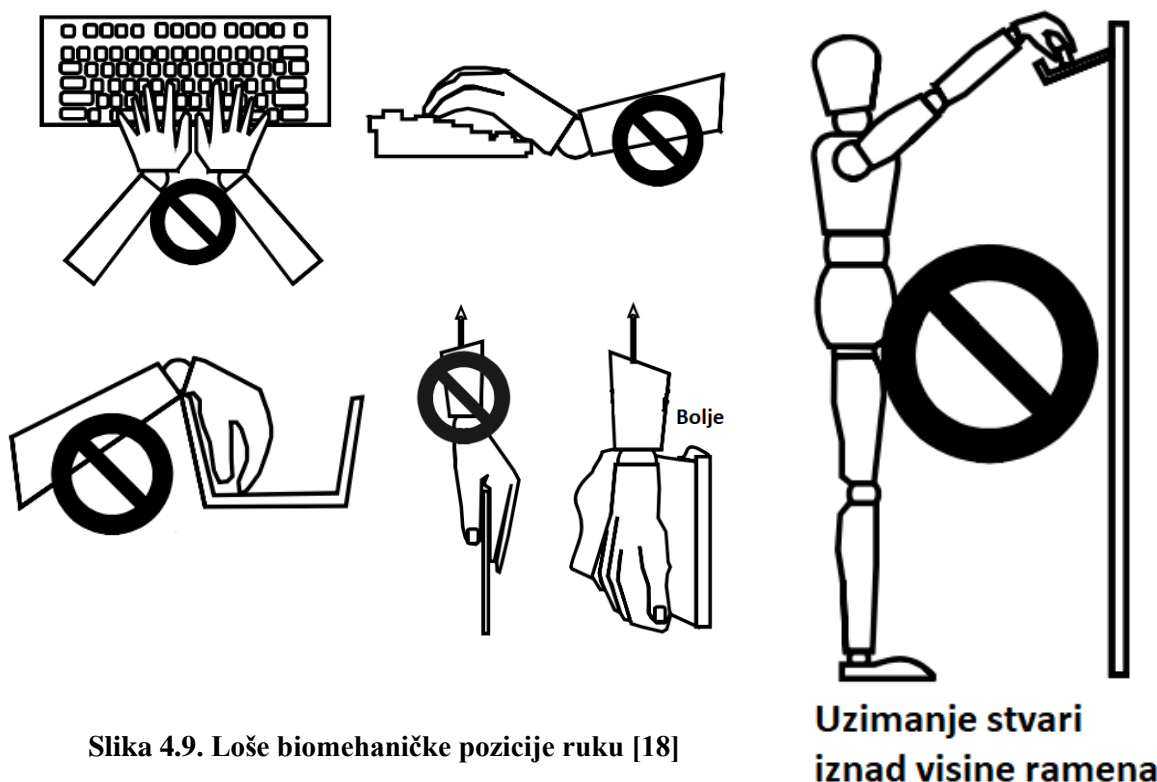
Ono u čemu su ljudi dobri	Ono u čemu su računala/strojevi dobri
<ul style="list-style-type: none"> - obrada nejasnih informacija - suptilne odluke - nejasno definirani procesi - interakcija s drugim ljudima - velika raznolikost poslova - kratke serije - varirajući zadaci - brza izmjena zadataka - veći broj radnih lokacija 	<ul style="list-style-type: none"> - jednostavne, brojčane i točne informacije - jednostavne odluke - visoko definirani procesi izrade - nepotrebna interakcija s ljudima - visoko ponavljajući zadaci - mala vremena ciklusa - dugačke serije - visok volumen - visoka preciznost - teška naprezanja



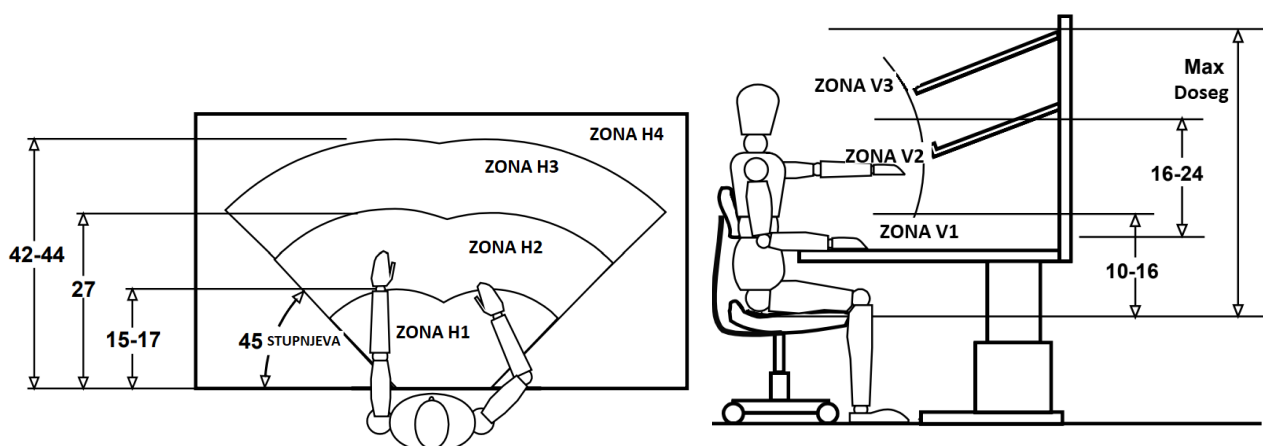
Slika 4.8. Primjer integracije ljudi i računala

Današnja poduzeća i inženjeri imaju tendenciju previše automatizirati proizvodnju i dodijeliti većinu zadataka strojevima, što je često vrlo neefikasno i vuče za sobom mnoge posljedice. Ipak, nedovoljni stupanj automatizacije može biti jednako neefikasan. Puno toga ovisi o stanju tehnologije i relativne isplativosti automatizacije određenih poslova unutar sustava.

Biomehanika proučava mehaničke sile u ljudskim kretanjima. Njeni principi mogu minimizirati oštećenja mišića, ligamenata i tkiva. Ta oštećenja mogu doći od strane jednokratne sile, poput podizanja teškog predmeta ili pomicanja predmeta iz neprirodne pozicije, ili od strane nagomilavanja malih, ponavljajućih sila. Najčešće problemi dolaze zbog repetitivnih kretanja bez vremena za odmor i postavljanja ligamenata u ekstremne položaje.



Jedan od najbitnijih dijelova dizajniranja radnog mjesta je odlučivanje gdje će biti stavljeni alati, dijelovi, pribor, kontrole i ostali pomoćni objekti. Pravilno postavljanje stvari u radnom okruženju smanjuje rizik radom uzrokovanih mišićnih poremećaja i povećanje efikasnosti rada operatera. Donji dijagrami prikazuju zone unutar radnog mjesta podijeljene na 4 vertikalne i okomite zone. Zona 1 predstavlja najlakše dobavljivu zonu i tu se stavljaju najbitniji pribori i sam izradak. U zonu 2 se stavljaju stvari koje ne zahtijevaju radnikovu pažnju ili se rjeđe koriste. Zona 3 je predviđena za nekad upotrebljive, a zona 4 za rijetko upotrebljive elemente.



Slika 4.10. Zone dosega [18]

4.4 Kontrola kvalitete unutar ćelija

U proizvodnji, kontrola kvalitete predstavlja proces koji osigurava da kupci dobiju naručene proizvode bez grešaka i defekata, tj. da ih dobiju baš onakve kakvi bi trebali biti. Kada se kvaliteta dobro ne osigurava dolazi do rizika teških kvarova i havarija uzrokovanim defektnim dijelom unutar sustava. Da bi se spriječile takve neželjene situacije provodi se efektivna kontrola kvalitete kroz alate poput „Statističke kontrole procesa“, koja prati i kontrolira kvalitetu praćenjem proizvodnih metrika, te pomaže menadžerima kvalitete identificirati i riješiti problem prije nego proizvodi napuste postrojenje, i „Six Sigme“ koja koristi pet ključnih principa kako bi osigurala da proizvodi budu točno po mjeri kupca i sadrže nula grešaka.

Kada se ti alati primjenjuju uz rame Lean alatima, poput cjelokupnog učinkovitog održavanja - „TPM-a“, 5S –a i Kaizena, većina, ako ne i svi, gubitci se mogu eliminirati. Cjelokupno učinkovito održavanje povećava kvalitetu proizvoda eliminirajući zastoje, defekte i nesreće u proizvodnom sustavu. TPM to postiže kroz obuhvatne programe održavanja i obrazovanjem radnika. Kaizen pomaže eliminirati probleme u korijenu dajući radnicima mogućnost pronalaska i rješavanja problema u svojem sustavu na dnevnoj bazi. 5S pomaže organizirati i standardizirati radnu okolinu, nalazi poboljšane, iskustveno dobre, procedure te ih primjenjuje i time eliminira nepotrebne neispravnosti u procesu.

Kupci očekuju i zahtijevaju visoko kvalitetne proizvode. Kada kupci konzistentno dobivaju kvalitetne proizvode može se osjetiti povećanje odanosti kupca, dobivanje više stalnih kupaca, dobivanje novih kupaca zbog dobrih preporuka, zadržavanje ili poboljšanje pozicije na tržištu, povećana sigurnost rada i manje pravnih problema. Uz to, sve te dobre stvari na kraju doprinose sveukupnom poboljšanju i održavanju pozitivnog imidža, kako proizvoda, tako i cjelokupnog poduzeća i pomažu kreirati „brand“ kojem ljudi vjeruju. Proizvođači s dobrom kontrolom kvalitete imaju puno manje povrata prodanih proizvoda i umanjene rizike od pojave grešaka koje dovode do negativnih posljedica za kupca. [21]

Six Sigma, ili metoda nula grešaka, najčešće koristi DMAIC metodologiju kako bi osigurala kvalitetu. Ta metoda se odvija u 5 faza [13]:

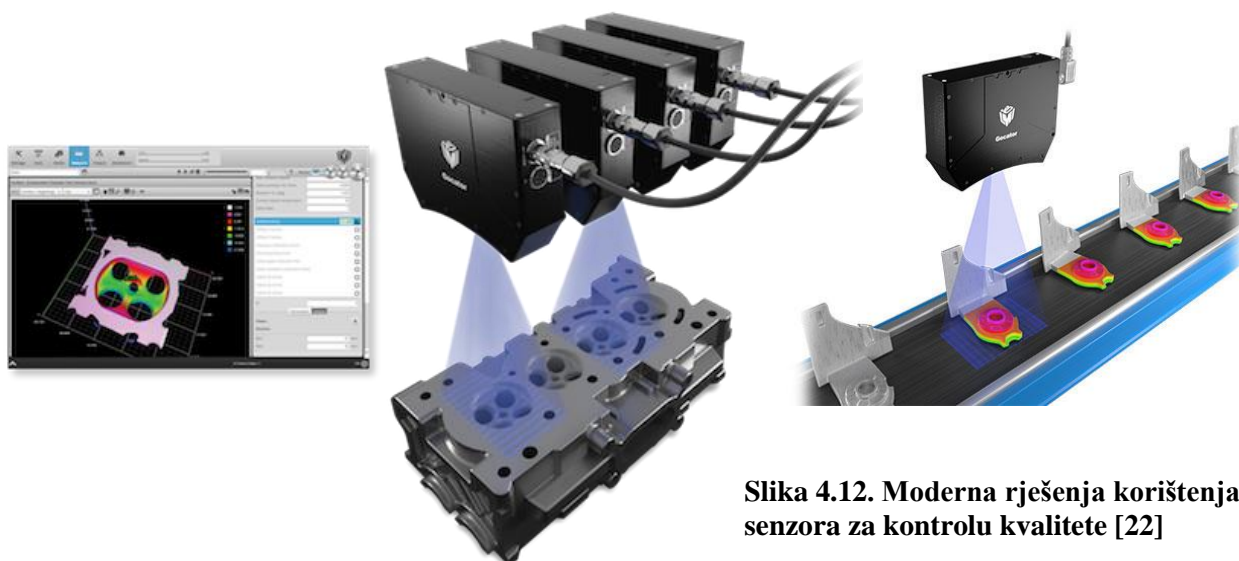
- Definiraj (eng. „Define“) – definiraju se mjere kvalitete koje su bitne kupcu
- Izmjeri (eng. „Measure“) – mjere se definirani ključni dijelovi postojećeg procesa i prikupljaju se relevantni podaci, te se računa sposobnosti postojećeg procesa
- Analiziraj (eng. „Analyze“) – analiziraju se podatci kako bi se izrazio odnos uzroka i posljedica, određuje se povezanost, pokušava se osigurati da su svi utjecajni faktori uzeti u obzir, te se istražuje korijen uzroka grešaka koje se pojavljuju
- Poboljšaj (eng. „Improve“) – poboljšava se trenutni proces prema analiziranim podacima uz pomoć tehnika dizajniranja eksperimenata, „Poka yoke“ tehnike ili standardizacije posla kako bi se stvorio novi, poboljšani, proces kojem se tada testira njegova sposobnost i uspoređuje sa starim
- Kontroliraj (eng. „Control“) – kontrolira se novo stanje procesa kako bi se osiguralo da ne dolazi do pojava grešaka koje su se pokušavale riješiti, implementiraju se statistički kontrolni sustavi, proizvodne ploče, vizualna radna mjesta i proces konstantnog praćenja



Slika 4.11. Vizualizacija DMAIC metode

Danas se koriste mnogi moderni sustavi praćenja kvalitete, koji daju uvid u sve podatke bitne za proizvod, te pomažu bolje organizirati ljude koji se bave kontrolom kvalitete kreirajući rasporede održavanja i dajući pravovremene, bitne i točne informacije o održavanom sustavu. Uz pravi software za kontrolu kvalitete postoje još neki načini reduciranja vremena mjerenja i troškova. Jedan on njih je kreiranje specijaliziranih mjernih uređaja koji su izrađeni za taj određeni proces. Umjesto korištenja pomičnog mjerila da bi se izmjerile sve dimenzije proizvoda, radnicima se daju specijalizirano postavljeni uređaji koji će im pomoći uštedjeti vrijeme i energiju, te time povećati učinkovitost kontrole kvalitete. Još jedan primjer bi bio kreiranje dobre vrste prečaca. Iako se korištenje prečaca često smatra jednim od problema kontrole kvalitete, nisu svi prečaci nužno loši. Identificiranje mjesta gdje se može uštedjeti na vremenu bez nemarnog rezanja uglova i riskiranja propuštanja proizvoda s greškama može biti dobra opcija za sve uključene. Dobar primjer toga bi bio slaganje proizvoda koji su identični jednog na drugi kako bi se otkrile razlike u veličini ili boji puno brže nego pregledavanjem svakog komada posebno. Isto tako važno je identificirati bitne karakteristike dijelova. Neki dijelovi imaju stotine značajki koje bi se mogle mjeriti i kontrolirati, ali takva vrsta kontrole bi oduzimala nepotrebno puno vremena. Pronalazak značajki koje kupac smatra vrijednima i bitnima, te ušteda vremena preskakivanjem detaljnih provjera lako uočljivih grešaka i netoleriranih mjera dovodi do optimalnog odnosa vremena uloženog u kontrolu kvalitete i zadovoljstva krajnjeg kupca.

Moderna sensorika predstavlja brzu, efikasnu i pouzdanu metodu osiguravanja konzistentnog protoka izradaka bez žrtvovanja kvalitete. Ručna mjerenja predstavljaju zamoran posao za koji je potreban visoki stupanj koncentracije, zbog čega je takva kontrola kvalitete podložna greškama. Zahvaljujući razvijanjima u tehnologiji senzora danas se mogu provoditi 2D i 3D mjerenja, na raznim površinama i s integriranom komunikacijom s računalom. [22]



Slika 4.12. Moderna rješenja korištenja senzora za kontrolu kvalitete [22]

5. ANALIZA PROIZVODNIH ČELIJA U TVRTKI FERROIMPEX D.O.O.

Današnje poduzeće Ferroimpex, nastalo je 1976. god. iz male bravarske radionice, koja se bavila proizvodnjom vijaka i opruga. Taj je mali pogon tijekom godina prerastao u radionicu za proizvodnju dijelova za strojeve za tekstilnu industriju. Ferroimpex je danas moderno poduzeće, koje djeluje na hrvatskom i europskom tržištu. S uhodanim timom stručnjaka i više od 360 zaposlenih ostvaruje vrhunske rezultate u zahtjevnoj proizvodnji ležajeva, dijelova za automobilsku, željezničku industriju, industriju-proizvodnja alata i komponente ležajeva za vjetroelektrane. U posljednjih nekoliko godina ulazi u sam vrh hrvatskog gospodarstva. Proizvodni pogoni zauzimaju oko 10.000 m² s čime je završen novi investicijski ciklus. Poduzeće je u 100% privatnom vlasništvu obitelji Legac. [23]



Slika 5.1. Logo poduzeća [23]



Slika 5.2. Proizvodna hala

Svojom orijentiranošću prema zadovoljavanju očekivanja kupca te stalnim ulaganjem u poboljšanje tehnologije i edukaciju osoblja poduzeće ostvaruje kontinuirani i stabilan rast u zahtjevnoj proizvodnji prstena za ležajeve, dijelova za automobilsku i željezničku industriju.

Mogućnosti strojne obrade unutar poduzeća [23]:

- Tokarenje na klasičnim tokarilicama: do \varnothing 264 mm i max. dužine 2000 mm
- Tokarenje na CNC tokarilicama: do \varnothing 250 mm i max. dužine 1000 mm
- Brušenje: plansko 600 x 300 i max. težine izratka 250 kg, kružno vanjsko \varnothing 315 x 1000 i max. težine izratka 150 kg, kružno vanjsko i unutarnje \varnothing 250 x 1000 i max. težine izratka 100 kg, oštrenje do \varnothing 200
- Bušenje do \varnothing 40 i max. dubine 270 mm
- Piljenje do \varnothing 320 i kvadrat 320 x 220 mm
- Glodanje do 2000 x 400 x 300 mm
- Blanjanje do 650 x 640 mm
- Prešanje do 800 kN i hoda 400 mm
- Vulkaniziranje do 500 x 500 mm, 315 bara i 200 °C
- Elektro erozija do 240 x 150 x 140
- Pjeskarenje do 250 kg, 400 x 600 x 700 mm i \varnothing 1250 mm
- Zavarivanje max 580 A i 100 V
- Obrada na obradnom centru 1060 x 610 x 610
- Tvrdo tokarenje
- Poliranje ležajeva-plansko brušenje-brušenje



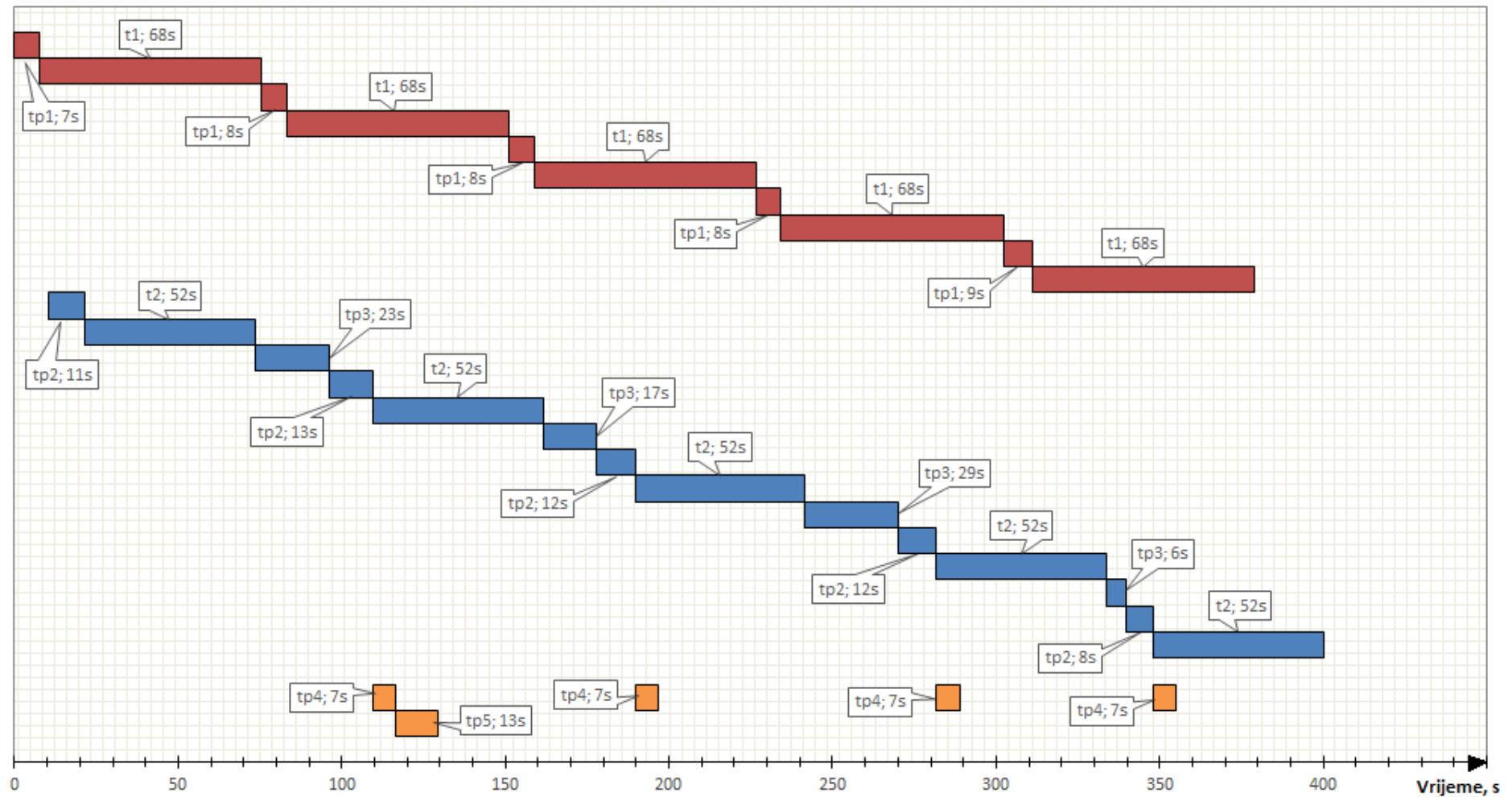
Slika 5.3. Proizvodni program tvrtke Feroimpex [23]

5.1 Trenutno stanje proizvodne ćelije

Proizvodne ćelije su trenutno organizirane tako da jedan radnik stoji između dva NC stroja i primarno je zadužen za stezanje i otpuštanje obratka iz steznih čeljusti, pokretanje obrade i mjerenje toleriranih značajki na završenom izratku. Postupak izrade priprema se uzimanjem dobavljenih otkivaka iz metalnog sanduka i njihovim stavljanjem na stol pored stroja 1. Postupak rada kreće kada se radnik okreće stroju 1, otpušta i vadi iz njega obradak, koji stavlja na stol iza sebe, te stavlja i steže novi otkivak i pokreće njegovu obradu. Dok se obradak obrađuje na stroju 1, radnik se okreće prema stroju 2, otpušta iz njega gotov izradak, te steže obradak već prije obrađen na stroju 1 i pokreće obradu. Izradak izvađen iz stroja 2 radnik tada mjeri s mjernom aparaturom koja se nalazi na stolu pored, te ako je izradak u zadanim tolerancijama stavlja se u metalnu kutiju za gotove proizvode. Radnik se nakon toga opet okreće stroju 1, te se cijeli postupak ponavlja. Radnik se uz to se još bavi korekcijom alata i izmjenom reznih pločica na alatima u revolver glavi, te pazi na sakupljanje strugotine i odvojenih čestica unutar i izvan stroja.



Slika 5.4. Proizvodna ćelija – Linija 3



t1 - vrijeme trajanja operacije 1 ; tp1- pomoćno vrijeme na operaciji 1
 t2 – vrijeme trajanja operacije 2 ; tp2 – pomoćno vrijeme na operaciji 2 ; tp3 – stroj u mirovanju
 tp4 – vrijeme trajanja primarne kontrole kvalitete ; tp5 – vrijeme trajanja sekundarne kontrole kvalitete

SKICA VREMENA RADA NA LINJI 3

Strugotina se transportira konvejerom iz unutrašnjosti stroja u metalne kante izvan stroja, koje kada se napune, se odvoze s viličarom. Mora se paziti da se odvojena čestica ne vrati nazad u sustav i izazove zastoj.



Slika 5.5. Sustav za odvođenje odvojenih čestica iz stroja

Svaki radnik, pored prvog stroja u kojem se obrađuje otkivak, ima stol kako bi mogao iz metalnih sanduka s otkivcima odjednom uzeti više otkivaka i pripremiti ih za lako stavljanje i stezanje u stroj bez potrebe za trošenjem vremena i konstantnim saginjanjem radnika da bi izuzeo otkivak iz sanduka.

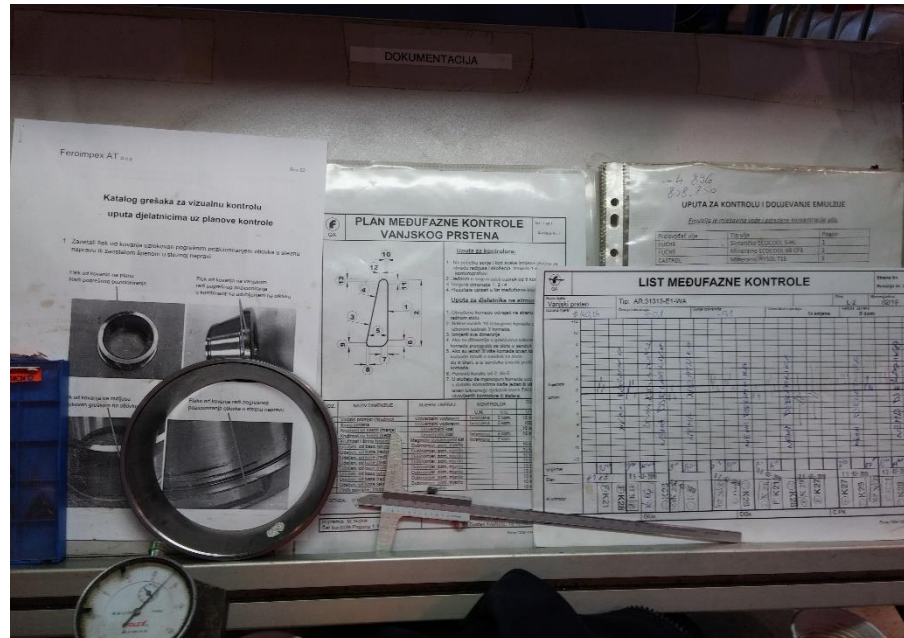


Slika 5.6. Sanduk s otkivcima



Slika 5.7. Stol za pripremu otkivaka

Dokumentacija, koja se daje svakom radniku u ćeliji, sadrži katalog pogrešaka za vizualnu kontrolu, upute djelatnicima uz planove kontrole, plan međufazne kontrole, list međufazne kontrole, list praćenja obrade, upute za dolijevanje emulzije, te kompletan inženjerski nacrt dijela koji se izrađuje. Davanje radniku svih tih uputa osposobljava ga za samostalan rad u ćeliji, te mu daje mu mogućnost samokontrole i samostalnog odlučivanja i napredovanja.



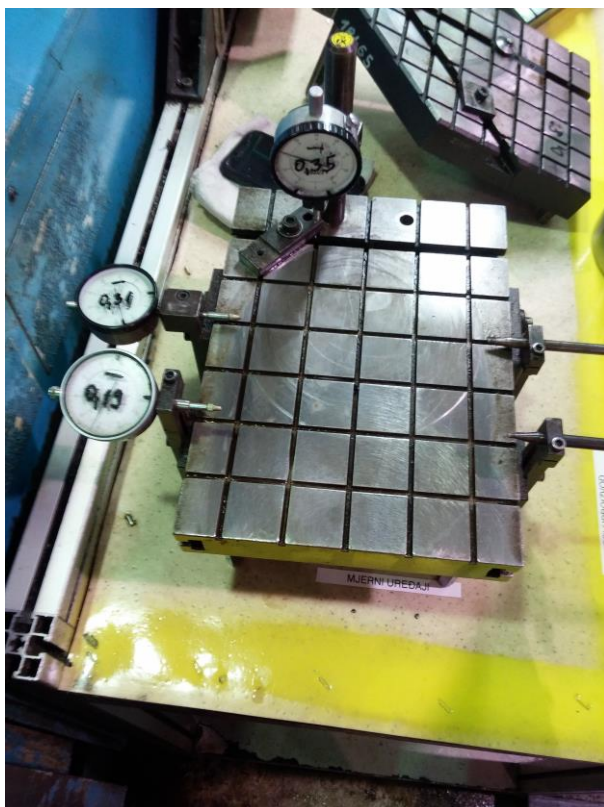
Slika 5.8. Dokumentacija

Prije početka smjene svakom radniku se donosi određeni broj reznih pločica. Radnik sam odlučuje prema kontroliranim parametrima kada je vrijeme za zamjenu pločice. Broj potrebnih pločica se računa prema iskustvenim vrijednostima i normi koju radnik mora zadovoljiti. Taj sistem omogućuje radniku da izvrši brzu zamjenu reznih pločica bez potrebe za hodanjem do skladišta alata i odlaženjem van proizvodne ćelije, čime se povećava učinkovitost radnika i vrijeme rada stroja.



Slika 5.9. Zamjenske pločice

Budući da tvrtka proizvodi dijelove za autoindustriju, jako se velika važnost pridodaje kontroli kvalitete. Svaka radna ćelija ima stol sa svim potrebnim instrumentima za kontroliranje toleriranih značajki. Mjerni uređaji se umjeravaju s dobivenim izratkom savršenih mjera. Radnik neke značajke, prema kontrolnoj karti, mjeri na svakom izratku, dok neke značajke mjeri na svakom trećem izratku kako bi se uštedjelo vrijeme. Svaki je radnik zaslužen za kontrolu kvalitete u svojoj ćeliji, što dovodi do osjećaja samoodgovornosti.



Slika 5.11. Mjerni uređaj



Slika 5.10. Postupak mjerenja

Izratci koji ne zadovoljavaju tolerirane vrijednosti stavljaju se ispod stola u posude označene za dvije vrste izradaka. U prvu posudu stavljaju se nepopravljivi izratci koji predstavljaju škart, dok se u drugu posudu stavljaju izratci čijom se dodatnom obradom mjere još uvijek mogu dovesti u tolerirane vrijednosti.



Slika 5.12. Posude za doradu i škart

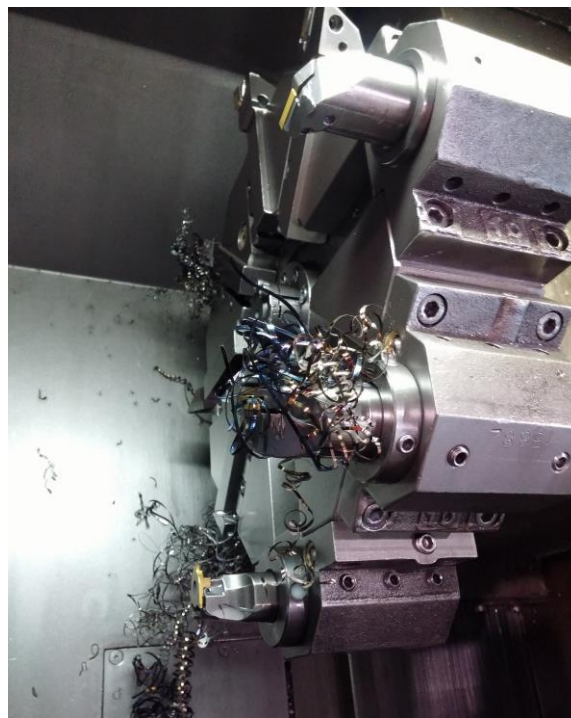
5.2 Opažanja i moguća poboljšanja postojećih ćelija

Najveći problem poduzeću i cjelokupnoj produktivnosti tvrtke predstavlja nekvalificirana uvezena radna snaga. Naime, nakon odlaska velikog broja iskusnih zaposlenika iz proizvodnog pogona, uprava se odlučila na uvoz radne snage iz drugih, manje razvijenih, zemalja. Budući da većina tih radnika ne zna hrvatski niti engleski, komunikacija postaje velika prepreka rješavanju nastajućih problema. Ti radnici prolaze obuku od nekoliko mjeseci rada s mentorom, te nakon toga nastavljaju samostalni rad u ćeliji. Mnogi problemi se javljaju zbog neiskustva i neškolovanosti tih radnika, te zbog njihove nepažnje i niske motiviranost.

Kao što je već prije spomenuto, jedan od glavnih zadataka radnika u ćeliji je briga o odvojenoj čestici koja se mora s kompresorskim pištoljem otpuhivati sa stezne glave i alata na revolverskoj glavi, te joj se mora omogućiti nesmetano odvođenje iz sustava. Odvojena čestica je dugačka zbog programa obrade koji stavlja važnost na brzinu izvedbe, zato se posebna pažnja mora pridonijeti njenom odvođenju izvan sustava. Neiskusni radnici znaju zaboraviti otpuhati odvojenu česticu s reznog alata, zbog čega može doći do negativnih posljedica na kvalitetu izratka. Uz to iskusni radnici znaju koliko često moraju provjeriti kolika je visina odvojenih čestica u metalnoj kanti, te ako je visina visoka sabiti ih s lopatom, dok neiskusni radnik zna zaboraviti na taj dio zbog čega dolazi do ponovnog ulaska odvojene čestice ispod konvejera i mogućnosti zastoja stroja, što smanjuje vrijeme rada i produktivnost ćelije.



Slika 5.14. Ulazak odvojene čestice ispod konvejera



Slika 5.13. Zadržavanje odvojene čestice na reznoj oštirci

Nadalje, neki od strojeva u proizvodnom pogonu imaju andon svijetla, dok drugi nemaju. Uvođenje andon svijetla na strojeve koji je nemaju omogućuje bolju preglednost procesa i pravovremeno reagiranje na zahtjeve za pomoć na stroju. Isto tako preporuča se uvođenje andon ekrana koji radniku daje informacije o trenutnom stanju sustava i pomaže mu u boljem planiranju redoslijeda izvođenja zadataka i kretanja u radnoj ćeliji.



Slika 5.15. Stroj bez andon sustava



Slika 5.16. Stroj s modernim andon sustavom

Urednost radnog mjesta isto tako predstavlja jedan od načina uštede vremena, vrijeme koje se gubi zbog traženja pravog alata ili određene dokumentacije predstavlja gubitke u efikasnosti rada. Dok su neka radna mjesta jako dobro uređena s provedenom 5S metodom, neka od njih nisu održavana u tom stanju, te su neuredna i nepregledna. Sva radna mjesta moraju se dovesti u prvobitno organizirano stanje i održavati takvima.



Slika 5.17. Neurednost radnog mjesta

U trenutnom rasporedu ćelije sanduci s otkivcima i gotovim proizvodima, koji se dovoze viličarom, postavljeni su na tlo, zbog čega se radnici moraju saginjati kako bi izuzeli otkivke iz spremnika i postavili gotove izratke u spremnik. U cilju sprječavanja neprirodnih i nespretnih saginjanja, te ispunjavanja ergonomskih zakona, preporučuje se podizanje metalnih sanduka na visinu od oko pola metara.



Slika 5.19. Trenutna pozicija spremnika



Slika 5.18. Preporučena visina spremnika za lakše izuzimanje otkivka

Prema izgledu i boji tekućine koja služi za hlađenje i podmazivanje alata i obratka, te odvođenje odvojenih čestica tijekom obrade, vidi se da nije mijenjana već dugo vremena. Kada se tekućine za hlađenje i podmazivanje ne mijenjaju dovoljno dolazi do povećanog trošenja alata i stvaranja dodatne topline koja može dovesti do deformacije obratka.



Slika 5.20. Loše stanje emulzije

Konzole od NC strojeva su dosta masivne, te budući da se radnicima ne dopušta nikakva promjena režima rada, dobra odluka sa stajališta organizacije bi bila omogućavanje konzoli da se povuče na mjesto pored stroja, te da se ugradi produžetak gumba za pokretanje rada stroja i dovede se do optimalnijeg mjesta na stroju.



Slika 5.21. Konzola NC stroja

Budući da, kako je već rečeno, kontrola kvalitete predstavlja jako bitan dio proizvodnje i rada radnika, a na većini radnih mjesta se nalazi velik broj mjernih instrumenata koje radnik sam mora namještati prema dobivenom idealnom izratku, dobra odluka bi bila zapošljavanje radnika koji se specijaliziraju za kontrolu kvalitete, te davanje zadataka namještanja mjernih uređaja tim ljudima, kako bi se smanjila mogućnost krivog kalibriranja instrumenata i rasteretilo radnika od nepotrebnog gubitka vremena koje se događa zbog potrebe za namještanjem mjernih uređaja, čime bi se povećao broj proizvedenih komada u smjeni.

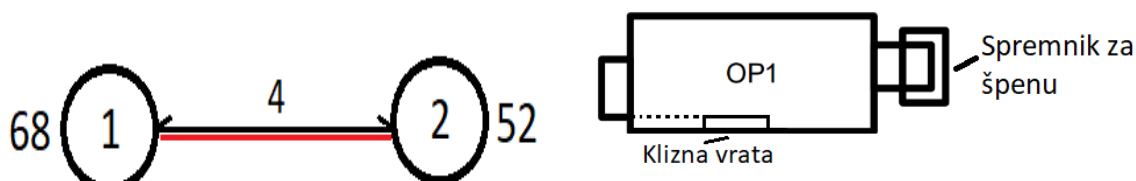


Slika 5.22. Velik broj mjernih uređaja unutar jedne ćelije

5.3 Produktivnost ćelije u raznim konfiguracijama strojeva i ljudi

Brojevi kraj strelica označuju vrijeme hodanja između stanica, dok brojevi pored kruga označavaju vrijeme strojne obrade na stroju. Pomoćna vremena su 15 sekundi na svakom stroju (vađenje, stezanje i pokretanje). Pretpostavlja se sedam sati čistog rada u smjeni. Za svaki izradak uzima se 10 sekundi u prosjeku za kontrolu kvalitete.

Trenutnu konfiguraciju ćelije predstavljaju dva stroja sa jednim radnikom:



Slika 5.23. Skica korištenih strojeva

Slika 5.24. Trenutna konfiguracija

Konfiguracija 1. Jedan radnik u ćeliji sa dva nasuprotno postavljena stroja

Vrijeme ciklusa ćelije = CT = Max (ciklus radnika, ciklus najdulje strojne obrade)

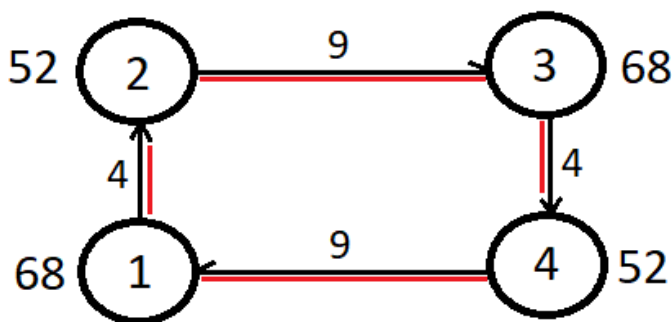
$$CT_{\text{radnik}} = 2 \cdot 4 + 2 \cdot 15 + 10 = 48 \text{ sekundi/proizvodu}$$

$$CT_{\text{najdulje obrade}} = 68 + 15 = 83 \text{ sekunde/proizvodu}$$

$$\text{Kapacitet ćelije} = \frac{7 \cdot 60 \cdot 60 \text{ sekundi}}{83 \text{ sek/proizvod}} \approx 303 \text{ proizvoda/smjeni}$$

Povećanjem broja strojeva na 4 dobivaju se dvije moguće konfiguracije:

Kod pravokutne konfiguracije strojeva nije moguće njihovo bliže postavljenje zbog spremnika za špenu koji se uvijek nalazi na desnoj strani stroja.



Slika 5.25. Ćelija sa četiri stroja postavljena u obliku kvadrata

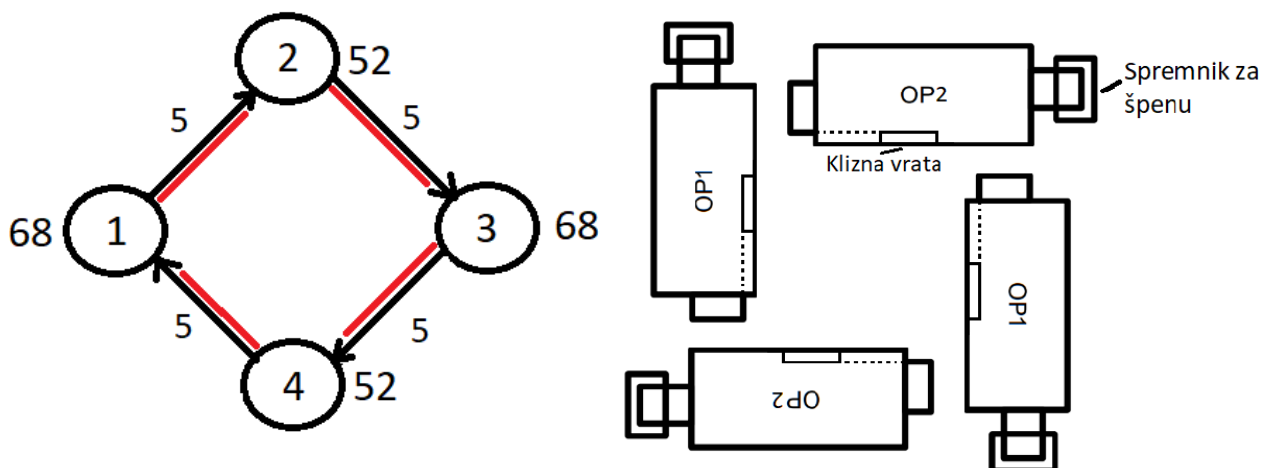
Konfiguracija 2. Ćelija sa četiri kvadratno postavljena stroja

Vrijeme ciklusa ćelije = CT = Max (ciklus radnika, ciklus najdulje strojne obrade)

$$CT_{\text{radnik}} = 2 \cdot (4+9) + 4 \cdot 15 + 2 \cdot 10 = 106 \text{ sekundi/ za 2 proizvoda} = 53 \text{ sekunde/proizvodu}$$

$$\text{Kapacitet ćelije} = 2 \cdot \frac{7 \cdot 60 \cdot 60 \text{ sekundi}}{106 \text{ sek/proizvod}} \approx 475 \text{ proizvoda/smjeni}$$

U ovoj konfiguraciji, ćelija s dva radnika ima kapacitet od $2 \cdot 303 = 606$ proizvoda/smjeni



Slika 5.26. Čelija sa četiri stroja postavljena u oblik dijamanta

Kod konfiguracije u obliku dijamanta, smanjuje se srednje vrijeme kretanja između strojeva zbog mogućnosti „sakrivanja“ spremnika sa špenu (uz još uvijek ostavljanje dovoljnog prostora između strojeva za prolaz do njega).

Konfiguracija 3. Čelija s četiri stroja postavljena u oblik dijamanta

Vrijeme ciklusa ćelije = CT = Max (ciklus radnika, ciklus najdulje strojne obrade)

Kada je jedan radnik:

$$CT_{\text{radnik}} = 4 \cdot 5 + 4 \cdot 15 + 2 \cdot 10 = 100 \text{ sekundi/ za 2 proizvoda} = 50 \text{ sekundi/proizvodu}$$

$$CT_{\text{najdulje obrade}} = 68 + 15 = 83 \text{ sekunde/proizvodu}$$

$$\text{Kapacitet ćelije} = \frac{7 \cdot 60 \cdot 60 \text{ sekundi}}{50 \text{ sek/proizvod}} = 504 \text{ proizvoda/smjerni}$$

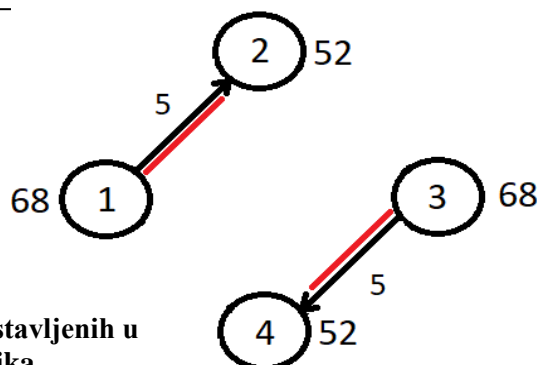
Kada su dva radnika:

$$CT_{\text{radnik}} = 2 \cdot 5 + 2 \cdot 15 + 10 = 50 \text{ sekundi/proizvodu}$$

$$CT_{\text{najdulje obrade}} = 68 + 15 = 83 \text{ sekunde/proizvodu}$$

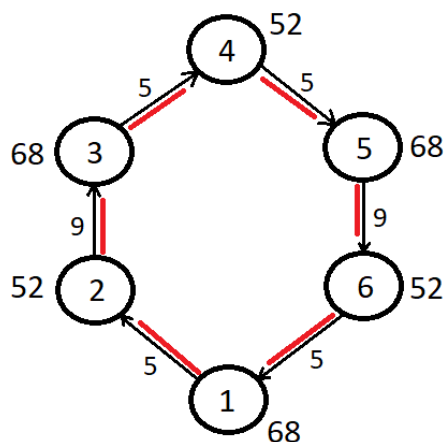
$$\text{Kapacitet ćelije} = 2 \cdot \frac{7 \cdot 60 \cdot 60 \text{ sekundi}}{83 \text{ sek/proizvod}} \approx 606 \text{ proizvoda/smjerni}$$

Kao i u konfiguraciji 2, i u ovoj konfiguraciji se stavljanjem dva radnika u ćeliju efektivno radni prostor dijeli na dvije ćelije, ali uz prednost osigurane blizine radi lakše mogućnosti međusobnog pomaganja radnika.

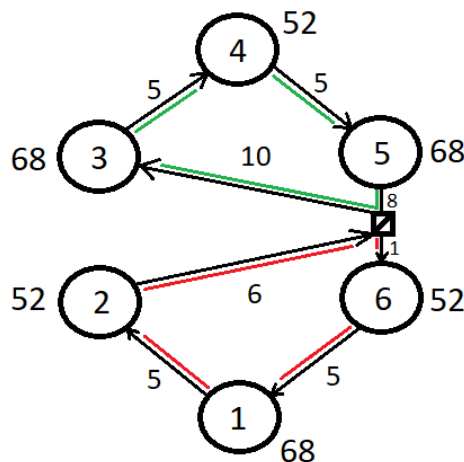


Slika 5.27. Čelija sa četiri stroja postavljenih u oblik dijamanta i dva radnika

Iz gornjeg primjera se vidi prednost postavljanja strojeva u dijamantni oblik, te se prema tome preporuča jedan oblik ćelije sa 6 strojeva:



Slika 5.28. 6 strojeva - 1 radnik



Slika 5.29. 6 strojeva - 2 radnika

Konfiguracija 4. Ćelija sa šest strojeva postavljena u oblik šesterokuta

Kada je jedan radnik u ćeliji:

$$CT_{\text{radnik}} = 4*5 + 9*2 + 6*15 + 3*10 = 158 \text{ sekundi/ za 3 proizvoda} \approx 53 \text{ sekunde/proizvodu}$$

$$Kapacitet \text{ ćelije} = \frac{7 * 60 * 60 \text{ sekundi}}{53 \text{ sek/proizvod}} \approx 475 \text{ proizvoda/smjeni}$$

Kada su dva radnika u ćeliji:

$$CT_{\text{radnik1}} = 2*5 + 6 + 1 + 3*15 + 2*10 = 82 \text{ sekundi/krugu} \approx 55 \text{ sekundi/proizvodu}$$

$$CT_{\text{radnik2}} = 2*5 + 10 + 8 + 3*15 + 10 = 83 \text{ sekundi/krugu} \approx 55 \text{ sekundi/proizvodu}$$

$$CT_{\text{najdulje obrade}} = 68 + 15 = 83 \text{ sekunde/proizvodu}$$

$$Kapacitet \text{ ćelije} = 3 * \frac{7 * 60 * 60 \text{ sekundi}}{83 \text{ sek/proizvod}} \approx 909 \text{ proizvoda/smjeni}$$

Kada su tri radnika u ćeliji:

$$CT_{\text{radnik1,2}} = 2*(5+15) + 10 = 50 \text{ sekundi/proizvodu}$$

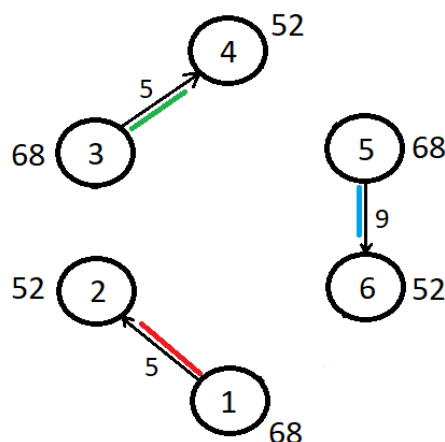
$$CT_{\text{radnik3}} = 2*(9+15) + 10 = 58 \text{ sekundi/proizvodu}$$

$$CT_{\text{najdulje obrade}} = 68 + 15 = 83 \text{ sekunde/proizvodu}$$

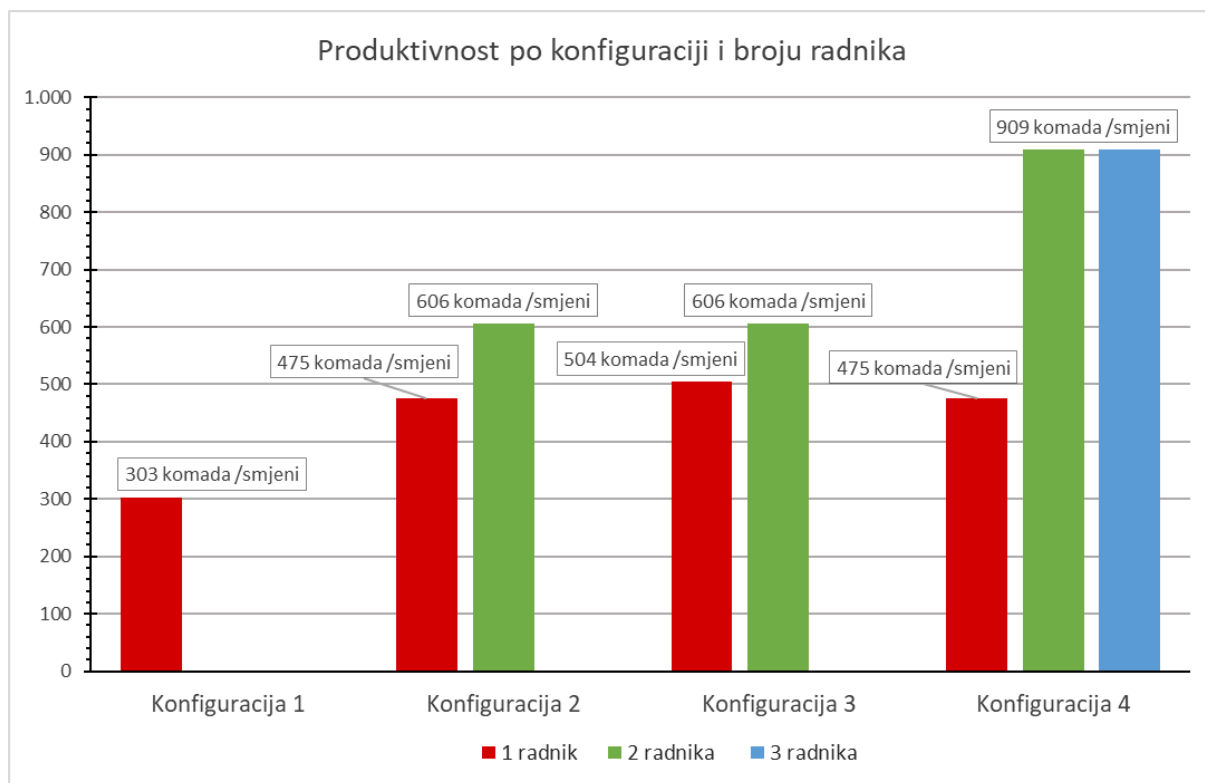
$$Kapacitet \text{ ćelije} = 3 * \frac{7 * 60 * 60 \text{ sekundi}}{83 \frac{\text{sek}}{\text{proizvod}}}$$

$$Kapacitet \text{ ćelije} \approx 909 \text{ proizvoda/smjeni}$$

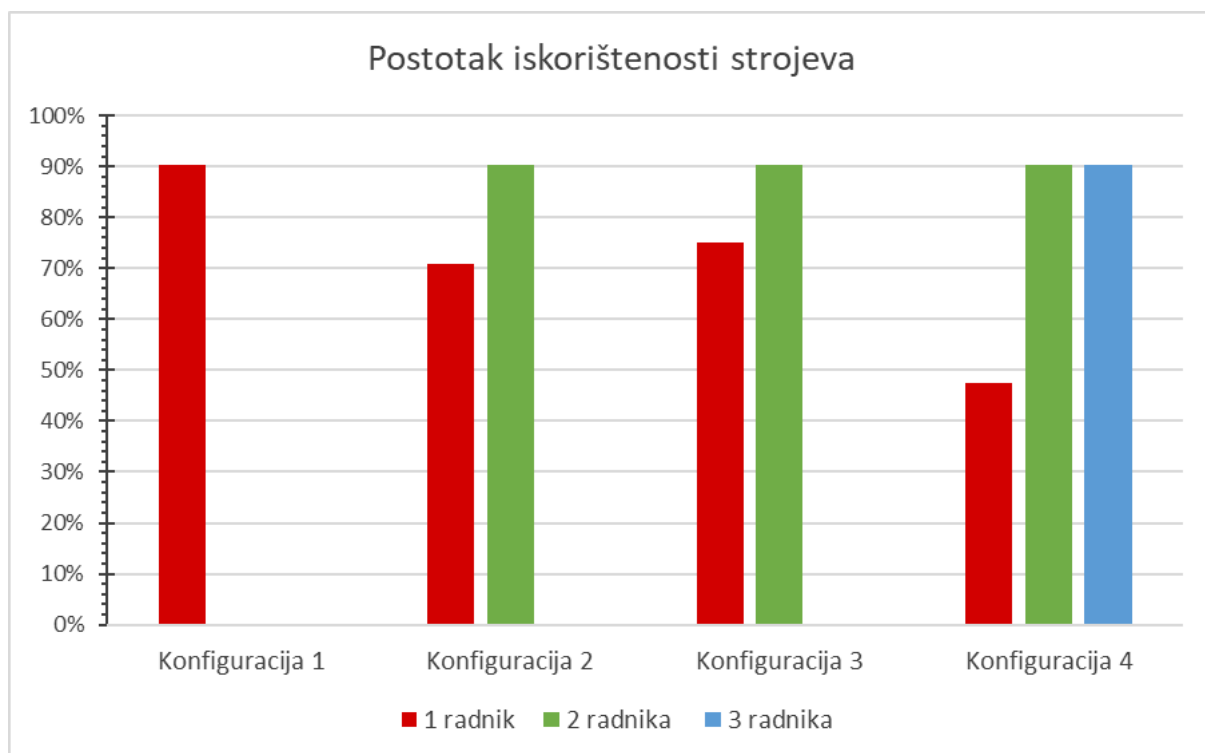
Dodavanjem trećeg radnika se ćelija efektivno dijeli na tri zasebne ćelije u kompaktnijem rasporedu.



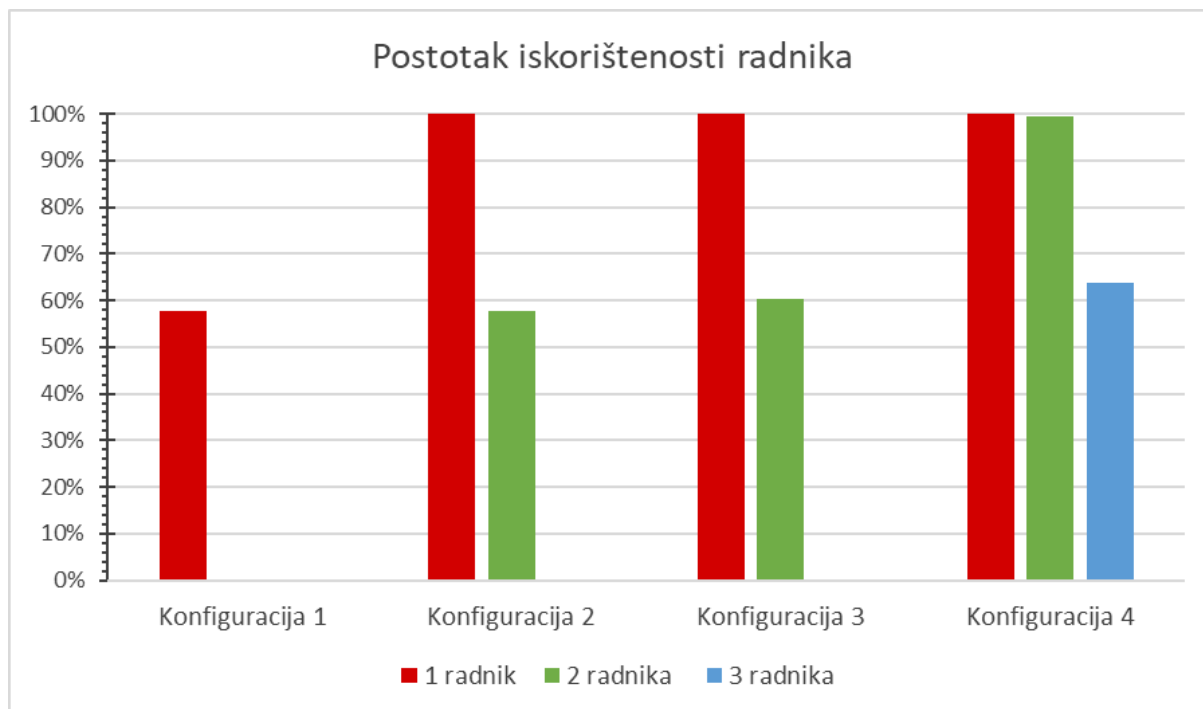
Slika 5.30. 6 strojeva - 3 radnika



Slika 5.31. Graf produktivnosti po konfiguracijama



Slika 5.32. Graf iskorištenosti strojeva



Slika 5.33. Graf iskorištenosti radnika

Prema grafu produktivnosti [slika 5.30], lako se može uvidjeti da se direktnim povećavanjem broja strojeva i radnika kroz konfiguracije proporcionalno povećava produktivnost s 303 na 606 i 909 proizvoda po smjeni. Ipak rješenja ćelija s više strojeva imaju dodatnu prednost fleksibilnosti unutar ćelije, budući da se broj radnika u ćeliji lako mijenja u ovisnosti o potražnji. Uz to radnici unutar ćelije se mogu mijenjati na raznim poslovima, kako bi se međusobno rasteretili monotonog rada, te imaju mogućnost međusobno si pomagati ako dođe do neplaniranih problema ili zastoja. Sve to dovodi do bolje motiviranosti i zadovoljstva radnika, te bržeg i kvalitetnijeg obrazovanja novih radnika za rad u ćeliji, što direktno utječe na dugoročnu efektivnost i efikasnost rada.

Zbog režima rada i vremena obrade na strojevima, teorijski maksimalna iskoristivost strojeva je 90,4%. Takva efikasnost se postiže u ćelijama gdje stroj predstavlja usko grlo u ciklusu proizvodnje tj. u ćelijama gdje je radnik dovoljno brz da mora čekati da stroj završi obradu prije nego što može izvaditi obrađeni i staviti novi obradak. Zbog toga, u tim konfiguracijama ćelija iskorištenost radnika varira na oko 60%. Iznimka je slučaj u konfiguraciji 4 [slika 5.28], s dva radnika, gdje je iskorištenost stroja maksimalnih 90,4% uz iskorištenost radnika od čak 99,4%.

Maksimalna teorijska efikasnost radnika je 100%, te se ona događa u konfiguracijama strojeva i ljudi u kojima ima takav broj strojeva da radnik ne stigne napraviti cijeli ciklus prije nego stroj završi sa svojom operacijom. Takvi slučajevi se pojavljuju u svim konfiguracijama s jednim radnikom, osim u konfiguraciji 1 [slika 5.23]. U konfiguracijama s 4 stroja, ako je iskorištenost radnika 100%, iskorištenost stroja je oko 73%, a u konfiguraciji sa 6 strojeva samo 48%.

Trenutna konfiguracija strojeva u poduzeću (konfiguracija 1 [slika 5.23].) predstavlja slabu iskorištenost radnika, te kompletnu nefleksibilnost i nemogućnost iskorištavanja brojnih prednosti ćelija s barem dva radnika. Ako se želi broj strojeva u ćeliji povećati s 2 stroja na 4, najbolju opciju predstavlja konfiguracija 3 [slika 5.25], tj. četiri stroja postavljenih u oblik dijamanata, zbog toga što iako ima istu produktivnost s dva radnika kao ćelija konfiguracije 2 [slika 5.24], konfiguracija 3 ima malo bolju produktivnost i iskorištenost strojeva kada samo jedan radnik radi sam u ćeliji.

Jako bitan dio određivanja optimalnog rasporeda strojeva ima samo stanje u poduzeću. Ako poduzeće raspolaže s dovoljnim brojem zaposlenika i ograničenim brojem strojeva, optimalno rješenje će predstavljati konfiguracija koja još uvijek ima dobar omjer fleksibilnosti i produktivnosti, ali će se najveća važnost stavljati na iskorištenost nabavljenih strojeva. Nasuprot tome ako poduzeće raspolaže s velikim brojem već amortiziranih strojeva i malim brojem radnika, optimalno rješenje predstavljat će ono koje, opet uz dobar omjer produktivnosti i efektivnosti, postiže najveću iskoristivost tog manjeg broja zaposlenih radnika, budući da je bolje da strojevi miruju u nekom postotku, nego da se kompletno na njima ne događa nikakvo dodavanje vrijednosti proizvodima.

Kada se uzme u obzir sve spomenuto, uz informaciju da poduzeće Feroimpex ima nedovoljan broj kvalitetnih zaposlenika i dovoljan broj strojeva, najbolje rješenje za takvu situaciju je konfiguracija 4 [slika 5.28]. Takva konfiguracija sa 6 strojeva ima odličnu produktivnost od 909 komada/smjeni, u idealnim uvjetima, sa samo dva radnika, uz odličnu teorijsku iskorištenost radnika od 99,4% i maksimalnu iskorištenost strojeva. Uz to nudi sve fleksibilnosti i prednosti ćelija sa više radnika. Nadalje, konfiguracija zadržava još uvijek dobru produktivnost od 475 komada/smjeni s jednim iskusnim radnikom i posjeduje mogućnost lakog dodavanja trećeg neiskusnog radnika, čime produktivnost ostaje ista kao i s dva radnika, ali se smanjuje opterećenost operatera kako bi se olakšalo kretanje u rad za nove radnike, te kako bi se moglo više vremena odvojiti za njegovo obrazovanje i uvježbavanje.

6. ZAKLJUČAK

Proizvodnja u ćelijama predstavlja moderan način proizvodnje koji kombinira glavne prednosti linijske i komadne proizvodnje kako bi u malim, srednjim i velikim serijama, s visokom fleksibilnošću proizvodnog programa, kupcu isporučio kvalitetan proizvod u pravo vrijeme. Unutar ćelije koriste se mnogi Lean alati, poput 5S metode, analize uskog grla, standardizacije posla, analize vremena takta i pravovremene proizvodnje, kako bi se smanjili gubitci i povećala produktivnost i fleksibilnost cjelokupnog proizvodnog procesa.

Kod dizajniranja radnog mjesta bitno je na umu imati ergonomiju. Budući da je u ćeliji radnik taj o kome najviše ovisi količina i kvaliteta izrađenih dijelova, važno je osigurati mu najugodnije uvjete za rad. Smanjivanjem nepotrebnih kretanja i dizanja teških tereta, te integracijom računala i automatskih strojeva za rješavanje monotonih zadataka, omogućuje se radniku da zadrži visoku razinu koncentracije i motiviranosti kroz trajanje cijele smjene. Kada je radnik koncentriran i motiviran brže uči posao i stječe nova znanja, te samim time bolje uočava i ispravlja greške koje se događaju u procesu izrade, te tako povećava proizvedenu količinu i kvalitetu gotovog proizvoda.

Kod uvođenja proizvodnih ćelija u postojeći pogon, jako je bitno prije provesti što detaljniju analizu svih mogućih konfiguracija strojeva, s raznim rasporedom strojeva i brojem ljudi, te, budući da često niti jedna opcija nije savršena, odlučiti koja konfiguracija najbolje zadovoljava posebne zahtjeve i trenutne situacije u poduzeću. Kao najbolja opcija često se uzima konfiguracija koja nudi visoku fleksibilnost u odnosu na potražnju, te uključivanje u rad više od jednog čovjeka po ćeliji kako bi se iskoristio mentalitet grupe, koji dovodi do povećanja osjećaja odgovornosti, i pomaže u bržem uvježbavanju novih radnika.

U radu su se navela mnoga manja poboljšanja trenutne situacije rada u proizvodnim ćelijama tvrtke Feroimpex d.o.o.. Ipak, kao glavno rješenje, budući da tvrtka Feroimpex ima nedovoljan broj iskusnih radnika i velik broj neiskorištenih kapaciteta strojeva, uz probleme s niskom obrazovanom, neuvježbanom radnom snagom, predložila se konfiguracija proizvodne ćelije koja ima izuzetno visoku produktivnost i iskorištenost vremena radnika i stroja, kada na njoj rade dva radnika. Uz to, predložena ćelija je vrlo fleksibilna zato što ostvaruje dobru produktivnost kada je potražnja manja i na njoj radi jedan radnik, te omogućuje manje opterećen rad, uz još uvijek dobru produktivnost, kada se u ćeliji nalaze tri radnika, time omogućavajući lakšu i kvalitetniju poduku neiskusnim radnicima.

LITERATURA

- [1] <https://www.referenceforbusiness.com/know/manufacturing.html> (pristup 7.2.2019)
- [2] <https://www.referenceforbusiness.com/Cellular-Manufacturing.html> (pristup 7.2.2019)
- [3] <http://www.amia-systems.com/what-is-cellular-manufacturing/> (pristup 7.2.2019)
- [4] <https://www.whatissixsigma.net/cellular-manufacturing/> (pristup 7.2.2019)
- [5] <https://www.whatissixsigma.net/flow-line-manufacturing/> (pristup 7.2.2019)
- [6] <https://www.whatissixsigma.net/job-shop-manufacturing/> (pristup 7.2.2019)
- [7] Kunica, Zoran: Projektiranje proizvodnih sustava – Predavanja
- [8] <https://searcherp.techtarget.com/definition/lean-production> (pristup 11.2.2019)
- [9] <https://theleanway.net/The-8-Wastes-of-Lean> (pristup 11.2.2019)
- [10] <http://leansixsigmadefinition.com/glossary/5s/> (pristup 11.2.2019)
- [11] Štefanić, Nedjeljko: Osnove menadžmenta - Predavanja
- [12] <https://www.leanproduction.com/top-25-lean-tools.html> (pristup 11.2.2019)
- [13] <https://www.creativesafetysupply.com/articles/bottleneck-analysis/> (pristup 13.2.2019)
- [14] <http://leanmanufacturingtools.org/just-in-time-jit-production/> (pristup 13.2.2019)
- [15] http://www.ijcrm.com/publish_article/edition_8/IJCRM_2148.pdf (pristup 14.2.2019)
- [16] <https://www.allaboutlean.com/line-layout-i-s-u-l-lines/> (pristup 11.2.2019)
- [17] <http://web.utk.edu/~kkirby/IE527/Ch10.pdf> (pristup 15.2.2019)
- [18] http://www.strategosinc.com/downloads/lean_ergonomics-dl1.pdf (pristup 15.2.2019)
- [19] <https://goleansixsigma.com/dmaic-phases-of-lean-six-sigma/> (pristup 15.2.2019)
- [20] <https://www.processexcellencenetwork.com/what-is-takt-time> (pristup 16.2.2019)
- [21] <https://www.graphicproducts.com/quality-control> (pristup 16.2.2019)
- [22] <https://www.qualitymag.com/articles/sensor-technology> (pristup 16.2.2019)
- [23] http://feroimpex.hr/?page_id=3410&lang=hr-2 (pristup 18.2.2019)

PRILOZI

I. CD-R disc