Simulacijski model proizvodnog procesa

Gradečak, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2014

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:749842

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb



Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Tomislav Gradečak

Zagreb, 2014

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Voditelj rada:

Prof. dr. sc. Goran Đukić

Tomislav Gradečak

Zagreb, 2014

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, služeći se stečenim znanjem i navedenom literaturom.

Zahvaljujem se voditelju rada prof. dr. sc. Goranu Đukiću na strpljenju, ustupljenoj literaturi i korisnim savjetima tijekom izrade rada. Zahvaljujem se tehničkom direktoru Solvisa d.o.o, Ivanu Vadli, mag. ing. stroj. i voditelju proizvodnje Krunoslavu Skupnjaku na susretljivosti, utrošenom vremenu i savjetima pri izradi rada.

Posebnu zahvaljujem svojoj obitelji na podršci i strpljenju tijekom školovanja.

Tomislav Gradečak

SAŽETAK

Cilj ovog rada je objasniti primjenu i brojne koristi koje se dobivaju upotrebom simulacijskih tehnologija u industriji te navedene tehnologije primjeniti na stvarnom proizvodnom pogonu.

U uvodnom dijelu ovog rada objašnjene su svrhe i mogućnosti primjene simulacijskih tehnologija u različitim industrijskim granama. Objašnjene su brojne koristi upotrebom simulacijskih alata. Detaljno su analizirane faze i koraci prije i tokom simulacije. Cjeloživotnim upravljanjem proizvodom prikazane su uštede koje se postižu primjenom modernih programskih alata. Ujedno su objašnjene podjele i faze cjeloživotnog upravljanja proizvodom. Također su prikazani neki od dostupnih alata za provedbu simulacija.

U daljnjem dijelu prikazano je poduzeće Solvis d.o.o. i detaljno je opisan cijeli proizvodni sustav sa svim radnim stanicama, strojevima i osobljem potrebnim za neprekinutu proizvodnju. Provedena je simulacija na temelju izmjerenih vrijednosti ciklusa operacija te su na temelju dobivenih rezultata i mogućnosti predložena poboljšanja proizvodnog pogona i skladišnog prostora. Također je provedena simulacija poboljšanog proizvodnog pogona i usporedba postojećeg s poboljšanim stanjem. Dobiveni rezultati su detaljno analizirani i prezentirani. Prikazana je usporedba postojećeg i poboljšanog toka materijala kao i novog tlocrta proizvodnog pogona.

Ključne riječi: simulacija, tehnologija, proizvodnja, industrija, analiza, poboljšanja, korist, optimizacija, racionalizacija, ušteda

SUMMARY

Goal of this thesys is to explain application and multiple benefits using simulation technologies in industry and apply these technologies on real production plant.

In introduction part of this thesys, purposes and possiblities are explained using simulation technologies in different parts of industry. Multiple benefits are explained using simulation tools. Phases and steps before and during simulation process are thoroughly analyzed. Through product lifecycle management, savings are shown that can be achived using modern software tools. Also classification and phases of product lifecycle management are explained. Brief overview of simulation softwares is shown.

In further part Solvis company is presented, with in details explained production process with all working stations, machines and personel necessary for continuos production. Simulation was made, based upon collected data in production plant which was base for potential improvements and possibilities (in production plant and warehouse) obtained from results. Simulation of improved production plant is also conducted and is compared to existing plant. Obtained results are thoroughly analyzed and presented. Comparison of existing and improved material flow are shown, as well as new production plant layout.

Key words: simulation, technology, production, industry, analysis, improvement, benefit, optimization, rationalization

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika

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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Tomislav Gradečak** Mat. br.: 0035176904

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Simulacijski model proizvodnog procesa**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Simulation model of production process**

Opis zadatka:

U optimizaciji proizvodnog procesa od velike pomoći mogu biti suvremeni simulacijski softverski alati. Eksperimentiranjem na virtualnom sustavu putem simulacijskog modela moguće su analize raznih scenarija, s ciljem pronalaženja poboljšanja.

U radu je potrebno:
- Dati pregled stanja (značaja i primjene) simulacijskih alata u optimizaciji proizvodnih procesa.
- Napraviti pregled najznačajnijih softverskih alata danas dostupnih na tržištu.
- Detaljno prikazati proizvodni proces odabranog poduzeća Solvis, proizvođača solarnih fotonaponskih modula.
- Napraviti simulacijski model cijelog proizvodnog procesa.
- Pomoću simulacija analizirati nekoliko predloženih mogućnosti unapređenja procesa (promjena rasporeda strojeva, dodavanje novih strojeva, izgradnja centralnog skladišta dijelova i dr.).

Zadatak zadan:	Rok predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
25. rujna 2014.	27. studenog 2014.	3., 4. i 5. prosinca 2014.

Zadatak zadao: Predsjednik Povjerenstva:

Izv.prof. dr.sc. Goran Đukić Prof. dr. sc. Franjo Cajner

Sadržaj

Popis slika VII
Popis tablica VIII
1. UVOD 1
2. SIMULACIJSKE TEHNOLOGIJE 3
2.1. Faze i koraci tokom simulacije 4
2.2. PLM software 8
2.3. Podjela i faze PLM-a 10
2.4. Piramida proizvodnih sustava 12
2.5. Siemens Tecnomatix 14
2.6. Incontrol Enterprise Dynamics (Taylor ED) 15
2.7. FlexSim 16
2.8. Simul8 17
3. SOLVIS d.o.o. 18
3.1. Struktura zaposlenih 19
3.2. Ćelije za izradu fotonaponskih modula 22
3.3. Proizvodi 23
3.4. Reference 25
4. PROIZVODNI SUSTAV PODUZEĆA SOLVIS 26
4.1. RS1 – Stol za rezanje trake za mehaničko i električno povezivanje 32
4.2. RS2 – Rezanje izolacijske, EVA (etilen vinil acetat) i pozadinske folije 33
4.3. RS3 – Unos stakla 34
4.4. RS4 – Unos solarnih ćelija 34
4.5. RS5 – Povezivanje ćelija, postavljanje EVA-e i pozadinske folije 36
4.6. RS6 – Unos stakla s ćelijama i folijama u laminator 36
4.7. RS7 – Izlaz stakla s ćelijama i folijama iz laminatora 37
4.8. RS8 – Rezanje viška EVA-e, pozadinske folije, postavljanje spojne kutije, čišćenje 37
4.9. RS9 – Priprema za montažu aluminijskog okvira 38
4.10. RS10 – Montiranje aluminijskog okvira 38
4.11. RS11 – Čišćenje nakon uokviravanja 39
4.12. RS15 – Elektro-luminiscentno testiranje 39

4.13. RS12 – Testiranje fotonaponskih modula (SunSimulator) 40
4.14. RS13 – Završna kontrola 40
4.15. RS14 – Pakiranje 40
4.16. RS16 – Stol za popravak nizova ćelija 42
4.17. RS17 – Stol za pripremu zaštitne folije 42
5. PRIKAZ TRAJANJA OPERACIJA POMOĆU GANTOGRAMA 43
6. IZRADA SIMULACIJSKOG MODELA SOLVIS PROIZVODNOG POGONA 47
7. PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA PROIZVODNOG POGONA 51
7.1 Prijedlozi poboljšanja skladišta 51
7.2 Prijedlozi poboljšanja proizvodnje 57
8. SIMULACIJA MODELA POBOLJŠANOG PROIZVODNOG PROCESA 62
8.1 Usporedba toka materijala prije i nakon poboljšanja 66
9. ZAKLJUČAK 68
LITERATURA 71
PRILOG 74

Popis slika

Slika 1. Životni ciklus proizvoda [1] ……..……..…… 9

Slika 2. Piramida proizvodnih sustava [1] ……..…..... 13

Slika 3. Solvis d.o.o..... 18

Slika 4. Monokristalna ćelija [14] 22

Slika 5. Polikristalna ćelija 23

Slika 6. Klasičan polikristalni modul sa 60 ćelija i monokristalni modul sa 60 ćelija i Solrif tehnologijom [16] 24

Slika 7. Hareon polikristalna ćelija [18] ..……....… 28

Autocad nacrt - trenutno stanje .…… 31

Slika 8. Stroj RC05A – stroj za rezanje spojnih traka [19] .…… 32

Slika 9. Nacrt spojne trake .……...… 33

Slika 10. Komax Xcell 3400 – stroj za lemljenje ćelija u nizove [20] ……... 35

Slika 11. Komax GL20 sa 2 Komax Xcell 3400 uređaja [20] ……..…..… 35

Slika 12. FA200S – stroj za uokviravanje [19] ……..…..… 39

Slika 13. Xinspect 4000S – stroj za elektro-luminiscentno testiranje [21] ……..... 40

Slika 14. QuickSun 540LA – stroj za testiranje U – I karakteristika [19] …… 41

Slika 15. Model proizvodog pogona Solvis izrađen u Tecnomatixu ……...…. 48

Slika 16. Prikazuje FiFo princip skladištenja robe [24] 52

Slika 17. Viličar Jungheinrich ETV 110 [25] 53

Slika 18. Prikazuje veze između atoma kod modela skladišta 55

Slika 19. 3D prikaz modela regalnog skladišta 56

Slika 20. Robot Kuka 140 comp [26] ……..... 58

Slika 21. Poboljšani model proizvodog pogona Solvis izrađen u Tecnomatixu …..... 63

Slika 22. Tok materijala prije poboljšanja …….....…… 66

Slika 23. Tok materijala nakon poboljšanja ……...…… 66

Popis tablica

Tablica 1. Tehnički podatci koji se prikupljaju prije provedbe simulacije 6

Tablica 2. Broj zaposlenika u Solvisu ...……..... 19

Dijagram 1. Struktura obrazovanja zaposlenika u Solvisu …….... 20

Tablica 3. Radni uvjeti fotonaponskih modula [15] 23

Gantogram 1. Vremena na pojedinoj radnoj stanici 44

Tablica 4. Rezultati simulacije – skladište 48

Tablica 5. Rezultati simulacije – iskoristivost 49

Tablica 6. Rezultati simulacije – srednja vremena 50

Tablica 7. Tehnički podaci viličara ETV 110 54

Tablica 8. Prikaz korištenih atoma kod modela skladišta 54

Tablica 9. Karakteristike i primjena robota [26] 58

Tablica 10. Rezultati simulacije nakon poboljšanja – skladište 63

Tablica 11. Rezultati simulacije nakon poboljšanja – iskoristivost 64

Tablica 12. Rezultati simulacije nakon poboljšanja – srednja vremena 64

1. UVOD

Porastom konkurencije međunarodnih proizvodnih tvrtki, pritisak na povećanje produktivnosti i efikasnosti proizvodnih sistema je značajno porastao. Ujedno, broj tehničkih komponenti pri proizvodnji raste kao posljedica sve složenijih proizvodnih i logističkih procesa. Ukratko, pojavom složenijih sustava potrebna su odgovarajuća logistička riješenja kako bi se zadržala konkurentnost. Potrebe za efikasnijom proizvodnjom postižu se primjenom odgovarajućih alata u svrhu upravljanja životnim vijekom proizvoda, koji omogućava ponovno korištenje podataka i materijala, podržava učinkovitu suradnju između različitih odjeljenja (proizvodnih, informacijskih, materijalnih…), te ustupa svježe i relevantne podatke svakom korisniku koji koristi te sustave. Simulacija kompletnog toka materijala, uključujući proizvodnju, skladištenje i transportne aktivnosti su ključne komponente kod primjene digitalizirane tvornice (eng. digital factory), koja se danas primjenjuje. Smanjenjem inventara, vremena protoka i poboljšanjem postojećih proizvodnih procesa moguće je postići uštede 15 do 20% u stvarnim uvjetima bez uvođenja novih strojeva. Svrha provođenja simulacije može imati više razloga kao što su strateški, taktički ili operacijski. Strateški uzimaju u obzir lokaciju tvrtke, izdatke za gradnju, logističku podršku pri dobavi i distribuciji materijala i proizvoda, potrebe za radnicima (njihovo obrazovanje i fleksibilnost te potreban broj), troškove skadištenja, prometnu povezanost, itd. Taktička simulacija se provodi kako bi se utvrdili potrebni resursi za neometanu proizvodnju, kako bi se optimizirao redoslijed i količina materijala i ova simulacija uobičajeno traje nekoliko mjeseci kako bi se dobile prosječne vrijednosti na kojima se može temeljiti vjerodostojna simulacija modela. Simulacija na operacijskoj razini obuhvaća cijeli proizvodni proces i tok materijala kroz proizvodnju. Analizira se ulaz materijala, strojevi korišteni pri obradi i proizvodnji i efikasnost radnika. Operacijskom simulacijom moguće je odrediti alternativne mogućnosti proizvodnje u slučaju povećanja kapaciteta ili iznenadnih zastoja u proizvodnji. Ukratko, simulacija se provodi kako bi se mogle donijeti kvalitetne odluke u analizi postojećeg proizvodnog sustava ili implementacijom novog sustava ili pojedinih strojeva. Mnogi nepredvidivi, stohastički faktori utječu na vremena stvarne proizvodnje kao što su kvarovi, kašnjenje materijala i dijelova, ljudske pogreške, itd. Simulacijom modela proizvodnje oni se mogu obuhvatiti i na kraju se dobije vjerni prikaz stvarnog procesa.

Simulacijske tehnologije su važan alat kod složenih tehničkih sustava koje se koriste za planiranje i poboljšanje postojećeg ili novog sustava. Današnji zahtjevi u proizvodnji su sve veći, na primjer sve složeniji i raznovrsniji proizvodi, povećanje zahtjeva za kvalitetom, povećanje fleksibilnosti proizvoda, kraći vijek trajanja proizvoda, manji proizvodi te pritisak konkurencije doveli su do kraćih ciklusa proizvodnje. Simulacijom se mogu dobiti odgovarajući rezultati gdje jednostavna riješenja nisu dovoljno dobra, to jest ne mogu obuhvatiti sve detalje u proizvodnom procesu.

2. SIMULACIJSKE TEHNOLOGIJE

Simulacija se provodi kada je potrebno isplanirati novi proizvodni pogon ili optimizirati postojeći.

Kod novog pogona simulacija pomaže pri:

- uočavanju i uklanjanju problema koji bi inače zahtjevali novčane i vremenske korektivne mjere tokom povećane proizvodnje

- uočavanju i optimiziranju vremena izrade, kvarova, popravka, itd. kroz proizvodnju

- definiranju veličine skladišta i broja potrebnih strojeva (vrlo bitan faktor zbog visoke cijene strojeva)

- definiranju proizvodne mogućnosti strojeva i proizvodnog pogona u cjelini

- prikazuju kako se kvarovi odnose s različitim podešavanjem strojeva i proizvodnim kapacitetima

- definiranju potrebnog broja radnika i ostalog osoblja za obavljanje zadataka na pojedinim radnim stanicama

- stjecanju znanja o radu proizvodnog pogona

- definiranju promjene strojeva za obavljanje različitih operacija (moguće je ispitati interakciju među strojevima, npr. kompatibilnost robotiziranog uzimanja robe sa radnom stanicom nakon pojedine operacije)

- ispitivanju različitih alternativnih modela proizvodnje

- minimiziraju investicijske troškove bez nepotrebnih zastoja

Kod optimizacije postojećeg pogona simulacija pomaže pri:

- optimizaciji performansi postojećeg proizvodnog sustava koristeći mjere koje su provedene i ispitane u simulacijskom modelu prije implementacije

- optimizaciji i kontroli različitih mogućnosti proizvodnje

- optimizaciji redoslijeda operacija pri izradi proizvoda kako bi se smanjila vremena izmjene alata, transporta, čekanja…

- ispitivanju dnevnih zadataka i obaveza tvrtke kako bi se osigurala neometana proizvodnja

2.1. Faze i koraci tokom simulacije

Tokom simulacije prolazi se kroz tri faze: faza planiranja, faza primjene i faza rada

U fazi planiranja rješavaju se problemi uskog grla, neiskorištenih potencijala (strojeva, alata, ljudi), određuje se minimalna i maksimalna uporaba (iskoristivost) pojedinih radnih mjesta, određuju se alternativne mogućnosti proizvodnje, ispituju se kapaciteti, iskoristivost, performanse, brzina i količina izrade proizvoda.

U fazi primjene radi se test učinka i analiza eventualnih problema iz prethodne faze, ispituju se budući zahtjevi u proizvodnji i mogućnost njihove provedbe na postojećem sustavu, radi se simulacija neplaniranih zastoja poput nesreća i/ili kvarova, uzima se u obzir obuka novih zaposlenika i vrijeme njihove prilagodbe, te se provodi simulacija u slučajevima prevelike ili premale proizvedene količine u zadanom roku naručitelja.

U fazi rada provodi se simulacija alternativnih proizvodnih mogućnosti, ispituju se strategije za hitne promjene uslijed kvarova i nezgoda, provodi se kontrola kvalitete i pogrešnog vođenja proizvodnog postupka, ispituje se otpremanje robe na tražene lokacije u zadanom vremenu.

Koraci pri simulaciji:

1. Formuliranje problema

Inženjer koji će provesti simulaciju definira korisnikove zahtjeve. Zahtjevi se zapisuju na papir u obliku ugovora u kojem su navedeni konkretni problemi koji će se analizirati.

2. Ispitivanje isplativosti simulacije

Potrebno je ispitati isplativost simulacije tako što se gleda postojeći model (ukoliko je zastario), složenost sustava (veći i složeniji sustavi su podložniji optimizacijama i uštedama), točnost podataka (npr. u grubo odrediti razlike između teoretskih i stvarnih vremena obrade, te ukoliko su razlike značajne, uštede su moguće) i mogućnosti instaliranih strojeva (određivanje njihovih područja rada, za maksimalnu iskoristivost).

3. Definiranje ciljeva simulacije

Ciljevi se mogu svesti na 4 glavna, a to su:

- Minimiziranje trajanja proizvodnog procesa

- Maksimiziranje iskoristivosti proizvodnog procesa

- Minimiziranje inventara (strojeva, opreme, alata, konvejera, robota, radnih stanica…)

- Smanjiti vrijeme isporuke proizvoda

4. Prikupljanje podataka

Prikupljaju se podatci o opterećenosti sustava, organizaciji sustava i tehnički podatci.

Tehnički podatci	
Struktura proizvodnog pogona	Raspored strojeva Vrste strojeva Vrsta transporta roba Transportne rute Radne stanice

	Ograničenja
Podatci o proizvodnji	Zauzetost strojeva Karakteristike strojeva Kapaciteti
Tok materijala	Područja i granice transporta Konvejeri Kapaciteti
Podatci o nesrećama	Učestalost nesreća Radne stanice na kojima se najćešće događaju
Podatci o organizaciji sustava	
Radno vrijeme	Pauze Smjene
Razmještaj u proizvodnji	Radnici Strojevi Konvejeri Skladišta
Ogranizacija	Ograničenja Upravljanje u slučaju nesreća
Opterećenost sustava	
Podatci o proizvodu	Nacrti Trošak materijala
Podatci o proizvodnji	Radni nalozi Transportni nalozi Količine Vremena

Tablica 1. Tehnički podatci koji se prikupljaju prije provedbe simulacije

5. Izrada simulacijskog modela

Ova faza obuhvaća izradu i testiranje modela.

Sastoji se od dvije faze:

a) izrada konceptualnog modela prema proizvodnom pogonu

b) prenošenje modela u računalni program

U prvom djelu nastoji se shvatiti rad kompletnog proizvodnog sustava. Ovisno o definiranim zahtjevima korisnika potrebno je odrediti i donijeti odluke o zahtjevanoj točnosti modela i razini detalja koji će se korisiti u simulaciji. Neki procesi koje nije potrebno analizirati ili kod kojih nije moguće postići uštede, se pojednostavljuju (generalizacija pojedinih detalja) ili uklanjaju (eliminacija nevažnih detalja) iz modela.

U drugom djelu se izrađuje model i obavlja je početna simulacija. Rezultati se moraju dokumentirati kako bi se kasnije mogli usporediti s daljnjim izmjenama početnog modela.

6. Poboljšanja simulacijskog modela

Ovisno o zadanim ciljevima, u ovoj fazi provode se poboljšanja uvodeći razne promjene.Svaku unesenu promjenu je potrebno dokumentirati i kasnije usporediti s početnim i konačnim stanjem.Simulaciju je potrebno provesti u dovoljno dugom trajanju kako bi se dobili vjerodostojni podatci u slučaju rijetkih događaja. Svaka promjena zahtjeva posebnu simulaciju.

7. Analiza i tumačenje rezultata

Vrijednosti dobivene simulacijom mogu se razlikovati od početnih očekivanja i ciljeva. Rezultati mogu biti prikazani tablično i u obliku grafova. Rezultate je moguće tumačiti na više načina, čim je složeniji sustav koji se promatra, te je potrebno izvući bitne zaključke iz dobivenih rezultata. Izvanredne i rijetke događaje pri simulaciji modela poželjno je isključiti iz analize i promatrati ih u posebnom modelu te ih zatim uključiti u krajnji zaključak simulacije (primjer: naglo povećanje narudžbe proizvoda, uvođenje treće smjene…).

8. Izrada dokumentacije

Dokumentacija se izrađuje u obliku projektnog dokumenta. Daje pregled vremena izrade i obuhvaćenog rada. Prikazuju se i nepovoljne promjene (strojeva, razmještaja, vremena…) kako se kasnije ne bi uvele. Srž projekta sastoji se od prikaza i analize rezultata simulacije koji su dobiveni prema zahtjevima korisnika. Na temelju dokumenta moraju se moći provesti koraci pri poboljšanju proizvodnog procesa. Potrebno je ukratko opisati ukupnu strukturu i funkcionalnost modela.

2.2. PLM software

PLM[1] [1] – proces upravljanja tokom cijelokupnog vijeka proizvoda od njegovog početka, konstruiranja i izrade, sve do uporabe i odbacivanja proizvoda. PLM objedinjuje ljude, podatke, procese i poslovne sustave i daje jezgrovit prikaz podataka o proizvodu za tvrtke. PLM sustavi pomažu tvrtkama u suočavanju s povećanom kompleksnošću i inženjerskim izazovima u razvoju novih proizvoda na globalnom tržištu. PLM treba razlikovati od PLCM[2] koji je nastavak na PLM i koristi se u poslovnom menadžmentu kako proizvod prolazi kroz faze na tržištu (uvjeti u kojima se proizvod prodaje, njegovo zasićenje na tržištu ili reklamna kampanja, mijenja se tokom vremena i potrebno je uskladiti i prilagoditi pristup tržištu). PLM se smatra jednim od četiri glavna stupa u informacijsko tehnološkoj strukturi proizvodnih korporacija. Sve kompanije moraju komunicirati i upravljati informacijama sasvojim klijentima (CRM[3]), dobavljačima (SCM[4]), resursima unutar poduzeća (ERP[5]) i planiranjem i razvojem proizvoda (PLM).

[1] PLM (eng. product lifecycle management) = cjeloživotno upravljanje proizvodom

[2] PLCM (eng. product lifecycle management marketing) = cjeloživotno upravljanje marketingom proizvoda

[3] CRM (eng customer relationship management) = upravljanje odnosima s korisnicima

[4] SCM (eng. supply chainmanagement) = upravljanje lancem nabave

[5] ERP (eng. enterprise resouce planning) = planiranje resursima unutar poduzeća

Primjenom PLM sustava postižu se sljedeće uštede: [1]

- smanjuje se vrijeme do plasmana na tržište

- povećava se kvaliteta i pouzdanost proizvoda

- smanjuju se troškovi izrade prototipa

- mogućnost brzog uočavanja potencijalnih prilika na tržištu

- ponovna upotreba originalnih podataka

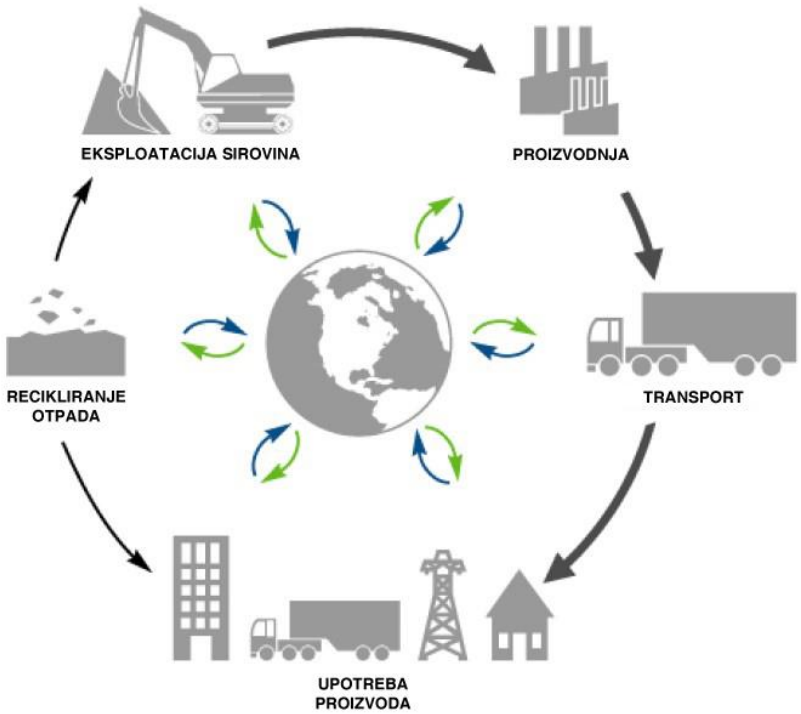
- okvir za optimizaciju proizvodnje

- smanjenje otpada

- kompletna integracija toka materijala i informacija

- sezonskim promjenama

- maksimizira se suradnja između lanaca dobave



Slika 1. Životni ciklus proizvoda [1]

2.3. Podjela i faze PLM-a

PLM se dijeli na pet primarnih područja:

1. SE[6] [2] – interdisciplinarna grana inženjerstva koja se fokusira kako konstruirati i upravljati kompleksnim sustavima tokom njihovog životnog vijeka. Obuhvaća pouzdanost (trajnost) proizvoda, logistiku, koordinaciju i ispunjenje različitih zahtjeva korisnika. Sistemsko inženjerstvo osigurava kako bi svi aspekti projekta ili sustava bili obuhvaćeni i implementirani u jednoj cjelini.

2. PPM[7] [3] – obuhvaća centralizirano upravljanje procesa, metoda i tehnologija putem baze podataka koje se koriste od strane projektnih inženjera za analizu i upravljanje trenutnim ili budućim projektima temeljenih na različitim obilježjima. Ujedno se fokusira na upravljanje i razmještajem resursa, praćenjem napretka proizvodnje s planom proizvodnje

3. CAx[8] [4] – širok pojam u kojeg ulaze različite računalne tehnologije za konstrukciju, analizu i proizvodnju preko kojih se kreira novi proizvod za prodaju korisnicima

4. MPM[9] [5] – skup tehnologija i načina koji se koriste za definiranje izrade proizvoda

5. PDM[10] [6] – fokusira se na sakupljanje i pohranjivanje informacija o proizvodu i uslugama tokom razvoja i primjene proizvoda

[6] SE (eng. system engineering) = sistemsko inženjerstvo

[7] PPM (eng. project portfolio management) = upravljanje bazom projekata

[8] CAx (eng. computer aided technologies) = tehnologije upravljane računalom

[9] MPM (eng. manufacturing process management) = upravljanje procesom proizvodnje

[10] PDM (eng. product data management) = upravljanje podatcima o proizvodu

Prva faza: Početak

U prvoj fazi se definiraju karakteristike proizvoda na temelju zahtjeva (korisnika, poduzeća, tržišta, regulatora). Nakon zadavanja tih karakteristika mogu se odrediti glavni parametri proizvoda. Paralelno s tim, početni dizajn i konstrukcija se izrađuju kako bi bila kompatibilna s glavnim fukcijama proizvoda. Ovo se može izvesti na više načina, od olovke i papira do 3D CAID[11] softwarea. Kod nekih koncepata, resursi uloženi u razvoj i analizu različitih mogućnosti proizvoda mogu biti uključeni u ovu fazu.

Druga faza: Konstrukcija

U ovoj fazi se detaljno konstruira i razrađuje proizvod od početka, počevši od testiranja prototipa do probnog izdavanja proizvoda. Isto tako može se redizajnirati i prilagoditi na buduća poboljšanja i planirano zastarijevanje. Glavni alati koji se u ovoj fazi koriste su CAD programi za 2D crtanje ili 3D modeliranje. U ovom koraku se obuhvaćaju mnoga inženjerska područja kao što su mehanika, elektronika i elektrika, informatika, te specifična područja kao arhitektura. Tokom proizvodnje provodi se analiza komponenti pri sastavljanju proizvoda.Simulacije, provjere i optimizacije provode se u CAE[12] programu. Služe za analize naprezanja materijala, FEA[13], provjeru kinematike, dinamike i mehaničke simulacije.

Treća faza: Izrada

Nakon što je konstrukcija komponenti gotova, definira se postupak izrade. To se radi pomoću CAD[14] i CAM[15] programa u kojem se definiraju alati i brzine koje se unose i programiraju u CNC[16] strojeve.

[11] CAID (eng. computer aided industrial design) = industrijske konstrukcije pomoću računala

[12] CAE (eng. computer aided engineering) = inženjerstvo pomoću računala

[13] FEA (eng. finite element analysis) = analiza konačnih elemenata

[14] CAD (eng. computer aided design) = konstruiranje pomoću računala

[15] CAM (eng. computer aided manufacturing) = proizvodnja pomoću računala

[16] CNC (eng. computer numerical control) = računalno numeričko upravljanje

U to je uključena analiza alata koji će se koristiti pri lijevanju i/ili prešanju. Nakon što se definira proces izrade, koriste se CAPP[17] za definiranje proizvodnog pogona i simulaciju proizvodnje. Paralelno s tim izrađuju se dokumenti potrebni za prodaju i marketing.

Četvrta faza: Korištenje

Završna faza uključuje postupanje s proizvodom prema korisničkim informacijama u koje ulazi podrška o postupanju pri održavanju i popravku te zbrinjavanju proizvoda na kraju njegovog vijeka. Neki proizvodi imaju posebne upute o zbrinjavanju radi eventualnih štetnih posljedica na okoliš. Svi navedeni podatci mogu biti sadržani u MRO[18] softwareu.

2.4. Piramida proizvodnih sustava

Prema Malakooti-u (2013. god.) [1], postoje 5 dugoročnih ciljeva koji se moraju uzeti u obzir kod proizvodnih sustava, a to su:

- ekonomičnost, to jest troškovi koji se mjere u novčanim jedinicama i uglavnom se sastoje od fiksnih i varijabilnih

- produktivnost koja se mjeri brojem proizvedenih proizvoda tokom određenog perioda

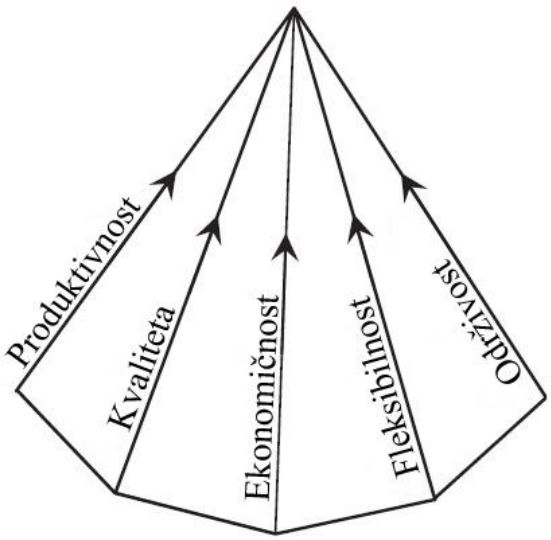
- kvaliteta koja se mjeri zadovoljstvom kupaca

- fleksibilnost koja se mjeri mogućnošću sustava da proizvede različite proizvode

- ekološka prihvatljivost koja se mjeri utjecajem proizvodnog procesa i proizvoda na okoliš

[17] CAPP (eng. computer aided production planning) = planiranje proizvodnje pomoću računala

[18] MRO (eng. maintenance, repair and overhaul) = održavanje, popravak i remont



Slika 2. Piramida proizvodnih sustava [1]

Veza između tih pet ciljeva može se prikazati kao piramida u čijem se vrhu sastaju najveća produktivnost, najveća kvaliteta, najveća fleksibilnost, najveća ekonomičnost i najveća ekološka prihvatljivost. Točke unutar piramide povezuju različite ciljeve. Vrh piramide je idealna točka, ali je nedostižna (savršen proizvod ne postoji), dok se baza piramide sastoji od najlošijih karakteristika.

2.5. Siemens Tecnomatix

Siemens PLM Tecnomatix [7] je jedan od vodećih software-a za logistička rješenja digitalne proizvodnje prema tehnologijama koje koristi, tržišnom udjelu, iskustvu i korisničkoj podršci. Software je napravljen u otvorenoj arhitekturi tako da je kompatibilan s ostalim PDM sustavima (ActiveX, CAD, Oracle SQL, ODBC, XML, Socket, OPC) i lako se mogu unijeti razni gotovi modeli. Ima svoju bazu podataka, Teamcenter, koji sakuplja projekte od ostalih korisnika (uz dozvolu) te omogućava njihovo korištenje.

Tecnomatix alati za konstrukciju i optimizaciju proizvodnog pogona omogućavaju bržu i efikasniju izradu modela i osiguravaju rad pogona na najvišoj razini prije puštanja u stvarni rad. Inženjeri imaju uvid u virtualne nacrte pogona i mogu izbjeći nepotrebne gubitke popravljajući postojeće stanje u stvarnom pogonu. Koristeći 3D prikaz i animacije, Tecnomatix omogućuje jednostavan i koristan prikaz gabarita hale, rasporeda strojeva i pojedinih obrada. To se može postići uporabom "pametnih objekata" koji predstavljaju sav inventar, od konvejera, mezzanina (skele među katovima), dizalica, spremišta, automatiziranih vozila i operatera. Tokom simulacije software može sam optimizirati vremena preko automatiziranih genetičkih algoritama, na svim radnim stanicama i strojevima i broj potrebnih radnika kako bi dobio optimalan tok materijala, bez zastoja, kroz zahtjevani proces. Na taj način se mogu vrlo brzo eliminirati uska grla, povećati efikasnost i povećati proizvodnja. Isto tako, ukoliko je moguće, može spojiti više radnih mjesta u jedno i ukloniti nepotrebne radnje (uglavnom administrativne) koje ne pridonose vrijednosti proizvoda. Grafičkim prikazom rezultata koji obuhvaćaju Sankeyeve dijagrame, gantograme i ostale vizualne metode, lako se uočavaju i ispravljaju problemi.

2.6. Incontrol Enterprise Dynamics (Taylor ED)



Incontrol Enterprise Dynamics [8] je jedan od simulacijskih software-a koji omogućava dodatno pretvaranje ekonomskih vrijednosti u profit upotrebom simulacija, umjesto da se one izgube tokom procesa obrade materijala i izrade proizvoda. U simulaciji moguće je uzeti u obzir visinu početne investicije, opremu pogona i broj ljudi. Može se odrediti efikasnost pojedinih odluka i na temelju toga dobiti procjena povrata investicije (eng. Return on Investment) u dinamičnom okruženju. Pored fiksnih troškova, postoje mnogi varijabilni koji ovise o broju proizvedenih proizvoda. Simulacijski model može se upotrijebiti za razvoj situacije s poboljšanom efikasnošću i, shodno tome smanjenju fiksnih troškova. Glavni indikator efikasnosti pojedenog stroja, operacije i osoblja prikazuje se preko konačne ukupne efikasnosti za pojedinu stanicu koja se uobičajeno koristi kao pokazatelj iskoristivosti u simulacijskom modelu. Krucijalni utjecajni faktori na efikasnost su dostupnost, kvarovi i planiranje operacija na strojevima. Primjenom alata vitke proizvodnje (eng. Lean Manufacturing) i pravovremene isporuke roba i materijala (eng. Just in Time) moguće je optimirati proizvodni pogon. Sljedeća stavka koja određuje isplativost proizvodnje je ukupni trošak vlasnika (eng. Total Cost of Ownership), preko koje se određuju direktni i indirektni troškovi proizvoda i sustava tokom ciklusa proizvodnje.

Provedbom simulacije skladišta moguće je odrediti broj radnika i transportnih sredstava za optimalan rad. Moguće je automatizirati skladište i prikazati 3D model kako bi se lakše odabrao odgovarajući sustav skladištenja, konvejera i sustava za sortiranje različitih proizvoda. Implementacijom alata, upravljanjem sustava skladišta (eng. Warehouse Management System) mogu se pratiti materijali i robe, na temelju stvarnih podataka iz baze skladišta.

Kod lanaca nabave Enterprise Dynamics daje rješenja na glavna pitanja:

- konfiguracije distribucijske mreže (kako odrediti broj čvorova i skladišta mreže, odrediti način transporta, centralizirana ili decentralizirana mreža)

- problema upravljanja zalihama (gdje skladištiti i u kojim količinama, troškovi skladištenja i transporta)

- smanjenje vremena dostave (izrada modela predviđanja, poboljšanje komunikacije)

- mjerenje učinka lanca nabave (koji individualni faktori utječu na lanac nabave)

- povrat robe i materijala (kako upravljati otpadom i vraćenom robom, kako organizirati povratne operacije u lancu nabave)

2.7. FlexSim



FlexSim [9] je diskretni simulacijski software za planiranje i organizaciju proizvodnje. Koristi OpenGL okruženje za prikaz 3D simulacijskih modela i jedini je od svih simulacijskih software-a koji upotrebljava C++ programski jezik i pripadajuće kompajlere u modelirajućem okruženju.

Glavna primjena ovog simulacijskog rješenja su za:

- proizvodnju: proizvodna linija s različitim operacijama

- logistiku i distribuciju: operacije na kontejnerskom terminalu, konstruiranje lanca nabave, tok materijala kroz distribucijske centre, raspored skladišta

- transport: tok cestovnog prometa na autocestama, tok ljudi na frekventnim područjima (kolodvori, zračne luke, koncerti), brodske rute, prometni čepovi

- ostala primjena: naftna polja, rudnici, tok mrežnih podataka

Za modeliranje koriste se objekti definirani i programirani za četiri različite klase, a to su:

- fiksni: u ovu klasu ulaze glavni objekti simulacije koji određuju tok modela (objekti uključuju izvor materijala, područja za čekanje, izlaz materijala, konvejere…)

- izvršioci zadataka: objekti su vezani za fiksne te dobivaju zadatke od njih (operateri, transporteri)

- čvorovi: objekti koji se koriste za određivanje i konstrukciju radnih puteva (kontrola prometa)

- vizualni: objekti koji se koriste za prikaz i prikupljanje ulaznih i izlaznih podataka (dijagrami i tablice)

2.8. Simul8

Simul8 [10] je proizvod koji se koristi za diskretne simulacije sustava koji uključuju obrade diskretnih subjekata i vremena. Ovaj software je alat za planiranje, konstrukciju, optimizaciju i rekonstrukciju postojećeg stanja, proizvodnju, logistiku i opskrbu sustava. Simul8 omogućava korisniku da izradi računalni model koji uzima u obzir stvarna ograničenja, kapacitete, greške, ponavljajuće obrasce i ostale faktore koji utječu na svojstva i iskoristivost proizvodnog pogona. Preko modela moguće je ispitati stvarne scenarije u virtualnom okruženju, kao što je simulacija planiranih radnji i opterećenja sustava s utjecajem mjenjanja različitih parametara na učinak sustava te se na kraju pronalazi optimalno rješenje. Česta značajka rješenja problema je smanjenje troškova, vremena i inventara.

Prednost Simul8 software-a je jednostavnost pri konstrukciji modela jer nije baziran na programiranju i statističkim podatcima, nego na konstruiranju organizacijske sheme. Međutim za složenije modele moguće je koristiti programski jezik baziran na Visual Basicu, koji daje mogućnost izrade složenih i individualnih modela koji nisu na raspolaganju u standardnoj verziji. Simul8 je kompatibilan sa softwareskim paketima kao što su Microsoft Access, Excel, Visio i SQL bazama podataka.

3. SOLVIS d.o.o.

Solvis [11] je hrvatski proizvođač fotonaponskih modula premium kvalitete. Solvis fotonaponski moduli su dobiveni korištenjem tehnologija proizvođača specijaliziranih za proizvodnju panela koristeći prvorazredne sirovine. Kontrola kvalitete primjenjuje se nakon svake faze proizvodnog procesa, čime je osigurana pouzdanost proizvoda tijekom cijelog njegovog radnog vijeka.

Na svjetskom tržištu Solvis je prisutan od 2009. godine, usmjereni na proizvodnju ekološki prihvatljivog i svima dostupnog izvora energije. Proizvodi su rezultat kontinuiranog istraživanja i razvoja stručnjaka. Stalnim ulaganjem u ljudske resurse, opremu i istraživanje Solvis jača svoju konkurentnost na tržištu.

Lokacija: Gospodarska zona Brezje, 42000 Varaždin, Hrvatska



Slika 3. Solvis d.o.o.

Registrirane djelatnosti: [12]

- Proizvodnja i distribucija električne energije
- Proizvodnja opreme za distribuciju i kontrolu električne energije
- Proizvodnja, projektiranje, montaža, popravak i održavanje solarne opreme i uređaja te solarnih sistema
- Trgovanje, posredovanje i zastupanje na tržištu energijom
- Inženjering, projektni menadžment i tehničke djelatnosti

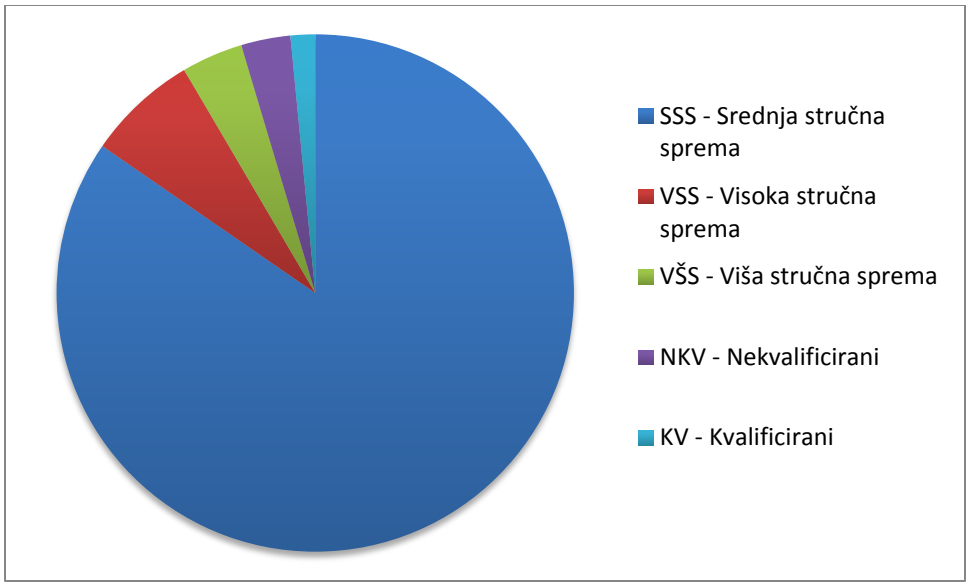
- Projektiranje, građenje i nadzor
- Transfer tehnologije i obnovljivih izvora energije
- Savjetovanje u vezi s poslovanjem i upravljanjem
- Poslovanje nekretninama
- Proizvodnja električne opreme
- Kupnja i prodaja robe
- Obavljanje trgovačkog posredovanja na domaćem i inozemnom tržištu
- Zastupanje inozemnih tvrtki
- Pružanje usluga informacijskog društva

3.1. Struktura zaposlenih

U Solvisu je ukupno zaposleno 130 osoba. U proizvodnom pogonu za normalan rad, po smjeni, zaposlene su 34 osobe. Struktura obrazovanja zaposlenih prikazana je sljedećom tablicom i dijagramom.

SSS – Srednja stručna sprema	110
VSS – Visoka stručna sprema	9
VŠS –Viša stručna sprema	5
NKV - Nekvalificirani	4
KV - Kvalificirani	2

Tablica 2. Broj zaposlenika u Solvisu



Dijagram 1. Struktura obrazovanja zaposlenika u Solvisu

Prema navedenim podatcima udio visoko obrazovanog kadra od ukupnog broja zaposlenih iznosi 7%. Udio kadra s višom stučnom spremom iznosi 4%, dok na srednju stručnu spremu, kvalificirane i nekvalificirane otpada 89% od ukupnog broja zaposlenih.

Tehnologija [13]

Moduli osiguravanju visoku proizvodnju energije kako u područjima s visokom ozračenošću tako i u onima s niskom. Visoka proizvodnost se postiže:

- visokim otporom šanta za bolju učinkovitost kod niskih ozračenja te niski serijski otpor za bolju učinkovitost kod visokih ozračenja
- prethodnim sortiranjem po snazi i struji za minimizaciju gubitaka radi neusklađenosti električnih karakteristika
- EVA folijom s vrlo niskim indeksom požućivanja (radi procesa degradacije, boja EVA folije se iz prozirne može postepeno promijeniti u žutu, čime se smanjuje količina upadnog svjetla)

- visokim stupnjem polimerizacije EVA folije koji osigurava visoku prozirnost i iznimno dug radni vijek

- visoko prozirnim staklom za čitav spektar, proizvedenom u tvrtci specijaliziranoj za proizvodnju solarnog stakla kaljenim ornamentiranim staklom niske refleksije i visoke prozirnosti, certificiranim za korištenje čak i u blizini zračnih luka

- ćelijama visoke kvalitete s uskim razredima sortiranja, minimalnim gubicima zbog neusklađenosti karakteristika i ujednačenom bojom

- sortiranjem modula prema mjerenoj snazi s tolerancijom -0/+4,9 W

Certifikati [13]

Tvrka SOLVIS je uspostavila sustave upravljanja kvalitetom, zaštitom okoliša te zdravljem i sigurnošću:

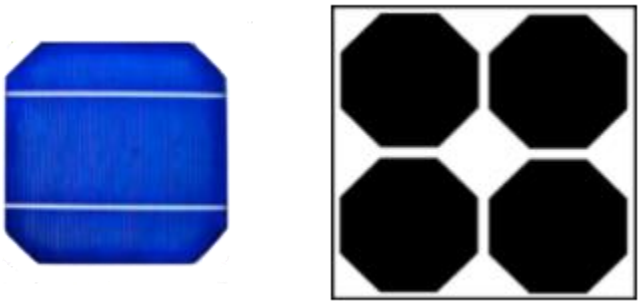
- Sustav za upravljanje kvalitetom uspostavljen je i certificiran prema normi EN ISO 9001: 2008 u 2009. godini

- Sustav za upravljanje okolišem uspostavljen je i certificiran prema normi EN ISO 14001: 2009 u 2009. godini

- Sustav upravljanja zdravljem i sigurnošću na radu uspostavljen je i certificiran prema normi OHSAS 18001: 2007 u 2011. godini

3.2. Ćelije za izradu fotonaponskih modula

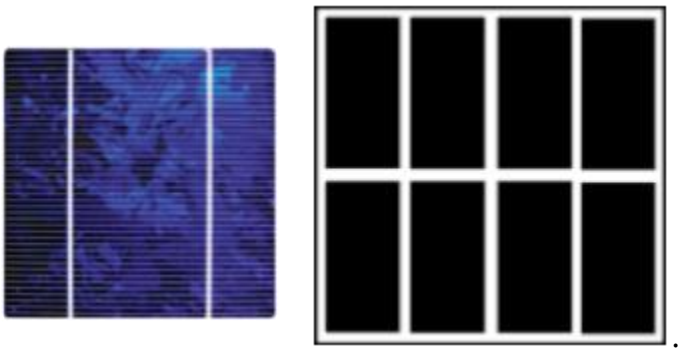
Postoje dvije vrste solarnih ćelija od kojih se može izraditi modul. To su polikristalne i monokristalne ćelije. Monokristalne ćelije mogu pretvoriti 1000 W/m^2 sunčevog zračenja u maksimalno 200 W električne energije, s površinom ploče od 1 m^2. Proizvodnja takvih ćelija je skuplja jer je potreban apsolutno čisti poluvodički materijal (Si). Cijela površina ćelije je određena jednim smjerom kristala, što daje maksimalnu iskoristivost pri adekvatnom kutu upada sunčevih zraka. Ovaj tip ćelija je tamnije boje od polikristalnih i ima odrezane kuteve zbog optimizacije performansi i troškova proizvodnje, što daje oktogonalni oblik. Prednosti monokristalnih ćelija su veća iskoristivost (15 – 20 % od dozračene energije) zbog uporabe najčišćeg silicija i duži vijek trajanja (većina proizvođača daje jamstvo od 25 godina). Ujedno pri povećanju temperature manje gube na efikasnosti u odnosu na polikristalne ćelije. Nedostatci su viša cijena (zbog uporabe Czochralski-evog procesa proizvodnje i apsolutno čistog silicija) i osjetljivost na prekrivena područja (ukoliko je dio modula pokriven snijegom, prljavštinom ili je u hladu, cijeli modul se može pokvariti).



Slika 4. Monokristalna ćelija [14]

Polikristalne ćelije mogu pretvoriti 1000 W/m^2 sunčevog zračenja u maksimalno 160 W električne energije s površinom ploče od 1 m^2 (usavršavanjem postupaka izrade ovog tipa ćelija, efikasnost se stalno povećava i sustiže monokristalne). Proizvodnja ovih ćelija je ekonomski isplativija u odnosu na monokristalne. Silicij se topi i ulijeva u kvadratne kalupe koji nakon hlađenja daju savršene kvadratne ćelije. Tijekom skrućivanja materijala stvaraju se kristalne strukture različitih veličina na čijim granicama se pojavljuju greške pa zbog toga ove ćelije imaju

manji stupanj iskorištenja. Prema ekonomskoj računici najbrži povrat investicije daju moduli s polikristalnim ćelijama pa su oni i najtraženiji na tržištu.



Slika 5. Polikristalna ćelija [14]

Solvis ne proizvodi solarne ćelije, nego kupuje gotove, te od njih sastavlja fotonaponske module. Pri proizvodnji koriste se ćelije kineskog dobavljača Hareon Solar Technology.

3.3. Proizvodi

Svi proizvodi tvrtke Solvis rade u sljedećim radnim uvjetima: [15]

RADNI UVJETI	
Temperaturno područje [°C]	-40 to +85
Maksimalni napon sustava [V]	1000
Najveća dopuštena prekidna struja osigurača po nizu fotonaponskih modula	15A
Najveća dopuštena reverzna struja	15A
Maksimalno opterećenje	Ispitano do 5400 Pa
Otpornost na udar	Tuča promjera 25 mm pri brzini 23 m/s

Tablica 3. Radni uvjeti fotonaponskih modula [15]

Klasični moduli – polikristalni i monokristalni, izrađuju se od 36, 48, 54, 60 i 72 ćelija. Najzastupljniji je polikristalni modul sa 60 ćelija. Može biti izveden u 4 različite varijante snage, od 240, 245, 250 i 255 W.



Slika 6. Klasičan polikristalni modul sa 60 ćelija i monokristalni modul sa 60 ćelija i Solrif tehnologijom [16]

Modeli za jahte – ugrađuju se na palube. Dobivena električna energija može se koristiti za punjenje akumulatora i kasnije upotrebljavati ili direktno koristiti pri radu broda. Dimenzije i veličina panela određena su prema zahtjevima kupaca. Svaki proizvod je individualan.

Specijalni moduli – izrađuju se prema individualnim zahtjevima. Tu spadaju uglavnom moduli koji se integriraju u zgrade (na fasade, na sjenila za prozore ili umjesto krovišta). Mogu se izraditi u bilo kojoj boji, od boje fotonaponskih ćelija (zelena, crvena, svjetlo plava...) do različite boje okvira. Moguće ih je izraditi u obliku crijepova i položiti na krovište.

Samostalni sustavi – upotrebljavaju se na udaljenim objektima gdje nema električne energije. Sastoje se od modula, regulatora punjenja, baterija i izmjenjivača. Sustavi se isporučuju od 1 do 5 kW snage.

3.4. Reference

Ispisane su izvedene elektrane vršne snage od 30 kW na više. [17]

Dalmacija

SE PSC Opel – Split, snaga: 67,7 kWp

SE PSC Chevrolet – Split, snaga: 42 kWp

SE Vrana – Biograd, snaga: 160 kWp

Solero 2B – Dugopolje, isporuka modula: SV60 245, 920 kom (225,4 kW)

Inozemstvo

Relatio – Njemačka, snaga: 520 kWp

Vrtić Slovenska Bistrica – Slovenija, snaga: 30 kWp

Šenčur – Slovenija, snaga: 40 kWp

Istra i Primorje

SE SŠ kralj Zvonimir – Krk, snaga: 30 kWp

SE Dom zdravlja Crikvenica – Crikvenica, snaga: 30 kWp

Autoput Zagreb – Rijeka, snaga: 270 kWp

Sjeverozapadna Hrvatska

SE PSC Velika Gorica – Velika Gorica, snaga: 99,64 kWp

SE GUMIIMPEX-GRP – Varaždin, snaga: isporuka modula za tri integrirane elektrane ukupne snage 1,66 MWp

SE Centrometal – Macinec, snaga: 30 kWp

Slavonija

SE Beneš 2 – Slatina, snaga: 36 kWp

SE Vigor Solis – Gundinci, snaga: 30 kWp

SE OPG Marijan Kadić – Gundinci, snaga: 30 kWp

4. PROIZVODNI SUSTAV PODUZEĆA SOLVIS

Za proizvodnju jednog solarnog panela potrebne su sljedeće komponente čije dimenzije su prilagođene dimenzijama solarnih panela (u ovom slučaju promatrat će se najzastupljeniji proizvod, SV60 – polikristalni fotonaponski modul od 60 solarnih ćelija): [15]

Spojne trake – dvije duge, dimenzija 425 x 125 mm i dvije kratke 290 x 115 mm, obje širine 2 mm

EVA (etilen vinil acetat – polimerni materijal koji se u proizvodnji fotonaponskih modula koristi kao enkapsulacijski materijal) folija – dva komada, dimenzija 995 x 1660 mm

EVA je jedna od najvažnijih komponenti za osiguravanje visoke kakvoće modula. Radi se o termo-plastičnom materijalu koji sadrži etilen vinil acetat koji se koristi za enkapsulaciju fotonaponskih ćelija. Važnost EVA folije je u njenoj funkciji – lijepi zajedno ćelije i podlogu i osigurava nepropusnost modula te sprječava bilo kakvo međudjelovanje materijala unutar modula i vanjskog okoliša. Dodatne značajke uključuju visoku optičku vodljivost, dobro prianjanje na različite materijale modula, odgovarajuću mehaničku sukladnost stakla i ćelija i dobre dielektrične značajke. Pažljivim odabirom provjerenih dobavljača i redovitim provjerama osigurava se proizvodnja modula s EVA folijom vrhunske kvalitete, dugim vijekom trajanja i zajamčenom kvalitetom proizvoda.

Pozadinska/zaštitna folija – jedan komad, dimenzija 1000 x 1665 mm

Zaštitna folija modula izrađena je iz specijalnog višeslojnog materijala koji modul štiti od vanjskih utjecaja i električno izolira unutrašnje komponente modula. Karakteristike zaštitne folije su ključne za funkcioniranje modula, dugi vijek trajanja i sigurnost. Jednostavno se čiste, otporne su na kemikalije i osiguravaju izrazito čvrstu vezu s ostalim komponentama modula. Iznimno su stabilne u vlažnim i toplim uvjetima i uvjetima smrzavanja. Ispitivanje dugim izlaganjem vlazi i povišenoj temperaturi pokazujeda se i pri izuzetno teškim uvjetima zadržavaju tražena svojstva.

Tehnička svojstva:

• UV stabilnost – nema vidljivih promjena nakon UV ispitivanja
• izvrsna električna svojstva
• izvrsna toplinska svojstva
• vrlo dobra reflektirajuća svojstva

Prednosti korištenja:

• jednostavno čišćenje
• otporni na kemikalije
• izrazito čvrsta veza s EVA- folijom
• izvrsna stabilnost u toplim vlažnim uvjetima i uvjetima smrzavanja

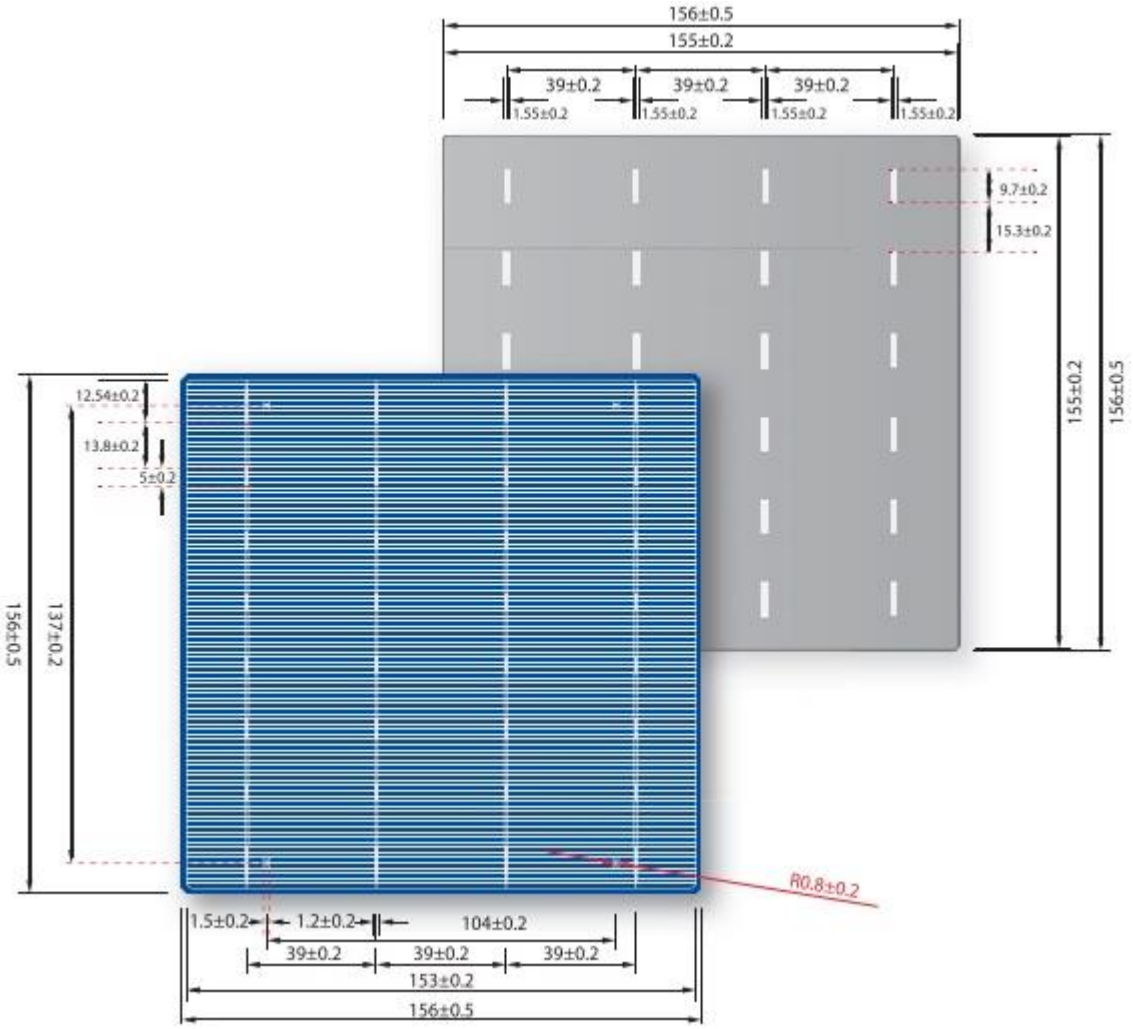
Staklo – jedan komad, dimenzija 990 x 1655 mm

Staklo je glavna komponenta očuvanja trajnosti modula. Debljina stakla koja se koristi pri izradi fotonaponskih modula iznosi 4 mm. Koristi se kaljeno staklo. Povećanjem debljine stakla s 3.2 mm na 4 mm povećava se otpornost na tuču za 50%. Korištenje debljeg stakla ima još jednu prednost, a to je mogućnost korištenja tanjih aluminijskih okvira što olakšava rukovanje modulima.

Tehnička svojstva:

• izvrsna prozirnost koja povećava učinkovitost modula veća je od 91,8%, a rezultat je specijalnog proizvodnog procesa
• 50% veća otpornost na tuču – staklo debljine 4 mm podnosi 50% veća opterećenja uslijed tuče od prosječne debljine korištene u industriji
• robusno staklo ne zahtijeva široke okvire
• opterećenje do 5400 Pa

Solarne ćelije – 6 x 10 redova, polikristalne 60 kom, dobavljač Hareon Solar Technology



Slika 7. Hareon polikristalna ćelija [18]

Tehnički podatci

Dimenzije: 156 mm x 156 mm ± 0.5 mm

Debljina (pločice): 180 µm ± 20 µ i 200 µm ± 20 µ

Prednja strana: 1,2 mm sabirnica (srebrna), plavi anti-reflektirajući sloj (silicijev nitrid, Si_3N_4)

Stražnja strana: 1,55 mm široki jastučići za lemljenje (srebrni), aluminijska pozadina

Spojna/priključna kutija – jedan komad

Priključna kutija temelji se na otvorenoj strukturi sustava koja omogućuje serijsko i paralelno spajanje. Muške i ženske kabelske priključnice projektirane su za visoki napon (do 1000 V) i veliki strujni kapacitet sa IP65 zaštitom (IP65 – International Protection 65; 6 – nepropusno za prašinu, potpuna zaštita od prašine; 5 – otporno na mlaz vode, mlaz vode pušten kroz mlaznicu promjera 6.3 mm ne utječe na rad uređaja, trajanje ispitivanja minimalno 15 min s protokom vode od 12.5 l/min i tlakom od 30 kPa s udaljenosti od 3 m). Sigurnost priključivanja osigurana je kućištem s označenim polaritetima, zaštičenim kablovima i načinom priključivanja. Moguće je montirati plastičnu, ali i aluminijsku kutiju. Aluminijska priključna kutija je vrlo otporna na atmosferske uvjete, te omogućuje bolje hlađenje dioda u kutiji čime se produljuje vijek trajanja i efikasnost modula.

Aluminijski okvir – okvir od anodiziranog aluminija s dvostrukom stjenkom i otvorima za drenažu; jedan komad

Proces proizvodnje jednog solarnog panelaodvija se kroz 17 radnih stanica.

RS1 – Stol za rezanje trake za mehaničko i električno povezivanje

RS2 – Rezanje izolacijske, EVA (etilen vinil acetat) i pozadinske folije

RS3 – Unos stakla

RS4 – Unos solarnih ćelija

RS5 – Povezivanje (lemljenje) ćelija, postavljanje EVA-e i pozadinske folije

RS6 –Unos stakla s ćelijama i folijama u laminator

RS7 – Izlaz stakla s ćelijama i folijama iz laminatora

RS8 – Rezanje viška EVA-e, pozadinske folije, postavljanje spojne kutije, čišćenje

RS9 – Priprema za montažu aluminijskog okvira

RS10 – Montiranje aluminijskog okvira

RS11 – Čišćenje nakon uokviravanja

RS12 – Testiranje fotonaponskih modula (SunSimulator)

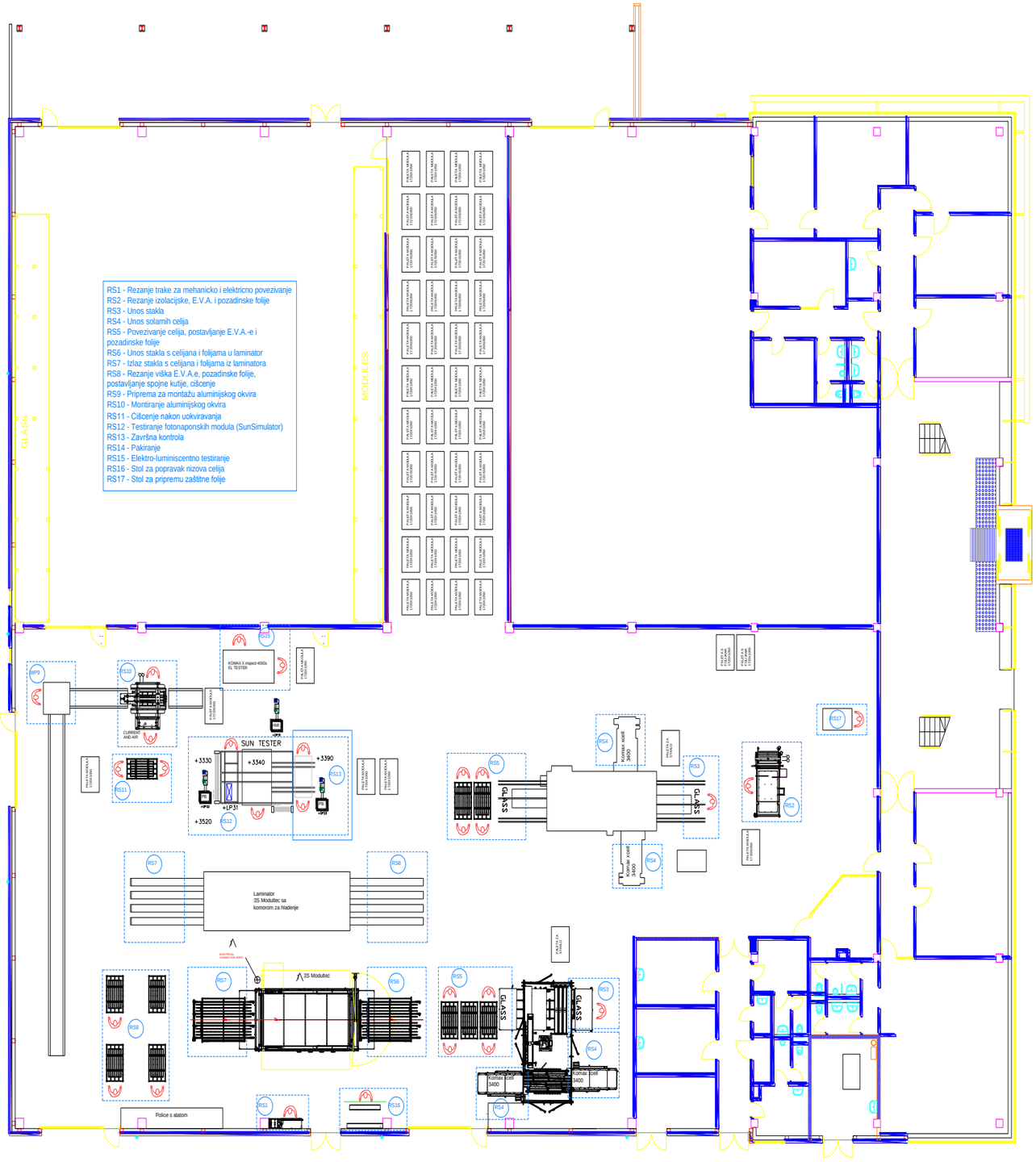
RS13 – Završna kontrola

RS14 – Pakiranje

RS15 – Elektro-luminiscentno testiranje

RS16 – Stol za popravak nizova ćelija

RS17 – Stol za pripremu zaštitne folije


RS1 - Rezanje trake za mehanicko i elektricno povezivanje
RS2 - Rezanje izolacijske, E.V.A. i pozadinske folije
RS3 - Unos stakla
RS4 - Unos solarnih celija
RS5 - Povezivanje celija, postavljanje E.V.A.-e i pozadinske folije
RS6 - Unos stakla s celijana i folijama u laminator
RS7 - Izlaz stakla s celijana i folijama iz laminatora
RS8 - Rezanje viška E.V.A.e, pozadinske folije, postavljanje spojne kutije, čišcenje
RS9 - Priprema za montažu aluminijskog okvira
RS10 - Montiranje aluminijskog okvira
RS11 - Čišcenje nakon uokviravanja
RS12 - Testiranje fotonaponskih modula (SunSimulator)
RS13 - Završna kontrola
RS14 - Pakiranje
RS15 - Elektro-luminiscentno testiranje
RS16 - Stol za popravak nizova celija
RS17 - Stol za pripremu zaštitne folije
GLASS
MODULES
SUN TESTER
+3330
+3340
+3390
+LP31
+3520
Laminator
3S Modultec sa
komorom za hladenje
3S Modultec
Police s alatom
Komax Iceff
3400
KOMAX X impact 4000s
EL. TESTER

4.1. RS1 – Stol za rezanje trake za mehaničko i električno povezivanje

Stroj: MI-RC05A

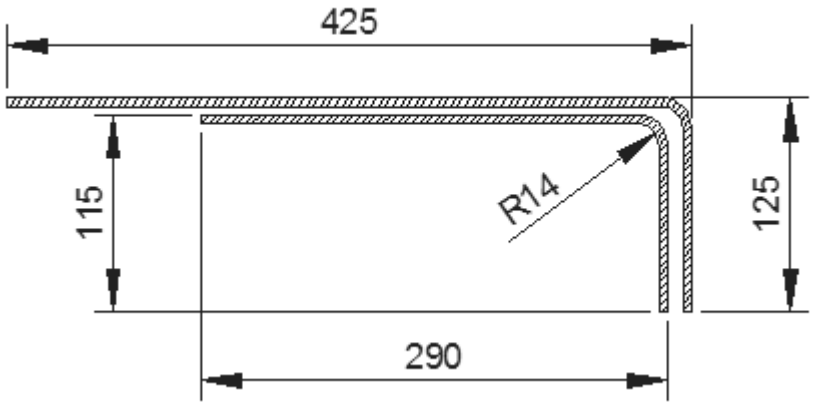
Broj radnika: 1

Na ovom radnom mjestu pripremaju se spojne trake za interkonekciju nizova ćelija pri izlasku iz Komax stroja. Proces rezanja traka je automatiziran i prosječno iznosi 2 sec, ovisno o duljini trake. Operater mora podesiti tražene duljine i stroj sam narezuje potrebnu količinu. Operater zatim lemi spojne trake u L – profil. Pri rukovanju potrebno je nositi zaštitne rukavice kako se trake ne bi zaprljale i kasnije lošije provodile električnu energiju. Za izradu jedne gotove spojne trake potrebno je ukupno 10 sec. Za jedan modul potrebne su 4 spojne trake, dakle ukupno vrijeme izrade je 4 * 10 sec = 0,67 min. Ova operacija je priprema za proizvodnju.

- vrijeme izrade jedne spojne trake: t_{st} = 0,17min
- vrijeme izrade 4 spojne trake za jedan modul: $t_{4st} = t_{st} * 4$ = 0,67 min



Slika 8. Stroj RC05A – stroj za rezanje spojnih traka [19]



Slika 9. Nacrt spojne trake

4.2. RS2 – Rezanje izolacijske, EVA (etilen vinil acetat) i pozadinske folije

Stroj: FC200A

Broj radnika: 1

Na ovom radnom mjestu režu se potrebne folije za fotonaponski modul. Zadatak operatera je dopremiti i namjestiti foliju u stroj te pokrenuti ciklus rezanja. Rezanje je automatizirano i ciklus rezanja folije za jedan modul iznosi 4 sec. Operater slaže narezane folije i mora biti stalno prisutan kod stroja. Za ovaj proizvodni postupak lako je definirati cikluse proizvodnje jer uglavnom nema neplaniranih problema. Izuzetak je kada je pozadinska folija krivo namotana na balu, pogreškom proizvođača, te se ciklus rezanja folije produžuje za 30 – 50% početnog vremena zbog savijanja folije u stroju.

Vremena za stroj FC200A:

- vrijeme pripreme: t_{pz} = 11 min – ovo je prosječno vrijeme dobiveno mjerenjem u koje spada čišćenje noža nakon rezanja, uzimanje bale folije s palete, montiranje na stroj, odnošenje narezanih folija na drugi stol te pokretanje novog ciklusa rezanja
- vrijeme rezanja: t_r = 4 sec – zadano strojem

- vrijeme slaganja nakon rezanja i ponovna priprema noža: t_s = 18 sec
- vrijeme rezanja bale EVA folije: t_{EVA} = 24 min
- vrijeme rezanja bale pozadinske folije: t_{pf} = 1 h

Mjerenjem je ustanovljeno da ciklus rezanja jedne bale EVA folije iznosi prosječno 24 min.

Ciklus rezanja jedne bale pozadinske folije iznosi prosječno 1 h, a ukoliko je bala pogrešno namotana, ciklus traje od 1 h 20 min do 1 h 30 min.

Nakon rezanja pozadinske folije obavezno je čišćenje stroja jer se zbog statičkog elektriciteta ostaci od rezanja lijepe za EVA foliju što nije dopušteno.

Operacije rezanja folija su priprema za proizvodnju.

4.3. RS3 – Unos stakla

4.4. RS4 – Unos solarnih ćelija

Stroj: Komax GL20 i 2 x Komax Xcell 3400

Broj proizvodnih linija: 2

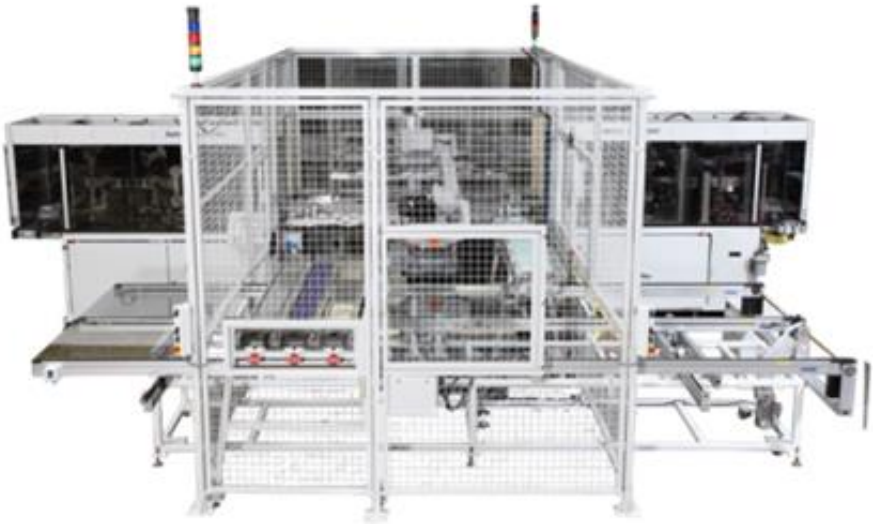
Broj operatera po stroju: 1

Ova radna mjesta su obrađena zajedno jer sve operacije obavlja jedan operater. Pri radnom mjestu 3, operater stavlja staklo u Komax GL20, čisti ga izopropilnim alkoholom i prekriva EVA folijom, postavlja dvije teflonske trake za interkonekciju spojnih traka na sljedećem radnom mjestu i postavlja dokumentacijski list za modul. Mjerenjem je ustanovljeno da je za cjelokupan ciklus pripreme stakla, operateru prosječno potrebno 1 min 25 sec (sa standardnom devijacijom 26 sec). Ciklus dvoje Komax xcell 3400 stroja koji povezuju solarne ćelije u niz i kada rade u paru iznosi 3 min 40 sec za izradu 6 nizova po 10 ćelija, to jest za jedan cjelokupan modul.

- vrijeme pripreme stakla: t_{ps} = 1,42 min
- vrijeme izrade SV60 modula: t_{SV60}= 3,7 min



Slika 10. Komax Xcell 3400 – stroj za lemljenje ćelija u nizove [20]



Slika 11. Komax GL20 sa 2 Komax Xcell 3400 uređaja [20]

Pri radnom mjestu 4, koje se sastoji od 2 stroja za unos ćelija, operater mora održavati spremnike solarnih ćelija i spojnih traka (3 koluta) punim. U svaki stroj maksimalno stane po 3 punjenja od 200 solarnih ćelija koje su potrebne za izradu 10 SV60 modula (3 * 200 / 60 = 10) ukoliko su sve ćelije ispravne. Zamjena spojnih traka se ne obavlja često zbog njihove velike

duljine i ne traje duže od 30 sec po kolutu, pa se to vrijeme može zanemariti. Raspakiravanje solarnih ćelija i stavljanje u stroj traje prosječno 30 sec i obavlja se često, to jest nakon izrade svakih 10 solarnih panela.

- vrijeme zamjene spojnih traka: t_{zst} = 0,5 min
- vrijeme unosa solarnih ćelija (200 kom): $t_{usć}$ = 0,5 min

Operacije unosa solarnih ćelija i spojnih traka smatraju se kao priprema za proizvodnju, dok unosom stakla u Komax GL20 uređaj, počinje proizvodnja.

4.5. RS5 – Povezivanje ćelija, postavljanje EVA-e i pozadinske folije

4.6. RS6 – Unos stakla s ćelijama i folijama u laminator

Radno mjesto se sastoji od 2 radna stola.

Broj radnih mjesta: 2 (za svaku Komax GL20 liniju)

Broj radnika po liniji: 4

Na ovim radnim mjestima vrši se interkonencija stringova ćelija nakon izlaska iz Komax stroja, postavljanje EVA-e, pozadinske folije i vrši se mjerenje napona. Na svakom stolu rade po dvoje radnika, u paru. Odmah pri izlasku vrši se glavna interkonekcija stringova te se modul prosljeđuje na sljedeći stol gdje se obavlja provjera interkonekcije i mjerenje napona. Nakon toga dvoje operatera stavljaju solarni modul na traku na uređaju za laminiranje. Maksimalno vrijeme jedne interkonekcije zadano je ciklusom izrade modula Komax GL20 stroja, a koji iznosi t_{SV60} = 3,7 min. Mjerenjem je ustanovljeno da vrijeme interkonekcije za jedan stol iznosi prosječno 3 min 17 sec (sa standardnom devijacijom 30 sec). Ovdje je jedino izdvojeno vrijeme postavljanja modula na sljedeću operaciju iz razloga što moraju biti postavljeni u točno određeni položaj, definiran oznakama na pokretnim trakama, kako ne bi izlazili prljavi od rastaljene plastične folije od prijašnjeg ciklusa laminiranja.

- vrijeme interkonekcije (po jednom stolu, za jedan modul): t_{ik} = 3,28 min
- vrijeme postavljanja modula na laminator: t_{pl} = 0,17 min

Odmah se može primjetiti kako je $t_{ik} < t_{SV60}$, to jest operateri na interkonekciji mogu obraditi sve izašle module iz Komax linije.

4.7. RS7 – Izlaz stakla s ćelijama i folijama iz laminatora

4.8. RS8 – Rezanje viška EVA-e, pozadinske folije, postavljanje spojne kutije, čišćenje

Radno mjesto se sastoji od 4 glavna radna stola i jednog pomoćnog.

Broj radnika: 3

Troje radnika obavlja potrebne radnje na dvije radne stanice. Uzimaju module (dvojica po modulu) nakon izlaska iz laminatora, uzimaju i sortiraju dokumentaciju, obrađuju module i stavljaju ih na pokretnu traku prema sljedećoj operaciji. Jedan radnik priprema spojne kutije za ljepljenje, dok druga dvojica čiste i pripremaju module. U proizvodnom pogonu instalirane su dvije linije laminatora (3S Modultec) od kojih je jedan s komorom za hlađenje, a drugi je bez nje. Kapacitet svakog laminatora je 4 modula standardnih dimenzija za SV60. Vrijeme ciklusa svakog laminatora je 15 min. Mjerenjem je dobiveno vrijeme obrade 4 modula u trajanju od 6 min 55 sec (sa standardnom devijacijom od 1 min 27 sec). Vrijeme obrade može ozbiljnije varirati zbog povremenog dodatnog čišćenja modula koji izlaze prljavi iz laminatora zbog zapečene plastične folije.

- vrijeme ciklusa laminacije: $t_{lam} = 15$ min
- vrijeme obrade 4 modula: $t_{4m} = 6{,}92$ min
- vrijeme obrade 1 modula: $t_{1m} = t_{4m} / 4 = 6{,}92 / 4 = 1{,}73$ min

Odmah se može primjetiti kako operateri mogu obraditi 8 modula s obje linije laminatora za 13,84 min ($t_{4m} * 2 = 13{,}84$ min). Ovo je bitno ukoliko obje linije kreću paralelno i svakih 15 min izlazi 8 novih modula.

4.9. RS9 – Priprema za montažu aluminijskog okvira

Radno mjesto se sastoji od rotacijskog stola.

Broj radnika: 1

Na ovom radnom mjestu operater priprema modul za uokviravanje. Lijepi samoljepljivu traku za brtvljenje, ručnim uređajem po rubu modula i premazuje je tekućinom za lakše montiranje aluminijskog okvira. Mjerenjem je dobiveno vrijeme ciklusa pripreme jednog modula koje iznosi 50 sec. Moguće su greške kod ljepljenja trake pa se ciklus oduži na prosječno 2 min 30 sec. Ujedno radi dugog konvejera preko kojeg dolaze moduli, operater ponekad čeka transport po 15 sec. Na oslobođenje sljedeće stanice, ukoliko proizvodnja neprekidno teče, operater čeka 30 – 40 sec.

- vrijeme ljepljenja trake: $t_{ljt} = 0,83$ min

4.10. RS10 – Montiranje aluminijskog okvira

Stroj: FA200S

Broj radnika: 2

Na ovom radnom mjestu vrši se uokviravanje modula aluminijskim okvirom. Operateri moraju stavljati okvire u stroj koji ih zatim automatski montira. Vrijeme montaže je zadano ciklusom stroja i bitno ne varira. Tvornički ciklus koji je zapravo i minimalno vrijeme montaže iznosi 1 min, dok je mjerenjem dobiveno vrijeme od 1 min 20 sec. Nakon uokviravanja, operateri stavljaju module na palete.

- vrijeme montaže okvira: $t_{mon} = 1,33$ min



Slika 12. FA200S – stroj za uokviravanje [19]

4.11. RS11 – Čišćenje nakon uokviravanja

Radno mjesto se sastoji od jednog radnog stola.

Broj radnika: 2

Na ovom radnom mjestu vrši se čišćenje modula (popravljanje rubova, turpijanje kuteva…) od srhova nakon uokviravanja i lijepe se serijski brojevi modula. Mjerenjem je dobiven ciklus čišćenja modula koji iznosi prosječno 1 min 15 sec. Nakon čišćenja, operateri slažu module na paletu.

- vrijeme čišćenja modula: $t_{čiš}$ = 1,25 min

4.12. RS15 – Elektro-luminiscentno testiranje

Stroj: Xinspect 4000s

Broj radnika: 2

Nakon čišćenja svaki fotonaponski modul prolazi elektro-luminiscentno ispitivanje. Za svaki modul rezultati se pohranjuju u bazu podataka. Greške i oštećenja uočena tokom ovog ispitivanja određuju klasu u koju se modul svrstava. Dvoje operatera stavljaju module s palete u uređaj, vrše

testiranje te stavljaju module na odgovarajuće palete (prema klasi). Mjerenjem je utvrđen ciklus ispitivanja jednog modula i prosječno iznosi 2 min. Dodatno se na ovom stroju vrše ispitivanja nelaminiranih modula nakon izlaska iz radne stanice 5, nakon interkonekcije. Razlog tome je rano uočavanje potencijalnih grešaka u lemljenju ćelija. Ispituju se 5 modula sa svake Komax linije i to odmah pri početku smjene i nakon pauze.

- vrijeme elektro-luminiscentnog ispitivanja: t_{el} = 2 min



Slika 13. Xinspect 4000S – stroj za elektro-luminiscentno testiranje [21]

4.13. RS12 – Testiranje fotonaponskih modula (SunSimulator)

4.14. RS13 – Završna kontrola

4.15. RS14 – Pakiranje

Stroj: QuickSun 540LA

Broj radnika: 4

Posljednji korak prije pakiranja modula je završno testiranje QuickSun 540LC uređajem kojim se određuju U – I karakteristike svakog modula. Rezultati mjerenja se prikazuju grafički u osnovnom prozoru QuickSun softvera. Ključne vrijednosti se izračunavaju na temelju izmjerenih vrijednosti struje i napona. Temperaturna korekcija i korekcija osvjetljenja se provode automatski. Sve ključne parametre određene mjerenjem je moguće naknadno pregledavati.

QuickSun softver posjeduje bazu proizvoda u kojoj su dane informacije o različitim modelima modula. Svako mjerenje je povezano s odgovarajućim modelom modula u bazi proizvoda. Podaci iz baze proizvoda se koriste za proračun učinkovitosti modula, provedbu temperaturne korekcije i ostalih parametara, pa je stoga vrlo važno da budu unesene točne vrijednosti i da se one naknadno ne mijenjaju bez posebnog odobrenja. Unos modula u QuickSun 540LA uređaj obavljaju dvojica operatera i vrše ispitivanje, dok druga dvojica na izlazu iz uređaja vrše završnu kontrolu i pakiraju gotove fotonaponske module u kartonske kutije na paletama. Mjerenjem je dobiven ciklus testiranja fotonaponskog modula u trajanju od 1 min 10 sec kojeg obavljaju dvojica operatera. Vrijeme rada druge dvojice koji vrše završnu kontrolu, koja je vizualnog tipa, i pakiraju module na palete traje prosječno 45 sec.

- vrijeme ispitivanja U – I karakteristika modula: t_{U-I} = 1,17 min
- vrijeme završne kontrole i pakiranja: $t_{zk/p}$ = 0,75 min



Slika 14. QuickSun 540LA – stroj za testiranje U – I karakteristika [19]

4.16. RS16 – Stol za popravak nizova ćelija

Radno mjesto sastoji se od 1 radnog stola.

Broj radnika: 1

Ovdje se vrši popravak nizova ćelija nakon uočavanja grešaka pri izlasku iz Komax uređaja ili nakon preventivnog ispitivanja (5 modula na početku smjene i nakon pauze, prije laminiranja) u Xinspect 4000s uređaju. Greške mogu biti različitog tipa, tako da vrijeme popravka bitno varira i teško ga je mjerljivo i vjerodostojno prikazati. Ovo radno mjesto nije direktno vezano za nesmetan tijek proizvodnje jer se ovdje pokušava popraviti niz ćelija da se ne bace i da se kasnije ponovno mogu ugraditi u fotonaponski modul, dok glavna proizvodnja ide svojim tokom. Mjerenje vremena na ovom radnom mjestu iz danih razloga nije vršeno.

4.17. RS17 – Stol za pripremu zaštitne folije

Radno mjesto se sastoji od 1 radnog stola.

Broj radnika: 1

Na ovom mjestu radnik reže zaštitne folije koje se kasnije koriste kod interkonekcije. Zaštitne folije štite od nastanka kratkog spoja. Mjerenjem je dobiven ciklus rezanja jedne folije od 10 sec. Ova operacija spada u pripremu za proizvodnju.

- vrijeme pripreme jedne zaštitne folije: $t_{pzf} = 0,17$ min

U pogonu za normalan rad uključena su još petorica radnika, a to su u kontroli kvalitete 2, vođenje sirovina 1, održavanje 1 i voditelj smjene 1 radnik.

5. PRIKAZ TRAJANJA OPERACIJA POMOĆU GANTOGRAMA

Gantogram [22] je tip stupčanog grafikona koji se koristi za grafički prikaz rasporeda projekta. Izumio ga je Henry Laurence Gantt, 1903. godine. Gantogrami ilustriraju početno i krajnje vrijeme nekih nepromjenjivih i sažetih elemenata projekta. Nepromjenjivi ili terminalni elementi i sažeti elementi obuhvaćaju podjelu radne strukture (eng. WBS – work breakdown structure). Gantogram se promatra u koordinatnom sustavu, pri čemu se na x-osi nalaze vremenske (terminske) jedinice, a na y-osi objekti terminiranja, to jest operacije/aktivnosti. Za vrijeme je najvažnije projektno vrijeme koje je potrebno ili predviđeno za odvijanje svih aktivnosti u jednom projektu. Kod svakog planiranja potrebno je uzeti u obzir i vremensku rezervu. Vremenska rezerva se najčešće koristi kod onih aktivnosti koje nisu na kritičnom putu (onaj koji u projektu traje najdulje, odnosno zbroj trajanja aktivnosti u njima je najveći). Potrebno je primjetiti razliku između realnog, to jest stvarnog vremena i planiranog vremena. Ta vremena se mogu paralelno prikazati na gantogramu, ali najvažniji elementi u prikazu vremena su označivači koji predstavljaju odnose aktivnosti, te označavaju početak i kraj. Gantovi stupovi su glavni pokazatelji protoka vremena unutar grafikona za neku aktivnost, na njima se označivači postavljaju kao markeri važnih događaja. Mogu biti povezani linijama povezivanja ili dodatnim linijama koje pokazuju ovisnosti između aktivnosti u projektu.

Gantov dijagram se izrađuje u 3 koraka:

1) Planiranje aktivnosti dijagrama – za svaku aktivnost koja se mora obaviti, potrebno je odrediti vrijeme iniciranja, procjenu trajanja te da li se aktivnost može obaviti paralelno ili u slijedu s drugom aktivnošću.

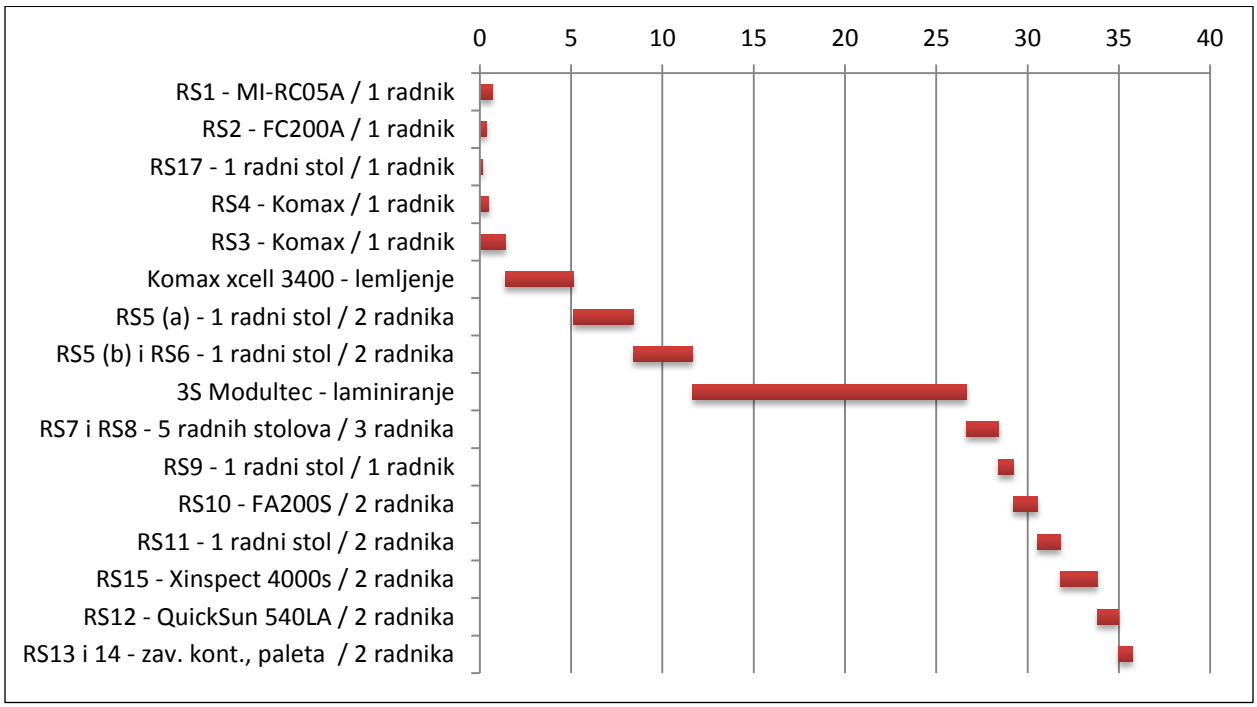
2) Transformacija tablice u dijagram sa stupcima.

3) Razvoj dijagrama aktivnosti prema redoslijedu obavljanja – crtaju se paralelne operacije ili u slijedu u vremenskim intervalima. Tako se dobije krajnje vrijeme trajanja cijelog projekta. Dobiva se kritični put aktivnosti (čije je vrijeme trajanja aktivnosti najduže).

Prednosti gantogramskog prikaza su laka shvatljivost, vizualnost i fleksibilnost vezano za promjene unutar projekta te nadogradnje.

Nedostatci se pojavljuju kod složenijih projekata kod kojih se isprepliću aktivnosti i označivači pa dolazi do nepreglednosti prikaza. Isto tako teško je u gantogramu prikazati samu veličinu projekta, njegovu kompleksnost i utjecaj na korištenje resursa. Zbog toga se smatra da gantogram ne daje dovoljno detaljan prikaz cjelokupnog projekta i njihovih djelova.

Na temelju izmjerenih podataka u proizvodnom pogonu Solvisa cjelokupni proces proizvodnje prikazan je u sljedećem gantogramu.



Gantogram 1. Vremena na pojedinoj radnoj stanici

Vremena korištena pri izradi gantograma:

RS1 – MI-RC05A / 1 radnik: t_{4st} = 0,67 min

RS2 – FC200A / 1 radnik: $t_r + t_s$ = 4 sec + 18 sec = 0,37 min

RS17 – 1 radni stol / 1 radnik: t_{pzf} = 0,17 min

RS4 – Komax / 1 radnik: $t_{usć}$ = 0,5 min

RS3 – Komax / 1 radnik: t_{ps} = 1,42 min

Komax xcell 3400 – lemljenje: t_{SV60} = 3,7 min

RS5 (a) – 1 radni stol / 2 radnika: t_{ik} = 3,28 min

RS5 (b) i RS6 – 1 radni stol / 2 radnika: t_{ik} = 3,28 min

3S Modultec – laminiranje: t_{lam} = 15 min

RS7 i RS8 – 5 radnih stolova / 3 radnika: t_{1m} = 1,73 min

RS9 – 1 radni stol / 1 radnik: t_{ljt} = 0,83 min

RS10 – FA200S / 2 radnika: t_{mon} = 1,33 min

RS11 – 1 radni stol / 2 radnika: $t_{čiš}$ = 1,25 min

RS15 – Xinspect 4000s / 2 radnika: t_{el} = 2 min

RS12 – QuickSun 540LA / 2 radnika: $t_{U\text{-}I}$ = 1,17 min

RS13 i 14 – zav. kont., paleta / 2 radnika: $t_{zk/p}$ = 0,75 min

Operacije koje se vrše na RS1, RS2, RS17 i RS4 smatraju se pripremama za proizvodnju i paralelno se izvršavaju, dok ciklus proizvodnje fotonaponskog modula počinje operacijom unosa stakla, to jest na RS3. Sve do kraja proizvodnje operacije su serijske. Vremena na apscisi izražena su u minutama. Iz gantograma se može isčitati kako vrijeme izrade jednog fotonaponskog modula traje 36 min. Količina proizvedenih modula ovisi o broju Komax Xcell 3400 linija za lemljenje, broju 3S Modultec linija za laminiranje i njihovom kapacitetu. Kako su instalirane dvije Komax GL20 i 3S Modultec linije (svaki laminator kapaciteta 4 modula), proizvedena količina raste. S obzirom da svaka Komax linija izbacuje jedan modul svakih t_{SV60} = 3,7 min, a sve sljedeće operacije do laminatora su kraće, ne postoji usko grlo. Dakle svakih t_{SV60} * 4 = 14,8 min ciklus laminacije može početi. Kada se usporede vremena obrade na svim narednim radnim stanicama do pakiranja gotovog proizvoda, jedino na RS15 pri elektro-luminiscentnom ispitivanju postoji usko grlo. Ciklus na toj radnoj stanici iznosi t_{el} = 2 min, a vrijeme potrebno za ispitivanje 8 modula (2 3S Modultec laminatora) prema tome iznosi $t_{8el} = t_{el}$ * 8 = 16 min koje je veće od ciklusa laminacije t_{lam} = 15 min. Ujedno na RS15 potrebno je ispitati dodatnih 10 modula (5 na početku smjene i 5 nakon pauze) tokom jedne smjene, što stvara dodatnih $t_{5,5el} = t_{el}$ * 10 = 20 min. Kada se oba razloga uzmu u obzir, te radno vrijeme od 8 sati (t_{rad} = 7,5 sati rada, 0,5 sati pauza) dobije se kapacitet RS15 koji je i maksimalni kapacitet proizvodnje od 215 komada fotonaponskih modula po smjeni.

Izračun: [t_{rad} (h) * 60 – $t_{5,5el}$ (min)] / t_{8el} * 8 = (7,5 * 60 – 20) / 16 * 8 = 215 modula po smjeni

Kada bi se ubrzao postupak elektro-luminiscentnog testiranja i time uklonilo usko grlo kapacitet proizvodnje po smjeni bi iznosio 230 komada.

Izračun: $[t_{rad}\ (h) * 60 - t_{5,5el}\ (min)] / t_{lam} * 8 = (7,5 * 60 - 20) / 15 * 8 = 230$ modula po smjeni

6. IZRADA SIMULACIJSKOG MODELA SOLVIS PROIZVODNOG POGONA

Model je izrađen u Siemens Tecnomatix softwareu. Na temelju nacrta u AutoCadu napravljen je raspored strojeva i radnih mjesta. Prethodnim mjerenjem su utvrđeni ciklusi za pojedine operacije na svakom stroju i broj potrebnih radnika. Ti podatci su korišteni u izradi modela. Vremena na strojevima su zadana prosječnim vremenom obrade i standardnom devijacijom. Radi pojednostavljenja, pri transportu materijala nisu definirana vremena nego je uključena opcija "skakanja" materijala s jedne stanice na drugu. Isto tako nije definirana brzina hoda radnika, odnosno i on "skače" s jedne stanice na drugu. U stvarnosti materijal se kreće konvejerima ili ga radnici nose. Kada bi se uzela ta vremena u obzir, iskoristivost radnika bi bila veća, to jest, sadašnji prikaz simulacije bi tako mogao biti točniji, a radnicima efikasnost veća. Isto tako neke radne stanice su spojene u jednu radi jednostavosti (operacije unos stakla u laminator, laminacija i izlaz stakla iz laminatora su spojene u jedan objekt). Za sve operacije prikazane u simulaciji korištene su 34 radne pozicije koje vrše 22 radnika. Neki radnje zahtjevaju po dvojicu radnika, kao što je nošenje fotonaponskog modula.

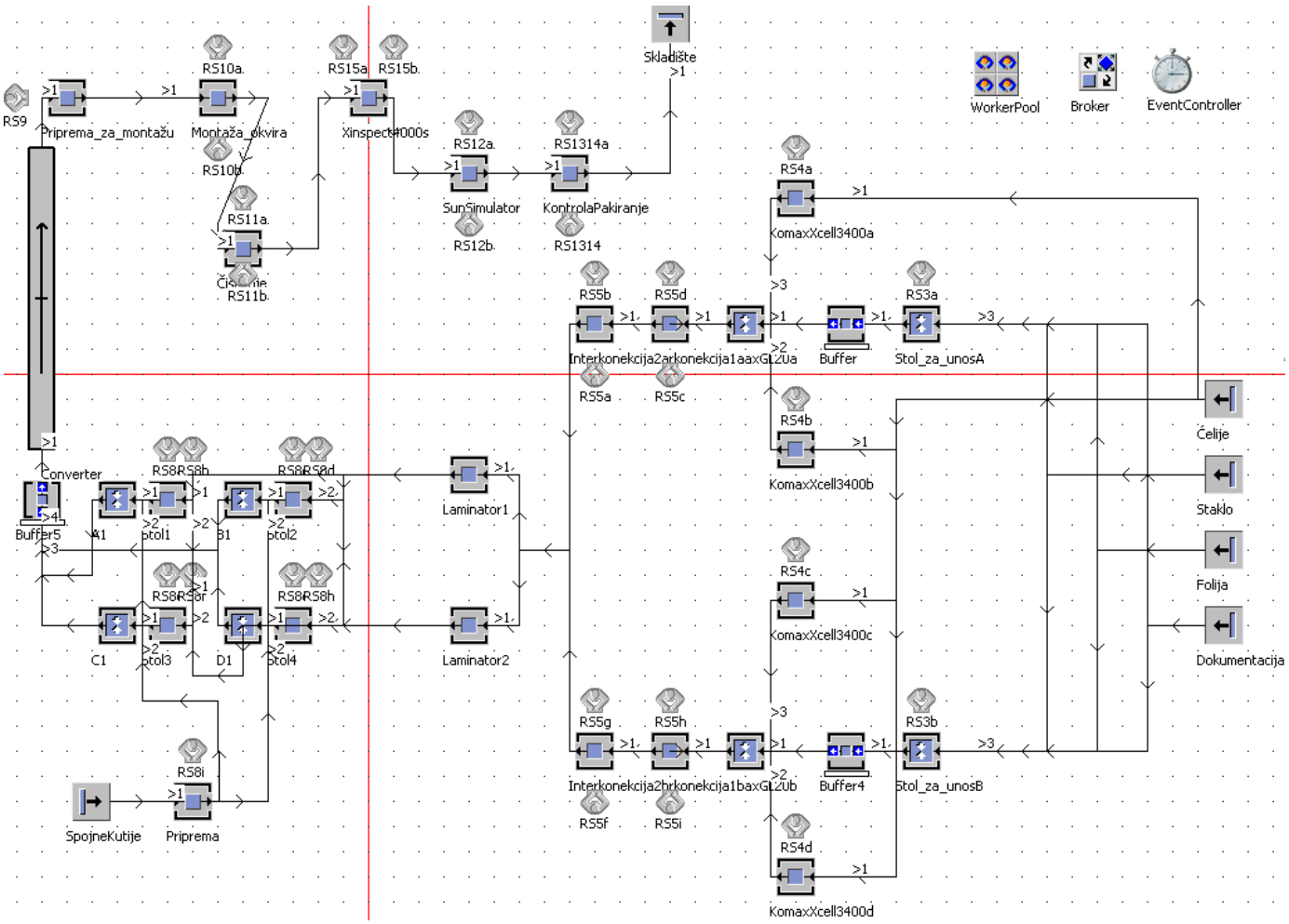
Za ulaz materijala korištena su 5 objekta za: Ćelije, Staklo, Folije, Dokumentacija i SpojneKutije

Izlaz materijala je samo jedan, a to je: Skladište

Objekti za pojedinačnu obradu su: KomaxXcell3400a, KomaxXcell3400b, KomaxXcell3400c, KomaxXcell3400d, Interkonekcija1a, Interkonekcija1b, Interkonekcija2a, Interkonekcija1b, Laminator1, Laminator2, Stol1, Stol2, Stol3, Stol4, Priprema, Priprema_za_montažu, Montaža_okvira, Čišćenje, Xinspect4000s, SunSimulator, Kontrola_Pakiranje

Objekti za sastavljanje su: Stol_za_unosA, Stol_za_unosB, KomaxGL20a, KomaxGL20b, A1, B1, C1, D1

Objekti za pohranu materijala (eng. buffer): Buffer4, Buffer5



Slika 15. Model proizvodog pogona Solvis izrađen u Tecnomatixu

Nakon provedbe simulacije u trajanju od 7.5 h dobiveni su sljedeći rezultati.

Object	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Mean Life Time	Mean Exit Time	Total Throughput	Throughput per Hour	Throughput per Day
Skladište	53.25%	0.00%	46.75%	0.00%	0.00%	0.00%	47:30.7746	2:00.0472	213	28.4	681.6

Tablica 4. Rezultati simulacije – skladište

Ukupno je proizvedeno 213 komada solarnih panela što okvirno odgovara prethodno izračunatoj količini od 215 komada. Prosječno svakih 2 min dolazi novi solarni panel na skladište.

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
Stol_za_unosA	40.67%	0.00%	0.00%	59.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
KomaxGL20a	97.59%	0.00%	0.33%	2.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Interkonekcija1a	92.41%	0.00%	1.31%	6.28%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Interkonekcija2a	91.63%	0.00%	1.98%	6.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Laminator1	97.30%	0.00%	2.70%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Stol_za_unosB	40.66%	0.00%	4.95%	54.40%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
KomaxGL20b	97.45%	0.00%	0.33%	2.21%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Interkonekcija1b	92.27%	0.00%	1.72%	6.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Interkonekcija2b	91.49%	0.00%	2.21%	6.30%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Laminator2	97.16%	0.00%	2.84%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Priprema_za_montažu	40.32%	0.00%	10.09%	49.59%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Montaža_okvira	64.14%	0.00%	6.38%	29.48%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Čišćenje	63.84%	0.00%	4.73%	31.43%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Xinspect4000s	95.25%	0.00%	4.75%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
SunSimulator	55.36%	0.00%	44.64%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
KontrolaPakiranje	35.50%	0.00%	64.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Skladište	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Stol4	22.34%	0.00%	77.66%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Stol2	22.34%	0.00%	77.66%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Stol1	22.34%	0.00%	77.66%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Stol3	22.34%	0.00%	77.66%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Tablica 5. Rezultati simulacije – iskoristivost

Pojediničnim prikazom može se vidjeti iskoristivost (označena zeleno) pojedinih radnih stanica. Najveću iskoristivost imaju Komax GL20 uređaji, laminatori, Xinspect4000s i zatim poslovi na interkonekciji. Iskoristivost za Stol1, Stol2, Stol3 i Stol4 potrebno je promatrati zajedno jer je mjerenje ciklusa vršeno po operaciji. Dakle za radna mjesta RS7 – Izlaz stakla s ćelijama i folijama iz laminatora i RS8 – Rezanje viška EVA-e, pozadinske folije, postavljanje spojne kutije, čišćenje, koja ti stolovi predstavljaju iznosi 22,34% * 4 = 89,36%. Najmanju iskoristivost imaju radna mjesta RS13 i RS14, odnosno KontrolaPakiranje, zatim Priprema_za_montažu, odnosno RS9 i testiranje na SunSimulatoru. Ujedno ciklusi za te radnje su najkraći.

Object	Portion	Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
Stol_za_unosA	40.67%	122	3:03:00.0000	1:30.0000	0.0000
KomaxGL20a	97.59%	120	7:19:10.0000	3:39.5833	4.5644
Interkonekcija1a	92.41%	119	6:55:50.0000	3:29.6639	3.6668
Interkonekcija2a	91.63%	118	6:52:20.0000	3:29.6610	3.6823
Laminator1	97.30%	117	7:17:50.0000	3:44.5299	5.0848
Stol_za_unosB	40.66%	122	3:02:57.0000	1:29.9754	0.2716
KomaxGL20b	97.45%	120	7:18:32.0000	3:39.2667	8.0333
Interkonekcija1b	92.27%	119	6:55:12.0000	3:29.3445	7.1502
Interkonekcija2b	91.49%	118	6:51:42.0000	3:29.3390	7.1805
Laminator2	97.16%	117	7:17:12.0000	3:44.2051	8.5979
Priprema_za_montažu	40.32%	218	3:01:27.0000	49.9404	0.8805
Montaža_okvira	64.14%	217	4:48:37.0000	1:19.8018	2.9190
Čišćenje	63.84%	216	4:47:17.0000	1:19.8009	2.9258
Xinspect4000s	95.25%	215	7:08:37.0000	1:59.6140	5.6606
SunSimulator	55.36%	214	4:09:07.0000	1:09.8458	2.2558
KontrolaPakiranje	35.50%	213	2:39:45.0000	45.0000	0.0000
Skladište	0.00%	213	0.0000	0.0000	0.0000
Stol4	22.34%	58	1:40:32.0000	1:44.0000	0.0000
Stol2	22.34%	58	1:40:32.0000	1:44.0000	0.0000
Stol1	22.34%	58	1:40:32.0000	1:44.0000	0.0000
Stol3	22.34%	58	1:40:32.0000	1:44.0000	0.0000

Tablica 6. Rezultati simulacije – srednja vremena

Rezultati dani u tablici prikazuju srednja vremena (sa standardnim devijacijama) za obradu na pojedinom radnom mjestu. Najduže traje operacija laminiranja 3:44 min, ali to je izraženo za jedan modul, dakle ciklus traje 15 min (za 4 modula, koliki je kapacitet laminatora). Zatim slijede operacije na Komax GL20 uređaju i interkonekciji. Najkraće traje operacija na SunSimulatoru, montaža okvira i čišćenje.

7. PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA PROIZVODNOG POGONA

U sljedećim točkama promatrat će se prijedlozi poboljšanja proizvodnog pogona u zasebna dva dijela. U prvom se analizira i predlaže poboljšanje skladišta s obzirom da trenutno nije uređeno i moguće je uvesti skladište na unaprijed predviđeno mjesto u tlocrtu hale. U drugom dijelu predložena su poboljšanja samog proizvodnog procesa na radnim stanicama kod kojih je moguće provesti promjene i dobiti željene pozitivne rezultate.

7.1 Prijedlozi poboljšanja skladišta

Trenutno stanje prema kojem se skladište gotovi proizvodi nije primjereno riješeno. Gotovi proizvodi pakirani u kartonske kutije razmještaju se u prostor koji je namjenjen za buduće skladište. Radi ograničenog prostora, kutije se dodatno razmještaju unutar proizvodnog pogona što otežava rad i tok materijala kroz proizvodnju. Dimenzije skladišnog prostora uzete su iz nacrta hale i iznose 7 x 24 metara, visine 6 metara. Trenutnim stanjem u skladišni prostor mogu se smjestiti proizvodi u 4 reda po 11 kutija. Na te kutije može se staviti maksimalno još jedan red zbog težine i mogućih oštećenja gotovih proizvoda. Dakle ukupno 4 x 11 x 2 = 88 kutija koje se mogu smjesiti u skladišni prostor. Na kraju skladišnog prostora nalazi se montažni zid kojeg je moguće preoblikovati u izlaz skladišta.

Za projektiranje skladišta potrebni su sljedeći podatci:

Dimenzije palete sa kutijom gotovih proizvoda: 1720 x 1050 x 1150 mm

Dimenzije skladišne hale: 7 x 24 x 5,5 m

Težina kutije proizvoda: 19 kg (jedan fotonaponski modul) x 30 (broj modula u jednom pakiranju) = 570 kg

Prema dimenzijama hale određeni je maksimalni broj kutija. Prema visini stanu 5500 / 1150 = 4.78; 4 kutije. Prema duljini 24000 / 1720 = 13.95; 13 kutija. Prema širini 7000 / 1050 = 6.66, 6 kutija. Dakle ukupni kapacitet skladišta sa maksimalnom iskoristivosti je 6 x 13 x 4 = 312 kutije. Takvim skladištem pokriva se cijela površina i potrebno je izmjeniti vanjski zid hale kako bi se

omogućio izlaz paleta. Regalno skladište koje se može izvesti je predloženo prema principu FiFo (first in first out) prikazano slikom. Tip FiFO skladišta je gravitacijski. Uvođenjem takvog sustava skladištenja povećava se kapacitet za 255% (312 / 88 = 3,55).

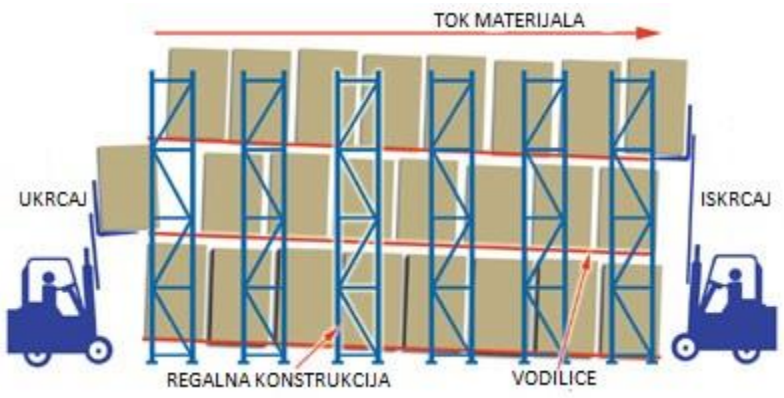
Obilježja FiFo skladišta su: [23]

- dinamičko skladištenje materijala koje se ostvaruje nosivom stazom regala koja može biti izvedena bez pogona (gravitacijski regali) s kutom nagiba 1 – 5 % ili s pogonom u obliku valjkaste, lančane, trakaste staze ili pruge te pomoću transportne platforme (skladišta s tako riješenim kretanjem materijala nazivaju se tunelna skladišta)

- standardne su duljine do 20 m, a visine do 12 m

- na ulazu i izlazu potrebno je najmanje jedno transportno sredstvo

Dodatna prednost takvog skladišta je mogućnost odlaganja pojedinih tipova proizvoda u određeni red skladišta. Time se postiže da je jedan tip proizvoda lako dostupan i uredno sortiran u skladištu, a ne ometa daljnje skladištenje drugih tipova proizvoda.



Slika 16. Prikazuje FiFo princip skladištenja robe [24]

Pri skladištenju po 4 palete u vis, potrebna je nosivost regalnog skladišta od 1262 kg/m^2.

Izračun: 570 kg x 4 / 1,806 = 1262 kg/m^2,

gdje je 570 kg težina jedne palete, 4 broj paleta skladištenih u vis i 1,806 m^2 površina jedne palete.

Montaža regalnog skladišta može se izvesti vezanjem za čeličnu konstukciju hale.

Za transport paleta potreban je viličar minimalne nosivosti 570 kg i minimalne visine podizanja tereta od 350 cm. Pregledom kataloga utvrđeno je kako tim zahtjevima odgovaraju svi regalni viličari te pojedini komisioni proizvođača Jungheinrich. Pregledom karakteristika raznih viličara, najpovoljniji je regalni viličar ETV 110 jer udovoljava svim zahtjevima te ima najmanji polumjer okretanja od 1515 mm što je bitno zbog vrlo ograničenog prostora u proizvodnom pogonu.



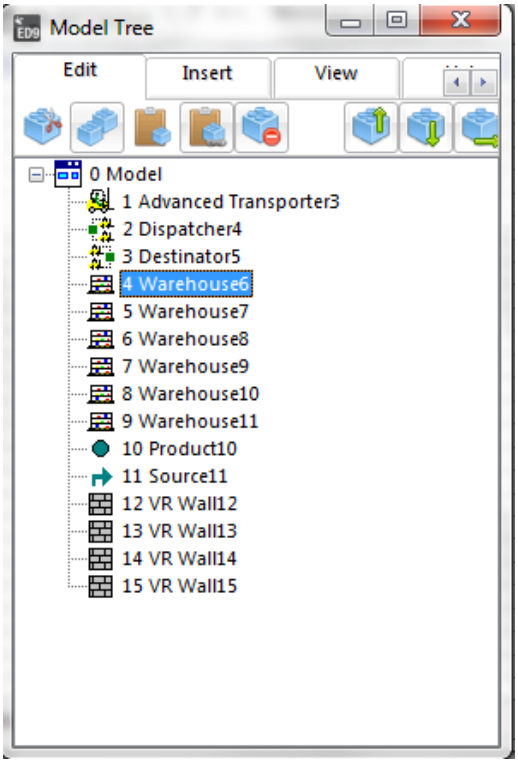
Slika 17. Viličar Jungheinrich ETV 110 [25]

Podaci	1.1	Proizvođač (kratica)		Jungheinrich
	1.2	Tvornička oznaka proizvođača		ETV 110
		G = vilica; E = ugrađen bočni pomak		GE
	1.3	Pogon		električni
	1.4	Rukovanje		sa sjedala
	1.5	Nosivost / teret	Q (t)	1
	1.6	Udaljenost težišta tereta	c (mm)	600
	1.8	Udaljenost tereta	x (mm)	3451)
		Stup pomaknut naprijed	x1 (mm)	170
	1.9	Razmak osovina kotača	y (mm)	1300

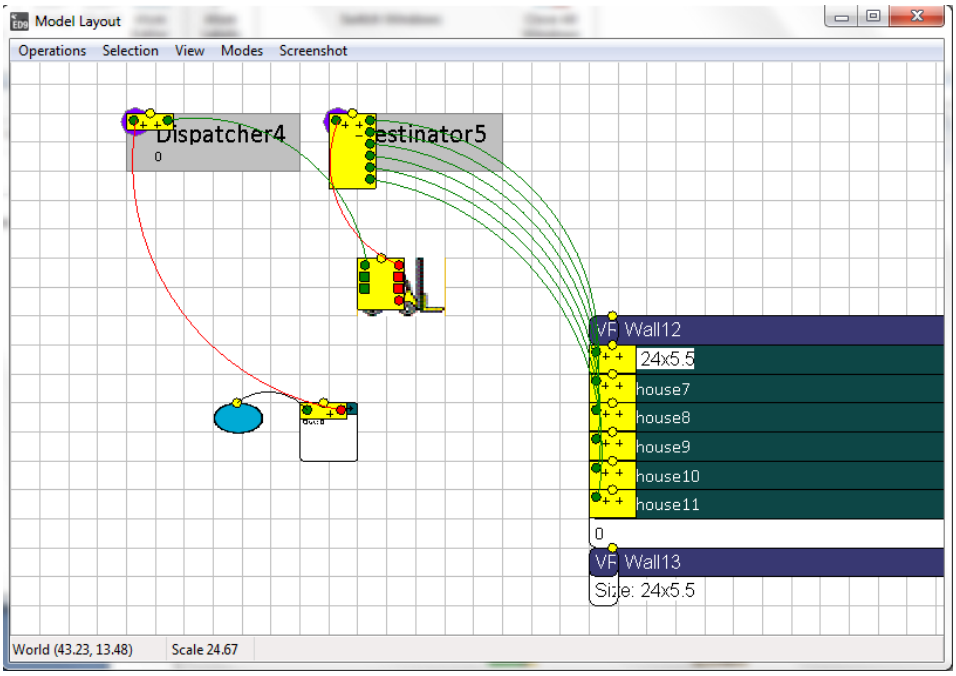
Tablica 7. Tehnički podaci viličara ETV 110 [25]

Simulacijski model regalnog skladišta je napravljen u software-u Incontrol Enterprise Dynamics ver. 9 Student Starter. Model je izrađen prema originalnim nacrtima hale i prikazuje stvarne veličine regalnog skladišta, viličara, paleta s kutijom, udaljenosti materijala i regala.

Model se sastoji od sljedećih atoma i veza:

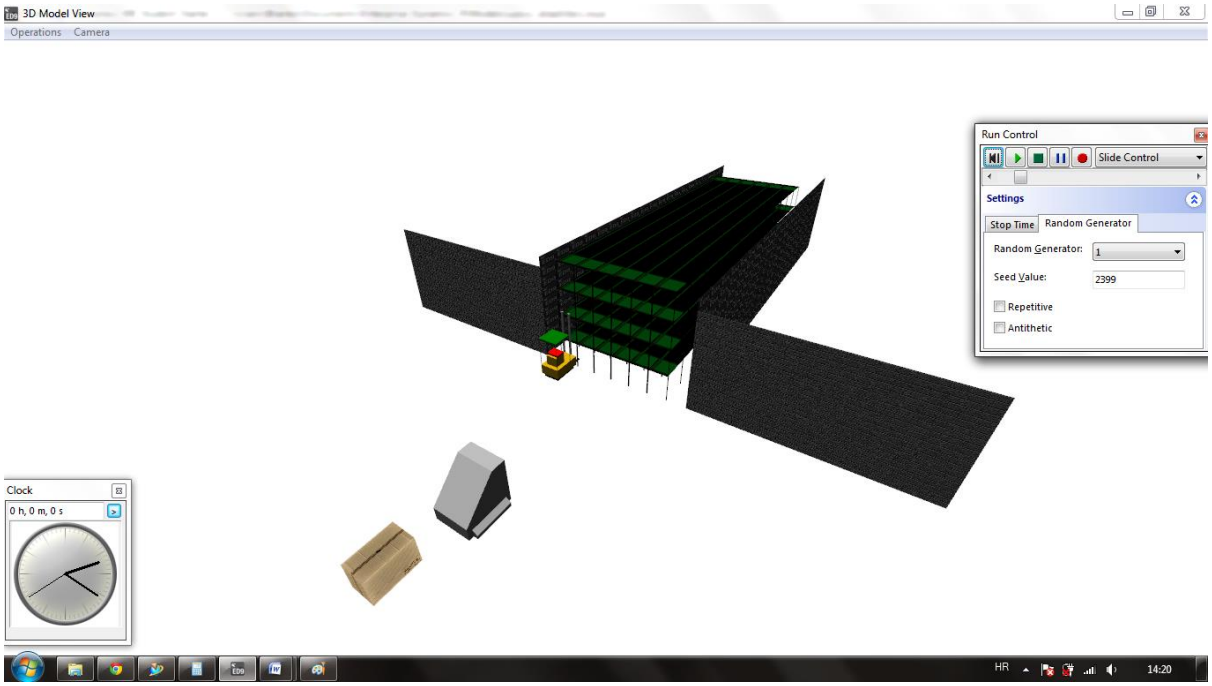


Tablica 8. Prikazuje korištene atome kod modela skladišta



Slika 18. Prikazuje veze između atoma kod modela skladišta

Pri izradi modela korišteno je vrijeme dolaska novog proizvoda na skladište koje je mjerenjem dobiveno u iznosu od 2 min. Vrijeme utovara i istovara palete jednog proizvoda je 10 sec. S obzirom kako u jedno pakiranje stane 30 fotonaponskih modula, potrebe za viličarem su vrlo male, to jest prosječno svakih jedan sat (2 x 30 = 60 min) odveze jednu paletu na regalno skladište. Uzevši u obzir maksimalni kapacitet proizvodnje fotonaponskih modela po smjeni od 215 komada, mogu se proizvesti (215 / 30 = 7,16) 7 paleta proizvoda. Prema tome, kapacitet skladišta od 312 palete može prihvatiti proizvode iz ukupno (312 / 7,16 = 43,6) 43 smjene.



Slika 19. 3D prikaz modela regalnog skladišta

7.2 Prijedlozi poboljšanja proizvodnje

Izradom i provedbom simulacije utvrđeno je kako maksimalni kapacitet tvornice definiraju dvije Komax linije za lemljenje ćelija i usko grlo na elektro-luminiscentnom testiranju koje smanjuje proizvodnju po smjeni za 15 komada. Glavni problem kod povećanja kapaciteta proizvodnje je vrlo ograničeni prostor hale koji je gotovo maksimalno iskorišten. Dakle prvi preduvjet za povećanje kapaciteta je izgradnja nove ili dogradnja postojeće hale. Počevši od pripremnih radnji za proizvodnju koje se odvijaju na radnim stanicama 1, 2, 17 i 4, one su dostatne za veći kapacitet proizvodnje i njih nije potrebno mjenjati. Sadašnji kapacitet dvaju Komax linija iznosi 645 komada dnevno (uzevši u obzir 3 smjene tokom dana), što daje snagu od 164,475 kW dnevno proizvedenih modula (pri izračunu je korištena snaga polikristalnog modula SV60-255). Za povećanje tog kapaciteta potrebno je uvesti novu liniju za koju, prema trenutno raspoloživoj površini hale, nema mjesta. Moguće je racionalizirati proizvodni proces uvođenjem manjih poboljšanja. Na izlazu iz Komax linija moguće je uvesti automatizirani izlaz modula i drugačiji raspored radne stanice 5. Novim rasporedom smanjuje se potreba za jednim radnikom po svakoj liniji, iz razloga što više ne bi bilo potrebe za nošenjem modula na sljedeću radnu stanicu, za što je do sada bilo potrebno 10 – 40 sekundi, ovisno o duljini puta. Moduli koje bi radnici obradili na RS5, automatiziranom linijom bi se transportirali i pozicionirali na laminatore. Potrebno je napomenuti da razmještaj laminatora nije moguć zbog njihove težine (13 200 kg) i kompleksnosti (stroj se mora rastaviti na više djelova i potrebno je povlačiti nove instalacije električne energije zbog visoke potrošnje jednog laminatora od 90 kW). Za svako razmještanje laminatora potrebna je isključivo tehnička služba proizvođača strojeva. Linija prije laminatora bi sadržavala spremnike modula koji bi regulirali potrebe laminatora te održavala cikluse laminaranje konstantnim. Ovim sustavom bi se ujedno postiglo idealno pozicioniranje modula na ulazu u laminatore. Sadašnjim unosom moguće su greške u obliku prljavih modula na izlazu iz laminatora zbog nejednolikog postavljanja modula. Pri izlazu iz laminatora linije 2 poželjno je montirati kotrljajuće kuglice kao na liniji 1, umjesto sadašnjih traka. Time se olakšava radnicima rukovanje modulima. Kod RS8 potrebno je uvesti okretne radne stolove što bi uvelike olakšalo rukovanje modulima i njihovu obradu. Okretni stolovi bi ubrzali obradu jer bi operateri mogli izvesti sve potrebne radnje s mjesta, dok kod trenutnih fiksnih stolova moraju obilaziti modul. Konvejer kojim moduli dolaze do RS9 potrebno je skratiti kako bi na to mjesto

stao stroj za uokviravanje i zatim robot Kuka 140 comp (robot je kupljen i nalazi se u proizvodnom pogonu, ali još nije implementiran te bi se time mogao iskoristiti).

Naziv	Kuka 140 comp
Nosivost	140 kg
Maksimalni doseg	2400 mm
Broj osi	6
Moguća primjena	Prihvat i slaganje Bojanje Pakiranje Montaža Točkasto zavarivanje Transport

Tablica 9. Karakteristike i primjena robota [26]



Slika 20. Robot Kuka 140 comp [26]

Prije konvejera može se montirati spremnik za module koji se može automatizirati. Time bi se eliminirala potreba dvojice operatera da stavljaju svaki modul na liniju kada je prazna. Postiže se ušteda vremena. Pri radnom mjestu 10 nisu moguće uštede jer je ciklus zadan strojem i operacije su jednostavne, to jest greške su rijetke. Nakon RS10a potrebno je uvesti robotizirano rukovanje modula primjenom robota Kuka. Robotska ruka za manipuliranje bi se sastojala od vakuumskih priljepaka od 4 – 6 komada što je standard pri rukovanju modulima zbog osjetljivosti ćelija. Time se omogućava nesmetana obrada na RS11, iz razloga što ponekad radnici imaju dodatnog posla kod čišćenja i obrade okvira modula i time usporavaju rad na prethodne dvije stanice jer ne postoji nikakav spremnik za module među njima. Pored Kuka robota nalazila bi se dva spremnika za odlaganje modula ukoliko bi RS11 bila zauzeta. Na izlazu iz RS11 potrebno je uvesti konvejer prema RS15. Komax Xinspect 4000s ima mogućnost prolaska modula (stroj je protočan) i uvođenjem se smanjuje ciklus elektro-luminiscentnog ispitivanja. Ovim se eliminira usko grlo proizvodnje, te se kapacitet povećava za 15 modula po smjeni. Nakon RS15 moduli se

odnose na palete prema RS12 gdje se vrši U-I ispitivanje te zatim završna vizualna kontrola i pakiranje modula na RS13. Gotovi moduli se odlažu na palete u kartonske kutije te se zatim odvoze viličarem na skladište.

Poboljšanja prema radnim stanicama:

RS1 - nema poboljšanja

- kapacitet stroja zadovoljava trenutne te omogućuje povećanje za buduće potrebe

RS2 - nema poboljšanja

- kapacitet stroja zadovoljava trenutne te omogućuje povećanje za buduće potrebe

RS3 - Komax GL s proizvodne linije 2, potrebno je premjestiti za 2 m više (prema tlocrtu hale) kako bi stali stolovi za interkonekciju

- ciklusi zadani strojem, radnik uspjeva obavljati sve potrebne radnje

RS4 - Komax Xcell 3400 s proizvodne linije 2, potrebno je premjestiti za 2 m više (prema tlocrtu hale) kako bi stali stolovi za interkonekciju

- ciklusi zadani strojem, radnik uspjeva obavljati sve potrebne radnje

RS5 - novi razmještaj stolova za interkonekciju

- smanjenje broja radnika za jedan, po svakoj proizvodnoj liniji

RS6 - uvođenje automatizirane linije i spemnika za transport modula u laminatore

RS7 - postavljanje kotrljajućih kuglica na izlaz iz laminatora proizvodne linije 2

RS8 - uvođenje okretnih stolova za lakše manipuliranje i obradu modula

RS9 - uvođenje automatiziranog spremnika modula

- skraćivanje konvejera za transport modula

RS10a - nema poboljšanja

RS10b - uvođenje nove radne stanice, robot Kuka140 Comp

- postavljanje dvaju spremnika modula

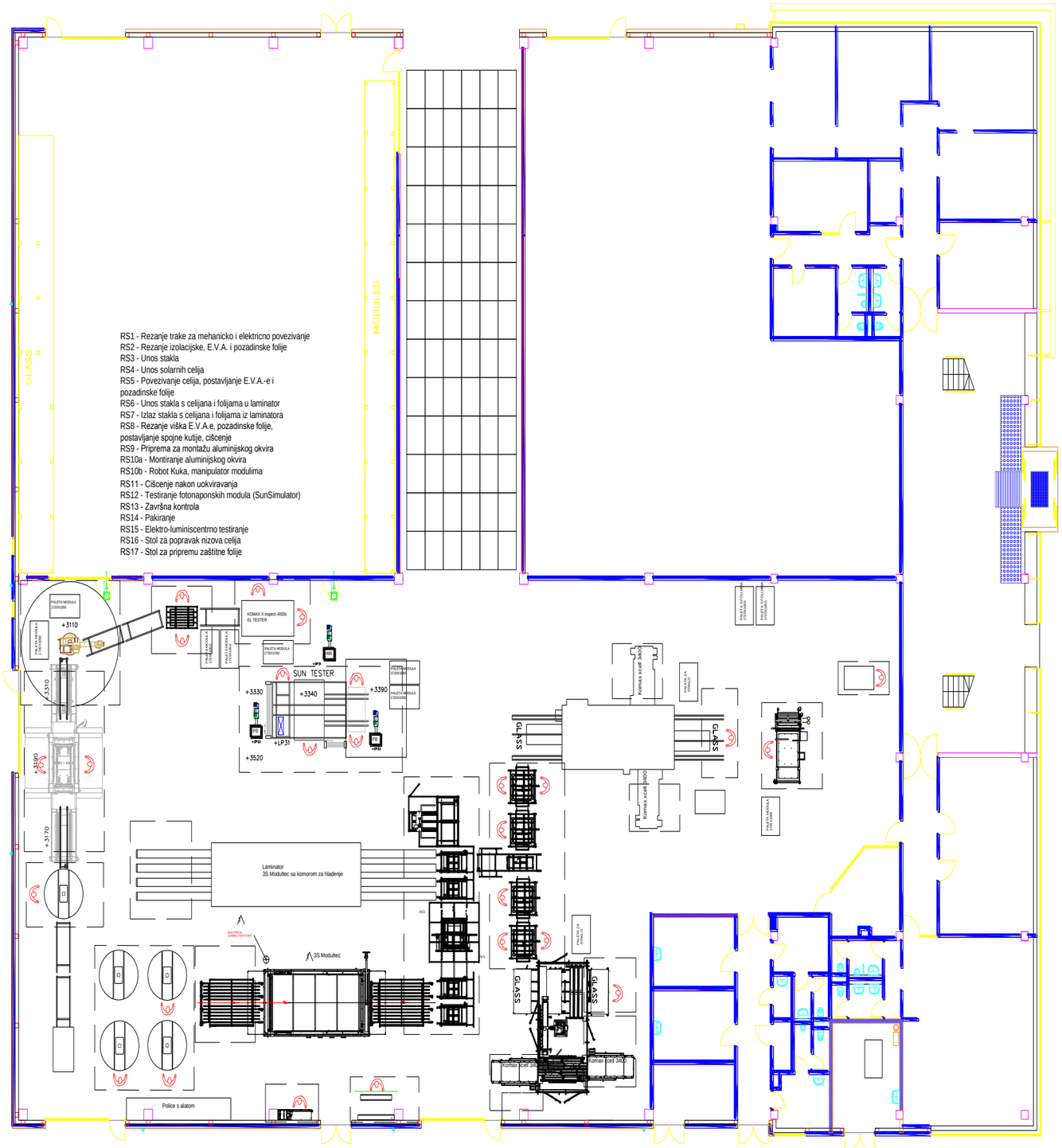
RS11 - nema poboljšanja

RS15 - uvođenje konvejera na ulazu u Komax Xinspect 4000s, stroj postaje protočan

RS12 - nema poboljšanja

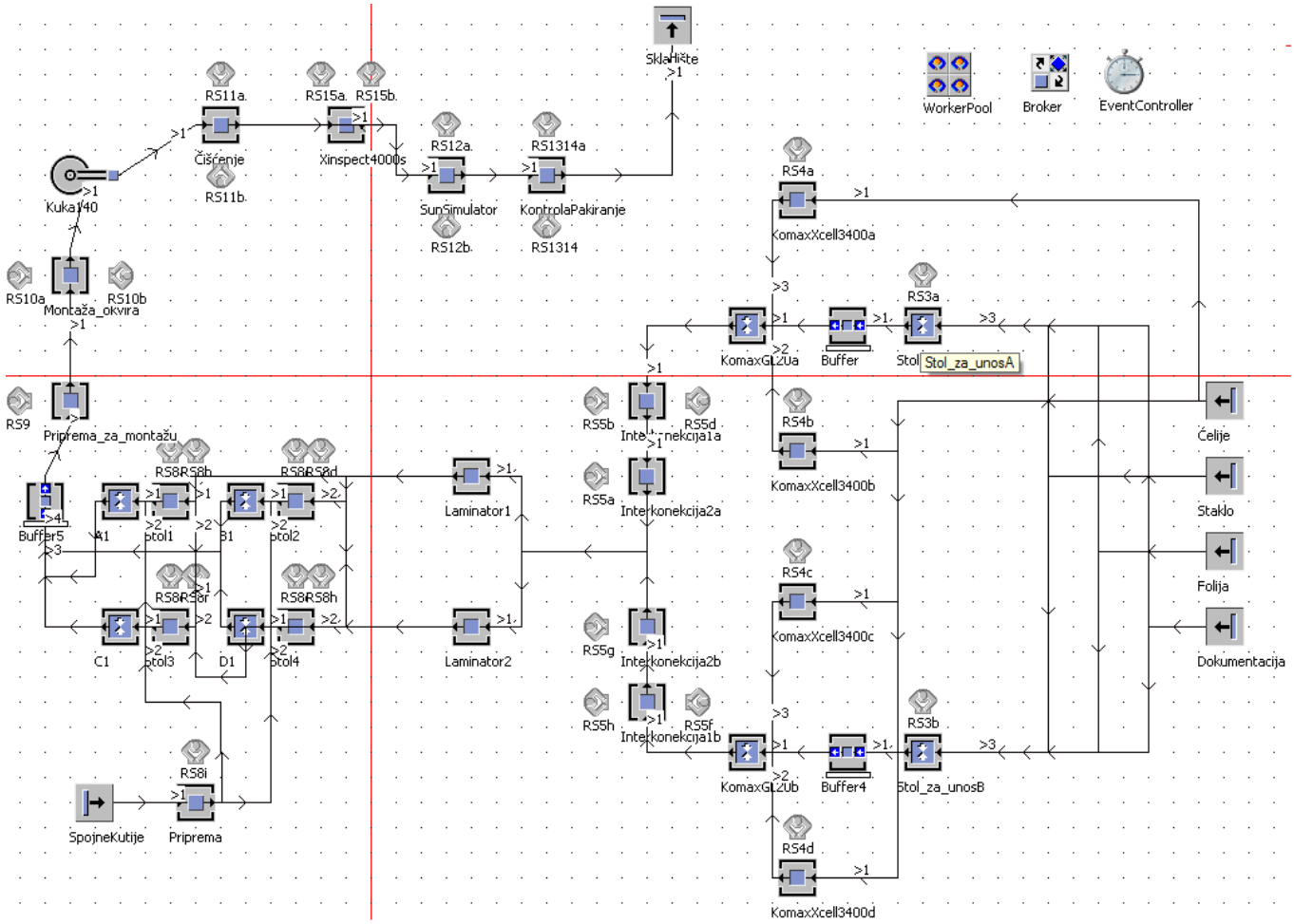
RS13 - nema poboljšanja

S obzirom da nije moguće bitno povećati kapacitet proizvodnje zbog ograničene površine proizvodne hale, glavna svrha navedenih promjena postojećeg stanja trebala bi rezultirati manjim brojem grešaka u proizvodnji i time manjim brojem modula u klasi i lakšim rukovanjem na pojedinim radnim stanicama. Smanjenje broja radnika je gotovo zanemarivo.


RS1 - Rezanje trake za mehanicko i elektricno povezivanje
RS2 - Rezanje izolacijske, E.V.A. i pozadinske folije
RS3 - Unos stakla
RS4 - Unos solarnih celija
RS5 - Povezivanje celija, postavljanje E.V.A.-e i pozadinske folije
RS6 - Unos stakla s celijana i folijama u laminator
RS7 - Izlaz stakla s celijana i folijama iz laminatora
RS8 - Rezanje viška E.V.A.e, pozadinske folije, postavljanje spojne kutije, ciščenje
RS9 - Priprema za montažu aluminijskog okvira
RS10a - Montiranje aluminijskog okvira
RS10b - Robot Kuka, manipulator modulima
RS11 - Ciščenje nakon uokviravanja
RS12 - Testiranje fotonaponskih modula (SunSimulator)
RS13 - Završna kontrola
RS14 - Pakiranje
RS15 - Elektro-luminiscentrno testiranje
RS16 - Stol za popravak nizova celija
RS17 - Stol za pripremu zaštitne folije
GLASS
MODULES
SUN TESTER
+3110
+3310
+3330
+3340
+3390
+3520
+LP31
Laminator
3S Modultec sa komorom za hladenje
3S Modultec
Police s alatom
Komax xcell 3400

8. SIMULACIJA MODELA POBOLJŠANOG PROIZVODNOG PROCESA

Simulacijom poboljšanog stanja nastoji se prikazati povećana efikasnost pojedinih radnih stanica uz eliminaciju tipičnih grešaka. Navedenim poboljšanjima eliminira se nošenje i pozicioniranje modula na laminatore što skraćuje ciklus na radnoj stanici 4 za 10 sec (za proizvodnu liniju 1) i 30 sec (za proizvodnu liniju 2). Pretpostavka je kako bi trojica operatera trebala moći obaviti sve radnje na interkonekciji. Na izlazu iz laminatora uvođenjem okretnih stolova za čišćenje modula te spremnika za pohranu i slanje modula na sljedeću radnu stanicu, obujam poslova operatera se smanjuje i operacije obrade olakšavaju. S obzirom kako više ne bi smjelo biti prljavih modula na izlazu zbog automatiziranog unosa modula u laminator, standardna devijacija koja je pri RS8 trebala bi se značajno smanjiti kao i srednje vrijeme obrade modula. Pretpostavka na kojoj je rađena simulacija je ta da bi se standardna devijacija trebala smanjiti za 50% (na 44 sec) , a srednje vrijeme obrade za 10% (na 6:13 min). Zbog smanjenja duljine konvejera nema čekanja materijala za pripremu za uokviravanje. Time se eliminira vrijeme čekanja od 30 – 40 sec. RS15 postaje protočna i više nema potrebe za nošenjem modula u stanicu. Ciklus testiranja modula smanjuje se za 10% (na 1:48 min) kao i standardna devijacija (na 11 sec). Radi drugačijeg rasporeda pojedinih radnih stanica tok materijala se olakšava, ali to neće biti vidljivo u simulacijskom modelu zbog uključene opcije “skakanja” materijala. Svi objekti korišteni u simulaciji su jednaki početnom simulacijskom modelu uz jedinu razliku uporabe nove stanice za transport modula (Kuka 140) i smanjenjem broja radnika na 20. Simulacija je provedena u trajanju od 7,5 h.



Slika 21. Poboljšani model proizvodog pogona Solvis izrađen u Tecnomatixu

Object	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Mean Life Time	Mean Exit Time	Total Throughput	Throughput per Hour	Throughput per Day
Skladište	72.64%	0.00%	27.36%	0.00%	0.00%	0.00%	33:46.7788	1:52.5123	227	30.266667	726.4

Tablica 10. Rezultati simulacije nakon poboljšanja – skladište

Kada se uspoređuju izlazni kapaciteti prije i nakon poboljšanja može se primjetiti kako se ukupni kapacitet proizvedenih modula po smjeni povećao sa 215 na 227 komada (rast za 6%), zahvaljujući smanjenju ciklusa na Xinspectu 4000s zbog uvođenja protočnog ispitivanja modula.

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
Stol_za_unosA	40.67%	0.00%	0.00%	59.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
KomaxGL20a	97.59%	0.00%	0.33%	2.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Interkonekcija1a	92.41%	0.00%	1.31%	6.28%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Interkonekcija2a	91.63%	0.00%	1.98%	6.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Laminator1	97.30%	0.00%	2.70%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Stol_za_unosB	40.67%	0.00%	0.00%	59.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
KomaxGL20b	97.59%	0.00%	0.33%	2.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Interkonekcija1b	92.41%	0.00%	1.31%	6.28%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Interkonekcija2b	91.63%	0.00%	1.98%	6.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Laminator2	97.30%	0.00%	2.70%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Priprema_za_montažu	38.64%	0.00%	44.66%	16.71%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Montaža_okvira	68.29%	0.00%	28.12%	3.60%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Čišćenje	68.15%	0.00%	23.04%	8.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Xinspect4000s	89.01%	0.00%	10.99%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
SunSimulator	59.11%	0.00%	40.89%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
KontrolaPakiranje	37.98%	0.00%	62.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Skladište	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Stol4	18.90%	0.00%	81.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Stol2	18.90%	0.00%	81.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Stol1	18.90%	0.00%	81.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Stol3	18.90%	0.00%	81.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kuka140	7.19%	0.00%	92.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

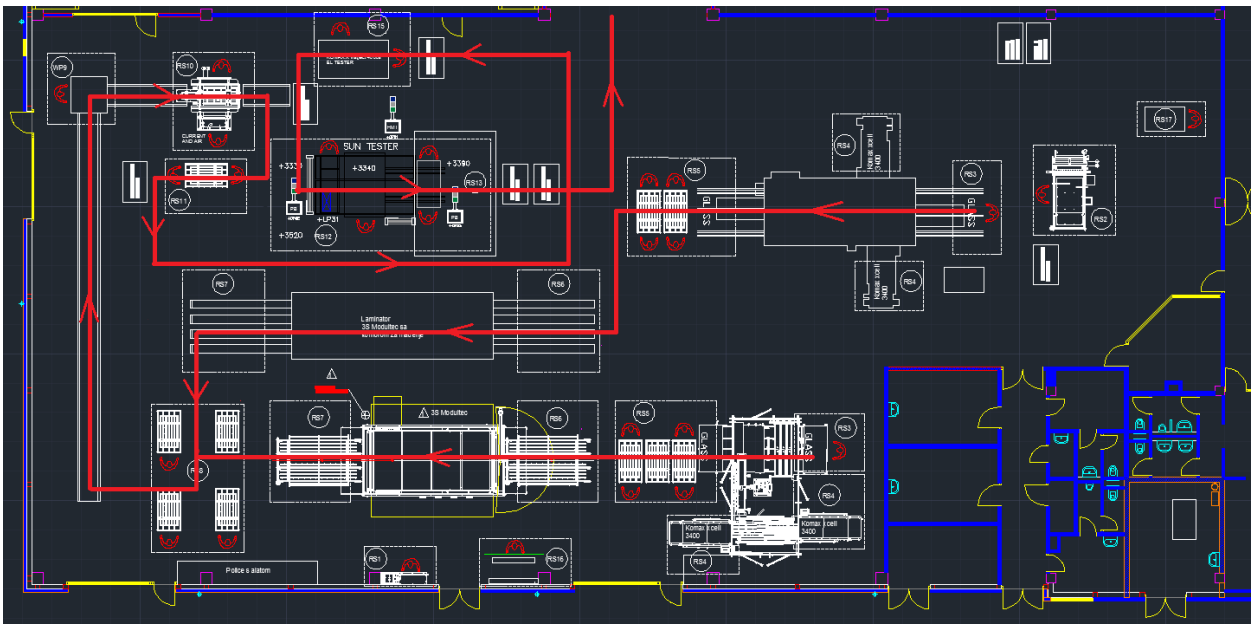
Tablica 11. Rezultati simulacije nakon poboljšanja – iskoristivost

Object	Portion	Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
Stol_za_unosA	40.67%	122	3:03:00.0000	1:30.0000	0.0000
KomaxGL20a	97.59%	120	7:19:10.0000	3:39.5833	4.5644
Interkonekcija1a	92.41%	119	6:55:50.0000	3:29.6639	3.6668
Interkonekcija2a	91.63%	118	6:52:20.0000	3:29.6610	3.6823
Laminator1	97.30%	117	7:17:50.0000	3:44.5299	5.0848
Stol_za_unosB	40.67%	122	3:03:00.0000	1:30.0000	0.0000
KomaxGL20b	97.59%	120	7:19:10.0000	3:39.5833	4.5644
Interkonekcija1b	92.41%	119	6:55:50.0000	3:29.6639	3.6668
Interkonekcija2b	91.63%	118	6:52:20.0000	3:29.6610	3.6823
Laminator2	97.30%	117	7:17:50.0000	3:44.5299	5.0848
Priprema_za_montažu	38.64%	232	2:53:52.0000	44.9655	0.5252
Montaža_okvira	68.29%	231	5:07:17.0000	1:19.8139	2.8292
Čišćenje	68.15%	230	5:06:40.0000	1:20.0000	0.0000
Xinspect4000s	89.01%	229	6:40:33.5596	1:44.9500	0.7560
SunSimulator	59.11%	228	4:26:00.0000	1:10.0000	0.0000
KontrolaPakiranje	37.98%	228	2:50:53.5596	44.9718	0.4265
Skladište	0.00%	227	0.0000	0.0000	0.0000
Stol4	18.90%	58	1:25:04.0000	1:28.0000	0.0000
Stol2	18.90%	58	1:25:04.0000	1:28.0000	0.0000
Stol1	18.90%	58	1:25:04.0000	1:28.0000	0.0000
Stol3	18.90%	58	1:25:04.0000	1:28.0000	0.0000
Kuka140	7.19%	460	32:22.0758	4.2219	0.0364

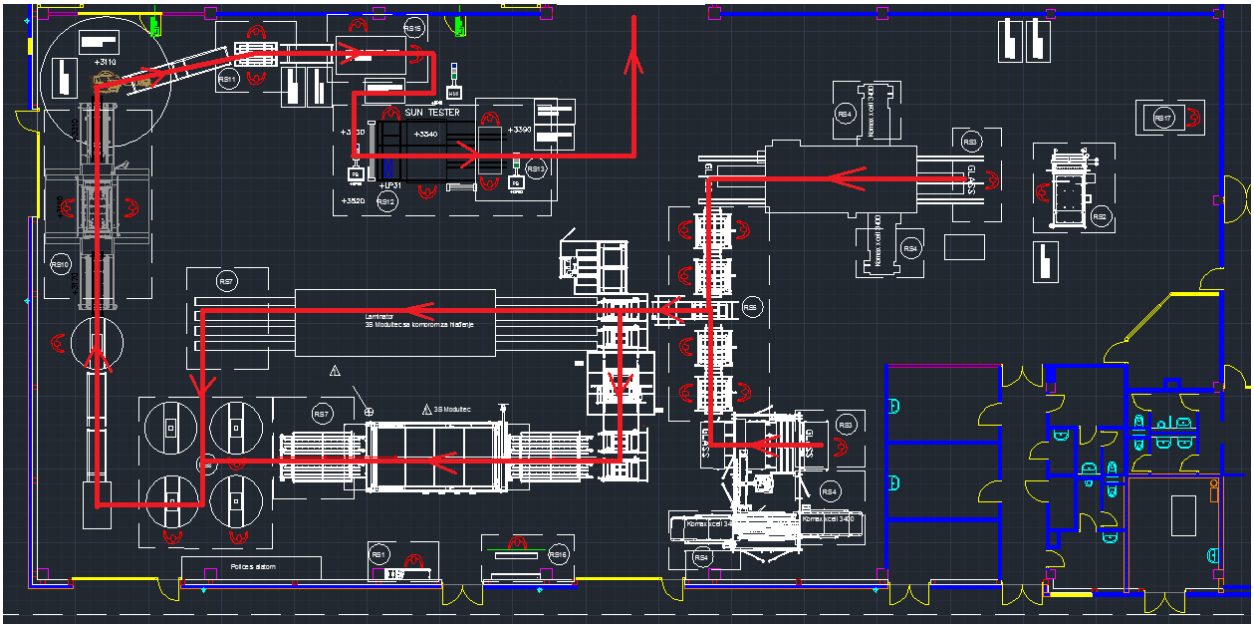
Tablica 12. Rezultati simulacije nakon poboljšanja – srednja vremena

Pri usporedbi iskoristivosti pojedinih radnih stanica nakon poboljšanja primjećuje se veća iskoristivost Xinspect4000s uređaja i on više ne predstavlja usko grlo, već tu ulogu preuzimaju KomaxGL20 uređaji. Vremena na interkonekciji gotovo su identična s prethodno provedenom simulacijom s četvoricom radnika, što potvrđuje pretpostavku kako bi novim rasporedom i uvođenjem automatiziranog transporta modula prema laminatorima i trojica radnika mogli obavljati isti posao. Kod stolova za čišćenje modula i spajanje spojne kutije postiže se smanjenje vremena za ukupno 14% i time radnicima ostaje više vremena za pripremu spojnih kutija i čišćenje radnog mjesta. Dvojica operatera ne bi mogla obavljati isti obujam poslova iz razloga što ukupna zauzetost za to radno mjesto iznosi 75,6%, dakle 25,3% po operateru. Kada bi dvojica morala obavljati sav posao, njihova zajednička iskoristivost bi trebala biti 100,9% i to nakon uvođenje poboljšanja, što nije moguće. Na sljedećoj stanici, za pripremu okvira za montažu postiže se smanjenje ciklusa zbog kraće linije po kojoj dolaze moduli te navedenoj stanici smanjuje se vrijeme rada za 3%. Sve daljnje stanice imaju veći postotak iskorištenja (rada) osim Xinspect4000s uređaja kojem se iskorištenje smanjuje. Razlog tome je što uvođenjem protočnog ispitivanja modula može obuhvatiti sav zahtjevani kapacitet te još ima prostora za dodatno ispitivanje.

8.1 Usporedba toka materijala prije i nakon poboljšanja



Slika 22. Tok materijala prije poboljšanja



Slika 23. Tok materijala nakon poboljšanja

Usporedbom dvaju tokova materijala lako se mogu uočiti prednosti poboljšanja. Sadašnjim sustavom transporta dolazi do križanja ruta radnih stanica 14 i 15. Poboljšanjima se skraćuje duljina toka materijala i pojednostavljuje transport materijala. Ukoliko bi se simulacija provela s realnim vremenima transporta materijala s jedne stanice na drugu, iskoristivosti pojedinih stanica bi bile veće nakon provedenih poboljšanja. Ujedno se novim rasporedom dobiva više prostora u proizvodnoj hali.

9. ZAKLJUČAK

Simulacijske tehnologije su važan alat kod složenih tehničkih sustava koje se koriste za planiranje i poboljšanje postojećeg ili novog sustava. Današnji zahtjevi u proizvodnji su sve veći, na primjer sve složeniji i raznovrsniji proizvodi, povećanje zahtjeva za kvalitetom, povećanje fleksibilnosti proizvoda, kraći vijek trajanja proizvoda, manji proizvodi te pritisak konkurencije doveli su do kraćih ciklusa proizvodnje. Simulacijom se mogu dobiti odgovarajući rezultati gdje jednostavna riješenja nisu dovoljno dobra, to jest ne mogu obuhvatiti sve detalje u proizvodnom procesu. Koristi dobivene simulacijom su višestruke. Simulacija se provodi kada je potrebno isplanirati novi proizvodni pogon ili optimizirati postojeći. Tokom simulacije prolazi se kroz tri faze. Faza planiranja, primjene i rada. Kod provedbe simulacije pomažu PLM alati koji određuju proces upravljanja tokom cjelokupnog vijeka proizvoda, od njegovog početka, konstruiranja i izrade, sve do uporabe i odbacivanja proizvoda. PLM sustavi pomažu tvrtkama pri suočavanju s povećanom kompleksnošću i inženjerskim izazovima u razvoju novih proizvoda na globalnom tržištu. Jednostavan prikaz 5 dugoročnih ciljeva koji se moraju uzeti u obzir kod proizvodnih sustava postiže se skicom piramide koja se sastoji od ekonomičnosti, produktivnosti, kvalitete, fleksibilnosti i održivosti sustava. Za provođenje simulacije postoji više softwareskih mogućnosti kao što su Siemens Tecnomatix, Incontrol Enterprise Dynamics (Taylor ED), FlexSim, Simul8. Svaki od navedenih programa ima svojih nedostataka i prednosti, ovisno što korisnik želi i koliko detaljno želi razraditi model. Siemens Tecnomatix daje najviše mogućnosti, ali je komplicirano raditi složenije operacije jer se sve moraju programirati, te iz tog razloga ima najstrmiju krivulju učenja. Glavni model proizvodnog pogona napravljen je u Tecnomatixu iz razloga što je jedino ograničenje studentske verzije programa snimanje datoteke do 80 korištenih objekata. Simulacija skladišta napravljena je u Incontrol Enterprise Dynamics softwareu.

Analiza proizvodnog pogona, simulacija i doneseni prijedlozi za poboljšanje izvršeni su u Solvisu, hrvatskom proizvođaču fotonaponskih modula. Primjena solarne tehnologije sve više uzima udio u alternativnim načinima proizvodnje električne energije zbog pada troškova sirovina i izrade, te povećanju efikasnosti modula. Pri izradi Solvis koristi gotove solarne ćelije te proizvodi module. Najzastupljeniji je polikristalni modul SV60 zbog niže cijene od monokristalnih i najbržeg povrata investicije što je gotovo svim investitorima glavni razlog odabira navedenih modula. Solvis je u mogućnosti proizvesti module prema individualnim

zahtjevima naručitelja za sve namjene. Za proizvodnju modula SV60 potrebne su spojne trake, EVA folije, pozadinska folija, staklo, solarne ćelije i aluminijski okvir. Cijeli proces prolazi kroz 17 radnih stanica od kojih su 4 priprema za proizvodnju, a ostale se vode kao sama proizvodnja. Dio proizvodnje je automatiziran, dok ostale obavljaju radnici. Operacije koje radnici obavljaju uglavnom su rutinske, to jest mogu se jednostavno izmjeriti i koristiti pri simulaciji. Za normalan rad pogona potrebno je 34 radnika po smjeni. Mjerenjem i analizom proizvodnog pogona utvrđeno je da postoji usko grlo na radnoj stanici 15 za elektro-lumiscentno testiranje koje umanjuje proizvodnju po smjeni za 15 modula, ali to se može nadoknaditi radom u pauzama. Cijeli ciklus izrade jednog modula od prve radne stanice do skladišta prikazan je u gantogramu i traje 36 min. Kod neprekidne proizvodnje svakih 2 min dolazi novi modul na paletu, što daje dnevnu proizvodnju od 645 modula dnevno. Prema dobivenim rezultatima, dnevna snaga proizvedenih modula Solvis proizvodnog pogona, ukoliko se radi u 3 smjene i proizvodi polikristalni modul SV60, iznosi 164,475 kW. Provedenom simulacijom utvrđeno je da najveću iskoristivost imaju Komax uređaji, laminatori i Xinspect 4000s. Najmanju iskoristivost imaju radna mjesta pri kraju proizvodnje na kontroli i pakiranju te pripremi za montažu.

S obzirom kako je prostor proizvodne hale ograničen i već sada gotovo u cijelosti iskorišten, nemoguće je bitno povećati dnevnu proizvodnju bez proširenja hale. Trenutni skladišni prostor nije primjereno riješen. Ponuđeno je rješenje u obliku FiFo gravitacijskog skladišta izvedeno u simulacijskom softwareu Incontrol Enterprise Dynamics. Tim skladištem koje je prikazano u 3D obliku povećava se kapacitet skladištenja paleta proizvoda za 255%. Time bi se mogli skladištiti proizvodi iz 43 smjene s ukupnim kapacitetom od 312 paleta. Za manipuliranje paletama odabran je viličar proizvođača Jungdeinrich ETV 110 koji udovoljava ograničenoj površini hale za transport te visini i težini podizanja tereta. Predložena poboljšanja proizvodnog procesa navedena su za 6 radnih stanica dok je jedna uvedena nova, implementacijom robota Kuka 140 comp. Navedeni robot je kupljen te ga je trebalo primjeniti što je učinjeno za manipuliranje modulima. Svrha i prijedlozi poboljšanja odnose se na smanjenje grešaka u proizvodnji i time manje modula u klasi s obzirom da se kapacitet proizvodnje bitno ne može povećati. Racionalizacijom, razmještajem i uvođenjem automatiziranog transporta modula s radne stanice 5 na radnu stanicu 6 postiže se smanjena potreba za dvojicom radnika.

Uporaba simulacijskih tehnologija omogućava detaljan, ali jednostavan pregled postojećeg stanja. Za kompliciranije modele potrebno je znanje programskih jezika pa izrada modela može biti vrlo složena. Analizom simulacije postojećeg stanja lagano su uočene radne stanice s visokom i niskom iskoristivošću te se moglo donijeti primjereno rješenje za gotovo svaku situaciju. Krajnji rezultat ovog rada je pojednostavljenje proizvodnje smanjenjem dužine toka materijala, lakšim operacijama na pojedinim radnim mjestima, automatizacijom pojedinih radnji i izvođenjem potpuno novog skladišnog prostora. Visina novčanih troškova za dana poboljšanja nisu razmatrana. Glavni dio investicije odnosio bi se na izradu skladišta i kupnju viličara te uvođenje automatiziranog transporta modula do laminatora. S obzirom kako bi se postiglo značajno povećanje kapaciteta skladišta te osigurao nesmetan i brži tok prema laminatoru, uz navedene brojne prednosti u radu, mislim kako bi dugoročno bilo vrlo korisno uložiti u predložene sustave poboljšanja proizvodnog pogona.

LITERATURA

[1] PLM software, http://en.wikipedia.org/wiki/Product_lifecycle_management, 16.11.2014

[2] Sistemsko inženjerstvo, http://en.wikipedia.org/wiki/Systems_engineering, 16.11.2014

[3] Upravljanje bazom projekata, http://en.wikipedia.org/wiki/Product_management, 16.11.2014

[4] Tehnologije upravljane računalom, http://en.wikipedia.org/wiki/Product_design, 16.11.2014

[5] Upravljanje procesom proizvodnje, http://en.wikipedia.org/wiki/Manufacturing_process_management, 16.11.2014

[6] Upravljanje podatcima o proizvodu, http://en.wikipedia.org/wiki/Product_data_management, 16.11.2014

[7] Siemens Tecnomatix, http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/, 16.11.2014

[8] Incontrol Enterprise Dynamics, http://www.incontrolsim.com/en/enterprise-dynamics/enterprise-dynamics.html, 16.11.2014

[9] FlexSim, https://www.flexsim.com/, 16.11.2014

[10] Simul8, http://www.simul8.com/, 16.11.2014

[11] Solvis d.o.o, http://www.solvis.hr/hr/o-nama/, 16.11.2014

[12] Registrirane djelatnosti, http://www.fininfo.hr/Poduzece/Pregled/solvis/Detaljno/93845, 16.11.2014

[13] Tehnologija i certifikati, http://www.solvis.hr/hr/o-nama/tehnologija-i-certifikati/, 16.11.2014

[14] Fotonaponske ćelije, http://www.powerprojects.co.za/solar-information/panel-types/, 16.11.2014

[15] Tehnički podatci modula, http://www.solvis.hr/wp-content/uploads/2014/05/LQSOLVIS-Catalog_2014-EN_HR.pdf, 16.11.2014

[16] Moduli, http://www.solvis.hr/wp-content/uploads/2014/05/LQSOLVIS-Catalog_2014-EN_HR.pdf, 16.11.2014

[17] Reference, http://www.solvis.hr/hr/reference-2/, 16.11.2014

[18] Hareon ćelija, http://www.hareonsolar.com/webroot/products/cells_26_158.html, 16.11.2014

[19] Solvis, radni materijali

[20] Komax strojevi, http://www.komaxgroup.com/en/, 16.11.2014

[21] Xinspect, http://www.suppliers-pv.com/2581/, 16.11.2014

[22] Gantogram, http://hr.wikipedia.org/wiki/Ganttov_dijagram, 1.9.2014

[23] Inženjerski priručnik IP4, organizacija proizvodnje, str. 283, Školska knjiga Zagreb 2002

[24] FiFo skladište, http://warehousebuildings.blogspot.com/2011/06/importance-of-control-bad-stock-in-food.html, 16.11.2014

[25] ETV 110, http://www.mlakar-vilicari.hr/hrv/page.asp?main=proizvodi&id=novi&md=reg_det&vid=46&ime=ETV%20110%20/%20112%20/%20114%20/%20ETV%20116, 16.11.2014

[26] Kuka 140, http://www.robots.com/kuka/kr-140, 16.11.2014

[27] Bangsow S., Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk, Springer, 2010

[28] Astrom P., Simulation in Manufacturing, Processes in Product Development, doctoral thesis, 2004

[29] Siemens, Plant Simulation Fact Sheet book, 2012

[30] Fowler, J. W., Rose O., Grand Challenges in Modeling and Simulation of Complex Manufacturing Systems, 2004

[31] Coze, Kawski, Kulka, Sire, Sottocasa, Bloem, Virtual Concept Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation, Uitgeverij kleine Uil, 2009

[32] D. and Heinemann, Simulation Based Transport and Storage Planning on a Shipyard Steinhauer, 2004

PRILOG

Izmjerene vrijednosti trajanja operacija prema radnom mjestu.

Radno mjesto:	RS3 i RS4
Stroj:	Komax GL20 i Komax Xcell 3400
Broj operatera:	1
Vrijeme (sec):	85, 195, 70, 60, 80, 80, 75, 60, 60, 65, 70, 105, 75, 90, 85, 130, 90, 95, 150, 75, 75, 105, 110, 90, 65, 70, 95, 85, 70, 90, 60, 105, 60, 85, 140, 75, 80, 60, 75, 65, 80, 75, 80, 75, 75, 80
Prosječno vrijeme (min):	1:25
Standardna devijacija (min):	0:25

Radno mjesto:	RS5 i RS6
Stroj:	2 radna stola
Broj operatera:	4
Vrijeme (min):	3:00, 4:15, 6:55, 2:44, 2:30, 2:40, 2:55, 2:55, 3:10, 3:20, 3:15, 3:05, 3:00, 3:05, 3:00, 5:10, 3:10, 3:20, 3:10, 3:30, 3:10, 6:25, 3:25, 2:45, 2:45, 3:05, 2:55, 3:55, 4:20, 3:00, 3:15, 4:45, 2:45, 3:00, 3:05, 3:50, 3:10, 3:05, 3:10, 3:30, 3:15, 3:00, 3:40, 4:10, 3:05, 3:15, 4:45, 4:00, 3:15, 3:00, 3:15, 3:50, 2:45, 2:55, 4:15, 3:05, 3:05, 3:35
Prosječno vrijeme (min):	3:26
Standardna devijacija (min):	0:49

Radno mjesto:	RS7 i RS8
Stroj:	4 radna stola
Broj operatera:	3
Vrijeme (min):	4:45, 5:20, 4:50, 5:30, 8:20, 7:30, 5:50, 6:40, 9:30, 7:30, 7:10, 8:30, 9:45, 7:00, 5:40, 6:30, 7:30, 6:50, 12:30, 10:30, 6:40, 8:50, 6:30, 5:10, 6:10, 7:10, 8:10
Prosječno vrijeme (min):	6:55
Standardna devijacija (min):	1:27

Radno mjesto:	RS9
Stroj:	1 radni stol
Broj operatera:	1
Vrijeme (s):	50, 40, 40, 35, 60, 55, 55, 55, 55, 50, 50, 45, 45, 60, 60, 70, 55, 45, 45, 45, 50, 50, 55, 55
Prosječno vrijeme (min):	0:51
Standardna devijacija (min):	0:08

Radno mjesto:	RS10
Stroj:	FA200S
Broj operatera:	2
Vrijeme (s):	75, 80, 70, 85, 85, 80, 75, 75, 80, 85, 85, 85, 75, 75, 80, 85, 85, 85, 75, 85, 80, 80, 75
Prosječno vrijeme (min):	1:20
Standardna devijacija (min):	0:05

Radno mjesto:	RS11
Stroj:	1 radni stol
Broj operatera:	2
Vrijeme (s):	70, 75, 75, 75, 80, 90, 110, 65, 65, 70, 70, 65, 65, 80, 90, 65, 65, 70, 70, 70, 80, 80
Prosječno vrijeme (min):	1:15
Standardna devijacija (min):	0:11

Radno mjesto:	RS12
Stroj:	QuickSun 540LA
Broj operatera:	2
Vrijeme (s):	60, 55, 70, 90, 75, 75, 75, 70, 95, 90, 70, 70, 70, 85, 75, 90, 60, 55, 55, 50, 55, 55
Prosječno vrijeme (min):	1:10
Standardna devijacija (min):	0:14

Radno mjesto:	RS13 i RS14
Stroj:	-
Broj operatera:	2
Vrijeme (s):	45, 40, 40, 40, 50, 50, 50, 45, 45, 45, 40, 40, 50, 45, 45, 45, 50, 45, 45, 50, 40
Prosječno vrijeme (min):	0:45
Standardna devijacija (min):	0:04

Radno mjesto:	RS15
Stroj:	Xinspect 4000s
Broj operatera:	2
Vrijeme (s):	120, 140, 110, 115, 115, 115, 135, 130, 130, 130, 125, 125, 120, 120, 140, 140, 140, 115, 110, 110, 110, 100, 100, 110
Prosječno vrijeme (min):	2:00
Standardna devijacija (min):	0:12

Radno mjesto:	RS16
Stroj:	1 radni stol
Broj operatera:	1
Vrijeme (s):	Individualno

Radno mjesto:	RS17
Stroj:	1 radni stol
Broj operatera:	1
Vrijeme (s):	10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10
Prosječno vrijeme (min):	0:10
Standardna devijacija (min):	0