

Prikaz i analiza tehnoloških procesa poduzeća Ambroz

Martinović, Antun

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:235:892748>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Antun Martinović

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Tihomir Opetuk, dipl. ing.

Student:

Antun Martinović

Zagreb, 2020.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći navedenu literaturu, materijale dobivene od strane poduzeća i znanje stečeno tijekom studija.

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Tihomiru Opetuku na iskazanom povjerenju, stručnoj pomoći i korisnim savjetima tijekom izrade ovog rada. Također se zahvaljujem svim djelatnicima poduzeća Ambroz d.o.o. na savjetima te na dopuštenju uvida u tehničku i poslovnu dokumentaciju koja mi je omogućila izradu ovog rada.

Najveća hvala mojoj obitelji, posebno roditeljima, koji su cijeli tijek studiranja bili moja najveća potpora i bez kojih ništa ne bi bilo moguće.

Antun Martinović



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa: 602 - 04 / 20 - 6 / 3	
Ur. broj: 15 - 1703 - 20 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **ANTUN MARTINOVIĆ** Mat. br.: **0035205204**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Prikaz i analiza tehnoloških procesa poduzeća Ambroz**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Review and analysis of Ambroz technological processes**

Opis zadatka:

Projektiranje tehnoloških procesa predstavlja dio proizvodnoga sustava, odnosno određuje redoslijed tehnoloških operacija za izradu proizvoda. Pomoću njega određuju se normativi i komadno vrijeme izrade proizvoda. Kao takvo, ono predstavlja dio ukupnog vremena izrade koje uzima u obzir još i vremena potrebna za transport, kontrolu, zastoje i međuskladištenje. Primjenom novih tehnologija, uvođenjem novih strojeva i novih proizvoda u proizvodnju dolazi do promjene tehnoloških procesa. Ta promjena ne prati često i promjenu rasporeda strojeva te je iz tog razloga potrebno ponovno analizirati transportne tokove unutar poduzeća kako bi oni što bliže odgovarali optimalnom rasporedu strojeva. Ovaj problem je posebno izražen kod mikro, malih i srednjih poduzeća.

U radu je potrebno:

- dati opis poduzeća (djelatnost, lokacija, organizacijska i kadrovska struktura i proizvodni program)
- napraviti i prikazati detaljan raspored proizvodnje poduzeća (raspoloživi strojevi, raspored strojeva, radna mjesta i skladišne i međuskladišne lokacije)
- na temelju proizvodnog programa odabrati reprezentante i za njih definirati tehnološki proces izrade (redoslijed operacija, vremena, kapacitete, uska grla i rokove isporuke)
- za odabrane reprezentante napraviti analizu tehnoloških vremena i ukupnog vremena izrade i na temelju rezultata predložiti i razraditi prijedloge unapređenja.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
24. rujna 2020.

Rok predaje rada:
26. studenog 2020.

Predviđeni datum obrane:
30. studenog do 4. prosinca 2020.

Zadatak zadao:

doc. dr. sc. Tihomir Opetuk

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	IV
POPIS TABLICA	VI
POPIS KRATICA	VII
POPIS OZNAKA	VIII
SAŽETAK	X
SUMMARY	XI
1. UVOD	1
2. PROIZVODNI SUSTAV	3
2.1. Razvoj proizvoda	6
2.2. Zahtjevi na proizvodne sustave	9
2.3. Tehnička predviđanja	10
2.4. Koncepti proizvodnih sustava	11
2.4.1. Agilni proizvodni sustavi	11
2.4.2. Rekonfigurabilni proizvodni sustavi	12
2.4.3. <i>Lean</i> proizvodni sustavi	13
3. PROJEKTIRANJE PROIZVODNIH SUSTAVA	18
3.1. Vrste projektnih zadataka kod projektiranja proizvodnih sustava	18
3.2. Načela projektiranja proizvodnih sustava	20
3.3. Pet vrsta izgleda proizvodnih sustava	22
3.3.1. Izgled proizvodnog sustava prema proizvodu	23
3.3.2. Izgled proizvodnog sustava prema procesu	24
3.3.3. Izgled fiksnog položaja proizvodnog sustava	25
3.3.4. Izgled proizvodnog sustava temeljen na grupnoj tehnologiji	26
3.3.5. Hibridni izgled proizvodnog sustava	27

3.4. Problem proizvodnih sustava	28
3.5. Tok materijala.....	29
3.6. Oblikovanje prostornog rasporeda proizvodnog sustava	33
3.6.1. Modificirana metoda trokuta	34
3.7. Prostorno dimenzioniranje proizvodnog sustava.....	35
3.7.1. Postupak pomoću karakterističnih vrijednosti.....	36
3.7.2. Analitički postupci proračuna proizvodne površine	37
3.7.3. Proračun neto proizvodne površine pomoću površinskih faktora	38
3.7.3.1. Proračun neto proizvodne površine pomoću ekvivalentnih površina	40
3.7.4. Grafički postupci proračuna proizvodne površine	41
4. RUKOVANJE MATERIJALOM	42
4.1. Principi rukovanja materijalom	44
5. O PODUZEĆU.....	45
5.1. Djelatnosti poduzeća	46
5.2. Misija i vizija poduzeća	46
5.3. Kvaliteta	47
5.4. Proizvodni program	47
6. ANALIZA TOKA MATERIJALA PODUZEĆA AMBROZ D.O.O.	49
6.1. Snimanje postojećeg stanja.....	49
6.1.1. Opis problema postojećeg stanja poduzeća (analiza slabih strana poduzeća)	52
6.2. Izbor reprezentativnih proizvoda poduzeća Ambroz.....	54
6.3. Prikaz tehnološkog procesa izrade po strojevima.....	58
6.4. Definiranje tokova materijala i izračun ukupnog transportnog učinka.....	61
7. IZRADA MOGUĆIH RJEŠENJA ZA UČINKOVITO RAZMJESTANJE ELEMENATA PROIZVODNOG SUSTAVA	65
7.1. Prvo idejno rješenje.....	69

7.2. Drugo idejno rješenje	75
8. ZAKLJUČAK	84
LITERATURA.....	86
PRILOG	88

POPIS SLIKA

Slika 1. Glavne karakteristike proizvodne tvrtke [1]	1
Slika 2. Osnovni elementi proizvodnog sustava [2]	3
Slika 3. Proizvodnja kao transformacijski sustav [3]	4
Slika 4. Povezanost proizvodnog sustava, proizvodnog procesa i proizvoda	5
Slika 5. Prikaz pet osnovnih načela lean proizvodnje [12]	14
Slika 6. Sedam vrsta gubitaka pram <i>lean</i> -u [13]	15
Slika 7. Prikaz udjela aktivnosti u proizvodnom procesu	17
Slika 8. Izgled proizvodnog sustava prema proizvodu [7]	23
Slika 9. Izgled proizvodnog sustava prema procesu [7]	24
Slika 10. Primjer fiksnog proizvodnog sustava [7]	25
Slika 11. Izgled proizvodnog sustava temeljen na grupnoj tehnologiji [7]	27
Slika 12. Hibridni izgled proizvodnog sustava [7]	28
Slika 13. Prikaz mogućnosti toka materijala [2]	33
Slika 14. Mreži trokutni model	34
Slika 15. Prikaz radnog mjesta i njegovih funkcionalnih površina [6]	38
Slika 16. Realni prikaz proizvodnog procesa [17]	43
Slika 17. Prikaz principa rukovana materijalom	44
Slika 18. Ured i proizvodni pogon poduzeća Ambroz	45
Slika 19. Prikaz proizvodnog asortimana poduzeća Ambroz	48
Slika 20. Prikaz proizvodnog prostora poduzeća (u prilogu se nalazi slika sa čitljivim nazivima)	51
Slika 21. Prikaz reprezentativnih proizvoda	57
Slika 22. Matrica toka materijala	62

Slika 23. Matrica transportnih udaljenosti za postojeće stanje	63
Slika 24. Matrica ukupnog transportnog učinka za postojeće stanje	64
Slika 25. Modificirana metoda trokuta za teorijsko rješenje	66
Slika 26. Mreža trokuta za teorijsko rješenje	69
Slika 27. Prikaz prostornog rasporeda elemenata za prvo idejno rješenje (u prilogu se nalazi slika sa čitljivim nazivima)	71
Slika 28. Matrica toka materijala - promijenjeno stanje	72
Slika 29. Matrica transportnih udaljenosti za prvo idejno rješenje	73
Slika 30. Matrica transportnog učinka za prvo idejno rješenje	74
Slika 31. Prikaz prostornog rasporeda elemenata za drugo idejno rješenje (u prilogu se nalazi slika sa čitljivim nazivima)	78
Slika 32. Matrica transportnih udaljenosti za drugo idejno rješenje	80
Slika 33. Matrica transportnog učinka za drugo idejno rješenje	81

POPIS TABLICA

Tablica 1. Faktori za proračun površine radnog mjesta [2]	40
Tablica 2. Prikaz proizvoda prema kriteriju proizvodne količine	55
Tablica 3. Prikaz proizvoda prema kriteriju tehnološke složenosti	56
Tablica 4. Prikaz odabranih reprezentanata poduzeća.....	57
Tablica 5. Prikaz tehnoloških operacija po reprezentantima	59
Tablica 6. Prikaz izračuna parcijalnog transportnog učinka 1	68
Tablica 7. Prikaz izračuna parcijalnog transportnog učinka 2	68
Tablica 8. Prikaz izračuna parcijalnog transportnog učinka 3	68
Tablica 9. Prikaz vrijednosti novčanih sredstava utrošenih na elektrostatsko plastificiranje ...	75
Tablica 10. Prikaz uštede vremena na primjeru jednog reprezentanta.....	82

POPIS KRATICA

Oznaka	Opis
CNC	Computer Numerical Control
CAD	Computer Aided Design
ISO	International Organization for Standardization
JIT	Just In Time
MHS	Material Handling Systems
NC	Numerical Control
NVAA	Non-Value Added Activity
NVAT	Non-Value Adding Time
RMS	Reconfigurable Manufacturing Systems
VAA	Value Added Activity
VAT	Value Adding Time
WA	Waste Activity
WIP	Work In Progress
WT	Waste Time

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A_N	m^2	netoproizvodna površina
A_O	m^2	površina za odlaganje
A_{OD}	m^2	površina za održavanje
A_{OP}	m^2	površina za zaštitu (opasnost)
A_P	m^2	pomoćna površina
A_{POS}	m^2	površina za posluživanje
A_{PO}	m^2	površina za popravak
A_{PR}	m^2	proizvodna površina
A_{RM_i}	m^2	površina i -tog radnog mjesta
A_T	m^2	transportna površina
A_o	m^2	površina osnove stroja (radnoga mjesta)
b_{ij}	-	intenzivnost toka materijala (transportna intenzivnost) između i -toga i j -toga elementa proizvodnoga sustava
b_{kj}	-	ukupna transportna intenzivnost između k -tog i j -tog elementa
b_{kji}	-	intenzivnost toka materijala između k -tog i j -tog elementa sustava
D_O	m	dodatak za održavanje
D_P	m	dodatak za posluživanje
D_{RM}	m	dužina radnog mjesta (strana na kojoj se vrši posluživanje)
D_{SO}	m	dužina sredstva za odlaganje
f_o	-	faktor zavisn o površini osnove stroja
n_O	-	potreban broj sredstava za odlaganje u planskom razdoblju
n_{OI_i}	-	broj transporata za prijevoz jedne serije i -tog predmeta rada
n_{S_i}	-	broj serija i -tog predmeta rada u planskom razdoblju
Q_P	-	broj komada predmeta rada
Q_{PO_i}	-	broj i -tog predmeta rada u jednom sredstvu za odlaganje
Q_{S_i}	-	veličina serije i -tog predmeta rada

Q_{TSi}	-	broj sredstva za odlaganje i -tog predmeta rada koja se prevoze transportnim sredstvom u jednoj vožnji (kapacitet transportnog sredstva)
q_{ij}	m	transportni učinak između i -toga i j -toga elementa proizvodnoga sustava
s_{ij}	m	udaljenost između i -toga i j -toga elementa sustava
$\check{S}_{RM}$	m	širina radnog mjesta
$\check{S}_{SO}$	m	širina sredstva za odlaganje
η_{PRE}	-	stupanj preklapanja funkcionalnih površina na radnom mjestu

SAŽETAK

Danas, mnoga poduzeća proizvode nekoliko tisuća različitih proizvoda, koristeći različite proizvodne procese i tehnologije. Ona moraju biti spremna odgovoriti na stalno mijenjajuće zahtjeve tržišta i prilagoditi svoju proizvodnju kako bi ostvarili uspjeh u današnjem konkurentskom okruženju na domaćem i stranom tržištu. Temeljna osnova današnjih proizvodnih poduzeća je izgled proizvodnog pogona, stoga je cilj ovog diplomskog rada poboljšati raspored elemenata proizvodnog sustava poduzeća Ambroz d.o.o. i samim time postići maksimalnu produktivnost.

U prvom djelu ovog rada prikazana je teorijska osnova proizvodnih sustava i projektiranja istih, gdje se ističe važnost pravilno oblikovanog prostornog rasporeda proizvodnog sustava kao jednog od najvažnijih čimbenika koji utječu na kvalitetu proizvoda i troškove. U drugom djelu uvodno je predstavljeno poduzeće Ambroz d.o.o. te je na temelju ustupljenih proizvodnih podataka napravljena analiza toka materijala poduzeća kroz nekoliko koraka, uz detaljno opisan i objašnjen problem postojećeg stanja poduzeća. Nakon provedene analize, pristupa se izradi idejnih rješenja prostornog rasporeda pri čemu su u obzir uzeta sva ograničenja poduzeća, kao i savjeti djelatnika poduzeća.

Ključne riječi: proizvodni sustav, projektiranje proizvodnog sustava, minimizacija ukupnog transportnog učinka

SUMMARY

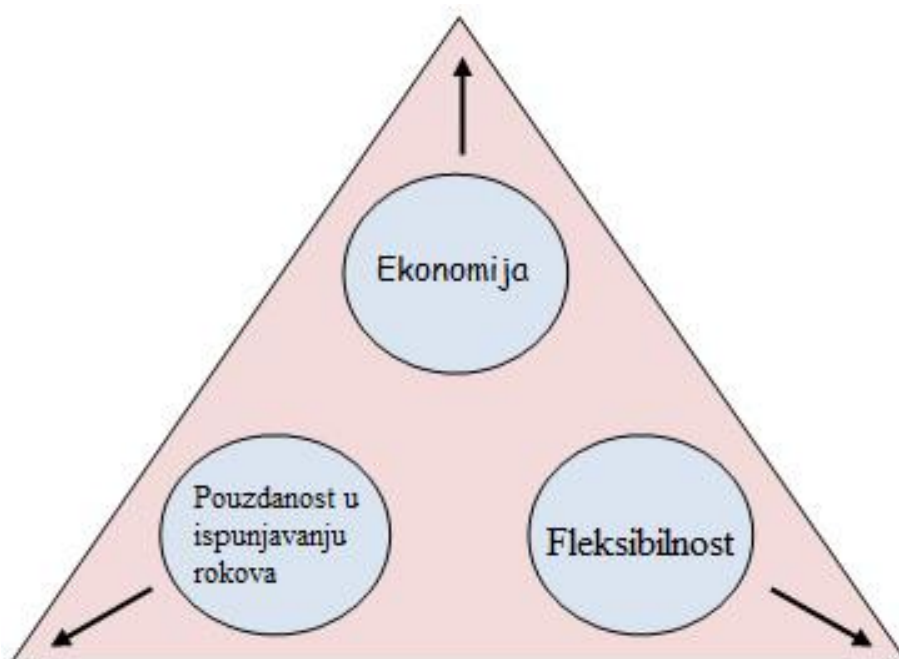
Today, many companies produce thousands of various products, using different producing processes and technologies. They must be ready to respond to constant market changes and adapt their production so that they can succeed in today's competitive environment in domestic and international markets. Fundamental base of today's manufacturing companies is appearance of producing plant, hence aim of this master's thesis is to improve schedule of elements of producing system of the company Ambroz d.o.o. and with that to accomplish maximum productivity.

In the first part of this thesis theoretical base and designing of producing plant is presented, where it is important to point out the importance of correctly shaped spatial layout of producing system as one of the most important factors, which affects the product quality and expenses. In the second part as an introduction, Ambroz d.o.o. is presented and thanks to given producing materials it was possible to create an analysis of the material flow through few steps with described and explained problem of the current state of the company. After conducted analysis it was necessary to approach to conceptual solutions of spatial layout and it was important to respect all limitations and obstacles, including the advices of the workers.

Keywords: production system, production system design, minimizing overall transport distance

1. UVOD

U današnjem visoko dinamičnom i fleksibilnom okruženju, proizvodna poduzeća se suočavaju sa sve većim izazovima u pogledu: konkurencije poduzeća koja dovodi do rasta zahtjeva za proizvode, nestabilnih tržišta i nemirnih okruženja. Za uspjeh poduzeća u vrijeme rastućih troškova, vremenski ograničene proizvodnje i globalizacije, potrebno je imati kvalitetan izgled postrojenja te dobru logistiku. Ukoliko poduzeće želi konkurirati na tržištu, mora neprestano poboljšavati svoju učinkovitost u svim dijelovima proizvodnje. Danas izdvajamo tri najvažnije karakteristike poduzeća, a među njima su: ekonomija, pouzdanost u ispunjavanju rokova i fleksibilnost, slika 1.



Slika 1. Glavne karakteristike proizvodne tvrtke [1]

Izdvojene tri najvažnije karakteristike su međusobno kontradiktorne. Ukoliko je težnja na većoj pouzdanosti rokova i fleksibilnosti sustava, otežana je ekonomična proizvodnja po fiksnim cijenama. Vrijedi i obratno, ukoliko nam je ekonomija od najveće važnosti, tada ćemo jako teško ispuniti zahtijevane rokove isporuke i biti fleksibilni.

Iz tog razloga poduzeće mora težiti pregledavanju postojećih situacija u proizvodnji pomoću nekoliko pitanja [1]:

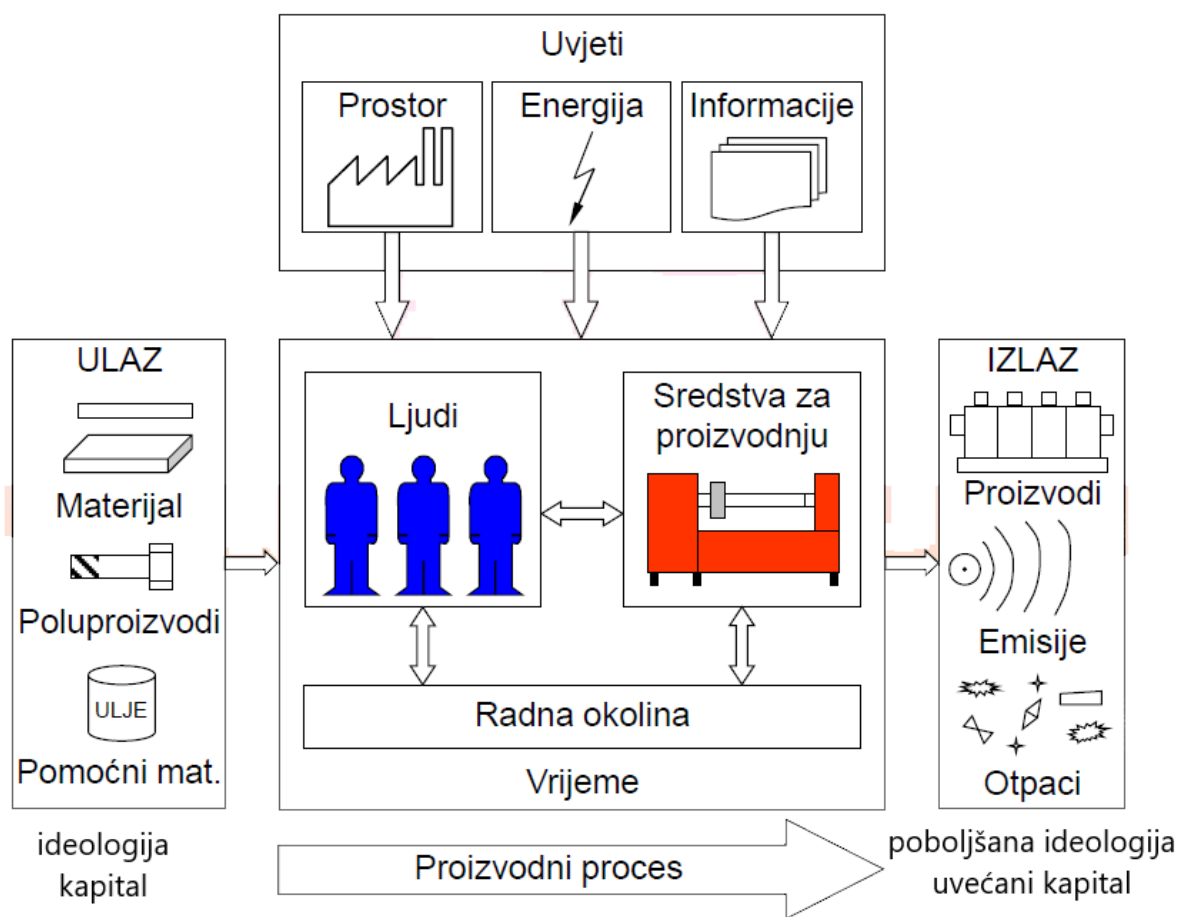
- gdje i što se događa,
- gdje su nastali problemi,
- gdje je došlo do kašnjenja,
- što je funkcioniralo bolje od planiranog.

Smatra se da je kontinuirana globalna kriza pravo vrijeme da poduzeća poboljšaju svoju učinkovitost, fleksibilnost poslovanja te konkurentnost na tržištu. Spomenute značajke moguće je poboljšati smanjenjem prijevoza unutar poduzeća koristeći vlastite resurse poduzeća. Također, optimalnim rasporedom radnih mjesta i odgovarajuće opreme smanjuju se transportni putevi, što uzrokuje kraće vrijeme proizvodnje, kraće vrijeme rada zaposlenika i oslobađanje prijevoznih sredstava. Posljedica kraćeg vremena proizvodnje je brži protok materijala, znatno manje vrijeme čekanja i manje oportunitetnih troškova kapitala. Također, smanjenje životnih ciklusa samih proizvoda i brzo mijenjajući globalnih zahtjevi, uzrok su kraćih ciklusa planiranja i proizvodnje [1].

U svakom proizvodnom poduzeću javljaju se određene vrste gubitka poput prekomjernog transporta, proizvodnje, škarta, nepotrebnih radnji i zaliha, previše informacija, zastoja i slično. Svaki gubitak je nepotreban jer on bitno utječe na brzinu odvijanja proizvodnje što poduzeće čini manje konkurentnim na današnjem tržištu. Kako bi se spriječili nepotrebnici gubici, potrebno je uložiti određeno vrijeme za planiranje uređenja proizvodnog pogona prije same instalacije. Najbolji način da se troškovi značajno smanje je planiranje izgleda proizvodnog pogona prije izgradnje samog postrojenja, čime omogućujemo izradu proizvoda ili isporuku usluge visoke kvalitete, uz znatno manje troškove i u kratkom vremenskom razdoblju. Uvažavanje svih zahtjeva kupaca, uzimanje u obzir djelovanja konkurentnih poduzeća te preispitivanje trenutne proizvodne mogućnosti uz osiguravanje planirane količine proizvoda propisane kvalitete u planiranim rokovima isporuke i po prihvatljivoj cijeni uz što manje ukupne troškove smatramo temeljnim ciljevima proizvodnog poduzeća. Prema tim ciljevima težimo, stoga je vrlo važno pravilno planirati, a zatim i upravljati proizvodnim pogonom [1].

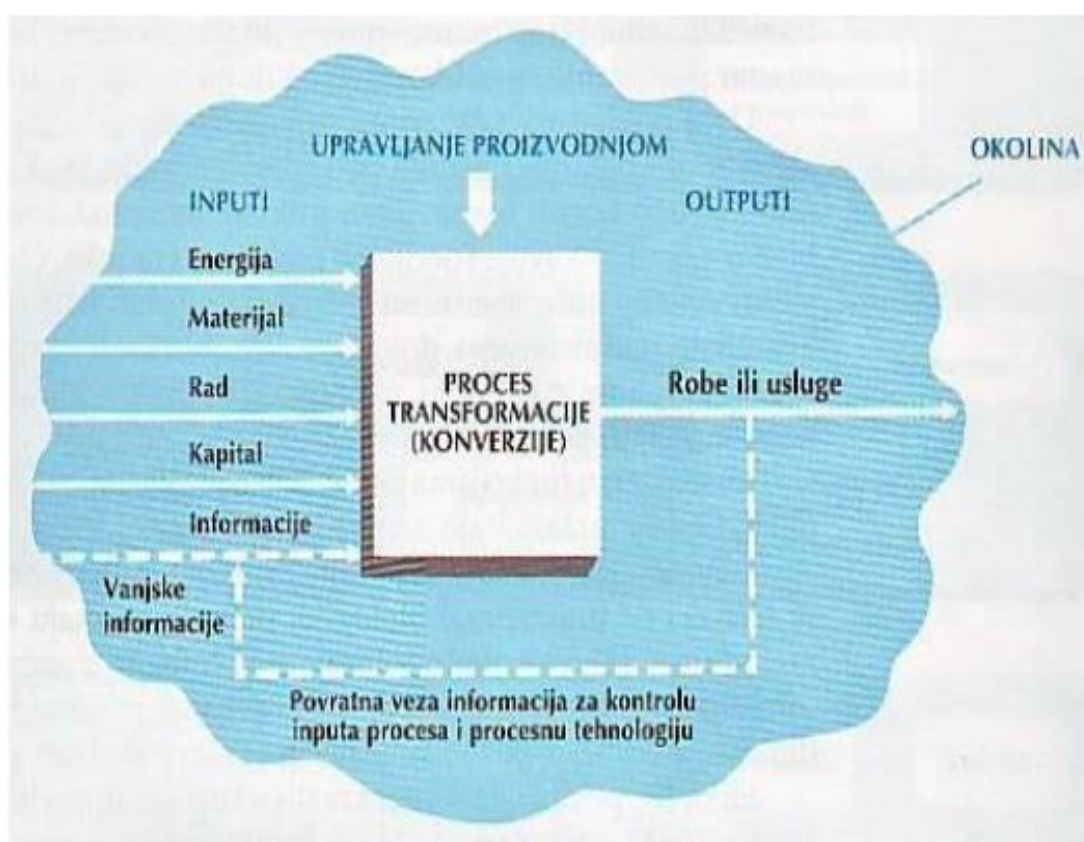
2. PROIZVODNI SUSTAV

Kako bi se proizvodnja, odnosno proizvodni sustav ostvario potrebno je osigurati osnovne elemente sustava, određene uvjete rada te neprestanu komunikaciju sustava sa okruženjem, kao što je prikazano na slici 2. Proizvodnja predstavlja temeljno područje ljudske djelatnosti, odnosno definira se kao prostorno i vremenski određen proces stvaranja nove vrijednosti ljudskim djelovanjem, pri čemu dolazi do korelacije osnovnih elemenata proizvodnog sustava, u koje ubrajamo ljude s prikupljenim proizvodnim iskustvom, sredstva rada te predmete rada potrebnih za proizvodnju [2].



Slika 2. Osnovni elementi proizvodnog sustava [2]

Proizvodnju možemo promatrati kao transformacijski sustav gdje se korelacijom, odnosno zajedničkim djelovanjem osnovnih elemenata u radnoj okolini uz ispunjenje određenih uvjeta rada (energija, prostor, informacije, itd.), ulazne komponente (*input-i*) pretvaraju u izlazne veličine, robu i usluge (*output-e*), slika 3. Ulazne komponente sustava su energija, rad, materijal, kapital i informacije. Pretvaranje *input-a* u *output-e* se obavlja procesnim tehnologijama. Odnos *input-a* je usko vezan sa procesnim tehnologijama, stoga se promjenom tehnologije mijenja i njihov odnos, što može uzrokovati i promjenu proizvedenih *output-a* [3].

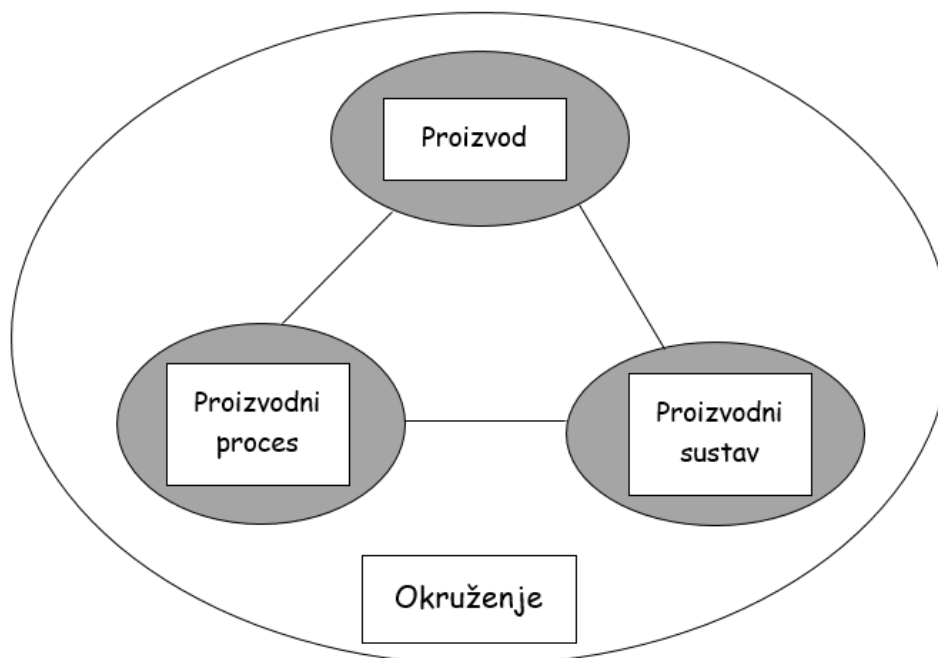


Slika 3. Proizvodnja kao transformacijski sustav [3]

Na slici 3. također je prikazana povratna veza informacija. Važnost povratne veze informacija je da se ona koristi za kontrolu proizvodnog procesa, odnosno *input-a* samog procesa te da se na osnovu odnosa *input-a* i procesnih tehnologija osigura postizanje željenih *output-a*.

Bliska povezanost proizvodnog sustava, proizvodnog procesa i proizvoda prikazana je na slici 4. te kao rezultat svake proizvodnje proizlazi neki proizvod ili usluga. Poput proizvodnog

sustava, proizvod i proizvodni proces okarakterizirani su određenim stupnjem funkcionalnosti, ekonomičnosti, fleksibilnosti, ekolozičnosti i humanosti.



Slika 4. Povezanost proizvodnog sustava, proizvodnog procesa i proizvoda

Osnovu svake industrijske proizvodnje, odnosno proizvodnog sustava čini proizvodni proces koji se može definirati kao skup svih aktivnosti i djelovanja koja rezultiraju pretvaranjem ulaznih materijala (sirovina, poluproizvoda) u gotov proizvod pogodan i prikladan za zadovoljavanje potreba potrošača. Također, proizvodni proces podrazumijeva prostor na kojem su smješteni objekti (proizvodne hale, zgrade) te ono obuhvaća sva sredstva i osoblje na kojima se i sa kojima se vrše aktivnosti od skladišta ulaznog materijala do skladišta gotovih proizvoda. Oblikovanje proizvoda obavlja se tehnološkim proizvodnim procesima, pri čemu se teži što bržem vremenu provedbe procesa kako bi se reduciralo vrijeme između zahtjeva kupca za proizvodom ili uslugom i isporuke željenog proizvoda ili usluge.

Razlikujemo podjelu proizvodnih procesa na kontinuirane i diskretne. Kontinuirano proizvodnim procesima smatramo one kod kojih se predmet rada javlja u kontinuirano mjerljivom obliku, dok su diskretni proizvodni procesi oni kod kojih je predmet rada moguće prebrojati, odnosno predmet rada se javlja u diskretnim, cjelobrojnim količinama. Primjer

kontinuirano proizvodnih procesa je procesna industrija, dok je metaloprerađivačka industrija karakteristična za diskretne proizvodne procese. Kroz daljnji rad pod pojmom proizvodni proces smatrat će se diskretni proizvodni proces.

Svaki proizvodni proces je okarakteriziran podjelom rada, odnosno pojedine aktivnosti proizvodnog procesa se odvijaju na prostorno i vremenski različitim lokacijama u proizvodnom sustavu. Kao rezultat ovakvog izvršavanja aktivnosti javljaju se proizvodni tokovi koji omogućuju interakciju već spomenutih elemenata sustava, kao što su radna mjesta, odjeli, sredstva za proizvodnju i dr. [2],[4].

Proizvodni sustav (u nastavku PI) prema [2] ima nekoliko karakteristika:

- PI smatramo konkretnim sustavom s jasno definiranim vezama između elemenata sustava.
- PI je namijenjen za zadovoljavanje ljudskih potreba, stoga ga smatramo umjetnim, odnosno stvorenim ljudskim radom.
- PI je dinamičan zbog sklonosti promjene stanja sustava tijekom vremena.
- PI se sastoji od više podsustava od kojih svaki predstavlja zasebnu cjelinu, što ga čini složenim.
- PI je u stalnoj interakciji sa svojim okruženjem, stoga ga smatramo otvorenim i neizoliranim od utjecaja vanjskih sustava.
- Ponašanje PI-a moguće je predvidjeti samo s određenom vjerojatnošću, stoga ga smatramo stohastičnim.
- PI je sociotehnički jer osnovne elemente sustava čini ljudska snaga zajedno sa potrebnim sredstvima za rad.

2.1. Razvoj proizvoda

Oblikovanje proizvoda smatramo glavnim preduvjetom za proizvodnju. Kao što je već rečeno, kroz razne proizvodne procese dobivamo *output*-e, odnosno proizvode koji mogu biti u obliku robe ili usluge. Svaki proizvodni proces započinje s planiranjem, koje se usporedno obavlja u odjelu za konstruiranje proizvoda te u proizvodnji što dovodi do plasiranja novog proizvoda ili usluge na tržište.

Razvoj proizvoda se može podijeliti u nekoliko sljedećih koraka [5]:

- Stvaranje ideja

Ideja sadrži temeljne značajke o proizvodu i usluzi. Konstantne potrebe tržišta i korištenje raznih tehnologija smatraju se glavnim izvorom ideja za buduće proizvode.

- Izbor proizvoda

Svaka ideja o novom proizvodu, prije nego bude integrirana u proizvod, mora biti analizirana kroz 3 varijable - tržišni potencijal, financijsku provedivost i proizvodne usklađenosti. Potrebno je zadovoljiti sve tri varijable. Svrha analiziranja je izbor najbolje ideje.

- Prethodno oblikovanje proizvoda

Podrazumijeva razvoj najboljeg dizajna na temelju ideje o novom proizvodu. Odobrenjem preliminarne dizajna moguće je izraditi prototip za daljnje ispitivanje i analize, gdje se razrađuje veliki broj odluka oko izvedbe, troškova i same kvalitete proizvoda. Krajnji rezultat analize je tehnologijski prihvatljiv proizvod u proizvodnji koji je kompetitivan na tržištu.

- Izrada prototipa i testiranje

Izrada prototipa podrazumijeva razne načine izrade koji prilično nalikuju konačnom proizvodu. Na osnovu ispitivanja prototipa, prema potrebi se donosi odluka o modificiranju samog prototipa. Ukoliko je prototip uspješno ispitan i nije potrebna modifikacija, dolazi se do konačnog dizajna. Osnovni zadatak završnog ispitivanja je provjera tehnološke složenosti.

- Konačni dizajn proizvoda

Podrazumijeva se faza konačnog oblikovanja gdje se pripremaju crteži i specifikacija koje omogućuju proizvodnju novog proizvoda ili usluge. Rezultat ove faze je potpuno razrađena specifikacija proizvoda ili usluge, procesom proizvodnje i distribucije do kupca.

U procesu definiranom od generiranja ideje pa sve do završne faze testne proizvodnje donose se brojne odluke, poput usklađivanja novog proizvoda s postojećom strategijom poduzeća, izborom materijala i opreme koji će se koristiti. Tipovi procesa se razlikuju prema protoku

materijala kroz proizvodni pogon, kompleksnosti i količini proizvoda. Prilikom odabira proizvodnog procesa izuzetno je bitna uska povezanost sa vrstom i količinom tražene proizvodnje, kao i sa financijskim, ekonomskim i tržišnim statusom poduzeća.

Razlikujemo nekoliko tipova proizvodnih procesa [5]:

- Kontinuirana proizvodnja

Karakteristike kontinuirane proizvodnje su visoko specijalizirana oprema, strojevi i kontrola, zadržavanje velike automatiziranosti i vođenje procesa putem računala. Kontinuirani sustavi funkcioniraju na način da rade 7 dana u tjednu, 24 sata na dan, bez zastoja. Omogućavaju proizvodnju visoko standardiziranih proizvoda u ogromnim količinama, stoga svako zaustavljanje i pokretanje proizvodnje uzrokuje ogromne troškove. Težnja je na maksimalnom iskorištavanju sustava kako bi se veliki fiksni troškovi rasporedili na što veći broj proizvoda, a samim time smanjili jediničnu cijenu proizvoda koju smatramo glavnim kriterijem kod odlučivanja kupaca.

- Linijski tip

Razlika linijskog tipa proizvodnje i kontinuiranog tipa proizvodnje se očituje u diskretnim proizvodima, odnosno linijski tip raspolaže s diskretnim jedinicama proizvoda, dok kod kontinuiranog tipa nema diskretnog proizvoda sve do završnog pakiranja. Karakteristike linijskog tipa su visoko standardizirana oprema, visoka automatizacija i pokretne trake koje služe za transport materijala od jednog do drugog radnog centra po liniji, pravilno određenom brzinom. Pravilno izbalansirane linije karakteriziraju stabilna vremena proizvodnje, stoga nije potrebno veliko ulaganje u zalihe u radu, kao ni u prostor za zalihe.

- Radionički tip

Ovaj tip proizvodnog procesa okarakteriziran je visokom fleksibilnošću koja uvelike omogućuje zadovoljavanje zahtjeva tržišta, odnosno kupaca. Primjenjuje se kad se konačni proizvodi razlikuju prema strukturi, materijalu i potrebnoj obradi. Radionički tip predstavlja izradu različitih proizvoda, gdje se svaki proizvod obrađuje na različit način. Rok izrade u ovom tipu proizvodnog procesa je varijabilan jer svaki proizvod slijedi različitu putanju kroz proizvodni pogon, koristi druge *input*-e i zahtijeva različitu količinu vremena.

- Projektni tip

Projektni tip obuhvaća proizvodnju unikatnih proizvoda, gdje proizvodnja može varirati od samo jednog komada do velike količine jedinstvenih proizvoda. Zahtijeva ogromne količine novca i poduže vrijeme za provedbu. Za provedbu projekta potreban je velik broj aktivnosti koje se mogu odvijati istodobno. Svi potrebni materijali i ljudi dovode se na lokaciju gdje se treba napraviti projekt.

2.2. Zahtjevi na proizvodne sustave

Kupac je uvijek na prvom mjestu, te prema njegovim zahtjevima proizlaze zahtjevi na proizvodne sustave. Kako bi pridobili zadovoljstvo kupca, potrebno je potpuno razumijevanje želje i potrebe kupca, kao i transformacija želje i potrebe u gotov proizvod planirane kvalitete. Neki od utjecaja koji određuju zahtjeve na proizvodne sustave [6]:

- Zadovoljstvo kupca – ovisno o očekivanju izvedbe proizvoda ili usluge, težnja je na individualnim proizvodima što rezultira da se proizvodi izrađuju u manjim serijama, s kraćim životnim vijekom, ali s velikim brojem varijanti kako bi zadovoljili želje svakog kupca.
- Rast kompleksnosti proizvoda, sustava i procesa – općenito rast kompleksnosti zahtijeva primjenu novih tehnologija i znanja vezanih za pojedinu tehnologiju kako bi se one mogle razumjeti i ponuditi tržištu konkurentan proizvod.
- Utrošak resursa i energije – povoljniji položaj na tržištu, osigurana fleksibilnost sustava te brzi odaziv na zahtjeve kupca, osigurane su efikasnim utroškom svih resursa, bilo materijalnih ili nematerijalnih.

- Globalizacija – izaziva veću kompetitivnost i turbulencije na tržištu, a samim time više proizvodnih poduzeća koji žele osigurati i poboljšati vlastiti položaj na globalnom tržištu.
- Zaštita okoliša i održiva proizvodnja – sadržane su metode i rješenja u skladu sa zelenim načelima koja obuhvaćaju cijeli životni ciklus proizvoda.
- Informatizacija – primjena novih informacijskih i komunikacijskih tehnologija uvelike ubrzava, a samim time i osigurava kvalitetniju razmjenu informacija između raznih elemenata opskrbnog lanca.

2.3. Tehnička predviđanja

Većina ljudi voli imati dovoljno vremena za planiranje budućih aktivnosti, a to se osobito odražava na inženjere i upravitelje koji su odgovorni za instalaciju i rad postrojenja. Oni su zaduženi za odlučivanje, na primjer, koliko bi postrojenje trebalo biti veliko, koje strojeve kupiti, koliko radnika zaposliti i osposobiti, te kako dogovoriti financiranje. Odgovori na navedena pitanja mogu ovisiti o predviđenoj prodaji proizvoda.

Tehnike predviđanja mogu se podijeliti u dvije glavne skupine [7]:

- kvantitativne,
- kvalitativne.

Kvantitativne tehnike se primjenjuju kada imamo dostupne neke mjerljive podatke o prošlom učinku, uz pretpostavku nastavljanja u dogledno vrijeme. Za razliku od kvantitativnog, kvalitativno predviđanje ne zahtijeva određene informacije, a temelji se uglavnom na intuiciji i mišljenjima ljudi koji imaju znanje i iskustvo u određenim aktivnostima ili proizvodima. Ukoliko prethodni kvantitativni podaci nisu dostupni, u slučaju uvođenja novog proizvoda, kvalitativne tehnike su tada jedini način predviđanja [7].

2.4. Koncepti proizvodnih sustava

Promjene proizvodnih sustava izravno su definirane učestalim promjenama na tržištu. Pojačanom konkurentnosti na tržištu te razvojem novih tehnologija javljaju se potrebe za fleksibilnim i efikasnim proizvodnim sustavima koji mogu reagirati na promjene na tržištu u kratkom vremenskom periodu. Iz tog razloga proizvodni sustav, kao i ostatak organizacije moraju biti adaptabilni na svim razinama strukture.

Razlikujemo nekoliko značajki prema kojima poduzeće određuje kako će odgovoriti na promjene, a prema [6] to su:

- Brzina prilagodbe – predstavlja brzinu korekcije u proizvodnim sustavima kako bi se udovoljilo novopostavljenim zahtjevima kupaca.
- Fleksibilnost – mjera do koje je proizvodni sustav sposoban prilagoditi svoje dosadašnje komponente (tehnologije, strukturu, kapacitete te logističke aktivnosti).
- Varijabilnost – sposobnost prilagodbe proizvodnog sustava i brzog odgovora na raznovrsne proizvodne procese, tehnologije i njima prateće količine.
- Mobilnost (promjena položaja) – očituje se kroz prostorno kretanje ljudi, opreme i resursa s ciljem brze prilagodbe novim zahtjevima.

Poduzeće mora biti usmjereno prema kupcu i njegovim zahtjevima, stoga ono uvijek mora biti spremno odgovoriti na učestale zahtjeve tržišta uz minimalne troškove proizvodnje. Iz tog razloga pojavljuju se noviji koncepti proizvodnih sustava koji su opisani u daljnjem tekstu. Razlikujemo sljedeće [2]:

- agilni proizvodni sustavi,
- rekonfigurabilni proizvodni sustavi,
- lean proizvodni sustavi.

2.4.1. Agilni proizvodni sustavi

Pooštrene konkurentske situacije uzrokovale su sve veću pozornost na zadovoljstvo kupaca. Tržišta postaju vrlo raznolika i globalna, stoga se reakcija na svaku neočekivanu promjenu i visoka kvaliteta proizvoda smatraju ključnim čimbenicima uspjeha [8].

Zahtjevi za fleksibilnijim organizacijama te brže reakcije na potrebe potrošača smatraju se pokretačima razvoja koncepta agilne proizvodnje. Agilna proizvodnja (eng. *Agile Manufacturing*) relativno je novi koncept namijenjen poboljšanju konkurentnosti poduzeća. Agilni proizvodni sustavi pružaju sposobnost preživljavanja i napredovanja u konkurentnom okruženju uslijed konstantnih promjena koje se mogu dogoditi na tržištima, u tehnologijama, u poslovnim odnosima i u svim aspektima poslovnog poduzeća [9].

Agilni proizvodni sustav se smatra više poslovnim, nego proizvodnim pristupom koji se očituje kroz nekoliko sljedećih značajki [2]:

- snažna kooperacija između nekoliko tvrtki pri čemu raste potreba za resursima za proizvodnju,
- virtualni proizvodni sustavi kroz korištenje postojećih kapaciteta bez njihove prilagodbe,
- snažna povezanost s kupcima kroz zajedničke projekte,
- manje proizvodne količine što rezultira nižim rizicima gubitaka,
- veća učestalost promjena manjeg opsega.

2.4.2. Rekonfigurabilni proizvodni sustavi

Konkurentnost proizvodnih poduzeća u globalnoj ekonomiji ovisi o 3 temelja: niska cijena, visoka kvaliteta i brza reakcija, stoga se rekonfigurabilni proizvodni sustavi (eng. *Reconfigurable Manufacturing Systems, RMS*) definiraju kao proizvodni sustavi zamišljeni na način da mogu u vrlo kratkom vremenu promijeniti komponente sustava (s ciljem promjene tehnoloških kapaciteta i mogućnosti) kako bi se uz minimalne troškove što brže prilagodili neočekivanim tržišnim promjenama [10].

Rekonfigurabilni proizvodni sustav je skup nekoliko sljedećih karakteristika [10]:

- Modularnost – sposobnost postizanja najprikladnijeg aranžmana koji bi odgovarao željenom nizu potreba kroz usporedbu operativnih funkcija i zahtjeva u mjerljive jedinice i njihovo pretvaranje u suvremene proizvodne sheme.
- Nadogradivost - sposobnost jednostavnog mijenjanja postojećih proizvodnih kapaciteta preuređivanjem postojećeg proizvodnog sustava i/ili promjenom proizvodnog kapaciteta rekonfigurabilnih komponenata unutar tog sustava.

- Integrabilnost - sposobnost brze i precizne integracije modula pomoću skupa raznih mehaničkih, informacijskih i kontrolnih sučelja.
- Konvertibilnost - sposobnost jednostavne transformacije funkcionalnosti postojećih sustava, strojeva i upravljačkih sklopova u skladu s novim proizvodnim zahtjevima.
- Dijagnostika osnovnih uzroka kvarova, te brzo ispravljanje operativnih kvarova.
- Prilagodljivost - sposobnost prilagođavanja fleksibilnosti proizvodnih sustava i strojeva u skladu s novim zahtjevima s obitelji sličnih proizvoda.

Smatra se da idealan rekonfigurabilni proizvodni sustav ima šest prethodno nabrojanih osnovnih značajki, no nije potrebno obuhvaćati sve značajke kako bi proizvodni sustav bio rekonfigurabilan.

2.4.3. *Lean* proizvodni sustavi

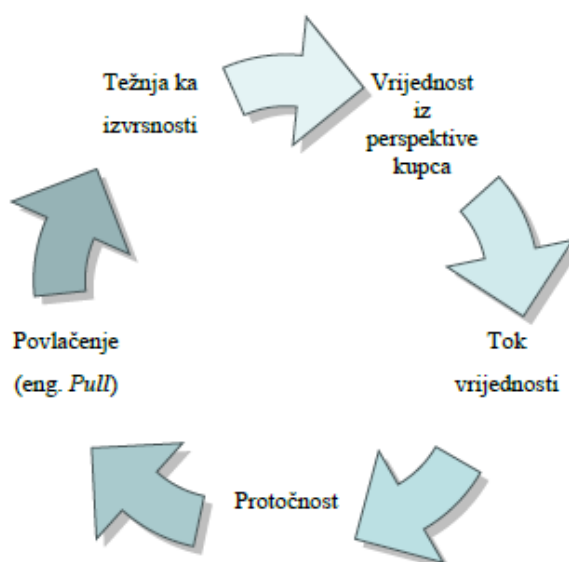
Lean proizvodnja (eng. *Lean Manufacturing*) se temelji na Toyotinom proizvodnom sustavu (eng. *Toyota Production System*). *Lean* (vitko) razmišljanje je usredotočeno na stvaranje vrijednosti za kupca, stoga se može primijetiti da pojam *lean* (pod kojim smatramo *lean* razmišljanje, *lean* pristup, *lean* proizvodni sustav, *lean* proizvodnju itd.) pruža usmjerenost [11]:

- prema kupcu,
- prema učestalim promjenama i poboljšanjima procesa,
- prema inovativnim rješenjima,
- prema prepoznavanju problema u proizvodnji i potpunom rješavanju istih,
- prema željama korisnika na osnovu kojih se definiraju ciljevi,
- prema standardizaciji rada.

Osnovni cilj *lean* proizvodnih sustava je eliminacija svih rasipanja (gubitaka) u proizvodnim procesima. Ispravna implementacija *lean*-a uzrokuje velika unaprjeđenja po pitanju učinkovitosti, produktivnosti, materijalnih troškova i gubitaka, vremenu ciklusa što ima za posljedicu postizanje nižih troškova i poboljšanju konkurentnost.

Temelj spomenutih visokih performansi *lean*-a se može najjednostavnije opisati kroz pet osnovnih principa, nabrojanih u nastavku i prikazanih na slici 5. To su [12]:

1. Odrediti „VRIJEDNOST“ sa stajališta kupca.
2. Ustanoviti sve aktivnosti u „TOKU VRIJEDNOSTI“ te odstraniti sve one koje ne dodaju vrijednost.
3. Stvoriti „TIJEK“, odnosno težiti aktivnostima koje direktno dodaju vrijednost proizvodu i time ostvaruju upravo ono što kupac želi.
4. „POVLAČENJE PROIZVODNJE“ (eng. „*PULL*“) uvelike pomaže pri osiguravanju protoka na način da se ništa ne napravi unaprijed, odnosno da se ne stvaraju zalihe u vidu poluproizvoda. Proces započinje kupovinom ili narudžbom određene količine proizvoda od strane kupca. Od narudžbe do gotovog proizvoda, svaki proizvod prolazi kroz određene procese i na osnovu informacija iz proizvodnje nastoji eliminirati prekomjernu proizvodnju i stvaranje zaliha.
5. „TEŽNJA SAVRŠENSTVU“ se odnosi na sve aspekte poslovanja, kao i na odnos s kupcima i dobavljačima. Ovaj proces se smatra ključnim po pitanju konkurentnosti, stoga se on ne smije prestati odvijati. Pod pojmom savršenstvo se misli na stalno usavršavanje i ponavljanje prethodnih koraka.



Slika 5. Prikaz pet osnovnih načela lean proizvodnje [12]

Poštujući pet načela vitke proizvodnje moguće je ostvariti značajna smanjenja broja nepotrebnih radnji i smanjenja troškova što rezultira smanjenjem u ukupnom vremenu proizvodnje i time proizvođača čini konkurentnijim i fleksibilnijim na tržištu.

Proizvodni procesi koji nisu višestruko prošli kroz 5 osnovnih principa *lean*-a, najčešće sadrže jedan od elemenata gubitaka. Pojam gubitka, odnosno „otpad“ (eng. *waste*) je pojam koji često susrećemo u *lean*-u. Prema [13] principi vitke proizvodnje (eng. *Lean production*) dijele čisti gubitak, odnosno otpad u sedam kategorija (slika 6.) koje su ujedno i najveća područja aktivnosti bez dodavanja vrijednosti:

- prekomjerna proizvodnja,
- transport,
- čekanje / zastoji,
- prekomjerna obrada,
- zalihe,
- nepotrebni pokreti,
- škart.



Slika 6. Sedam vrsta gubitaka pram *lean*-u [13]

Henry Ford kaže: „Što je proizvod dulje u procesu izrade, to je veći krajnji trošak. ". Težište proizvodnih poduzeća su proizvodne aktivnosti, stoga kada govorimo o uspješnom vođenju poduzeća, jedna od najbitnijih stvari koju treba učiniti je mogućnost dodavanja vrijednosti svim aktivnostima koje se javljaju prilikom odvijanja proizvodnih procesa. Razlikujemo sljedeće aktivnosti [12]:

a) Aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu (eng. *Value Added Activity* - VAA):

Aktivnosti koje trebaju ispuniti sljedeća tri uvjeta:

- podrazumijevanje pothvata potrebnih za ostvarivanje fizičke transformacije materijala i informacija u oblike povećane vrijednosti,
- kupac ih je spreman platiti,
- potrebna je pravilna izvedba transformacije prilikom prve izvedbe.

b) Aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu (eng. *Non-Value Added Activity* - NVAA):

Aktivnosti koje moramo izvršiti jer su propisane zakonom ili državnim propisima. Ne možemo ih neutralizirati iz procesa jer osiguravaju kvalitetu proizvoda, a primjeri takvih aktivnosti su razna mjerenja, kontrola kvalitete i dr. Kako su to aktivnosti koje uključuju rad koji troši resurse, ali ne dodaje vrijednost proizvodu ili usluzi, kupac ih nerado plaća. Vrijedi napomenuti da bi aktivnosti bez dodane vrijednosti mogle dovesti do proizvoda obećavajuće kvalitete, ali bi zahtijevalo previše vremena i / ili novca za pripremu.

c) Aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu, odnosno predstavljaju čisti gubitak (eng. *Waste Activity* - WA):

Aktivnosti koje nastojimo u cijelosti eliminirati iz procesa jer troše resurse, kupac ih nije spreman platiti, a ne dodaju apsolutno nikakvu vrijednost proizvodu. Prethodno nabrojani gubitci se smatraju najvećim područjima aktivnosti bez dodavanja vrijednosti.

Prethodnim istraživanjima utvrđeno je da aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu imaju prosječan udio od 60% u proizvodnim procesima, aktivnosti koje nastojimo u potpunosti eliminirati imaju udio od 35% u proizvodnim procesima, dok aktivnosti koje izravno dodaju vrijednost proizvodu imaju udio samo 5%, slika 7.

Aktivnosti u proizvodnom procesu



Slika 7. Prikaz udjela aktivnosti u proizvodnom procesu

Spomenute aktivnosti usko su povezane s vremenom koje je potrebno za njihovo odvijanje, stoga se aktivnosti dijele u tri skupine s obzirom na to dodaje li njihovo vrijeme ili ne dodaje vrijednost proizvodu. Razlikujemo sljedeća vremena [12]:

1. vrijeme u kojem se dodaje vrijednost (eng. *Value Adding Time* – VAT),
2. vrijeme u kojem se ne dodaje vrijednost, ali je neophodno (eng. *Non-Value Adding Time* – NVAT),
3. vrijeme koje je čisti gubitak (eng. *Waste Time* – WT).

3. PROJEKTIRANJE PROIZVODNIH SUSTAVA

U današnje vrijeme konstantno povećanje broja proizvoda na tržištu i pronalaženje novih proizvodnih postupaka, nudi stvaranje novih ili prilagodbu već postojećih proizvodnih sustava. Stoga projektiranje proizvodnih sustava definiramo kao multidisciplinarnu, interdisciplinarnu i nadasve odgovornu djelatnost kojoj je primarna funkcija realiziranje fleksibilnog, humanog, ekonomičnog i funkcionalnog proizvodnog sustava korištenjem značajnih financijskih sredstava i golemih ljudskih potencijala.

Svako projektiranje zahtijeva postavljanje projektnog zadatka, čije je rješenje projekt u kojem su definirane smjernice realizacije projektnog zadatka. Zadaci projektiranja proizvodnih sustava su izbor lokacije i tipa zgrade, određivanje proizvodnih procesa, logističkih procesa (transport, skladištenje i rukovanje materijalom) i pripadajućih pomoćnih procesa (održavanje, kontrola kvalitete i dr.). Projektnim zadatkom, postavljenim prilikom projektiranja novih ili već postojećih proizvodnih sustava, obuhvaćeni su proizvodi kao predmeti rada, rokovi isporuke proizvoda, ukupna količina proizvoda, raspoloživa investicijska sredstva za provedbu proizvodnog sustava te ostale zahtjeve vezane uz funkcionalnost, ekonomičnost ili fleksibilnost sustava. Osnovni zadatak projektiranja proizvodnih sustava je da projekti postignu što bolju kvalitetu u najkraćem vremenu [2].

3.1. Vrste projektnih zadataka kod projektiranja proizvodnih sustava

Prema [2] razlikujemo 5 osnovnih vrsta projektnoga zadatka koji se pojavljuju u specifičnim etapama životnoga vijeka proizvodnoga sustava:

1. projektiranje potpuno novog proizvodnog sustava;
2. rekonstrukcija proizvodnog sustava uz njegovo širenje;
3. rekonstrukcija proizvodnog sustava bez njegovog širenja;
4. uvođenje manjih racionalizacija u postojećem proizvodnom sustavu;
5. dekonstrukcija proizvodnog sustava.

Temeljni čimbenici čija međusobna kombinacija i odnos određuju vrstu projektnog zadatka su: potreba za novim proizvodom, promjena proizvodnih količina postojećih proizvoda i uvođenje novih proizvodnih postupaka različitim tehnologijama.

Prisutnost svih spomenutih čimbenika omogućuje postavljanje zadatka za projektiranje potpuno novog proizvodnog sustava koji je predstavljen kao najsadržajniji oblik projektnog zadatka koji se rjeđe pojavljuje od ostalih.

Prvi korak prije projektiranja potpuno novog proizvodnog sustava je provedba prethodne studije koja se očituje u odabiru mikrolokacije, utvrđivanju proizvodnog programa, analizi tržišta i dr. Na osnovu unaprijed postavljenih zahtjeva pri projektiranju potpuno novog proizvodnog sustava, projektanti imaju mogućnost ostvarivanja optimalnog rješenja uz prilagodbu vanjskim uvjetima (lokacija, integracija u postojeću infrastrukturu i dr.) [2],[14].

Već je spomenuto da je proizvodni sustav dinamički i promjenjivi sustav, što ima za posljedicu odstupanja od izvorno projektiranog sustava. Jednom sagrađena zgrada ima vijek trajanja nekoliko desetaka godina, dok se proizvodna oprema i uz nju vezani tehnološki procesi značajno brže mijenjaju i zastarijevaju. U tom slučaju potrebna je rekonstrukcija proizvodnih sustava sa ili bez njegovog širenja, koja uvjetuje preoblikovanje proizvodnih tokova i struktura, odnosno promjenu rasporeda proizvodne opreme te pripadajućih odjela. Ova vrsta projektnog zadatka se najčešće pojavljuje pri povećanju proizvodnih količina kada se premašuju postojeći kapaciteti proizvodnih sredstava, uzimajući u obzir minimalizaciju troškova proizvodnje [2],[14].

Svakodnevni projektni zadatkom smatra se uvođenje manjih racionalizacija u postojeće proizvodne sustave, s tendencijom poboljšavanja koncepcije projektiranog stanja kroz promjene konstrukcije proizvoda koje utječu na manje promjene postupaka tehnološkog procesa i proizvodnih količina, uvođenje novih tehnoloških procesa ili poboljšanje rukovanja materijalom. Spomenute izmjene iziskuju promjene u rasporedu proizvodnih površina, prostora namijenjenog za odlaganje i transport materijala [2],[14].

Dekonstrukcija proizvodnog sustava se definira kao projektni zadatak čiji je primarni zadatak uklanjanje proizvodnih sustava gubitkom svrhe njihovog postojanja, zbog zastarjelog proizvodnog programa, proizvodnih procesa, tehnologije ili zbog nemogućnosti upotrebe izrađenih objekata u druge svrhe [2].

3.2. Načela projektiranja proizvodnih sustava

Stvaranjem velikih industrijskih postrojenja nakon drugoga svjetskog rata, projektiranje proizvodnih sustava izgrađuje se kao važna djelatnost. Središnjim problemom projektiranja proizvodnog sustava postaje njegovo prostorno uređenje koje u cijelosti definira prostor potreban za [2]:

- izvršavanje proizvodnih djelatnosti,
- smještaj ljudi i proizvodne opreme,
- rukovanje i transport materijala,
- omogućavanje prostora za skladištenje,
- te za sve ostale podupiruće djelatnosti.

Projektiranje proizvodnog sustava se može odraziti na pojavu odstupanja procesa i njemu pripadajućih operacija, a samim time i na ukupno odstupanje kvalitete. Ukoliko bi proizvodni sustav bio loše projektiran, previše bi bilo očekivati da proizvodni sustav jamči dobru kvalitetu. Također, postoji mogućnost da loše projektiran proizvodni sustav pokvari kvalitetu i dobro projektiranog proizvoda. Kako je projektiranje proizvodnih sustava vrlo složen proces u kojem se nastoje obuhvatiti svi čimbenici, proizvodni sustav se nastoji pravilno prostorno oblikovati [2]. Određivanje najprikladnijeg prostornog rasporeda obuhvaća sve razine proizvodnih sustava, od odabira mikrolokacije uzrokovane raznim zakonskim regulativama, ograničenjima, načinom gradnje kompleksa, prometnom povezanošću, dostupnim zemljištem, klimom i radnom snagom sve do definiranja pojedinog radnog mjesta. Kada govorimo o postojećim proizvodnim sustavima, uslijed određivanja najprikladnijeg prostornog rasporeda nužno je ispitati učinkovitost postojećih tehnologija, strojeva, kupaca, ljudi i znanja [6].

Prema [2] prednosti dobro i pravilno oblikovanih sustava odražavaju se u:

- poboljšavanju angažmana, odgovornosti i zadovoljstva zaposlenog osoblja kroz rad u sigurnom i zdravom okruženju,
- povišenju proizvodnosti i produktivnosti što uzrokuje smanjeni broj zastoja materijala na strojevima i manje vrijeme čekanja na sljedeću operaciju, a samim time veće iskorištavanje sredstava i ljudskog rada,
- uštedi u prostoru pri čemu se znatno smanjuju troškovi objekata, a samim time i troškovi održavanja (grijanje, hlađenje, rasvjeta) tih objekata,

- smanjenju potrebe za rukovanje materijalom,
- ubrzanju i pojednostavnjenju toka materijala te kraćem vremenu izradbe i sklapanja što uzrokuje bolju poziciju na konkurentskom tržištu,
- smanjenju obujma administrativnih poslova implementacijom informacijskih sustava,
- lakšeg i boljeg nadgledanja implementacije odabrane varijante uz obavezno testiranje i uvođenje u rad,
- smanjenju rizika oštećenja materijala ili sniženja njegove kakvoće misleći pritom na sigurnost materijala i proizvoda prilikom adekvatnog skladištenja,
- lakšoj prilagodbi promijenjenim uvjetima uz minimalne troškove,
- lakšem održavanju koje nudi dodatnu sigurnost u obavljanju proizvodnih aktivnosti bez pojave zastoja.

Stoga je u postupku projektiranja proizvodnih sustava vrlo bitna pravilna identifikacija utjecajnih čimbenika, pogotovo u ranoj fazi izrade projekta, pri izradi koncepta proizvodnog sustava. Osnovni cilj projektiranja je postizanje pravilno oblikovanog proizvodnog sustava koji osigurava zahtijevanu kvalitetu proizvodnje, uz zadovoljavanje ekonomičnosti, olakšane upravljivosti proizvodnim procesom, sigurnih rokova proizvodnje i cijelog niza drugih zahtjeva u vezi sa organizacijom i vođenjem proizvodnje. Iz tog razloga proizlaze osnovna načela projektiranja proizvodnih sustava koja uvelike pomažu nadvladavanju problema proizvodnih sustava. U daljnjem tekstu navedena su načela projektiranja proizvodnih sustava [2]:

1. Načelo integracije svih utjecajnih činilaca – želja za postizanjem najkorisnijeg kompromisa integracijom ljudi, sredstava i drugih ostalih utjecajnih faktora.
2. Načelo kretanja materijala najkraćim udaljenostima – očituje se u smanjenju transporta između pojedinih radnih mjesta.
3. Načelo toka – namjera je osigurati prostorno uređen sustav koji bi pratio raspored odvijanja tehnoloških procesa.
4. Načelo kugle – učinkovito i kvalitetno korištenje raspoloživog prostora (vodoravno i horizontalno korištenje proizvodnog sustava).
5. Načelo zadovoljstva i sigurnosti uposlenih.
6. Načelo fleksibilnosti – sposobnost proizvodnog sustava da se prilagodi na nove uvjete, minimizirajući pritom troškove.

Nadalje, navedena su načela projektiranja definirana novim metodologijama projektiranja [2]:

1. Načelo cjelovitosti - cjelina se smatra najprikladnijim kompromisom, stoga se mnoštvo razolikih rješenja nastoji obuhvatiti u jedinstveno rješenje, imajući na umu da optimum pojedinačnih rješenja u pravilu neće biti i optimum cjeline.
2. Načelo postupnosti i iterativnosti - do krajnjeg rješenja se dolazi nakon nekoliko iteracija, uz mogućnost ponavljanja postupka projektiranja ukoliko je rješenje nedovoljne vrijednosti.
3. Načelo varijantnosti - prilikom projektiranja proizvodnih sustava nastoji se definirati nekoliko rješenja koja se valoriziraju s obzirom na specifične uvjete.
4. Načelo orijentiranosti na funkciju proizvodnoga sustava - usmjerenost je na zadovoljavanju proizvodnog programa.
5. Načelo idealnoga projektiranja - usporedba realiziranog rješenja s idealnim rješenjem, gdje rješenja predstavljaju vrhunac trenutačnog tehnološkog razvoja bez ikakvih ograničenja uzrokovanih mikrolokacijom.
6. Načelo ekonomičnoga projektiranja - nastoji se izbjeći preprojektiranje ili potprojektiranje zbog prevelikog utroška vremena, odnosno nezadovoljavajuće kvalitete projektnih rješenja.
7. Načelo interdisciplinarnosti - formiranje interdisciplinarnih projektnih timova, sačinjenih od stručnjaka sa različitim specijalističkim znanjima, nastoje se riješiti zahtjevni problemi poput oblikovanja kompleksnih sustava.

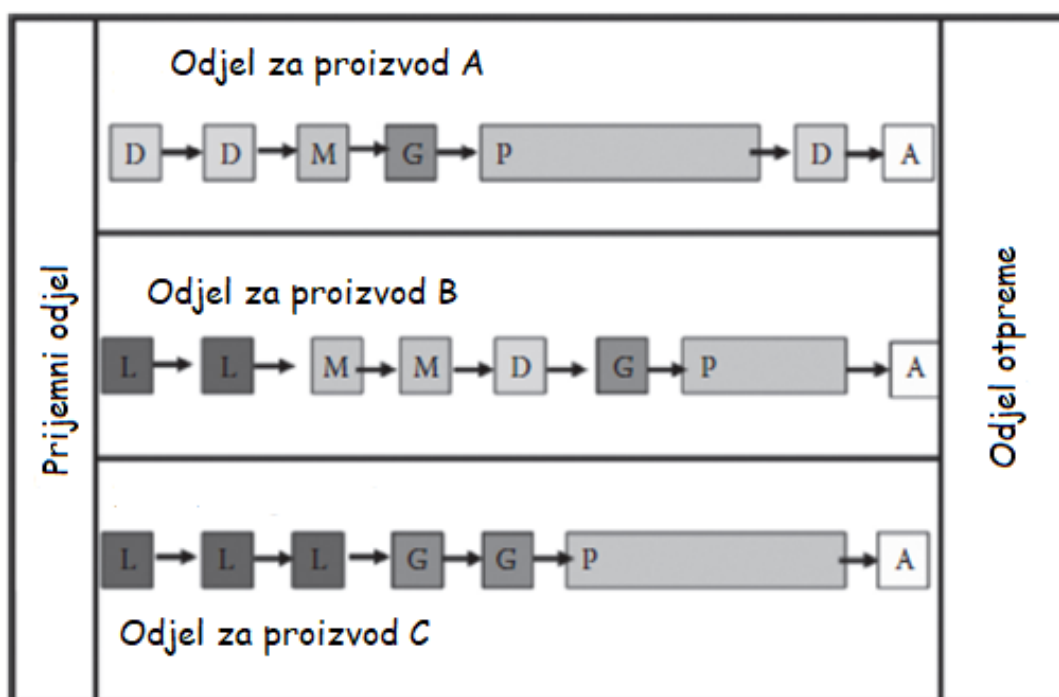
3.3. Pet vrsta izgleda proizvodnih sustava

Proizvodni inženjeri su zaduženi za određivanje vrste izgleda proizvodnih sustava koja će se koristiti, a to odlučuju na temelju utvrđivanja uzorka. U daljnjem tekstu je prema [7] navedeno i obrađeno pet općih vrsta izgleda proizvodnog sustava:

- Izgled proizvodnog sustava prema proizvodu,
- Izgled proizvodnog sustava prema procesu,
- Izgled fiksnog položaja proizvodnog sustava,
- Izgled proizvodnog sustava temeljen na grupnoj tehnologiji,
- Hibridni izgled proizvodnog sustava.

3.3.1. Izgled proizvodnog sustava prema proizvodu

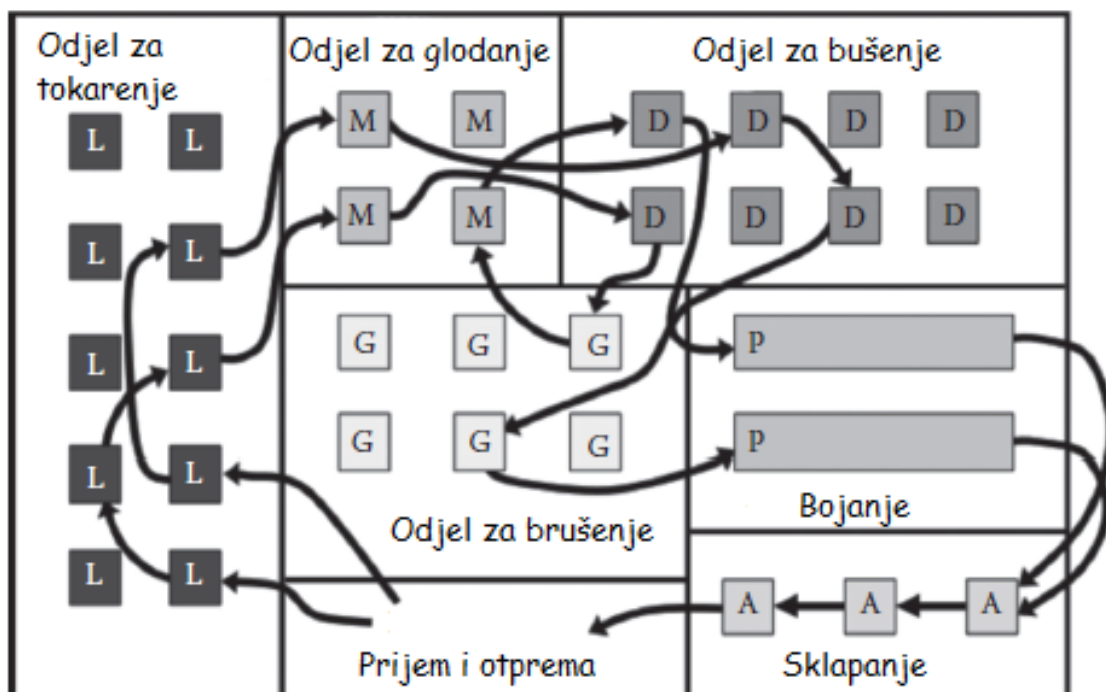
Izgled proizvodnog sustava prema proizvodu (slika 8.) još je poznat po nazivima kao što su izgled protočne linije, izgled proizvodne linije, izgled crte linije i izgled proizvoda prema proizvodu. U izgledu proizvodnog sustava prema proizvodu, strojevi i radne stanice raspoređeni su uzduž putanje proizvoda prateći slijed koji odgovara slijedu operacija kroz koje proizvod prolazi. Izgled proizvodnog sustava prema proizvodu najčešće se koristi u poduzećima koje proizvode jedan ili nekoliko predmeta u velikim količinama. Prednosti ovog izgleda uključuju skraćeno vrijeme obrade, lakše planiranje i kontrolu. Glavni nedostatak spomenutog izgleda je nedostatak fleksibilnosti. Izgled spomenutog proizvodnog pogona prikladan je za tvrtke koje ne provode česte promjene proizvoda jer su troškovi izmjene vrlo veliki [7].



Slika 8. Izgled proizvodnog sustava prema proizvodu [7]

3.3.2. Izgled proizvodnog sustava prema procesu

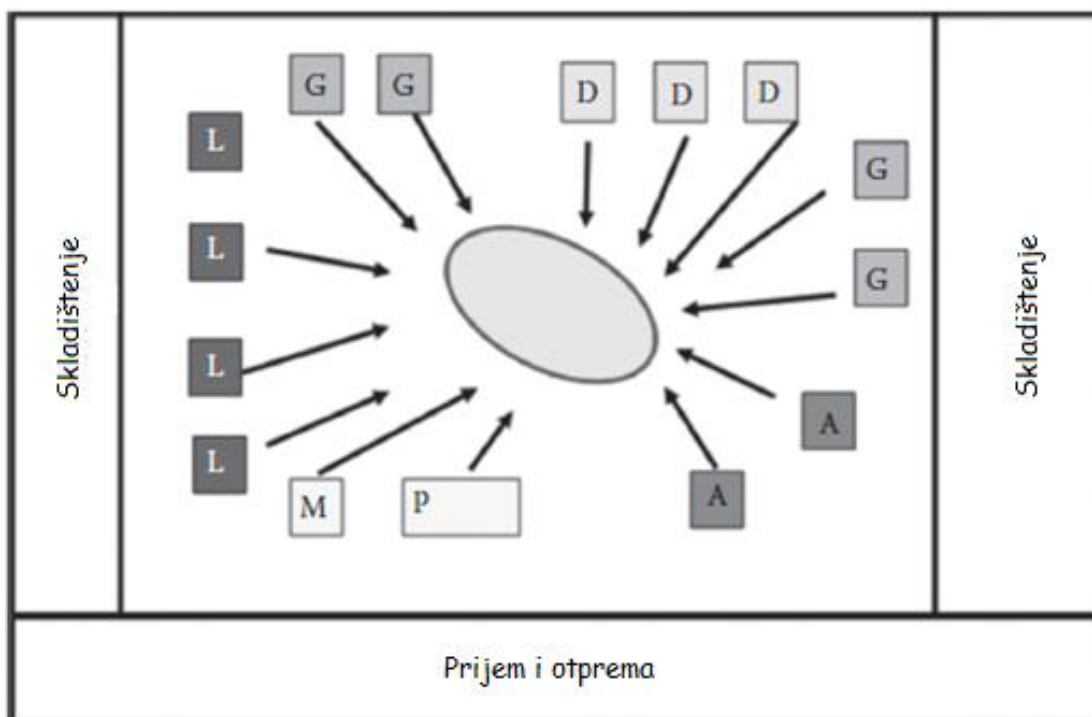
Kod ovog izgleda strojevi i radne stanice raspodijeljene su na temelju postupaka koji se obavljaju. Sukladno tome svaka vrsta strojeva smješta se u zaseban odjel, na primjer, svi strojevi za glodanje smješteni su u jednom odjelu, svi strojevi za tokarenje smješteni su u drugi odjel i slično. Ovaj izgled je poznat po nazivima izgled po postupku i izgled radnog mjesta. Izgled proizvodnog sustava prema procesu pogodan je za poduzeća koja proizvode različite proizvode ili poslove u malim količinama, pri čemu se svaki proizvodni proces razlikuje od bilo kojeg drugog. Spomenuti izgled nudi fleksibilnost i omogućuje osoblju da postanu stručnjaci za određeni proces, on ima neke velike nedostatke koji se očituju u povećanim troškovima za rukovanje materijalima, smanjenoj produktivnosti, preopterećenosti u prometu, složenosti u planiranju i kontroli. Na slici 9. prikazan je izgled proizvodnog sustava prema procesu gdje se tokarilice (označene sa L) nalaze u odjelu tokarilica, dok su svi ostali strojevi (glodalice, bušilice i dr.), kao i sva radna mjesta označeni jedinstvenim oznakama i smješteni u zasebne odjele [7].



Slika 9. Izgled proizvodnog sustava prema procesu [7]

3.3.3. Izgled fiksnog položaja proizvodnog sustava

Za razliku od prva dva izgleda, ovdje se proizvod ne premješta s jedne lokacije na drugu. Proizvod ima svoj fiksni položaj, a potrebni postupci i oprema za izradu proizvoda dovode se do mjesta na kojem se proizvod nalazi. Predstavljeni izgled se prihvaća ukoliko se radi o masivnom proizvodu kojeg je teško prevoziti ili transportirati. Izgled fiksnog položaja (slika 10.) prisutan je u brodogradnji, proizvodnji i servisu zrakoplova te drugim industrijama (npr. prometna industrija). Masivan i skup proizvod, prisutan u ovom izgledu, ne premješta se na druge lokacije, što uvelike smanjuje šanse za oštećenje proizvoda te smanjenje troškova za njegovo premještanje. Nedostatak ovog izgleda se očituje u značajnom povećanju troškova premještanja opreme na područje rada i s njega, stoga iskorisćenost opreme smatramo malom [7].



Slika 10. Primjer fiksnog proizvodnog sustava [7]

3.3.4. Izgled proizvodnog sustava temeljen na grupnoj tehnologiji

Grupna tehnologija (u nastavku GT) se definira kao filozofija obrade zasnovana na principu da se srodni proizvodi moraju proizvoditi na srodan način. Prvi bitan korak kod GT-a je grupiranje proizvoda, gdje grupe proizvoda predstavljaju broj proizvoda koji posjeduju srodne karakteristike izgleda ili srodne proizvodne procese. Stoga se primjena GT-a očituje u proizvodnim poduzećima kroz niz sljedećih aktivnosti [15]:

- utvrđivanje kritičnih atributa dijela koji ujedno predstavljaju uvjete za pristupanje u određenu obitelj dijelova;
- dodjela dijelova utvrđenim obiteljima;
- pronalaženje dijela članova obitelji i srodnih podataka.

Unatrag nekoliko godina, mnogi srednji i veliki proizvodni sustavi pružaju bolju kontrolu rada i planiranja podjelom velikog sustava na dva ili više manjih, neovisnih podsustava.

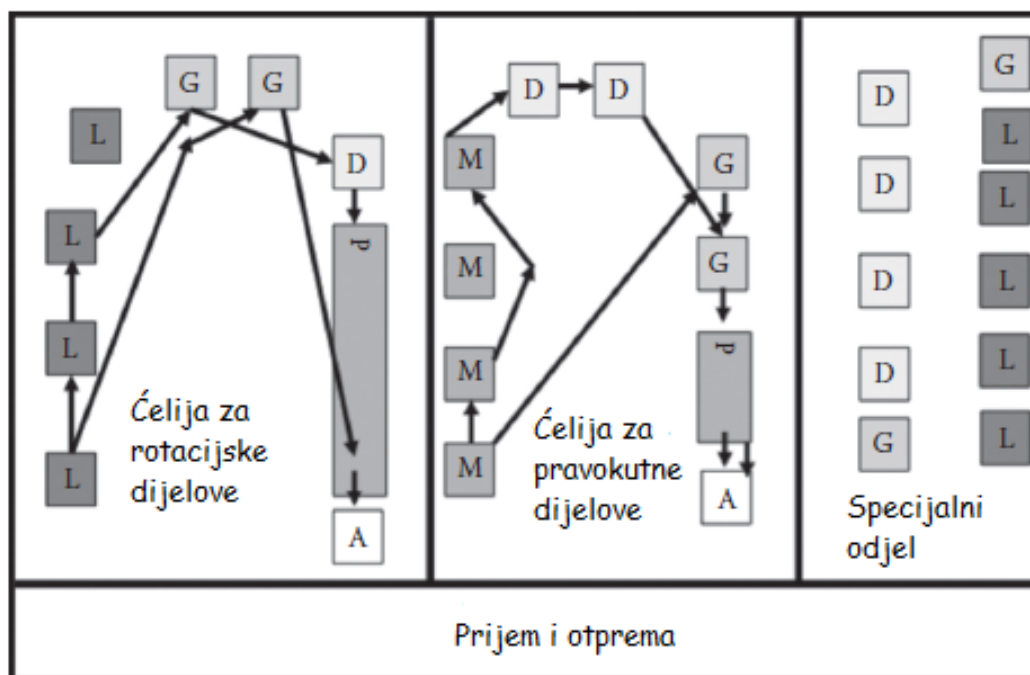
Proizvodni inženjeri su zaduženi odrediti skupove strojeva i odgovarajuće dijelove koji se obrađuju na tim strojevima prema spomenutim aktivnostima. Nakon toga su u mogućnosti podijeliti veliki proizvodni sustav na manje podsustave, tako da svaki skup strojeva čini proizvodnu "ćeliju", što je ujedno i temeljna ideja GT-a. "Ćelija" je definirana kao mala skupina strojeva, najčešće ne više od 5. Nerijetko se upotrebljava pojam stanična proizvodnja, pri čemu je svaka stanica namijenjena određenoj obitelji dijelova.

Identifikacijom strojnih ćelija koje su neovisne od ostalih ćelija, inženjeri proizvodnog sustava stvaraju brojne manje, međusobno neovisne podsustave koje je lakše planirati i kontrolirati. Osnovni zadatak proizvodnog sustava temeljenog na GT je identificiranje strojeva namijenjenih za proizvodnju skupova dijelova, grupiranje tih strojeva u strojnu ćeliju, odnosno odgovarajućih dijelova u obitelj dijelova. Također, vrijedi napomenuti da strojevi u pojedinim ćelijama nisu nužno slični sa svojim mogućnostima obrade [15].

GT želi iskoristiti sličnosti koje postoje među pojedinim dijelovima i samim time povećati učinkovitost kroz niz sljedećih aktivnosti [15]:

- omogućavanje zajedničkog izvršavanja srodnih, ponavljajućih aktivnosti;
- standardizacija sličnih aktivnosti za kontrolu širenja aktivnosti i bolju uporabu resursa;
- podrška pronalaženju informacija kako bi bile dostupne i upotrebljive.

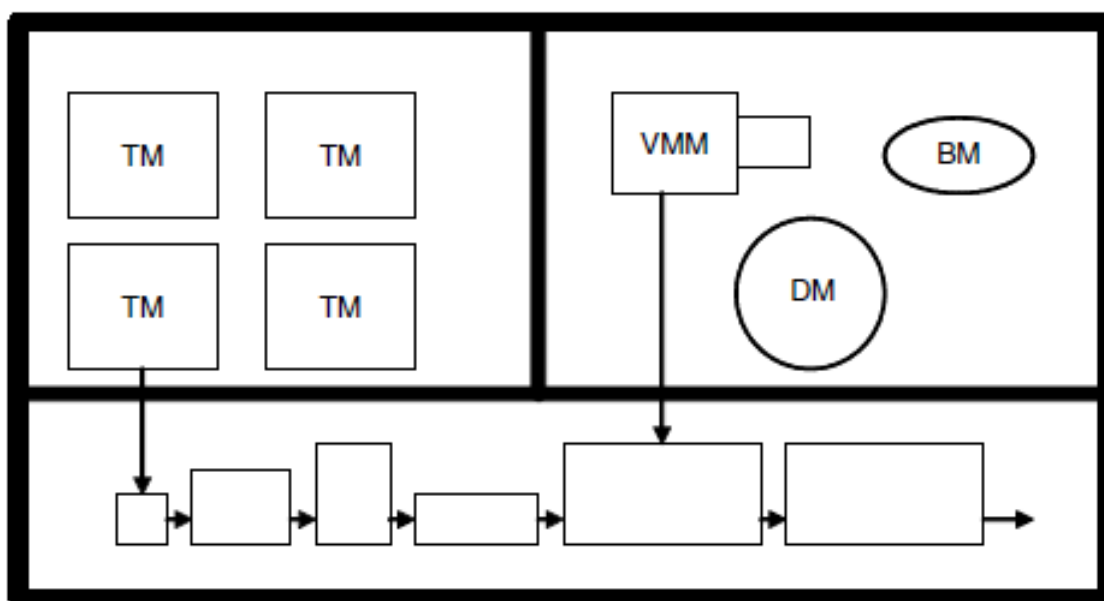
Prednost izgleda proizvodnog sustava temeljenog na GT (slika 11.) je mogućnost potpune obrade dijelova u zasebnoj ćeliji, što uzrokuje značajno smanjenje prometnog preopterećenja, troškova zbrinjavanja materijala, rada u procesu (eng. *Work In Progress - WIP*), vremena proizvodnje te ujedno omogućuje poboljšanu kontrolu procesa i povećanje učinkovitosti [7].



Slika 11. Izgled proizvodnog sustava temeljen na grupnoj tehnologiji [7]

3.3.5. Hibridni izgled proizvodnog sustava

Nemoguće je da sva poduzeća primjenjuju jedan od spomenutih izgleda proizvodnog sustava. Poduzeće širenjem svojih kapaciteta, odnosno povećanjem svojih proizvodnih linija i samog volumena proizvodnje, može doći do zaključka da nijedan od prethodno spomenutih izgleda ne zadovoljava njihove potrebe. Nekolicina proizvoda zahtijeva izgled proizvodnog sustava prema proizvodu, dok ostatak zahtijeva izgled fiksnog položaja proizvodnog sustava. Stoga, brojna poduzeća posežu za korištenjem hibridnog izgleda proizvodnog sustava (slika 12.) koji predstavlja kombinaciju nekih prethodno spomenutih izgleda. Upravo zbog raznolikosti proizvoda, većina danas raspoloživih poduzeća je implementirana pomoću hibridne strukture [7].



Slika 12. Hibridni izgled proizvodnog sustava [7]

3.4. Problem proizvodnih sustava

Uglavnom je prostor za proizvodnju skuplji od prostora za skladištenje. Često se potrebe proizvodnje povećavaju, prostor za skladištenje često se pretvara u proizvodni prostor. Ukoliko oko proizvodnog pogona nema dovoljno zemlje za širenje proizvodnje i skladištenja, tada se prostor za skladištenje često traži izvan proizvodnog pogona. Korištenje ili zakup prostora, javno skladištenje ili druge mogućnosti smatramo skladištenje izvan proizvodnog kruga. Skladištenja materijala i drugog potrošnog materijala na licu mjesta, odnosno uz proizvodni pogon je prednost iz sljedećih razloga [7]:

- minimizira se vrijeme potrebno za odgovor na zahtjeve za materijalima i zalihama,
- smanjuje se potrebna količina zaliha s obzirom na onu koja je potrebna za skladištenje izvan mjesta,
- misleći na zadovoljstvo zaposlenika, skladištenje na licu mjesta omogućava da se osoblje skladišta osjeća kao dio cjelokupnog tima.

Kada se koristi skladište izvan mjesta, potrebni su dostavni kamioni. Također, materijal se mora nekoliko puta utovariti i istovariti s ciljem zadovoljavanja krajnjih potreba izrade. Skladištenje izvan mjesta ima i prednost koja se očituje u tome što je ona posvećena aktivnostima

skladištenja. Pohranjivanje materijala izvan mjesta zahtijeva da rukovoditelji proizvodnje planiraju svakodnevne aktivnosti što se može olakšati korištenjem koncepta upravo na vrijeme (eng. *Just-in-time – JIT*).

Za proizvodnog inženjera proizvodnog postrojenja važan je i raspored skladišta jer troškovi iznajmljivanja, zakupa ili kupnje nekretnina danas sve više rastu. Potaknuti kvalitetnim rasporedom strojeva u proizvodnom pogonu, težimo dobrom rasporedu skladišta koji je potrebno učinkovito iskoristiti kako bi se smanjili troškovi skladištenja i troškovi za rukovanje materijalima [7].

3.5. Tok materijala

Tok materijala je organizacijsko, vremensko i prostorno povezivanje procesa vezanih uz materijal koji protječe proizvodnim sustavom tijekom proizvodnih ciklusa. Pod procesima koji se odvijaju, podrazumijevaju se sva tehnološka, kontrolna, skladišna, transportna i ostala zbivanja. Tok materijal uključuje sva kretanja materijalnih dobara unutar zadanog prostornog područja i vremena, uz promjenjivi put, brzinu protoka i prevezenu količina. Prilikom obavljanja operacija ili skladištenja, brzina protoka poprima vrijednost nule [2].

Pod pojmom materijalnih dobara ubrajamo sirovine, poluproizvode, vlastite i kupljene dijelove, sklopove, gotove proizvode te razne alate, naprave, mjernu opremu i pomoćnu opremu.

Tok materijala se prema normi VDI 3300 može podijeliti u četiri razine, pri čemu svaka razina ima funkciju u sklopu projektiranja proizvodnih sustava. Prema [2] razlikujemo:

- Tok materijala I. razine je usredotočen na mikrolokaciju sustava, te je kompetentan za odabir položaja mikrolokacije s obzirom na dobavljače i kupce. On obuhvaća kretanje materijala između proizvodnog sustava i njegove okoline, misleći pritom na dobavljače i kupce.
- Tok materijala II. razine je kompetentan za izradu plana izgradnje, uzimajući u obzir sva ograničenja. On objedinjuje kretanja materijala između objekata na prethodno odabranoj mikrolokaciji.
- Tok materijala III. razine predstavlja temeljni polazni podatak za proces optimiranja rasporeda odjela, odnosno razmještaj elemenata unutar samog odjela. Samim time, on

obuhvaća kretanje materijala između pojedinih odjela i unutar odjela te između elemenata odjela.

- Tok materijala IV. razine sadrži kretanje materijala unutar samog radnog mjesta, pri čemu se naglašava mogućnost automatizacije tokova materijala na radnom mjestu.

Vrijedi napomenuti da postupak određivanja toka materijala započinje od toka materijala treće razine, pri čemu se tokovi materijala nižih razina ostvaruju jednostavnim preračunavanjem zbog spajanja elemenata sustava u veće cjeline.

Tok materijala unutar proizvodnih procesa ovisi o mnogim faktorima, od kojih se po važnosti izdvajaju sljedeći [2]:

- vrste i svojstva materijala,
- količina materijala,
- brzina i dinamika kretanja,
- duljina i značajke puta.

Prilikom projektiranja novih proizvodnih sustava i promišljanja o unapređenju već postojećeg proizvodnog sustava, primjenjuje se analiza toka materijala koji će biti ostvaren sustavom rukovanja materijalom. Razlozi korištenja analize se očituju kroz [2]:

- smanjenje troškova,
- smanjenje oštećenja,
- povećanje iskoristivosti prostora i opreme,
- povećanje produktivnosti,
- poboljšanje uvjeta rada.

Tok materijala je moguće odrediti na dva načina: direktnim snimanjem ili proračunom na osnovi dostupnih podataka. Direktno snimanje toka materijala u maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji se nastoji izbjegavati zbog dužeg vremenskog perioda pri čemu može doći do narušavanja proizvodnje, nepouzdanosti i cijene procesa. Postupak direktnog snimanja se provodi metodom trenutačnih zapažanja ili zapisivanjem nekolicine podataka o izvršenom transportu (datum, broj i vrsta sredstava za odlaganje, transportno sredstvo, element sustava od kojega se transportiralo, element sustava kome se transportiralo) u obrazac od strane radnika zaduženih za transport. Na osnovu podataka iz postojećeg stanja, teško se može zaključiti o toku materijala za neko buduće stanje. To je ujedno i najveći nedostatak direktnog snimanja.

Proračun toka materijala se odvija na temelju podataka o proizvodnom programu, sastavnici proizvoda i planu montaže. Postupak je moguće primijeniti na reprezentantne proizvode odnosno reprezentativne dijelove i sklopove. Proračun se odvija prema sljedećem rasporedu [2]:

1. Rastavljanje proizvoda korištenjem sastavnice na sastavne sklopove i pojedinačne dijelove.
2. Odrediti ukupan broj sklopova i pojedinačnih dijelova za promatrano razdoblje.
3. Odrediti vrstu sredstva za odlaganje za svaki predmet rada.
4. Za svaki se predmet rada pomoću sljedeće jednadžbe izračuna potreban broj sredstava za odlaganje u planiranom razdoblju:

$$n_o = \frac{Q_P}{Q_{PO}}, \quad (1)$$

gdje su:

n_o - potreban broj sredstava za odlaganje u planiranom razdoblju,

Q_P - broj komada predmeta rada,

Q_{PO} - broj predmeta rada u jednom sredstvu za odlaganje.

5. Broj transporata, za prijevoz jedne serije i -toga predmeta rada, računa se izrazom:

$$n_{OI_i} = \frac{Q_{S_i}}{Q_{PO_i}} \cdot \frac{1}{Q_{TS_i}}, \quad (2)$$

gdje su:

n_{OI_i} - broj transporata za prijevoz jedne serije i -toga predmeta rada,

Q_{S_i} - veličina serije (broj komada u seriji) i -toga predmeta rada,

Q_{PO_i} - broj i -toga predmeta rada u jednom sredstvu za odlaganje,

Q_{TS_i} - broj sredstava za odlaganje i -toga predmeta rada koja se prevoze transportnim sredstvom u jednoj vožnji (kapacitet transportnog sredstva).

6. Intenzivnost toka materijala izražava se brojem transporata u planskom razdoblju (jedna godina) između k -tog i j -tog elementa sustava, a izračunava izrazom:

$$b_{kj_i} = n_{OI_i} \cdot n_{S_i}, \quad (3)$$

gdje su:

b_{kj_i} - intenzivnost toka materijala između k -tog i j -tog elementa sustava,

n_{OI_i} - broj transporata za prijevoz jedne serije i -toga predmeta rada,

n_{S_i} - broj serija i -toga predmeta rada u planskome razdoblju.

7. Ukupna transportna intenzivnost u planskom razdoblju između k -tog i j -tog elementa sustava dobiva se zbrajanjem intenzivnosti transporta za sve predmete rada koji se transportiraju između tih elemenata sustava:

$$b_{kj} = \sum_i b_{kji}, \quad (4)$$

gdje su:

b_{kji} - intenzivnost toka materijala između k -tog i j -tog elementa sustava,

i - brojač predmeta rada koji se transportiraju između elemenata k i j , $i = 1, 2, \dots, n_p$,

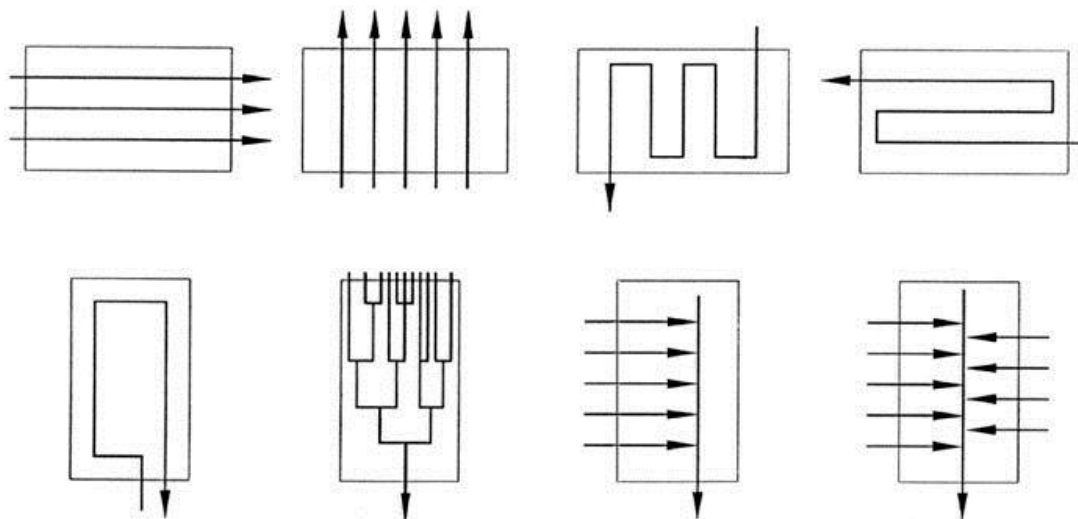
b_{kj} - ukupna transportna intenzivnost između k -tog i j -tog elementa.

Za prikaz i analizu toka materijala koriste se razne grafičke i analitičke metode. Grafičke metode su prikladne kao sredstvo vizualizacije toka materijala, ali ne i kao osnova za matematičku analizu. Za rješavanje problema rukovanja materijalom, odnosno za minimizaciju toka materijala potrebne su matrice toka materijala koje smatramo analitičkim prikazom toka materijala, te one ujedno predstavljaju matematički način rješavanja.

Neke od metoda prikaza toka materijala su sljedeće [2]:

- Sankeyev dijagram,
- Karta redoslijeda postupaka (karta toka materijala),
- Karta redoslijeda operacija,
- Dijagram toka materijala u tlocrtu,
- Blok dijagram toka,
- Posebni dijagrami,
- Matrice od-do,
- Matrica odnosa.

Slika 13. najbolje prikazuje razne mogućnosti toka materijala unutar pogona. Temeljna pravila prilikom oblikovanja toka materijala su: izbjegavanje povratnih puteva i međusobno isprepletenih puteva uz pokušavanje da se tok odvija po najkraćem putu.



Slika 13. Prikaz mogućnosti toka materijala [2]

3.6. Oblikovanje prostornog rasporeda proizvodnog sustava

Osnovni zadatak oblikovanja prostornog rasporeda, temeljenog na toku materijala, je da se unutar prethodno definiranih proizvodnih struktura utvrdi najprikladniji prostorni raspored elemenata. Ispravno oblikovanje rasporeda elemenata uvjetuje minimiziranje ciklusa proizvodnje smanjivanjem transportnih puteva te maksimiziranje fleksibilnosti, kakvoće proizvoda, proizvodnosti i iskorištenja kapaciteta. Primjećujemo da su neki od prioriteta u suprotnosti, stoga se dobra rješenja prostornog rasporeda postižu primjenom prikladnih postupaka optimizacije. Oblikovanje prostornog rasporeda se obavlja prema dva kriterija [2]:

- minimiziranje povratnog kretanja materijala uz osiguravanje jednosmjernog toka materijala,
- minimiziranje ukupne transportne udaljenosti odnosno ukupnog transportnog učinka.

Optimiranje prema kriteriju minimalnog transportnog učinka može se podijeliti na mađarsku metodu i modificiranu metodu trokuta koja će detaljnije biti opisana u nastavku.

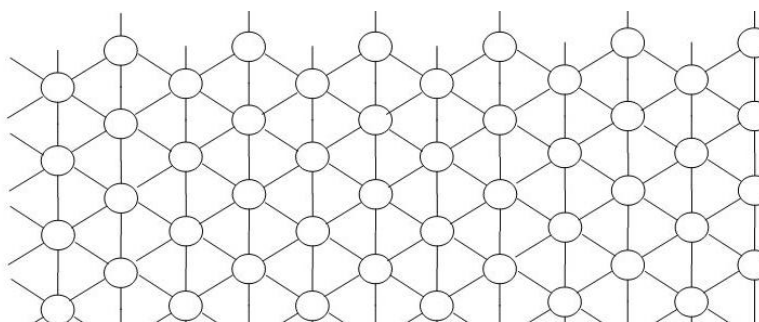
3.6.1. Modificirana metoda trokuta

Modificirana metoda trokuta (u nastavku MMT) ima karakteristiku mreža koja je sastavljena od nekoliko jednakostraničnih trokuta gdje vrhovi trokuta predstavljaju radna mjesta, odnosno elemente sustava. Primjena ove metode je iznimno korisna prilikom projektiranja potpuno novih proizvodnih sustava ili pri analizi već postojećih proizvodnih sustava kroz promjene raznih proizvodnih procesa, odnosno njena primjena se iskazuje prilikom pojave toka materijala između bilo kojih elemenata unutar proizvodnog sustava.

MMT se upotrebljava kod modela s neograničenim izborom lokacija, temeljenog na teoriji kako je broj slobodnih lokacija znatno veći od broja radnih mjesta koje je potrebno rasporediti. Stoga se uzima u obzir da se eliminiraju ograničenja vezana uz izbor slobodnih lokacija. Podaci potrebni za formiranje ove metode, uz popis svih radnih mjesta i smjera toka materijala među njima, dobivaju se iz matrice transportnih intenziteta u kojoj je prikazan broj prijevoza između radnih mjesta.

Mrežni trokutni model, prikazan na slici 14., okarakteriziran je sljedećim pretpostavkama:

- veličina radnih mjesta je nebitna te ih smatramo približno sličnih dimenzija i oblika,
- između susjednih radnih mjesta su jedinične udaljenosti,
- cijena puta prevaljenog između radnih mjesta je konstantna.



Slika 14. Mreži trokutni model

Temeljno načelo metode je da se jednoj lokaciji može dodijeliti samo jedan element sustava i obratno. Metoda se zasniva na teoriji da se grupiranjem radnih mjesta s najvećim transportnim intenzitetom, neovisno o njegovom smjeru, smanji funkcija cilja rukovanja materijala gdje se za funkciju cilja metode uzima minimalni transportni učinak sustava. Postupak raspoređivanja

elemenata sustava u mrežni trokutni model započinje raspoređivanjem elementa s najvećim transportnim intenzitetom garantirajući pritom raspoređivanje elemenata sustava, koji najviše utječu na funkciju cilja, na najpogodnije lokacije. Količina i smjer toka materijala između elemenata sustava prikazani su u orijentiranoj matrici toka materijala, no budući da za provedbu metode nije važan smjer toka materijala, upotrebljava se neorijentirana matrica toka materijala. Postupak njenog dobivanja je transformacija iz orijentirane matrice toka materijalom, točnije prijenos svih transporta na jednu stranu dijagonale. Proces raspoređivanja preostalih elemenata se obavlja izračunavanjem intenziteta toka materijala neraspoređenih sa raspoređenim elementima te proces traje dok svi elementi ne budu raspoređeni [2],[16].

Jednostavnost metode i mogućnost njenog korištenja bez upotrebe računala smatramo prednostima, no u slučaju znatno većeg broja elemenata sustava, upotreba računala je od iznimne pomoći jer znatno pojednostavljuje rad. Opisana metoda uvelike pomaže pronalaženju smislenih rješenja za teoretski izgled sustava koja se nedugo zatim prilagođavaju realnim zahtjevima, sve sa tendencijom postizanja minimalnog transportnog učinka sustava [2],[16].

3.7. Prostorno dimenzioniranje proizvodnog sustava

Nedostatkom proizvodnog prostora pojavljuju se zastoji koji uzrokuju povećane troškove proizvodnje. Stoga se ogromna važnost posvećuje određivanju prostora proizvodnih pogona kako bi se omogućio neometani rad proizvodnih procesa. Postupak prostornog dimenzioniranja proizvodnog sustava iziskuje poznavanje utjecajnih čimbenika i njihove međusobne povezanosti. Prema [2] temeljni utjecajni čimbenici veličine cjelokupne površine proizvodnog sustava su:

- proizvodni postupci,
- razni pomoćni procesi poput skladištenja, transporta i dr.,
- vrsta zgrade i broj katova,
- struktura i organizacija sustava,
- ukupan broj radnih mjesta,
- količina proizvodnih sredstava,
- zaštita okoliša i sustava.

U okviru ovog diplomskog zadatka, iznimno nam je važna proizvodna površina. Ona se definira kao suma svih površina koje se upotrebljavaju za proizvodnju. Sastoji se od nekoliko sljedeće navedenih površina:

- neto proizvodna površina, definirana kao zbroj svih površina koje služe za izvršavanje operacija na predmetima rada,
- površina za odlaganje, definirana kao zbroj obilježenih površina za privremeno skladištenje nedovršene proizvodnje,
- transportna površina, definirana kao zbroj obilježenih i strogo povezanih površina za omogućavanje prometa ljudi i transport materijala,
- pomoćna površina, definirana kao zbroj površina potrebnih za obavljanje funkcije prilikom izvođenja proizvodnog procesa (kontrola kvalitete, izdavanje alata, precizna mjerenja i dr.).

Za proračun proizvodne površine proizvodnog sustava u [2] navode se sljedeća tri postupka:

1. postupak pomoću karakterističnih vrijednosti,
2. analitički postupak,
3. grafički postupak.

3.7.1. Postupak pomoću karakterističnih vrijednosti

Postupak pomoću karakterističnih vrijednosti potrebnih površina proizvodnog sustava se zasniva na količnicima koji iskazuju odnos empirijski definiranih vrijednosti dviju značajki poput [2]:

- Površina po zaposlenom (broj zaposlenih se odnosi na jednu smjenu i predstavlja sumu proizvodnih, skladišnih, administrativnih i pomoćnih zaposlenika), $\frac{\text{m}^2}{\text{zaposlenom}}$
- Površina po stroju, $\frac{\text{m}^2}{\text{stroj}}$
- Površina po obujmu proizvodnje, $\frac{\text{m}^2}{\text{komad}}$ ili $\frac{\text{m}^2}{\text{t}}$
- Površina po jedinici prihoda, $\frac{\text{m}^2}{\text{kn}}$.

Riječ je o jednostavnom postupku koji se upotrebljava samo za slične proizvodne procese i zahtijeva propitkivanje vrijednosti iz preporučenih literatura. Rješenja postupka se ostvaruju u

kratkom vremenskom roku uz minimalne troškove. Najčešće se upotrebljava prilikom izrađivanja prethodne studije, stoga se pojava netočnosti postupka može ispraviti u kasnijim fazama projektiranja.

3.7.2. Analitički postupci proračuna proizvodne površine

Odabirom analitičkih postupaka, zahtijevana ukupna površina se dobiva zbrojem komponentnih površina. Uobičajeno se kod analitičkih postupaka najprije na osnovi dimenzija radnih mjesta (strojeva) utvrđuje površina za njihovo instaliranje, a zatim se preostale površine izražavaju postotnim udjelom te površine ili pomoću faktora.

Važno je napomenuti da analitički postupci iziskuju više vremena za pribavljanje podataka o radnim mjestima i za proračun, uz pouzdanije rezultate. Stoga se upotrebljavaju prilikom izrade idejnoga projekta.

Proizvodna površina A_{PR} sastoji se od sljedećih komponentnih površina [2]:

- neto proizvodne površine A_N , m²
- transportne površine A_T , m²
- površine za odlaganje A_O , m²
- pomoćne površine A_P , m².

Sukladno tome izraz za njezin proračun glasi:

$$A_{PR} = A_N + A_T + A_O + A_P . \quad (5)$$

Netoproizvodna površina, A_N , se definira kao zbroj površina svih radnih mjesta i računa se prema izrazu:

$$A_N = \sum_i A_{RM_i} , \quad (6)$$

gdje su:

A_N - netoproizvodna površina, m²

A_{RM_i} - površina i - tog radnog mjesta, m².

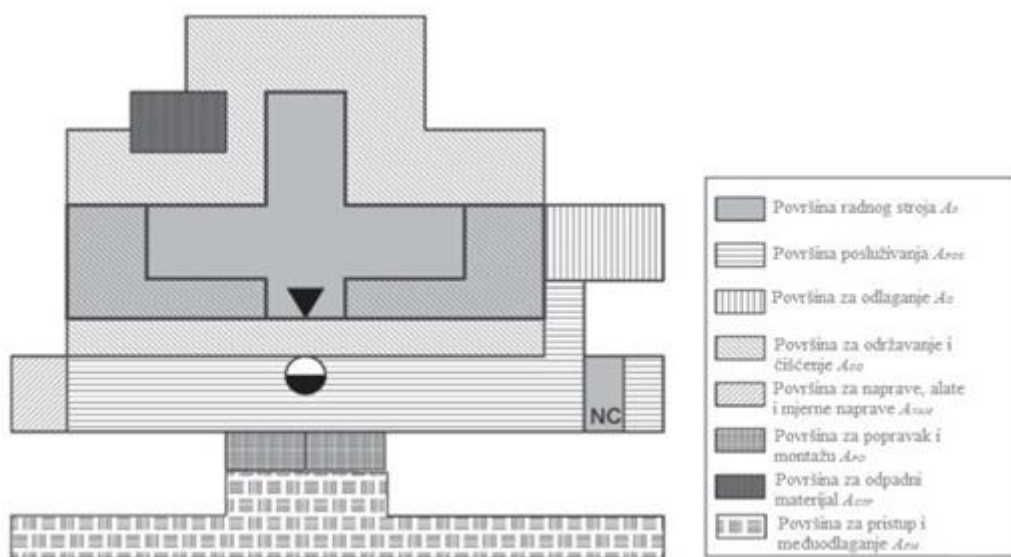
Korištenjem analitičkih postupaka razlikujemo dva način proračuna neto proizvodne površine, pomoću površinskih faktora i pomoću ekvivalentnih površina.

3.7.3. Proračun neto proizvodne površine pomoću površinskih faktora

Proračun neto proizvodne površine pomoću površinskih faktora pripada analitičkoj metodi kod koje se površina radnog mjesta A_{RM_i} sastoji od:

- površine osnovnog radnog mjesta,
- površine namijenjene za posluživanje, održavanje, popravak, odlaganje i zaštitu.

Ovisno o promatranom radnom mjestu i zadatku, pojavljuju se funkcionalne površine. Među njima je omogućeno međusobno podudaranje tako da je ukupna površina radnog mjesta manja od zbroja svih funkcionalnih površina [2]. Slika 15. prikazuje raspored funkcionalnih površina na radnom mjestu.



Slika 15. Prikaz radnog mjesta i njegovih funkcionalnih površina [6]

Površina radnog stroja A_o prikazuje projicirani tlocrt stroja u takvom položaju gdje pokretni dijelovi stroja zauzimaju najviše prostora. Površina za posluživanje A_{POS} služi za pouzdano i nesmetano posluživanje stroja, stezanje i otpuštanje izratka, kontrolu mjernih dimenzija

izradaka, izmjenu alata, naprava i sl. Za omogućavanje sigurnog rada zaposlenika, potrebno je ne preklapati površine za posluživanje. Površina za održavanje i čišćenje A_{OD} osigurava mogućnost nesmetanog odvijanja aktivnosti održavanja, poput čišćenja stroja, podmazivanja i otklanjanja strugotina. Svaki stroj nakon duljeg vremenskog razdoblja zahtijeva popravak, stoga površina za popravak A_{PO} osigurava neometano izvođenje popravaka poput demontaže vratila, vodilica, osovina, motora i slično. Vrijedi napomenuti da se ova površina upotrebljava povremeno, stoga je prihvatljivo da se ona preklapa s drugim funkcionalnim površinama. Površina za odlaganje A_O se koristi za odlaganje izratka, neposredno uz mjesto rada te veličina površine ovisi o veličini izratka, veličini serije, transportnim jedinicama, načinu slaganja i sl. Površina za zaštitu A_{OP} se pojavljuje kod radnih mjesta kod kojih postoji opasnost za zaposlenike preostalih radnih mjesta. Opasnost može doći od ispadanja izratka, leta strugotine, bliještanja, toplinskih zračenja i slično [2].

Spomenute funkcionalne površine jednog ili više radnih mjesta se podudaraju u stanovitom obujmu uz osiguravanje funkcionalnosti radnog mjesta. Dozvoljeni stupanj preklapanja funkcionalnih površina na radnom mjestu, prema [2] η_{PRM} iznosi od 40 % do 60 %.

Uzima se da netoproizvodna površina jednaka zbroju površina svih radnih mjesta, dok se površina radnog mjesta računa prema sljedećem izrazu:

$$A_N = \sum_{i=1}^m A_{RMi} = \sum_{i=1}^m f_{oi} \cdot A_{oi} , \quad (7)$$

gdje su:

A_{RMi} – površina i – tog radnog mjesta, m^2

f_{oi} – faktor ovisan o površini osnovnog stroja, tzv. diskontinuirani faktor (tablica 1.)

A_{oi} – površina osnove stroja, m^2 .

Tablica 1. Faktori za proračun površine radnog mjesta [2]

Površina osnove radnog mjesta, A_o [m ²]	Faktor površine, f_o
0,5 do 1	6
1 do 2	5
2 do 3	4,5
3 do 4	4
4 do 12	3
12 do 16	2,5
> 16	2

Faktori površine dobiveni su na temelju snimanja u proizvodnji, uzimajući pritom u obzir funkcionalne površine radnog mjesta. Stoga se spomenuti faktori ne upotrebljavaju za zasebno određivanje površine radnog mjesta, već za više njih.

3.7.3.1. Proračun neto proizvodne površine pomoću ekvivalentnih površina

Proračun neto proizvodne površine pomoću ekvivalentnih površina je pogodan za proračun individualnih radnih mjesta te se zasniva na dimenzijama osnove radnog mjesta za koji se pretpostavlja da je pravokutnog oblika. Kako bi se osiguralo nesmetano posluživanje i održavanje stroja, na osnovne dimenzije stroja se dodaje: 1 m na strani posluživanja (0,7 m za poslužitelja i 0,3 m za sigurnost) te 0,6 m na ostalim stranama (za neometani prolaz zaposlenika) [2].

Površina za odlaganje nadoknađuje se ekvivalentnim površinama četiriju sredstava za odlaganje, stoga se površina jednog radnog mjesta računa prema sljedećem izrazu:

$$A_{RMi} = (D_{RM} + 2 \cdot D_O) \cdot (\check{S}_{RM} + D_P + D_O) + 4 \cdot D_{SO} \cdot \check{S}_{SO} , \quad (8)$$

gdje su:

D_{RM} – duljina radnog mjesta sa strane posluživanja, m

$\check{S}_{RM}$ – širina radnog mjesta, m

D_P – dodatak za posluživanje, m

D_O – dodatak za održavanje, m

D_{SO} – duljina sredstva za odlaganje, m

$\check{S}_{SO}$ – širina sredstva za odlaganje, m.

3.7.4. Grafički postupci proračuna proizvodne površine

Polazna točka grafičkog postupka je projicirana podloga stroja (radnog mjesta) uz uključivanje ekstremnih položaja pokretnih strojnih elemenata, nacrtanih u odgovarajućem mjerilu (M 1:10 ili M 1:50). Kako bi se ispunile sve potrebne funkcije radnog mjesta, na ovu površinu se dodaju sve ostale potrebne površine [2].

Grafički je postupak pogodan zbog svoje slikovitosti, ali pritom zahtjeva veliki utrošak rada i vremena (osim ako se ne upotrebljava neka od aplikacija koja ima CAD bazu radnih mjesta/opreme), stoga nije posebno prikladan za određivanje ukupne radioničke površine [2].

4. RUKOVANJE MATERIJALOM

Postoje dvije ključne definicije rukovanja materijalom [7]:

1. Rukovanje materijalima je umjetnost i znanost kretanja, spremanja, zaštite i kontrole materijala.
2. Rukovanje materijalom znači pružanje prave količine pravog materijala, u ispravnom stanju, na pravom mjestu, u pravo vrijeme, u pravom položaju, u pravom slijedu i za pravi trošak, koristeći pravu metodu.

Prema [17] rukovanje materijalom ima sljedeću definiciju:

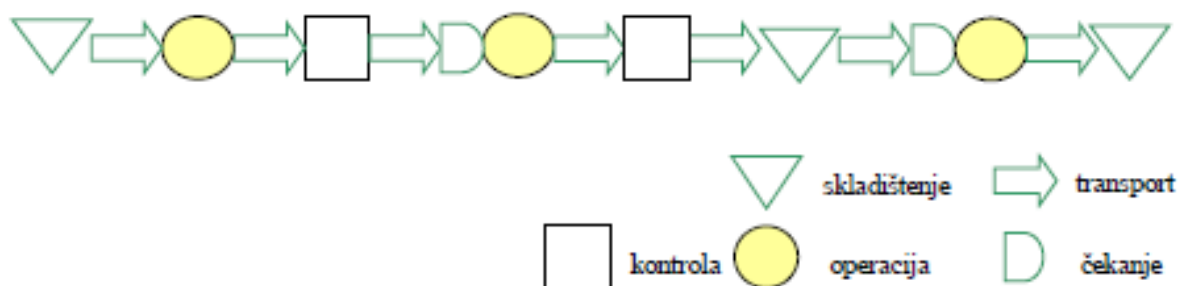
Rukovanje materijalom je područje logistike koje se bavi kretanjem (unutrašnji transport), mirovanjem (skladištenjem), zaštitom (pakiranjem) i kontrolom materijala kroz procese proizvodnje, distribucije, potrošnje i odlaganja. Odnosi se na procese unutar poduzeća (intralogistika), a u fokusu su tehnički sustavi i oprema transporta, skladištenja i pakiranja za ostvarivanje fizičkog tijeka materijala, i s njima povezani sustavi kontrole.

U prijašnjim dijelovima naglašavali smo važnost maksimiziranja proizvodne učinkovitosti s materijalima, odabirom kvalitetnog rasporeda strojeva i radnih stanica. Potrebno je skrenuti pažnju na sustave koji zapravo prenose materijal između strojeva i radnih mjesta. Oni se nazivaju sustavima za rukovanje materijalima (eng. *Material Handling Systems, MHS*). Osim odabira i plasmana proizvodne opreme, problem dizajniranja pogona uključuje odabir i plasman sustava za rukovanje materijalom. Glavna funkcija rukovanja materijalom je transport dijelova i materijala između različitih faza obrade. Rukovanjem materijalom ne dodaje se „vrijednost“ proizvodu i može se smatrati „potrebnim otpadom“, prema filozofiji upravo na vrijeme (eng. *JIT*).

Važnost rukovanja materijalom očituje se u troškovima rukovanja materijalom, odnosno u učešću troškova rukovanja materijalom u troškovima logistike. Stoga iz [7] doznajemo kako se prema *Lamar University, Texas* smatra da na rukovanje materijalom otpada 25% svih zaposlenih na poslovima rukovanja materijalom, 55% ukupnog prostora (na prolaze, opremu za rukovanje materijalima, prostor za skladištenje i dr.). Procjenjuje se da rukovanje materijalom predstavlja između 15 i 70% ukupnih troškova proizvedenog proizvoda, dok prema *MIT-u* rukovanje materijalom predstavlja 10 do 80% ukupnih troškova proizvedenog

proizvoda. Stoga se zaključuje da je rukovanje materijalom jedan od prvih mjesta gdje postoji mogućnost za smanjenjem troškova. Procjenjuje se da između 3 i 5% cjelokupnog materijala koji se obrađuje postane oštećen, stoga se rukovanje materijalom također smatra jednim od prvih mjesta koja teže poboljšanju kvalitete. Rukovanje materijalima smatramo procesom kod kojeg se poboljšava kvaliteta proizvodnje, smanjujući zalihe i oštećenja poboljšanim rukovanjem. Pritom dolazi i do smanjenja ukupnih proizvodnih troškova kroz smanjivanje zaliha i poboljšanu kontrolu materijala [7].

Uz spomenute troškove, važnost rukovanja materijalom se očituje kroz trajanje ciklusa proizvodnje. Idealni slučaj omogućava da operacije u proizvodnom procesu slijede jedna nakon druge, no u realnom svijetu postoje čekanja, skladištenja, kontrole te razni transporti između radnih mjesta, strojeva i skladišta; slika 16.



Slika 16. Realni prikaz proizvodnog procesa [17]

4.1. Principi rukovanja materijalom

Prema [17] principi (načela) rukovanja materijalom pružaju dodatna objašnjenja definicije rukovanja materijalom, odnosno služe kao upute projektantima rukovanja materijalom. Razlikujemo deset principa rukovanja materijalom, nabrojanih na slici 17.

Princip planiranja	• podrazumijeva početni plan koji određuje postojeće metode i probleme, fizička i ekonomska ograničenja te buduće zahtjeve i ciljeve
Princip standardizacije	• podrazumijeva postizanje unaprijed definiranih ciljeva kroz standardizirane metode, oprema, kontrola i softver za rukovanje materijalom
Princip rada (učina)	• podrazumijeva potrebu za minimiziranjem rada uz zadržavanje visoke produktivnosti i obavljanje svih zahtjevanih operacija
Princip ergonomičnosti	• osiguravanje sigurnog i efikasnog rada uzimajući u obzir ljudska ograničenja i mogućnosti
Princip jediničnog tereta	• zahtijeva dimenzioniranje i oblikovanje jediničnih tereta za ostvarivanje ciljeva tokova materijala (kretanja i mirovanja) u svakoj fazi lanca opskrbe
Princip iskoristivosti prostora	• efikasno koristiti sav raspoloživi prostor
Princip sustavnosti	• integracija svih aktivnosti kretanja i skladištenja materijala u jednu cjelinu
Princip mehanizacije/automatizacije	• provođenje mehanizacije/automatizacije s ciljem poboljšavanja učinkovitosti rada uz eliminaciju po čovjeku opasnih radnji i smanjivanje operativnih troškova
Princip brige za okoliš	• utjecaj na okoliš i potrošnja energija predstavljaju 2 uvjeta koja se uzimaju u obzir prilikom oblikovanja ili izbora opreme i sustava rukovanja materijalom
Princip troškova životnog ciklusa	• obuhvaća troškove opreme i sustava kroz cijeli životni vijek

Slika 17. Prikaz principa rukovanja materijalom

5. O PODUZEĆU

Ambroz je malo poduzeće u privatnom vlasništvu. Od svog utemeljenja 1997. godine, poduzeće ima jasno postavljene visoke kriterije poslovanja kroz neprestano ulaganje u nove tehnologije. Zahvaljujući korektnom odnosu prema poslovnim partnerima, zaposlenicima i društvu u cjelini, kao i dugogodišnjoj tradiciji, znanju i inovativnosti, poduzeće Ambroz je izgradilo svoju prepoznatljivost i ugled kroz mnoštvo zadovoljnih kupaca na domaćem i stranom tržištu. U današnjem okruženju, stalni izazov poduzeća je ostati konkurentan i odgovarati na stalne promjene. Mala poduzeća poput Ambroza, imaju mogućnost brzog i stalnog prilagođavanja proizvodnje tržišnim potrebama. S obzirom da je u privatnom vlasništvu, poduzeće teži zapošljavanju članova obitelji te kroz prenošenje stečenog znanja i iskustva kroz dugogodišnji rad omogućava nastajanje tradicije obiteljskog posla. Važnost poduzeća Ambroz se očituje u uzajamnoj suradnji sa srednjim i velikim poduzećima, gdje predstavljaju njihove glavne kooperante, dobavljače i kupce, naročito na tržištima proizvodnje i potrošnje proizvoda i usluga.



Slika 18. Ured i proizvodni pogon poduzeća Ambroz

Poduzeće Ambroz d.o.o. nalazi se na više lokacija :

- sjedište firme: Vrbani 16, HR-10000 Zagreb;
- ured i proizvodni pogon: Gornjostupnička 83, HR-10255 Gornji Stupnik; (slika 18.)
- poslovnica opreme za zaštitu od požara: Oranice 107/1, HR-10090 Zagreb;
- skladište gotove robe: I. Novački odvojak 8d, HR-10437 Bestovje.

5.1. Djelatnosti poduzeća

Ambroz je tvrtka specijalizirana za proizvodnju raznih metalnih proizvoda od ideje, projektiranja, razrade i proizvodnje uz primjenu najmodernijih proizvodnih tehnologija poput laserskog rezanja, CNC-probijanja, savijanja, zavarivanja, tokarenja, bušenja, brušenja, poliranja, antikorozivne zaštite i dr. što ih čini vrlo fleksibilnim i konkurentnim. Jedan je od vodećih hrvatskih proizvođača hidrantskih ormara, ormara za vatrogasne aparate i drugih proizvoda iz područja zaštite od požara što je bio razlog za osnivanjem nove poslovnice specijalizirane za prodaju vlastitih proizvoda te proizvoda drugih renomiranih proizvođača iz segmenta opreme za zaštitu od požara [18].

5.2. Misija i vizija poduzeća

- Misija

Temeljna misija tvrtke je djelatnostima proizvodnje raznih metalnih proizvoda pružati cjelovitu uslugu, a sve u svrhu zadovoljavanja potreba kupaca na domaćem i stranom tržištu prema kojem poduzeće gradi svoj ugled [18].

- Vizija

Temeljna vizija poduzeća je biti priznat i fleksibilan proizvodni sustav za izradu kvalitetnih dijelova i proizvoda u metalnoj industriji korištenjem novih tehnologija, vrednovanjem znanja i jačanjem tržišnog položaja te ostati prepoznat po kvaliteti svojih proizvoda i usluga, inovativnosti, odnosu s partnerima i brizi za zaposlenike [18].

5.3. Kvaliteta

Uprava na svim razinama promiče sustav upravljanja kvalitetom u koji uključuje sve zaposlenike. Sustav upravljanja kvalitetom integralni je dio svih procesa stvaranja vrijednosti: od planiranja, razvoja, proizvodnje, zajedničkih poslova, pa sve do isporuke gotovih proizvoda kupcima. Sustav upravljanja kvalitetom, usklađen sa zahtjevima norme ISO 9001:2015, kontinuirano se održava, unaprjeđuje i potvrđuje. Poduzeće smatra da osiguranje kvalitete u procesu stvaranja proizvoda nije moguće ostvariti samo krajnjom kontrolom, stoga obnovom certifikata o sukladnosti proizvoda dokazuju svoju ambiciju za postizanje visokih poslovnih ciljeva i važnost koju pridodaju kvaliteti svojih proizvoda. Dugogodišnji sustavan i kvalitetan rad svrstava ih na sam vrh domaćeg gospodarstva te uz bok tvrtkama iz Europske unije, što potvrđuje i dobiveni certifikat bonitetne izvrsnosti [18].

5.4. Proizvodni program

Poduzeće svoju djelatnost i proizvodni program temelji prema narudžbama kupaca, stoga proizvodni asortiman čini nekoliko tisuća različitih metalnih proizvoda potrebnih za razne industrije. Proizvodnja se najčešće temelji na izradi raznih metalnih kutija (ormarići prve pomoći, ormarići za automatizirane vanjske defibrilatore, razne kutije za vatrogasnu opremu) i metalnih ormara (razni elektro ormari, samostojeći razvodni ormari za kampove i marine, priključno mjerni ormari, plinski ormari, antivandal ormari za zaštitu IT opreme i dr.). Unatrag nekoliko godina, poduzeće pruža mogućnost izrade proizvoda za građevinsku bravariju, poput balkonskih i stubišnih ograda, rukohvata te nadstrešnica. Usprkos velikom broju proizvoda, poduzeće serijski proizvodi nekoliko stotina proizvoda. U proizvodnom procesu obuhvaćane su različite vrste materijala od kojih većinom prevladavaju limovi od sljedećeg materijala: čelik, nehrđajući čelik, aluminij i bakar. Brojni proizvodi poduzeća proizvode se za domaće tržište, a unatrag nekoliko godina bilježe rast proizvoda namijenjenih za inozemno tržište, ponajviše za države poput Austrije, Njemačke i Švicarske. Slika 19. prikazuje dio proizvodnog asortimana poduzeća Ambroz.



Slika 19. Prikaz proizvodnog asortimana poduzeća Ambroz

U daljnjem tekstu rada će se koristiti izraz „poduzeće“ za već spomenuto proizvodno poduzeće.

6. ANALIZA TOKA MATERIJALA PODUZEĆA AMBROZ D.O.O.

U trećem poglavlju je navedeno kako se tok materijala prema normi VDI 3300 može podijeliti u četiri razine. Proces analize toka materijala poduzeća koji će biti obrađen u nastavku poglavlja, zasniva se na toku materijala treće razine koji obuhvaća kretanje materijala između i unutar odjela, kao i između elemenata odjela. Za omogućavanje istinitosti spomenute analize te provedbu iste, potrebno je pribaviti relevantne podatke o određenoj skupini proizvoda s ciljem definiranja tokova materijala tih proizvoda unutar postojećeg proizvodnog sustava poduzeća Ambroza d.o.o.

Prikupljanje i obrada podataka se prema [6] može prikazati u nekoliko sljedećih koraka:

1. Snimanje postojećeg stanja i analiza slabih strana poduzeća.
2. Izbor reprezentativnih proizvoda i dijelova poduzeća.
3. Prikaz tehnološkog procesa izrade po strojevima.
4. Definiranje tokova materijala.
5. Izračun ukupnog transportnog učinka.

6.1. Snimanje postojećega stanja

U trećem poglavlju nabrojano je pet osnovnih vrsta projektnog zadatka. Sve vrste projektnih zadataka, izuzev projektiranja potpuno novog proizvodnog sustava, nužno zahtijevaju snimanje i analizu postojećeg stanja. Ovaj postupak se provodi radi što kvalitetnije rekonstrukcije nekog proizvodnog sustava, pri čemu se realni uvid u proizvodni sustav ne ostvaruje s nedostatnim podacima. Bespotrebno je pribaviti ogromnu količinu podataka tijekom snimanja, ali vrijedi spomenuti da je u slučaju velike količine moguća redukcija i sažimanje podataka, što nije slučaj kod manje količine podataka [2].

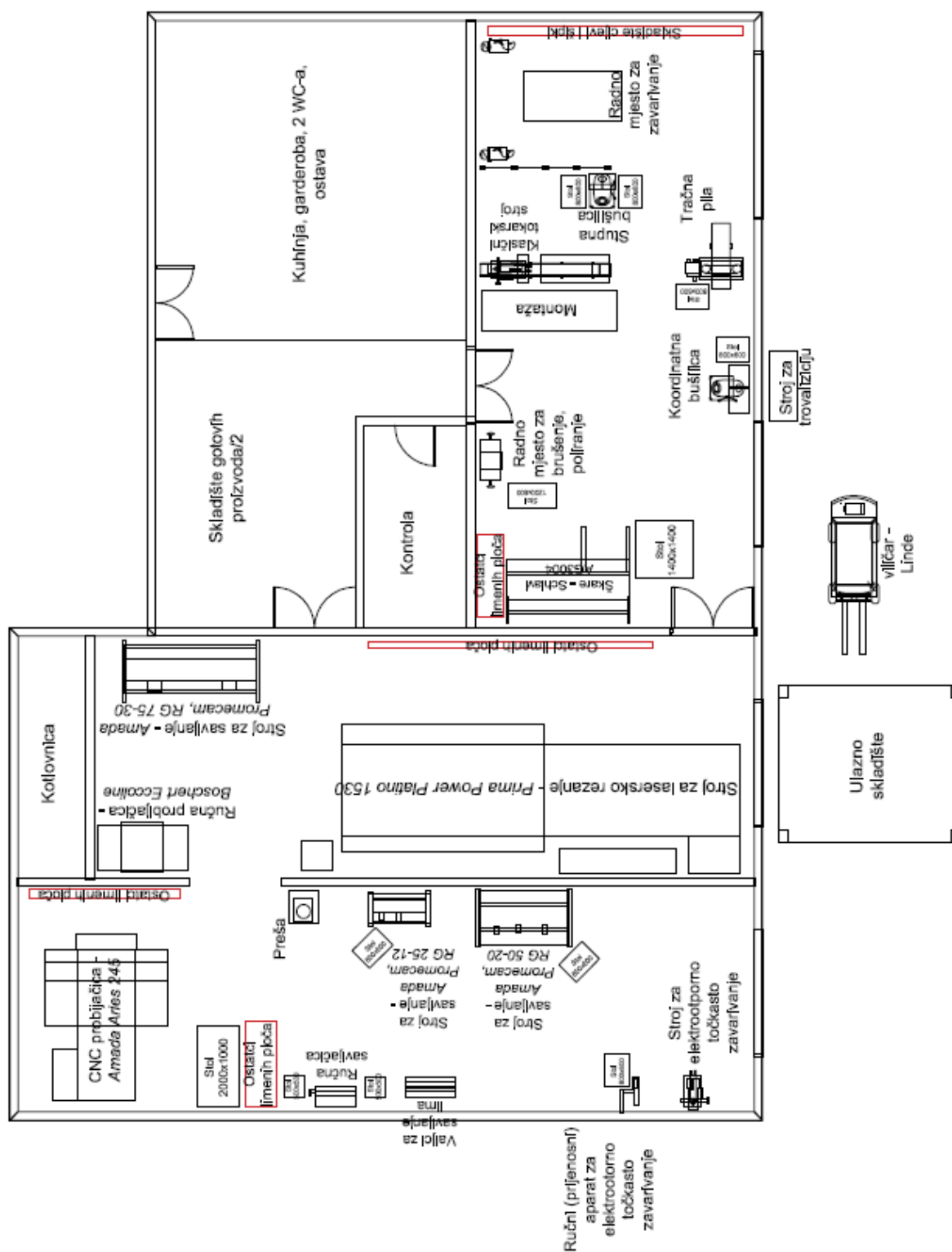
Osnovna ideja snimanja i analize postojećeg stanja je određivanje slabih i dobrih mjesta proizvodnog sustava s ciljem prikupljanja podataka potrebnih za projektiranje. Snimanje se provodi na nekoliko načina: vizualnim praćenjem promatranjem procesa, proučavanjem tehničke dokumentacije ili razgovorom sa zaposlenicima. Ovisno o projektnom zadatku, snimanjem je obuhvaćen cijeli proizvodni sustav ili jedan od njegovih podsustava. Potrebno je

prikupiti sve potrebne informacije o proizvodnom programu i oblikovanju proizvoda, pripremi proizvodnje, strojevima, opremi, zgradama i instalacijama; tehnološkim postupcima izrade i montaže, kontroli kvalitete, tokovima materijala i informacija, transportu, troškovima itd.

Razlikujemo dvije opcije snimanja, na osnovu poznatog projektnog zadatka i u potpunosti nedefiniranog projektnog zadatka. Ukoliko poznajemo projektni zadatak, krećemo od definiranja vrste i obujma podataka potrebnih za snimanje. U suprotnom, snimanjem i analizom određujemo segmente proizvodnog sustava kojima se potrebno posvetiti [2],[6].

Prema tehničkoj dokumentaciji dobivenoj od strane poduzeća, koja se sastoji od tlocrta proizvodnog sustava, popisa serijski ponavljajućih proizvoda te njima pripadajuće tehnološke liste izrade u kojem su definirani podaci kao što su: redoslijed operacija, vrsta priprema, radna mjesta, potrebni alati i naprave, podatke za NC strojeve itd.

Proizvodni prostor poduzeća, prikazan na slici 20., sastoji se od tri fizički razdvojene hale što otežava transport materijala među pojedinim elementima proizvodnog sustava. Uprava na čelu s direktorom poduzeća, tim konstruktora i komercijalista smješteni su u sklopu proizvodnog pogona, na gornjem katu objekta.



Slika 20. Prikaz proizvodnog prostora poduzeća (u prilogu se nalazi slika sa čitljivim nazivima)

6.1.1. Opis problema postojećeg stanja poduzeća (analiza slabih strana poduzeća)

Kao što je rečeno u trećem poglavlju, pri projektiranju proizvodnih sustava razlikujemo nekoliko mogućnosti, no izdvajamo dvije polazne situacije: projektiranje novog proizvodnog sustava i rekonstrukcija postojećeg proizvodnog sustava. Poduzeće posjeduje već postojeći proizvodni sustav, no zbog porasta proizvodnje potrebna je ekspanzija proizvodnog prostora izgradnjom novog proizvodnog pogona, nadogradnjom postojećeg ili kupnjom već izgrađenog proizvodnog prostora znatno većih dimenzija. Poduzeće je prije nekoliko godina kupilo zemljište s već postojećim poslovnim objektom te se nakon nekog vremena suočilo s problemom ograničenog proizvodnog prostora zbog definiranog rasporeda objekta. Teorija propisuje najpogodnije projektiranje proizvodnog sustava, no spomenuti problem sprječava isto, stoga je najprikladnije izgraditi potpuno novi proizvodni pogon iz temelja te u njemu rasporediti strojeve i radna mjesta, skladišne površine, uredski prostor i ostale dijelove poduzeća potrebne za njegovo djelovanje. Mnoga druga obiteljska poduzeća, uključujući i poduzeće Ambroz prisiljena su prilagoditi svoju proizvodnju u postojećim proizvodnim objektima jer izgradnja potpuno novog proizvodnog pogona iziskuje veliku količinu novčanih sredstava, vremena i ulaganja.

Prilikom promatranja proizvodnih aktivnosti u poduzeću i razgovorom sa zaposlenicima uočeni su određeni nedostaci, od kojih izdvajamo:

- ulazno skladište

Poduzeće koje uz serijski ponavljajuće proizvode, svoju proizvodnju temelji na proizvodima isključivo prema narudžbama kupaca, primorano je nabavljati potreban materijal za određenu narudžbu u kratkom vremenskom razdoblju. Poduzeće primjenjuje *JIT* sustav dobave materijala, gdje je na osnovu dobrih partnerskih odnosa s dobavljačima materijala omogućena brza isporuka materijala, što znatno smanjuje nepotrebno akumuliranje zaliha na ne tako velikom skladišnom prostoru za ulaz materijala. U ulaznom skladištu koje se nalazi izvan proizvodnog prostora, nalaze se nekoliko paleta materijala potrebnog za proizvodnju serijski ponavljajućih proizvoda. Problem se javlja prilikom izuzimanja potrebnog materijala zbog njihovog neadekvatnog skladištenja koje se očituje u slaganju paleta jedna na drugu. Također, u poduzeću postoji nekoliko lokacija na koje se odlaže neiskorišteni materijal koji se s vremenom gomila i rijetko upotrebljava, označeno crvenom bojom na slici 20.

- izlazno skladište

Poduzeće posjeduje dva izlazna skladišta, od kojih je jedan u sklopu lokacije proizvodnog pogona koji služi za isporuku proizvoda prema narudžbama odmah po završetku procesa proizvodnje. Skladište u sklopu lokacije proizvodnog pogona nije namijenjeno za veliku količinu proizvoda velikih dimenzija. Do problema dolazi prilikom skladištenja tih proizvoda unutar proizvodnog pogona i nepotrebnog zauzimanja proizvodnog prostora što rezultira stalnim premještanjem proizvoda radi omogućavanja nesmetanog rada zaposlenika. Drugo izlazno skladište se nalazi izvan lokacije proizvodnog pogona te je namijenjeno skladištenju proizvoda za dalji transport, distribuciju ili potrošnju, a izuzima se prema potrebi.

- transportni putevi

Unutar proizvodnog prostora onemogućeno je slobodno kretanje čeonog viličara jer dolazi do narušavanja rada zaposlenika. Rukovanje materijalom unutar proizvodnog prostora odvija se korištenjem paletnog viličara i električnog paletnog viličara. Diesel čeonu viličar se koristi vani za utovar i istovar materijala potrebnog za proizvodnju te utovar gotovih proizvoda, kao i transport većih transportnih jedinica velike težine. Nedovoljni proizvodni prostor uzrokuje zastoje ili nepotrebne unutarnje Transporte. Napominje se da se transport između pojedinih strojeva zbog dimenzija obratka obavlja izvan proizvodnog pogona, koristeći dvorište poduzeća.

- nepotreban rad zaposlenika

Pažljivim promatranjem proizvodnih procesa, primijećeno je da postavljanje limenih ploča na stolove stroja za lasersko rezanje zahtijeva rad minimalno dvoje zaposlenika, odnosno troje ili četvero ukoliko se radi o pločama velikih dimenzija i težina. Poduzeće u procesu proizvodnje najčešće koristi limene ploče debljine do 5 mm, no misleći na zdravlje svakog zaposlenika ovaj problem zahtijeva nužno rješenje. Također, zaposlenici koji priskaču u pomoć moraju prekinuti svoj rad te se tako gubi kontinuitet istog.

- radno mjesto za brušenje i poliranje

Radno mjesto za brušenje i poliranje nalazi se na neadekvatnom mjestu unutar proizvodnog prostora zbog učestale brusne prašine. Unatoč korištenju zaštitnih maski tijekom operacije brušenja, potrebno je dugoročno riješiti problem misleći na ostale zaposlenike koji se nalaze u neposrednoj blizini.

6.2. Izbor reprezentativnih proizvoda poduzeća Ambroz

Nakon snimanja postojećeg stanja te analize slabih strana primijećenih u poduzeću slijedi odabir reprezentativnih proizvoda.

Određivanje osnovnih podataka o proizvodnom programu i tehnološkom procesu smatra se ključnim korakom projektiranja. Cjelokupna priprema podataka o proizvodnom programu, kao i analiza istih je vrlo detaljan i vremenski zahtijevan posao. Pravilan izbor reprezentativnih proizvoda i dijelova znatno smanjuje obim ulaznih podataka i vrijeme projektiranja uz minorno smanjenje točnosti projektiranja. Varijabilnost proizvodnog programa i njemu pratećih proizvodnih količina iziskuje intenciju za pouzdanim izborom reprezentativnih proizvoda, imajući na umu potencijalne promjene. Prilikom projektiranja novih proizvodnih sustava, često je potrebno pretpostaviti proizvodni program te njegove količine zbog njihovog nepoznavanja. Proizvodni program moguće je razvrstati u grupe proizvoda prema svrsi, masi ili veličini, odabirući jedan ili više reprezentativnih proizvoda za svaku grupu. Odabir se može obaviti na temelju nekoliko kriterija: procijenjene dobiti, proizvodne količine, tehnološke složenosti proizvoda, procijenjenog broja proizvodnih sati i dr. [2],[19].

Prema poglavlju 5.4. u kojem je predstavljen proizvodni program poduzeća, primjećujemo da se radi o širokom asortimanu proizvoda temeljenom na zahtjevima kupaca, stoga u radu nema potrebe za navođenjem cjelokupnog proizvodnog programa. U razmatranje za izbor reprezentativnih proizvoda je uzeto nekoliko desetaka proizvoda, izabranih na temelju dvaju kriterija: najveće proizvodne količina i tehnološke složenosti, odnosno kompleksnosti izrade proizvoda.

Prema podacima iz poduzeća u dvije protekle godine zabilježen je rast proizvodnih količina nekoliko proizvoda iz cjelokupnog proizvodnog programa, stoga su u tablici 2. prikazani proizvodi izdvojeni prema kriteriju proizvodne količine. Vrijednost količina proizvoda u tablici je zaokružena na najbližu cjelobrojnu vrijednost.

Tablica 2. Prikaz proizvoda prema kriteriju proizvodne količine

Naziv proizvoda	Oznaka	Proizvodna količina [kom]		
		2018.	2019.	2018. + 2019.
VERBANDKASTEN Type "1"	VT1	720	1080	1800
VERBANDKASTEN Type "2"	VT2	720	1200	1920
VERBANDKASTEN Type "19M"	VT19M	180	600	780
Ormarić za vatrogasne aparate	VAT.ORM	1800	2200	4000
Ormarić za hidrantsku opremu	HO-1/2	1600	2400	4000
Hidrantski ormar za nadzemni hidrant	OH-N	240	310	550
Antivandal ormar za zaštitu IT opreme	ANTIV.	150	300	450
Nosači za POS uređaje	POS_UR	300	800	1100
Postolje za mjerenje brzine	SEE_US	250	520	770
Ormarić za kampove i marine	KAMP/MAR	70	300	370

Važno je napomenuti da se ukupna proizvodna količina kod proizvoda pod oznakama VAT.ORM, HO-1/2, OH-N i KAMP/MAR odnosi na proizvode izrađene od hladno valjanog čeličnog lima i nehrđajućeg čeličnog lima.

U tablici 2. izostavljen je veliki broj proizvoda koje poduzeće serijski proizvodi. Izostavljene proizvode karakterizira jednostavan tehnološki proces koji se sastoji od najviše 4 operacije. Upravo takav redoslijed operacija se može poistovjetiti s redoslijedom operacija proizvoda spomenutih u prethodnoj tablici.

Proizvodi pod oznakama VT1, VT2 i VT19M namijenjeni su za potrebe inozemnog tržišta te se na osnovu tehnološke sličnosti, odnosno identičnog tehnološkog procesa mogu grupirati u jednu grupu. Riječ „VERBANDKASTEN“ sadržana u nazivima spomenutih proizvoda predstavlja limenu kutiju namijenjenu za pohranu pribora za prvu pomoć. Reprezentant grupe namijenjene za inozemno tržište je proizvod s najvećom količinom proizvedenih jedinica u prethodnoj godini, odnosno VT2.

Proizvodna količina postignuta u 2020. godini nije prikazana u tablici 2. jer tekuća godina još nije završila. Za daljnju analizu koristiti će se podaci prikupljeni u razdoblju od 01.01.2019. do 31.12.2019.

Nadalje, u prethodnoj tablici nije prikazan dio proizvoda koji je također uzet u razmatranje. Unatoč tome što se radi o serijski ponovljivim proizvodima prema zahtjevima kupaca, razlog njihovog izostavljanja je znatno manja proizvodna količina naspram proizvoda navedenih u prethodnoj tablici. Tablica 3. prikazuje proizvode koje karakterizira kompleksnost izrade, odnosno njihova tehnološka složenost.

Tablica 3. Prikaz proizvoda prema kriteriju tehnološke složenosti

		Proizvodna količina [kom]
Naziv proizvoda	Oznaka proizvoda	2019.
Poklopci za roštilj	<i>POKL.</i>	270
Elektro ormari	<i>ELEKT. ORM</i>	80
Nosač torbe za motor	<i>MOT. NOS</i>	250
Postolje za dobavu vode	<i>DOB. VODE</i>	90

Nakon grupiranja proizvoda prema njihovoj tehnološkoj složenosti, u dogovoru sa zaposlenicima poduzeća proizvod pod oznakom *DOB. VODE* uzimamo kao reprezentanta ove grupe na temelju postupka izrade proizvoda koji uključuje nekoliko operacija i podulje vrijeme izrade.

Razmatranjem proizvoda spomenutih u prethodnim tablicama, ručnim putem izabrani su sljedeći reprezentanti nabrojani u tablici 4. te prikazani na slici 21.

Tablica 4. Prikaz odabranih reprezentanata poduzeća

	Oznaka proizvoda
Reprezentant 1	VT1
Reprezentant 2	HO-1/2
Reprezentant 3	VAT.ORM
Reprezentant 4	OH-N
Reprezentant 5	POS_UR
Reprezentant 6	SEE_US
Reprezentant 7	KAMP/MAR
Reprezentant 8	DOB.VODE



Slika 21. Prikaz reprezentativnih proizvoda

6.3. Prikaz tehnološkog procesa izrade po strojevima

U lancu aktivnosti vezanih za proizvodnju izdvajamo tehnološku pripremu proizvodnje (u nastavku TPP) gdje planiranje tehnološkog procesa predstavlja osnovni zadatak. Najčešće se tehnološka priprema proizvodnje provodi jedanput, obično prije samog početka proizvodnje te se koristi čitavo vrijeme dok traje proizvodnja unaprijed definiranih proizvoda. Treba uzeti u obzir da se prvotno postavljeni tehnološki proces s vremenom može mijenjati sa tendencijom da u nekoj mjeri bude poboljšan [20].

Važno je napomenuti da kroz cjelovitu i kvalitetnu provedbu TPP-e direktno utječemo na rezultate proizvodnje i na njenu ekonomičnost. TPP, koja će se koristiti duži vremenski period određuju: redoslijed operacija kroz proces, potrebna proizvodna oprema, pomoćna sredstva - alati i naprave potrebni za obradu, vrsta materijala od kojeg se izrađuje proizvod, vremena izrade, potrebna radna snaga, režimi obrade i mnoštvo drugih podataka koji utječu na efikasnost i ekonomičnost proizvodnje [20].

Određivanjem prethodno spomenutih podataka, rješava se pitanje najprikladnijeg načina obrade početnog materijala u željeni proizvod. Nakon odabira reprezentanata, slijedi razrada tehnološkog procesa koja se očituje kroz izradu tehnoloških planova izradbe i montaže. Proces izrade tehnološkog plana izradbe i montaže smatra se ključnim za provedbu ciljeva proizvodnih sustava u cilju ekonomičnosti i rentabilnosti.

U sljedećoj tablici su prikazani redoslijedi tehnoloških operacija svih prethodno odabranih reprezentanata.

Tablica 5. Prikaz tehnoloških operacija po reprezentantima

Reprezentant	Oznaka reprezentanta	Redoslijed tehnoloških operacija na strojevima	n_s	n_{OI}
Reprezentant 1	VT1	$US \rightarrow PROB/1 \rightarrow RM3 \rightarrow SAV/3 \rightarrow SAV/2 \rightarrow RM2 \rightarrow MONT. \rightarrow KONT. \rightarrow IS/1$	8	3
Reprezentant 2	HO-1/2	$US \rightarrow PROB/1 \rightarrow PROB/2 \rightarrow SAV/3 \rightarrow SAV/2 \rightarrow RM1 \rightarrow RM2 \rightarrow MONT. \rightarrow KONT. \rightarrow IS/1$	12	4
Reprezentant 3	VAT.ORM	$US \rightarrow PROB/1 \rightarrow SAV/3 \rightarrow SAV/2 \rightarrow RM1 \rightarrow RM2 \rightarrow MONT. \rightarrow KONT. \rightarrow IS/1$	12	6
Reprezentant 4	OH-N	$US \rightarrow LASER \rightarrow PROB/2 \rightarrow SAV/3 \rightarrow SAV/2 \rightarrow RM1 \rightarrow RM2 \rightarrow REZ \rightarrow VAR \rightarrow BRUS \rightarrow MONT. \rightarrow KONT. \rightarrow IS/1$	6	4
Reprezentant 5	POS_UR	$US \rightarrow LASER \rightarrow BUS \rightarrow NAV \rightarrow SAV/2 \rightarrow REZ \rightarrow VAR \rightarrow BRUS \rightarrow MONT. \rightarrow KONT. \rightarrow IS/2$	4	2
Reprezentant 6	SEE_US	$US \rightarrow LASER \rightarrow BUS \rightarrow NAV \rightarrow SAV/3 \rightarrow SAV/2 \rightarrow REZ \rightarrow VAR \rightarrow BRUS \rightarrow MONT. \rightarrow KONT. \rightarrow IS/2$	10	4
Reprezentant 7	KAMP/MAR	$US \rightarrow LASER \rightarrow PROB/1 \rightarrow BUS \rightarrow NAV \rightarrow SAV/3 \rightarrow SAV/2 \rightarrow VAR \rightarrow BRUS \rightarrow MONT. \rightarrow KONT. \rightarrow IS/2$	10	1
Reprezentant 8	DOB.VODE	$US \rightarrow LASER \rightarrow PROB/1 \rightarrow BUS \rightarrow NAV \rightarrow SAV/3 \rightarrow SAV/2 \rightarrow REZ \rightarrow VAR \rightarrow BRUS \rightarrow MONT. \rightarrow KONT. \rightarrow IS/2$	4	3

U prethodnoj se tablici spominje nekoliko oznaka koje je potrebno objasniti:

n_s - broj serija određenog predmeta rada (reprezentanta) u planskom razdoblju,

n_{OI} – broj transporata određenog predmeta rada (reprezentanta) za prijevoz jedne serije,

$US [SS]$ – ulazno skladište (skladište sirovina),

$IS/1 [SGP1]$ – izlazno skladište 1 [skladište gotovih proizvoda 1],

$IS/2 [SGP2]$ – izlazno skladište 2 [skladište gotovih proizvoda 2],

$LASER$ – stroj za lasersko rezanje [*Prima Power Platino 1530 HS*],

$PROB/1$ – CNC probijačica [*Amada Aries 245*],

$PROB/2$ – ručna probijačica [*Boschert Ecco Line*],

$RM1$ – stroj za elektrootporno točkasto zavarivanje,

$RM2$ – ručni (prijenosni) aparat za elektrootporno točkasto zavarivanje,

$RM3$ – radno mjesto za ručno savijanje,

$SAV/2$ – stroj za savijanje [*Amada Promecam, RG 50-20*],

$SAV/3$ – stroj za savijanje [*Amada Promecam, RG 25-12*],

VAR – radno mjesto za zavarivanje [uključujući stol za zavarivanje i svu potrebnu opremu],

REZ – rezanje tračnom pilom,

BUS – postupci bušenje i upuštanje na koordinatnoj bušilici,

NAV – urezivanje navoja na stupnoj bušilici,

$BRUS$ – radno mjesto namijenjeno za brušenje i poliranje,

$KONT.$ – završna kontrola,

$MONT.$ – radno mjesto za montažu.

Nabrojane oznake se mogu povezati s tlocrtom proizvodnog prostora prikazanog na slici 20. Sredstva za rad čine izuzetno bitnu komponentu u proizvodnom procesu jer osiguravaju stvaranje gotovog proizvoda s ciljem zadovoljavanja potreba potrošača. U proizvodnom pogonu poduzeća Ambroz, osim sredstva za rad spomenutih kroz oznake, nalaze se strojevi koji nisu zahvaćeni u procesu izrade odabranih reprezentanata. To su sljedeći strojevi: stroj za

savijanje [Amada Promecam, RG 75-30], stroj za trovalizaciju (vibracijsko poliranje), valjci za savijanje lima, ekscentar preša, škare za rezanje lima [Schiavi AG 3004] i klasični tokarski stroj.

Na osnovu redoslijeda tehnoloških operacija za svaki reprezentant, može se zaključiti da je početna operacija svakog tehnološkog procesa izrade transport iz ulaznog skladišta (skladišta sirovina), dok se transport u izlazno skladište (skladište gotovih proizvoda) smatra posljednjom operacijom. Kooperacije, odnosno vanjske usluge koje se pojavljuju tijekom tehnoloških procesa ćemo zanemariti. Poduzeće je u mogućnosti ponuditi izradu cjelokupnog proizvoda korištenjem kooperanata za vanjske usluge poput elektrostatske plastifikacije, galvanskog cinčanja, eloksiranja, pasivizacije, emajliranja itd. Prilikom promatranja proizvodnih procesa, uočeno je da najveći dio proizvoda zahtijeva uslugu elektrostatske plastifikacije te se upravo ona pojavljuje među odabranim reprezentantima.

6.4. Definiranje tokova materijala i izračun ukupnog transportnog učinka

Na osnovu podataka iz tablice 5., izračunava se intenzivnost toka materijala potrebna za izradu matrice toka materijala. Intenzivnost toka materijala se iskazuje brojem transporata u planskome razdoblju (u našem slučaju radi se o jednoj godini), a računa se prema izrazu (3).

Unosom vrijednosti intenziteta toka materijala među pojedinim elementima sustava, dobiva se orijentirana matrica toka materijala. Budući da smjer toka materijala nije bitan, obavlja se transformacija orijentirane u neorijentiranu matricu toka materijala te je upravo neorijentirana matrica nužna za provedbu modificirane metode trokuta. Neorijentirana matrica toka materijala prikazana je na slici 22.

	US/SS	LASER	PROB/1	PROB/2	SAV/2	SAV/3	RM3	RM1	RM2	REZ	BUS	NAV	BRUS	VAR	MONT.	KONT.	IS/1	IS/2
US/SS	X	94	144															
LASER		X	22	24							48							
PROB/1			X	48		72	24				22							
PROB/2				X		72												
SAV/2					X	230		144	24	60		8		10				
SAV/3						X	24					62						
RM3							X											
RM1								X	144									
RM2									X	24					144			
REZ										X				84				
BUS											X	70						
NAV												X						
BRUS													X	94	94			
VAR														X				
MONT.															X	238		
KONT.																X	168	70
IS/1																	X	
IS/2																		X

Slika 22. Matrica toka materijala

Sveukupni transportni intenzitet između k -tog i j -tog elementa sustava računa se prema izrazu (4). Zbrajanjem vrijednosti intenziteta toka materijala za izradu dobiva se ukupni transportni intenzitet koji se računa s obzirom na prethodno izabranih osam reprezentanata i plansko razdoblje od jedne godine te iznosi 2262 transporata.

Nakon što je izrađena matrica toka materijala, slijedila je izrada matrice transportnih udaljenosti, koja je dobivena mjerenjem udaljenosti između svih elemenata sustava smještenih unutar proizvodnog prostora. Upotrebom programskog paketa *AutoCAD* izmjerene su udaljenosti (vrijednosti izražene u metrima) između pojedinih elemenata sustava, a izgled matrice transportnih udaljenosti nalazi se na slici 23.

	US/SS	LASER	PROB/1	PROB/2	SAV/2	SAV/3	RM3	RM1	RM2	REZ	BUS	NAV	BRUS	VAR	MONT.	KONT.	IS/1	IS/2
US/SS	X	5	35															
LASER		X	18	15,5							10,5							
PROB/1			X	10		7	6				44,5							
PROB/2				X		12,5												
SAV/2					X	6		5,5	7,5	44		31,5		40,5				
SAV/3						X	7					34,5						
RM3							X											
RM1								X	4,5									
RM2									X	39					35,5			
REZ										X				6,5				
BUS											X	7						
NAV												X						
BRUS													X	14	4,5			
VAR														X				
MONT.															X	12		
KONT.																X	12,5	5900
IS/1																	X	
IS/2																		X

Slika 23. Matrica transportnih udaljenosti za postojeće stanje

Ukupni transportni učinak dobiva se zbrajanjem svih tokova materijala između elemenata sustava s njihovom transportnom udaljenošću prema sljedećem izrazu:

$$q_{ij} = b_{ij} \cdot s_{ij} , \quad (9)$$

gdje su:

q_{ij} - transportni učinak između i -toga i j -toga elementa proizvodnoga sustava,

b_{ij} - intenzivnost toka materijala između i -toga i j -toga elementa proizvodnog sustava,

s_{ij} - udaljenost između i -toga i j -toga elementa sustava.

Matricu ukupnog transportnog učinka postojećeg stanja se nalazi na slici 24.

	US/SS	LASER	PROB/1	PROB/2	SAV/2	SAV/3	RM3	RM1	RM2	REZ	BUS	NAV	BRUS	VAR	MONT.	KONT.	IS/1	IS/2
US/SS	X	470	5040															
LASER		X	396	372							504							
PROB/1			X	480		504	144				979							
PROB/2				X		900												
SAV/2					X	1380		792	180	2640		252		405				
SAV/3						X	168					2139						
RM3							X											
RM1								X	648									
RM2									X	936					5112			
REZ										X				546				
BUS											X	490						
NAV												X						
BRUS													X	1316	423			
VAR														X				
MONT.															X	2856		
KONT.																X	2100	413000
IS/1																	X	
IS/2																		X

Slika 24. Matrica ukupnog transportnog učinka za postojeće stanje

Zbrajanjem vrijednosti transportnih učinaka između pojedinih elemenata dobiva se vrijednost ukupnog transportnog učinka, koja u slučaju poduzeća iznosi 445172 m, odnosno 445,2 km. Dobivena vrijednost prikazuje ukupan transportni put koji je potreban da bi se proizveli odabrani reprezentanti. Prema podacima sa slike 23. može se primijetiti da je najveći transportni učinak između kontrole (*KONT.*) i izlaznog skladišta 2 (*IS/2*) što je za očekivati s obzirom da spomenuto izlazno skladište nije u sklopu lokacije proizvodnog poduzeća. Na temelju postojećeg stanja poduzeća, prikazanog na slici 20., pristupa se izradi novih mogućih rješenja za učinkovito razmještanje elemenata proizvodnog sustava s ciljem unaprjeđenja vrijednosti funkcije cilja, odnosno minimiziranja vrijednosti već spomenutog transportnog učinka.

7. IZRADA MOGUĆIH RJEŠENJA ZA UČINKOVITO RAZMJESTANJE ELEMENATA PROIZVODNOG SUSTAVA

Nakon analize postojećeg stanja i predstavljanja uočenih nedostataka proizvodnog prostora poduzeća, u ovom poglavlju rada bit će razrađena i predložena moguća idejna rješenja prostornog rasporeda elemenata proizvodnog sustava poduzeća Ambroz koje poduzeće može, a ne mora nužno primijeniti.

Prije nego li se pristupi izradi idejnih rješenja, potrebno je izraditi teorijsko rješenje koje će nam poslužiti kao referenca prilikom procjenjivanja odstupanja postojećeg stanja u odnosu na predložena idejna rješenja. Teorijsko rješenje nam pruža idealan raspored elemenata, stoga ukoliko razmatramo kompaktni način gradnje polazi se od pretpostavke da nema nikakvih ograničenja izazvanih mikrolokacijom. Prema [2], kompaktnim načinom gradnje omogućava se integracija radnih mjesta u jednu cjelinu, smještenu u jedan objekt pod jednim krovom.

Prilikom izrade idejnih rješenja treba obratiti pozornost na dimenzije pojedinih strojeva proizvodnog sustava čije buduće premještanje ili temeljenje zahtijeva golemu količinu radu te popratna financijska sredstva. Na idućoj slici prikazana je provedba modificirane metode trokuta opisane u poglavlju 3.6.1. te je upravo ta metoda primijenjena za izradu teorijskog rješenja.

	US/SS	LASER	PROB/1	PROB/2	SAV/2	SAV/3	RM3	RM1	RM2	REZ	BUS	NAV	BRUS	VAR	MONT.	KONT.	IS/1	IS/2
US/SS	X	94	144															
LASER		X	22	24							48							
PROB/1			X	48		72	24				22							
PROB/2				X		72												
SAV/2					X	230		144	24	60		8		10				
SAV/3						X	24					62						
RM3							X											
RM1								X	144									
RM2									X	24					144			
REZ										X				84				
BUS											X	70						
NAV												X						
BRUS													X	94	94			
VAR														X				
MONT.															X	238		
KONT.																X	168	70
IS/1																	X	
IS/2																		X
MONT.	0	0	0	0	0	0	0	0	144	0	0	0	94	0	X	X	0	0
KONT.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	168	70
Σ	0	0	0	0	0	0	0	0	144	0	0	0	94	0			168	70
IS/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			X	0
Σ	0	0	0	0	0	0	0	0	144	0	0	0	94	0				70
RM2	0	0	0	0	24	0	0	144	X	24	0	0	0	0				0
Σ	0	0	0	0	24	0	0	144		24	0	0	94	0				70
RM1	0	0	0	0	144	0	0	X		0	0	0	0	0				0
Σ	0	0	0	0	168	0	0			24	0	0	94	0				70
SAV/2	0	0	0	0	X	230	0			60	0	8	0	10				0
Σ	0	0	0	0		230	0			84	0	8	94	10				70
SAV/3	0	0	72	72		X	24			0	0	62	0	0				0
Σ	0	0	72	72			24			84	0	70	94	10				70
BRUS	0	0	0	0			0			0	0	0	X	94				0
Σ	0	0	72	72			24			84	0	70		104				70
VAR	0	0	0	0			0			84	0	0		X				0
Σ	0	0	72	72			24			168	0	70						70
REZ	0	0	0	0			0			X	0	0						0
Σ	0	0	72	72			24				0	70						70
PROB/2	0	24	48	X			0				0	0						0
Σ	0	24	120				24				0	70						70
PROB/1	144	22	X				24				22	0						0
Σ	144	46					48				22	70						70
US/SS	X	94					0				0	0						0
Σ		140					48				22	70						70
LASER		X					0				48	0						0
Σ							48				70	70						70
BUS							0				X	70						0
Σ							48					140						70
NAV							0					X						0
Σ							48											70
IS/2							0											X
Σ							48											
RM3							X											

Slika 25. Modificirana metoda trokuta za teorijsko rješenje

Premda je provedba modificirane metode trokuta ukratko objašnjena u teorijskom djelu, u nastavku će biti detaljnije opisana metoda za slučaj poduzeća Ambroz pomoću dva sljedeća koraka:

- Postupak raspoređivanja elemenata započinje odabirom dvaju elemenata između kojih se pojavljuje najveći transportni intenzitet. Dva elementa odabrana za slučaj poduzeća su kontrola (*KONT.*) i montaža (*MONT.*) s iznosom od 238 transporata u odabranom razdoblju od jedne godine. Uslijed provedbe metode moguća je pojava nekoliko parova elemenata s najvećim, a ujedno i jednakim intenzitetom. U tom slučaju odabire se onaj par elemenata koji sadrži više veza s preostalim neraspoređenim elementima, a ukoliko je broj veza jednak, tada se proizvoljno odabire par elemenata sustava.
- Nakon uspješno obavljenog prvog koraka, postupak raspoređivanja preostalih elemenata se nastavlja izračunavanjem intenziteta toka materijala neraspoređenih s raspoređenim elementima te taj proces traje sve dok svi elementi ne budu raspoređeni. Pravilo nalaže da se za daljnje raspoređivanje odabire element sa najvećom izračunatom sumom, a za slučaj poduzeća to je izlazno skladište 1 (*IS/1*). Kao i u prvom koraku, moguća je pojava situacije gdje možemo imati nekoliko jednakih suma transportnog intenziteta. U tom slučaju se odabire element koji ima više veza sa još neraspoređenim elementima. Ako bi broj veza bio jednak, tada se odabire element koji posjeduje više veza s već raspoređenim elementima. Ako je i taj broj veza jednak, onda se pristupa proizvoljnom odabiru.

Sljedeći opisane korake definira se redoslijed raspoređivanja elemenata u mrežu trokuta, a prilikom raspoređivanja pojavilo se nekoliko mogućnosti povezivanja elemenata koje će biti opisane u nastavku.

Stroj pod oznakom *VAR* mora biti u vezi s postavljenim strojevima pod oznakama *SAV/2* i *BRUS*. Kako to nije ostvarivo, potrebno je izračunati parcijalni transportni učinak između spomenutih strojeva kao što je prikazano u tablici 6.

Tablica 6. Prikaz izračuna parcijalnog transportnog učinka 1

VAR	b_{kj}	<i>I. varijanta</i>	<i>II. varijanta</i>
SAV/2	10	10	20
BRUS	94	188	94
Σ		198	114

Cilj je težiti što manjem transportnom učinku, stoga je odabrano da stroj VAR bude uz stroj BRUS.

Stroj pod oznakom BUS mora biti u vezi s postavljenim strojevima pod oznakama LASER i PROB/1, dok radno mjesto RM3 mora biti u vezi s postavljenim strojevima PROB/1 i SAV/3. Tablice 7. i 8. prikazuju izračunati parcijalni transportni učinak između navedenih strojeva.

Tablica 7. Prikaz izračuna parcijalnog transportnog učinka 2

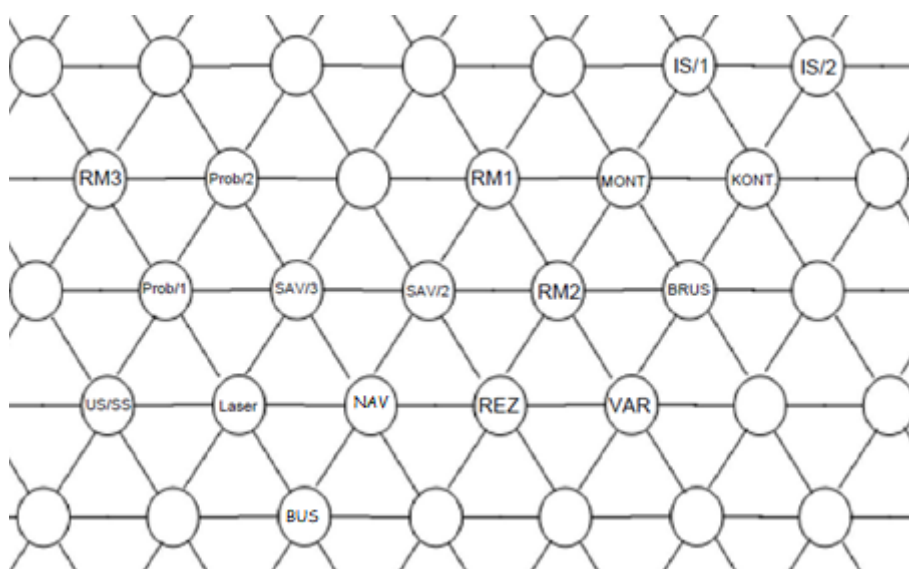
BUS	b_{kj}	<i>I. varijanta</i>	<i>II. varijanta</i>
LASER	48	48	96
PROB/1	22	44	22
Σ		92	118

Tablica 8. Prikaz izračuna parcijalnog transportnog učinka 3

RM3	b_{kj}	<i>I. varijanta</i>	<i>II. varijanta</i>
PROB/1	24	24	48
SAV/3	24	48	24
Σ		72	72

Promatrajući prethodne dvije tablice i sljedeći pravilo odabira minimalnog transportnog učinka, zaključujemo da se stroj *BUS* nalazi uz stroj *LASER*, dok se radno mjesto *RM3* može smjestiti pored jednog od dva navedena stroja zadržavajući pritom jednaki parcijalni transportni učinak.

Na osnovu izračunatih transportnih učinaka iz prethodnih tablica, konačno dobivamo mrežu trokuta prikazanu na slici 26. Prikazana mreža trokuta prikazuje najbolji prostorni raspored elemenata koji je moguće upotrijebiti prilikom izgradnje potpuno novog proizvodnog prostora.



Slika 26. Mreža trokuta za teorijsko rješenje

7.1. Prvo idejno rješenje

Sljedeće idejno rješenje odudara od načela idealnog projektiranja iz razloga što uključuje ograničenja postojećeg proizvodnog sustava koja se očituju u izgledu, odnosno rasporedu proizvodnog prostora te dimenzijama istih. Već je rečeno kako je nedostatak proizvodnog prostora najveći problem trenutnog stanja, ali najveći problem po pitanju transportne udaljenosti predstavlja izlazno skladište koje nije u sklopu lokacije poduzeća. Problem se javlja pri potrebi za izuzimanjem skladištenih proizvoda, a učestale potrebe uzrokuju značajni gubitak vremena zaposlenika koji se očituje u prevaljenom putu te utovaru i istovaru proizvoda.

Upoznati s navedenim nedostacima, uprava poduzeća se odlučila na sljedeće pothvate:

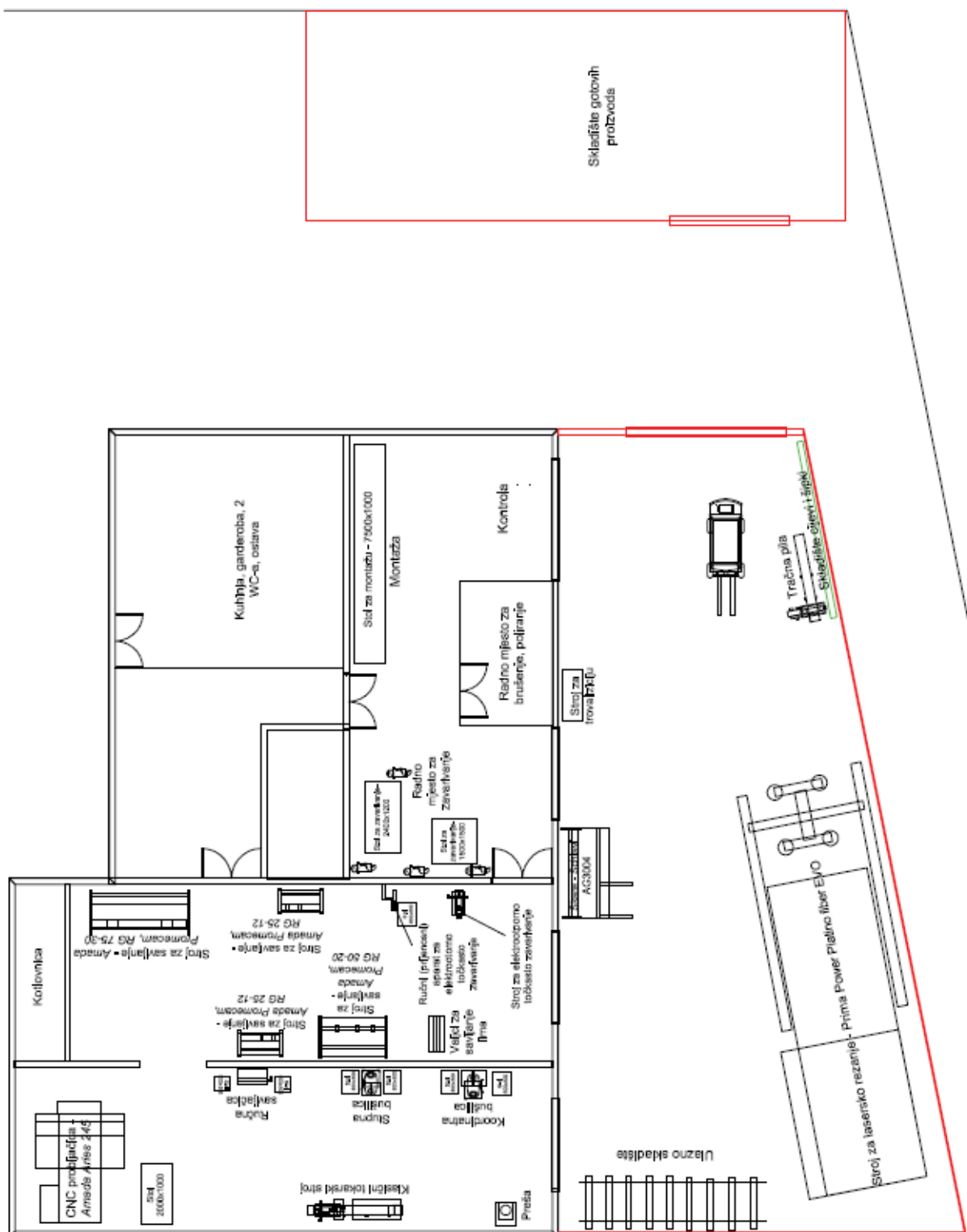
- nadogradnja postojećeg objekta s ciljem povećanja proizvodnog prostora,
- implementacija novog informacijskog sustava,
- prijelaz s CO₂ lasera na nove tehnologije, odnosno na fiber laser.

Prema [21], industrija metala proizvodnje i obrade metala se smatra najvećim industrijskim emiterom ugljikovog dioksida. Osim smanjenja emisije ugljikovog dioksida, prijelaz s CO₂ lasera na fiber laser omogućuje znatno veću brzinu rezanja.

Uzimajući u obzir odluke poduzeća s ciljem porasta kvalitete i efikasnosti, a uz smanjenje finansijskih sredstava te utrošenog ljudskog rada potrebnog za obavljanje proizvodnih procesa, predlaže se nekoliko korisnih prijedloga za uštedu i unapređenje kako proizvodnog procesa, tako i procesa upravljanja zalihama:

- strukturiranjem jednog skladišta za ulazni materijal (ulazno skladište) i jednog skladišta za gotove proizvode (izlazno skladište) poštujući propisani pravilni način skladištenja kako bi se izbjegla moguća oštećenja materijala, odnosno gotovih proizvoda. Predlaže se premještanje ostataka iskorištenog materijala na istu lokaciju, odnosno u zasebne regale ulaznog skladišta zbog bržeg, preciznijeg i preglednijeg pretraživanja materijala. S ciljem smanjenja broja ciklusa naručivanja materijala, predlaže se naručivanje većih količina najčešće korištenog materijala radi uštede troškova u pogledu transporta.
- instalacijom novog stroja za lasersko rezanje predlaže se nabava uređaja za automatsko postavljanje metalnih ploča na stolove stroja. Njihovom instalacijom značajno bi se ubrzao proces rezanja, oslobodio fizički napor zaposlenika, a primarni fokus operatera bi bio na parametrima laserskog rezanja.
- radno mjesto brušenja je potrebno fizički odvojiti od ostatka proizvodnog pogona te osigurati ventilaciju kojom bi se zaštito rad zaposlenika na istom radnom mjestu.

Slika 27. prikazuje promijenjeni prostorni raspored elemenata uključujući budući nadograđeni dio označen crvenom bojom. Za izlazno skladište predlaže se izgradnja industrijskog šatora (čelična konstrukcija sa PVC pokrovnim materijalom) ili kupnja vanjskog skladišnog šatora. Osnovni cilj je da gotovi proizvodi, kao i proizvodi koji se isporučuju na vanjsku uslugu budu zaštićeni cijelo vrijeme te da ne zauzimaju mjesto u proizvodnom prostoru. Preporuča se skladište dimenzija 7x20 m kako bi se osiguralo dovoljno prostora u budućnosti.



Slika 27. Prikaz prostornog rasporeda elemenata za prvo idejno rješenje (u prilogu se nalazi slika sa čitljivim nazivima)

Prilikom izrade novog prostornog rasporeda predlaže se sljedeće:

- strojevi poput *CNC* probijačice i stroja za savijanje (*RG 75-30*) se ne premještaju,
- prodaja ručne probijačice (na temelju razgovora sa zaposlenicima poduzeća utvrđeno je da se rad na ručnoj probijačici može zamijeniti *CNC* probijačicom kupnjom potrebnih alata),
- unatoč tome što premještanje ili temeljenje zahtijeva golemu količinu radu te popratna financijska sredstva, predlaže se novi položaj stroja za lasersko rezanje čime se omogućava instalacija spomenutog uređaja za automatsko postavljanje ploča.

Također, želja direktora poduzeća je da se posuđeni stroj za savijanje (*RG 25-12*) vrati u poduzeće i uključi u raspored s ostalim elementima sustava, ali njega trenutno ne koristimo kao element sustava koji je potreban za izradu reprezentanata.

Uzimajući u obzir prijedlog za strukturiranjem jednog izlaznog skladišta i prodaje ručne probijačice, napravljena je nova matrica toka materijala koja se nalazi na slici 28.

	US/SS	LASER	PROB/1	SAV/2	SAV/3	RM3	RM1	RM2	REZ	BUS	NAV	BRUS	VAR	MONT.	KONT.	IS
US/SS	X	94	144													
LASER		X	46							48						
PROB/1			X		144	24				22						
SAV/2				X	230		144	24	60		8		10			
SAV/3					X	24					62					
RM3						X										
RM1							X	144								
RM2								X	24					144		
REZ									X				84			
BUS										X	70					
NAV											X					
BRUS												X	94	94		
VAR													X			
MONT.														X	238	
KONT.															X	238
IS																X

Slika 28. Matrica toka materijala - promijenjeno stanje

Ukupni transportni intenzitet, izračunat prema formuli (4) za osam reprezentanata u planskom vremenu od jedne godine iznosi 2214 transporata. Otpisom jednog stroja smanjen je broj transporata.

Novi predloženi prostorni raspored zahtijeva izradu matrice transportnih udaljenosti, gdje su udaljenosti izračunate korištenjem već spomenutog programskog paketa *AutoCAD*. Vrijednosti su izražene u metrima. Izrađena matrica transportnih udaljenosti prikazana je na slici 29.

	US/SS	LASER	PROB/1	SAV/2	SAV/3	RM3	RM1	RM2	REZ	BUS	NAV	BRUS	VAR	MONT.	KONT.	IS
US/SS	X	17	19,5													
LASER		X	25,5							14,5						
PROB/1			X		9	4				12,5						
SAV/2				X	6		4,5	7	27		16,5		17			
SAV/3					X	10					13,5					
RM3						X										
RM1							X	4,5								
RM2								X	24,5					22		
REZ									X				17,5			
BUS										X	4					
NAV											X					
BRUS												X	5	7		
VAR													X			
MONT.														X	4,5	
KONT.															X	18,5
IS																X

Slika 29. Matrica transportnih udaljenosti za prvo idejno rješenje

	US/SS	LASER	PROB/1	SAV/2	SAV/3	RM3	RM1	RM2	REZ	BUS	NAV	BRUS	VAR	MONT.	KONT.	IS
US/SS	X	1598	2808													
LASER		X	1173							696						
PROB/1			X		1296	96				275						
SAV/2				X	1380		648	168	1620		132		170			
SAV/3					X	240					837					
RM3						X										
RM1							X	648								
RM2								X	588					3168		
REZ									X				1470			
BUS										X	280					
NAV											X					
BRUS												X	470	658		
VAR													X			
MONT.														X	1071	
KONT.															X	4403
IS																X

Slika 30. Matrica transportnog učinka za prvo idejno rješenje

U prvom prijedlogu unapređenja, na temelju promjene prostornog rasporeda elemenata sustava nastojao se smanjiti ukupni transportni učinak. Na slici 30. se nalaze vrijednosti transportnih učinaka između pojedinih elemenata te se njihovim zbrajanjem dobiva vrijednost ukupnog transportnog učinka koja iznosi 25893 m, odnosno 25,89 km što je ušteda od 94,18% u odnosu na snimljeno stanje. Ovo značajno smanjenje transportnog učinka se ponajviše pripisuje strukturiranju jednog izlaznog skladišta. Najbolje bi bilo razmotriti situaciju u kojoj poduzeće posjeduje i dalje dva izlazna skladišta, uz raspored elemenata jednak kao na slici 27. U tom slučaju ukupni transportni učinak iznosi 436590 m, što je ušteda od 1,93% u odnosu na snimljeno stanje. Na osnovu poprilično male uštede zaključuje se da u pogledu minimizacije ukupnog transportnog učinka najznačajniju ulogu imaju transporti između pojedinih objekata (u ovom slučaju proizvodnog pogona i izlaznog skladišta 2), dok su transporti koji se događaju između elemenata manje značajni.

7.2. Drugo idejno rješenje

U skladu s obavljenim razgovorom s direktorom poduzeća, ustanovljeno je kako je plan poduzeća izgradnja nove hale unutar koje će biti objedinjen proizvodni i skladišni prostor. Spomenuto je da prethodno napravljena mreža trokuta najbolje prikazuje raspored elemenata prilikom izgradnje potpuno novog proizvodnog prostora, stoga je upravo ona temelj za izradu ovog rješenja. Prilikom snimanja trenutnog stanja i izrade prvog idejnog rješenja prostornog rasporeda elemenata, elektrostatska plastifikacija nije uzeta u obzir jer poduzeće mora dati proizvod na vanjsku uslugu da bi ponudio izradu cjelokupnog proizvoda. Elektrostatska plastifikacija, najučestalija vanjska usluga, uzeta je u razmatranje prilikom izrade sljedećeg idejnog rješenja. Na osnovu podataka dobivenih od strane poduzeća, ustanovljeno je da poduzeće koristi dva kooperanta za uslugu elektrostatske plastifikacije. Sljedeća tablica prikazuje vrijednost novčanih sredstava koju poduzeće izdvaja prema kooperantima za uslugu elektrostatske plastifikacije. Vrijednost novčanih sredstava prikazana je na osnovu zadnje dvije godine te je zaokružena na cjelobrojnu vrijednost.

Tablica 9. Prikaz vrijednosti novčanih sredstava utrošenih na elektrostatsko plastificiranje

	Vrijednost novčanih sredstava [kune]	
	2018.	2019.
Kooperant 1	149.900,00	295.100,00
Kooperant 2	10.900,00	34.800,00

Na osnovu podataka iz prethodne tablice, ustanovljeno je da potreba za vanjskom uslugom prati rast cjelokupne proizvodnje. Odluka o razmatranju elektrostatske plastifikacije za sljedeće idejno rješenje donesena je iz nekoliko sljedećih razloga:

- poduzeće bi moglo ponuditi izradu cjelokupnog proizvoda bez vanjske usluge,
- poduzeće bi moglo ponuditi samo uslugu plastifikacije ostalim poduzećima,
- moguće je prikazati uštedu vremena tijekom cjelokupne proizvodnje,
- rast fleksibilnosti uz osiguravanje znatno bržih isporuka.

Sljedeće idejno rješenje se smatra teorijskim rješenjem jer polazi od pretpostavke da nema ograničenja (osim nosećih stupova) uzrokovanih mikrolokacijom te nam omogućuje idealan raspored elemenata u proizvodnom prostoru. Predlaže se kompaktni način izgradnje pri čemu je potrebno fizički odvojiti proizvodni prostor od skladišnog prostora, kao i prostor namijenjen za plastifikaciju i brušenje/poliranje. Prema [2], kompaktni način izgradnje sadrži nekoliko prednosti od kojih izdvajamo:

- kraći transportni putevi,
- unutrašnji transport se vrši pod jednim krovom,
- gubitak energije je manji,
- potreba za zemljištem manjih dimenzija (sukladno tome i manje izgrađena površina),
- znatno niži investicijski troškovi, troškovi održavanja, grijanja i klimatizacije prostora,
- kvalitetniji odnos korisne sukladno transportnoj površini.

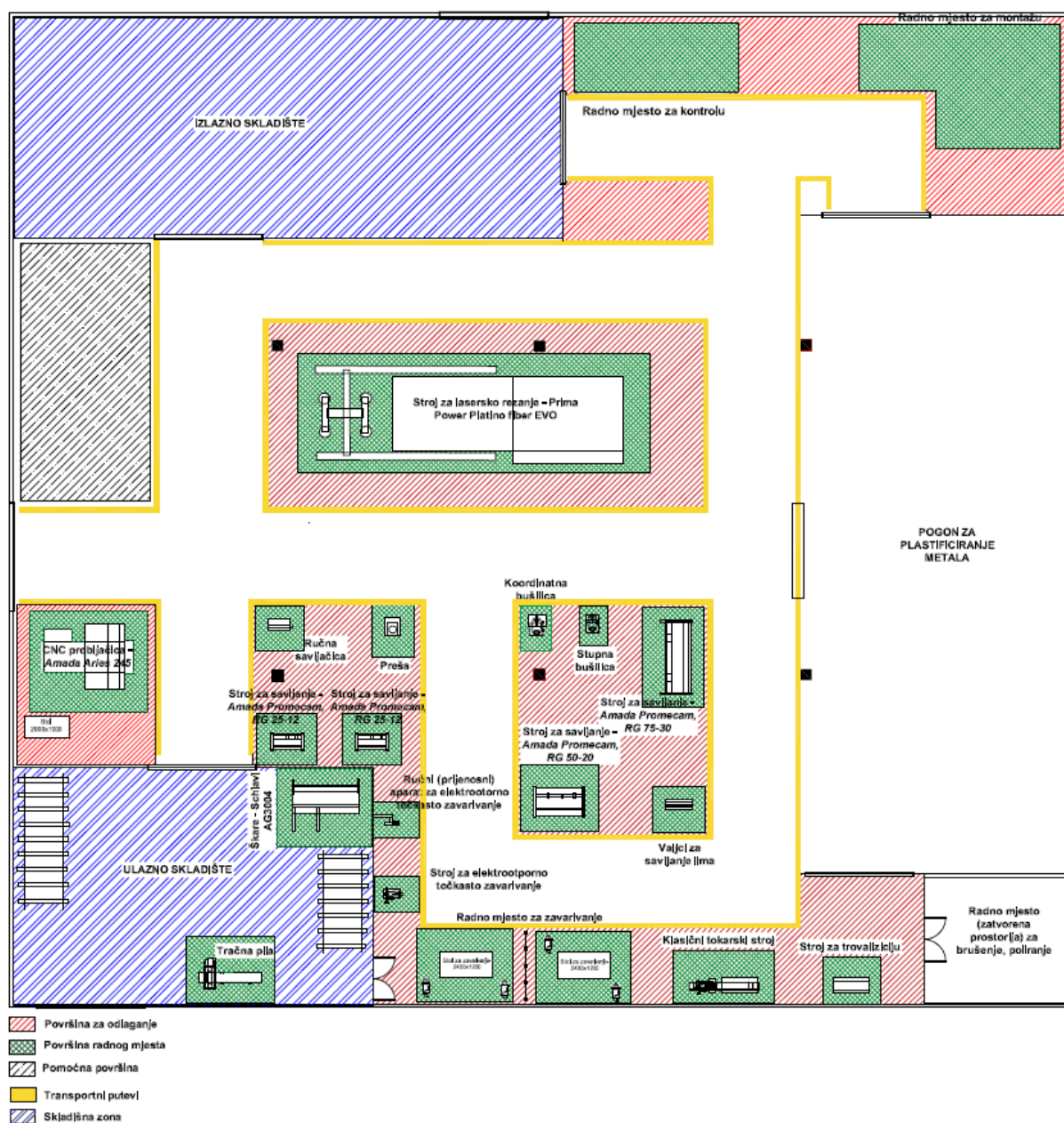
Otežano proširivanje proizvodnog sustava smatra se nedostatkom kompaktnog načina izgradnje, stoga se odlukom direktora poduzeća planira izgradnja proizvodne hale većih dimenzija. Izgradnja većeg proizvodnog sustava zahtijeva veću količinu novca, ali razlikujemo tri razloga zbog kojih je predložena izgradnja objekta većih dimenzija:

- U slučaju rasta proizvodnje, odnosno proizvodnih kapaciteta potrebno je imati osiguran proizvodni prostor.
- Osiguravanje prostora za privremeno odlaganje sredstava pored svakog elementa.
- Osiguravanje prostora za odlaganje sredstava u slučaju postojanja uskih grla.

Slika 31. prikazuje tlocrt objekta s idejnim rasporedom zona, strojeva i opreme. Nastavno na razgovor s direktorom, odlučeno je da se analizira izgradnja objekta minimalne površine 2000 m². U ovom idejnom rješenju u obzir se uzimaju: postojeće stanje poduzeća s trenutnim rasporedom strojeva i izlazno skladište koje nije u sklopu poduzeća. Objedinjavanje spomenutih dijelova u jednu cjelinu uz napomenu za povećanjem ulaznog i izlaznog skladišta u budućim poslovima, povećanjem razmaka između elemenata radi bolje organizacije proizvodnje koja se očituje u eliminiranju transporta korištenjem dvorišta proizvodnog pogona kao u postojećem slučaju. Samim time omogućen je neometan prijevoz u svim vremenskim uvjetima. Također, osigurano je dovoljno pomoćne površine i površine za odlaganje kako ne bi došlo do zastoja ili gomilanja proizvoda na transportnim putevima. Za sve spomenuto potrebno

je oko 1500 m², dok pogon za plastifikaciju zahtjeva oko 350-500 m² (ovisno o količini pružanja vanjske usluge u budućnosti). S obzirom na trenutno stanje, za implementaciju objašnjenog idejnog rješenja potrebno je povećanje površine od 1300 m².

Predlaže se kombinirani način gradnje, koji prema [2] pokušava iskoristiti prednosti i smanjiti nedostatke kompaktnog i nekompaktnog načina izgradnje. Ostvarivanje kombiniranog načina gradnje postiže se kompaktnim načinom gradnje proizvodne i skladišne zone, dok se preostale zone (prometna, energetska, zaštitna i zona zajedničkih službi) izvode nekompaktnim načinom gradnje.



Slika 31. Prikaz prostornog rasporeda elemenata za drugo idejno rješenje (u prilogu se nalazi slika sa čitljivim nazivima)

Predlaže se izgradnja niske hale dimenzija 45x48 m, odnosno 2160 m². Karakteristike niske hale su sljedeće [2]:

- mogućnost iskorištavanja velikog djela podne površine,
- mala visina (maksimalno do 6 m),
- dimenzije koraka su od 6 do 12 m, dok su rasponi od 12 do 18 m.

Na osnovu spomenutih karakteristika, razrađeno je idejno rješenje za nisku halu visine 6 m, koraka 12 m i raspona 15 m. Već je rečeno da unutar hale razlikujemo proizvodnu i skladišnu zonu. Skladišna zona se sastoji od ulaznog i izlaznog skladišta te se neposredno dodjeljuje uz proizvodnu zonu. Prilikom izrade idejnog rješenja u obzir su uzete sljedeće površine potrebne za definiranje proizvodne zone: neto proizvodna površina, transportna površina, površina za odlaganje i pomoćna površina. Proizvodna zona se određuje prema definiranim zahtjevima proizvodnog toka. S obzirom da je elektrostatska plastifikacija uzeta u razmatranje, predlaže se odvajanje pogona za plastifikaciju od ostatka proizvodne zone i skladišne zone. Na osnovu razgovora s direktorom, predložen je pogon dimenzija 30x12 m, odnosno 360 m² iz razloga što bi pogon uz pripremu metala čišćenjem (odmašćivanje), komore za sušenje i kabine za plastifikaciju trebao sadržavati dovoljno prostora u slučaju pružanja vanjske usluge. Prije nego li se krene u ulaganje, potrebno je analizirati da li bi se ulaganje isplatilo. Unatoč velikom početnom ulaganju za uvođenje postupka plastifikacije, iz tablice 9. vidljivo je da je unatrag dvije godine zabilježen rast proizvodnje koji se očituje u sve većoj potrebi za uslugom plastifikacije. Žutom linijom je označen transportni put koji omogućuje kretanje viličara bez ometanja rada zaposlenika, što nije slučaj na trenutnom stanju i prvom idejnom rješenju. Prema [2], definirano je da širina transportnih putova ne smije biti manja od 1,8 m. Preporuča se da bude za 0,8 m veća od širine transportnih sredstava, odnosno materijala, dijelova i proizvoda koji se prenose. Limene ploče, dimenzija 3000x1500 mm su najveći materijal koji se prenosi u poduzeću, stoga je odlučeno da širina transportnih puteva bude 4 m.

Na temelju prostornog rasporeda sa slike 31., izrađena je matrica transportnih udaljenosti (slika 32.), gdje su udaljenosti izračunate korištenjem već spomenutog programskog paketa *AutoCAD*. Vrijednosti su izražene u metrima.

	US/SS	LASER	PROB/1	SAV/2	SAV/3	RM3	RM1	RM2	REZ	BUS	NAV	BRUS	VAR	MONT.	KONT.	IS
US/SS	X	24	8													
LASER		X	22							12,5						
PROB/1			X		6	9				32,5						
SAV/2				X	11		9	12,5	22,5		5		11,5			
SAV/3					X	4					10					
RM3						X										
RM1							X	3,5								
RM2								X	12					56		
REZ									X				10			
BUS										X	2,5					
NAV											X					
BRUS												X	21	53,5		
VAR													X			
MONT.														X	12	
KONT.															X	7
IS																X

Slika 32. Matrica transportnih udaljenosti za drugo idejno rješenje

Zatim se pristupilo izradi matrici transportnih učinaka, prikazanoj na slici 33.

	US/SS	LASER	PROB/1	SAV/2	SAV/3	RM3	RM1	RM2	REZ	BUS	NAV	BRUS	VAR	MONT.	KONT.	IS
US/SS	X	2256	1152													
LASER		X	1012							600						
PROB/1			X		864	216				715						
SAV/2				X	2530		1296	300	1350		40		115			
SAV/3					X	96					620					
RM3						X										
RM1							X	504								
RM2								X	288					8064		
REZ									X				840			
BUS										X	175					
NAV											X					
BRUS												X	1974	5029		
VAR													X			
MONT.														X	2856	
KONT.															X	1666
IS																X

Slika 33. Matrica transportnog učinka za drugo idejno rješenje

Iz matrice transportnih učinaka za drugo idejno rješenje prema izrazu (9) izračunat je ukupni transportni učinak koji iznosi 34558 m, odnosno 34,6 km. Kada bi to usporedili sa snimljenim stanjem, dobili bi uštedu od 92,2%. Kao što je rečeno, velika vrijednost uštede se pripisuje strukturiranju jednog izlaznog skladišta čime se znatno smanjuje transportni put. Ukoliko bi uspoređivali rezultate ukupnih transportnih učinaka između dva idejna rješenja, dolazimo do zaključka da povećanje dimenzija objekta u kojem se odvija proizvodnja uzrokuje povećanje udaljenosti među pojedinim elementima sustava. Stoga njihova usporedba nije mjerodavna. Bitna prednost prikazanog idejnog rješenja uz osiguravanje manjeg transportnog puta u odnosu na snimljeno stanje je: znatno organiziranija i preglednija proizvodnja uz kvalitetniju iskorištenost proizvodnih i skladišnih površina.

S obzirom da se u ovom idejnom rješenju pristupilo razmatranju uvođenja elektrostatske plastifikacije, na primjeru jednog reprezentanta dat ćemo uštedu vremena promatranog idejnog rješenja u odnosu na trenutno stanje. Za primjer reprezentanta uzet je onaj s najvećom proizvodnom količinom, a njegova oznaka je *HO-1/2*. Promatrat ćemo situaciju izrade jedne serije od 200 komada izabranog reprezentativnog proizvoda.

Tablica 10. Prikaz uštede vremena na primjeru jednog reprezentanta

	Trenutno stanje	Drugo idejno rješenje
Vrijeme nabave materijala	Materijal je na skladištu u oba slučaja.	
Vrijeme transporta od ulaznog skladišta do prvog elementa sustava [min]	10-15 min (izuzimanje iz skladišta, postavljanje određenog broja ploča na stol sa kotačima, guranje stola do elementa sustava)	3-5 min (izuzimanje palete lima iz skladišta i postavljanje na površinu za odlaganje)
Vrijeme izrade proizvoda po elementima sustava	S obzirom da se radi o jednakim strojevima, smatramo ga jednakim. [59 400 s]	
Transportni put od prvog do zadnjeg elementa sustava [m] – plastifikacija nije uzeta u obzir	86 za jedno sredstvo za odlaganje (344 za cijelu seriju)	104,5 za jedno sredstvo za odlaganje (418 za cijelu seriju)
Vrijeme transporta od prvog do zadnjeg elementa sustava [s] – brzina 1,3 m/s	447,2	543,4
Vrijeme plastifikacije [s]	86400-172800	10800-14400
Vrijeme transporta od zadnjeg elementa sustava do izlaznog skladišta [s]	1800 s = 30 min	60 s = 1 min
Ukupno vrijeme	191.997,2 s = 3199,9 min = 53,33 h	72.843,4 s = 1.214,06 min = 20,23 h

Uspoređujući rezultate ukupnog vremena iz tablice 10., možemo zaključiti da drugo idejno rješenje omogućava uštedu vremena od 33,1 h, odnosno u postotku uštedu od 62,07%. Gledajući s ekonomskog i financijskog aspekta, znatno skraćenje vremenskog ciklusa izrade proizvoda pruža osjetno brži protok novčanih sredstava.

Osim uštede vremena, prikazano idejno rješenje nudi uštedu novčanih sredstava. Plan poduzeća je nabava linije za elektrostatsko plastificiranje, čija se cijena kreće od 350.000 do 500.000 kuna ovisno o veličini linije. Tablica 9. prikazuje vrijednosti novčanih sredstava utrošenih u jednoj godini za vanjsku uslugu elektrostatskog plastificiranja. Napominje se da je u cijenu plastificiranja uključen transport robe potrebne za plastificiranje te štice navoja na pojedinim dijelovima robe. S ciljem uštede vremena, a samim time i novca te planom povećanja proizvodnje odlučuje se investirati u pogon za elektrostatsko plastificiranje unutar vlastitog proizvodnog pogona. Spomenuta investicija zahtjeva zapošljavanje nove radne snage specijalizirane za rad u pogonu, pri čemu se pojavljuju dodatni troškovi osoblja u vidu poslovanja. Planirani trošak amortizacije je najmanje kroz 5 godina. Linija za plastificiranje, u koju poduzeće planira investirati, omogućava poduzeću da postane dobavljač te na taj način pruža uslugu plastificiranja drugim poduzećima. U skladu s navedenim planom, rezultati bi se znatno trebali reflektirati na povećanje prodaje, a samim time i prihoda. Kupnjom linije, uzima se u obzir aktualni trošak cijene linije, a zatim i troškovi održavanja iste linije, troškovi osoblja, struje, vode i plina. Sumiranjem svih spomenutih troškova, uz pretpostavku osiguravanja jednakih količina proizvoda za plastificiranje i uz omogućenu vanjsku uslugu drugim poduzećima, planirana je otplata linije kroz 2 do 3 godine. Nakon podmirenja svih troškova, očekuje se zarada iz usluga plastifikacije. Polazeći od pretpostavke da je proizvodna cijena proizvoda pod oznakom *HO-1/2* jednaka u oba slučaja, uzima se u obzir i činjenica da će se uvođenjem plastifikacije u vlastitu proizvodnju znatno smanjiti cijena plastificiranja, odnosno da će se ostvariti plan i mogućnost veće zarade, koju predstavlja razlika prodajne i proizvodne cijene.

8. ZAKLJUČAK

U današnjem svijetu, osnovni cilj svakog poduzeća je sprječavanje nepotrebnih gubitaka i ostvarivanje konkurentske prednosti na tržištu uz osiguravanje planirane količine proizvoda propisane kvalitete u planiranim rokovima isporuke te po prihvatljivoj cijeni uz što manje ukupne troškove. Pravilnim procesom upravljanja proizvodnjom i koordinacijom svih dijelova proizvodnje, omogućeno je ostvarivanje željene konkurentske prednosti, dok se pravilni odabir prostornog rasporeda elemenata projektiranjem proizvodnih sustava smatra ključnim za eliminaciju nepotrebnih gubitaka.

Nakon teorijske osnove o proizvodnim sustavima i projektiranju istih, na osnovu dobivenih podataka provedena je analiza toka materijala poduzeća Ambroz, ističući slabije strane poduzeća. Proizvodnja poduzeća, uzimajući u obzir ograničenja definirana postojećim objektom, suočena je s nepotrebnim gubicima kao što su prekomjerni transport, zastoje, nepotrebne radnje i sl., no postoje područja gdje ima prostora za promjenu koja bi dovela do efikasnije proizvodnje. Jedno od tih područja je prostorni raspored elemenata sustava proizvodnog prostora. Način na koji su strojevi i oprema instalirani u proizvodnom prostoru utječe na protok materijala, vrijeme izrade, zalihe u procesu rada, kvalitetu u procesu te način planiranja i kontrole tijekom proizvodnje. Iz tog razloga, poduzeće je usredotočeno na mogućnost stalnog proširivanja i nadogradnje proizvodnog sustava praćenjem tehnološkog napretka.

Potaknuti time, pristupilo se izradi dvaju idejnih rješenja prostornog rasporeda s ciljem poboljšanja proizvodnje. Osnovni cilj rada je bio smanjenje transportnih udaljenosti između pojedinih elemenata sustava radi postizanja ušteda, ali i kao podloga direktoru poduzeća pri planiranju budućih poslovnih poteza. Želja je ubrzati protok materijala neophodnog za izradu brojnih proizvoda, posebno reprezentativnih proizvoda. U idejnim rješenjima, predlažu se mnoge druge izvedive promjene i načini poboljšanja procesa. Implementacijom idejnih rješenja omogućila bi se vremenski učinkovitija proizvodnja, a samim time i osjetno brži protok novčanih sredstava. Najveća ušteda po pitanju transportne udaljenosti ostvaruje se smještanjem skladišnog uz proizvodni prostor, iz čega se zaključuje da u pogledu minimizacije ukupnog transportnog učinka najznačajniju ulogu imaju transporti između pojedinih objekata, dok su transporti između elemenata manje značajni.

Velika većina prijašnjih radova analizira problem velikih poduzeća koja broje nekoliko stotina zaposlenih te sadrže dovoljno proizvodnog i skladišnog prostora za buduće širenje pogona ili premještanje postojećih elemenata. Ideja ovog rada je bila prikazati analizu jednog malog poduzeća sa 17 radnika. Danas je sve više takvih poduzeća u Hrvatskoj i iz tog razloga u ovom radu htjela se prikazati mogućnost uštede prilikom izvođenja proizvodnih aktivnosti kroz pravilno planiranje, a zatim i upravljanje proizvodnim pogonom.

LITERATURA

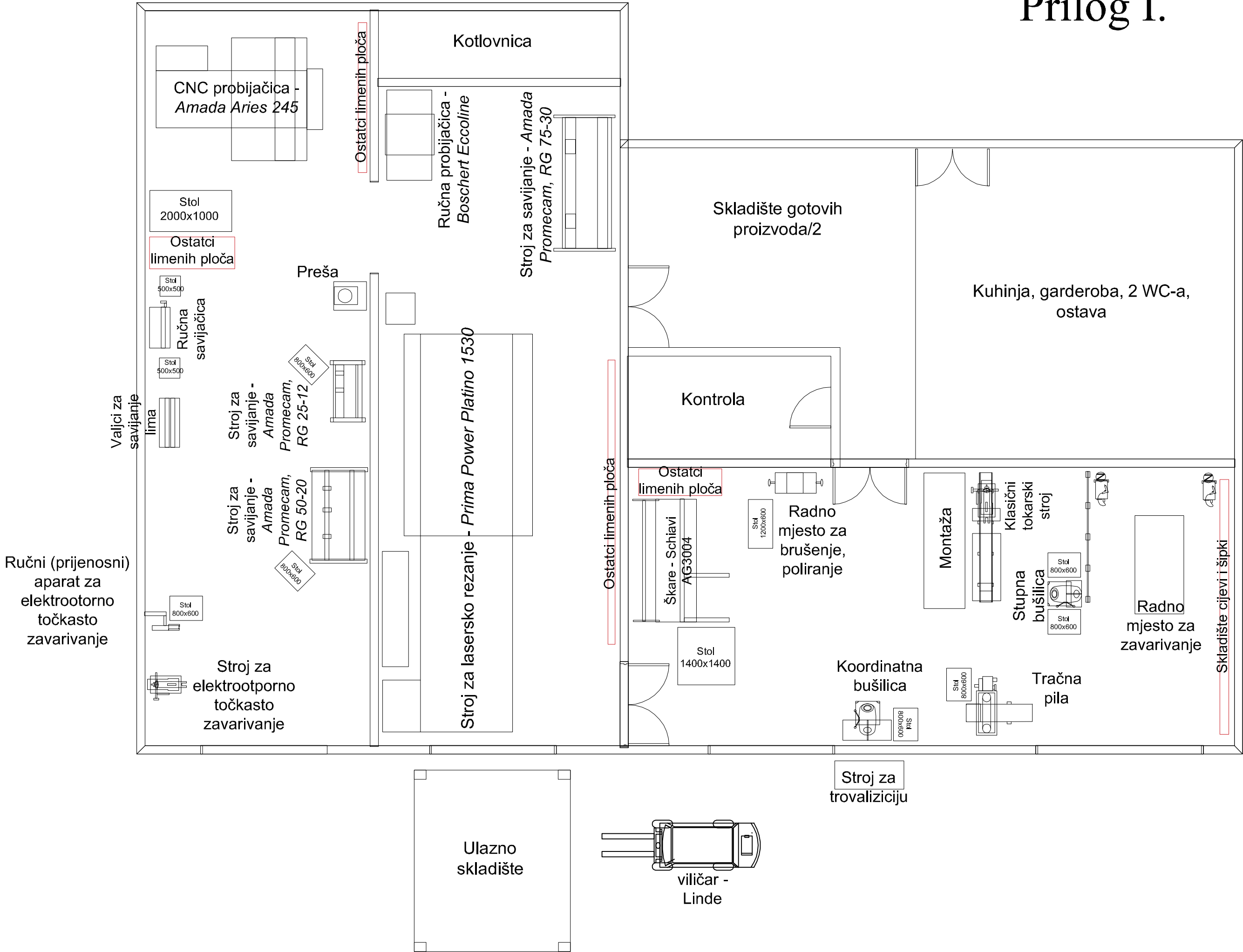
- [1] Đukić G, Opetuk T, Kunica Z, Belić D. Optimization Of The Plant Layout In The Production Of The Special Transformers - Case Study. FME Transactions. 2018;46 (2):285-290
- [2] Kunica Z. Materijali s predavanja iz kolegija *Projektiranje proizvodnih sustava*. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2015.
- [3] G. Schroeder R. Upravljanje proizvodnjom: Odlučivanje u funkciji proizvodnje. Zagreb: MATE d.o.o; 1999.
- [4] Mikac T, Blažević D. Planiranje i upravljanje proizvodnjom, Rijeka: Tehnički fakultet; 2007.
- [5] Grčić M. Optimizacija informacijskog toka proizvodnje [završni rad]. Karlovac: Veleučilište u Karlovcu; 2018.
- [6] Bregović M. Preoblikovanje prostornog rasporeda elemenata proizvodnog sustava poduzeća TMT d.o.o. [diplomski rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2017.
- [7] Heragu SS. Facilities Design – Third Edition. CRC Press, SAD; 2008.
- [8] Gunasekaran A. Agile Manufacturing: Enablers and an Implementation Framework. International Journal of Production Research. 2010;36(5):1223-1247
- [9] Gunasekaran A, Yusuf YY. Agile Manufacturing: A Taxonomy Of Strategic And Technological Imperatives. International Journal of Production Research. 2010;40(6):1357-1385
- [10] Koren Y, Ulsoy G. Vision, Principles and Impact of Reconfigurable Manufacturing Systems, University of Michigan. Powertrain International. 2020;5(3):14-21
- [11] Žvorc M. Lean menadžment u neproizvodnoj organizaciji [stručni rad]. Ekonomski vjesnik. 2013;(2):695-709
- [12] Štefanić N. Materijali s predavanja iz kolegija *Upravljanje znanjem i promjenama*. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2010.
- [13] <https://kanbanize.com/lean-management/value-waste/7-wastes-of-lean> (pristupljeno 7.7.2020.)

-
- [14] Marcius L. Proces proizvodnje "potpore" dizalice – SPMT H200 [završni rad]. Čakovec: Međimursko veleučilište u Čakovcu; 2018.
- [15] Debnárová L, Krchová D, Kuric I. Group Technology In Context Of The Product Classification. *Research Journal*. 2014;8(21):78-81
- [16] Ficko M, Palčić I. Designing a Layout Using the Modified Triangle Method, and Genetic Algorithms. *International Journal of Simulation Modelling*. 2013;12(4):237-251. doi. 10.2507/IJSIMM12(4)3.244
- [17] Đukić G. Materijali sa predavanja iz kolegija *Tehnička logistika*. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2015.
- [18] http://www.ambroz.hr/o_nama.aspx (pristupljeno 4.4.2020.)
- [19] Vranješ B. Materijali sa vježbi iz kolegija *Projektiranje proizvodnih sustava*. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2015.
- [20] <http://dorada.grf.unizg.hr/media/Ak.god.%202014.-2015./Evokacija%20Operativna%20priprema%20proizvodnje.pdf> (pristupljeno 8.9.2020.)
- [21] <http://www.laser-ing.hr/novosti/laser-ing-co2-neutralna-proizvodnja/> (pristupljeno 9.10.2020.)

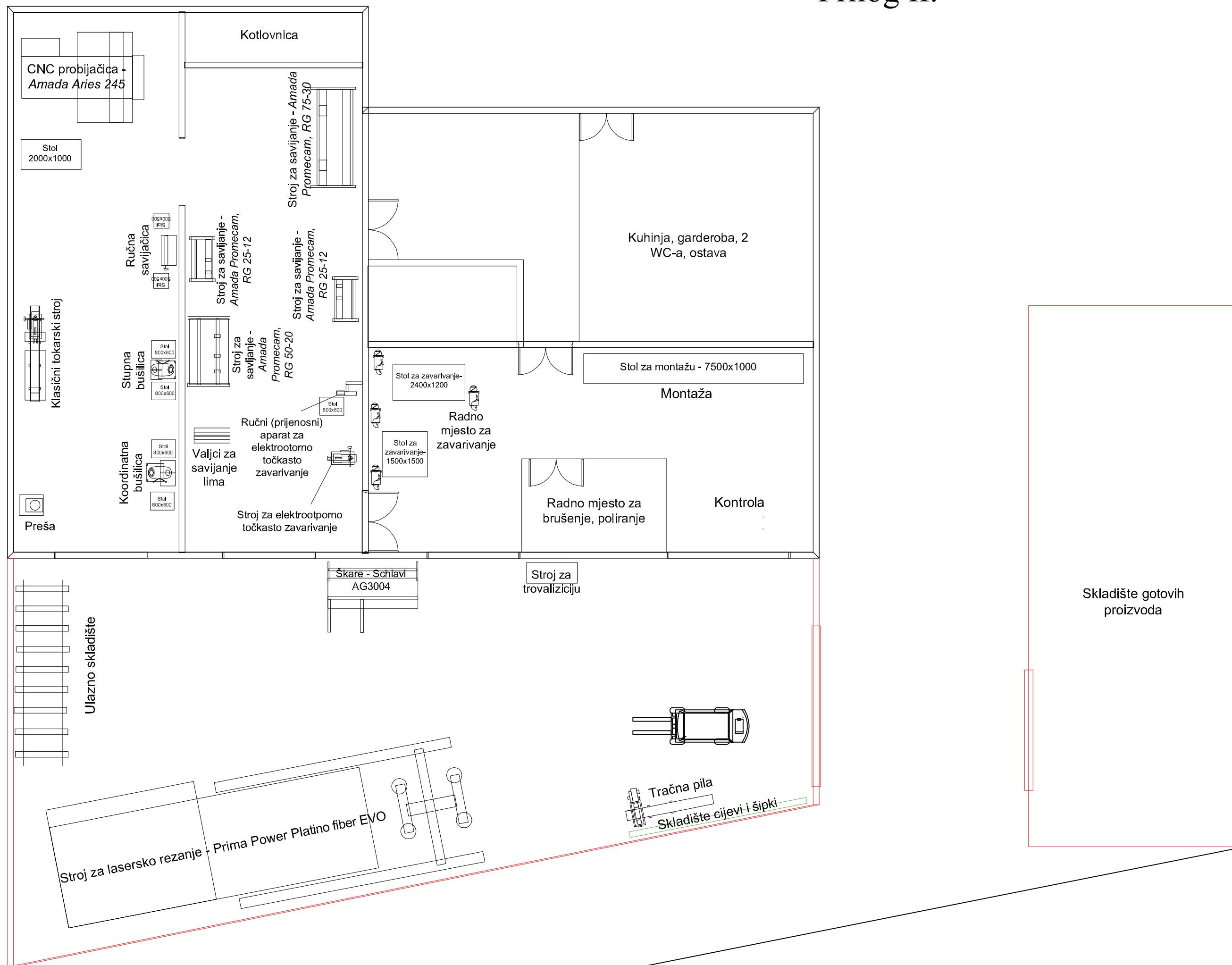
PRILOG

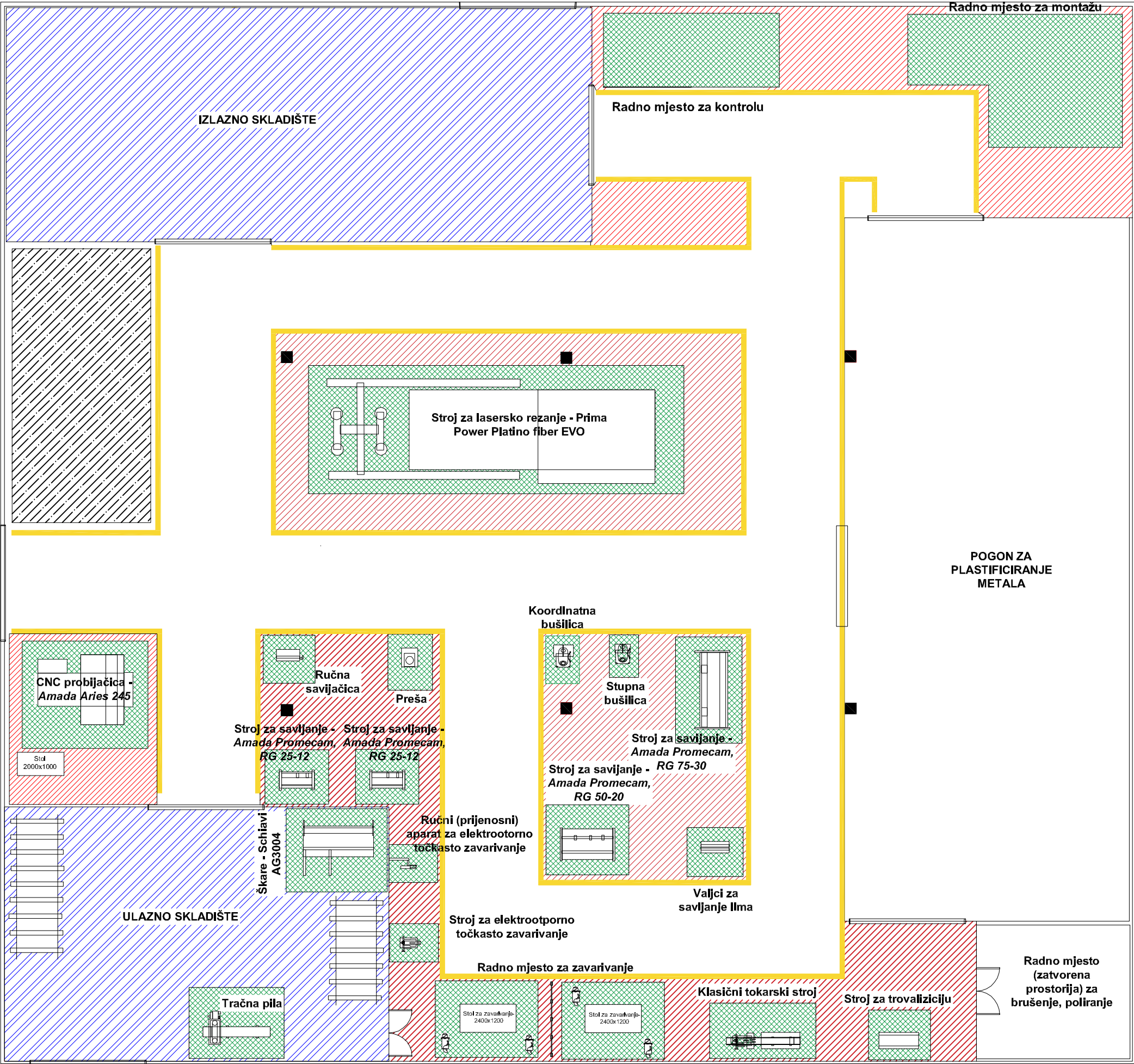
- I. Prikaz proizvodnog prostora poduzeća
- II. Prikaz prostornog rasporeda elemenata za prvo idejno rješenje
- III. Prikaz prostornog rasporeda elemenata za drugo idejno rješenje
- IV. CD-R disc

Prilog I.



Prilog II.





- Površina za odlaganje
- Površina radnog mjesta
- Pomoćna površina
- Transportni putevi
- Skladišna zona