

# Poboljšavanje proizvodnih procesa

---

**Bister, Ivan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2015**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:878905>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Ivan Bister**

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić, dipl. ing.

Student:

Ivan Bister

Zagreb, 2015.

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

Zahvaljujem se prof.dr.sc. Nedeljku Štefaniću na stručnoj pomoći i savjetima prilikom izrade ovog rada, kao i asistentu Miri Hegediću, mag.ing.mech.

Najviše se zahvaljujem svojim roditeljima na podršci svih ovih godina, a rad posvećujem njima, sestri i nećaku te mojoj Martini.

Ivan Bister



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:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivan Bister** Mat. br.: 0035163577

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **POBOLJŠAVANJE PROIZVODNIH PROCESA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **IMPROVING OF PRODUCTION PROCESSES**

Opis zadatka:

Upravljanje proizvodnjom jedan je od nasloženijih poslova u poduzeću koji zahtijeva primjenu suvremenih proizvodnih modela, metoda i tehnika proizvodnog menadžmenta kako bi se ispunili zahtjevi kupca po pitanju rokova, kvalitete i cijene. Na efikasnost proizvodnih procesa značajno utječu i druge funkcijske jedinice u poduzeću poput nabave, prodaje, logistike, skladištenja, distribucije i drugih. U literaturi se mogu pronaći dva pristupa upravljanja proizvodnjom: push i pull.

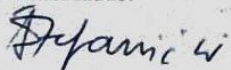
U radu je potrebno:

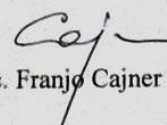
1. Definirati i opisati vrste proizvodnji s obzirom na vrstu i količinu proizvedenih jedinki.
2. Sistematizirati funkcijske zavisnosti kojima se prati trošenje resursa poduzeća.
3. Sistematizirati i detaljno objasniti principe vitke proizvodnje a posebno pri tome razjasniti push i pull principe.
4. Prilikom poboljšavanja postojećeg načina odvijanja proizvodnih procesa navesti alate koji se pri tome koriste. Posebno je potrebno detaljno razraditi Kanban sustav.
5. Na proizvoljno odabranom primjeru iz prakse, primijeniti vitke alate za pronalaženje poboljšanog načina odvijanja proizvodnje. Potrebno je razraditi i sustav kvantificiranja poboljšavanja parametara procesa.

Zadatak zadan:  
7. svibnja 2015.

Rok predaje rada:  
9. srpnja 2015.

Predvideni datum obrane:  
15., 16., 17. srpnja 2015.

Zadatak zadao:  
  
Prof.dr.sc. Nedeljko Štefanić

Predsjednik Povjerenstva:  
  
Prof. dr. sc. Franjo Cajner

**SADRŽAJ**

POPIS SLIKA .....	9
POPIS TABLICA.....	11
SAŽETAK .....	12
SUMMARY .....	13
1 UVOD .....	14
2 PROIZVODNJA.....	15
2.1 Pojedinačna proizvodnja .....	17
2.2 Masovna proizvodnja.....	19
2.2.1 Kruta masovna proizvodnja .....	19
2.2.2 Fleksibilna masovna proizvodnja.....	20
2.3 Procesna proizvodnja .....	21
2.4 Usporedba pojedinačne, masovne i vitke proizvodnje .....	23
3 VITKA PROIZVODNJA.....	24
3.1 Osam tipova rasipanja u proizvodnji .....	25
3.2 Osnovni principi vitke proizvodnje .....	28
3.2.1 Vrijednost .....	28
3.2.2 Lanac vrijednosti.....	29
3.2.3 Proizvodni tok.....	32
3.2.4 PULL sustav .....	33
3.2.5 Perfekcija .....	36
4 METRIKA PROIZVODNJE.....	38

---

4.1	Produktivnost.....	38
4.2	Kapacitet .....	39
4.3	Iskoristivost .....	40
4.4	Efikasnost .....	41
4.5	Efikasnost ciklusa procesa .....	41
4.6	Propusnost .....	42
4.7	Studij slučaja – izračun lean metrike .....	43
4.8	Pouzdanost .....	47
4.9	Rad u procesu .....	47
4.10	Dnevna potražnja za proizvodima (tip 4 i 6).....	48
4.11	Ukupna količina zaliha u danima .....	48
4.12	Ukupno vrijeme obrade.....	49
4.13	Ciklus proizvodnje.....	49
4.14	Pouzdanost sustava .....	50
4.15	Takt proizvodnje.....	50
4.16	Kapacitet procesa.....	51
4.17	Vodeće vrijeme.....	52
5	PULL SUSTAV .....	53
5.1	Nadopunjavajući pull sustav .....	53
5.2	Sekvencijalni pull sustav.....	54
5.3	Mješoviti pull sustav .....	55
6	KANBAN.....	57
6.1	Uvod u kanban.....	57

---

6.2	Svrha kanbana .....	58
6.3	Tipovi kanbana .....	58
6.3.1	Kanban za planiranje protočnih procesa.....	59
6.3.2	Signalni kanban za planiranje serijskih procesa .....	60
6.3.3	Međuprocesni kanban za internu uporabu.....	61
6.3.4	Kanban za dobavljače.....	62
6.3.5	Privremeni kanban .....	63
6.4	Kanban u kombinaciji .....	64
7	HEIJUNKA .....	66
7.1	Podrijetlo heijunke.....	66
7.2	Niveliranje proizvodnje s obzirom na količinu proizvoda.....	67
7.3	Niveliranje proizvodnje s obzirom na vrstu proizvoda.....	68
8	PRIMJER UVOĐENJA PULL SUSTAVA.....	70
8.1	Analiza lanca vrijednosti.....	70
8.2	Kaizen aktivnosti .....	72
8.3	Usklađivanje proizvodnje s potražnjom.....	74
8.3.1	Koje proizvode držati u skladištu gotovih proizvoda, a koje proizvode proizvoditi samo po narudžbi? .....	74
8.3.2	Koliko komada svakog proizvoda držati u skladištu gotovih proizvoda?...75	
8.3.3	Na koji način organizirati i upravljati skladištem gotovih proizvoda? .....	77
8.4	Proizvodnja po taktu .....	80
8.4.1	Koji proces će davati takt cijelom lancu vrijednosti? .....	80
8.4.2	Na koji način nivelirati proizvodnju?.....	80



8.4.3 Na koji način prenijeti potražnju za proizvodima kako bi se ostvario pull sustav? .....	84
9 SIMULACIJE KAO ALAT ZA POBOLJŠAVANJE PROIZVODNIH PROCESA .....	86
10 ZAKLJUČAK.....	100
11 LITERATURA.....	101

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Proizvodnja kao proizvodni sustav .....	16
Slika 2. Odnos proizvodnje prema njezinoj okolini .....	17
Slika 3. Pojedinačna proizvodnja .....	18
Slika 4. Fordova proizvodna linija .....	20
Slika 5. Fleksibilna masovna proizvodnja u automobilskoj industriji .....	21
Slika 6. Rafinerija nafte .....	22
Slika 7. Osam tipova rasipanja u proizvodnji .....	25
Slika 8. Pet osnovnih principa vitke proizvodnje.....	28
Slika 9. Lanac vrijednosti .....	30
Slika 10. Odnos između aktivnosti koje dodaju vrijednost i onih koje ne dodaju vrijednost...31	
Slika 11. Prikaz proizvodnje u serijama .....	34
Slika 12. PULL – proizvodnja teče u toku.....	35
Slika 13. Proizvodni sustav u kojem idući u procesu povlači od prethodnog u procesu .....	36
Slika 14. Kontinuirana, mala poboljšanja.....	37
Slika 15. Primjer proizvodne linije za izračun efikasnosti ciklusa procesa.....	42
Slika 16. Mapa trenutnog stanja .....	46
Slika 17. Prikaz uskog grla u proizvodnji.....	51
Slika 18. Nadopunjavajući pull sustav .....	54
Slika 19. Sekvencijalni pull sustav .....	55
Slika 20. Mješoviti pull sustav .....	56
Slika 21. Tipovi kanbana .....	59
Slika 22. Kanban za planiranje protočnih procesa .....	60
Slika 23. Trokutasti kanban .....	61
Slika 24. Međuprocetni kanban .....	62
Slika 25. Kanban za dobavljače .....	63
Slika 26. Proizvodni i transportni kanban u kombinaciji .....	64
Slika 27. Signalni i transportni kanban u kombinaciji .....	65
Slika 28. Primjer Heijunke.....	67
Slika 29. Niveliranje proizvodnje prema vrsti proizvoda.....	69
Slika 30. Dijagram toka aktivnosti koje prethode odluci o uvođenju pull sustava .....	70
Slika 31. Početno stanje .....	71

---

Slika 32. Tipovi Kaizen aktivnosti .....	72
Slika 33. Stanje nakon kaizen aktivnosti .....	73
Slika 34. Prednosti i mane različitih pull sustava.....	75
Slika 35. Primjer skladišta gotovih proizvoda .....	76
Slika 36. 5S .....	78
Slika 37. Prije i poslije primjene alata 5S.....	78
Slika 38. Obrazac za praćenje stanja na skladištu .....	79
Slika 39. Primjer brze izmjene alata primjenom SMED metodologije .....	82
Slika 40. Heijunka s 9 – minutnim intervalom .....	84
Slika 41. Stanje nakon uvođenja pull sustava .....	85
Slika 42. Prikaz proizvodnog modela za simulaciju .....	87
Slika 43. Postavke entiteta .....	88
Slika 44. Postavke isporuka matičnih ploča .....	88
Slika 45. Postavke aktivnosti .....	89
Slika 46. Postavke transporta materijala između operacija u lancu vrijednosti.....	90
Slika 47. Postavke radnika .....	90
Slika 48. Postavke simulacije.....	91
Slika 49. Postavke različitih scenarija simulacije .....	92
Slika 50. Izvođenje simulacije .....	93
Slika 51. Prikaz glavnog izvještaja u Output Viewer-u.....	94
Slika 52. Ploča s rezultatima .....	95
Slika 53. Izvještaj o proizvodima .....	96
Slika 54. Izvještaj o aktivnostima .....	97
Slika 55. Izvještaj o radnicima .....	98

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Usporedba pojedinačne, masovne i vitke proizvodnje.....	23
Tablica 2. Osam tipova rasipanja u proizvodnji.....	26
Tablica 3. Osnovni podaci o poduzeću Premier Manufacturing Inc. ....	45
Tablica 4. Primjer izračuna rada u procesu.....	47
Tablica 5. Izračun ukupne količine zaliha u danima .....	48
Tablica 6. Primjer izračuna ukupnog vremena obrade .....	49
Tablica 7. Primjer izračuna ciklusa proizvodnje .....	50
Tablica 8. Primjer pouzdanosti procesa.....	50
Tablica 9. Primjer izračuna vodećeg vremena .....	52
Tablica 10. Izračun zaliha u skladištu gotovih proizvoda .....	76
Tablica 11. Izračun pitch-a .....	82
Tablica 12. Izračun broja intervala.....	83
Tablica 13. Izračun broja intervala za grupe proizvoda A, B i C.....	83

## SAŽETAK

U ovom radu je dana definicija proizvodnje kao temeljne ljudske gospodarske djelatnosti te su nabrojani i opisani različiti tipovi proizvodnje s obzirom na vrstu i količinu proizvedenih jedinki. Poseban naglasak je dan na opis vitke proizvodnje, rasipanja unutar procesa te na uvođenje pull sustava, jedan od pet osnovnih principa vitke proizvodnje. Detaljno su opisane kanban kartice za davanje proizvodnih i transportnih uputa i heijunka za niveliranje proizvodnje kao neophodne sastavnice pull sustava unutar vitke proizvodnje. Na kraju rada je dan primjer simulacije u proizvodnji kao alat u poboljšavanju proizvodnih procesa.

Ključne riječi: Proizvodnja, Vitka proizvodnja, Pull sustav, Kanban, Heijunka, Simulacija

## **SUMMARY**

This thesis gives an overview of manufacturing as basic human economic activity and description of different types of manufacturing regarding the quantity and type of produced items. Special emphasis is placed on the description of lean manufacturing, wastes within the processes and on the implementation of pull system, one of the five basic principles of lean manufacturing. Required components of pull system within lean manufacturing (kanban cards for production and parts withdrawal instructions and heijunka for production leveling) are described in detail. Finally, the example of simulation in manufacturing was given as a tool to improve manufacturing processes.

Keywords: Manufacturing, Lean manufacturing, Pull system, Kanban, Heijunka, Simulation

## 1 UVOD

Današnji poslovni svijet prati velika konkurentnost na globalnoj razini i da bi poduzeće opstalo u takvom okruženju, potrebno je iskoristiti sve resurse koji su nam na raspolaganju. U svakoj proizvodnji javljaju se određene vrste gubitka poput prekomjerne proizvodnje, transporta, škarta, nepotrebnih radnji i zaliha, previše informacija, zastoja i drugih. Svaki gubitak značajno utječe na brzinu odvijanja proizvodnje što poduzeće čini manje konkurentnim na današnjem tržištu.

Upravo se vitka proizvodnja uspješno dokazala u rješavanju spomenutih problema i gubitaka, kako u proizvodnji tako i u uslužnim poduzećima. Ta japanska proizvodna filozofija u potpunosti je promijenila današnju automobilsku industriju, počevši od moćne japanske korporacije Toyote koja je danas svjetski lider u automobilskoj industriji i najveći proizvođača automobila na svijetu za razliku od razdoblja nakon II. svjetskog rata kada je uvelike zaostajala za američkim poduzećima poput Forda. Osim u automobilskoj industriji, vitka proizvodnja se uspješno dokazala i u javnim službama poput bolnica gdje su postignute značajne uštede, zatim u bankama i osiguravajućim društvima i tako dalje. Mogućnosti primjene principa vitke proizvodnje su praktično bezbrojne.

U prvom dijelu rada dana je definicija proizvodnje kao temeljne ljudske gospodarske djelatnosti te vitke proizvodnje kao proizvodne filozofije koja kada je implementirana skraćuje vrijeme od narudžbe do isporuke gotovog proizvoda, pritom eliminirajući sve izvore rasipanja u procesu. Zatim je dan slikovni prikaz osam gubitaka koji se mogu javiti unutar proizvodnje te su opisani svi principi na kojima počiva vitka proizvodnja.

U drugom dijelu rada detaljno je obrađen pull sustav kao neizostavan dio svake vitke proizvodnje. Opisane su i slikovno prikazane sve varijacije pull sustava te su nabrojane njihove prednosti i mane. Detaljno su obrađeni različiti tipovi kanban kartica, kao i njihova svrha, te je sve dokumentirano slikama i primjerima. Također, opisana je i heijunka kao alat za niveliranje proizvodnje.

Na kraju rada dan je primjer korištenja simulacije kao alata koji nam omogućava da brzo i efikasno dođemo do određenih spoznaja o proizvodnji te da na temelju tih spoznaja provedemo poboljšavanja unutar proizvodnih procesa.

## 2 PROIZVODNJA

Proizvodnja roba i/ili usluga je temeljna ljudska djelatnost te je svakako najzaslužnija za materijalno bogatstvo društva u cjelini. Države koje imaju jaku proizvodnju, ponajprije onu industrijsku poput Njemačke na primjer, su one države i čiji građani uživaju najveći životni standard na svijetu.

U literaturi ćemo naići na razne definicije proizvodnje, no ukratko možemo reći da proizvodnja podrazumijeva pretvaranje određenih inputa u određene outpute. Dr. Ivan Santini u svojoj knjizi „Mikroekonomika“ definirao je proizvodnju na sljedeći način:

„Proizvodnja je svrshodna ljudska djelatnost sastavljena od niza proizvodnih aktivnosti u kojoj se inputi odnosno faktori proizvodnje kroz programirani tehnološki proces transformiraju u outpute odnosno u proizvode i usluge pogodne i prikladne za zadovoljavanje potreba potrošača“<sup>1</sup>.

Vrste korištenih inputa mijenjaju se zavisno o industriji, a promjena tehnologije prilikom procesa transformacije može dovesti i do promjene proizvedenih outputa.

S obzirom na važnost proizvodnje možemo zaključiti da je upravljanje proizvodnjom jedan od najznačajnijih i najsloženijih poslova unutar poduzeća. Roger G. Schroeder upravljanje proizvodnjom definira kao „studij donošenja odluka u funkciji proizvodnje“<sup>2</sup>. Tu se prvenstveno misli na odluke koje se tiču proizvodnih procesa, zaposlenika, kvalitete i kapaciteta. Kvalitetno upravljanje proizvodnjom neophodno je kako bi se ispunili svi zahtjevi kupaca po pitanju rokova, cijene proizvoda i njihove kvalitete.

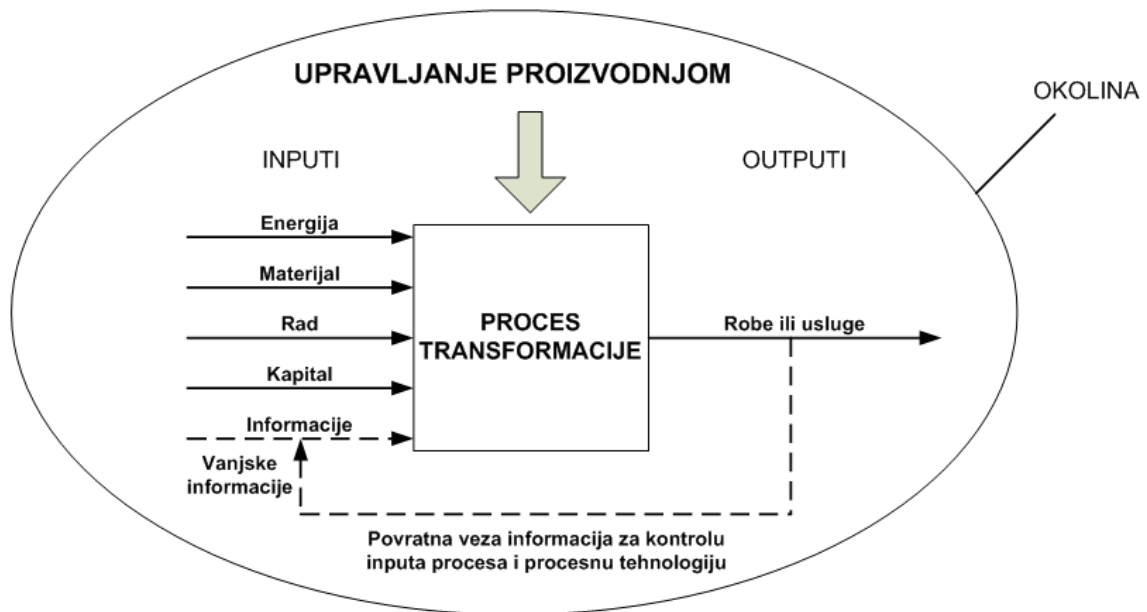
Na slici 1. dan je prikaz proizvodnog sustava.

---

<sup>1</sup> Ivan Santini: Mikroekonomika, Hibis d.o.o., Centar za ekonomski consulting, 2004.

<sup>2</sup> Roger G. Schroeder: Upravljanje proizvodnjom: Odlučivanje u funkciji proizvodnje, MATE d.o.o., Zagreb, 1999.



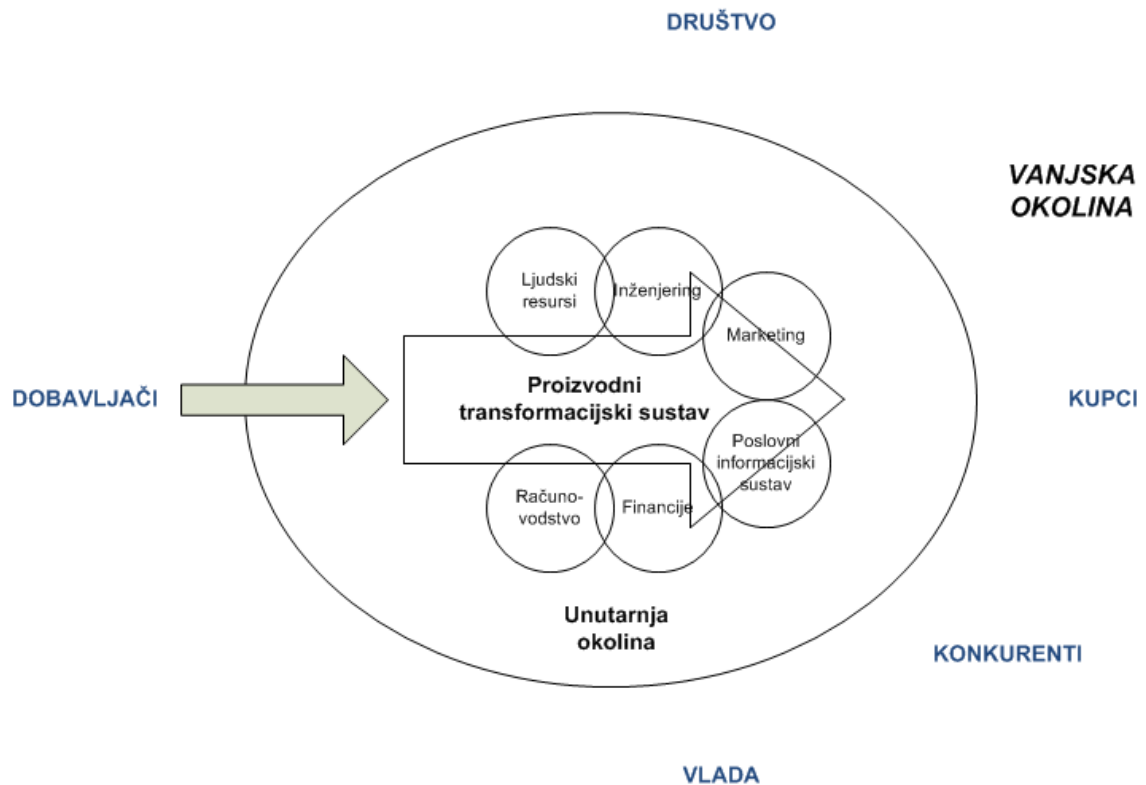


Slika 1. Proizvodnja kao proizvodni sustav<sup>3</sup>

Proizvodni transformacijski sustav u stalnoj je interakciji sa svojom unutarnjom i vanjskom okolinom što može dovesti do odgovarajućih promjena u proizvodnim inputima, outputima ili transformacijskom sustavu. Upravljanje proizvodnjom stoga uključuje i kontinuirano nadgledanje sustava i okoline.

Na slici 2. dan je prikaz odnosa proizvodnje prema njezinoj okolini.

<sup>3</sup> Roger G. Schroeder: Upravljanje proizvodnjom: Odlučivanje u funkciji proizvodnje, MATE d.o.o., Zagreb, 1999.



Slika 2. Odnos proizvodnje prema njezinoj okolini<sup>4</sup>

Proizvodnja se s obzirom na vrstu i količinu proizvedenih jedinica dijeli na sljedeće tipove:

- Pojedinačna ili maloserijska proizvodnja
- Masovna odnosno velikoserijska proizvodnja
- Procesna proizvodnja

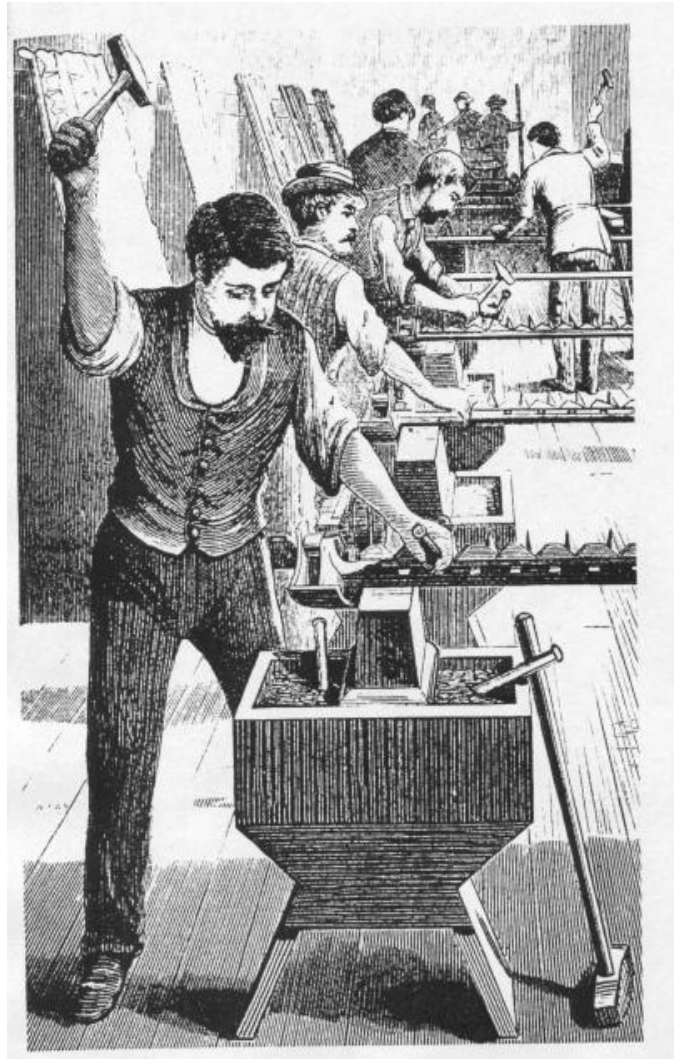
## 2.1 Pojedinačna proizvodnja

Povijesno gledano najstariji tip proizvodnje u obliku raznih obrta ili zanata i koja je u najvećoj mjeri ovisila o vještini radnika.

Kod ovog tipa proizvodnje svaki proizvod ima atribut originalnosti i proizvodi se prema narudžbi. Danas se ovom vrstom proizvodnje proizvode visokospecijalizirani proizvodi kao

<sup>4</sup> Roger G. Schroeder: Upravljanje proizvodnjom: Odlučivanje u funkciji proizvodnje, MATE d.o.o., Zagreb, 1999.

što su energetske transformatori, parne turbine, brodovi i slično. U pravilu je radno intenzivna i veoma zahtjevna naspram visokokvalificiranog rada što ne znači da se ne koristi određena standardizirana oprema. Ovaj tip proizvodnje nema veliku efikasnost te je ona u odnosu prema drugim tipovima proizvodnje na najnižoj razini.



Slika 3. Pojedinačna proizvodnja<sup>5</sup>

Karakteriziraju je:

- Izrada prema zahtjevima kupaca
- Svaki proizvod je različit

<sup>5</sup> Štefanić N., Tošanović. N: Lean proizvodnja, Zavod za industrijsko inženjerstvo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2013.

- Visokokvalificirani radnici
- Nestalna kvaliteta
- Male zalihe
- Veliki troškovi

## **2.2 Masovna proizvodnja**

Poslovni sustav razvijen u ranom 20. stoljeću za organiziranje i upravljanje razvojem proizvoda, proizvodnih operacija, nabave i odnosa s kupcima. Karakteriziraju je:

- Podjela poslova na „one koji misle“ i „one koji rade“
- Velike serije
- Mala raznolikost
- Niski troškovi i cijena proizvoda
- Zamjenjivi dijelovi
- Velike zalihe
- Visok stupanj automatizacije
- Kruta hijerarhija
- Sekvencijalna proizvodnja
- Neredovita isporuka sirovina, materijala i poluproizvoda u velikim količinama
- Prognoze u planiranju proizvodnje koje se često pokazuju pogrešnim što dovodi do guranja proizvoda kupcima kako bi se ispraznile zalihe

Masovnu proizvodnju možemo podijeliti na:

- Krutu masovnu proizvodnju
- Fleksibilnu masovnu proizvodnju

### **2.2.1 Kruta masovna proizvodnja**

Najbolje ju opisuje izjava Henryja Forda koji je rekao da „Potrošač može imati automobil u bilo kojoj boji dok je on crne boje“.

Krutu masovnu proizvodnju prati visok stupanj standardizacije rada i svih procesa unutar organizacije. Ona uključuje visoka kapitalna ulaganja u opremu i tehnologiju kojom se dolazi do velikih količina proizvoda. Potrebna je visoka razina znanja i iskustva prilikom projektiranja tehnološkog procesa te u održavanju radne sposobnosti tehničkog sustava za razliku od radnika u proizvodnji koji su većinom niže stručne osposobljenosti. Poduzeća koja imaju krutu masovnu proizvodnju moraju uvjetovati kupcima da prilagode svoj ukus i potrebe uskom asortimanu proizvodnje. Jedino uz taj uvjet ovaj tip proizvodnje može polučiti visoku razinu proizvodne, a time i ekonomske efikasnosti.



Slika 4. Fordova proizvodna linija<sup>6</sup>

### 2.2.2 Fleksibilna masovna proizvodnja

Fleksibilna masovna proizvodnja je poboljšanje krute masovne proizvodnje koje se sastoji u tome da se proizvodi velika količina proizvoda koji nisu standardne kvalitete i standardne vrste. Mercedes, na primjer, u proizvodnji glavnih komponenti vozila (motor, šasija, kočnice i slično) ima tzv. krutu masovnu proizvodnju, a u fazama finalizacije svojih vozila provodi i pruža bogatu diverzifikaciju, tj. nudi proizvode prilagođene ukusima i preferencijama brojnim i raznovrsnim grupama potrošača kojima je svojstvena nejednaka i

<sup>6</sup> <http://www.ford.ie/AboutFord/CompanyInformation/Heritage/TheEvolutionOfMassProduction>

veoma disperzirana kupovna snaga. Zbog te svoje fleksibilnosti ovaj se tip proizvodnje sve više nameće i postaje snažno prisutan u velikim industrijskim poduzećima koja postižu veoma visoku proizvodnu, a time i ekonomsku efikasnost.



Slika 5. Fleksibilna masovna proizvodnja u automobilskoj industriji<sup>7</sup>

### 2.3 Procesna proizvodnja

Procesna proizvodnja koristi jedinstvenu tehnologiju kojom određeni opseg inputa u sustav transformira u predvidljivi opseg outputa sustava. Rezultirajući gotovi proizvodi kreću se uzlaznom ljestvicom tehnološke obrađenosti i služe zadovoljavanju različitih potreba proizvodne i završne potrošnje. U tom pogledu rafinerije nafte, farmaceutske tvrtke, itd. predstavljaju prikladne primjere. Sustav procesne proizvodnje je visoko mehaniziran i automatiziran što podrazumijeva velika kapitalna ulaganja. Po svojoj prirodi je vrlo efikasan jer radi 24 sata na dan kroz čitavu godinu osim u vrijeme održavanja. Iz tog razloga ne iznenađuje činjenica da procesna proizvodnja rezultira s vrlo velikom proizvodnom, a time i ekonomskom efikasnosti.

<sup>7</sup> <http://www.nytimes.com/2013/07/16/business/last-car-plant-brings-detroit-hope-and-cash.html?pagewanted=all>



Slika 6. Rafinerija nafte<sup>8</sup>

<sup>8</sup> <http://www.ina.hr/default2.aspx?id=352&gal=1440>

## 2.4 Usporedba pojedinačne, masovne i vitke proizvodnje

Tablica 1. Usporedba pojedinačne, masovne i vitke proizvodnje<sup>9</sup>

	Pojedinačna proizvodnja	Masovna proizvodnja	Vitka proizvodnja
<b>Fokus</b>	Zadatak	Proizvod	Kupac
<b>Aktivnost</b>	Pojedinačni proizvodi	Velike količine	Sinkronizirani tok i povlačenje
<b>Cilj</b>	Vještina	Smanjenje troškova i povećavanje efikasnosti	Eliminiranje gubitaka i dodavanje vrijednosti proizvodu
<b>Kvaliteta</b>	Dio vještine (integrirana)	Kontrola (faza nakon proizvodnje)	Ugrađena u proizvod u fazi konstrukcije i proizvodnje
<b>Poslovna strategija</b>	Prilagođavanje korisniku	Ekonomija obujma i automatizacija	Fleksibilnost i prilagodljivost
<b>Poboljšanja</b>	Konstantan rad na poboljšavanju vještine	Periodično i ciljana edukacija stručnjaka	Kontinuirano usavršavanje zaposlenika

<sup>9</sup> Štefanić N., Tošanović. N: Lean proizvodnja, Zavod za industrijsko inženjerstvo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2013.



### 3 VITKA PROIZVODNJA

Vitka proizvodnja je japanska proizvodna filozofija koja kada je implementirana skraćuje vrijeme od narudžbe kupca do isporuke gotovog proizvoda, eliminirajući sve izvore rasipanja, odnosno gubitaka (eng. waste, jap. muda) u proizvodnom procesu.

Vitka proizvodnja nam omogućava da odredimo točnu vrijednost proizvoda iz perspektive kupca, posložimo sve aktivnosti koje dodaju vrijednost u najboljem mogućem redoslijedu te da provedemo te aktivnosti bez smetnji kad god se ukaže potreba za njima, što dovodi do znatnog povećanja efikasnosti svih procesa u poduzeću. Ukratko, vitka proizvodnja nam omogućava da ostvarimo više toga uz manje ljudskog rada, manje opreme, manje vremena i manje prostora, istovremeno se približavajući željama kupaca.

Pojam „*Lean Production*“, odnosno vitka proizvodnja, široj publici je predstavljen u knjizi „*The Machine That Changed the World*“ autora J.P. Womack-a i D.T. Jones-a, koja je bila rezultat analize za američku automobilsku industriju u cilju pronalaženja ključa uspjeha japanskih proizvođača, u prvom redu Toyote.

Iako se pojam „*Lean*“ najčešće veže uz proizvodnju i proizvodne procese, ova japanska filozofija uspješno se dokazala i u uslužnim poduzećima te se može adekvatno primijeniti u svim poslovnim procesima današnjih poduzeća kao i u odnosima s dobavljačima.

Može se definirati kao pristup poslovanju koji zapošljava široko osposobljene i educirane radnike, podržava rad u međufunkcionalnim timovima, koristi moderne komunikacijske sustave, njeguje partnerstvo s dobavljačima i/ili podizvođačima te koristi visokofleksibilne automatizirane strojeve za proizvodnju raznovrsnih proizvoda. Koncept vitke proizvodnje podrazumijeva širenje poslova i zadaća zaposlenika do maksimuma te jačanje njihove odgovornosti. To je u potpunoj suprotnosti s repetitivnom proizvodnjom kod koje se uveliko smanjuje odgovornost zaposlenika i njihova potreba za razmišljanjem sve u cilju kako bi se posao pojednostavio do maksimuma.

Vitka proizvodnja je vrlo zahtjevna što se tiče zaposlenika, strojeva i reorganizacije rada, dok s druge strane osigurava približavanje savršenstvu u proizvodnji i ukupnom poslovanju. Vitka poduzeća su se dokazala kao nositelji u svakoj grani industrije u kojima su djelovala.

Vitka proizvodnja omogućava da proizvodimo više proizvoda koristeći manje ljudskog truda, strojeva, vremena i prostora istovremeno pružajući kupcima upravo ono što trebaju i žele. Osim povećanja produktivnosti, pozitivni efekti vitke proizvodnje očituju se i u kvaliteti te raznovrsnosti proizvoda što omogućava visoko zadovoljstvo kupaca ponuđenim.

„*Vitkost*“ zapravo predstavlja način poslovanja u kojem radimo prave stvari na pravom mjestu u pravo vrijeme i u pravim količinama uz minimiziranje škarta, veliku fleksibilnost i otvorenost promjenama. Stalno usmjeravanje prema savršenstvu očituje se u konstantnom smanjivanju troškova, principu nula pogrešaka, nula zaliha i raznovrsnosti proizvoda.

### 3.1 Osam tipova rasipanja u proizvodnji







Slika 7. Osam tipova rasipanja u proizvodnji<sup>10</sup>

<sup>10</sup> <https://goleansixsigma.com/8-wastes/>

Tablica 2. Osam tipova rasipanja u proizvodnji<sup>11</sup>

RASIPANJE	OPIS I PRIMJERI
 <p>Škart</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prekid toka zbog grešaka, nepotrebna vremena, troškovi i prostor za analizu i otklanjanje grešaka</li> <li>• Defektni proizvodi, nepotpune, netočne, nepravodobne informacije i sl.</li> </ul>
 <p>Prekomjerna proizvodnja</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stvaranje proizvoda koji se ne mogu plasirati na tržištu</li> <li>• Izvođenje operacija koje nisu neophodne</li> <li>• Stvaranje dokumentacije koju nitko ne zahtijeva ili koja se kasnije uopće neće koristiti (prekomjerna administracija)</li> <li>• Loše predviđanje (procjena) prodaje, tj. zahtjeva tržišta</li> <li>• Slanje uputa prema previše ljudi (ili obratno)</li> <li>• Proizvodnja „za svaki slučaj“</li> </ul>
 <p>Čekanje</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vrijeme čekanja materijala između operacija, čekanje radnika na strojevima ili na materijal (loše planiranje proizvodnje). Potrebno je detaljno proučiti pokrete u operacijama, sinkronizirati i ujednačiti proizvodnju</li> <li>• Čekanje na podatke, rezultate testova, informacije, odluke, potpis, odobrenje i sl.</li> <li>• Čekanje na isporuku (kasni sirovina i sl.)</li> </ul>
 <p>Neiskorišteni potencijali</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne uključivanje svih zaposlenika te njihovih znanja i vještina u poslovnim i proizvodnim procesima</li> <li>• Ljudi su ključan resurs</li> </ul>

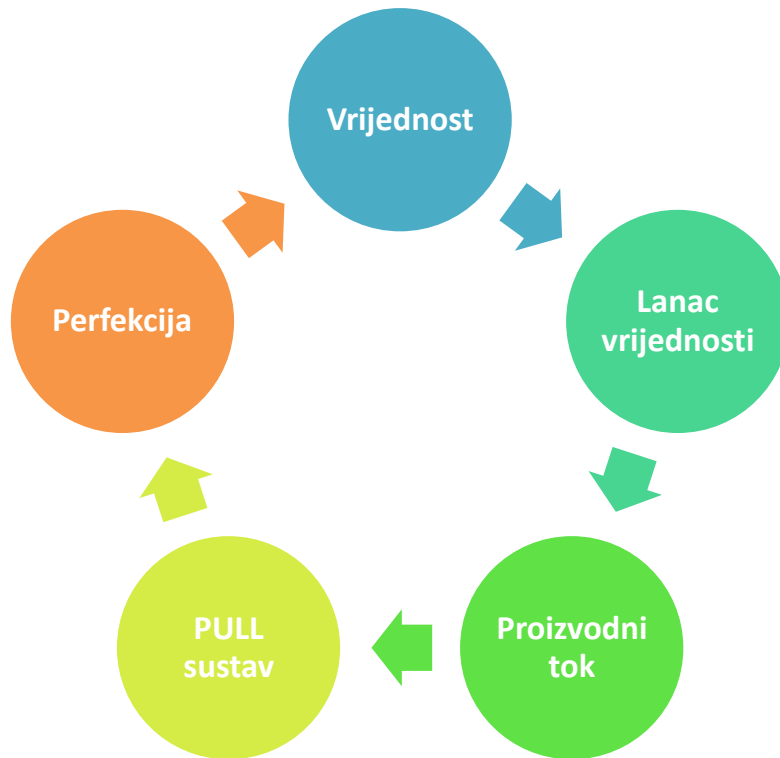
<sup>11</sup> Štefanić N., Tošanović. N: Lean proizvodnja, Zavod za industrijsko inženjerstvo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2013.

 <p>Transport</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nepotrebno kretanje materijala (obradaka) između operacija ili između skladišnih površina</li> <li>• Korištenje starih, neučinkovitih layouta (eng. layout – raspored, razmještaj) kretanja materijala. Potrebno napraviti racionalnije layoute ili bolji međusobni raspored pojedinih operacija (npr. radna stanica)</li> <li>• Neučinkovit transport informacija</li> <li>• Neuspješna komunikacija: gubitak podataka, nekompatibilnost, nepouzdanost informacija</li> </ul>
 <p>Zalihe</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visoke zalihe povezane su s prekomjernom proizvodnjom (zamrznuti kapital u skladištima)</li> </ul>
 <p>Nepotrebni pokreti</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Loš raspored strojeva – nepotrebno gibanje radnika</li> <li>• Ljudi se trebaju micati kako bi došli do informacija</li> <li>• Ručni rad kako bi se kompenzirali neki nedostaci u procesu proizvodnje</li> </ul>
 <p>Prekomjerna obrada</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Predimenzionirani strojevi, kriva ili nedostajuća tehnološka oprema, pripremno-završno vrijeme, čišćenje između obrade</li> <li>• Previše procesa obrade</li> <li>• Predetaljna obrada</li> <li>• Loša konstrukcija proizvoda, koja zahtijeva previše koraka obrade (prekompleksan proizvod)</li> </ul>

Eliminacijom gubitaka unaprijeđuje se kvaliteta proizvodnje, a smanjuje se vrijeme proizvodnje, kao i troškovi poslovanja.

### 3.2 Osnovni principi vitke proizvodnje

Prema autorima knjige „Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation“, Jamesu P. Womack-u i Danielu T. Jones-u, vitka proizvodnja se temelji na sljedećih 5 principa:



Slika 8. Pet osnovnih principa vitke proizvodnje

#### 3.2.1 Vrijednost

Ključna polazišna točka vitke proizvodnje je vrijednost. Vrijednost se može definirati samo iz perspektive krajnjeg kupca.

Proizvođači stvaraju vrijednost. Iz perspektive kupca to je razlog zašto proizvođači postoje. Međutim, zbog različitih razloga proizvođačima je ponekad teško definirati što je to vrijednost.

Svaka vitka proizvodnja mora započeti sa svjesnim promišljanjima o vrijednosti kako bi se ona precizno odredila u obliku specifičnih proizvoda sa specifičnim mogućnostima i funkcijama ponuđenih po specifičnoj cijeni kroz dijalog sa specifičnim kupcem.

Način kako to učiniti je da ignoriramo postojeće procedure u proizvodnji i tehnologiju te da promislimo o poduzećima baziranim na linijama proizvoda sa snažnim i motiviranim timovima koji se brinu o pojedinim grupama proizvoda.

Takav način razmišljanja zahtijeva i preispitivanje uloga stručnjaka i ostalih zaposlenika u poduzeću te preispitivanje o tome gdje uopće u svijetu stvarati vrijednost.

Gledajući realno, ni jedan menadžer na svijetu ne može odjednom uvesti sve te promjene, ali je nužno stvoriti jasan cilj što je sve potrebno u vitkoj proizvodnji. U suprotnom slučaju će i sama definicija vrijednosti biti iskrivljena.

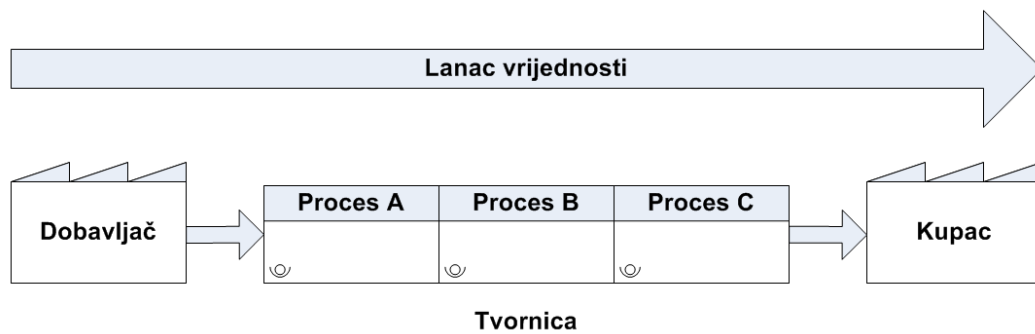
Ukratko, precizno definiranje vrijednosti je kritičan prvi korak u vitkoj proizvodnji. Pružajući krivu uslugu ili proizvode na pravi način je *muda*.

Vrijednost je samo ono što je kupac spreman platiti.

### **3.2.2 Lanac vrijednosti**

Lanac vrijednosti je skup svih specifičnih aktivnosti potrebnih kako bi se specifičan proizvod ili usluga isporučili kupcu. Taj proces se odvija kroz tri ključne menadžerske zadaće u svakom poduzeću:

1. Rješavanje problema kroz koncepte do detaljnog projektiranja gotovih proizvoda i lansiranja proizvodnje
2. Upravljanje informacijama od primanja narudžbi do planiranja proizvodnje i dostave gotovih proizvoda
3. Fizička transformacija sirovih materijala u gotove proizvode

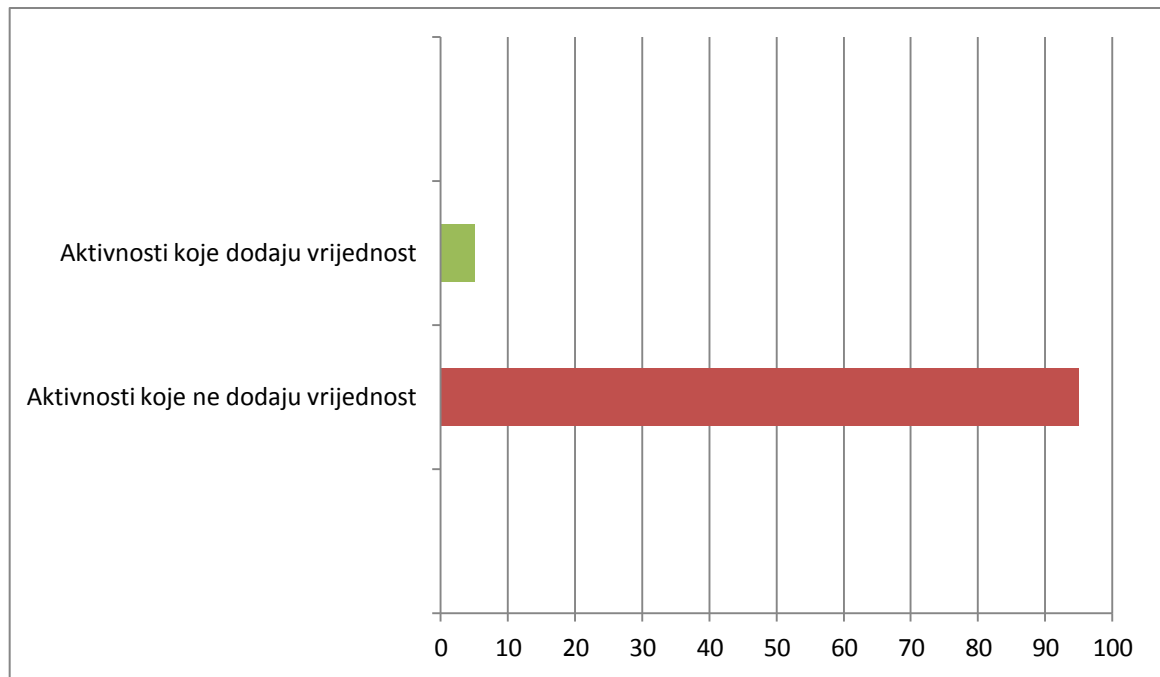
Slika 9. Lanac vrijednosti<sup>12</sup>

Identificirajući cjelokupni lanac vrijednosti za svaki proizvod, ili u pojedinim slučajevima za grupu sličnih proizvoda, sljedeći je korak u vitkoj proizvodnji koji nam gotovo uvijek omogućuje da uočimo i prepoznamo ogromne količine rasipanja i gubitaka unutar procesa proizvodnje.

Unutar svakog poduzeća postoje tri osnovne vrste aktivnosti:

1. Aktivnosti koje dodaju vrijednost (na primjer, strojna obrada)
2. Aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, ali su neizbježne zbog trenutnih ograničenja u tehnologiji i proizvodnji (na primjer, kontrola zavara)
3. Aktivnosti koje ne dodaju vrijednost i mogu se odmah eliminirati (čekanja u proizvodnji i slično)

<sup>12</sup> Štefanić N.: Mapiranje lanca vrijednosti, Lean Menadžment Inicijativa, 2013.



Slika 10. Odnos između aktivnosti koje dodaju vrijednost i onih koje ne dodaju vrijednost

Sve aktivnosti, svi procesi te svi tokovi (materijala, ljudi i informacija) se međusobno dovedu u vezu počevši od sirovine pa sve do gotovog proizvoda. Cilj je prepoznati sve oblike rasipanja te analizirati trenutno stanje i osmisliti plan poboljšanja.

Problem u ovom koraku je manjak međusobnog povjerenja između različitih poduzeća koja sudjeluju unutar cjelokupnog lanca vrijednosti za pojedini proizvod. Kako bi se proizvodnja optimizirala po principima vitke proizvodnje potrebna je velika doza međusobne suradnje i povjerenja između svih karika u lancu vrijednosti počevši od proizvođača osnovnih sirovina i ruda, transportnih i logističkih poduzeća, proizvođača gotovih proizvoda, distribucijskih poduzeća te ostalih dobavljača. Poželjno je da jedno poduzeće unutar lanca vrijednosti preuzme vodeću ulogu u „*lean transformaciji*“, a ta uloga se obično prepušta proizvođačim gotovih proizvoda, te potom ohrabruje i uči svoje dobavljače kako primijeniti principe vitke proizvodnje, a zatim ti dobavljači rade isto svojim dobavljačim i tako sve do samog početka lanca vrijednosti čime se stvara ogromna konkurentna prednost i temelj dugogodišnjeg uspješnog poslovanja.



### 3.2.3 Proizvodni tok

Jednom kada je vrijednost precizno određena, a lanac vrijednost u potpunosti mapiran od nabave sirovina do isporuke gotovih proizvoda kupcu, te su eliminirana sva rasipanja u procesu, vrijeme je za sljedeći korak unutar vitke proizvodnje. Potrebno je sve aktivnosti koje dodaju vrijednost posložiti u jednom toku. Ovaj korak zahtijeva velike promjene unutar svakog proizvodnog pogona.

U tradicionalnoj proizvodnji sve je posloženo tako da funkcionira u okviru posebnih odjela unutar kojih su pojedine aktivnosti grupirane prema njihovom tipu, a sve u svrhu veće efikasnosti i lakšeg upravljanja istima. Također se činilo logičnim da se svi sklopovi finalnog proizvoda obrađuju u velikim serijama, npr. prvo se obrade svi poluproizvodi A, zatim svi poluproizvodi B te na kraju svi poluproizvodi C.

Ispostavilo se da obrada poluproizvoda u velikim serijama uvijek rezultira dužim čekanjem za isporukom gotovog proizvoda zbog vremena potrebnog kako bi se promijenio alat i slično. Ovakav pristup daje privid kako su svi zaposlenici unutar odjela jako zaposleni i kako oprema radi u punom tempu čime se opravdava postojanje sve bržih, jačih i skupljih strojeva.

Henry Ford je prvi u potpunosti shvatio potencijalnu moć toka proizvodnje. Godine 1913. Ford je smanjio količinu rada potrebnog u završnoj montaži svog Modela T za 90% organizirajući proizvodnju u jednom kontinuiranom toku. Nakon početnog uspjeha sa završnom montažom, Ford je u jednoj liniji povezo sve strojeve potrebne za proizvodnju Modela T, počevši od sirovih materijala i poluproizvoda do isporuke gotovog automobila, što je također rezultiralo značajnim povećanjem produktivnosti. Međutim, Ford je otkrio samo specijalni slučaj. Njegova metoda je bila učinkovita samo kada se radilo o velikoserijskoj proizvodnji, kada je svaki proizvod trebao u potpunosti iste dijelove i kada se isti model proizvodio godinama.

Poslije II. svjetskog rata, Taiichi Ohno, glavni inženjer u Toyoti, zaključio je da pravi izazov leži u stvaranju kontinuiranog toka u maloserijskoj proizvodnji. Taiichi Ohno je zajedno sa svojim suradnicima postigao kontinuirani tok u maloserijskoj proizvodnji na način da je omogućio brzu promjenu alata te pravilnim dimenzioniranjem potrebnih strojeva kako bi se sve potrebne operacije između različitih proizvoda mogle odvijati bez čekanja.

Osnovni problem ovog pristupa je taj što za mnoge ljude on predstavlja razmišljanje u suprotnosti s njihovom intuitivnošću. Čini se očitim da bi proizvodnja trebala biti organizirana po odjelima i u serijama. Jednom kada se proizvodnja, a i cjelokupno poslovanje, organizira na način da sve funkcionira unutar odjela, prebacivanje na kontinuirani tok zna biti vrlo zahtjevno.

Pokret reinženjeringa poslovnih procesa (eng. Business Process Reengineering) u ranim 90-tima je prepoznao potrebu za promjenom poslovanja organiziranog po odjelima, kao i njegovu manju učinkovitost, u poslovanje organizirano prema procesima koji dodaju vrijednost. Problem je bio u tome što se konceptualno nije otišlo dovoljno daleko. Reinženjeri su se i dalje bavili s nizom nepovezanih i grupiranih procesa umjesto da su proučavali cjelokupni proizvodni proces svakog specifičnog proizvoda, počevši od narudžbe proizvoda do njegove isporuke kupcu. Također se sve odvijalo unutar poduzeća, ne mareći za cjelokupan lanac vrijednosti, a neke od najvećih promjena nastupaju upravo kada se gleda cjelokupan lanac vrijednosti.

Zadatak vitke proizvodnje je redefiniranje rada svih funkcija i odjela unutar poduzeća te između poduzeća kako bi oni kao cjelina mogli pozitivno doprinijeti stvaranju vrijednosti.

### **3.2.4 PULL sustav**

Prvi vidljivi efekt prelaska s odjela i velikoserijske proizvodnje na kontinuirani tok je dramatično smanjenje vremena potrebnog:

- Kako bi se od koncepta razvio novi proizvod
- Od narudžbe došlo do isporuke
- Od sirovih materijala proizveo gotov proizvod

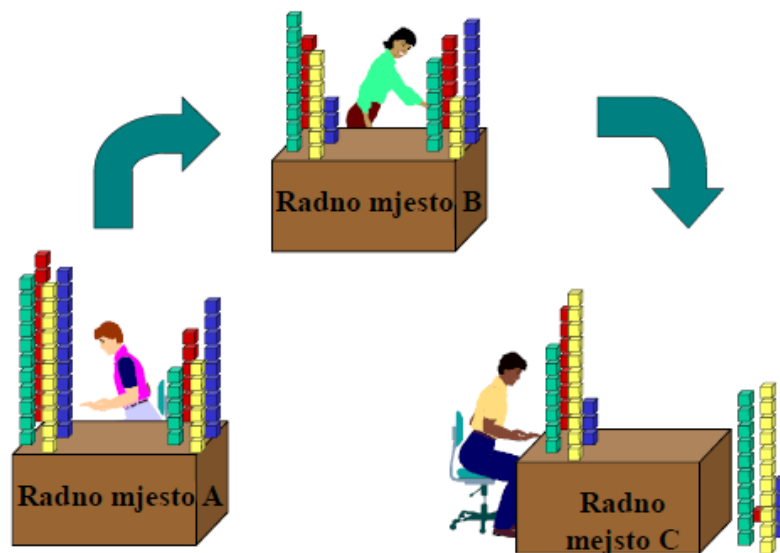
Kada se uvede kontinuirani tok vrijeme potrebno za dizajniranje novih proizvoda pada s nekoliko godina na samo nekoliko mjeseci, narudžbe se izvršavaju u roku nekoliko sati umjesto dana, a propusnost u fizičkoj proizvodnji se strahovito povećava što nam omogućuje brzo reagiranje na sve promjene na tržištu, kao i zadovoljavanje svih zahtjeva kupaca.

Činjenica je da se pri primjeni principa vitke proizvodnje omogućava proizvođačima da dizajniraju i proizvode točno ono što kupci žele i kada to žele, što omogućava proizvođačima

da prestanu ovisiti o godišnjim ili sezonskim prodajnim planovima koji se u većini slučajeva pokazuju pogrešnima.

U vitkoj proizvodnji su kupci ti koji povlače proizvode koje trebaju umjesto da im se nameću proizvodi koje ne trebaju. Štoviše, potražnja kupaca na ovaj način postaje mnogo stabilnija kada kupci postanu svjesni da mogu dobiti točno one proizvode koje žele u trenutku kada im trebaju.

Povlačenje znači da nitko u lancu vrijednosti ne proizvodi, odnosno ne obrađuje materijal ili informaciju, dok netko tko je idući u lancu vrijednosti to ne zahtijeva. Kupac je taj koji povlači vrijednost što posljedično rezultira s jako malo gubitaka. Takav sustav je agiln i brzo reagira na zahtjeve kupaca.



Slika 11. Prikaz proizvodnje u serijama<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Štefanić N., Tošanović. N: Lean proizvodnja, Zavod za industrijsko inženjerstvo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2013.



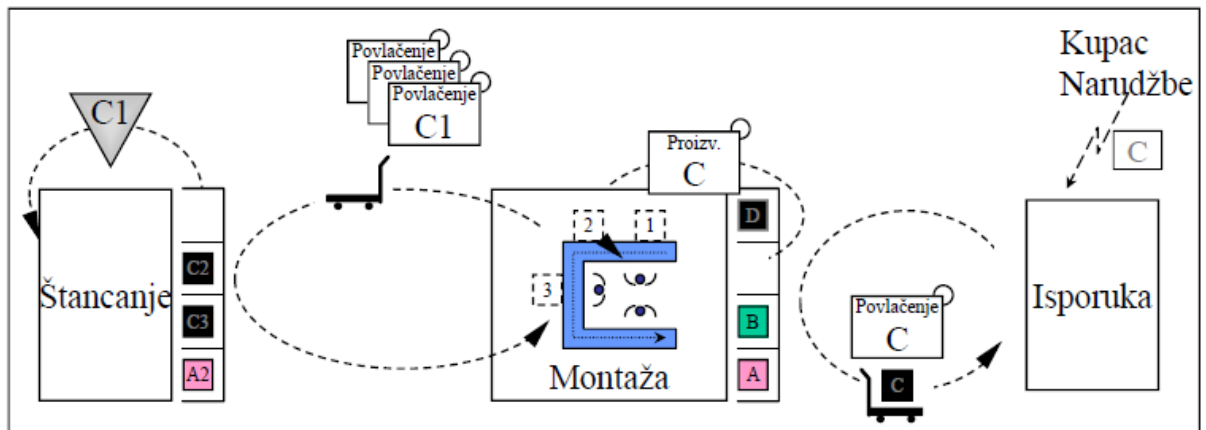
Slika 12. PULL – proizvodnja teče u toku<sup>14</sup>

Kanban (japanski kanban – kartica) je alat kako bi se postigao „*just-in-time*“. Kanban je sustav koji koristi kartice pomoću kojih se signalizira potreba za određenim proizvodom, sirovinom, poluproizvodima i sl. Nastao je po uzoru na američke supermarkete. U supermarketima se polica nadopunjava kada se količina na njoj smanji na određenu mjeru. Prevedeno na „jezik proizvodnje“ prethodna operacija proizvodi točno ono što iduća treba po principu pull sustava.

Preduvjeti za kanban:

- Primjenjiv je u proizvodnji koja se ponavlja
- Sustav mora biti stabilan
- Strojevi moraju biti visokopouzdanosti (važno je kvalitetno održavanje)
- Standardizirani procesi i operacije
- Pouzdani dobavljači
- Velika angažiranost i stručnost radnika
- Potrebna stalna ulaganja u smanjenje vremena izmjene alata – SMED (eng. „*Single Minute Exchange of Dies*“)

<sup>14</sup> Štefanić N., Tošanović. N: Lean proizvodnja, Zavod za industrijsko inženjerstvo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2013.



Slika 13. Proizvodni sustav u kojem idući u procesu povlači od prethodnog u procesu<sup>15</sup>

Više o pull sustavu i kanbanu u poglavljima 5 i 6.

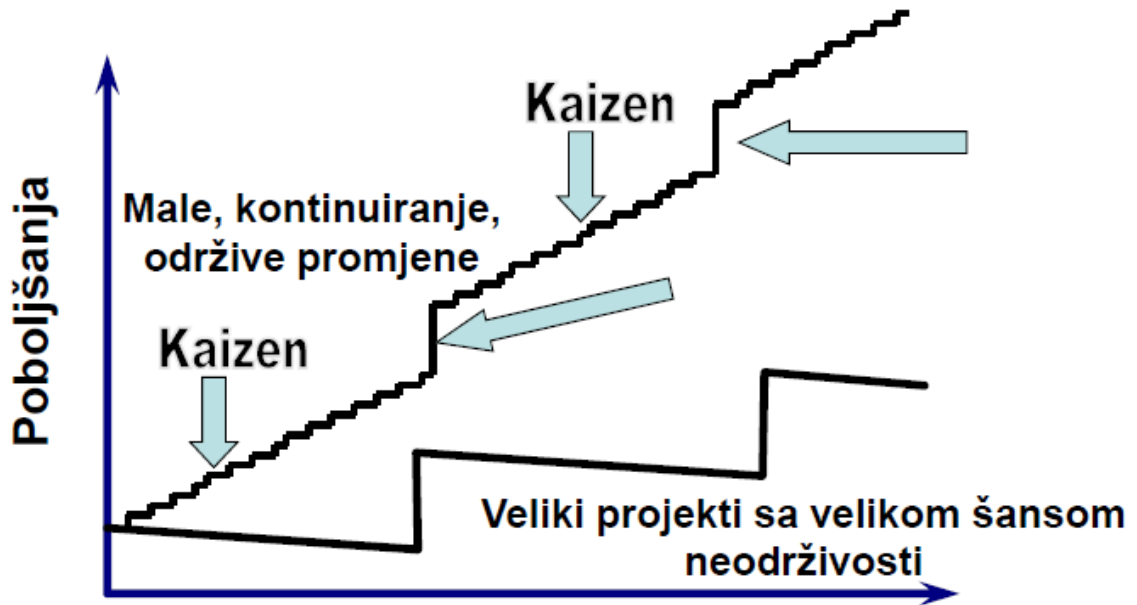
### 3.2.5 Perfekcija

Nakon što organizacije počinju sve točnije definirati vrijednost i identificirati cjelokupan lanac vrijednosti te organizirati proizvodnju u kontinuiranom toku i omogućavati kupcima da sami povlače vrijednost, dolazi do shvaćanja kako uvijek ima mjesta za poboljšanja postojećih procesa.

Nema kraja procesima smanjivanja potrebnog rada, vremena, prostora, troškova i pogrešaka u proizvodnji, istovremeno nudeći kupcima proizvode koji su sve bliži njihovim stvarnim potrebama i željama. Važan preduvjet perfekcije je potpuna transparentnost u sustavu, točnije, mogućnost da svi, od dobavljača, podizvođača i zaposlenika pa sve do kupaca, vide sve tako da postaje vrlo lako otkriti nove i bolje načine kako stvarati vrijednost.

Za razliku od zapada koji je davao značaj velikim idejama pojedinaca, Toyota je davala značaj timskom radu i malim, kontinuiranim poboljšanjima koja dolaze od radnika u pogonu (*Kaizen*) čime su postali vodeći proizvođači automobila u svijetu i uzor mnogim drugim poduzećima diljem planete.

<sup>15</sup> Štefanić N., Tošanović. N: Lean proizvodnja, Zavod za industrijsko inženjerstvo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2013.



Slika 14. Kontinuirana, mala poboljšanja<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Štefanić N., Tošanović. N: Lean proizvodnja, Zavod za industrijsko inženjerstvo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2013.

## 4 METRIKA PROIZVODNJE

Kako bi adekvatno pratili i analizirali proizvodnju, te eliminirali uska grla u procesima i uspješno planirali i provodili poboljšanja, potrebno je obratiti pozornost na neke od osnovnih pokazatelja stanja u proizvodnji, kao što su:

- Produktivnost
- Kapacitet
- Iskoristivost
- Efikasnost
- Takt proizvodnje
- Efikasnost ciklusa procesa
- Propusnost
- Rad u procesu
- Ciklus proizvodnje
- ...

### 4.1 Produktivnost

Produktivnost općenito označava omjer proizvedenih dobara u odnosu na upotrebene resurse, odnosno ono što smo postigli radom.

Produktivnost (1)

$$P = \frac{O}{I} \quad (1)$$

*P – Produktivnost*

*O – Output*

*I – Input*

Produktivnost može uzimati u obzir više različitih inputa ili samo jedan input tako da razlikujemo dvije osnovne vrste produktivnosti:

## 1. pojedinačna produktivnost:

- produktivnost rada
- produktivnost stroja
- financijska produktivnost
- energetska produktivnost

## 2. multifaktorska produktivnost

***Primjer***

Poduzeće zapošljava 4 radnika koji dnevno izrađuju 120 kutija. Radnici na izradu kutija dnevno troše 40 radnih sati. Kolika je njihova produktivnost?

$$P = \frac{120}{40} = 3 \frac{\text{komada}}{\text{satu}}$$

**4.2 Kapacitet**

Kapacitet označava količinu, odnosno broj proizvoda koji stroj, proizvodni pogon ili postrojenje može obraditi u jedinici vremena. Razlikujemo dvije vrste kapaciteta:

1. projektni kapacitet – teoretski maksimum outputa
2. efektivan kapacitet – stvarni maksimum outputa

Kapacitet (2)

$$K = T_R \times P_O \quad (2)$$

*K* – Kapacitet

*T<sub>R</sub>* – Raspoloživo vrijeme

*P<sub>O</sub>* – Projektni (maksimalan) output sustava



**Primjer**

Poduzeće radi 5 dana u tjednu po 2 smjene od 8 sati. Radnici imaju pravo na pauzu od 30 minuta. Proizvodna linija je projektirana na 500 komada po satu. Izračunajte projektirani tjedni kapacitet.

$$\text{Kapacitet} = 5 \times 2 \times 7.5 \times 500 = 37\,500 \frac{\text{komada}}{\text{tjedno}}$$

**4.3 Iskoristivost**

Iskoristivost označava odnos stvarnog outputa i projektiranog kapaciteta, te je mjera učinka pogona ili stroja.

Iskoristivost (3)

$$I = \frac{S_o}{P_o} \quad (4)$$

*I* – Iskoristivost

*S<sub>o</sub>* – Stvarni output

*P<sub>o</sub>* – Projektni (maksimalan) output sustava

**Primjer**

Poduzeće proizvodi 150 000 proizvoda tjedno. Izračunajte iskoristivost ako je projektirani tjedni kapacitet 200 000 proizvoda.

$$\text{Iskoristivost} = \frac{150\,000}{200\,000} \times 100 = 75 \%$$

#### 4.4 Efikasnost

Efikasnost označava djelotvornost poslovanja, odnosno sposobnost ostvarivanja rezultata i ciljeva poslovanja. Efikasnost znači raditi posao dobro.

Efikasnost (4)

$$E = \frac{S_o}{U_I} \quad (4)$$

*E – Efikasnost*

*S<sub>o</sub> – Stvarni output*

*U<sub>I</sub> – Ukupni input*

##### **Primjer**

Efektivan kapacitet poduzeća iznosi 175 000 proizvoda u tjedan dana. Poduzeće proizvodi tjedno 150 000 proizvoda. Izračunajte efikasnost.

$$E = \frac{150\,000}{175\,000} \times 100 = 85.71 \%$$

#### 4.5 Efikasnost ciklusa procesa

Efikasnost ciklusa procesa označava omjer vremena trajanja aktivnosti koje dodaju vrijednost i vremena trajanja ciklusa. Svaki proces s niskom razinom efikasnosti ciklusa procesa ima velike mogućnosti smanjenja troškova.

Efikasnost ciklusa procesa (5)

$$E_C = \frac{T_{VAT}}{T_C} \quad (5)$$

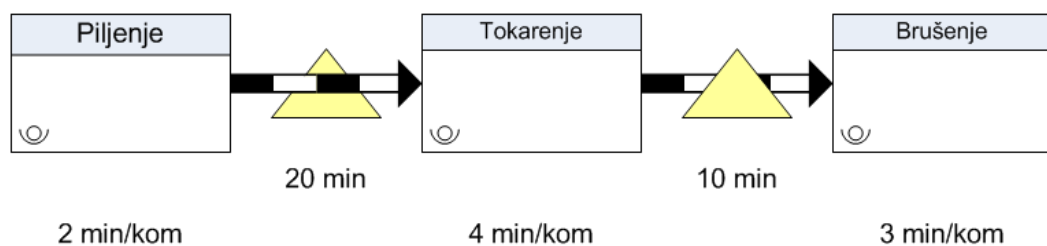
$E_C$  – Efikasnost ciklusa procesa

$T_{VAT}$  – Vrijeme trajanja aktivnosti koje dodaju vrijednost

$T_C$  – Vrijeme trajanja ciklusa

### Primjer

Na slici 15. je dan prikaz proizvodne linije koja se sastoji od 3 operacije. Potrebno je odrediti efikasnost ciklusa procesa.



Slika 15. Primjer proizvodne linije za izračun efikasnosti ciklusa procesa

$$E_C = \frac{2 + 4 + 3}{2 + 20 + 4 + 10 + 3} \times 100 = 23.08 \%$$

## 4.6 Propusnost

Propusnost (eng. „*Throughput*“ – TH) označava prosječan broj proizvedenih proizvoda u jedinici vremena [kom/h].

Propusnost (6)

$$TH = \frac{S_O}{T_R} \quad (6)$$

$TH$  – Propusnost

$S_O$  – Stvarni output

$T_R$  – Raspoloživo vrijeme

**Primjer**

Poduzeće dnevno proizvodi 150 komada nekog proizvoda. Rad je organiziran u jednoj smjeni od 8 sati. Radnici imaju pravo na pauzu za ručak od 30 minuta. Izračunajte propusnost.

$$TH = \frac{150}{7.5} = 20 \frac{\text{komada}}{\text{sat}} \text{u}$$

**4.7 Studij slučaja – izračun lean metrike**

U nastavku su dani osnovni podaci o poduzeću Premier Manufacturing Inc. radi lakšeg praćenja i boljeg razumijevanja koraka u mapiranju lanca vrijednosti.

Premier Manufacturing Inc. (PMI) je dobavljač prve razine koji proizvodi rashladne cijevi za nekoliko ključnih kupaca. Tijekom vremena PMI je radio na unapređenju procesa kroz kaizen aktivnosti. Nedavno je poduzeće zamijenilo dva stroja za proizvodnju vijaka s dvovretenim CNC strojevima, a koji se nisu pokazali pouzdanima kako se očekivalo. Jedan od PMI-ovih ključnih korisnika, Cord Inc. je voljan i dalje poslovati s njima, ali postavlja sljedeće zahtjeve:

- 5% smanjenje troškova godišnje kroz sljedeće dvije godine
- Dostava na vrijeme od 98% ili više
- Smanjenje vremena proteklog od narudžbe do isporuke gotovih proizvoda sa 6 tjedana na manje od 2
- Broj loših dijelova: 45 ppm

Direktor tvornice je odmah odlučio potpisati novi LTA (long-term agreement – dugoročni ugovor) jer ne želi riskirati gubitak posla s Cord-om. On je također siguran da njegovi ljudi mogu primijeniti lean alate i metode kako bi postigli performanse koje zahtijeva Cord. Dogovorena je primjena VSM-a na dva tipa rashladnih cijevi (4 i 6).

Zahtjevi korisnika su:

- Prosječna potreba: 10 080 komada/mjesec (504 komada/danu):
  - 6 720 kom/mj (336 kom/d) – tip 4
  - 3 360 kom/mj (168 kom/d) – tip 6

- Broj radnih dana u mjesecu: 20 dana
- Broj spremnika na dan: 12

Informacije o dobavljaču:

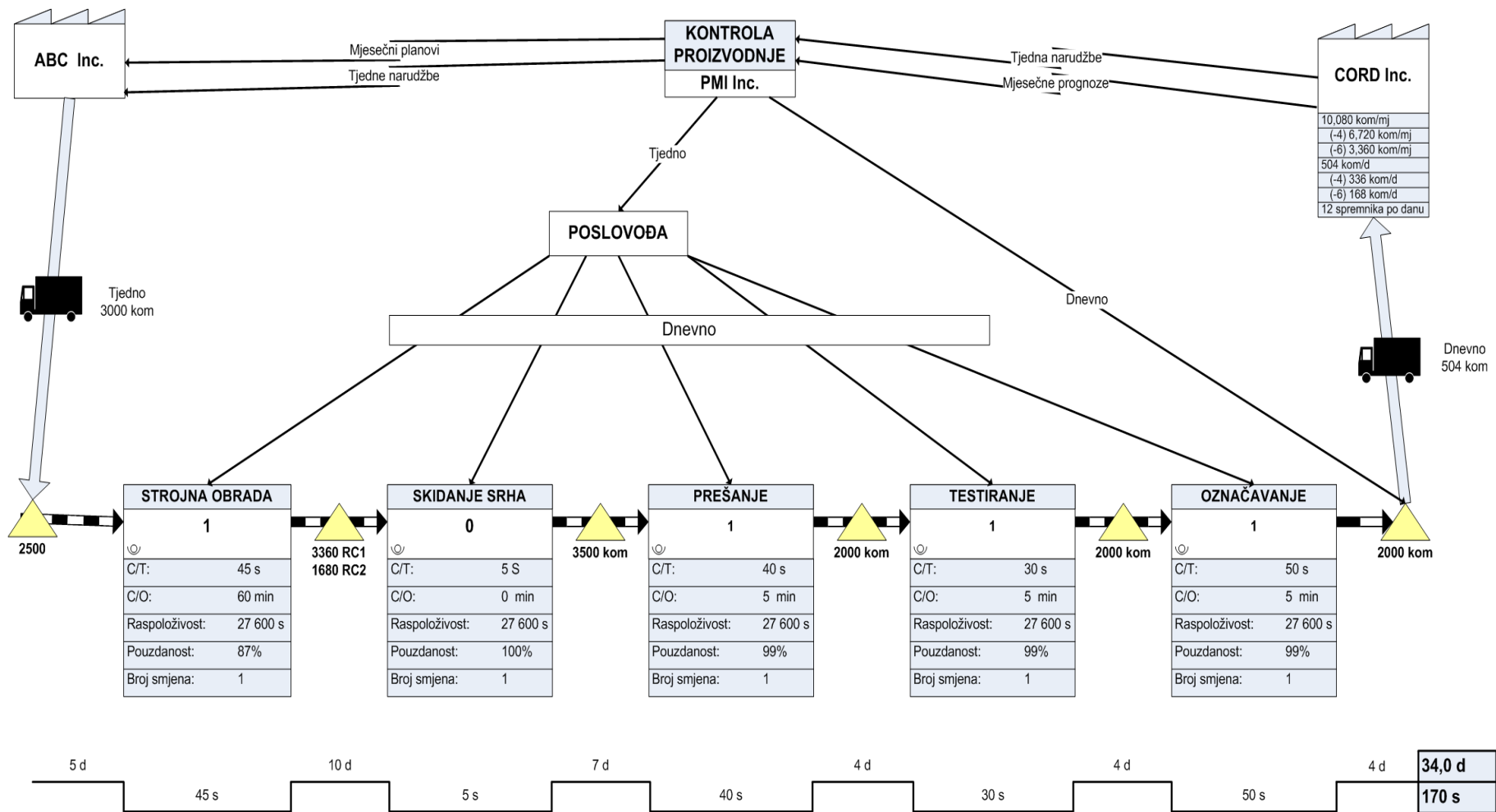
- PMI prima tjedno pošiljku od 3 000 komada od svog dobavljača (ABC Inc.)

Ostale informacije važne za proizvodnju:

- Ukupno raspoloživo vrijeme za proizvodnju iznosi 8.5 sati (510 minuta) po smjeni. Postoji također 30 minuta neplaćenog odmora za ručak i dvije 10-minutne plaćene pauze. Iz toga proizlazi da je ukupno raspoloživo vrijeme u proizvodnji 460 minuta (27 600 sekundi) po smjeni
- Sva komunikacija s kupcem i dobavljačem je elektronička
- Odjel upravljanja proizvodnjom prima mjesečne planove i tjedne narudžbe od Cord-a.
- Odjel upravljanja proizvodnjom prosljeđuje mjesečne planove i tjedne narudžbe prema ABC-u (dobavljaču)
- Narudžbe se šalju tjedno prema poslovođi u proizvodnji
- Narudžbe se šalju dnevno prema strojnoj obradi, prešanju, testiranju i označavanju
- Sav materijal se gura kroz proizvodnju – push sustav

Tablica 3. Osnovni podaci o poduzeću Premier Manufacturing Inc.

	Otprema OT	Označavanje OZ	Testiranje TT	Prešanje PR	Skidanje srha SS	Strojna obrada SO
Lokacija	Skladište – prostor otpreme	-	-	-	-	-
Frekvencija	Dnevno/UPS	-	-	-	-	-
Zalihe gotovih proizvoda	2 000 kom	-	-	-	-	-
Ciklus proizvodnje (sek)	-	50	30	40	5	45
Vrijeme izmjene alata (min)	-	5	5	5	0	60
Raspoloživost (sek)	-	27 600	27 600	27 600	27 600	27 600
Pouzdanost (%)	-	99	99	99	100	87
Broj radnika	-	1	1	1	0	1
Rad u procesu WIP	2 000 prije OT	2 000 (TT/OZ)	2 000 (PR/TT)	3 500 (SS/PR)	3 360 – tip 4 1 680 – tip 6 (SO/SS)	2 500 prije SO
Vrijeme između operacija (dani)	4 (OZ/OT)	4 (TT/OZ)	4(PR/TT)	7(SS/PR)	10 (SO/SS)	5 prije SO



Slika 16. Mapa trenutnog stanja

## 4.8 Pouzdanost

Pouzdanost označava omjer između stvarnog vremena proizvodnje i raspoloživog vremena proizvodnje. Pokazuje koliko uspješno operacija ili proces koristi raspoloživo radno vrijeme.

Pouzdanost (7)

$$P_O = \frac{T_S}{T_R} \quad (7)$$

$P_O$  – Pouzdanost

$T_S$  – Stvarno vrijeme

$T_R$  – Raspoloživo vrijeme

## 4.9 Rad u procesu

Rad u procesu (eng. Work In Process – WIP) označava broj jedinica u procesu, od početka do kraja proizvodnog procesa, odnosno od ulaska sirovine u proizvodnju do izlaska proizvoda iz proizvodnje. Računa se zbrajanjem rada u procesu između operacija.

Tablica 4. Primjer izračuna rada u procesu

Količina sirovine prije strojne obrade	2 500
Količina materijala između strojne obrade i skidanja srha	5 040
Količina materijala između skidanja srha i prešanja	3 500
Količina materijala između prešanja i testiranja	2 000
Količina materijala između testiranja i označavanja	2 000
Količina materijala između označavanja i pošiljke	2 000
<b>Ukupna količina rada u procesu</b>	<b>17 040</b>



#### 4.10 Dnevna potražnja za proizvodima (tip 4 i 6)

Izračunava se dijeljenjem mjesečne potražnje s brojem radnih dana u mjesecu.

Dnevna potražnja (8)

$$\text{Dnevna potražnja} = \frac{10\,080 \text{ kom}}{20 \text{ radnih dana}} = 504 \frac{\text{kom}}{\text{danu}} \quad (8)$$

#### 4.11 Ukupna količina zaliha u danima

Izračunava se dijeljenjem rada u procesu između operacija s dnevnom potražnjom.

Tablica 5. Izračun ukupne količine zaliha u danima

Količina sirovine prije strojne obrade	$2500 \div 504 = 5$
Količina materijala između strojne obrade i skidanja srha	$5040 \div 504 = 10$
Količina materijala između skidanja srha i prešanja	$3500 \div 504 = 7$
Količina materijala između prešanja i testiranja	$2000 \div 504 = 4$
Količina materijala između testiranja i označavanja	$2000 \div 504 = 4$
Količina materijala između označavanja i pošiljke	$2000 \div 504 = 4$
<b>Ukupna količina zaliha u danima</b>	<b>34</b>

## 4.12 Ukupno vrijeme obrade

Ukupno vrijeme obrade izračunava se zbrajanjem vremena obrade pojedinih operacija.

Tablica 6. Primjer izračuna ukupnog vremena obrade

Strojna obrada	45 sekundi
Skidanje srha	5 sekundi
Prešanje	40 sekundi
Testiranje	30 sekundi
Označavanje	50 sekundi
<b>Ukupno vrijeme obrade</b>	<b>170 sekundi</b>

## 4.13 Ciklus proizvodnje

Ciklus proizvodnje (eng. Cycle Time – CT) označava proteklo vrijeme od početka izrade nekog proizvoda ili poluproizvoda pa sve do njegovog uskladištenja.

Little's Law – označava odnos između WIP, CT i TH:

Little's Law (9)

$$WIP = TH \times CT \quad (9)$$

Prosječan broj predmeta u nekom stacionarnom sustavu umnožak je prosječne stope propusnosti i prosječnog vremena boravka predmeta u sustavu.

Tablica 7. Primjer izračuna ciklusa proizvodnje

Strojna obrada	45 sekundi
Čekanje prije skidanja srha	10 dana
Skidanje srha	5 sekundi
Čekanje prije prešanja	7 dana
Prešanje	40 sekundi
Čekanje prije testiranja	4 dana
Testiranje	30 sekundi
Čekanje prije označavanja	4 dana
Označavanje	50 sekundi
<b>Ciklus proizvodnje</b>	<b>25 dana i 170 sekundi</b>

#### 4.14 Pouzdanost sustava

Pouzdanost sustava izračunava se množenjem pouzdanosti procesa.

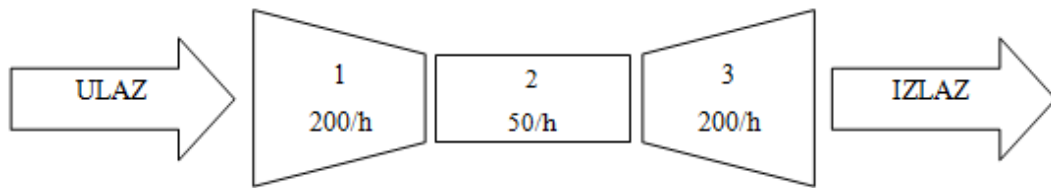
Tablica 8. Primjer pouzdanosti procesa

Proces	Pouzdanost procesa
Strojna obrada	87 %
Skidanja srha	100 %
Prešanje	99 %
Testiranje	99 %
Označavanje	99 %

$$Pouzdanost\ sustava = 0.87 \times 1 \times 0.99 \times 0.99 \times 0.99 = 0.8441 = 84.41 \%$$

#### 4.15 Takt proizvodnje

Takt proizvodnje označava tempo proizvodnje, odnosno tempo kojim kupac naručuje ili kupuje. Određen je operacijom koja je usko grlo.



Slika 17. Prikaz uskog grla u proizvodnji

Takt proizvodnje je osnovni i glavni pokazatelj po kojem ravnamo vitku proizvodnju.

Takt (10)

$$Takt = \frac{\text{Raspoloživo vrijeme proizvodnje}}{\text{Dnevna potražnja}} \quad (10)$$

$$Takt = \frac{27\,600\text{ s}}{504\text{ kom}} = 55\text{ s/kom}$$

#### 4.16 Kapacitet procesa

Računa se dijeljenjem raspoloživog vremena proizvodnje s vremenom obrade procesa. Kapacitet procesa mora biti veći od potražnje kako bismo bili u stanju ispuniti zahtjeve kupaca.

Kapacitet procesa (11)

$$\text{Kapacitet procesa} = \frac{\text{Raspoloživo vrijeme proizvodnje}}{\text{Vrijeme obrade po komadu}} \quad (11)$$

#### 4.17 Vodeće vrijeme

Vodeće vrijeme (eng. Lead Time) označava proteklo vrijeme od narudžbe nekog proizvoda ili poluproizvoda pa sve do njegove isporuke kupcu. To je vrijeme koje kupac vidi.

Tablica 9. Primjer izračuna vodećeg vremena

Čekanje prije strojne obrade	5 dana
Strojna obrada	45 sekundi
Čekanje prije skidanja srha	10 dana
Skidanje srha	5 sekundi
Čekanje prije prešanja	7 dana
Prešanje	40 sekundi
Čekanje prije testiranja	4 dana
Testiranje	30 sekundi
Čekanje prije označavanja	4 dana
Označavanje	50 sekundi
Čekanje prije uskladištenja	2 dana
Uskladištenje	30 sekundi
Čekanje prije dostave kupcu	4 dana
<b>Vodeće vrijeme</b>	<b>36 dana i 200 sekundi</b>

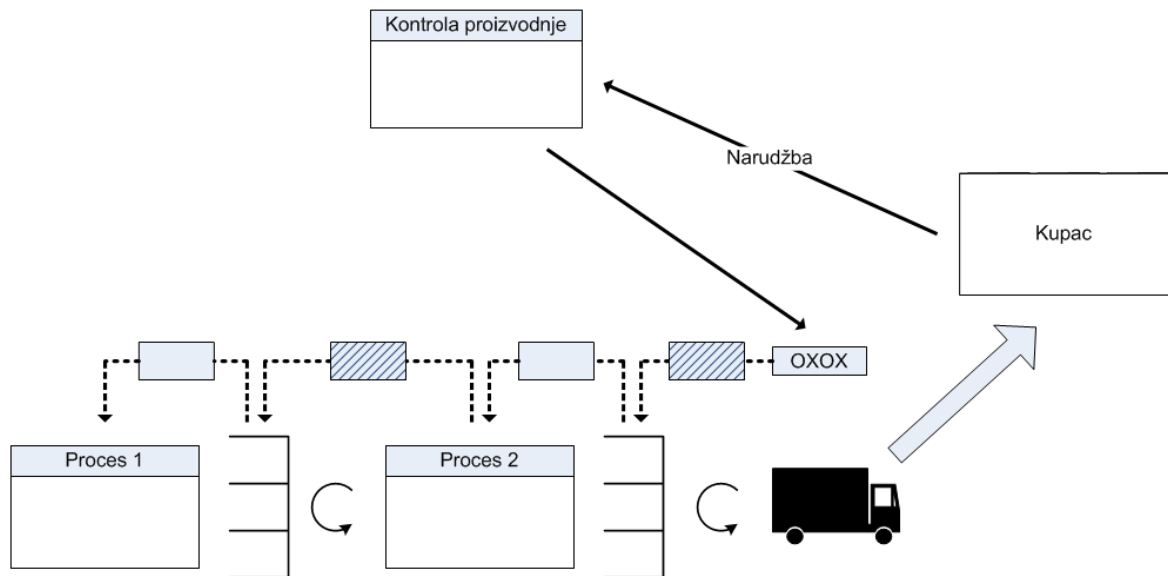
## 5 PULL SUSTAV

Postoje tri osnovne vrste pull sustava: *nadopunjavajući pull sustav*, *sekvencijalni pull sustav* i *mješoviti pull sustav* (sadrži elemente prethodna dva sustava). U sva tri slučaja važni tehnički elementi za uspjeh sustava su:

- Tok proizvoda u malim serijama, a idealno jednokomadni tok
- Usklađivanje procesa s vremenom takta (kako bi se zaustavila prekomjerna proizvodnja)
- Signaliziranje nadopunjavanja putem kanban kartica
- Niveliranje proizvodnje tijekom vremena

### 5.1 Nadopunjavajući pull sustav

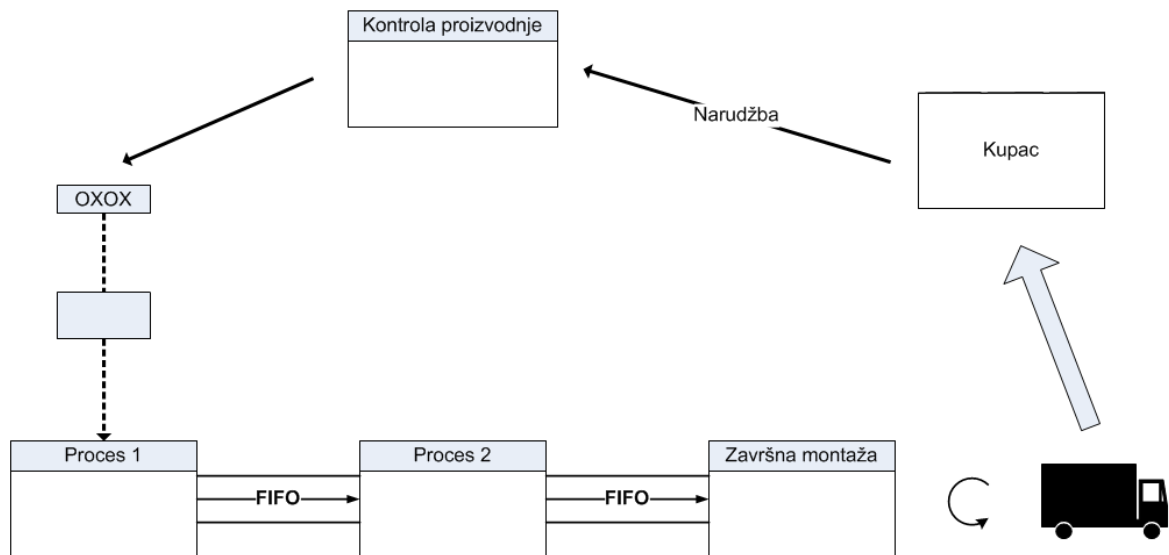
Nadopunjavajući pull sustav ili supermarket pull sustav je najrašireniji oblik pull sustava. U nadopunjavajućem pull sustavu svaki proces ima svoj supermarket za skladištenje određene količine svakog tipa proizvoda koji taj proces proizvodi. Svaki proces proizvodi samo ono što se konzumiralo iz njegovog supermarketa. Skladištenje svih tipova gotovih proizvoda i korištenje povlačenja za signaliziranje proizvodnje glavne su karakteristike nadopunjavajućeg pull sustava unutar vitke proizvodnje – jedino konzumacija gotovih proizvoda pokreće ponovnu proizvodnju. Nedostatak ovakvog sustava je što skladištenje svakog tipa proizvoda u supermarketima između procesa može biti neizvedivo ako se radi o većem broju proizvoda. Slika 18. prikazuje primjer nadopunjavajućeg pull sustava.

Slika 18. Nadopunjavajući pull sustav<sup>17</sup>

## 5.2 Sekvencijalni pull sustav

Sekvencijalni pull sustav može se koristiti kada postoji previše različitih tipova proizvoda da bi se mogli skladištiti u supermarketima između procesa. Proizvodi se u osnovi proizvode isključivo po narudžbi, a ukupne zalihe unutar sustava su minimizirane. U sekvencijalnom pull sustavu, odjel kontrole proizvodnje raspoređuje koje proizvode i u kojoj količini treba proizvesti. To se može učiniti postavljanjem proizvodnih kanban kartica unutar heijunke, često na početku svake smjene. Sekvencijalni pull sustav zahtijeva snažan menadžment kako bi se održao, a poboljšanja unutar pogona mogu biti izazovna.

<sup>17</sup> Art Smalley: Creating Level Pull, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, 2004.

Slika 19. Sekvencijalni pull sustav<sup>18</sup>

### 5.3 Mješoviti pull sustav

Nadopunjavajući i sekvencijalni pull sustav mogu se koristiti zajedno kao mješoviti pull sustav. Mješoviti pull sustav može biti prikladan u slučaju kada vrijedi pravilo 80/20, odnosno, kada mali postotak proizvoda (oko 20%) čini većinu ukupne dnevne proizvodnje (oko 80%). Često se izvodi analiza kako bi se segmentirali proizvodi po volumenu proizvodnje na sljedeće kategorije:

- A – visok volumen proizvodnje
- B – srednji volumen proizvodnje
- C – nizak volumen proizvodnje
- D – povremene narudžbe

Tip D može predstavljati posebnu narudžbu ili rezervne dijelove, a za njihovo rukovanje može se napraviti posebna kanban kartica koja će predstavljati kapacitet umjesto tip proizvoda. Redoslijed proizvodnje za ovakve proizvode utvrđuje kontrola proizvodnje po metodi sekvencijalnog pull sustava.

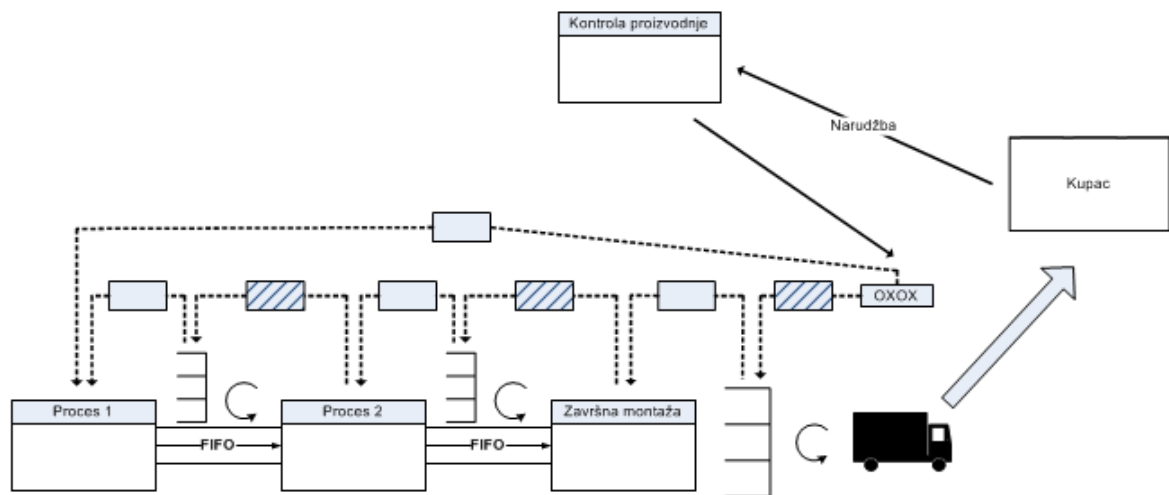
Takav mješoviti pull sustav omogućuje selektivnu primjenu nadopunjavajućeg i sekvencijalnog pull sustav te obuhvaća prednosti oba sustava, čak i u sredinama složene i

<sup>18</sup> Art Smalley: Creating Level Pull, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, 2004.



raznolike potražnje. Dva sustava mogu se izvoditi zajedno, vodoravno, rame uz rame, tokom cijelog lanca vrijednosti, ili se mogu koristiti za određeni tip proizvoda na različitim lokacijama duž njegovog individualnog lanca vrijednosti.

Mješoviti pull sustav može otežati niveliranje proizvodnje i identifikaciju pogrešaka. Također, može biti otežano upravljanje i provođenje kaizen aktivnosti. Kako bi mješoviti sustav radio učinkovito potrebna je disciplina.



Slika 20. Mješoviti pull sustav<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Art Smalley: Creating Level Pull, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, 2004.

## 6 KANBAN

### 6.1 Uvod u kanban

Kanban (jap. znak) je specifičan alat za kontroliranje informacija i reguliranje toka materijala između proizvodnih procesa unutar vitke proizvodnje. Zajedno s taktom, proizvodnim tokom, pull proizvodnjom i heijunka kutijom (za niveliranje proizvodnje) omogućuje postizanje just-in-time proizvodnje unutar lanca vrijednosti. Tipično se koristi prilikom signaliziranja konzumacije proizvoda u lancu vrijednosti. U najjednostavnijem slučaju to znači da taj događaj generira signal za nadopunjivanje proizvodom u prethodnom procesu.

Kanban se razlikuje od tradicionalnih metoda za kontroliranje proizvodnje u nekoliko bitnih stvari. U tradicionalnoj proizvodnji plan proizvodnje se daje svakom pojedinom procesu te stoga svaki proces proizvodi prema danom planu bez pravovremene povratne informacije o točnoj potrebi od procesa nizvodno u lancu vrijednosti. Za razliku od tradicionalne proizvodnje kanban funkcionira kao fizički alat koji usko povezuje i sinkronizira proizvodne aktivnosti između uzvodnih i nizvodnih procesa. Štoviše, u tradicionalnoj proizvodnji tok materijala se javlja u trenutku kada je uzvodni proces gotov s obradom proizvoda. To rezultira *guranjem* materijala (push sustav) do sljedećeg procesa neovisno o njegovoj stvarnoj potrebi. Umjesto toga, kanban omogućuje kontrolu toka materijala poštujući istovremeno vrijeme i potrebnu količinu proizvoda ovisno o signalima nizvodnih procesa. Stoga, kanban upravlja proizvodnjom unutar lanca vrijednosti kontrolirajući tok materijala i informacija.

Tradicionalno unutar jednog pogona kanban je jednostavna papirnata kartica ponekad zaštićena prozirnim plastičnim omotom. Kanban kartica sadrži osnovne informacije kao što su:

- naziv (polu)proizvoda,
- šifra (polu)proizvoda,
- informacije o vanjskim ili internim procesima opskrbe,
- veličina serije,
- veličina jedinice pakiranja,

- lokacije skladištenja,
- lokacije konzumacije (polu)proizvoda.

Na kartici se može ispisati bar kod za praćenje ili automatsko fakturiranje. Elektronički signali se često koriste umjesto jednostavnih kanban kartica prilikom komuniciranja na velikim udaljenostima.

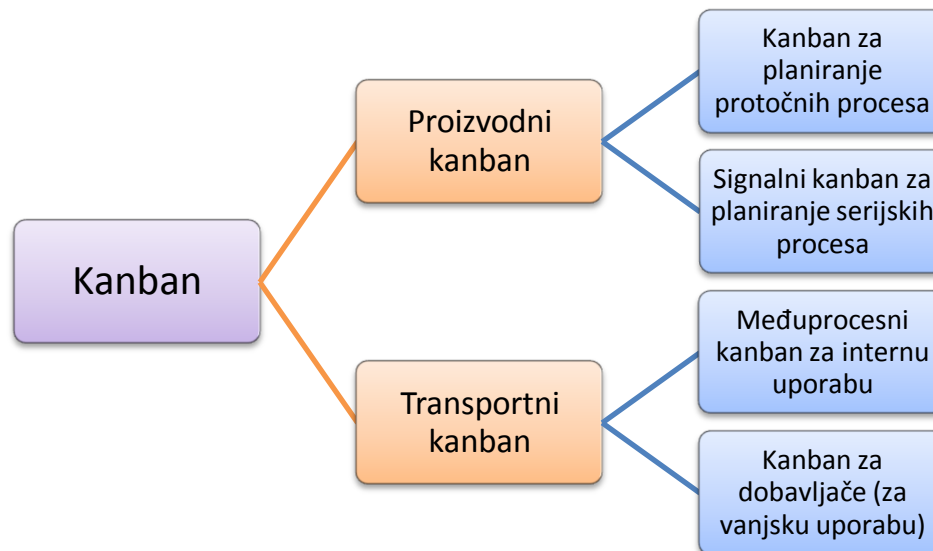
## 6.2 Svrha kanbana

Postoje četiri glavne svrhe za kanban:

1. Spriječiti prekomjernu proizvodnju materijala između proizvodnih procesa
2. Pružiti specifične proizvodne upute između procesa temeljene na principima vitke proizvodnje. Kanban to postiže upravljajući istovremeno potrebnom količinom proizvoda i pravovremenim tokom materijala
3. Služiti nadzornicima u proizvodnji kao alat za vizualnu kontrolu stanja proizvodnje. Brzi pogled na alate koji drže kanban kartice unutar sustava (kanban akumulacijske stanice) pokazat će teku li informacije i materijali u skladu ili su se pojavili određeni poremećaji. (Ide li proizvodnja ispred ili iza rasporeda?)
4. Uspostaviti alat za kontinuirano unaprjeđenje. Svaki kanban predstavlja određeni spremnik zaliha unutar lanca vrijednosti. S vremenom, planirano smanjenje broja kanban kartica unutar sustava izravno odgovara smanjenju zaliha te proporcionalnom smanjenju vremena ciklusa proizvodnje

## 6.3 Tipovi kanbana

Postoje dva glavna tipa kanbana: *proizvodni* kanban i *transportni* kanban.

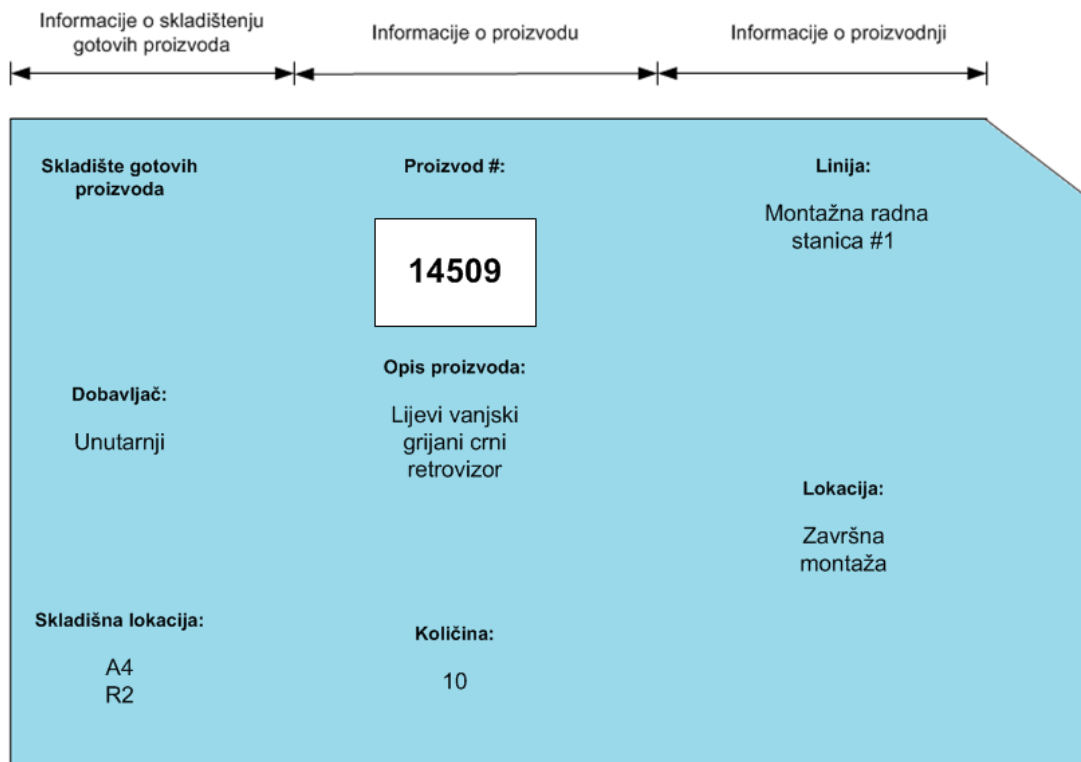
Slika 21. Tipovi kanbana<sup>20</sup>

Istaknuta razlika između proizvodnog i transportnog kanbana je u tome što se proizvodni kanban koristi za signalizaciju početka određenog proizvodnog procesa, a transportni kanban se koristi za signalizaciju uklanjanja materijala i/ili (polu)proizvoda sa zaliha.

### 6.3.1 Kanban za planiranje protočnih procesa

Ova vrsta kanbana koristi se za prenošenje proizvodnih uputa kod malih količina proizvoda (u idealnom slučaju kod jednokomadne proizvodnje) procesima koji se nalaze uzvodno u lancu vrijednosti. Tipična uporaba uključuje planiranje finalnih proizvodnih procesa koji se temelje na povlačenju proizvoda od strane tržišta ili kupaca. Slika 22. prikazuje primjer kanbana za planiranje protočnih procesa.

<sup>20</sup> Art Smalley: Creating Level Pull, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, 2004.

Slika 22. Kanban za planiranje protočnih procesa<sup>21</sup>

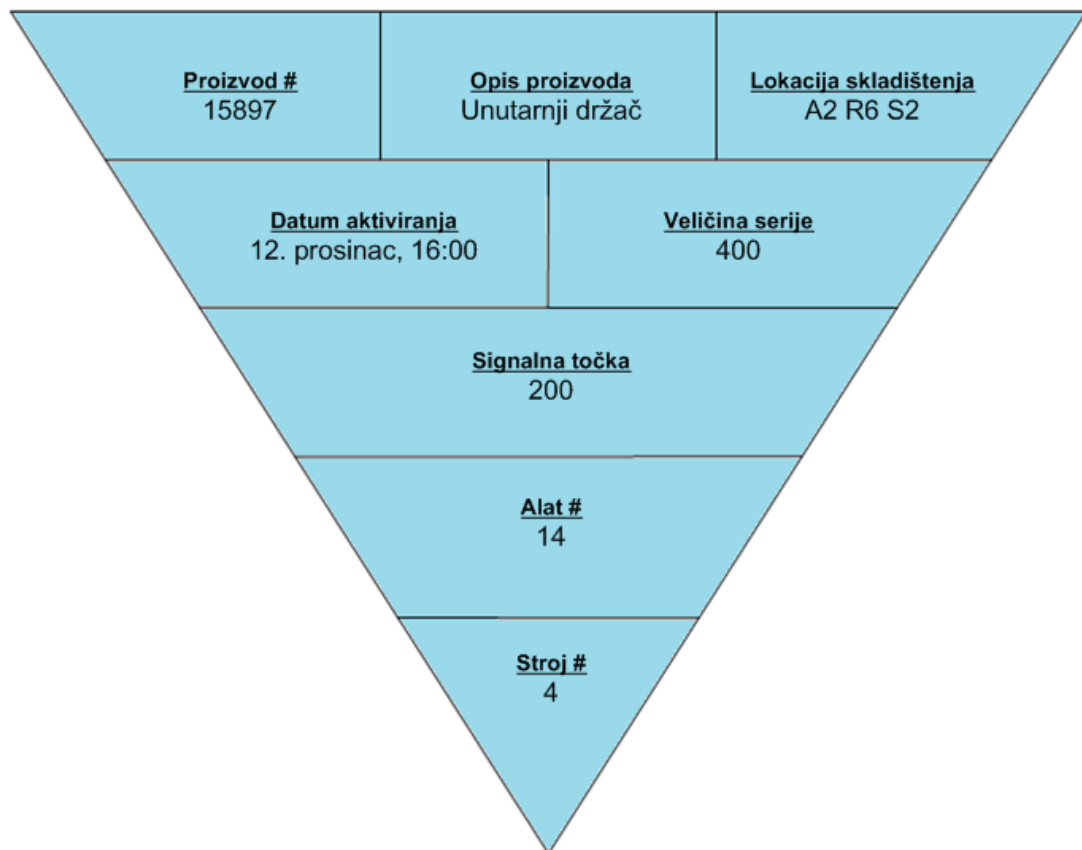
### 6.3.2 Signalni kanban za planiranje serijskih procesa

Signalni kanban koristi se za prenošenje proizvodnih uputa većih količina procesima koji se nalaze uzvodno u lancu vrijednosti kao što su preše ili strojevi za oblikovanje kalupa. Kanban za planiranje protočnih procesa bi u ovoj situaciji bio manje učinkovit zbog velikog broja potrebnih kartica i vremena potrebnog za njihovu obradu. Umjesto toga, signalni kanban koristi veličinu serije u svezi s potražnjom tržišta i procesa koji se nalaze nizvodno u lancu vrijednosti istovremeno omogućavajući dovoljno vremena za izmjenu alata u prethodnim procesima.

Postoji nekoliko oblika signalnih kanbana, a najčešće korišteni je *trokutasti kanban* čije ime dolazi zbog trokutastog oblika kartice. Trokutasti kanban se koristi za prenošenje proizvodnih uputa serijskim procesima kojima treba znatno vrijeme za izmjenu alata i čije je strojno vrijeme ciklusa značajno brže od vremena takta nizvodnih procesa. Ovaj tip signalnog kanbana koristi veličinu serije u svezi sa signalnim okidačem za nadopunjavanje zaliha i često

<sup>21</sup> Art Smalley: Creating Level Pull, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, 2004.

se koristi kod procesa štancanja, istiskivanja i sličnih procesa. Ključna prednost trokutastog kanbana je što ne treba upravljati višestrukim karticama – stvara se samo jedan kanban po tipu proizvoda. Slika 23. prikazuje primjer trokutastog kanbana.



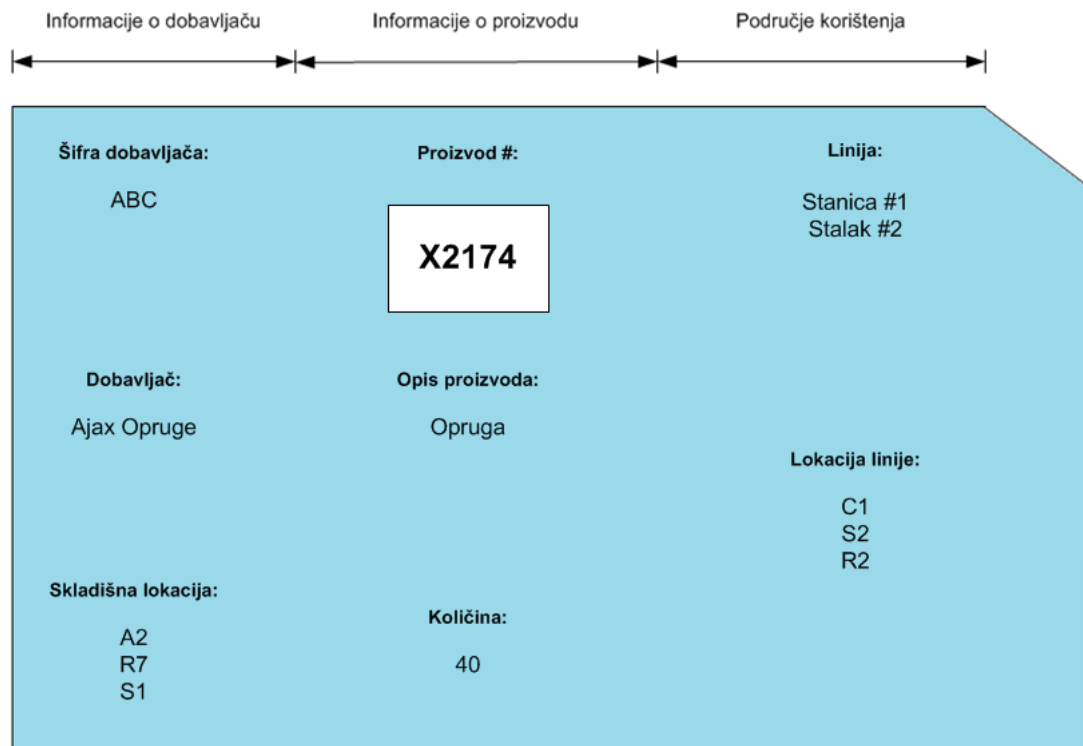
Slika 23. Trokutasti kanban<sup>22</sup>

### 6.3.3 Međuprocesni kanban za internu uporabu

Međuprocesni kanban koristi se za signaliziranje potrebe povlačenja dijelova sa skladišnog prostora i njihovog transporta nizvodnim procesima unutar postrojenja. Ovaj tip kanbana najčešće se upotrebljava u sprezi s montažnim radnim stanicama koje koriste veliki broj dijelova iz unutarnjih ili vanjskih izvora. Preduvjet za korištenje transportnih kanbana je stvaranje supermarketa s dijelovima kao i utvrđivanje skladišnih količina. Namjera ovog kanbana je omogućiti skladištenje malih količina dijelova kod završne montaže kako bi se povećao prostor dostupan za proizvodnju. To, zauzvrat, zahtijeva česte i redovite dostave

<sup>22</sup> Art Smalley: Creating Level Pull, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, 2004.

malih količina dijelova montažnoj radnoj stanici. Kako bi ovaj sustav funkcionirao, svaki dio mora imati jedinstvenu skladišnu lokaciju i pripadajući mehanizam za jednostavniji transport materijala. Slika 24. prikazuje primjer međuprocenog kanbana.



Slika 24. Međuproceneni kanban<sup>23</sup>

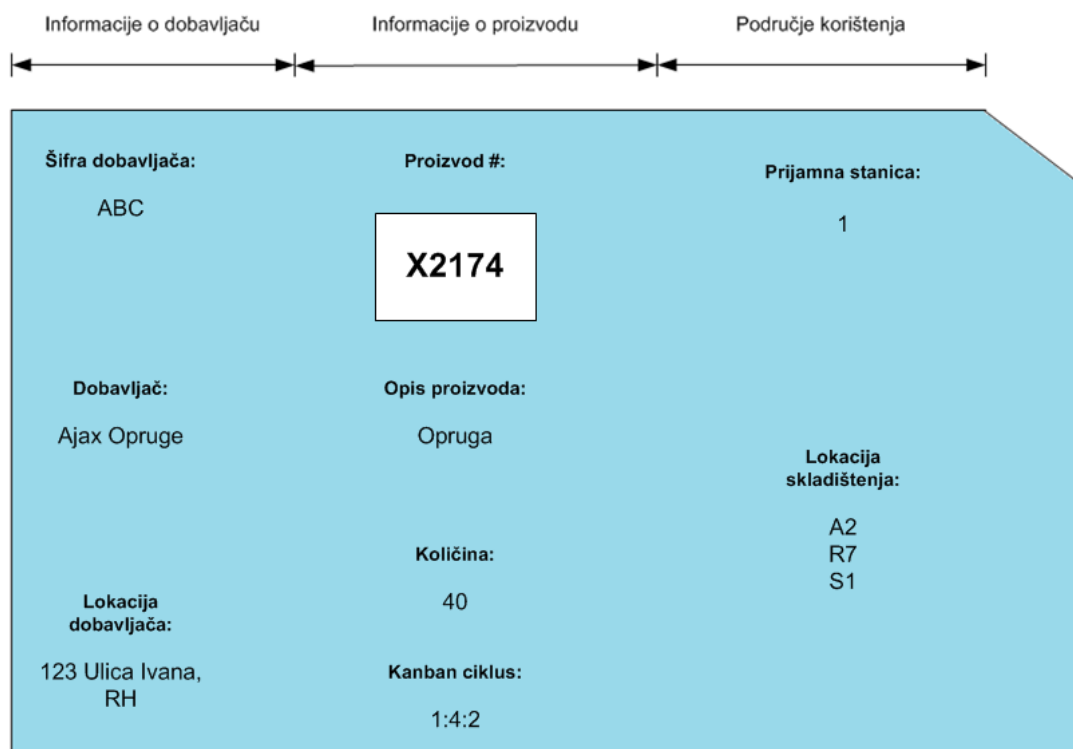
#### 6.3.4 Kanban za dobavljače

Kanban za dobavljače koristi se za signaliziranje potrebe za povlačenjem dijelova od dobavljača i njihov prijenos na ulazno skladište. Za razliku od međuprocenog kanbana, kanban za dobavljače koristi se za vanjsku uporabu.

U naprednoj primjeni kanban za dobavljače sadrži informacije i o *kanban ciklusu*. Primjer kanban ciklusa je notacija 1:4:2 koja ukazuje da će dobavljač u *jednom* danu dostaviti određeni tip proizvoda i pokupiti kanban karticu *četiri* puta te da će se podignuta kanban kartica vratiti s traženim proizvodom nakon *dvije* dostave. U ovom slučaju, s obzirom na četiri dostave dnevno (svakih šest sati), traženi proizvod dostavit će se za 12 sati. Treba imati

<sup>23</sup> Art Smalley: Creating Level Pull, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, 2004.

na umu da dostavljač često dostavlja i druge proizvode širom postrojenja pridržavajući se dodatnih kanban ciklusa i isporučujući proizvode tijekom dana na neke lokacije te podizanje kanban kartica za druge lokacije. Mogu se napraviti različiti kanban ciklusi ovisno o prirodi proizvodnih procesa dobavljača, zalihama na izlaznom skladištu dobavljača i udaljenosti dobavljača od kupaca. Slika 25. prikazuje primjer kanbana za dobavljača.



Slika 25. Kanban za dobavljače<sup>24</sup>

### 6.3.5 Privremeni kanban

Nije naveden kod klasifikacije tipova kanbana. Broj kanban kartica izračunava i regulira kontrola proizvodnje na mjesečnoj bazi i taj broj kartica je podložan mjesečnoj promjeni samo na osnovi promjena u potražnji i vremenu ciklusa proizvodnje. Međutim, često dolazi do neočekivanih kratkoročnih događaja koji zahtijevaju uključivanje dodatnih kanban kartica unutar sustava kako bi proizvodnja i dalje tekla bez zastoja. Razlozi za uključivanje privremenih kartica u sustav su moguće gomilanje zaliha ili nadoknađivanje vremena potrošenog na održavanje alata ili strojnim popravcima. Privremeni kanban koristi se

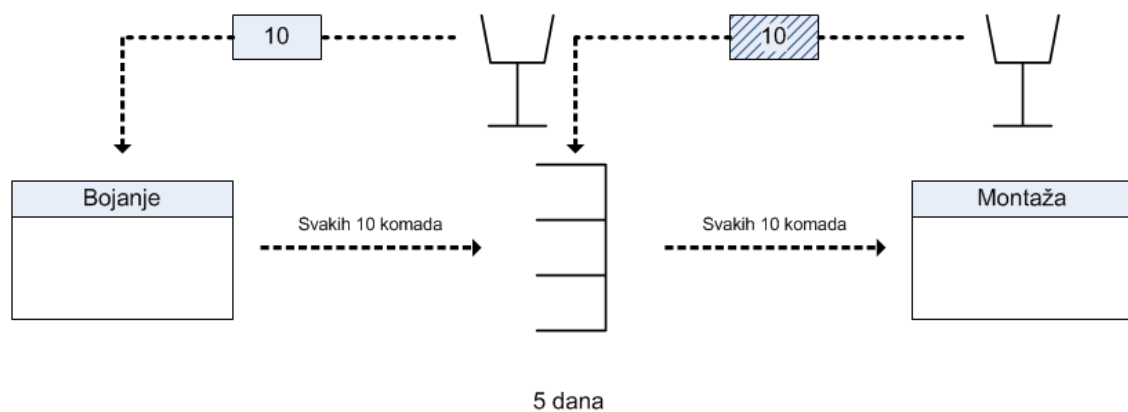
<sup>24</sup> Art Smalley: Creating Level Pull, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, 2004.



isključivo jednokratno i mora prikazivati datum isteka upotrebe. Dobra praksa je da se takve kartice vizualno drugačije označe (npr. drugom bojom) kako ne bi zabunom ostale u sustavu poslije isteka upotrebe.

#### 6.4 Kanban u kombinaciji

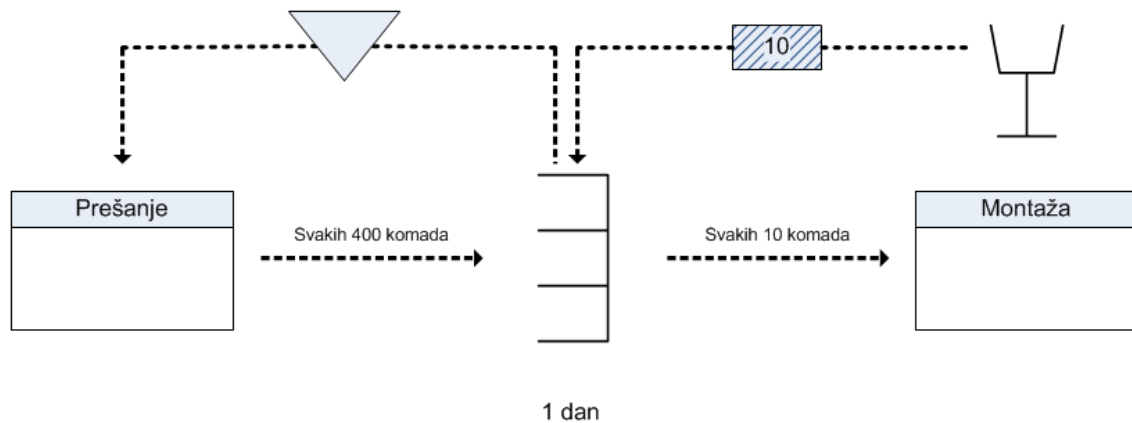
U pravilu, proizvodni kanban i transportni kanban koriste se u kombinaciji kako bi se kontrolirala pull proizvodnja između procesa gdje se određena količina WIP-a skladišti u supermarketima. Slika 26. prikazuje primjer kombinacije proizvodnog i transportnog kanbana između operacije montaže, supermarketeta i operacije bojanja.



Slika 26. Proizvodni i transportni kanban u kombinaciji<sup>25</sup>

Slično korištenje proizvodnih i transportnih kanban kartica u kombinaciji je dano na slici 27. između operacije montaže, supermarketeta i operacije prešanja.

<sup>25</sup> Art Smalley: Creating Level Pull, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, 2004.



Slika 27. Signalni i transportni kanban u kombinaciji<sup>26</sup>

Upotreba kanbana mora se uzeti u obzir zajedno s transportnim rutama unutar postrojenja. Mora postojati standardni mehanizam transporta materijala unutar postrojenja, ako želimo pomoću kanban kartica kontrolirati tok proizvodnje. Princip toka materijala u vitkoj proizvodnji je isporučivanje proizvoda na zahtjev procesima koji se nalaze nizvodno u lancu vrijednosti redovito i na vrijeme. Metoda transporta *fiksno-vrijeme varijabilne-količine* koristi se unutar postrojenja ili između postrojenja za isporučivanje proizvoda u kombinaciji s kanbanom. Ovaj stil zahtijeva vremenski precizno određene transportne rute s ponovljivim standardnim obrascem. U određenim slučajevima između procesa, može se koristiti i metoda *fiksna-količina varijabilno-vrijeme* za signaliziranje potrebe za određenim tipom proizvoda koji se ne koriste redovito. U tom slučaju ključni faktor je odluka kada i na koji način signalizirati potrebu za tim proizvodom.

<sup>26</sup> Art Smalley: Creating Level Pull, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, 2004.

## 7 HEIJUNKA

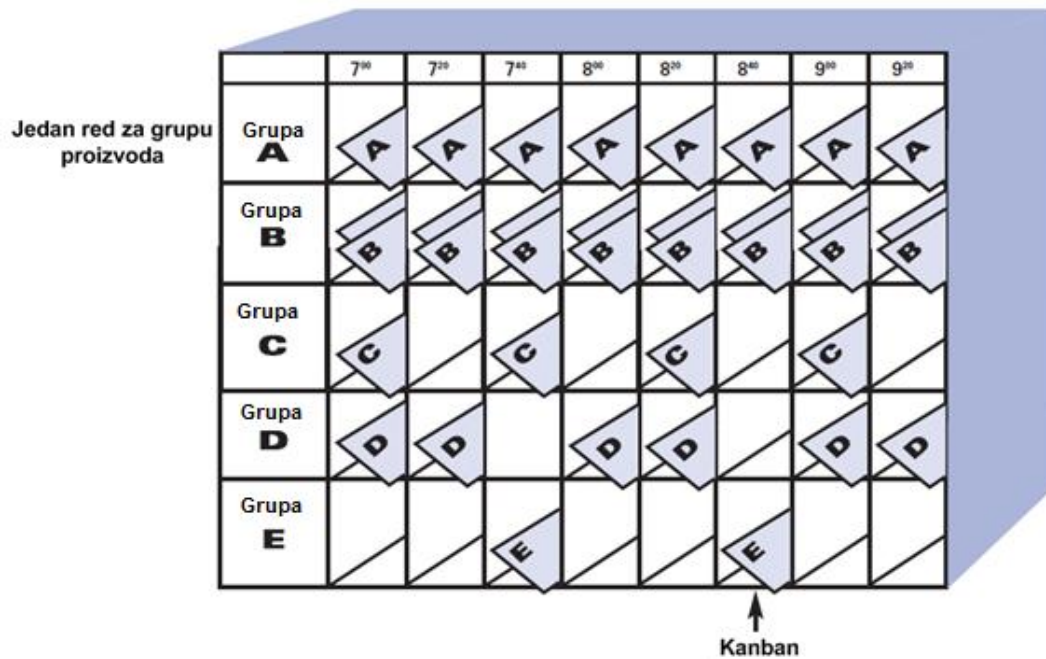
Ovaj jednostavan alat koristi vremenske intervale označene na vrhu kutije kako bi vizualno rasporedio proizvodne upute – kanban kartice za planiranje protočnih procesa – na način koji će savršeno jasno prikazati *koji* proizvod treba proizvesti i točno *kada* ga treba proizvesti.

Služi za niveliranje vrste i količine proizvodnje kroz određeno vrijeme. Omogućuje proizvodnji da učinkovito zadovolji sve zahtjeve kupaca, a istovremeno sprječava gomilanje zaliha te rezultira minimalnim kapitalnim troškovima, minimalnim utroškom radne snage i smanjenim ciklusom proizvodnje.

### 7.1 Podrijetlo heijunke

Prva primjena heijunke se dogodila u Toyoti u održavanju. Toyotini menadžeri su otkrili da je korisno napraviti kutije s vremenskim intervalima (u satima) kako bi isplanirali aktivnosti preventivnog održavanja. Pažljivim planiranjem opsega i trajanja rada svake aktivnosti, te njihovom vizualnom identifikacijom, Toyota je pomogla svojim nadzornicima u tempiranju rada pritom ne zaboravljajući isplanirati sve potrebne zadatke koji se trebaju obaviti i to na način koji ne će prouzročiti zastoje u proizvodnji. Heijunka je na taj način *iznivelirala* aktivnosti održavanja.

Iz te prve primjene razvila se ideja o korištenju heijunke u svrhu *niveliranja proizvodnje*. Pritom se najviše koristi s dobavljačima kao alat koji tempira povlačenje zaliha sa skladišta i usko povezuje izlazne procese dobavljača s vremenom takta Toyotinih procesa.

Slika 28. Primjer Heijunke<sup>27</sup>

## 7.2 Niveliranje proizvodnje s obzirom na količinu proizvoda

Pretpostavimo da proizvođač rutinski dobiva narudžbe od 500 proizvoda tjedno, ali potražnja značajno varira između dana u tjednu:

- 200 proizvoda treba biti gotovo u ponedjeljak
- 100 proizvoda treba biti gotovo u utorak
- 50 proizvoda treba biti gotovo u srijedu
- 100 proizvoda treba biti gotovo u četvrtak
- 50 proizvoda treba biti gotovo u petak

Kako bi proizvođač uspješno iznivelirao proizvodnju, on može postaviti malo *tampon* skladište gotovih proizvoda u blizini utovara te na taj način uspješno odgovoriti na visoku razinu potražnje ponedjeljkom te iznivelirati proizvodnju na 100 jedinica dnevno kroz tjedan dana. Držeći male zalihe gotovih proizvoda pri samom kraju lanca vrijednosti, proizvođač može izjednačiti potražnju unutar pogona i prema svojim dobavljačima što rezultira

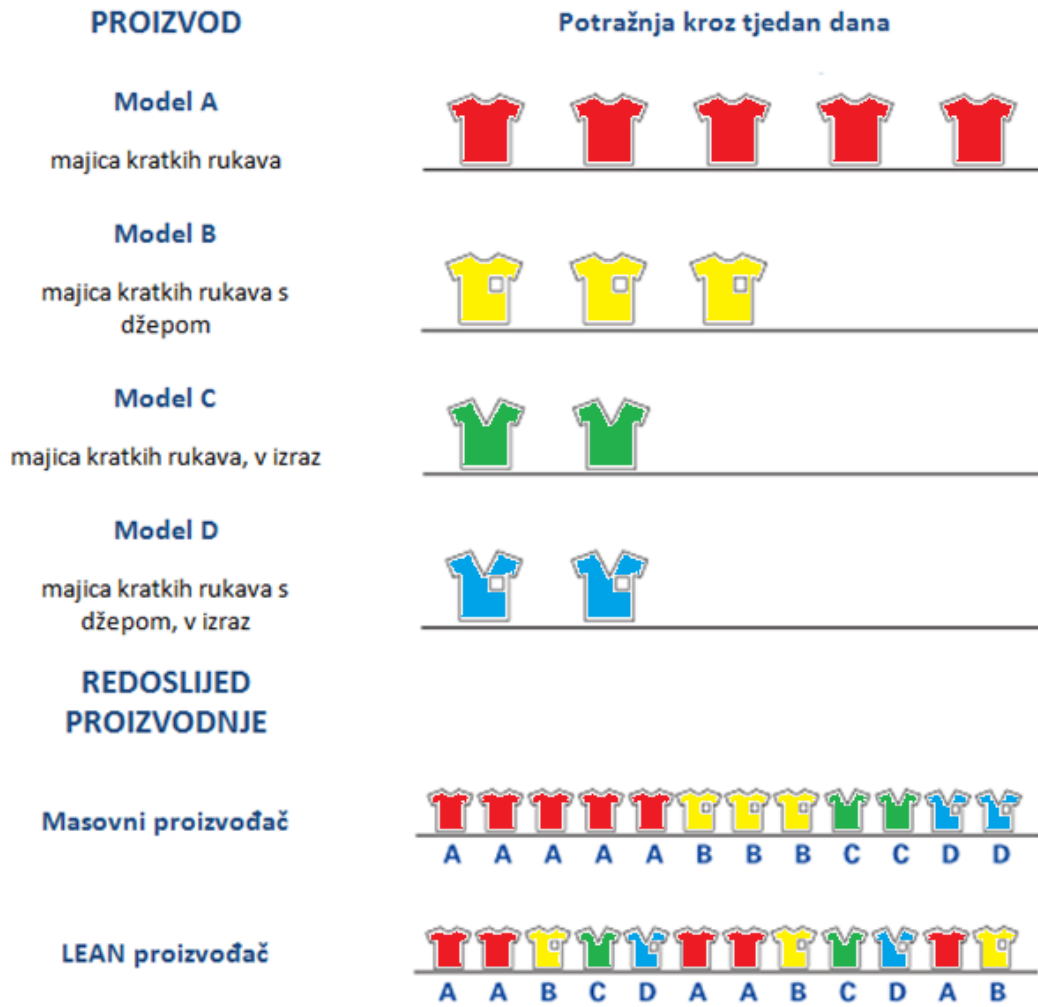
<sup>27</sup> Lean Lexicon: A graphical glossary for Lean Thinkers, The Lean Enterprise Institute

učinkovitijim korištenjem resursa duž cijelog toka vrijednosti, istovremeno ispunjavajući zahtjeve kupaca.

### **7.3 Niveliranje proizvodnje s obzirom na vrstu proizvoda**

Na slici 29. je prikazano niveliranje proizvodnje prema vrsti proizvoda. Pretpostavimo da tekstilno poduzeće nudi na prodaju košulje u modelima A, B, C i D te da tjedna potražnja za košuljama iznosi pet komada modela A, tri komada modela B te po dva komada modela C i D. Masovni proizvođač, vodeći se ekonomijom razmjera i želeći minimizirati broj promjena alata, vjerojatno će proizvoditi košulje po sljedećem tjednom rasporedu: AAAAABBBCCDD.

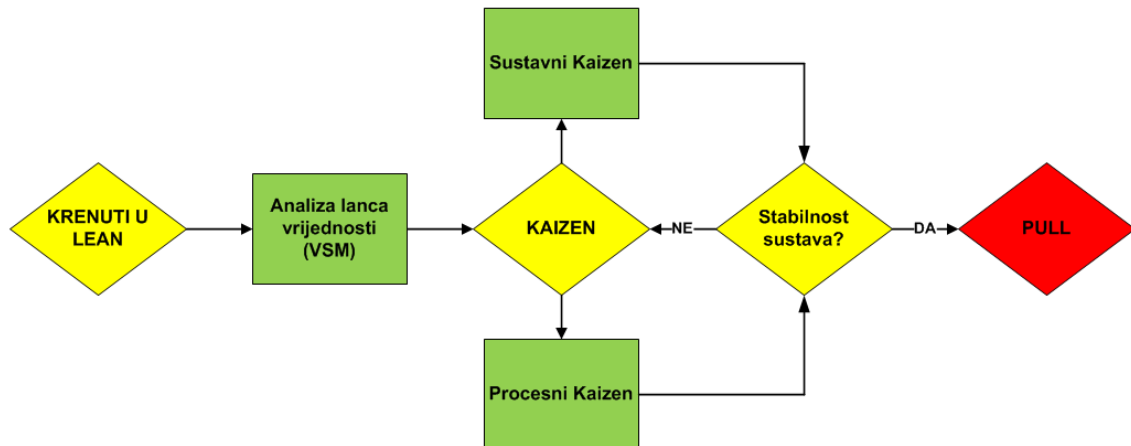
Lean proizvođač, svjestan svih negativnih učinaka slanja velikih narudžbi procesima i dobavljačima uzvodno u lancu vrijednosti, nastojao bi postići redosljed proizvodnje AABCDAABCDAB poboljšanjima unutar sustava, kao što je smanjenje vremena za izmjenu alata. Ovaj redosljed proizvodnje povremeno bi se prilagođavao s obzirom na promjene u narudžbama kupaca.

Slika 29. Niveliranje proizvodnje prema vrsti proizvoda<sup>28</sup>

<sup>28</sup> <http://www.lean.org/Common/LexiconTerm.cfm?TermId=224>

## 8 PRIMJER UVOĐENJA PULL SUSTAVA

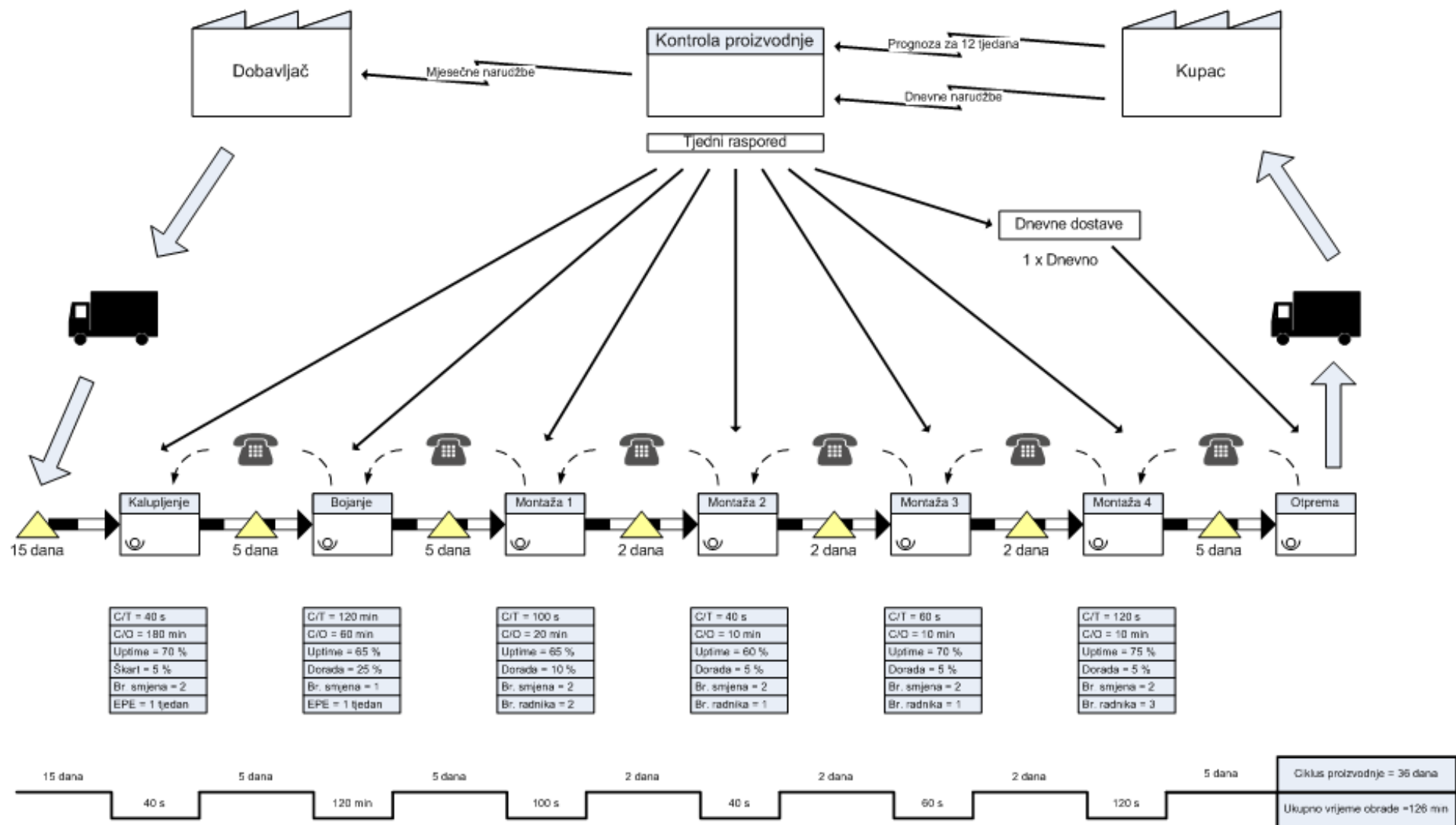
Na slici 30. prikazan je dijagram toka aktivnosti koje prethode odluci o uvođenju pull sustava.



Slika 30. Dijagram toka aktivnosti koje prethode odluci o uvođenju pull sustava

### 8.1 Analiza lanca vrijednosti

Prvi korak u implementaciji lean-a u proizvodnji je odlazak u pogon (jap. „*Gemba*“) i analiza lanca vrijednosti (eng. „*Value Stream*“) kako bi se razotkrili svi gubici unutar proizvodnje. U ovom koraku od velike nam je pomoći mapiranje lanca vrijednosti (eng. *VSM / Value Stream Mapping*) koja zorno i na jednostavan način prikazuje sve proizvodne operacije, nepotrebna čekanja i stanje zaliha između operacija, duga vremena izmjene alata, iskoristivost strojeva i opreme i slično.



Slika 31. Početno stanje



## 8.2 Kaizen aktivnosti

Drugi korak u implementaciji lean-a je provođenje *Kaizen* aktivnosti, odnosno proces kontinuiranog poboljšanja cjelokupnog lanca vrijednosti ili pojedinih procesa u svrhu stvaranja veće vrijednosti s manje gubitaka.

Postoje dvije vrste kaizen aktivnosti:

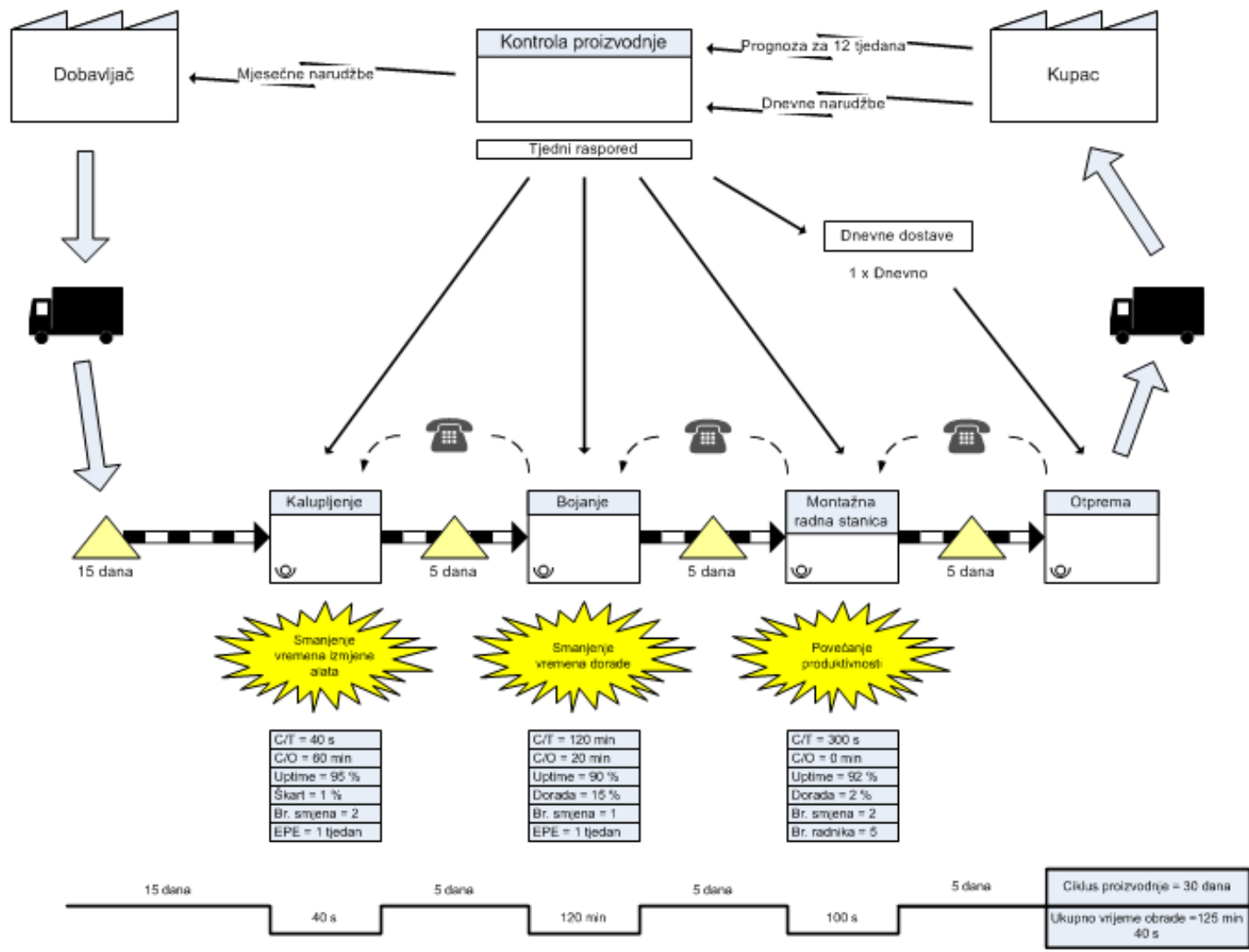
1. Sustavni kaizen koji je fokusiran na cjelokupan lanac vrijednosti. To je kaizen za upravu.
2. Procesni kaizen koji je fokusiran na pojedine procese. To je kaizen za radne timove i vođe timova.

Mapiranje lanca vrijednosti je izvrstan alat za identificiranje cjelokupnog lanca vrijednosti i za određivanje potreba za sustavnim i procesnim kaizenom.



Slika 32. Tipovi Kaizen aktivnosti<sup>29</sup>

<sup>29</sup> Lean Lexicon: A graphical glossary for Lean Thinkers, The Lean Enterprise Institute



Slika 33. Stanje nakon kaizen aktivnosti

U ovom koraku naglasak je stavljen na smanjenje vremena izmjene alata u svim procesima, boljoj iskoristivosti rada strojeva i opreme te uvođenje montažne radne stanice. Zbog ovih koraka došlo je do povećanja propusnosti te smanjenja zaliha, rada i troškova. Također, oslobodio se dodatan prostor unutar pogona.

Važno pitanje prilikom prijelaza s push na pull sustav je postoji li dovoljno stabilnosti unutar proizvodnje. Općenito, ukoliko proizvodni procesi imaju iskoristivost rada strojeva i opreme od najmanje 75 do 80 % može se krenuti s uvođenjem pull sustava. Međutim, ukoliko su pojedini proizvodni procesi manje stabilni i manje predvidljivi poželjno je obratiti više pažnje na povećanje stabilnosti te na provođenje dodatnih kaizen aktivnosti.

### **8.3 Usklađivanje proizvodnje s potražnjom**

Pitanja na koja treba pronaći odgovor prilikom prijelaza s push na pull sustav su:

1. Koje proizvode držati u skladištu gotovih proizvoda, a koje proizvoditi samo po narudžbi?
2. Koliko komada svakog proizvoda držati u skladištu gotovih proizvoda?
3. Na koji način organizirati i upravljati skladištem gotovih proizvoda?

Iako su zalihe jedan od sedam glavnih gubitaka unutar proizvodnje, ponekad izostanak određene količine sirovina, materijala i/ili poluproizvoda može uzrokovati još veće gubitke u lancu vrijednosti u obliku zastoja i nepotrebnog čekanja, prekomjernog transporta, prokovremenog rada i slično.

#### **8.3.1 Koje proizvode držati u skladištu gotovih proizvoda, a koje proizvode proizvoditi samo po narudžbi?**

Kako bi odgovorili na prvo pitanje potrebno je provesti *ABC proizvodnu analizu*. Za razliku od ABC analize koju mnoga poduzeća koriste kako bi kategorizirali tipove proizvoda i/ili zaliha prema njihovom udjelu u ukupnoj vrijednosti, ABC proizvodna analiza kategorizira tipove proizvoda prema potražnji. Ova analiza se koristi pri odlučivanju potrebne količine i tipova proizvoda koje treba držati u skladištu.

- A grupa predstavlja proizvode za kojima postoji visoka potražnja.
- B grupa predstavlja proizvode za kojima postoji srednja potražnja.
- C grupa predstavlja proizvode za kojima postoji niska potražnja.

Kod C grupe uglavnom se radi o proizvodima koji nisu tipičnog dizajna ili boja, specijalnim proizvodima ili zamjenskim dijelovima.

Nakon provedene ABC proizvodne analize potrebno je odlučiti između nekoliko opcija pull sustava, ovisno o potrebama poduzeća tj. potražnji njihovih kupaca.

Pull sustav	Prednosti	Mane
<b>Nadopunjavajući</b> pull sustav	Mogućnost brze isporuke svih proizvoda	Potreban je veliki skladišni prostor u kojem će se moći skladištiti svaki tip proizvoda
<b>Sekvencijalni</b> pull sustav	Manje zaliha i povezanih gubitaka	Potrebna je visoka stabilnost procesa i kratak ciklus proizvodnje
<b>Mješoviti</b> pull sustav	Manje zaliha	Potrebna je mješovita kontrola proizvodnje i dnevna stabilnost

Slika 34. Prednosti i mane različitih pull sustava<sup>30</sup>

### 8.3.2 Koliko komada svakog proizvoda držati u skladištu gotovih proizvoda?

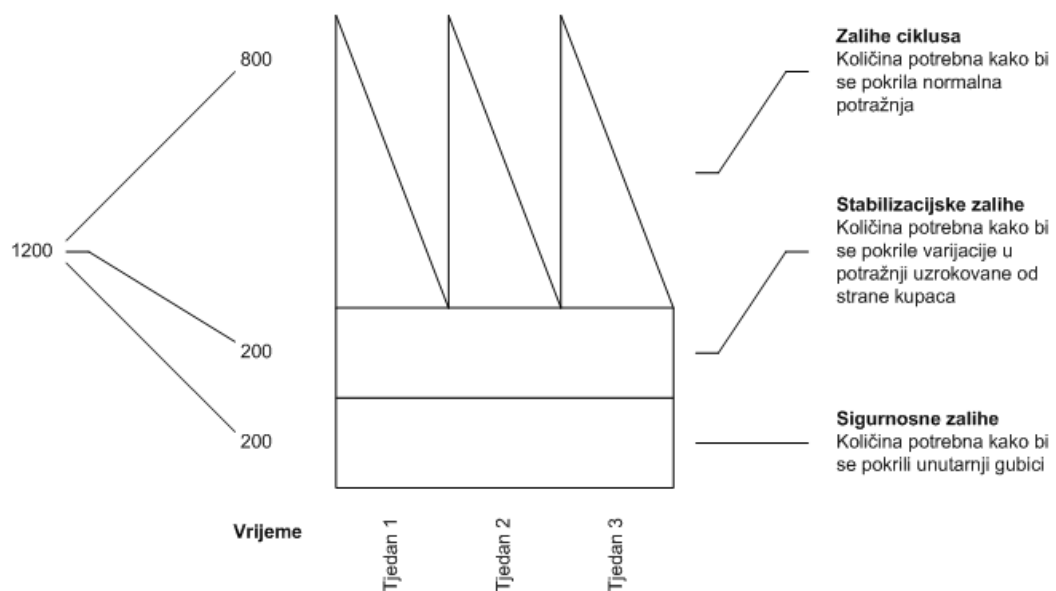
Nakon odluke o tome koji tip pull sustava primijeniti, potrebno je odlučiti i koliko komada svakog proizvoda držati u skladištu gotovih proizvoda. U tablici 10. dan je prikaz izračuna zaliha u skladištu gotovih proizvoda.

<sup>30</sup> Creating Level Pull, Art Smalley, str. 16

Tablica 10. Izračun zaliha u skladištu gotovih proizvoda<sup>31</sup>

	Prosječna dnevna potražnja x vrijeme od narudžbe do isporuke (u danima)	<b>Zalihe ciklusa</b>
+	Varijacije u potražnji kao % zaliha ciklusa	<b>Stabilizacijske zalihe</b>
+	Sigurnosni faktor kao % od (zaliha ciklusa + stabilizacijskih zaliha)	<b>Sigurnosne zalihe</b>
=		<b>Skladište gotovih proizvoda</b>

Prosječna dnevna potražnja se utvrđuje praćenjem proizvodnje kroz duže vremensko razdoblje te je prilikom utvrđivanja prosječne dnevne potražnje potrebno obratiti pozornost i o sezonskoj proizvodnji te promjenama na tržištu. Na slici 35. dan je prikaz i objašnjenje zaliha ciklusa te stabilizacijskih i sigurnosnih zaliha.

Slika 35. Primjer skladišta gotovih proizvoda<sup>32</sup>

<sup>31</sup> Creating Level Pull, Art Smalley, str. 20

<sup>32</sup> Creating Level Pull, Art Smalley, str. 22

Za izračun stabilizacijskih zaliha koristimo standardno odstupanje (devijaciju)  $\sigma$  – prosječno odstupanje svakog podatka od aritmetičke sredine. Ukoliko odlučimo postaviti stabilizacijske zalihe na razinu od dvije standardne devijacije iznad prosječne potražnje, izgledi da potražnja neće prekoračiti izračunatu količinu stabilizacijskih zaliha su 19 od 20, tj. 95 %.

Sigurnosne zalihe podrazumijevaju količinu gotovih proizvoda potrebnih kako bi se pokrili unutarnji gubici kao što su neplanirani zastoji u proizvodnji.

### 8.3.3 Na koji način organizirati i upravljati skladištem gotovih proizvoda?

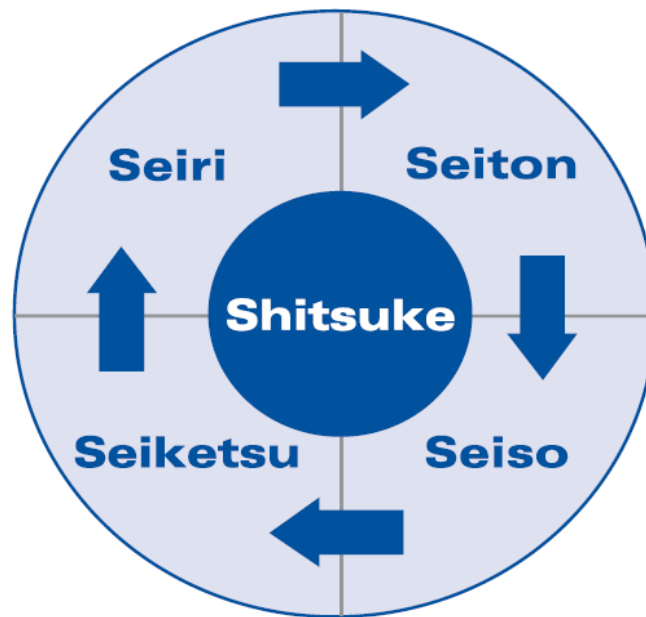
Prilikom organiziranja skladišta gotovih proizvoda važno je obratiti pažnju na vizualnu kontrolu te primjenjivati prakse dobre radne organizacije (5S). Svaki tip proizvoda mora imati točno određeno mjesto u skladištu. Također, FIFO (eng. *First In, First Out* – princip i praksa koja osigurava da prvi dio ili proizvod koji ulazi u proces ili skladište je ujedno i prvi dio ili proizvod koji će izaći iz tog procesa ili skladišta) je nužan preduvjet za uvođenje pull sustava. FIFO osigurava da uskladišteni proizvodi ne zastarijevaju i da mogući problemi oko kvalitete ne ostanu skriveni unutar zaliha.

#### 8.3.3.1 5S

5S je koncept koji potječe iz Toyotinih pogona, a glavni mu je cilj poboljšanje načina rada unutar tvornice, ili bilo kakve druge organizacije, te se oslanja na principe vizualne kontrole i vitke proizvodnje.

1. *Seiri* (eng. Sort): Odvojiti potrebne od nepotrebnih stvari (alate, dijelove, materijal, dokumente) te odbaciti nepotrebne stvari.
2. *Seiton* (eng. Straighten): Uredno posložiti stvari koje su ostale nakon sortiranja. „Mjesto za sve i sve na svom mjestu“.
3. *Seiso* (eng. Shine): Redovito čistiti i prati.
4. *Seiketsu* (eng. Standardize): Čistoća i urednost koja proizlazi iz redovitog obavljanja prva tri koraka.
5. *Shitsuke* (eng. Sustain): Samodisciplina u obavljanju prva četiri koraka.

Ponekad se dodaje i šesto *S* za *Sigurnost* (eng. Safety). U ovom koraku potrebno je uspostaviti i vježbati sigurnosne procedure unutar pogona i ureda.



Slika 36. 5S<sup>33</sup>



Slika 37. Prije i poslije primjene alata 5S

Na slici 38. dan je prikaz obrasca za praćenje stanja na skladištu koji može poslužiti kao alat za svakodnevnu upotrebu u kontroliranju zaliha te nam na vrlo jednostavan način omogućiti da lakše razlučimo što je unutar granica normale, a što izvan.

<sup>33</sup> Lean Lexicon: A graphical glossary for Lean Thinkers, The Lean Enterprise Institute

<b>Skladište gotovih proizvoda</b>				
<b>Proizvod</b>	<b>Sigurnosne zalihe</b> stvarno stanje/max	<b>Stabilizacijske zalihe</b> stvarno stanje/max	<b>Zalihe ciklusa</b> stvarno stanje/max	15.04.2015. 9:00 h
<b>Grupa A</b>				
1111	200/200	200/200	<b>900/800</b>	100 kom više
1112	175/175	175/175	600/700	OK
1113	150/150	150/150	450/600	OK
1114	125/125	125/125	300/600	OK
1115	100/100	<b>50/100</b>	0/600	Zahvatilo stabilizacijske zalihe
<b>Grupa B</b>				
2111	100/100	100/100	100/300	OK
2112	100/100	100/100	50/200	OK
2113	100/100	100/100	50/200	OK
2114	100/100	100/100	100/200	OK
2115	100/100	100/100	<b>0/100</b>	Bez zaliha ciklusa
<b>Grupa C – rade se samo po narudžbi</b>				

Slika 38. Obrazac za praćenje stanja na skladištu



## 8.4 Proizvodnja po taktu

Pitanja na koja treba pronaći odgovor prilikom uspostavljanja takta u proizvodnji su:

1. Koji proces će davati takt cijelom lancu vrijednosti?
2. Na koji način nivelirati proizvodnju?
3. Na koji način prenijeti potražnju za proizvodima kako bi se ostvario pull sustav?

### 8.4.1 Koji proces će davati takt cijelom lancu vrijednosti?

Razlog zašto biramo samo jedan proces koji će davati takt cijelom lancu vrijednosti leži u tome što se na taj način eliminiraju moguće zabune oko „pravog“ plana proizvodnje što nam na kraju omogućuje da svi proizvode u istom ritmu. Povezivanje takta s alatima kao što je kanban omogućava glatko povlačenje materijala i proizvoda od strane kupaca kroz lanac vrijednosti.

- U nadopunjavajućem pull sustavu završna montaža je taj proces koji određuje takt za lanac vrijednosti u gotovo svakom slučaju.
- U sekvencijalnom pull sustavu često je prvi proces u lancu vrijednosti taj koji određuje takt za lanac vrijednosti.

### 8.4.2 Na koji način nivelirati proizvodnju?

Kako bi postigli veću efikasnost sustava, potrebno je smanjiti veličine serija u proizvodnji. Iako veće serije proizvoda postižu veću efikasnost u pojedinim procesima, one skrivaju i mnogo gubitaka u obliku nepotrebnih zaliha, potrebom za većim prostorom, nedostajućih dijelova i slično.

Prilikom niveliranja proizvodnje potrebno je obratiti pozornost na:

- Razlike u količini rada između različitih grupa proizvoda.
- Vrijeme izmjene alata.
- *Pitch interval* – vrijeme potrebno kako bi se proizveo jedan paket s manjim brojem proizvodima.

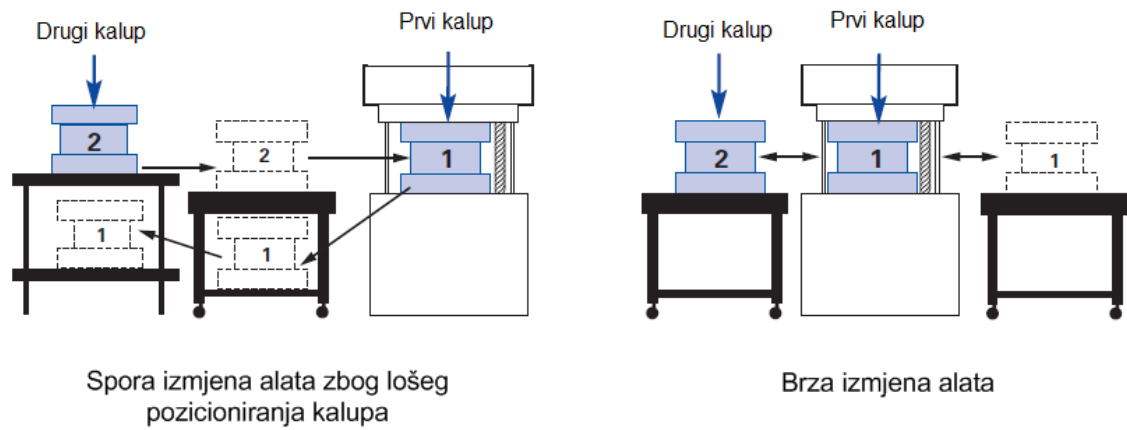
#### **8.4.2.1 Razlike u količini rada između različitih grupa proizvoda**

Prilikom uspostavljanja radnih stanica važno je da su razlike u količini rada između različitih grupa proizvoda male i da nijednoj grupi proizvoda nije potrebna količina rada iznad vremena takta jer u suprotnom stavljamo neracionalan pritisak na radnike.

#### **8.4.2.2 Vrijeme izmjene alata**

U slučaju kada bi vrijeme izmjene alata kod procesa koji daju takt cijelom lancu vrijednosti bilo dugo, teško bi uspjeli značajno nivelirati proizvodnju smanjivanjem veličine serija iz razloga što bi izgubili puno vremena.

Kako bi smanjili vrijeme izmjene alata koristimo *SMED* metodologiju (eng. *Single Minute Exchange of Die*). Cilj *SMED* metodologije je smanjiti vrijeme izmjene alata na manje od 10 minuta. Ključne spoznaje o smanjenju vremena izmjene alata razvio je Shigeo Shingo 1950-ih i 1960-ih, a radilo se o odvajanju unutarnjih od vanjskih aktivnosti. Unutarnje aktivnosti kod izmjene alata (kao što je postavljanje novog kalupa) mogu se odraditi samo dok stroj ne radi, a vanjske aktivnosti (kao što je prijevoz novog kalupa do stroja) mogu se napraviti i dok stroj radi.



Slika 39. Primjer brze izmjene alata primjenom SMED metodologije<sup>34</sup>

#### 8.4.2.3 Pitch interval

U kombinaciji s heijunkom i pull sustavom pomaže u ostvarivanju takta u proizvodnji. Računa se množenjem vremena takta s veličinom pakiranja.

Tablica 11. Izračun pitch-a

Takt	x	Veličina pakiranja	=	Paketno vrijeme
54 s	x	10 komada	=	540 s (9 min.)

<sup>34</sup> Lean Lexicon: A graphical glossary for Lean Thinkers, The Lean Enterprise Institute

U tablici 12. dan je prikaz izračuna broja intervala ukoliko dnevno na raspolaganju imamo 450 minuta.

Tablica 12. Izračun broja intervala

Raspoloživo vrijeme	/	Paketno vrijeme	=	Broj intervala
450 min.	/	9 min.	=	50 intervala

U tablici 13. dan je prikaz izračuna broja intervala za pojedine grupe proizvoda koje smo dobili ABC proizvodnom analizom.

Tablica 13. Izračun broja intervala za grupe proizvoda A, B i C

Broj intervala	x	% proizvodnje grupa A, B i C u ukupnoj proizvodnji	=	Broj intervala po grupi proizvoda (ekvivalentno vrijeme)
50 intervala	x	60 %	=	30 intervala za A grupu (9 min. x 30 = 270 min.)
50 intervala	x	20 %	=	10 intervala za B grupu (9 min. x 10 = 90 min.)
50 intervala	x	20 %	=	10 intervala za C grupu (9 min. x 10 = 90 min.)

Množeći veličinu pakiranja (10 komada) s brojem intervala koje imamo na raspolaganju za svaku grupu proizvoda, dobit ćemo da će poduzeće u primjeru dnevno proizvoditi 300 komada proizvoda grupe A, 100 komada proizvoda grupe B i 100 komada proizvoda grupe C

što se značajno razlikuje od dosadašnje situacije u kojoj je poduzeće dnevno proizvodilo 500 komada samo jedne grupe proizvoda.

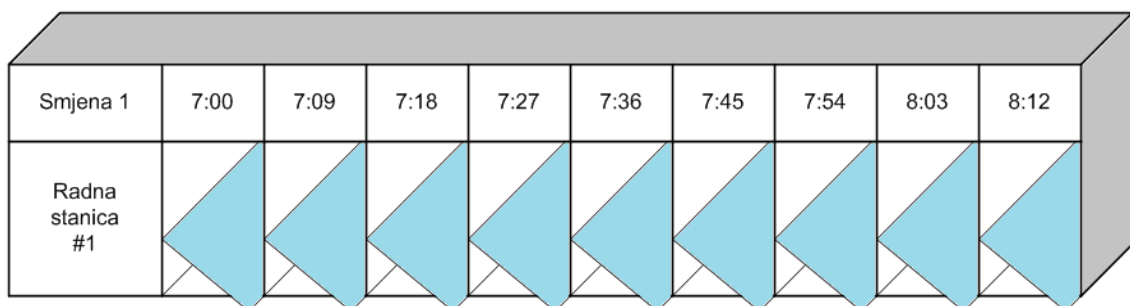
### 8.4.3 Na koji način prenijeti potražnju za proizvodima kako bi se ostvario pull sustav?

Specifičan alat za prenošenje proizvodnih uputa unutar vitke proizvodnje su kanban kartice koje su detaljnije obrađene u poglavlju 6.

Pravila za korištenje kanban kartica:

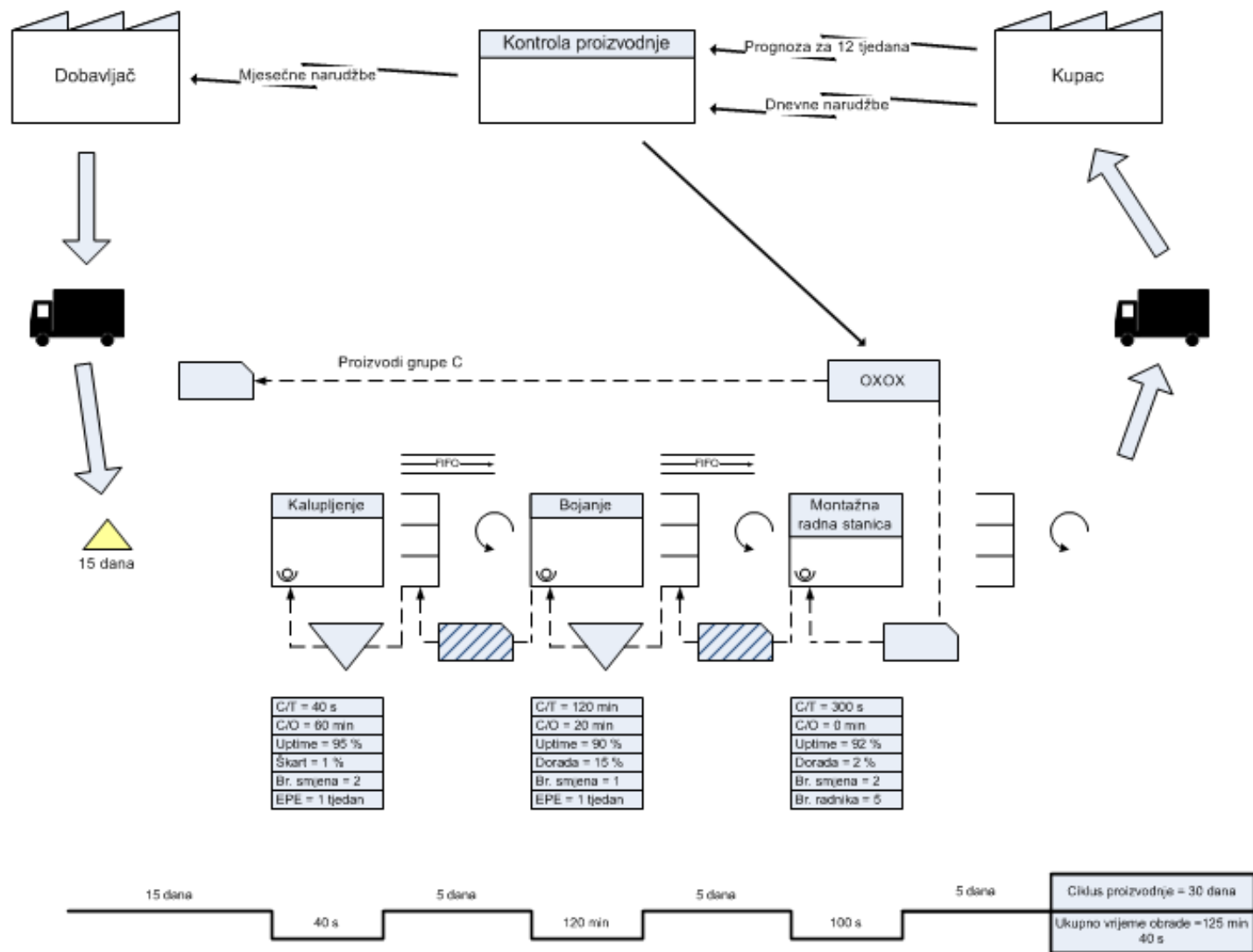
- Nizvodni procesi u lancu vrijednosti povlače proizvode uzvodnih procesa.
- Uzvodni procesi u lancu vrijednosti nadopunjavaju onu količinu proizvoda koja im je oduzeta.
- Škartu se ne dozvoljava da prijeđe na sljedeći proces.
- Kanban kartica mora biti priložena proizvodu ili paketu koji se prenosi.
- Proizvod ili paket se ne smije proizvoditi bez uputa koje dobijemo od kanban kartice.
- Količina proizvoda označena na kanban kartici mora odgovarati stvarnoj količini proizvoda unutar pakiranja kako bi se osigurala točnost informacija.

Za niveliranje proizvodnje koristimo heijunku koja je detaljnije obrađena u poglavlju 7. Na slici 40. prikazana je heijunka s izračunatim 9-minutnim intervalom.



Slika 40. Heijunka s 9 – minutnim intervalom<sup>35</sup>

<sup>35</sup> Creating Level Pull, Art Smalley, str. 40



Slika 41. Stanje nakon uvođenja pull sustava

## 9 SIMULACIJE KAO ALAT ZA POBOLJŠAVANJE PROIZVODNIH PROCESA

Simulacije imaju veliku važnost kako u dizajniranju i konstruiranju proizvoda tako i u planiranju te upravljanju proizvodnjom i kao takve „predstavljaju alat poslovnog procesnog reinženjeringa koje omogućuju vizualizaciju, analizu, poboljšavanje i optimizaciju poslovnih procesa“<sup>36</sup>.

Tipični zadaci simulacije u proizvodnji uključuju:

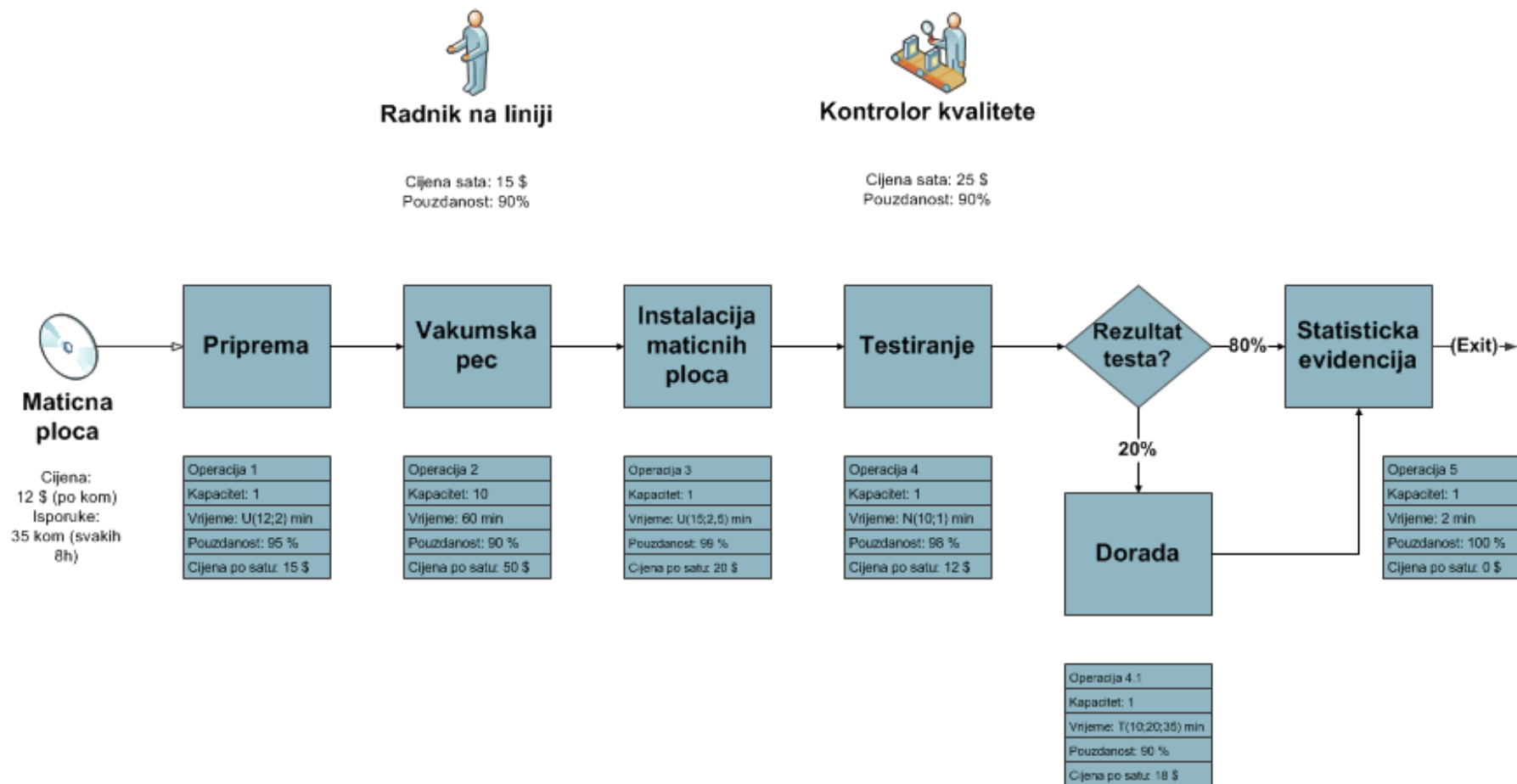
- Organizaciju rada, planiranje ljudskih resurs i radnog vremena
- Planiranje kapaciteta i izbor metoda rada
- Određivanje prioriteta poslova i operacija
- Određivanje veličine serija i šarži
- Vremensko planiranje proizvodnje i/ili pružanja usluga
- Poboljšavanje produktivnosti i efikasnosti sustava
- Analizu uskih grla u proizvodnji
- Analizu troškova u proizvodnji na osnovi aktivnosti i resursa
- Smanjivanje troškova u proizvodnji
- ...

Za simulaciju proizvodnog modela prikazanog na slici 39. korišten je program *Process Simulator* koji se instalira kao nadogradnja na postojeći Microsoftov Office Visio sustav. Process Simulator omogućava jednostavno stvaranje i pokretanje simulacijskih modela unutar Visio sustava te služi kao prediktivni alat za poboljšavanje produktivnosti.

---

<sup>36</sup> Ćosić P., predavanja iz kolegija „Projektiranje tehnoloških procesa“

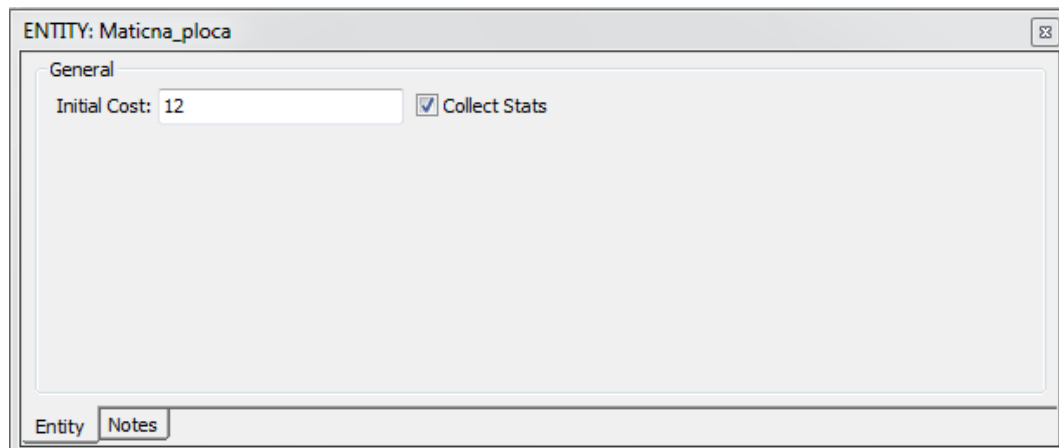
### PROIZVODNJA ELEKTRONIČKIH KOMPONENTI



Slika 42. Prikaz proizvodnog modela za simulaciju



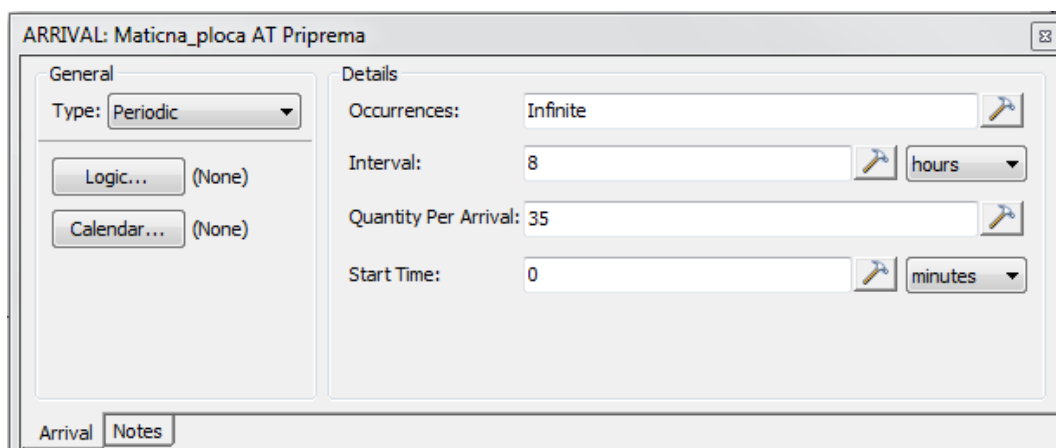
Na slici 43. dan je prikaz postavki entiteta. U ovim postavkama jedino što možemo postaviti je početna cijena po komadu.



Slika 43. Postavke entiteta

Na slici 44. dan je prikaz postavki isporuka entiteta, tj. u slučaju proizvodnje elektroničkih komponenti matičnih ploča. U ovim postavkama možemo postaviti:

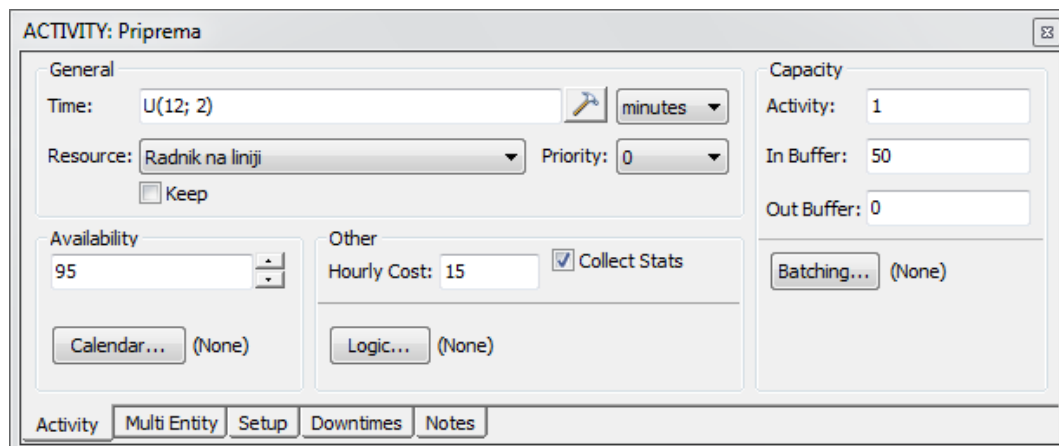
- Tip isporuke (periodičan, kontinuiran, po rasporedu, po narudžbi, po uzorku)
- Interval isporuke (svakih 8 sati i slično)
- Količinu isporuke
- ...



Slika 44. Postavke isporuka matičnih ploča

Na slici 45. dan je prikaz postavki aktivnosti, odnosno operacija u lancu vrijednosti. U ovim postavkama možemo postaviti:

- Vrijeme obrade
- Pouzdanost
- Cijena po satu
- Kapacitet
- Dodijeljeni resurs
- Ulazna/izlazna stabilizacijska skladišta
- ...



Slika 45. Postavke aktivnosti

Na slici 46. dan je prikaz postavki transporta materijala između operacija u lancu vrijednosti. Najvažnije postavke u ovom koraku odnose se na:

- Vrijeme transporta
- Dodijeljeni resurs

ROUTING: Priprema TO Vakumska pec

General

Move Time: 30 seconds

Resource: Radnik na liniji Priority: 0

Keep

Logic... (None)

Route Specific

Type: Percentage

Percent: 100

New Name: (None) (optional)

Routing Notes

Slika 46. Postavke transporta materijala između operacija u lancu vrijednosti

Na slici 47. dan je prikaz postavki ljudskih resursa. Najvažnije postavke u ovom koraku odnose se na:

- Broj radnika
- Pouzdanost
- Cijenu po satu

RESOURCE: Radnik na liniji

General

Units: 1  Show multiple units graphically

Collect Stats

Availability

90

Calendar... (None)

Cost

Hourly Cost: 15

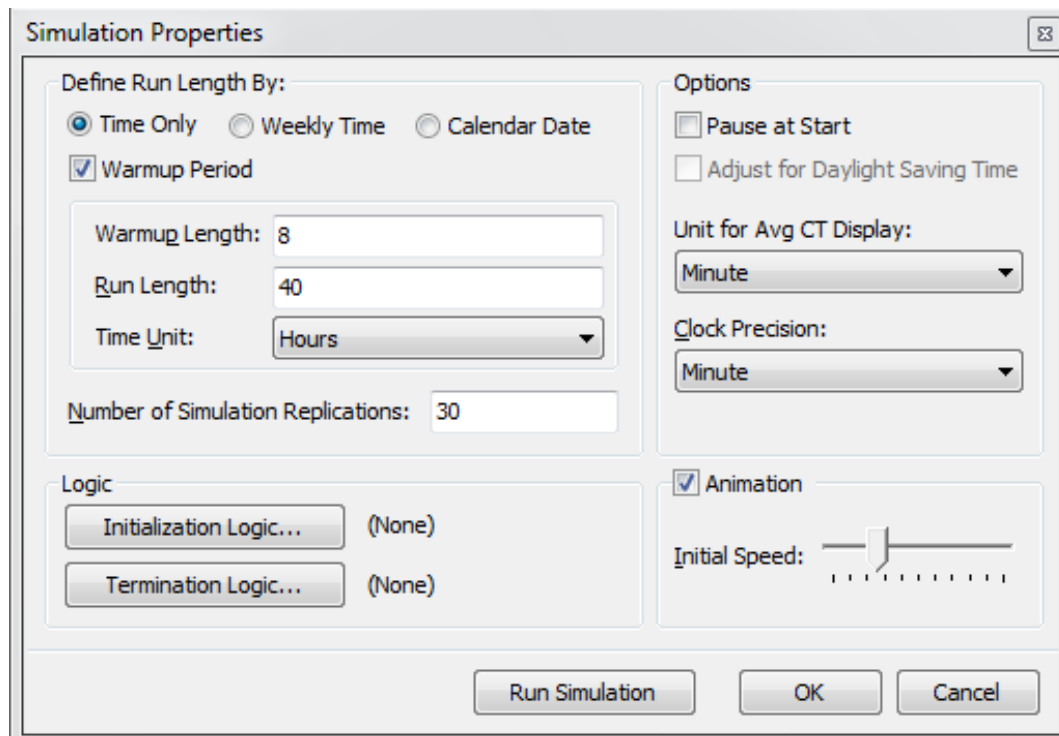
Cost Per Use: 0

Resource Downtimes Notes

Slika 47. Postavke radnika

Na slici 48. dan je prikaz postavki simulacije. U ovim postavkama možemo postaviti:

- Period zagrijavanja
- Vrijeme simulacije
- Jedinicu vremena
- ...



Slika 48. Postavke simulacije

Na slici 49. dan je prikaz postavki različitih scenarija koje možemo izvoditi, odnosno simulirati. U ovim postavkama možemo definirati više scenarija s različito podešenim parametrima koje ćemo kasnije uspoređivati nakon izvođenja simulacije.

U ovom primjeru napravljena su uz osnovni scenarij i dva dodatna scenarija. U scenariju 1 promatramo što će se dogoditi s proizvodnjom ukoliko povećamo broj radnika na liniji na dva, a u scenariju 2 promatramo što će se dogoditi s proizvodnjom ukoliko uz dodatnog radnika na liniji povećamo i isporuku matičnih ploča s 35 komada na 40 komada.

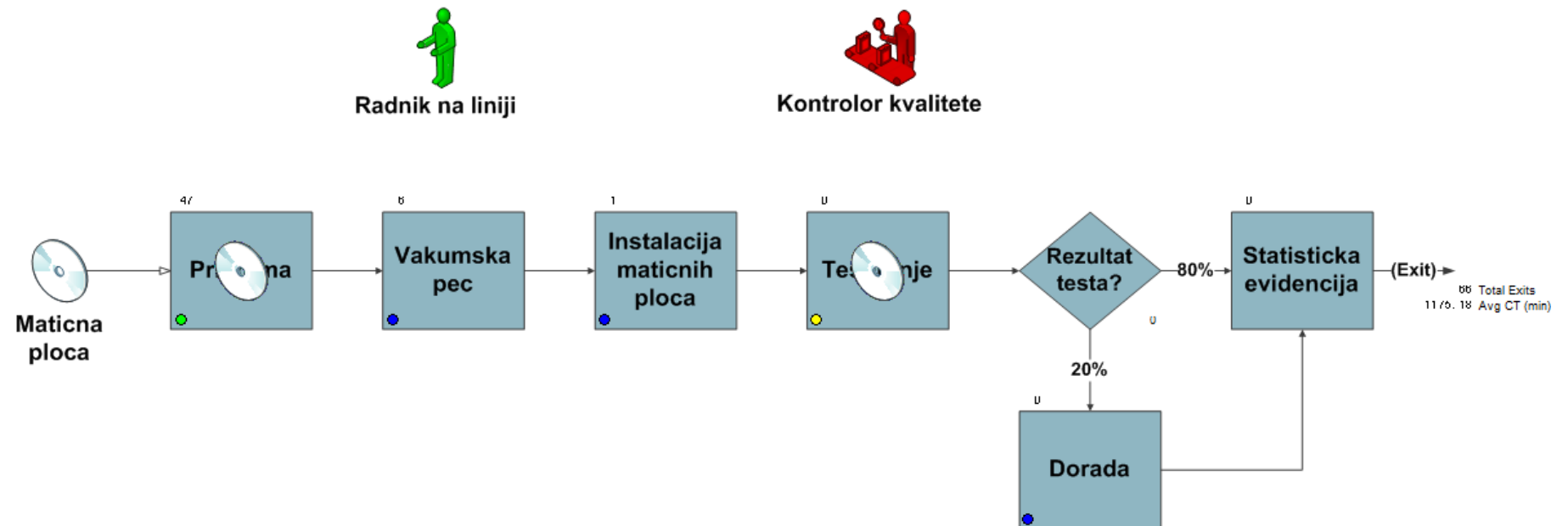
Scenario Manager				
Parameters	Baseline	Scenario1	Scenario2	+ Add Scenario
Simulate Scenario?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Last Run Date	2.7.2015. 2...	2.7.2015. 20:07...	2.7.2015. 20:07...	
1 Radnik na liniji - Units	1	2	2	
2 Maticna_ploca AT Priprem...	35	35	40	
* + Add Parameter(s)				

Slika 49. Postavke različitih scenarija simulacije

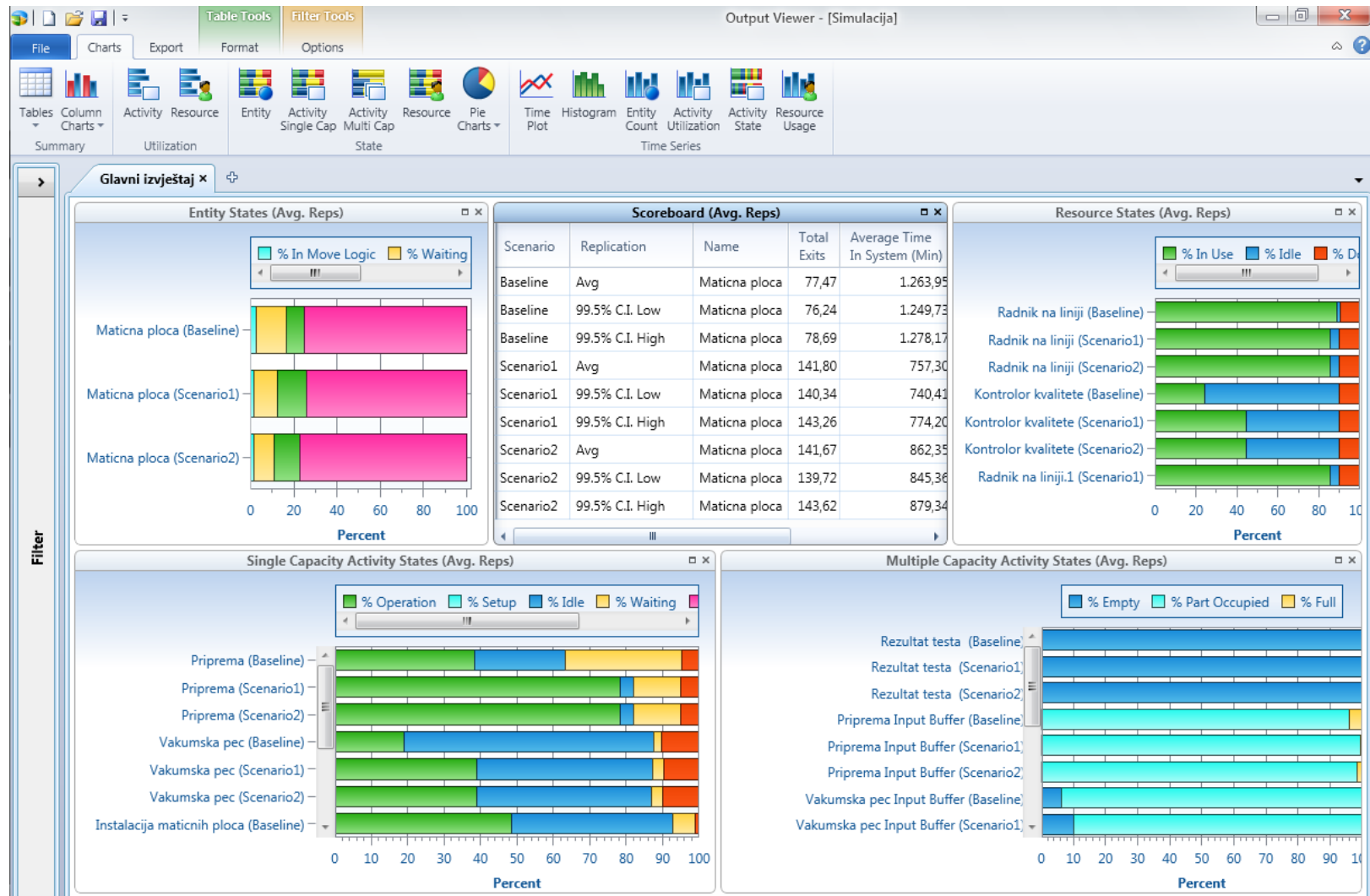
Na slici 50. dan je animirani prikaz izvođenja simulacije gdje u svakom trenutku možemo vidjeti kako i kojom brzinom entiteti prolaze kroz operacije unutar sustava, opterećenost radnika, ukupni izlaz sustava kao i prosječno vrijeme ciklusa proizvodnje i slično.

Nakon definicije sustava i stvaranja modela, te izvođenja simulacije, u programu „*Output Viewer*“ omogućen je numerički prikaz dobivenih podataka u obliku tablica te grafički prikaz u obliku raznih dijagrama.

## PROIZVODNJA ELEKTRONIČKIH KOMPONENTI



Slika 50. Izvođenje simulacije

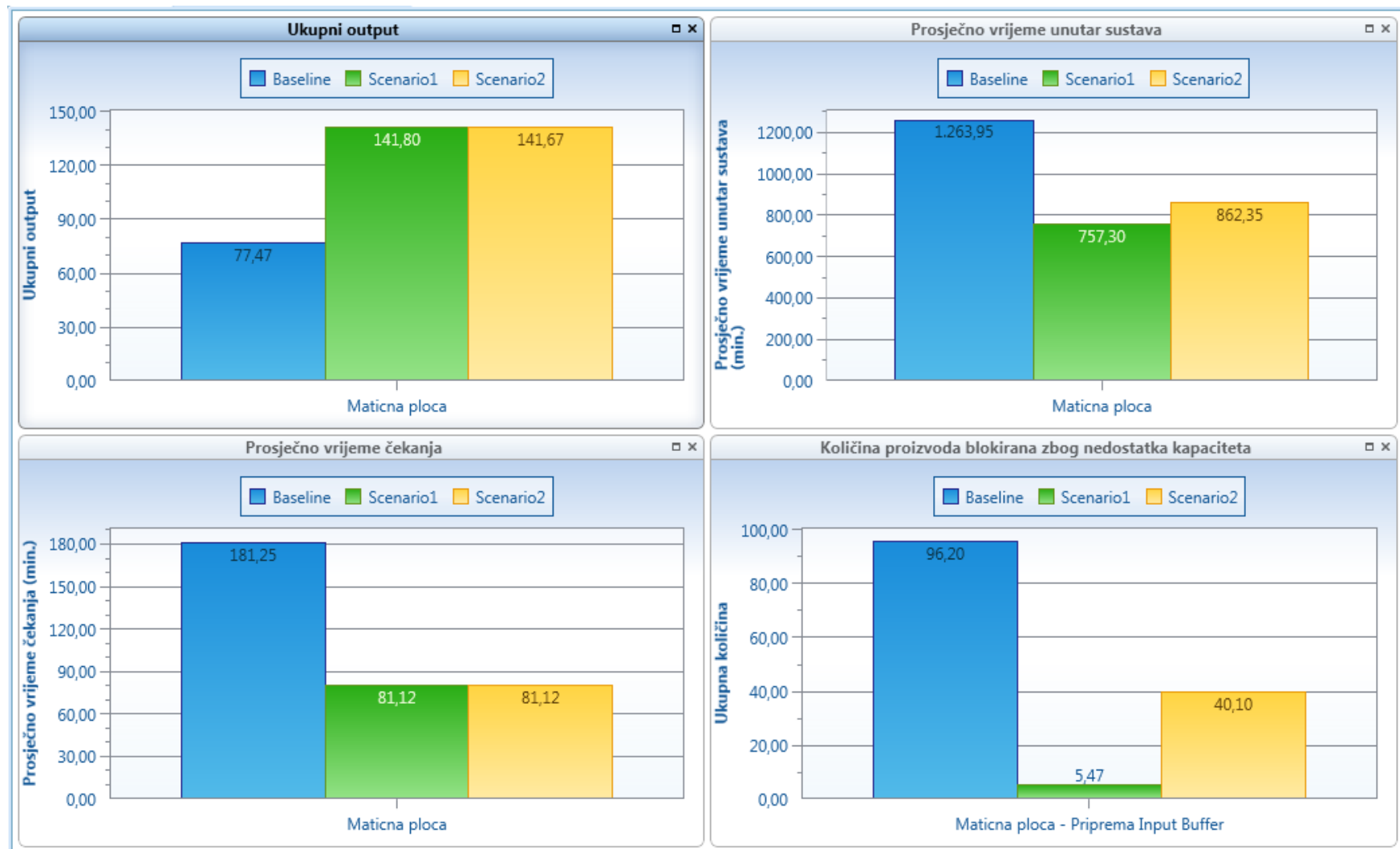


Slika 51. Prikaz glavnog izvještaja u Output Viewer-u

Scoreboard (Avg. Reps)						
Scenario	Replication	Name	Total Exits	Average Time In System (Min)	Average Time In Operation (Min)	Average Cost
Baseline	Avg	Maticna ploca	77,47	1.263,95	103,28	38,24
Baseline	99.5% C.I. Low	Maticna ploca	76,24	1.249,73	102,60	37,77
Baseline	99.5% C.I. High	Maticna ploca	78,69	1.278,17	103,95	38,71
Scenario1	Avg	Maticna ploca	141,80	757,30	103,42	38,33
Scenario1	99.5% C.I. Low	Maticna ploca	140,34	740,41	102,92	37,98
Scenario1	99.5% C.I. High	Maticna ploca	143,26	774,20	103,92	38,68
Scenario2	Avg	Maticna ploca	141,67	862,35	103,33	38,29
Scenario2	99.5% C.I. Low	Maticna ploca	139,72	845,36	102,85	37,94
Scenario2	99.5% C.I. High	Maticna ploca	143,62	879,34	103,81	38,63

Slika 52. Ploča s rezultatima





Slika 53. Izvještaj o proizvodima



Slika 54. Izvještaj o aktivnostima



Slika 55. Izvještaj o radnicima

Na temelju dobivenih podataka možemo zaključiti kako se dodavanjem drugog radnika na liniji gotovo udvostručio ukupni izlaz sustava s prosječnih 77.47 proizvoda u osnovnom scenariju na prosječnih 141.80 proizvoda u scenariju 1, odnosno 141.67 proizvoda u scenariju 2.

Dok je prosječno ukupno vrijeme obrade ostalo otprilike isto u sva tri scenarija, između 102.60 min i 103.95 min s 99.5 % sigurnosti, prosječno vrijeme unutar sustava, kao i prosječno vrijeme čekanja, drastično se smanjilo.

Također, možemo primijetiti da su se aktivnosti koje dodaju vrijednost udvostručile, a čekanje i ostale aktivnosti koje ne dodaju vrijednost znatno smanjile.

Možemo zaključiti kako se dodavanjem drugog radnika na liniji poboljšala propusnost u uzvodnom dijelu lanca vrijednosti što je rezultiralo boljom iskoristivosti kontrolora kvalitete u nizvodnom dijelu lanca vrijednosti. Iz tih razloga došlo je do povećanja ukupnog izlaza sustava te smanjenja rasipanja u obliku nepotrebnog čekanja i slično.

Iako su vrijednosti vezane za ukupni izlaz sustava, aktivnosti koje dodaju vrijednost i aktivnosti koje ne dodaju vrijednost te ljudske resurse približno iste za scenarij 1 i scenarij 2, ipak možemo primijetiti dvije bitne stavke koje ta dva scenarija čine različitim. Povećanje broja matičnih ploča s 35 komada u scenariju 1 na 40 u scenariju 2 dovelo je do povećanja prosječnog vremena unutar sustava sa 757.30 minuta u scenariju 1 na 862.35 minuta u scenariju 2. Druga bitna razlika je u količina proizvoda blokiranih zbog nedostatka kapaciteta. U scenariju 1 ta količina iznosi 5.47 komada dok u scenariju 2 dolazi do drastičnog povećanja na 40.10 komada. Upravo u te dvije stavke vidimo vrijednost vitke proizvodnje koja jasno označava zalihe kao izvor rasipanja unutar sustava i prednosti jednokomadnog toka za razliku od push sustava i proizvodnje u serijama gdje se proizvodi guraju s prethodne na sljedeću operaciju.

## 10 ZAKLJUČAK

Proizvodnja je temeljna ljudska gospodarska djelatnost te kao takva iznimno važna za blagostanje društva u cjelini. U današnjem globaliziranom svijetu konkurencija na tržištu rada je sve veća i jača te kako bi opstali na tržištu potrebno je obratiti veliku pozornost na poboljšavanje postojećih proizvodnih procesa.

U ovom radu opisani su svi principi na kojima počiva vitka proizvodnja te je dan pregled gubitaka koji se mogu javiti unutar proizvodnje. Implementacijom principa vitke proizvodnje moguće je povisiti učinkovitost i produktivnost poduzeća. Metode i tehnike vitke proizvodnje možda nisu složene, ali potrebna je potpuna posvećenost uprave i svih radnika unutar poduzeću kako bi se maksimizirala učinkovitost procesa i smanjili gubici.

Poseban naglasak je dan na implementaciji pull sustava i niveliranju proizvodnje što predstavlja zahtjevan posao za bilo koje poduzeće i pritom na raspolaganju imamo puno različitih opcija i mogućnosti. Jednostavno ne postoji jedinstven odgovor koji se može primijeniti na svaku situaciju. Pri implementaciji pull sustava treba imati na umu sljedeće:

- Svaku lean transformaciju je potrebno shvaćati kao sustavno unaprijeđenje međusobno povezanih procesa u lancu vrijednosti.
- Pogrešno je ispravljati samo izolirana područja i očekivati da će se stvari suštinski promijeniti.
- Mapiranje procesa može uvelike pomoći u otkrivanju svih područja na kojima su potrebna poboljšanja.

Imajući na umu rečene stvari poduzeća dolaze u situaciju povećane produktivnosti i manjeg pritiska na resurse, kako novčane tako i ljudske, koji se zatim mogu iskoristiti u istraživanje i razvoj čime se također jača pozicija poduzeća na tržištu.

Također, simulacije nam uveliko pomažu u lakšem raspoznavanju postojećih problema unutar proizvodnih sustava te nam kao takve predstavljaju veoma koristan alat u poboljšavanju proizvodnih procesa.

Vjerujem da je vitka proizvodnja i ključ uspjeha hrvatske proizvodnje te put u gospodarski prosperitet.

## 11 LITERATURA

- [1] Ivan Santini: Mikroekonomika, Hibis d.o.o., Centar za ekonomski consulting, 2004.
- [2] Roger G. Schroeder: Upravljanje proizvodnjom: Odlučivanje u funkciji proizvodnje, MATE d.o.o., Zagreb, 1999.
- [3] Štefanić N., Tošanović. N: Lean proizvodnja, Zavod za industrijsko inženjerstvo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2013.
- [4] James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos: The Machine That Changed the World, Macmillan Publishing Company, USA, 1990.
- [5] James P. Womack, Daniel T. Jones: Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, FREE PRESS, USA, 2003.
- [6] Štefanić N.: Mapiranje lanca vrijednosti, Lean Menadžment Inicijativa, 2013.
- [7] Štefanić N.: predavanja iz kolegija „Proizvodni menadžment“, Zavod za industrijsko inženjerstvo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2012.
- [8] Art Smalley: Creating Level Pull, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, 2004.
- [9] Art Byrne: The Lean Turnaround, McGraw Hill, USA, 2013.
- [10] The Lean Enterprise Institute: Lean Lexicon, Cambridge, MA, USA, 2008.
- [11] Mike Rother, John Shook: Learning to See, The Lean Enterprise Institute, Brookline, Massachusetts, USA, 1999.
- [12] <http://www.lean.org/Library/BatchProcessesByArtSmalley.pdf>
- [13] <http://www.lean.org/Common/LexiconTerm.cfm?TermId=308>
- [14] <http://www.lean.org/Common/LexiconTerm.cfm?TermId=224>
- [15] Ćosić P.: predavanja iz kolegija „Projektiranje tehnoloških procesa“, Zavod za industrijsko inženjerstvo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2012.

## **PRILOZI**

I. CD-R disc