

# Primjena PLM Siemens softvera uz kriterij minimalnog roka isporuke

---

**Gudlin, Mihael**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2011**

*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:235:089145>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-18**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Predrag Čosić

Student:

Mihael Gudlin

Zagreb, 2011.

## **IZJAVA**

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

---

(Mihael Gudlin)

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se svojoj obitelji na velikoj podršci, pomoći te nadasve strpljenju za vrijeme trajanja studija. Njihovo povjerenje tokom svih godina bilo mi je dodatni motiv, ali i obveza koja me usmjeravala ka uspješnom završetku studija. Posebno bih zahvalio mentoru prof. dr. sc. Predragu Čosiću na razumijevanju, prijedlozima i pomoći u izradi diplomskog rada.

## SADRŽAJ

1	UVOD [1] .....	1
2	OPIS POJMA PLM .....	3
2.1	Uvod [2],[3] .....	3
2.2	Povijesni razvoj PLM-a [2],[4] .....	4
2.3	Uloga i koncept PLM-a [2],[4],[5] .....	6
2.4	Prednosti i koristi PLM –a [2],[4],[5],[6] .....	10
3	PLM KAO SOFTVERSKO RJEŠENJE .....	12
3.1	Općenito o PLM-u kao informacijskom sustavu [2],[3], [5],[7].....	12
3.2	Značajke PLM informacijskih sustava [5].....	14
3.3	Arhitektura PLM informacijskih sustava [5] .....	15
3.4	Primjena PLM informacijskih sustava kod različitih organizacijskih oblika i poslovnih funkcija [2],[5],[6] .....	17
3.5	Razlozi za primjenu PLM sustava [2],[5],[6] .....	18
3.6	Pregled komercijalnih PLM rješenja [8] .....	20
3.6.1	PTC : Windchill PDM Link i PRO/Intralink [9].....	21
3.6.2	Dassault Systemes : Enovia ( MatrixOne ) i SmarTeam [10],[11] .....	22
3.6.3	Autodesk : Vault i Streamline .....	24
4	SIEMENS PLM SOFTWARE.....	25
4.1	Općenito o Siemens PLM Software-u [12],[13] .....	25
4.2	Tecnomatix [13].....	26
4.2.1	Planiranje dijelova i validacija .....	26
4.2.2	Planiranje sklopova i validacija .....	27
4.2.3	Planiranje automatizacije i robotike .....	27
4.2.4	Projektiranje i optimizacija postrojenja tvornice .....	28
4.2.5	Upravljanje kvalitetom .....	28
4.2.6	Upravljanje proizvodnjom .....	29
4.2.7	Upravljanje proizvodnim procesima .....	29
4.3	Plant Simulation [13],[14] .....	29
5	PLANIRANJE I OPTIMIRANJE PROIZVODNOG SUSTAVA PRIMJENOM PLANT SIMULATIONA .....	34
5.1	Pojam simulacije .....	34
5.2	Podloga simulacijskih modela .....	36
5.3	Odabrani dijelovi.....	37

5.4	Proračun opterećenosti strojeva .....	40
5.5	Simulacijski modeli .....	45
5.5.1	Simulacijski model 1 .....	45
5.5.2	Simulacijski model 2 .....	53
6	ANALIZA REZULTATA .....	62
7	ZAKLJUČAK .....	63
8	LITERATURA .....	64

## POPIS SLIKA

Slika 1. Životni ciklus proizvoda [2].....	3
Slika 2. Razvoj PLM-a [2].....	5
Slika 3. Elementi životnog ciklusa [2].....	6
Slika 4. PLM model[2] .....	8
Slika 5. Veze između poslovnih rješenja[2] .....	9
Slika 6. Životni ciklus proizvoda – zahtjevi za PLM [3].....	14
Slika 7. Značajke PLM informacijskih sustava [5] .....	14
Slika 8. Primjer arhitekture PLM sustava [5] .....	16
Slika 9. Prikaz dezintegracije sustava [5] .....	19
Slika 10. Položaj dobavljača PLM softvera među 100 najvećih dobavljača softvera[8] .....	20
Slika 11. Prihodi od PLM sustava vodećih dobavljača 2003. Godine [8] .....	21
Slika 12. Asortiman i povezanost DS proizvoda [11] .....	23
Slika 13. Class Library [14] .....	30
Slika 14. Frame [14] .....	31
Slika 15. Hijerarhijska struktura [14] .....	31
Slika 16. Spajanje objekata [14].....	32
Slika 17. Prikaz povezanosti objekata uz uključenu opciju Show Predecessors [14] .....	32
Slika 18. Prikaz povezanosti objekata uz uključenu opciju Show Successors [14].....	32
Slika 19. Prozor objekta EventController, tab Controls [14].....	33
Slika 20. Prozor objekta EventController, tab Settings [14].....	33
Slika 21. Godišnja opterećenost strojeva .....	44
Slika 22. Hijerarhijska struktura objekata unutar modela 1 .....	45
Slika 23. Format TableFile-a „Redoslijed_kolicine“ .....	46
Slika 24. Format TableFile-a „Obrade_Vremena“ .....	46
Slika 25. Dijalogni prozor objekta SingleProc.....	47
Slika 26. Simulacijski model sustava, slučaj 1 .....	47
Slika 27. Sankey dijagram, slučaj 1 .....	48
Slika 28. Opterećenje strojeva u slučaju rada u jednoj smjeni .....	49
Slika 29. Opterećenje strojeva u slučaju rada u dvije smjene .....	50
Slika 30. Opterećenje strojeva u slučaju rada u tri smjene .....	50
Slika 31. Broj proizvedenih serija u 1. slučaju, za rad u jednoj smjeni.....	51
Slika 31. Broj proizvedenih serija u 1. slučaju, za rad u dvije smjene .....	51

---

Slika 32. Broj proizvedenih serija u 1. slučaju, za rad u tri smjene .....	52
Slika 33. Model 2 .....	53
Slika 34. Struktura tabele plana proizvodnje .....	54
Slika 35. Opterećenje strojeva kod 2 modela bez GA .....	55
Slika 36. Rezultat simulacije 2. modela bez optimizacije .....	55
Slika 37. Struktura populacije .....	56
Slika 38. Prioriteti funkcija cilja .....	58
Slika 39. Ograničenja genetskog algoritma .....	59
Slika 40. Parametri optimizacije modela 2 .....	59
Slika 41. Vrijeme izrade model 2 uz GA .....	60
Slika 42. Opterećenje strojeva kod 2. modela uz primjenu GA .....	60
Slika 43. Zauzetost strojeva u danima .....	61
Slika 44. Gantogram izrade proizvoda .....	61



**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Popis odabranih dijelova .....	37
Tablica 2. Operacije i vremena izrade odabranih dijelova 1.dio.....	38
Tablica 2. Operacije i vremena izrade odabranih dijelova 2.dio.....	39
Tablica 3. Vremensko opterećenje strojeva 1.dio .....	41
Tablica 3. Vremensko opterećenje strojeva 2.dio .....	42
Tablica 4. Broj potrebnih strojeva.....	43

## **POPIS OZNAKA I POJMOVA**

## SAŽETAK RADA

U okviru ovog rada prikazane su osnove vezane za pojam „Product Lifecycle Management-a“, pri čemu je dan osvrt na temelje iz kojih se razvio, te na važnost njegove primjene s aspekta današnjih poslovnih prilika koje zahtijevaju primjenu novih koncepata i metoda kako bi se odgovorilo na zahtjeve izrazito kompetitivnog modernog tržišta.

Nakon toga dan je pregled PLM s gledišta njegove primjene u obliku informacijskog sustava, te je opisana arhitektura takvih sustava uz prikaz značajki sustava. Osim toga opisana su neka komercijalna rješenja renomiranih pružatelja ove vrste usluga.

U sklopu slijedećeg poglavlja pobliže je opisan Siemens PLM Software, uz pregled pojedinih vrsta rješenja te modula ovih rješenja. Posebno mjesto unutar ove cjeline zauzeo opis aplikacije Plant Simulation iz razloga što je korištena u izradi simulacijskih modela te obavljanju istraživanja virtualnog proizvodnog sustava.

Zatim je u idućoj cjelini dan teorijski uvod u same simulacije prije nego se pristupilo izradi podloge simulacijskih modela, koja se sastojala u izboru dijelova, te izračunu opterećenosti pojedinih strojeva. Po završetku ove aktivnosti krenulo se s izradom dvaju modela, pri čemu se kod 2. modela izvedena optimizacija, s ciljem postizanja minimalnog vremena izrade što se u ovom radu izjednačuje s vremenom isporuke.

Nakon toga izvršena je usporedba rezultata kod modela te provedena analiza kako bi bili doneseni adekvatni zaključci

## 1 UVOD [1]

Uzimajući u obzir značajno povećanje konkurencije na međunarodnoj razini, porastao je i pritisak na učinkovitost proizvodnih sustava. Osim toga broj različitih komponenata mnogih proizvoda, a posljedično i zahtjevi na odgovarajuće procese montaže te logistiku vezanu za njih, također su višestruko povećani.

Takvim zahtjevima možemo upravljati koristeći primjerene alate kojima simuliramo aktivnosti i procese unutar tvornice u virtualnom svijetu, a sve to u kontekstu koncepta *product lifecycle managementa* (u daljnjem tekstu PLM), koji omogućuje ponovnu upotrebu podataka, te je podrška učinkovitoj suradnji između različitih odjela, a osim toga pruža *up-to-date* i relevantne podatke za svakog korisnika. Simulacija cjelokupnog toka materijala uključujući sve značajne aktivnosti proizvodnje, skladištenja te transporta su ključne sastavnice virtualnih tvornica u današnjoj industriji. Njihovom primjenom može se ostvariti povećanje produktivnosti postojećih postrojenja od 15 % do 20 % [1]. Svrha samih simulacija ovisna je o ciljevima, bili oni strateški, taktički ili operacijski. Tako primjerice s strateškog gledišta korisnik može doći do odgovora koja tvornica i u kojoj zemlji je najpogodnija za proizvodnju nove generacije proizvoda, pritom uzimajući u obzir varijable kao što su posljedice na logističke sustave, učinkovitost radnika, fleksibilnost, troškove skladištenja i slično. Procjena fleksibilnosti proizvodnih sustava za značajne promjene proizvodnih faktora dobiva sve više na značaju.

Težište ovog rada biti će simulacije na operacijskom nivou, pri čemu su veoma bitni podaci vezani za trenutni status opreme te podaci vezani za posao koji je u tijeku kako bi se mogla provesti simulacija vezana za ishod trenutne smjene. U tom slučaju svrha simulacije je provjera ishoda proizvodnih procesa smjene tj. da li će biti ostvaren ciljani *output*, te koja je strategija u slučaju smetnji, kvarova i nepredviđene zauzetosti kapaciteta. Krajnji cilj svake simulacije mogućnost donošenja odluke vezane za novi proizvodni sustav odnosno vrednovanje postojećeg sustava. Obično vrijednost tih sustava predstavlja važan faktor kod kompanija, tako da korisnici moraju posjedovati precizne informacije kako bi mogli donijeti ispravne odluke. Kod realnih proizvodnih sustava postoji nekoliko slučajnih procesa poput raspoloživosti sustava, vremena dospijeca dijelova za montažu, jediničnih vremena ljudskih aktivnost dr. Takovi stohastički proces imaju važnu ulogu kod simulacija.

Plant Simulation raspolaže širokom paletom alata za analizu modela koji sadrže stohastičke procese, alate za upravljanje eksperimentima simulacije kako bi se ustanovili optimalni parametri sustava. Osim toga, rezultati simulacijskog modela ovise o točnosti ulaznih podataka te preciznosti modela u odnosu na ponašanje realnog proizvodnog sustava. Ključne značajke poput objektivne orijentiranosti te nasljeđivanja omogućuju korisnicima razvoj, izmjenu, ponovnu upotrebu te održavanje njihovih objekata i *librarie-a* kako bi povećali u preciznost modeliranja. Jedinstvene mogućnosti optimizacije unutar softverskog paketa Plant Simulation daju korisniku podršku da optimiziraju brojne parametre sustava odjednom, kao primjerice broj transportera, kapacitete međuspremnika i skladišta, a uzimajući u obzir brojne kriterije vrednovanja modela poput smanjenih zaliha, povećanja iskoristivosti i protoka sustava.

Mogućnost preciznog modeliranja i statističke analize, omogućuju Plant Simulation-u da ostvaruje točnost virtualnog modela od 99 %[1] u odnosu na realni sustav, te na taj način se može dobiti jasna slika ponašanja sustava unutar simulacije.

U okviru ovog rada neće se ulaziti detaljno u same značajke i mogućnosti softverskog paketa Plant Simulation, već će biti dan prikaz njegove primjene na dva modela putem kojih će jasno biti iskazane prednosti rada na ovakav način, te pogodnosti koje korisnici odnosno projektanti proizvodnih sustava, te tehnolozi koji se bave proizvodnim procesima ostvaruju primjenom ovakvih aplikacija.

## 2 OPIS POJMA PLM

### 2.1 Uvod [2],[3]

U današnje vrijeme zahtjevnog globalnog tržišta, poduzeća se okreću inovacijama kao glavnom sredstvu koje će osigurati njihov opstanak. Poslovne inovacije moraju se odvijati na svim razinama od proizvoda, procesa te same organizacije, kako bi došlo do poboljšanja na području konkurentnosti te poslovne učinkovitosti. Kako bi napravila razliku u svom položaju na tržištu, poduzeća teže ka sakupljanju, kvalitetnom upravljanju te dokumentiranju intelektualne imovine. Najbolji način za postizanje ovih ciljeva je pravilna primjena upravljanja cjelovitim životnim ciklusom proizvoda (eng. *Product Lifecycle Management*) u daljnjem tekstu PLM, pristupom koji zadovoljava navedene potrebe poduzeća. PLM je strateški poslovni pristup koji pomaže poduzećima da ostvare poslovne ciljeve smanjenja troškova, poboljšanja kvalitete, smanjenja vremena potrebnog za plasiranje proizvoda na tržište, a pritom provodeći inovacije na proizvodima, uslugama i poslovnim operacijama. Neke od mogućih definicija PLM-a su:

*„Strateški poslovni pristup koji primjenjuje konzistentan asortiman poslovnih rješenja kao potporu za razvoj, upravljanje, širenje i primjenu informacija vezanih za definiciju proizvoda kroz cijelo poduzeće od samog koncepta do odlaganja i recikliranja istog – pritom dovodeći do integracije ljudi, procesa, poslovnih sustava i informacija“*

*CIMdata*

PLM je sustavni, kontrolirani pristup za upravljanje i razvoj proizvoda i informacija vezanih za proizvod. PLM pruža alat za upravljanje i kontrolu nad proizvodnim procesima (razvoj proizvoda, proizvodnju i marketing) te logističkim procesima narudžbe i dostave, kontrolu nad informacijama vezanima za proizvod kroz cijeli životni ciklus od inicijalne ideje pa do odlagališta.



*Slika 1. Životni ciklus proizvoda [2]*

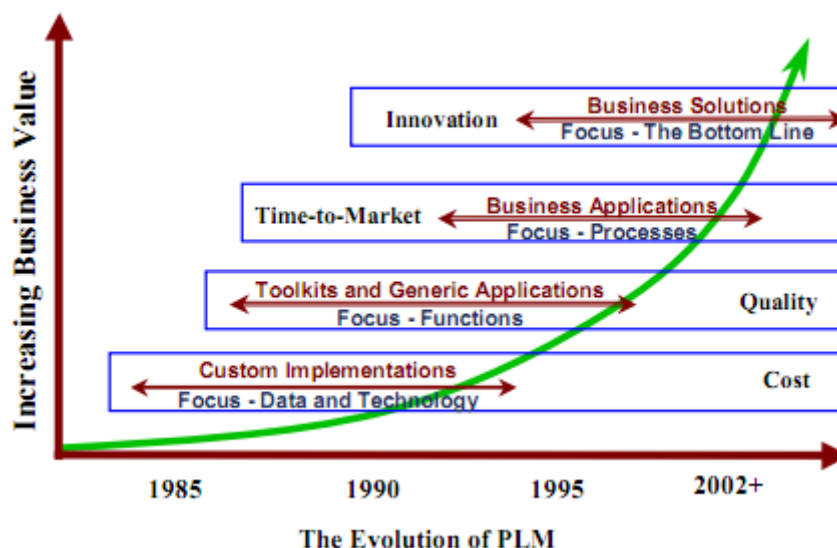
Kroz povećanje fleksibilnosti poduzeće brže odgovara na promjenjivo tržište i pritisak konkurenata, te samim time PLM pomaže kompanijama da:

- Isporučuju inovativne proizvode i usluge
- Smanje troškove, povećaju kvalitetu i smanje vrijeme potrebno za plasman na tržište uz ciljani povrat ulaganja
- Formiraju jasne okvire za suradnju te time poboljšavaju odnos s kupcima, dobavljačima i poslovnim partnerima.

PLM rješenja objedinjuju tehnologije, metode te najbolje pristupe iz prakse kako bi odgovorili na brze promjene poslovnog okruženja. Ovaj koncept je katalizator za promjene unutar već ustaljenog načina poslovanja, odnosno prilika za poboljšanje procesa i organizacijskih odnosa kako bi se ostvarila mjerljiva poboljšanja poslovanja. Izravne uštede uslijed primjene PLM-a uključuju smanjenje vremena i troškova potrebnih za dizajniranje proizvoda, smanjenje zaliha te poboljšanja kod ponovnog korištenja komponenti, smanjenje vremena za plasman i samim time smanjenje vremena povrata uloženi sredstava s novim i poboljšanim proizvodima, te skraćenje u vremenu potrebnom za lociranje i pristup potrebnim informacijama. Ovi i drugi utjecaji uzrokuju poboljšani povrat sredstava uz veći profit, kao i druge poduzetničke inicijative poput ERP (eng. *Enterprise resource planning*) sustava tj. sustava za upravljanje resursima tvrtke, CRM-a (eng. *Customer relationship management*) koji služi za upravljanje distribucijom i SCM-a (eng. *Supply chain management*) tj. upravljanje lancem nabave. Iz tih razloga PLM se nameće ne kao poslovna opcija već kao konkurentna potreba.

## 2.2 Povijesni razvoj PLM-a [2],[4]

Izraz „*product lifecycle management*“ javio se nakon približno dvadesetak godina tržišnog i tehnološkog razvoja. Sredinom 80-ih i početkom 90-ih godina prošlog stoljeća, postojale su nedoumice vezana za naziv informacija vezanih za proizvod, a naročito za inženjerske informacije. Ti podacima smatrali su se općenito kao proizvodni podaci (eng. *Product data*), te se na temelju toga pojavio termin *product data management* (PDM). Izraz prihvaćen od strane korisnika te davatelja usluga vezanih za PDM ostao je u upotrebi mnogo godina. U stvari PDM ostaje jedna od izvornih komponenti PLM-a. PLM je iznikao kao termin koji se koristi za opisivanje poslovnog pristupa za stvaranje, upravljanje i upotrebu intelektualnog kapitala i informacija vezanih za proizvod kroz njegov životni ciklus. Kontinuirani razvoj samog značaja PLM-a najbolje je prikazati slikom:



Slika 2. Razvoj PLM-a [2]

Prije dvadesetak godina, implementacije po narudžbi bile su usmjerene ka preciznoj aplikaciji primarno vezanoj za inženjerske projektantske podatke. U kasnim osamdesetima velik naglasak je bio na upravljanju inženjerskim nacrtima, ograničena rješenja za ovakve probleme uglavnom su koristili menadžeri u strojarskom sektoru. Implementacije po narudžbi razvile su se u kompletne alata (eng. *Tool kits*) i generičke aplikacije koje su automatizirale neke karakteristične funkcije. Pružatelji usluga stekli su iskustvo implementirajući svoje alate u raznim industrijskim granama, tako da je došlo do razvoja njihovih rješenja u poslovno usmjerene aplikacije. Ove aplikacije pružaju standardizirane modele podataka, predefinirane predloške radnih tokova (eng. *workflow*) te ostale funkcije nužne za rješavanje nekih poslovnih problema. Danas je fokus na cjelovitim poslovnim rješenjima kojima se rješavaju problemi većeg i manjeg prioriteta. Takva rješenja uključuju najbolje poslovne prakse koje omogućuju organizacijama usmjeravanje poslovnih procesa prema današnjim standardima razvijene industrije.

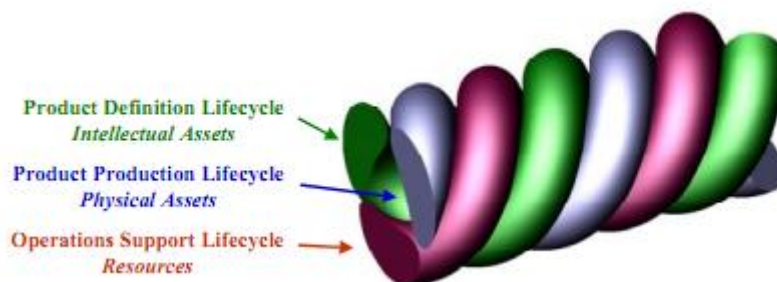
Ova vrsta razvoja utjecala je na percepciju i samu definiciju „životnog ciklusa proizvoda“. Prije dvadesetak godina „životni ciklus“ bio je usmjeren na projektantske aktivnosti, te su alati bili usmjereni na upravljanje CAD podacima. Kasnije se pogled na taj pojam proširio te počinje uključivati i sam radni tok te procese tokom životnog ciklusa proizvoda, odnosno dijeljenje informacija i procesa između različitih projektantskih aktivnosti. Posljednjih nekoliko godina kada su organizacije počele ulagati u PDM te rani PLM, kupci su najčešće bili menadžeri srednjih slojeva organizacije te povremeno oni iz visokog menadžmenta zaduženi za IT odjel, proizvodnju ili druge funkcijske sektore. Zbog širenja domene i utjecaja unutar poduzeća, današnja PLM rješenja promatraju se kao strateška ulaganja za povećanje poslovnog učinka.



### 2.3 Uloga i koncept PLM-a [2],[4],[5]

Cjelokupni životni ciklus proizvoda sastoji se od tri elementa:

- Definiranja proizvoda
- Definiranja proizvodnje
- Operativne podrške



Slika 3. Elementi životnog ciklusa [2]

Unutar svake proizvodno orijentirane kompanije cjelokupan životni ciklus proizvoda, sastavljen je od ovih međusobno ovisnih cjelina, koje imaju određen opseg i ulogu s gledišta ukupnog ciklusa. Svaki element obuhvaća procese, informacije, poslovne sustave te ljude uključene u realizaciju te poslovne funkcije. Sa stajališta PLM-a primarni element je životni ciklus definiranja proizvoda tj. formiranje i upravljanje s intelektualnom imovinom. Uzevši u obzir cjelokupni životni ciklus, ova etapa započinje s zahtjevima kupca i konceptom proizvoda te s proteže sve do zastare proizvoda. Uključuje definiranje cijelog proizvoda, od mehaničkih i elektroničkih komponenti do softwera i dokumentacije. Također uključuje cijeli komplet informacija koje definiraju kako je proizvod projektiran, proizveden, upravljan ili korišten, servisiran i na kraju povučen iz proizvodnje te rastavljen kada dođe do njegove zastare. Definicija proizvoda se kontinuirano ažurira tokom čitava životna ciklusa, te ona predstavlja intelektualno poslovno vlasništvo, tj. intelektualnu imovinu koja mora biti kreirana, sakupljena, održavana i ocijenjena.

Drugi element životnog ciklusa, proizvodnja proizvoda, usmjerena je proizvod koji se može isporučiti odnosno materijalnu tvorevinu primjerice automobil, avion, aparat itd. Ovaj ciklus uključuje sve aktivnosti vezane za proizvodnju i distribuciju proizvoda. ERP sustavi su primarna aplikacija kojom se rješavaju problemi proizvodnje, koncentrirajući se na način proizvodnje, izrade, postupanja sa zalihama te samu isporuku proizvoda.

Treći veliki proces koji se spominje je operativna podrška. Njen fokus je na upravljanju ključnim resursima poduzeća kao što su zaposlenici, financije i ostali resursi koji su podrška radu poduzeća. Kako bi tvrtka uspjela, potrebno je ostvariti usklađenost i prijenos podataka između sva tri ciklusa. Izazovi s kojima se svaka tvrtka suočava su:

- Poboljšanja na području razvoja i definicije proizvoda, učenja i primjene najboljih načina iskorištenja intelektualnog kapitala
- Omogućavanje integracije ljudi iz raznih odjela organizacije te stvaranje okvira za suradnju kroz čitav životni ciklus

- Učinkovito dijeljenje informacija vezanih za definiciju proizvoda kroz njegov životni ciklus
- Integracija s dobavljačima kako bi postali logičan nastavak poduzeća te se na taj način ostvarila izvrsna suradnja te shodno tome i okviri za buduće inovacije

PLM ima ulogu da olakša upravljanje životnim ciklusom definiranja proizvoda te da ga integrira s ostala dva elementa životnog ciklusa proizvoda. Stoga je bitno uočiti da se taj pojam ne odnosi na neki zaseban računalni software ili metodu, već se radi o konceptu i kompletu sistematiziranih metoda koje pokušavaju kontrolirati rad s proizvodnim informacijama tj. usmjeravati procese stvaranja, korištenja, distribucije i spremanja tih podataka. Kao što je navedeno, PLM nije samo tehnologija, već pristup u kojem su procesi jednako bitni kao i sami podaci, fokus PLM-a nije samo na onome što se proizvodi već i na načinu kako se proizvodi.

Tri temeljna koncepta PLM-a su:

- Univerzalan, siguran i kontroliran pristup te upotreba informacija vezanih za definiciju proizvoda
- Održavanje integriteta definicije proizvoda i vezanih informacija kroz cijeli životni ciklus proizvoda
- Upravljanje i održavanje poslovnih procesa korištenih za stvaranje, upravljanje, širenje, dijeljenje i upotrebu informacija

Iako informacije podrazumijevaju sve vrste medija za pohranu, u kontekstu PLM-a težište je na upravljanju digitalnim prikazom tih informacija. PLM podržava široku paletu proizvodnih podataka pošto mnogi današnji proizvodi sadrže software i elektroničke komponente čijim se podacima treba upravljati. Stoga PLM podržava upravljanje svim informacijama vezanima za proizvod od zahtjeva kupca, preko dizajna do proizvodnje te onima vezanima za njegovu primjenu. Informacije se protežu od tržišnih zahtjeva, specifikacija proizvoda te podataka i uputa kod testiranja do onih podataka vezanih za podešavanje proizvoda dobivenih na temelju njegove praktične primjene. PLM rješenja povezuju informacije s različitih alata za stvaranje i drugih sustava kako bi došlo do razvoja strukture proizvoda. PLM obuhvaća značajne elemente procesa, osim programa i procesa upravljanje projektom uključuje procese potrebne za izradu proizvoda, korištenje u praksi te one za njegovo odlaganje na kraju životnog ciklusa. Osim toga ova rješenja pomažu kod definiranja, provedbe, ocjenjivanja i upravljanja ključnim poslovnim procesima vezanima za proizvod. Proizvodni i operacijski planovi procesa predstavljaju svojstveni dio ovih rješenja

PLM model prikazan slikom 4. daje jasan uvid u tehnološke, upravljačke te procesne komponente kod određenog PLM rješenja u nekoj kompaniji. U podnožju modela su temeljne tehnološke komponente koje su sastavni dio bilo kojeg PLM rješenja. Davatelji usluga koriste ove temeljne elemente kako bi izgradili ključne funkcije, poput automatizacije kod oblikovanja proizvoda, njegove strukture i sastavnice materijala, toka rada i upravljanja procesima, upravljanja informacijama. Ključna funkcija je mogućnost nasljeđivanja sadržana unutar PLM rješenja.



Slika 4. PLM model[2]

Kod ove definicije PLM model moguće je uočiti da su alati za stvaranje i analizu podataka o proizvodu dio PLM okoline, a takav pristup u mnogome se razlikuje od PDM rješenja. Stvaranje informacija vezanih za definiciju proizvoda uključuje alate za stvaranje i analizu strojarskih nacrti i planova izvedbe, nacrti elektroničkog dizajna te softverskog dizajna. PLM uključuje aplikacije za stvaranje dokumentacije koja služi za definiranje i podršku proizvodu tokom životnog ciklusa. Davatelji rješenja koriste ključne funkcije za izgradnju funkcionalnih aplikacija za upravljanje procesom rada i razmještaja. S obzirom na široku definiciju pojma PLM bitno je naglasiti koje elemente PLM rješenja podržavaju:

- Upravljanje:
  - Podacima i informacijama proizvoda
  - Projektnim lancem
  - Dokumentacijom i njenim sadržajem
  - Zahtjevima (funkcionalnost, izvedba, kvaliteta, cijena, rok isporuke)
  - Portfeljem projekta i proizvoda
  - Imovinom npr. mehanizacijom postrojenja, opremom na proizvodnim linijama
- Upravljanje projektima
- Suradnja i vizualizacija
- Upravljanje nabavom
- Proizvodnja podržana računalom
- Stvaranje informacija vezanih za definiciju proizvoda
- Analizu, simulaciju i validaciju proizvoda
- Tehničku publikaciju:
  - Priručnike za servis

- Korisničke priručnike
- Montažne priručnike

Suradnički razvoj proizvoda ili upravljanje lancem prikupljanja intelektualne imovine postaje jednako važno kao i sama logistika odnosno proizvodni lanac. Suradnici kod rada na projektu moraju imati učinkoviti način dijeljenja i ocjenjivanja zajedničkih resursa, znanja, proizvoda te intelektualnog kapitala. PLM stoga obuhvaća te omogućuje upravljanje ovim elementima između suradnika. Integracija projektnih procesa potiče inovacije na svim razinama organizacije. Veliki pomak koji se dogodio unazad par godina na području PLM jest prepoznavanje važnosti definiranja mehaničkih, elektroničkih, softverskih i dokumentacijskih postavki koje su jednako vrijedne kao i definiranje proizvodnog procesa nužnog za izradu proizvoda, stoga vodeći pružatelji PLM rješenja sjedinjuju ove mogućnosti unutar svojih ponuda.

Sveukupno gledajući, PLM je inicijativa koja obuhvaća sve aktivnosti koje se odvijaju unutar projektiranja i razvoja te upravljanja njima, a širi se i na održavanje i logističku podršku. Pritom treba voditi računa da PLM ne uključuje druga poslovna rješenja kao npr. ERP, CRM itd.. Isto tako ne sadrži sustave koji podržavaju velike poslovne funkcije poput marketinga i prodaje, distribucije, menadžmenta ljudskim potencijalima te financija, no te funkcije su u interakciji sa komponentama PLM rješenja.



Slika 5. Veze između poslovnih rješenja[2]

CRM koji je u pravilu usmjeren na upravljanje prodajom i procesima narudžbe, može se koristiti za prikupljanje korisničkih zahtjeva vezanih za proizvod. Dok su upravljanje portfoliom i proizvodom kao i zahtjevi korisnika dio PLM-a, konvencionalne CRM tehnologije nisu. Međutim postoji značajna interakcija između procesa i informacija ovih dvaju rješenja. PLM se integrira sa CRM sustavima kako bi bile ostvarene slijedeće mogućnosti:

- Pružanje informacija vezanih za definiciju proizvoda koje se koriste u prodaji i servisu

- Stjecanje korisničkih zahtjeva za poboljšanja na proizvodu, dobivanje informacija o novim potrebama korisnika, te informacija o problemima i nedostacima koje treba otkloniti na proizvodu
- Praćenje pojave novih potreba korisnika kroz životni ciklus proizvoda
- Upravljanje inovacijama
- Provođenje ispitivanja tržišta kao podlog marketinškom planu koji se izrađuje usporedno s razvojem proizvoda kako bi bio ostvaren uspješan plasman na tržište.

Jednako tako dolazi do integracije ERP sustava s PLM-om, ERP se bavio životnim ciklusom proizvodnje proizvoda, no unatrag nekoliko godina ponuda pružatelja usluga se promijenila u tom smjeru da današnja rješenja kombiniraju mogućnosti PLM i ERP sustava. Na slici 5 je vidljivo da su uz PLM rješenja korištena u fazi razvoja proizvoda i projektnih procesa, onog trenutka kad se proizvod pustio u proizvodnju korišteni i ERP sustavi.

## 2.4 Prednosti i koristi PLM –a [2],[4],[5],[6]

PLM se implementira u različite kompanije iz različitih razloga, koji ovise o grani industrije u kojoj se nalazi tvrtka, o vrsti proizvoda, te najviše o tome što korisnici sustava žele njime rješavati. Sustavi predstavljaju izuzetno korisne alate i metode za rješavanje problema na dnevnoj bazi vezanih za upravljanje životnim ciklusom proizvoda. Pogrešno je očekivati da će se samo primjenom sustava riješiti svi problemi vezani za upravljanje podacima, on je alat kojim se poboljšava učinkovitost posla te služi kao pokretač promjena unutar poslovanja. Te promjene se odnose na unutarnje poslovne procese, ali i na način rada s poslovnim partnerima, dobavljačima i kupcima. Ovim sustavom se stvara te održava inovativno poslovanje koje će biti konkurentno na svim tržištima.

PLM rješenja dovode do povećanja sposobnosti, točnosti i učinkovitosti tvrtke s aspekta organizacijskih jedinica. Koristi se mogu uočiti u smislu korporativne komunikacije, sposobnosti organizacije na promjene i primjeni PLM kao podršci istodobnom inženjerstvu. Ova tehnologija omogućuje sigurniji pristup i dijeljenje informacija o proizvodu, štiteći intelektualnu imovinu koja je temeljna konkurentna prednost tvrtke. Koristi primjene PLM-a u smislu izvedbe proizvoda su smanjenje troškova, kraće vrijeme potrebno za isporuku i veća kvaliteta, a samim time zadovoljavaju i potrebe kupca te nadmašuju konkurenciju. Najvažnije postići kvalitetan proizvod s gledišta budućeg korisnika, a upotrebom ovih sustava lakše i brže dolazi do odziva na tržišne zahtjeve.

Osim toga PLM-om dolazi i do povećanja pojedinačne učinkovitosti, što zbog upravljanja informacijama o definiciji proizvoda, ali i zbog toga što su pojedinačni zadaci jasno definirani unutar poslovnih procesa i tokova rada. Pozitivni učinak vidljiv je i na učinkovitosti i točnosti procesa zbog poticanja na jasno strukturiran rad, ali i zbog pružanja pravih informacija, u pravo vrijeme pravim zaposlenicima. Zbog svega navedenog jasno je da su ova rješenja u doticaju sa svim aspektima tvrtke, jer mogućnost učinkovite integracije i upotrebe proizvodnih informacija ima jednaku važnost i prodaji, marketingu, planiranju proizvodnje i dobavljačima. Sve funkcije

trebaju detaljne i pravovremene informacije koji se proizvodi projektiraju i proizvode. Primjeri specifičnih koristi ostvarenih primjenom PLM rješenja uključuju:

- Vremenske uštede:
  - Definiranje strukture proizvoda je skraćeno jer se jednostavno mogu iskoristiti postojeće informacije
  - Smanjuje se broj preklapajući poslova
  - Liste dijelova dostupne su svima uključenim u proces te su u skladu sa zadnjim promjenama
  - Nužan je manji broj ispravaka informacija
  - Povijesne informacije o dijelovima te njihovi nacrti dobavljivi su brzo i uz minimalan napor
  - Olakšana dostupnost informacija vezanih za radne planove
  - Povećanje stupnja unutarnje i vanjske tvrtkine usluge
- Povećanje kvalitete:
  - Izmjene u dokumentima mogu biti prihvaćene elektroničkim putem
  - Distribucija informacija o promjenama je brža i točnija
  - Certifikati, evidencije i rezultati testiranja mogu se povezati s proizvodom
  - Standardi kvalitete dostupni su svima, jednostavno ih je ažurirati i dijeliti
  - Povećana sigurnost informacija i jednostavno stvaranje različitih razina korisničkih privilegija
  - Porast fleksibilnosti informacija
- Smanjenje vezanog kapitala:
  - Smanjenje različitog broja dijelova i njihova standardizacija
  - Zaliha dijelova se smanjuje iz razloga što proizvodna struktura pokazuje jasno što je potrebno u skladištu
  - Pravilnim proizvodnim strukturama olakšano upravljanje ukupnim proizvodnim materijalom.

Samim time PLM se pokazao izuzetno korisnim na svim razinama poduzeća, kako za one koji trebaju izvesti sam rad tako i za one koji donose odluke. PLM je rješenje kojim se može odgovoriti na zahtjeve poslovnog okruženja te je u današnje vrijeme neophodan za ostvarenje konkurentske prednosti, a samim time opstanka i širenja na globalnom tržištu.

### 3 PLM KAO SOFTVERSKO RJEŠENJE

#### 3.1 Općenito o PLM-u kao informacijskom sustavu [2],[3], [5],[7]

Poslovni zahtjevi su oduvijek bili glavni pokretač razvoja novih tehnoloških rješenja. Povećanje zahtjeva kupaca i neprestan rast konkurencije na tržištu, izaziva pritisak na tvrtke koje u takovim uvjetima moraju skratiti vrijeme plasmana proizvoda na tržište. Ova vrsta zahtjeva traži od tehnoloških rješenja da ubrzaju razvoj proizvoda, da poboljšaju proizvodne i dobavne sposobnosti i kapacitete te u krajnjoj liniji povećaju povrat sredstava vezan za iskoristivost životnog ciklusa. Drugim riječima proizvod mora biti isporučen unutar roka isporuke, mora biti funkcionalan te posjedovati tražene performanse, vizualna izvedba te cijena su neizostavan zahtjev svakog kupca. Pošto ove varijable variraju tokom životnog ciklusa proizvoda, procesi inovacija moraju uzeti u obzir ove promjene te ih ispunjavati. Dakle primjenom PLM u slučaju razvoja proizvoda želi se:

- Smanjiti vrijeme isporuke i plasiranja proizvoda na tržište
- Povećati kvalitetu proizvoda
- Smanjiti troškove izrade prototipova i testiranja proizvoda
- Stvoriti uštede služeći se podacima iz prethodnih faza razvoja proizvoda, ali i originalnih podataka
- Optimirati proces izrade i razvoja proizvoda
- Smanjiti otpad u proizvodnji
- Uštedjeti na materijalu, vremenu i toku informacija

U prošlom desetljeću ovom poslovnim izazovu pokušalo se doskočiti primjenom naprednih proizvodnih tehnologija i prijelazom na masovnu proizvodnju, nakon toga dolazi do prijelaza na istodobno inženjerstvo, kojim se provodi optimizacija unutarnjih procesa tvrtke, te na primjenu alata za prikaz kompanije u virtualnom okruženju, kojim se može ocijeniti intelektualni kapital putem kolaborativnih inovacija. U virtualnom okruženju tvrtka mora usko surađivati s kupcima, proizvođačima i dobavljačima u stvarnom vremenu kako bi mogli brzo reagirati na dinamične tržišne promjene.

PLM sustav je u idealnom slučaju sustav za obradu informacija ili grupa IT sustava koji integriraju funkcije cijele tvrtke. Ovakva integracija se obavlja kroz povezivanje, integraciju i kontrolu tvrtkinih poslovnih procesa i proizvedenih proizvoda putem proizvodnih podataka. U realnom slučaju PLM sustavi se ipak često primjenjuju samo na određene poslovne procese, kao što su projektiranje i razvoj proizvoda. PLM je nadasve tehnologija povezivanja, a ne pojedinačna tehnologija ili sustav za obradu informacija poput primjerice CAD-a. Specijalizirani IT sustavi mogu biti veoma učinkoviti u svom području primjene no obično uzrokuju uska grla kod toka podatka na nekim drugim mjestima unutar kompanije. Najvažniji poslovni procesi, proizvodni proces i logistika, kod proizvodne industrije se preklapaju u funkcionalnom i organizacijskom smislu. Neke od mogućih definicija PLM-a kao informacijskog sustava su:

*„ Sveobuhvatan informacijski sustav koji usklađuje sve aspekte proizvoda od njegova početna koncepta pa do eventualnog umirovljenja. Nekad se i kolokvijalno naziva „digitalnom kralježnicom“ proizvoda, te uključuje fazu korisničkih zahtjeva, etapu projektiranja i analiziranja, proizvodnju, distribuciju, osiguravanje kvalitete i održavanje i nabavu rezervnih dijelova “*

*PC Mag.com*

*„Informacijski sustava koji podupire upravljanje portfeljem proizvoda, procesa i usluga od inicijalnog koncepta, preko projektiranja i proizvodnje pa do upotrebe i odlaganja. Usklađuje i širi informacije vezane za proizvode, projekte i procese za vrijeme razvoja, proizvodnje, servisiranja i umirovljenja proizvoda između unutarnjih i vanjskih suradnika, koji moraju surađivati kako bi došlo do realizacije koncepta “*

*Cambashi.com*

Kako bi PLM sustav u potpunosti bio funkcionalan trebao bi biti u mogućnosti pohranjivati i upravljati podacima za:

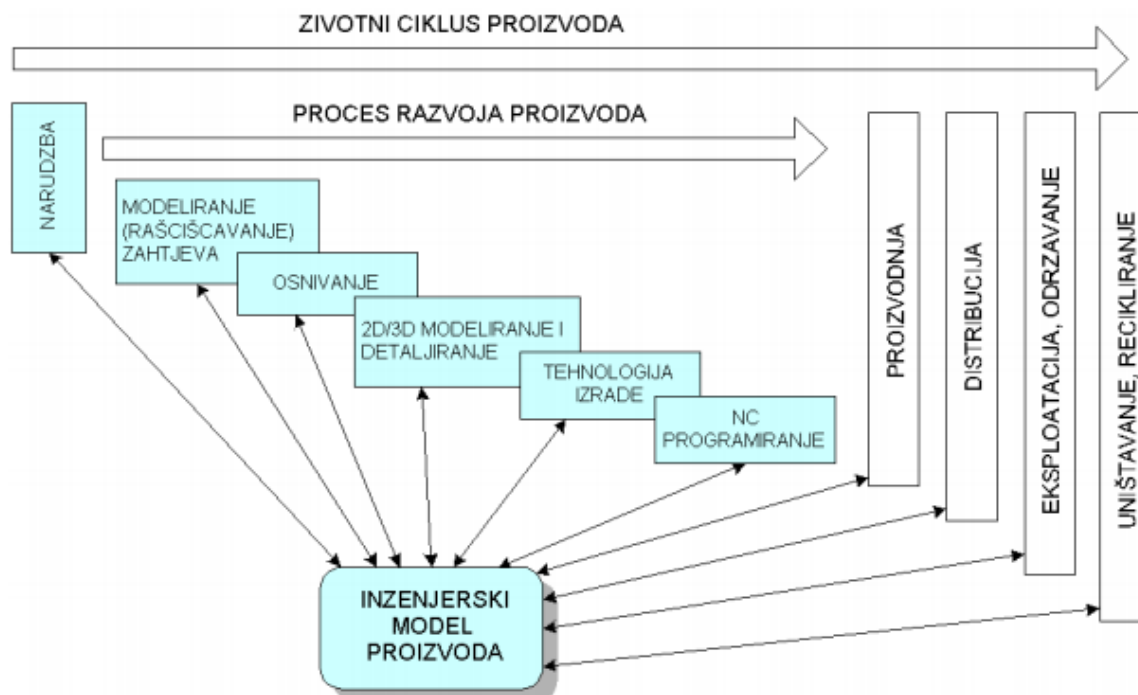
- Osmišljavanje proizvoda
  - Specifikacije i zahtjevi za proizvod
  - Konceptualni dizajn
- Konstruiranje proizvoda
  - Detaljna tehnička razrada
  - Provjera izvedivosti i analize (simulacije)
  - Alati za izradu
- Ostvarivanje proizvoda
  - Planiranje proizvodnje
  - Izvođenje proizvodnje
  - Sklapanje i montaža
  - Provjera kvalitete
- Usluge vezane uz proizvod
  - Prodaja i distribucija
  - Upotreba i korištenje
  - Održavanje i servisiranje
  - Odlaganje i recikliranje

PLM sustav, kao softversko rješenje obuhvaća četiri glavna područja:

- Upravljanje proizvodom i portfoliom proizvoda
- Konstruiranje proizvoda (CAD-CAX)
- Upravljanje procesima proizvodnje
- Upravljanje podacima o proizvodu (PDM)

Ukratko, kako bi PLM sustav ispunjavao u potpunosti svoju namjenu, trebao bi pokrivati sva područja prikazana na slici 6.

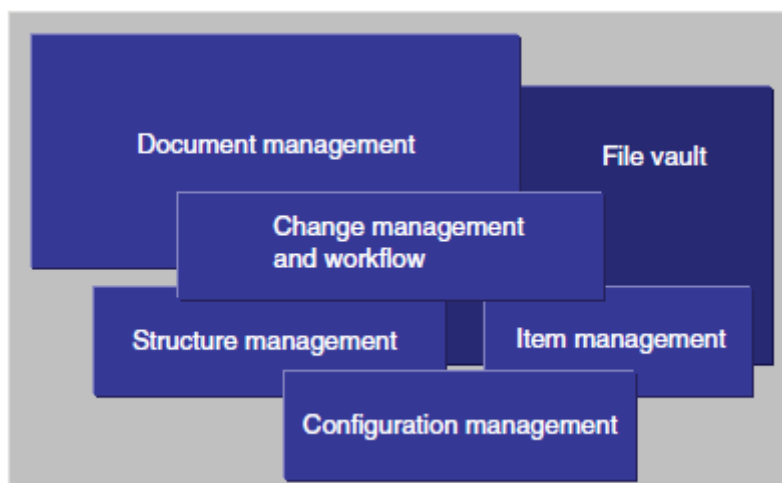




Slika 6. Životni ciklus proizvoda – zahtjevi za PLM [3]

### 3.2 Značajke PLM informacijskih sustava [5]

Ilustracija značajki PLM informacijskih sustava:



Slika 7. Značajke PLM informacijskih sustava [5]

Značajke koje posjeduju ovi sustavi su slijedeće:

- Upravljanje stavkama (eng. Item management) – jedna od osnovnih funkcija PLM sustava. Sustav upravlja informacijama vezanima za status stavke, kao i za procese vezane za stvaranje i održavanje stavke.

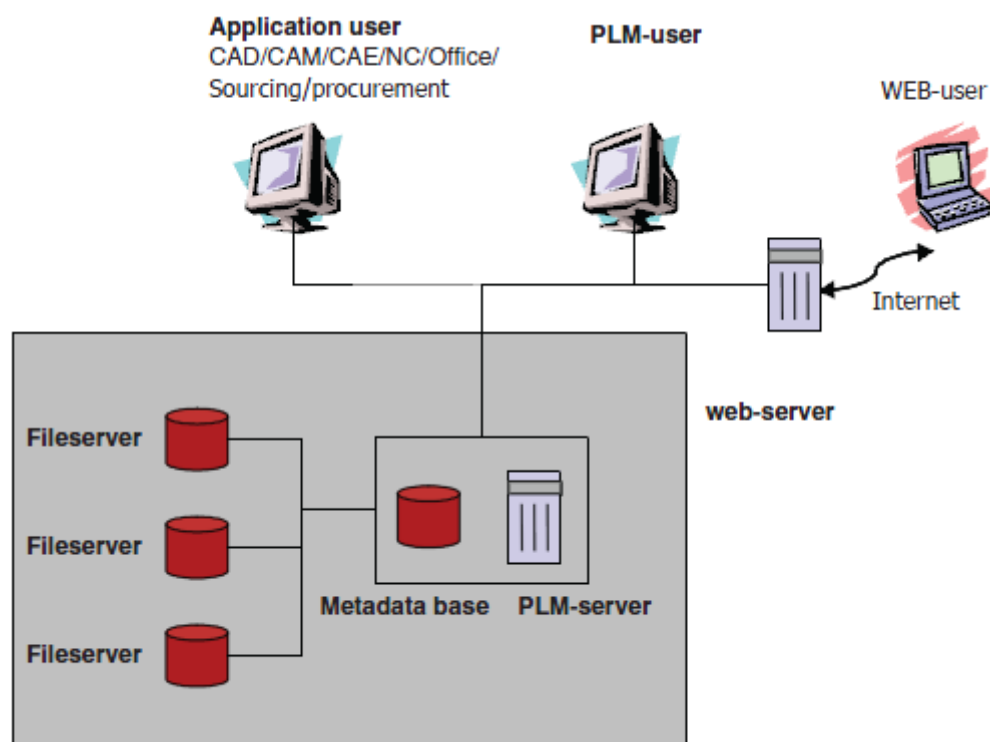
- Upravljanje i održavanje strukture proizvoda – PLM sustav prepoznaje pojedinačne informacije i njihove veze s drugim dijelovima informacije putem strukture proizvoda, koja se sastoji od hijerarhijski povezanih stavki
- Upravljanje korisničkim povlasticama (eng. User privilege management) – PLM sustavom definirana su prava pristupa informacijama. Sustav definira korisničke uloge putem kojih neki korisnici imaju prava na stvaranje novih informacija, njihovu promjenu i prihvaćanje njihovih promjena, te one korisnike koji ih mogu samo gledati i koristiti se njima
- Održavanje stanja i statusa dokumenata i stavki – sustav ažurira informacije vezane za stanje i verziju svakog dokumenta i stavke, te o njihovim promjenama, kad su se dogodile, kakve su i tko ih je napravio
- Pretraživanje i dohvat informacija – sustav olakšava pretraživanje podataka, kako bi bilo moguće bolje iskorištenje postojećih informacija kod stvaranja novih informacija, te je lako otkriti kako je dana informacija povezana s drugim informacijama
- Upravljanje promjenama – alat kojim se zadnje važeće informacije o promjenama spremaju u dokumente i stavke, koje su zatim dostupne na pravom mjestu u pravo vrijeme
- Upravljanje konfiguracijom (eng. Configuration management) – ova vrsta upravljanja služi da bi proizvodi bili izvedeni prema korisničkim željama
- Upravljanje zadacima ili upravljanje tokom rada – jedno od osnovnih svojstava PLM sustava. Priopćenje i raspodjela zadataka provodi se putem grafičke ilustracije lanca zadataka i putem e-maila ili radne liste. Ova značajka posebno važna kod decentraliziranih organizacija
- Trezor datoteka (eng. File vault) – sustav uključuje trezor datoteka odnosno spremnik datoteka. Radi se o lokaciji na kojoj se stvarni podaci te njihovi privici spremaju. Obično je lociran u blizini grupe ljudi koja se bavi administracijom datoteka. U praksi radi se o serveru na istoj lokalnoj mreži.

Geografska te ograničenja u mrežnoj arhitekturi obično dovode do toga da su stvarni serveri decentralizirana na cijelu tvrtkinu mrežu kako bi datoteke bilo moguće što brže dostaviti ljudima i aplikacijama. Iz tih razloga PLM sustav potrebno je podijeliti na nekoliko servera datoteka koji moraju uvijek imati iste verzije svake datoteke. To se provodi kopiranjem velikih datoteka na sve servere za vrijeme kada najmanjeg opterećenja mreže najčešće noću. PLM sustav temelji se na jednom ili više fizičkih servera, koji koriste PLM aplikaciju te bazu meta-podataka kako bi upravljali ostalim bazama podataka.

### 3.3 Arhitektura PLM informacijskih sustava [5]

Komercijalni PLM sustavi obično imaju mnogo zajednički značajki. Svi sustavi sadrže određene značajke, funkcije i tehnike, koje su funkcionalno identične nezavisno od sustava. Te sustavno neovisne funkcionalne jedinice uključuju:

- **Trezor datoteka** – skladište informacija i podatak spremljenih u datoteke, koji zadovoljavaju određene zahtjeve grupe. Ova vrsta informacija sastoji se od dokumenata koji su u različitim etapama životnog ciklusa
- **Baza metapodataka** – potrebna je za održavanje strukture cijelog sustava. Zadatak baze metapodataka je upravljanje vezama između pojedinih dijelova proizvodnih podataka, strukturom informacija, te pravilima i načelima potrebnima za osiguravanje sustavnog spremanja informacija. Baza metapodataka vodi evidenciju o proizvodnim podacima proizvedenim od strane različitih sustava i aplikacija koje djeluju unutar sfere PLM-a.
- **Aplikacija** – izvršava funkciju PLM-a u smislu upravljanja informacijama i bazom metapodataka te je korisnik vidi kao niz različitih korisničkih sučelja. Zadatak softvera je da omogući sve funkcije PLM-a, prijenose podatka, te njihove konverzije u skladu s načelima PLM-a. Aplikacija može djelovati i kao veza između različitih aplikacija i sustava unutar sfere PLM-a te omogućuje povezivanje odvojenih baza podataka.



Slika 8. Primjer arhitekture PLM sustava [5]

Na slici 8. se može uočiti veza između temeljnih elemenata PLM sustava. PLM aplikacija ima mogućnost upravljanja verzijama, sustav prepoznaje različite verzije iste datoteke temeljem određenih ključeva npr. vremena stvaranja. Međutim sustava ne može interpretirati sadržaj datoteke kojom upravlja, zato korisnik mora pohraniti potrebne informacije npr. ime datoteke, link na proizvodnu strukturu odnosno metapodatke kod stvaranja datoteke u sustavu. Korisnik sustava može obavljati pretraživanje sustava, koje se obavlja pretraživanjem sadržaja dokumenata kojima sustav upravlja. Ostala uobičajena svojstva aplikacije uključuju prihvaćanje i izdavanje stvorenih dokumenata, upravljanje promjenama, te priopćenja o promjenama napravljenima za vrijeme trajanja procesa rada. Kod mnogih PLM sustava dolazi

do stvaranja poveznica, na temelju dokumenta ili tipa datoteke, s aplikacijom koje se koriste za pravilno stvaranje i rukovanje datotekama. PLM sustavi obično sadrže programe za konverziju informacija, koji se primjenjuju za konverziju proizvodnih podataka u opći format koji zatim korisnik sustava može gledati. Gotovo svaki PLM sustav sadrži e-mail sučelje ili može koristiti tvrtkin postojeći e-mail sustav.

Razlozi za razlike između sustava te za razlike u njihovoj arhitekturi su:

- Svojstva i ispunjenje zahtjeva uslijed razlika u opsegu i skalabilnosti sustava
- Potreba za različitim tipovima funkcija kod različitih grana industrije zbog različitih prioriteta
- Dobavljači ovih sustava pristupaju PLM konceptu na drugačiji način

Pogodni operativni sustavi za PLM aplikacije su uglavnom Microsoft Windows, UNIX i Linux. Primjena PLM sustava na Internetu zahtjeva upotrebu nekog Internet pretraživača npr. Opere, Netscapea, Firefoxa ili Microsoft Internet Explorera. Kao što je navedeno ranije PLM sustav zahtjeva postojanje jedne ili više baza podataka kako bi mogao raditi. U ovom postoje razlike kod dobavljača sustava pošto neki sustavi zahtijevaju točno određene baze podataka koja su uglavnom vlasnički brandovi dobavljača. No uglavnom PLM sustavi podržavaju upotrebu SQL relacijskih baza podataka kao što su Oracle, MS, SQL-Server Informix, Sybase, Progress ili DB2. Ovdje dolazi do pojave problema kod PLM sustava uslijed integracije i prijenosa podataka između različitih baza podataka i različitih sustava.

Povezivanje različitih aplikacija s PLM sustavom ostvaruje se putem poveznica različitih razina. Moderni PLM sustavi temeljeni su na objektno orijentiranoj arhitekturi i tehnologiji u kojoj su odvojeni dokumenti ili tipovi datoteka sadržani unutar objekata. Svaki objekt pripada vlastitom razredu objekata, koji se obrađuju po određenim pravilima putem PLM aplikacija.

### **3.4 Primjena PLM informacijskih sustava kod različitih organizacijskih oblika i poslovnih funkcija [2],[5],[6]**

PLM se primjenjuje kod različitih organizacija uključujući tvrtke, zajednice i vladine institucije, pružajući rješenje za različite vrste problema i zadataka. Postoji niz univerzalno primjenjivih funkcija kod bilo kojeg komercijalnog PLM sustava, koje se mogu primijeniti s obzirom na zahtjeve poslovnog okruženja. PLM sustavi uglavnom su promatrani kao rješenje kod funkcija planiranja, projektiranja i proizvodnje u proizvodnoj industriji. Međutim razvoj i evolucija aplikacija PLM sustava uslijed potreba umrežene industrije povećala je potrebu za njihovom primjenom i kod prodaje, marketinga te posebice *post-prodajnih* aktivnosti.

PLM sustavi uobičajeno se primjenjuju kod povezivanja kooperanata i vanjskih partnera za određene operacije tvrtke na određenim procesima kroz čitav lanac nabave. Temeljni procesi kod poslova proizvodnje su proizvodni procesi i distribucija koji su često čvrsto integrirani. Na početku životnog ciklusa, informacije o komponentama i dijelovima koji se trebaju nabaviti i proizvesti dostavljaju se od strane projektanta nabavi.

Funkcije istraživanja i razvoja proizvoda imaju najveći potencijal za primjenu PLM sustava te je stoga većina sustava usmjerena na ovo područje. Upravljanje dokumentima jednako je važno

s gledišta istraživanja i samog razvoja proizvoda, pošto je količina stvorenih i pohranjenih podataka velika. Kako bi željenim informacijama bio olakšan pristup potreban je napredan sustav za administraciju informacija, iz razloga što inženjeri stvaraju informacijske jedinice koje se mogu sastojati od mnogih datoteka. Procesom stvaranja informacija vezanih za razvoj proizvoda teško je upravljati te će njihova kvaliteta biti nezadovoljavajuća u slučaju da su projektantske informacije nepouzdanе. Neometani radni tok i distribucija informacija, te primjena postojeće dokumentacije, crteža i testiranih rješenja povećava učinkovitost inženjerskih aktivnosti i smanjuje rizik od pogrešaka. Zadatak alata za upravljanje promjenama je smanjenje projektantskih pogrešaka, koje su posljedica neprovjerenih promjena na već prihvaćenim planovima. Jedan od glavnih zadataka PLM rješenja na ovom području je da prava informacija o promjenama ode u proizvodnju ili kod kooperanta. Ažuriranje verzija dokumenata također spada pod zadatke PLM-a u ovom području.

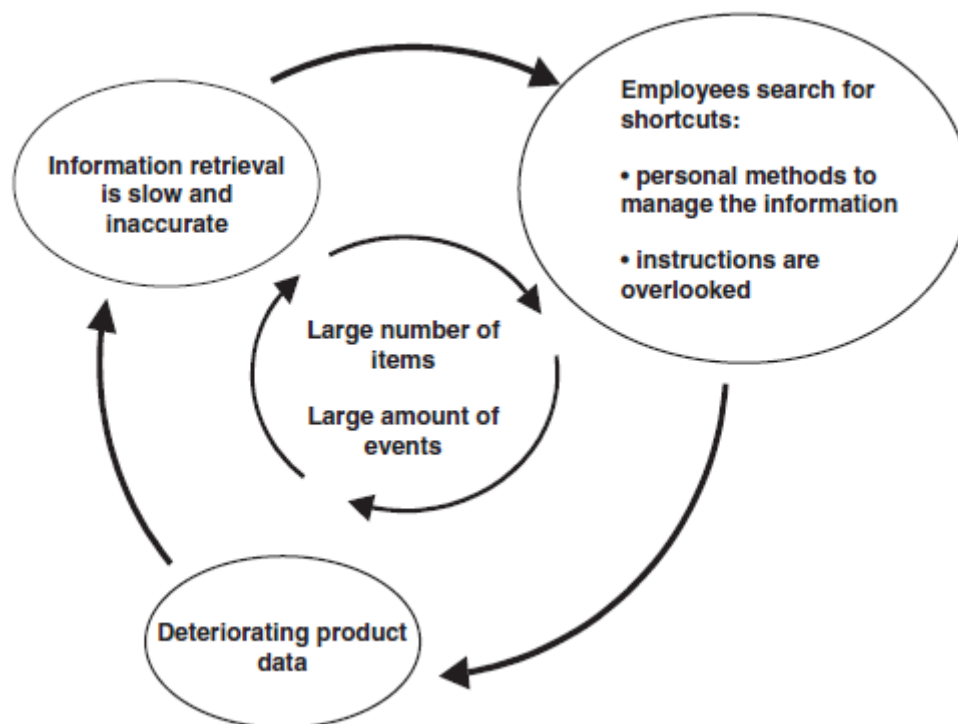
Poslovne značajke tvrtkinog PLM sustava najmanje su uporabljive kod proizvodnje. Često se tvrdilo da su mogućnosti za korištenje PLM sustava u proizvodnji ograničene. Sučelje između projektiranja i proizvodnje može izazivati probleme sa gledišta organizacije te posebice toka informacija. Tok informacija može biti loš unatoč mnogih razvojnih operacija te mnogih poboljšanja procesa. PLM sustav može predstavljati poveznicu između proizvodnje i projektiranja. Alati za upravljanje promjenama olakšavaju projektantima prenošenje informacija u proizvodnju vezano za izmijenjene komponente, izmjene u planovima te razvijanje novih verzija crteža, dok proizvodnja nasuprot tome može definirati planske izmjene tako da dolazi do poboljšanja proizvodnosti proizvoda. Integrirana proizvodnja (CIM) primjenom PLM sustava ostvaruje jednostavniji prijenos informacija, zato što on pruža podršku kod integracije različitih proizvodnih sustava. Proizvodnja može koristiti PLM za upravljanje promjenama vezanima za informacije o proizvodnim uređajima te na taj način dolazi do poboljšanja kod kontrole kvalitete, kalibracije uređaja te slijedivosti.

### **3.5 Razlozi za primjenu PLM sustava [2],[5],[6]**

Promjene u poslovnom okruženju dovode do poteškoća u pronalasku odgovarajućih informacija vezanih za proizvod te u održavanju cjelovitosti ovih informacija. Glavni razlog za pojavu ovih problema je u porastu verzija proizvoda, te velikoj količini informacija o proizvodu kao i u kompleksnosti dobavljačkih mreža tvrtke.

Nije jednostavno pronaći originalne izvore informacija u širokim, decentraliziran i globalnim organizacijama modernih kompanija, pogotovo u slučaju da ne postoje odgovarajući alati za upravljanje informacijama. Pronalazak informacija je spor iz razloga što su one razasute na različitim sustavima ili na računalima drugih zaposlenika. Ažuriranje informacija sve je netočnije i nepravilnije.

Ovo dovodi do situacije da se zaposlenici ne mogu pouzdati u točnost informacija vezanih za proizvod u tvrtkinom informacijskom sustavu. U tom slučaju oni stvaraju vlastite metode za upravljanje informacijama te ih pohranjuju na osobnim računalima, što za posljedicu ima otežan rad ostalih zaposlenika u tvrtci. Pretraživanje informacija je sve teže jer zaposlenici dovode do dezintegracije sustava.



Slika 9. Prikaz dezintegracije sustava [5]

Kako bi se razbio ovaj krug ili spriječio njegov nastanak, potrebno je staviti naglasak na poboljšanja i usklađivanje vrsta aktivnosti unutar sustava te njihovu standardizaciju, u tom kontekstu je primjena PLM sustava nezamjenjiva.

PLM sustavi su iznimno pogodni za razvoj unutarnje komunikacije i prijenosa podataka kompanije te komunikacije s vanjskim kompanijama u istoj mreži. Poboljšanja u komunikaciji i prijenosu podataka između odvojenih odjela je vjerojatno najvažnija korist funkcionalnog PLM sustava.

Sustav može biti primijenjen za poboljšanje izravne komunikacije, prijenosa datoteka i njihovu konverziju između različitih formata datoteka. Ovo je veoma bitno kod primjene različitih softvera za proizvodnju i održavanje proizvodnih podataka, npr. CAD softver. Prijenos podataka s CAD-a na ERP sustav može se odvijati preko PLM sustava kada je moguća upotreba zajedničkih baza podataka. Kompanije se odlučuju na investiranje u ovu vrstu sustava jer on omogućuje drastično smanjenje različitih vrsta nepotrebnih informacija.

PLM sustav prikuplja različite informacije o dnevnim operacijama proizvodne tvrtke, npr. informacije o broju različitih dokumenata i komponenti, broju promjena napravljenih na određenom proizvodu ili sklopu, što je neprocjenjivo kod razvoja poslova vezanih za nabavu. Nakon određenog vremena što je sustav u upotrebi, mogu se upotrijebiti sakupljene informacije i izvješća te su ona temelj za buduće odluke. Sustavno smanjenje i rezanje zaliha te standardizacija dijelova su klasičan primjer primjene sakupljenih informacija. No treba imati na umu da je sustav samo alat koji služi tvrtci i zaposlenicima da poboljšaju svoj rad, te neće doći do automatskih poboljšanja u učinkovitosti njegovom primjenom, teško su mjerljivi rezultati u

ekonomskom smislu vezani za upotrebu ovih sustava. Oni se očituju u smanjenju vezanog kapitala te opadajućim troškovima kvalitete.

### 3.6 Pregled komercijalnih PLM rješenja [8]

Na tržištu je prisutan veliki broj dobavljača PLM sustava. Uz to, gotovo svakodnevno se pojavljuju ali i nastaju manji dobavljači inovativnih sustava. Manji dobavljači se pojavljuju s novim konceptima temeljenim na novim računalnim tehnologijama, a nerijetko ih osnivaju nekadašnji djelatnici velikih dobavljača. Nestaju uglavnom zbog spajanja ili kupovine od većih dobavljača koji kupovinom gotovih sustava i ugradnjom kupljene funkcionalnosti u svoje sustave nastoje sačuvati svoju konkurentnost. Zbog toga nije lako održavati popis dobavljača aktualnim. Ipak tvrtka PDM Information Company na svojim stranicama održava vrlo opsežan pregled dobavljača.

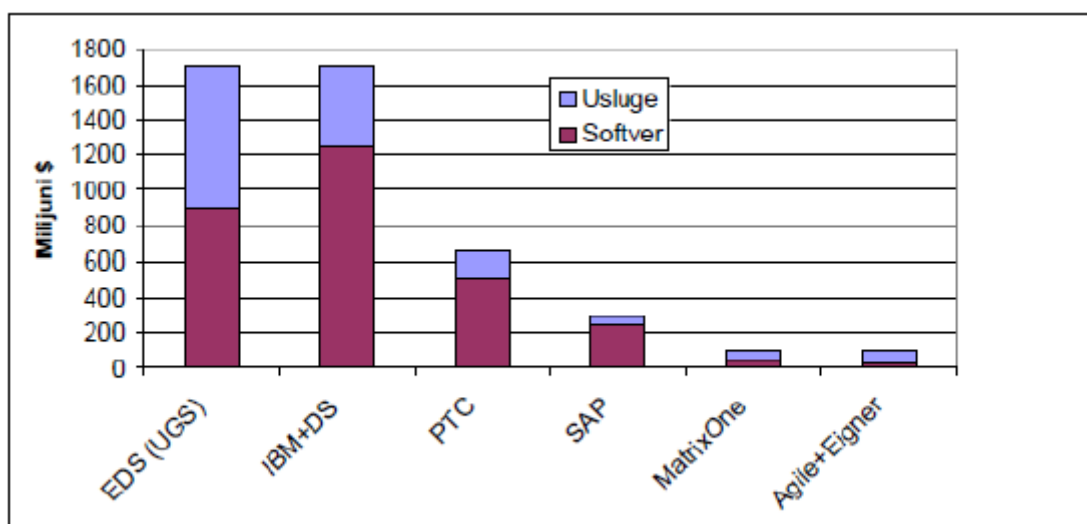
Radi uvida u stanje tržišta PLM sustava iz godišnjeg pregleda vodećih stotinu dobavljača softvera probrani su i tablično prikazani samo dobavljači PLM sustava. Važno je istaknuti, svim vodećim dobavljačima PLM sustava to u pravilu nije jedini niti većinski izvor prihoda.

BR.	TVRTKA	PRIHOD [10 <sup>6</sup> USD]
8	Autodesk	952
9	Dassault Systemes	948
10	UGS	897
14	PTC	657
34	MSC Software	253
64	MatrixOne	100,4
68	Agile Software Corp.	88,3
74	CoCreate Software	76

*Slika 10. Položaj dobavljača PLM softvera među 100 najvećih dobavljača softvera[8]*

Vrijednost tržišta PLM sustava dosegla je u 2003. godini iznos od 4,54 milijardi dolara, što je povećanje od 4% u odnosu na 2002. godinu. Ulaganja u sam PLM softver uključujući plaćanje licence, pretplate, obnavljanje prava korištenja i održavanja porasla su sa 1,64 milijardi dolara u 2002. na 1,94 milijardi u 2003. Čineći pri tome 42% ukupnih ulaganja u PLM tržištu. Veći dio od 58% tržišta ponijela su ulaganja u PLM usluge koja su dosegla 2,6 milijardi dolara u odnosu na 2,5 milijardi iz 2002. Prethodne godine bile su vrlo plodne za PLM industriju i obilježene su otvaranjem investicijskih fondova namijenjenih PLM sustavima u tvrtkama koje koriste PLM rješenja, što je potaklo njihov industrijski rast. Ovaj trend porasta ulaganja predviđa se i u narednim godinama uz zaoštavanje tržišne utakmice i uže fokusiranje dobavljača na pojedine industrijske grane.

Prema CIMdata, vodeći dobavljači PLM sustava u 2003. bili su Agile, EDS Corporation, IBM i Dassault Systemes ( IBM+DS ), MatrixOne ( Enovia ), PTC i SAP. Početkom 2004. EDS je prodao svoju PDM grupaciju privatnim ulagačima, utemeljivši Unigraphics Solutions ( UGS ) kao neovisni entitet. Međutim, 2003. je UGS još uvijek bio dio EDS-a pa su stoga razmatrani prihodi EDS Corporation. Prema tome su EDS i IBM+DS bili dobavljači s najvećim ostvarenim prihodom u 2003. Isto tako MatrixOne je 2006. godine kupio DS te je sad pod imenom Enovia te i to treba uzeti u obzir.



Slika 11. Prihodi od PLM sustava vodećih dobavljača 2003. Godine [8]

Kako bi kratak opis svih dostupnih PLM sustava zahtijevao više stranica, u ovom radu su samo navedeni neki od sustava koji se pretežno koriste u ovom dijelu Europe :

- PTC : Windchill PDMLink i PRO/Intralink
- Dassault Systemes : Enovia ( MatrixOne ) Solutions i SmarTeam
- Autodesk : Vault i Streamline

### 3.6.1 PTC : Windchill PDM Link i PRO/Intralink [9]

PTC ( Parametric Tehnology Corporation ) je tvrtka koja proizvodi i održava CAD/CAM/CAE te PDM/PLM softvere za više od 50 000 poduzeća širom svijeta. Tu je uključena zrakoplovna industrija, vojna industrija, automobilska industrija, medicinski uređaji. Tvrtka PTC osnovana je 1985. godine. PDM sustavi Windchill PDM Link tvrtke PTC osmišljen je i izveden u sklopu integralnog sustava za razvoj proizvoda u kojemu su još uključeni i široko poznati CAD/CAM/CAE sustav visoke opsežnosti Pro/ENGINEER Wildfire te sustav za upravljanje i suradnju na projektima Windchill ProjectLink. I dok je Windchill potpun PDM sustav, Pro/INTRALINK je donekle pojednostavljen PDM sustav čija je osnovna namjena upravljanje podacima u radnoj grupi inženjera koji rade primarno u Pro/ENGINEER-u.

Kao što je navedeno, Windchill je softver tvrtke PTC i spada u kategoriju PLM i PDM softvera koji su pobliže u uvodu pojašnjeni. Programski sustav Windchill predstavlja okosnicu PLM sustava za tvrtke bilo koje veličine, od najmanjih radionica pa do globalnih korporacija.



Kao što je prethodno spomenuto Windchill se sastoji od više podsustava, a to su:

- Windchill PDMLink :
  - upravljanje podacima o proizvodu
  - podrška timskom radu (jedna ili više lokacija)
  - podrška kompleksnom procesu razvoja proizvoda
  - upravljanje promjenama
  - upravljanje konfiguracijama
- Windchill ProjectLink
  - upravljanje procesima suradnje
  - upravljanje projektima
- Windchill MPMLink
  - izrada tehnološke sastavnice proizvoda
  - planiranje proizvodnje (operacije, resursi)
  - automatizacija izrade radnih naloga
- Značajke aplikacije Windchill :
  - potpuna Internet tehnologija
  - integrirana logika poslovanja
  - web standardna komunikacija
  - web preglednik sučelje
  - podrška za raznovrsne CAD alate
- Prednosti :
  - jedan izvor informacija o proizvodu / bolja učinkovitost i manja vjerojatnost pojave greške
  - potpuna definicija proizvoda
  - informacija neovisna o izvoru
  - potpuna integracija s Pro/ENGINEEROM
  - jedna “home page” sa svim informacijama
  - Microsoft office integracija
  - pohrana dokumenata u pdf format

### 3.6.2 Dassault Systemes : Enovia ( MatrixOne ) i SmarTeam [10],[11]

Tvrtka Dassault Systemes u većinskom je vlasništvu informatičkog diva IBM-a. Krenuvši iz francuske s razvojem CAD/CAM/CAE/PDM aplikacija iz početka uglavnom za avionsku industriju proširila se u mnoge zemlje. Najpoznatiji proizvod tvrtke Dassault Systemes svakako je računalni sustav za konstruiranje Catia, ali ni PDM rješenja nisu manje poznata. U ponudi su dva sustava : Enovia i SmarTeam. Korisnike može zbuniti što na tržištu ove sustave nude dvije naizgled odvojene tvrtke : Enovia Corporation i SmarTeam Corporation Ltd. No čim se istakne kako su obje u potpunom vlasništvu Dassault Systemes odnosi su jasniji.

Kada se govori o PLM softveru ENOVIA misli se na softver koji se prije zvao MatrixOne što može dovesti do dodatne zabune. Dakle tvrtka MatrixOne je osnovana 1983. godine pod imenom Adra Systems, a tek 1997.godine posluje pod imenom MatrixOne. MatrixOne je proizvođač internetskog softvera za poslovnu suradnju. Može se reći da je jedan od lidera u

isporuci PLM rješenja. Omogućava tvrtkama iz širokog spektra industrije kvalitetno ubrzati inovacije, vrijeme isporuke na tržište, generiranje prihoda potrebnih za razvoj, izgradnju i upravljanje proizvodima. Tvrtka ima sjedište u Lowell, Massachusetts, te nekoliko ureda u Kanadi, Europi i Aziji. U ožujku 2000. godine tvrtka je javno prodala dionice, a u ožujku 2006. godine tvrtku je za 408 milijuna dolara kupio Dassault Systemes. Tada MatrixOne mijenja ime u ENOVIA MatrixOne.

Većina kupaca MatrixOne ( ENOVIA ) proizvoda su Fortune 1000 kompanije. To su tvrtke koje su prema časopisu Fortune 1000 uvrštene u 1000 najuspješnijih tvrtki diljem SAD – a. Zapošljava 650 ljudi diljem svijeta. Trenutno je najnoviji softver na tržištu ENOVIA V6. Softver koji je u potpunosti kompatibilan sa CATIA V6 istog proizvođača.

ENOVIA V6 značajke :

- suradnja s vanjskim partnerima, dobavljačima i programerima, moguća već u razvojnom procesu
- omogućena vanjska suradnja i tijekom održavanja mreža
- jedna od najbolje prilagodljivosti na različite okoline, među konkurentima
- moguća integracija s više različitih okruženja, programa i operacijskih sustava



Slika 12. Asortiman i povezanost DS proizvoda [11]

SmarTeam softver je u početku bio proizvod nezavisne tvrtke „SmarTeam“, koja je osnovana 1995. godine. No, godine 2006. SmarTeam je postao dio Dassault Systemes, te je tako i PDM sustav postao dio Dassaultova proizvoda ENOVIA. ENOVIA SmarTeam proizvodi većinom za ciljanu skupinu korisnika imaju manje i srednje tvrtke, što je razlika prema ostalim proizvođačima PLM sustava, koji većinom ciljaju na velike korporacije (kojima se više isplati uvođenje PLM/PDM sustava). Na našem tržištu je jedan od najčešće korištenih PDM sustava SmarTeam V5R17, koji će biti pobliže opisan u nastavku.

SmarTeam V5R17 je u suštini spremnik i trezor podataka, ponajprije CAD podatka, no također se može koristiti za spremanje podataka uredskih aplikacija, slika i slično. SmarTeam omogućuje reviziju i oslobađanje ( pravo na korištenje ) dokumenata vezanih za razvoj proizvoda i proizvodnju, gdje sustav prati sve promjene dokumenata spremljenih u trezor. Također, upotrebom korisničkih ovlasti, kontrolira pristup podacima i projektima unutar sustava. SmarTeam sustav sastoji se od nekoliko povezanih organizacijskih i funkcijskih komponenta: „DB Server“ ( baza podataka ), „Vault Server“ ( trezor podataka ), „Core Services“ ( osnovni servisi za upravljanje sustavom ), „Workflow Server“ ( poslužitelj koji upravlja podacima vezanim uz tijek procesa ), „Viewer Server“ ( poslužitelj za pregledavanje CAD datoteka ), „SmarTeam Editor“ ( sadrži mnoštvo funkcija za mijenjanje i upravljanje sustavom ), „SmarTeam Web Editor Server“ ( poslužitelj za pristup sustavu preko Internet servisa ), „SmarTeam CAD Integration“ ( omogućuje hibridnu integraciju sustava u neke CAD sustave kao što su Catia, Solidworks, SolidEdge, ProEngineer, AutoCAD,... ), „License Use Management Server“ ( poslužitelj koji omogućuje SmarTeamu upravljanje licencama ).

Popis administratorskih alata SmarTeam-a :

- Authentication Manager - Omogućava mijenjanje postavki vezanih uz informacijske protokole
- Database Connection Manager - Pomaže pri spajanju SmarTeama sa željenom bazom podataka
- Export - Omogućava izvoz podataka iz SmarTeam baze, kako bi se mogli pohraniti u nekoj drugoj bazi
- Flowchart Designer - Omogućava izradu tokova procesa
- Form Designer - Omogućava mijenjanje postojećih formi klasa SmarTeama, ili kreaciju novih jednostavnih formi
- Import - Omogućuje uvoz vrijednosti potrebnih za kreaciju novih objekata u SmarTeam bazi
- The Menu Editor - Omogućuje promjenu izgleda i alatnih traka korisničkog sučelja
- Script Maintenance - Omogućuje stvaranje vlastitih funkcija
- Data Model Designer - Omogućuje mijenjanje strukture baze podataka i dodavanje novih klasa podataka
- User Maintenance - Omogućuje dodavanje korisnika, te izradu i manipulaciju korisničkim ulogama i grupama
- Web Form Designer - Omogućava izradu formi za Internet preglednike

### **3.6.3 Autodesk : Vault i Streamline**

Iako Autodesk ne zauzima veliki udio na svjetskom tržištu PDM sustava, izrazito su prisutni na tržištu dizajnerskih aplikacija široke namjene. Aplikacije poput AutoCADa, Mechanical Desktopa, Mapa, Inventora i 3DStudia poznate su i u znatnoj mjeri prisutne na hrvatskom tržištu. Kako bi zadovoljili korisnike, u Autodesku su razvili aplikacije Vault i Streamline za koje se sa obzirom na uspjeh prethodno navedenih dizajnerskih alata također predviđa uspjeh u obliku sve šire primjene i zauzimanja sve većeg udjela na tržištu PDM / PLM softvera.

## 4 SIEMENS PLM SOFTWARE

### 4.1 Općenito o Siemens PLM Software-u [12],[13]

Jedan od prvih komercijalnih proizvoda razvijen u okviru onog što je danas poznato kao Siemens PLM Softwarea zvao se UNIAPT. Pušten je u prodaju od strane kompanije United Computing, te je bio jedan od prvih CAM proizvoda, kasnije ta ista kompanija kupuje softverski kod tvrtke MGS koji će predstavljati temelj njihovog proizvoda zvanog UNI-GRAPHICS, koji se prodavao 1975. pod komercijalnim imenom Unigraphics.

Slijedeće godine, United Computing je kupljen od strane tvrtke McDonnell Douglas, koja je tada organizirala CAD/CAM odjele, unutar kojeg se našao i onaj nazvan Unigraphics Group. 1980. u prodaju je pušten Unigraphics koji je bio tvrtkino prvo softversko rješenje za 3D modeliranje.

Godine 1991. McDonnell Douglas Systems Integration groups, uključujući i Unigraphics Group kupljen je od strane EDS-a (koji je tada bio dio General Motors-a), te je usvojeno novo ime EDS Unigraphics. 1997. EDS je organizirao odjel Unigraphics kao vlastitu podružnicu nazvanu Unigraphics Solutions.

Unigraphics 2001. Mijenja ime u UGS. Iste godine EDS kupuje konkurentsku tvrtku SRDC. 2003. UGS ostvaruje prava na MSC Nastrana softverski kod, te nakon toga dolazi do spajanja UGS, SRDC-a te Nastran-a te preimenovanja u EDS PLM Solutions. EDS prodaje svoja poslovna prava na EDS PLM Solutions dioničarima grupe Bain Capital, Silver Lake Partners i Warburg Pincus 2004.. Kompanija nastavlja s radom pod imenom UGS. Godine 2005. UGS je kupljen od strane Tecnomatix Technologies Ltd.

24. siječnja 2007. njemački električni div Siemens AG najavljuje kupnju UGS za 3,5 milijardi dolara, po završetku kupnje UGS postaje dio Siemens Automation & Drives odjela pod imenom Siemens PLM Software.

Proizvodi Siemens PLM Softwarea uključuju:

- NX - softverski paket za CAD/CAM/CAE
- Teamcenter – integrirani komplet alata za PLM i cPD
- Tecnomatix – softverski paket za planiranje i optimizaciju proizvodnje
- Velocity Series – softverski paket za mala i srednja tržišta koji uključuje Solid Edge

U okviru rada biti će dan prikaz određenih modula Tecnomatixa, dok će detaljnije biti opisan njegov modul Plant Simulation pošto je primijenjen u izradi praktičnog djela rada.

## 4.2 Tecnomatix [13]

Tecnomatix omogućuje inovacije povezujući sve proizvodne discipline s izradom samog proizvoda, uključujući plan proizvodnje, upravljanje procesima simulacije i proizvodnje. Tecnomatix predstavlja poveznicu između projektiranja proizvoda te njegove isporuke upravljajući istovremeno projektiranjem te provedbom proizvodnog procesa unutar potpuno asocijativnog modela, pritom zadržavajući digitalni kontinuitet životnog ciklusa.

Prednosti korištenja ovog softverskog paketa očituju se u skraćanju vremena potrebnog za isporuku proizvoda iz razloga što ima mogućnost usklađivanja proizvodnih kapaciteta i mogućnosti, omogućuje praćenje promjena na proizvodima te njihove ovisnosti tokom procesa planiranja. Poboljšanja proizvodnosti posljedica su mogućnosti optimizacije u virtualnom okruženju prije puštanja elemenata u proizvodnju.

Analiza procesa, planiranje proizvodnje te diskretne simulacije doprinose povećanju potrebnih ulaganj. Stoga primjenom Tecnomatix-a postoji opcija ocjenjivanja ove vrste ulaganja kod više različitih proizvodnih programa kako bi se smanjili troškovi proizvodnje. Svoju primjenu nalazi kod procjene isplativosti korištenja usluga kooperanata u proizvodnji određenih komponenti proizvoda odnosno obavljanju pojedinih operacija na proizvodu.

Unutar ovog softverskog paketa sadržana su rješenja za:

- Planiranje dijelova i validaciju
- Planiranje sklopova i validaciju
- Planiranje automatizacije i robotike
- Projektiranje i optimizaciju postrojenja tvornice
- Upravljanje kvalitetom
- Upravljanje proizvodnjom
- Upravljanje proizvodnim procesima

### 4.2.1 Planiranje dijelova i validacija

Ovo rješenje omogućuje proizvodnim tvrtkama precizno definiranje plana proizvodnih procesa te izravno povezivanje s proizvodnim sustavima. Ključna stavka kod ovog procesa je učinkovito upravljanje proizvodnim podacima, kako bi timovi odgovorni za planiranje proizvodnje mogli jednostavno organizirati proizvodnju te omogućili pristup tim informacijama djelatnicima u pogonu.

Funkcionalnost *Part Planning* unutar ovog rješenja omogućuje ponovnu upotrebu provjerenih i već korištenih proizvodnih procesa, te na taj način dolazi do skraćanja vremena potrebnog za planiranje, ali i osiguravanja upotrebe potrebnih metoda i resursa u pogonu. Validacijom proizvodnih procesa u virtualnom okruženju smanjuje vjerojatnost pojave grešaka i zastoja.

Kako bi se optimizirali procesi strojne obrade dijelova, omogućeno je izravno povezivanje proizvodnih planova s sustavima iz pogona, da bi se ostvarila sinkronizacija podatak iz proizvodnih planova te onih unesenih u CNC strojeve.

Ovo rješenje pruža i veoma učinkovite alate za balansiranje opterećenja proizvodnih linija, što za posljedicu ima povećanje proizvodnosti te iskoristivosti obradnih alata.

Moduli ovog rješenja su:

- NX CAMDataManager
- Part Planner
- ResourceManager
- Machining Line Planner
- Press Line Simulation
- Manufacturing Tooling Library
- VirtualMachine Tool

#### **4.2.2 Planiranje sklopova i validacija**

Ovo rješenje pomaže tvrtkama kako bi brzo kreirale te procijenile različite scenarije proizvodnih procesa te izabrali najbolji plan za izradu svojih proizvoda. Koristi se kod usklađivanja raznih proizvodnih zahtjeva. U kombinaciji s ponovnom upotrebom dokazanih procesa, ovo rješenje smanjuje zadatke planiranja montaže sklopova. Omogućeno je istraživanje te optimizacija novih procesa i tehnologija u virtualnom okruženju bez ometanja postojećih proizvodnih kapaciteta.

Funkcionalnost *Assembly Planning* pruža široku paletu alata za planiranje toka rada, automatizaciju zadatka planiranja i validaciju najboljeg plana za izradu proizvoda. Rješenje podržava životni ciklus proizvodnog procesa od samog planiranja procesa do proizvodnje.

Moduli ovog rješenja su:

- Process Designer
- Process Simulate
- Process Simulate on Teamcenter
- Web-based BOPManager
- Classic Jack
- TeamcenterManufacturing
- Assembly Author

#### **4.2.3 Planiranje automatizacije i robotike**

Ovo rješenje omogućuje proizvođačima da virtualno razviju, simuliraju i komisioniraju robotizirane i ne robotizirane proizvodne sustave iz pogona za proizvodnju pojedinačnih proizvoda u modele postrojenja za proizvodnju različitih proizvoda.

Funkcionalnost *Robotics and Automation Planning* koristi 3D multi-korisničko sučelje kako bi se povećala proizvodnost. Sučelje pruža korisnicima pristup svi projektnim podacima, kojima se dinamički može upravljati. Kada dođe do promjene podataka, automatsko ažuriranje osigurava sinkronizaciju 3D modela i svih vezanih meta-podataka, što za posljedicu ima smanjenje broja grešaka kod uvođenja ove vrste sustava u proizvodnju.

Inženjerima je olakšano donošenje odluka vezanih za kupnju, modificiranje te implementiranje nove ili postojeće tehnologija bez ometanja trenutnih sustava. Primjenom ovog rješenja smanjuje se broj potrebnih proba i podešavanja realnog sustava.

Moduli ovog rješenja su:

- Process Designer
- Process Simulate
- Robcad

#### **4.2.4 Projektiranje i optimizacija postrojenja tvornice**

Ovo rješenje omogućuje brzo stvaranje modela postrojenja te osiguravanje optimalne učinkovitosti operacija prije puštanja sustava u pogon. Inženjeri mogu analizirati moguće ishode radnih aktivnosti unutar virtualnih tvornica te se na taj način izbjegavaju gubici vrijednih resursa za popravak problema u realnoj tvornici.

Korištenjem 3D vizualizacije tvornice ovog rješenja dobiva se jasan uvid u kreirane procese te prostorni raspored resursa na kojima će se obavljati, što je omogućeno upotrebom tkz. „pametnih“ objekata koji predstavljaju resurse tvornice.

Primjenom alata za analizu i optimizaciju logističkih aktivnosti ovim rješenjem se može utjecati na poboljšanja s aspekta toka materijal, njegove frekvencije te troškova i to analizom podataka vezanih za primjerice veličinu skladišta itd.

Primjenom diskretne simulacije za protok proizvodnje (eng. Production throughput), mogu se optimizirati parametri koji definiraju mogućnosti proizvodnog sustava, na taj način moguće je razviti i analizirati više proizvodnih scenarija te eliminirati uska grla, poboljšati učinkovitost i povećati protok sustava.

Moduli ovog rješenja su:

- FactoryCAD
- FactoryFLOW
- In - Context Editor
- **Plant Simulation**

#### **4.2.5 Upravljanje kvalitetom**

Ovim rješenjem mogu se prepoznati i uočiti ključne dimenzije, tolerancije te montažni procesi koji pridonose varijacijama. Alatom za analizu varijacija simuliraju se utjecaji tolerancija dijelova na montažne procese te se može procijeniti važnost pojedinih faktora na varijacije. Ovo rješenje sadrži aplikacije kojima se mogu kreirati programi za provjeru i analizu tolerancija montiranih sklopova, a sve unutar CAD sučelja.

Pošto je pronalazak uzroka za nedostatnu kvalitetu zahtjevna aktivnost, primjenom ovog rješenja olakšano je identificiranje i rješavanje proizvodnih problema, analizom podataka uočenih tvrtkinom mjernom opremom.

Moduli ovog rješenja su:

- Variation Analysis
- Tolerance Stack - up Validation
- CMMInspection Programming
- CMMInspection Analysis
- On-Machine Probing
- CMMInspection Execution
- Dimensional Planning and Validation (DPV)

#### **4.2.6 Upravljanje proizvodnjom**

Ovo rješenje omogućuje pristup proizvodnim podacima u stvarnom vremenu. Prikupljanje operacijskih podataka u stvarnom vremenu je jedini način za mjerenje učinkovitosti planiranih aktivnosti. Ova informacija bitna je i za vrednovanje procijenjenih troškova kod razvoja novih proizvoda.

Moduli ovog rješenja su:

- SIMATIC IT (MES)
- SIMATICWinCC
- Siemens FactoryLink (HMI/SCADA)

#### **4.2.7 Upravljanje proizvodnim procesima**

Ovo rješenje omogućuje upravljanje proizvodnim podacima, kao i sa procesima, resursima te znanjem o proizvodnji unutar istog PLM sučelja koje se koristi za razvoj proizvoda.

Moduli ovog rješenja su:

- TeamcenterManufacturing Access
- ResourceManager
- TeamcenterManufacturing Publish

### **4.3 Plant Simulation [13],[14]**

Plant Simulation je alat za izvođenje diskretnih simulacija koji pomaže kod izrade digitalnih modela logističkih sustava (poput proizvodnje), kako bi se mogle istražiti značajke sustava te na taj način optimizirala njegova učinkovitost. Digitalni modeli omogućuju izvođenje eksperimenata te what - if scenarija bez ometanja postojećih proizvodnih sustava ili kod planiranja procesa, moguće ih je provesti prije implementacije stvarnih proizvodnih sustava.

Širok repertoar alata za analizu, poput alata za analizu uskih grla, te ugrađenih statističkih alata i grafova omogućuje procjenu različitih proizvodnih scenarija. Ovi rezultati pružaju potrebne informacije za donošenje brzih, pouzdanih te promišljenih odluka u ranim fazama planiranja proizvodnje.



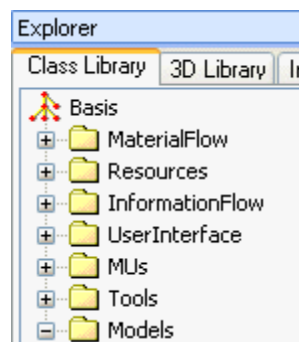
Primjenom Plant Simulationa moguće je modelirati i simulirati proizvodne sustave i njihove procese. Uz to moguća je optimizacija toka materijala, iskorištenja resursa i logistike na svim razinama planiranja tvornice od globalnih proizvodnih postrojenja pa do pojedinačnih linija.

Neke od najbitnijih značajki Plant Simulationa su:

- Objektno orijentirani modeli s hijerarhijskom strukturom
- Otvorena arhitektura s više standardnih sučelja
- Upravljanje objektima i knjižnicom objekata
- Optimizacija genetskim algoritmom
- Automatska analiza rezultata simulacije
- Izvješća u HTML obliku

Korisničko sučelje Plant prati Microsoft Windows standard. U nastavku teksta opisani su osnovni elementi korisničkog sučelja.

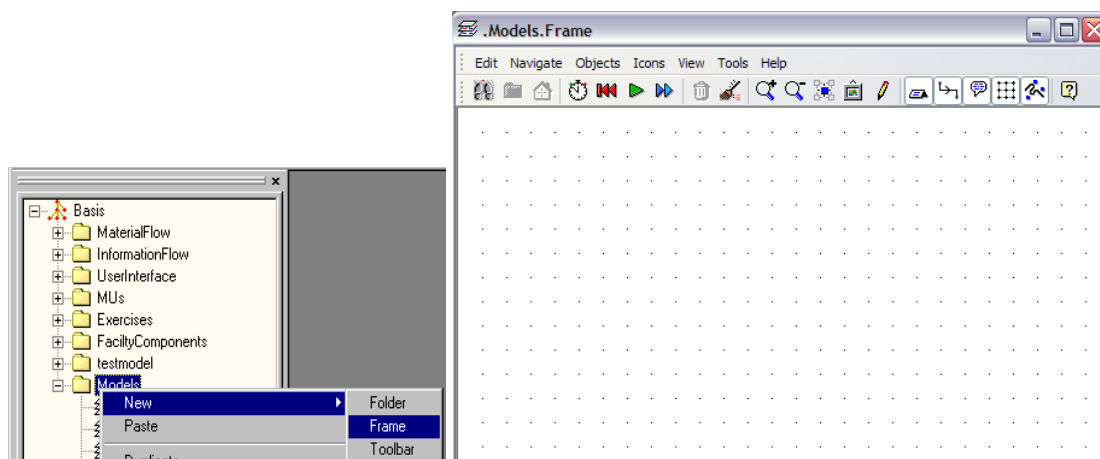
### Class Library



Slika 13. Class Library [14]

Klikom na File > New Model otvara se novi model file. Ovaj file sadrži *Class Library* sa ugrađenim hijerarhijski strukturiranima Plant Simulation objektima. Moguće je modificirati i proširivati strukturu ovisno o zahtjevima simulacijskog projekta. Tijekom kreiranja simulacijskog modela preporučuje se stvaranje novih foldera unutar Class Library-a te spremanje objekata simulacijskog modela unutar tih foldera. Kreiranje novog foldera vrši se desnim klikom na već postojeći folder Library-a unutar kojeg se želi kreirati novi folder ili na Basis ako se želi kreirati van svih foldera te odabirom New > Folder. Objekti se na drag-and-drop način ubacuju u frame.

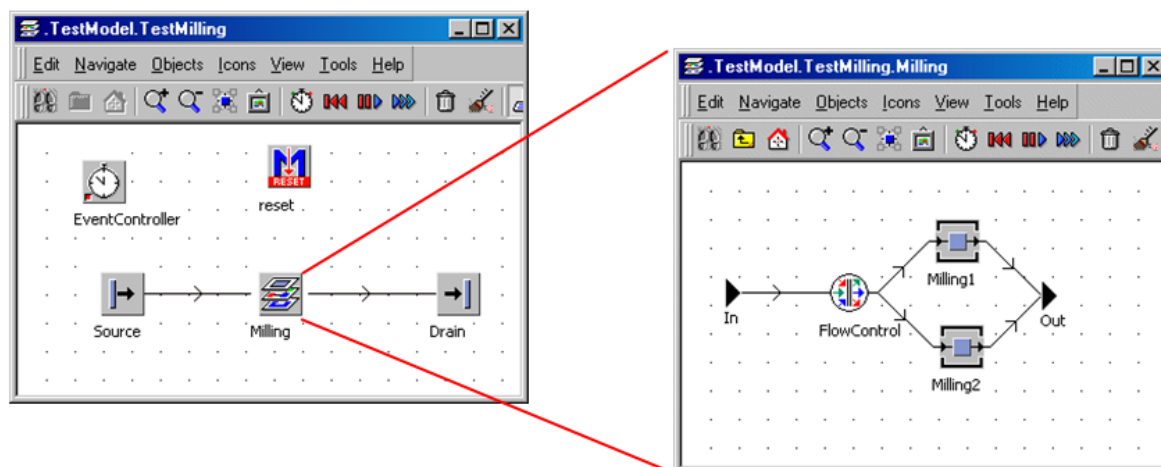
## Frame



Slika 14. Frame [14]

U objektu Frame stvara se simulacijski model, unoseći i spajajući objekte toka materijala. Ovdje se izvode i same simulacije. Moguće je stvoriti veći broj Frame-ova na bilo kojoj hijerarhijskoj razini u *Class Library-u*

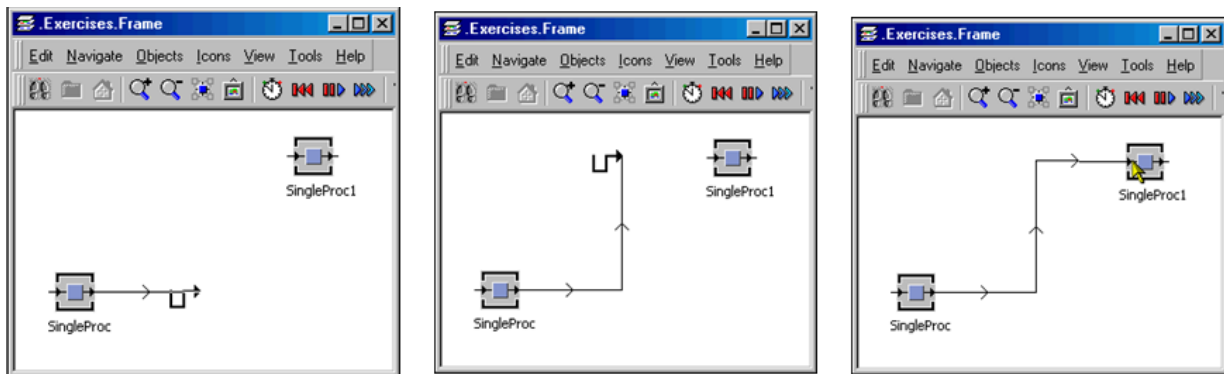
Objekt *Frame* služi za grupiranje objekata i gradnju hijerarhijski strukturiranih modela. Hijerarhija je koncept smještanja *Frame-ova* unutar drugih *Frame-ova*. Na taj način može se modelirati i testirati pojedine komponente simulacijskog modela odvojeno od *Frame-a* u koji je umetnut. Moguće je kombinirati s jednom ili više komponenti u *Frame-u* do konačnog modela. Također, te komponente se mogu umetati nekoliko puta.



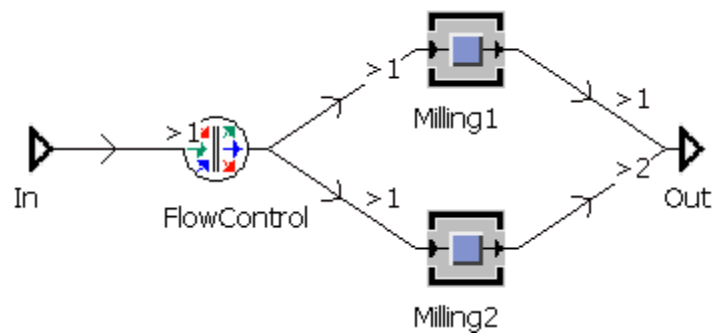
Slika 15. Hijerarhijska struktura [14]

*Interface* omogućuje povezanost između *Frame-a* i objekata toka materijala ili *Frame-ova* koji prethode ili slijede u poretku. Slika 15. prikazuje korištenje *Interface-a* prilikom izgradnje hijerarhijski strukturiranih modela.

Objekt *Connector* osigurava tok materijala spajajući objekte u istom *Frame-u* ili spaja objekt sa izlazom ili ulazom (modeliranim sa objektom *Interface*) drugog *Frame-a*. Na objektu *Connector* nalazi se strelica koja ukazuje na smjer toka materijala.

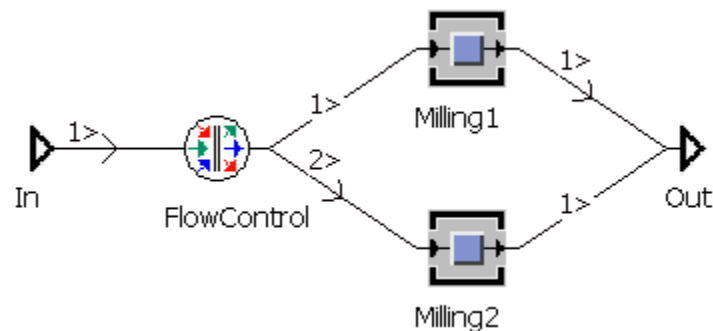


Slika 16. Spajanje objekata [14]



Slika 17. Prikaz povezanosti objekata uz uključenu opciju Show Predecessors [14]

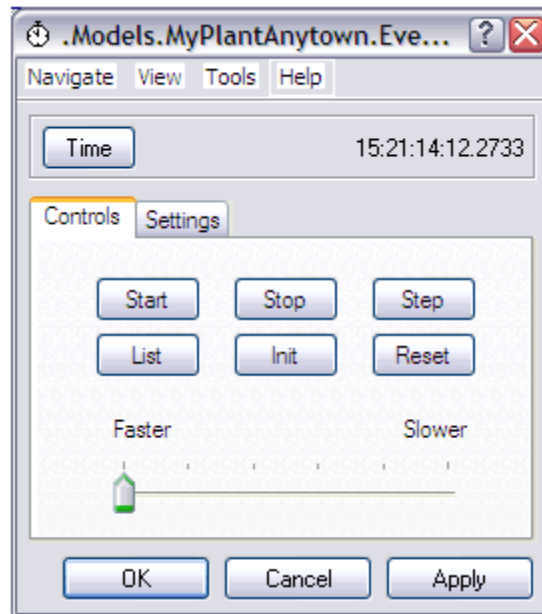
Za objekt Out, prvi (>1) prethodnik je objekt Milling1, a drugi (>2) je Milling2. Ostali objekti imaju samo po jednog prethodnika.



Slika 18. Prikaz povezanosti objekata uz uključenu opciju Show Successors [14]

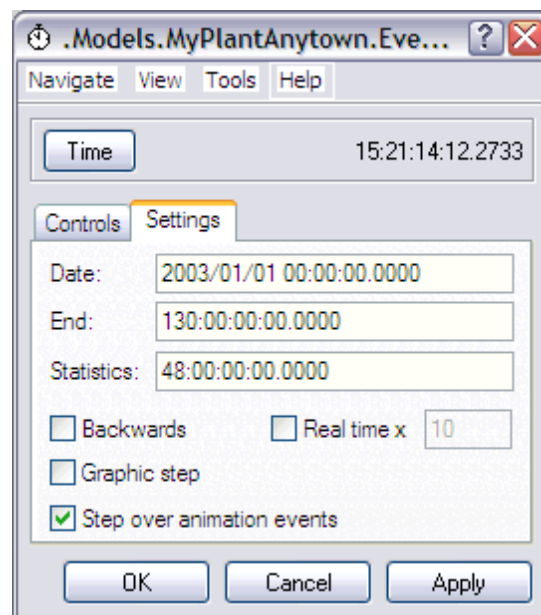
Za objekt FlowControl, prvi nasljednik je Milling1, a drugi je Milling2. Ostali objekti nemaju više od jednog nasljednika.

*EventController* koordinira i sinkronizira različite događaje koji nastaju tijekom simulacije.



Slika 19. Prozor objekta EventController, tab Controls [14]

Plant Simulation je diskretni sustav simulacije. Prikazuje stanje promjena komponenata modela diskretno u vremenu, tj. u određenim točkama u vremenu, a ne kontinuirano tijekom trajanja simulacije. Pokraj opcije Time prikazano je trenutno vrijeme trajanja simulacije.



Slika 20. Prozor objekta EventController, tab Settings [14]

## 5 PLANIRANJE I OPTIMIRANJE PROIZVODNOG SUSTAVA PRIMJENOM PLANT SIMULATIONA

### 5.1 Pojam simulacije

Kod planiranja, implementacije te rada sa složenim tehničkim sustavima jedan od veoma važnih alata je simulacijska tehnologija. Simulacija predstavlja kopiju realnog sustava sa svim svojim dinamičkim procesima unutar virtualnog modela. Njezin cilj je iznalaženje takovih rezultata i zaključaka koji se mogu prenijeti u stvarni sustav. U širem smislu simulacija predstavlja sredstvo za pripremu, implementaciju i vrednovanje specifičnih eksperimenata putem simulacijskog modela. Neki ode trendova u ekonomiji kao što su:

- Povećanje kompleksnosti i raznolikosti proizvoda
- Povećani zahtjevi na kvalitetu, uzimajući u obzir i prihvatljivost cijene
- Povećani zahtjevi vezani za fleksibilnost
- Kraći životni vijek proizvoda
- Povećanje konkurencije na tržištu

dovode do smanjenja vremena za planiranje, u ovim uvjetima simulacija daleko nadilazi jednostavnije metode koje ne pružaju zadovoljavajuće rezultate.

Faze u ciklusu proizvodnih sustav gdje simulacija nalazi svoju veliku primjenu su :

1. Planiranje
  - a. Prepoznavanja uskih grla
  - b. Otkrivanje neiskorištenih i skrivenih potencijala
  - c. Minimum i maksimum iskoristivosti
  - d. Suprotstavljenost alternativnih planskih rješenja
  - e. Vizualizacija planskih alternativa kao podloga za donošenje odluka
2. Implementacija
  - a. Test performansi
  - b. Analiza problema, test performansi vezanih za buduće zahtjeve
  - c. Simulacija izvanrednih uvjeta te kvarova sustava
  - d. Učenje novih zaposlenika
3. Rad sustava
  - a. Testiranje kontrolnih alternativa
  - b. Preispitivanje hitnih strategija u slučaju nesreće
  - c. Osiguravanje kvalitete
  - d. Oprema narudžbi te determiniranje vjerojatnih rokova dostave

Proces simulacije teče na slijedeći način:

- *Definiranje problema* – u suradnji s korisnikom simulacije, stručnjak mora definirati zahtjeve na simulaciju. Rezultati definiranja problema trebaju se potvrditi ugovorom odnosno tehničkim specifikacijama, koje sadrže konkretan problem koji će biti proučen primjenom simulacije.

- *Test vrijednosti simulacije* – kako bi se procijenila vrijednost simulacije može se primjerice ispitati nedostatak analitičkog matematičkog modela, velika kompleksnost, neprecizni datum i sl.
- *Definiranje ciljeva* – tvrtke su uobičajeno usmjerene na sustav ciljeva. Sustav se sastoji od glavnog cilja (profitabilnost) koji se dijeli na različite podciljeve, koji su u međusobnoj interakciji. Definiranje sustava ciljeva važan je korak kod pripreme. Česti ciljevi kod simulacija su: minimiziranje vremenskih normativa, maksimiziranje iskoristivosti, minimiziranje zaliha. Svi definirani ciljevi moraju biti sakupljeni i statistički obrađeni na kraju simulacije, što zahtjeva određeni nivo složenosti simulacijskog modela.
- *Sakupljanje podataka i analiza podataka* – podaci potrebni za provedbu simulacije imaju slijedeću strukturu:
  - Ulazni podaci sustava
  - Organizacijski podaci
  - Tehnički podaci
- *Modeliranje* – faza modeliranja uključuje izgradnju i testiranje simulacijskog modela. Samo modeliranje obično se sastoji od dvije etape:
  - Izvođenje modela iz konceptualnog modela
  - Pretvorba modela u softverski model
- *Provedba simulacije* – ovisno o ciljevima simulacijskih istraživanja, biti će realizirani eksperimenti plana testiranja. U planu testiranja definirani su izlazni podaci individualnih eksperimenata, ciljevi te očekivani rezultati. Bitno je definirati vremenski raspon simulacijskih eksperimenata, temeljeno na pronalascima testiranja. Ulazni i izlazni podaci temeljnih parametara simulacijskog modela trebaju biti dokumentirani za svaki eksperiment.
- *Analiza rezultata i njihova interpretacija* - vrijednosti koje će biti izmijenjene unutar modeliranog sustava, izvedene su iz rezultata simulacije. Pravilna interpretacija rezultata simulacije značajno utječe na uspjeh simulacijskog istraživanja. Ako su rezultati u suprotnosti sa donesenim pretpostavkama, nužno je analizirati koji utjecaji su odgovorni za neočekivane rezultate.
- *Dokumentacija* – kod simulacijskih istraživanja preporučuje se da dokumentacija bude u obliku projektnog izvješća. Dokumentacija bi trebala pružiti pregled vremena utrošenog u izvršeni rad. U tom kontekstu nužna je i dokumentacija veza za odbačene varijante sustava. Jezgra projektnog izvješća trebala bi biti prezentacija rezultata simulacije temeljenih na zahtjevima korisnika.

## 5.2 Podloga simulacijskih modela

Podlog izrađenih simulacijskih modela biti će dokumentacija 10 različitih dijelova, sa svim nužnim ulaznim podacima koji su potrebni da bi se moglo korektno izvesti simulacijska istraživanja vezana za neke od slučajeva unutar proizvodnih sustava. Pritom se neće pridodavati važnost nekim karakterističnim podacima vezanima za proizvodni sustav kao što su raspored strojeva unutar pogona, parametri samih strojeva i njihove dimenzije. Također ono što neće biti tema ovog rada su i moguće ograničenja prostora za skladištenje sirovina i gotovih proizvoda, te neće biti uzeti u obzir površine nužne za kretanje operatera na samim strojevima.

Primjenom Plant Simulationa pokušat će se ukazati na nužnost prethodne simulacije kako bi se dobio jasan uvid takvog rada kod projektiranja proizvodnog sustava, ukoliko posjedujemo informacije vezane za paletu proizvoda, te njihovu ukupno količinu i veličinu serija unutar godišnjeg ciklusa proizvodnje. Sve s ciljem izbjegavanja mogućih posljedica uslijed nepoštivanja dogovorenih rokova isporuke, mogućih nepredviđenih zastoja uslijed kvarova ili neadekvatnog iskorištenja proizvodnih kapaciteta.

Slučajevi koji su prikazani unutar projekta prethodno su proučeni na temelju teorijskih istraživanja vezanih za optimalan broj strojeva kako bi se zadovoljili proizvodni kapaciteti te bile ostvarene predviđene godišnje količine proizvoda. Tako su donesene pretpostavke, koje će biti objašnjene u nastavku rada, U prvom slučaju neće se ostvariti predviđeni broj proizvoda uslijed nedostatka proizvodnih kapaciteta te neadekvatnog rasporeda proizvoda na strojevima dok za drugi slučaj postizemo ciljani broj jer su uvaženi rezultati teorijskih istraživanja o potrebnoj količini strojeva, a uz pomoć genetskog algoritma izvršena su ispitivanja s ciljem optimalnog rasporeda serija proizvoda na raspoloživim strojevima kako bi se njihova izrada obavila u najkraćem mogućem roku te time postigao minimalni rok isporuke.

### 5.3 Odabrani dijelovi

Proizvodi za koje će se izrađivati simulacijski model proizvodno su odabrani iz arhive radova kolegija „Projektiranje tehnoloških procesa“, FSB. Radi se o 10 dijelova za koje su postojali planovi izrade nužni za izradu modela. Modeli proizvoda dani su posebnom dijelu rada.

Unutar tablice 1. dan je pregled dijelova s proizvodno određenim brojem serija i zahtijevanih godišnjih količina.

*Tablica 1. Popis odabranih dijelova*

NAZIV DIJELA	VELIČINA SERIJE [kom]	BROJ SERIJA GODIŠNJE ns	GODIŠNJA KOLIČINA [kom]
Poklopac	160	50	8000
Vratilo 2	200	25	5000
Puškica 2	20	50	1000
Osovina	200	50	10000
Transportni valjak	200	5	1000
Svornjak	200	50	10000
Glavina	50	20	1000
Vratilo 1	250	20	5000
Lijevi graničnik	200	50	10000
Graničnik	200	50	10000

U nastavku je dana tablica 2. unutar koje su dani točno određeni strojevi, te redosljed operacija na tim strojevima sa njihovim pripremno – završnim te jediničnim vremenima (normama) za svaki odabrani proizvod. Ti podaci dobiveni su na temelju planova izrade unutar radova iz PTP-a.

Ti podaci dani unutar ovih tablica biti će temelj za proračun potrebnog broja strojeva kako bi se mogle proizvesti ciljane godišnje količine.



Tablica 2. Operacije i vremena izrade odabranih dijelova 1.dio

REDNI BROJ	DIO	STROJ	OPER.	tpz [min]	t1 [min]
1.	Poklopac	Tokarilica_1	10	11,8	2,35
		Glodalica_1	20	35,4	2,67
		Bušilica_1	30	23,6	2
		Glodalica_2	40	23,6	3,33
		Tokarilica_2	50	23,6	2,04
2.	Vratilo 2	Pila_1	10	17,3	2,27
		Tokarilica_2	20	34,5	2,86
		Tokarilica_3	30	34,5	2,63
		Glodalica_2	40	34,5	1,83
		Brusilica_1	50	23	2,74
3.	Puškica 2	Tokarilica_2	10	41,3	12,4
		Dubilica	20	17,7	10,57
		Bušilica_2	30	23,6	6,28
4.	Osovina	Pila_2	10	11,8	1,23
		Tokarilica_3	20	40,2	3,09
		Brusilica_1	30	23,6	4,36
5.	Transportni valjak	Pila_1	10	15	5,66
		Tokarilica_2	20	30	15,03
		Glodalica_3	30	30	2,32
		Brusilica_2	40	30	7,76

Tablica 2. Operacije i vremena izrade odabranih dijelova 2.dio

REDNI BROJ	DIO	STROJ	OPER.	tpz [min]	t1 [min]
6.	Svornjak	Pila_3	10	17,5	1,3
		Tokarilica_4	20	36,9	10,52
		Glodalica_4	30	41,5	5,4
		Tokarilica_5	40	18,3	15,82
7.	Glavina	Pila_3	10	11,5	1,55
		Tokarilica_5	20	69	2,52
		Brusilica_3	30	23	2,72
8.	Vratilo 1	Pila_1	10	30	1,21
		Tokarilica_2	20	30	3,89
		Glodalica_2	30	30	3,36
		Brusilica_1	40	23	4,5
9.	Lijevi graničnik	Glodalica_5	10	60,1	9,34
		Brusilica_2	20	20	11,7
		Glodalica_4	30	10,4	9,3
10.	Graničnik	Pila_3	10	17,7	6,08
		Glodalica_5	20	21,9	20,1
		Brusilica_1	30	35,4	2,62
		Pila_1	40	17,7	2,83

$t_{pz}$  – pripremno – završno vrijeme

$t_1$  – jedinično vrijeme, norma za jednu operaciju po jedinici proizvoda

## 5.4 Proračun opterećenosti strojeva

Klasični i CNC strojevi u proizvodnom pogonu mogu raditi koliko rade i ljudi koji ih poslužuju. Uzima se da ljudi godišnje rade oko 250 dana u prosjeku u jednoj, dvije ili tri smjene po osam sati, bez subote i nedjelje. U ovom primjeru uzet će se da ljudi rade u jednoj smjeni, što znači da na raspolaganju postoji 1800 sati rada po radniku ili stroju. U radu su zadane operacije koje se trebaju izvršiti na pojedinom proizvodu, odnosno stroju (tablica 2.). Također su zadana i vremena obrade i pripremno-završna vremena za pojedine operacije. Sumiranjem vremena svih proizvoda koji se pojavljuju na pojedinim strojevima dobiva se ukupno vrijeme koje će se morati potrošiti na pojedinoj skupini strojeva. To sumiranje se vrši prema izrazu:

$$t_E = \sum_i \sum_j n_{s_i} \cdot t_{pz_{ij}} + \sum_i \sum_j n_i \cdot t_{1_{ij}} ;$$

gdje je:

$t_e$  - godišnje vremensko opterećenje elementa;

$n_s$  - broj serija godišnje;

$t_{pz}$  - pripremno – završno vrijeme;

$n_i$  - ukupni broj potrebnih proizvoda godišnje;

$t_1$  - jedinično vrijeme, norma za jednu operaciju po jedinici proizvoda.

Pošto svaki stroj radi oko 1800 sati na godinu u jednoj smjeni, vrijeme koje se dobije mora biti manje, inače se proizvod neće moći napraviti u jednoj godini. Taj problem se može riješiti na dva načina, tehnološki i operacijski. Prvi način je uvođenje druge ili ako treba i treće smjene u tvornici, te se tako vrijeme rada povećava na 3600 sati rada ili 5400 sati rada ovisno o tome koliko se smjena odabere. Shodno tomu, stroju može ostati još i slobodnog vremena koje se može koristiti za neki drugi proizvod tokom godine ako stigne narudžba ili može zamijeniti stroj iz druge skupine, ako se slučajno pokvari. U ovom primjeru prikazat će se vremensko opterećenje strojeva i potreban broj strojeva kada bi se radilo u jednoj smjeni, bez subote i nedjelje. Broj potrebnih strojeva se računa prema izrazu:

$$n_{t_E} = \frac{t_E}{t_{R_E}}$$

gdje je:

$n_{TE}$  - teoretski potreban broj elemenata sustava

$t_{RE}$  - raspoloživo vrijeme elementa (1800 h/a ili 108000 min/a)

$t_E$  - godišnje vremensko opterećenje elementa

Dobiveni broj se mora zaokružiti na prvi veći cijeli broj. U slučaju da se na primjer dobije da je potrebno 3,06 strojeva može se uzeti 3 strojeva, ali tada treba voditi računa o tome kako će se napraviti ostatak proizvoda. Taj se problem može riješiti slanjem dijela proizvoda na sličan stroj koji nije u potpunosti opterećen. Također se može uvesti prekovremeni rad ili se može dio proizvoda dati u izradu kooperaciji. Vremena izrade na pojedinim grupama strojeva dane su u tablici 3.:

Tablica 3. Vremensko opterećenje strojeva 1.dio

REDNI BROJ	ELEMENT	DIO	ns [kom]	n [kom]	tpz [min]	t1 [min]	ns*tpz [min]	n*t1 [min]	ns*tpz+n*t1 [min]	te [h]
1.	Tokarilica_1	Poklopac	50	8000	11,8	2,35	590	18800	19390	323,17
2.	Tokarilica_2	Vratilo 2	25	5000	34,5	2,86	862,5	14300	15162,5	1372,63
		Puškica 2	50	1000	41,3	12,4	2065	12400	14465	
		Transportni valjak	5	1000	30	15,03	150	15030	15180	
		Vratilo 1	20	5000	30	3,89	600	19450	20050	
		Poklopac	50	8000	23,6	2,04	1180	16320	17500	
3.	Tokarilica_3	Vratilo 2	25	5000	34,5	2,63	862,5	13150	14012,5	781,96
		Osovina	50	10000	40,1	3,09	2005	30900	32905	
4.	Tokarilica_4	Svornjak	50	10000	36,9	10,52	1845	105200	107045	1784,08
5.	Tokarilica_5	Svornjak	50	10000	18,3	15,82	915	158200	159115	2716,92
		Glavina	20	1000	69	2,52	1380	2520	3900	
6.	Glodalica_1	Poklopac	50	8000	35,4	2,67	1770	21360	23130	385,50
7.	Glodalica_2	Vratilo 2	25	5000	34,5	1,83	862,5	9150	10012,5	920,54
		Vratilo 1	20	5000	30	3,36	600	16800	17400	
		Poklopac	50	8000	23,6	3,33	1180	26640	27820	
8.	Glodalica_3	Transportni valjak	5	1000	30	2,32	150	2320	2470	41,17

Tablica 3. Vremensko opterećenje strojeva 2.dio

REDNI BROJ	ELEMENT	DIO	ns [kom]	n [kom]	tpz [min]	t1 [min]	ns*tpz [min]	n*t1 [min]	ns*tpz+n*t1 [min]	te [h]
9.	Glodalica_4	Svornjak	50	10000	41,5	5,4	2075	54000	56075	2493,28
		Lijevi graničnik	50	10000	10,44	9,3	522	93000	93522	
10.	Glodalica_5	Lijevi graničnik	50	10000	60,1	9,34	3005	93400	96405	4975,00
		Graničnik	50	10000	21,9	20,1	1095	201000	202095	
11.	Bušilica_1	Poklopac	50	8000	23,6	2	1180	16000	17180	286,33
12.	Bušilica_2	Puškica 2	50	1000	23,6	6,28	1180	6280	7460	124,33
13.	Pila_1	Vratilo 2	25	5000	17,3	2,27	432,5	11350	11782,5	889,21
		Transportni valjak	5	1000	15	5,66	75	5660	5735	
		Vratilo 1	20	5000	30	1,21	600	6050	6650	
		Graničnik	50	10000	17,7	2,83	885	28300	29185	
14.	Pila_2	Osovina	50	10000	11,8	1,23	590	12300	12890	214,83
15.	Pila_3	Svornjak	50	10000	17,5	1,3	875	13000	13875	1289,00
		Glavina	20	1000	11,5	1,55	230	1550	1780	
		Graničnik	50	10000	17,7	6,08	885	60800	61685	
16.	Brusilica_1	Vratilo 2	25	5000	23	2,74	575	13700	14275	1833,08
		Osovina	50	10000	23,6	4,36	1180	43600	44780	
		Vratilo 1	20	5000	23	4,5	460	22500	22960	
		Graničnik	50	10000	35,4	2,62	1770	26200	27970	
17.	Brusilica_2	Transportni valjak	5	1000	30	7,76	150	7760	7910	2098,50
		Lijevi graničnik	50	10000	20	11,7	1000	117000	118000	
18.	Brusilica_3	Glavina	20	1000	23	2,72	460	2720	3180	53,00
19.	Dubilica	Puškica 2	50	1000	17,7	10,57	885	10570	11455	190,92

Nakon što se izračuna vremensko opterećenje strojeva može se izračunati broj potrebnih strojeva. To se računa prema prije navedenom izrazu:

$$n_{t_E} = \frac{t_E}{t_{R_E}}$$

Uzima se ukupno vrijeme koje je potrebno za izradu i podjeli se sa 1800 sati, koliko iznosi godišnje radno vrijeme na pojedinom stroju u jednoj smjeni, bez subote i nedjelje. Broj potrebnih strojeva je važan i za određivanje proizvodne površine. Međutim proizvodna površina se neće razrađivati u ovom radu. Stoga će ovaj proračun opterećenosti strojeva poslužiti kao usporedba točnosti sa drugim simulacijskim modelom. Broj potrebnih strojeva i godišnja opterećenost kapaciteta dani su u tablici 4.:

Tablica 4. Broj potrebnih strojeva

REDNI BROJ	ELEMENT	te	nte	ne	Napomena
1.	Tokarilica_1	323,17	0,18	1	
2.	Tokarilica_2	1372,63	0,76	1	
3.	Tokarilica_3	781,96	0,43	1	
4.	Tokarilica_4	1784,08	0,99	1	
5.	Tokarilica_5	2716,92	1,51	2	
6.	Glodalica_1	385,5	0,21	1	
7.	Glodalica_2	920,54	0,51	1	
8.	Glodalica_3	41,17	0,02	0	*
9.	Glodalica_4	2493,28	1,39	2	
10.	Glodalica_5	4975	2,76	3	
11.	Bušilica_1	286,33	0,16	1	
12.	Bušilica_2	124,33	0,07	0	**
13.	Pila_1	889,21	0,49	1	
14.	Pila_2	214,83	0,12	1	
15.	Pila_3	1289	0,72	1	
16.	Brusilica_1	1833,08	1,02	1	***
17.	Brusilica_2	2098,5	1,17	2	
18.	Brusilica_3	53	0,03	0	****
19.	Dubilica	190,92	0,11	1	

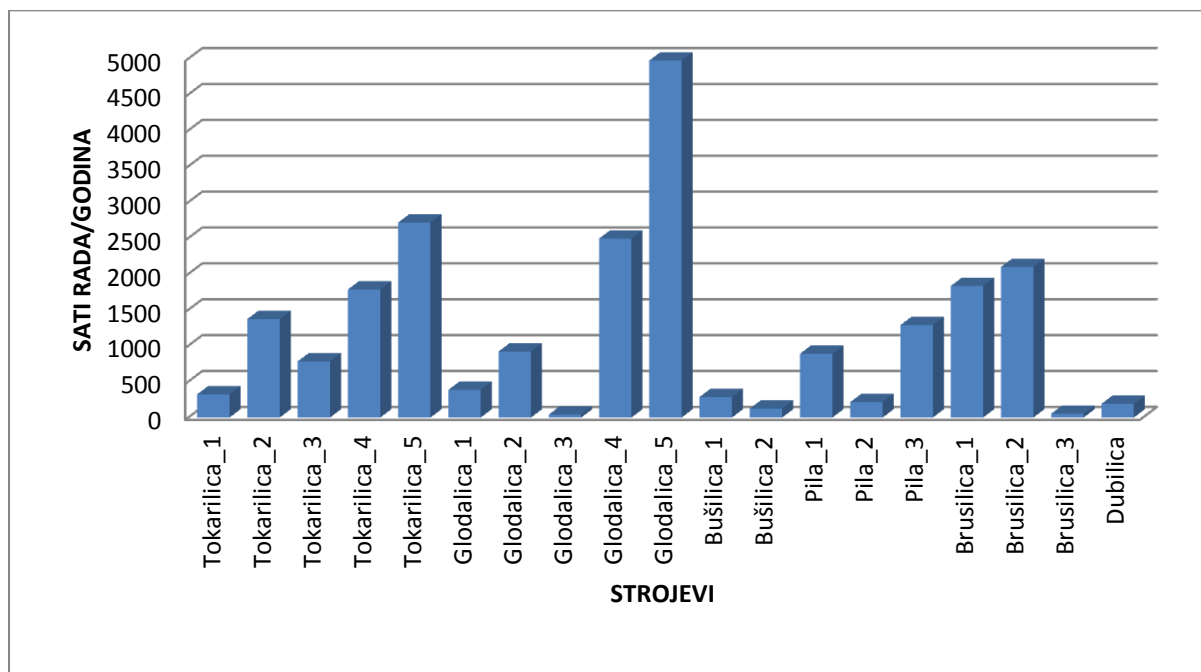
Napomena:

\*- pošto je stroj glodalica\_3 slabo opterećen odlučeno je da će se izbaciti iz proizvodnog sustava, a dijelovi koji se obrađuju na njemu poslati će se na obradu na stroj glodalica\_1 koji ima slične karakteristike, a nije u potpunosti opterećen

\*\* - iz razloga što je stroj bušilica\_2 slabo opterećen izbačen je i proizvodnog sustava, te će se proizvodi izrađivati na stroju bušilica\_1 koji ima slične karakteristike

\*\*\*- nakon što je utvrđeno da je teorijski potrebno 1,02 stroj odlučeno je da će u proizvodnom sustavu biti samo jedan stroj brusilica\_1, a preostali proizvodi biti će izrađeni na stroju brusilica\_2

\*\*\*\*- stroj je slabo opterećen te je izbačen iz daljnje analize, te će dijelovi biti izrađeni na strojevima sličnih karakteristika



Slika 21. Godišnja opterećenost strojeva

Iz slike opterećenosti strojeva vidljiva je slaba opterećenost strojeva glodalica\_3, bušilica\_2 te brusilica\_3 odlučeno je da će biti izbačeni u drugom simulacijskom modelu te će proizvodi s njih biti preusmjereni na strojeve sličnih značajki, također je uočena slaba opterećenost stroja dubilica no pošto se radi o stroju koji ima jedinstvene karakteristike unutar ovog sustava on mora biti uključen u daljnjim simulacijama.

## 5.5 Simulacijski modeli

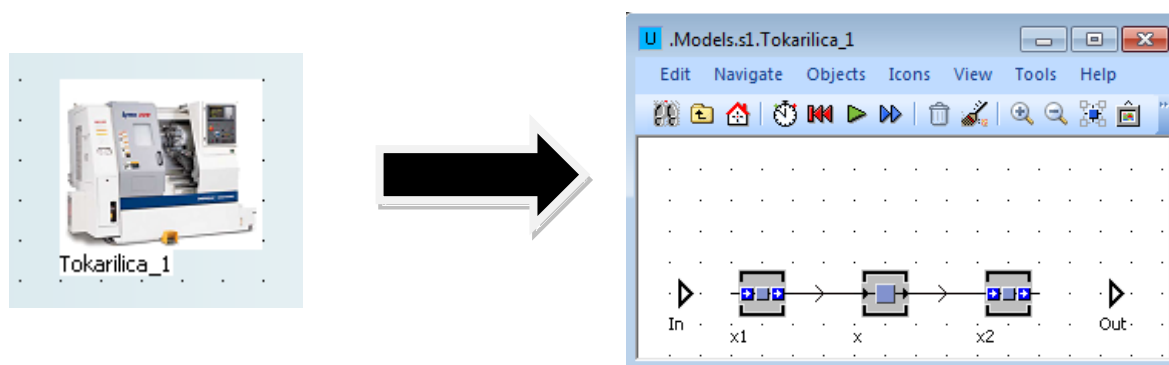
Primjenom Plant Simulation-a možemo unaprijed u virtualnom okruženju izvršiti sva potrebna ispitivanja vezana za proizvodni sustav koji će biti projektiran, iz tog razloga potrebni su nam prethodno izračunati podaci, odnosno parametri proizvodnog sustava vezani za same strojeve te njihove režime rada. Ulazni podaci potrebni za izradu modela su slijedeći:

- Vrste proizvoda, te njihove količine i veličine serija
- Jedinična vremena potrebna za izradu proizvoda
- Pripremno završna vremena strojeva ovisno o vrsti proizvoda
- Vremenski rok potreban za izradu proizvoda
- Vrste strojeva, na kojima se obrađuju dijelovi
- Redoslijed operacija za izradu pojedinih dijelova

Simulacijski model se razvija s obzirom na ulazne podatke, kako bi što vjernije reprezentirao stvarni sustav. Model je sastavljen od elemenata odnosno objekata koji su povezani u cjeloviti model. Za objekte koji predstavljaju strojeve u modelu, uvršteni su podaci prethodno razrađenih tehnoloških procesa za pojedini proizvod. Ovisno o zahtijevanoj godišnjoj količini analitičkim putem došlo se do zaključaka o potrebnim proizvodnim kapacitetima kako bi količine bile zadovoljene. U simulaciji je uzeto u obzir rad u smjenama, te pauza od pola sata. U prvom slučaju dan je i primjer za 2. i 3. smjenu, bez radnih subota i nedjelja. U drugom modelu primjenjen je alat za genetski algoritam kako bi bio ostvaren zahtjevni rok koji je temeljno ograničenje, odnosno kako bi se skratilo vrijeme izrade zadane godišnje količine te na taj način ostvarila optimizacija s ciljem postizanja minimalnog roka isporuke. Pretpostavka uzeta u okviru ovog rada je da je vrijeme izrade svih proizvoda jednako roku isporuke.

### 5.5.1 Simulacijski model 1

Kod izrade ovog modela korištena je slijedeća hijerarhijska struktura objekata koji predstavljaju strojeve:

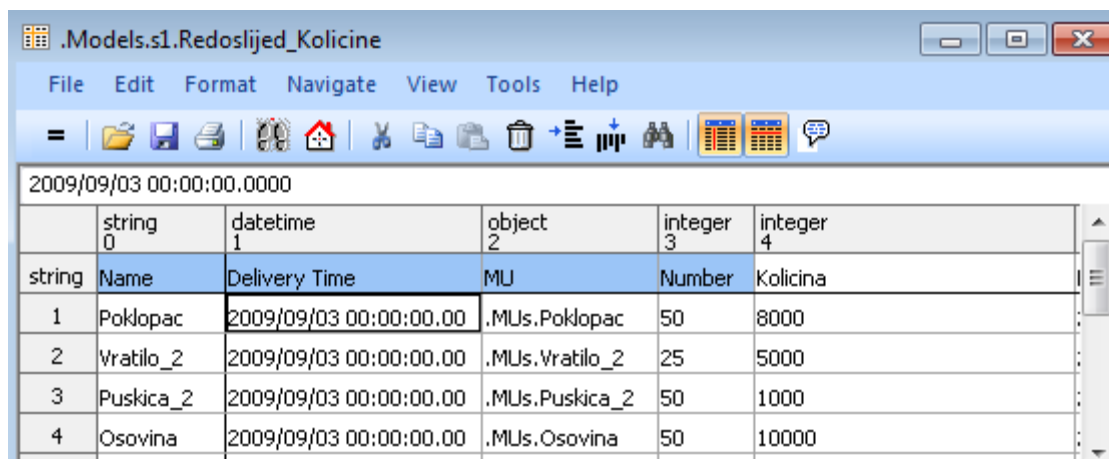


Slika 22. Hijerarhijska struktura objekata unutar modela 1

Kao što je vidljivo na slici 22. *frame* Tokarilica\_1 sastoji se od ulaznog te izlaznog međuspremnik (eng. *Buffer*) te jednog objekta *SingleProc* koji predstavlja stroj unutar modela.

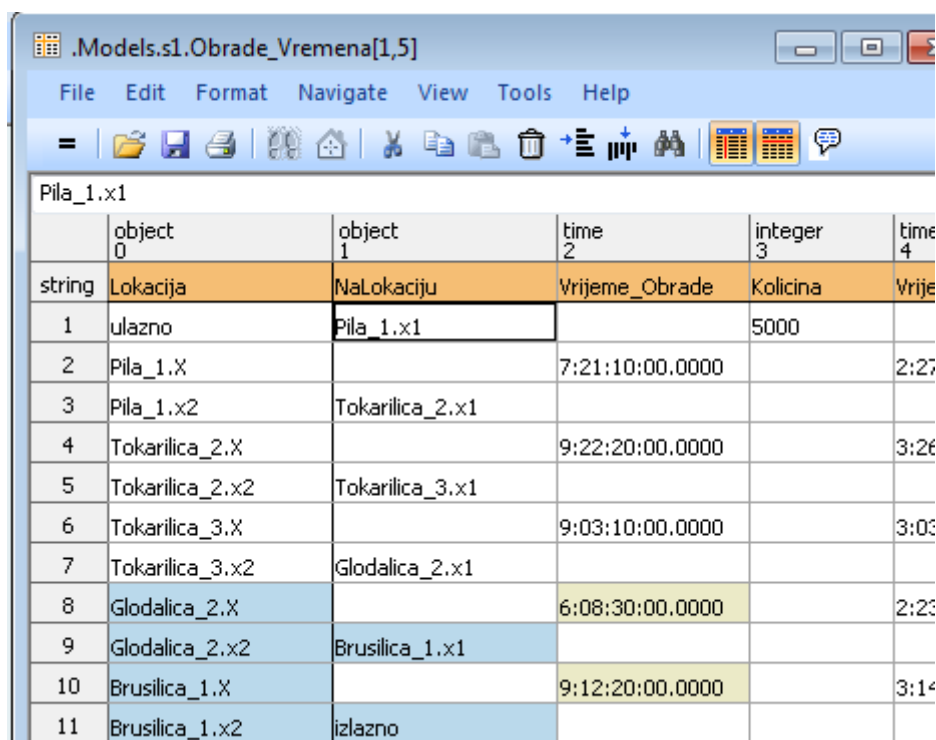


Ulazni podaci simulacijskog jezika Simtalk poput vrste proizvoda, njihove količine i vremena početka obrade unesena su u objekt *TableFile* imena „*Redoslijed\_kolicine*“, dok su pripremna vremena, vremena obrade te raspored operacija po strojevima određene vrste proizvoda dani unutar iste vrste objekta naziva „*Obrade\_vremena*“.



	string 0	datetime 1	object 2	integer 3	integer 4
string	Name	Delivery Time	MU	Number	Kolicina
1	Poklopac	2009/09/03 00:00:00.00	.MUs.Poklopac	50	8000
2	Vratilo_2	2009/09/03 00:00:00.00	.MUs.Vratilo_2	25	5000
3	Puskica_2	2009/09/03 00:00:00.00	.MUs.Puskica_2	50	1000
4	Osovina	2009/09/03 00:00:00.00	.MUs.Osovina	50	10000

Slika 23. Format *TableFile*-a „*Redoslijed\_kolicine*“



	object 0	object 1	time 2	integer 3	time 4
string	Lokacija	NaLokaciju	Vrijeme_Obrade	Kolicina	Vrije
1	ulazno	Pila_1.x1		5000	
2	Pila_1.X		7:21:10:00.0000		2:27
3	Pila_1.x2	Tokarilica_2.x1			
4	Tokarilica_2.X		9:22:20:00.0000		3:26
5	Tokarilica_2.x2	Tokarilica_3.x1			
6	Tokarilica_3.X		9:03:10:00.0000		3:03
7	Tokarilica_3.x2	Glodalica_2.x1			
8	Glodalica_2.X		6:08:30:00.0000		2:23
9	Glodalica_2.x2	Brusilica_1.x1			
10	Brusilica_1.X		9:12:20:00.0000		3:14
11	Brusilica_1.x2	izlazno			

Slika 24. Format *TableFile*-a „*Obrade\_Vremena*“

Na temelju *TableFile*-a „*Obrade\_Vremena*“, a putem objekta *Method* imena „*premjesti*“ moguće je izvršiti pomicanje proizvoda između željenih strojeva kako bi se što vjernije simulirali stvarni proizvodni procesi. Oblik ove metode je :

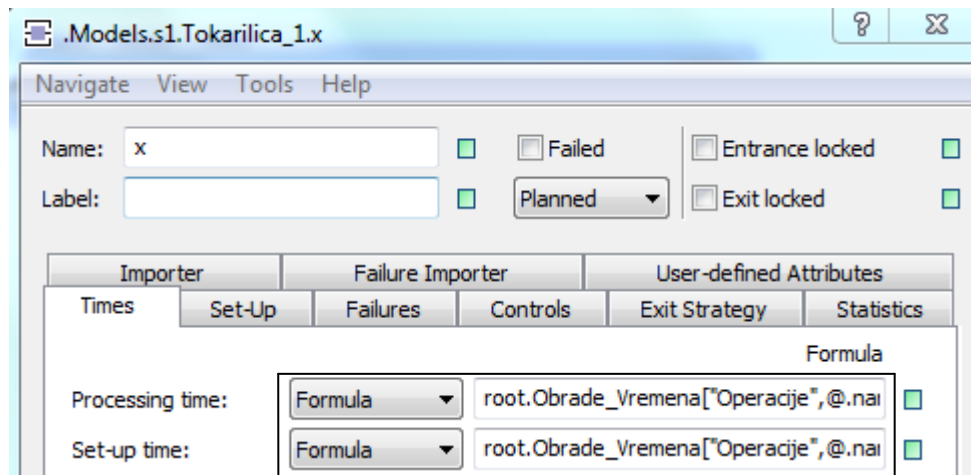
```
@.move(root.Obrad_Vremena["Operacije",@.name][NaLokaciju",?]);
```

Poziv vremena obrade i pripreme iz „*Obrade\_Vremena*“ obavlja se na objektima *SingleProc*, putem slijedećih formula:

```
root.Obrad_Vremena["Operacije",@.name][["Vrijeme_Obrade_serije",Self]
```

```
root.Obrade_Vremena["Operacije",@.name][["Vrijeme_pripreme",Self]
```

Unos ovih formula obavlja se unutar dijalognog prozora objekta *SingleProc* pod tabom *Times* kako je prikazano slikom 25.

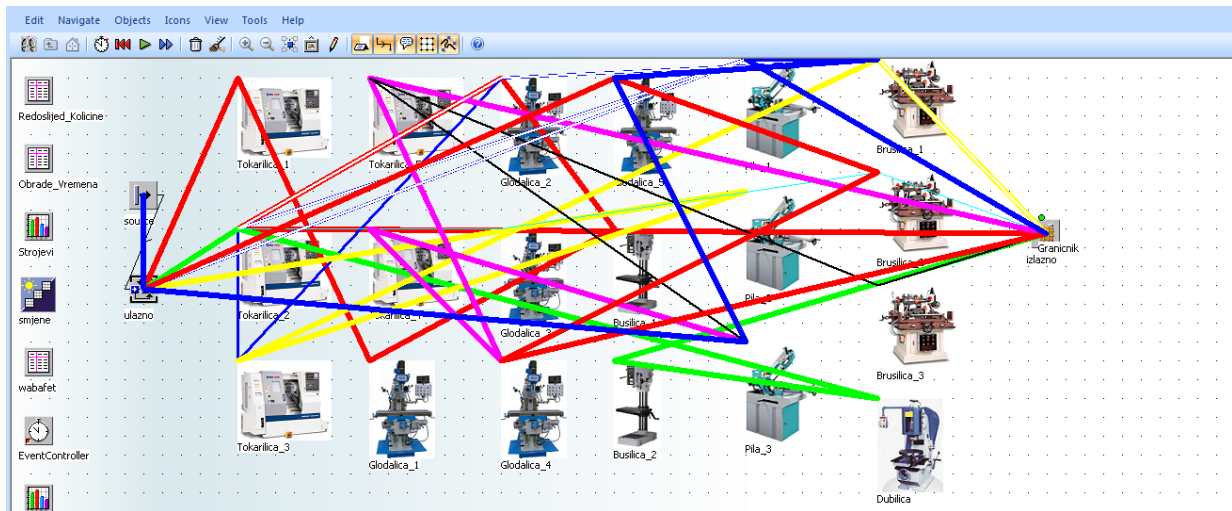


Slika 25. Dijalogni prozor objekta *SingleProc*

Ograničenje u radu kod ovog modela leži u činjenici da ne postoji mogućnost odabira alternativnih ruta pojedinih proizvoda u slučaju zauzetosti stroja, pošto je *TableFile-om* „*Obrade\_Vremena*“ unaprijed definiran slijed operacija na točno određenim strojevima, te u ovom slučaju jedini način na koji se može utjecati na rok isporuke je povećanje broja smjena kako bi se zadovoljio rok isporuke, odnosno skratilo vrijeme izrade.

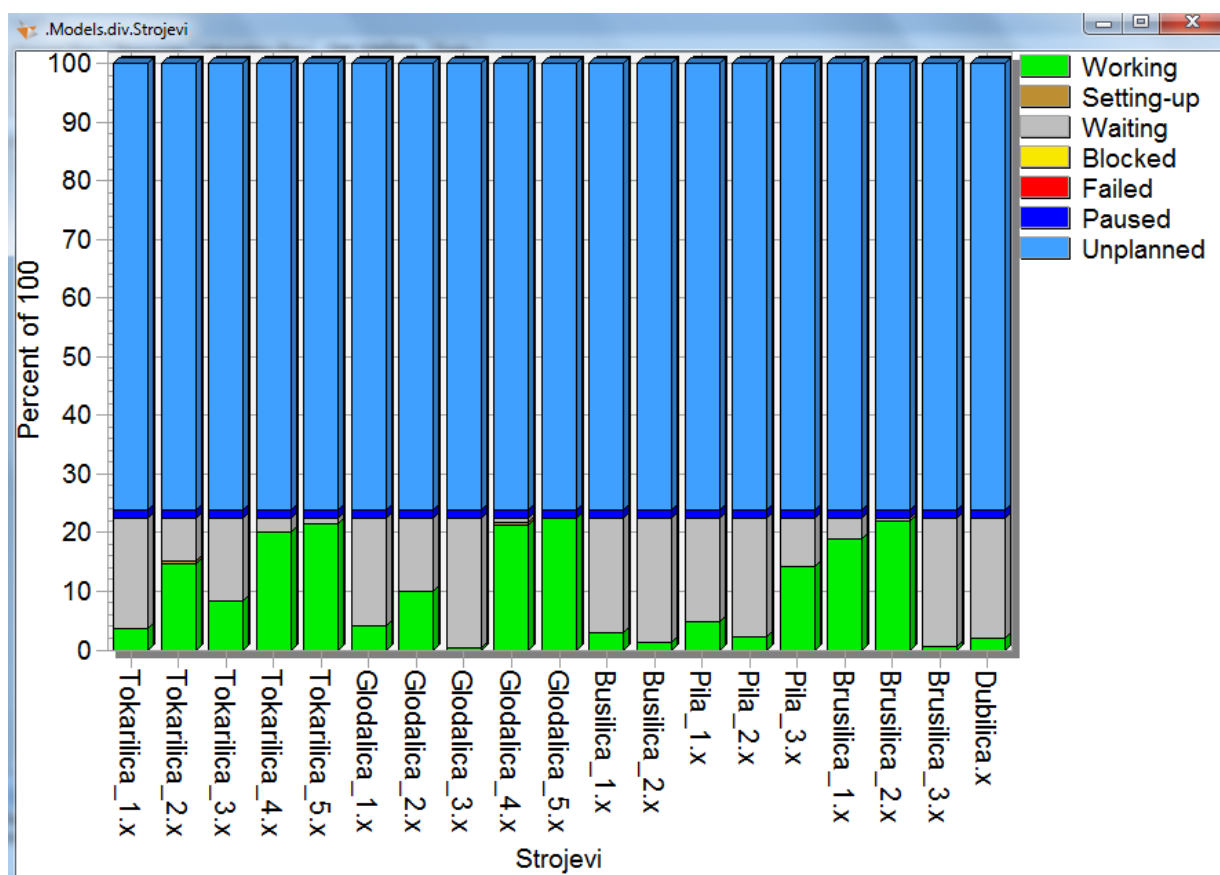


Slika 26. Simulacijski model sustava, slučaj 1



*Slika 27. Sankey dijagram, slučaj 1*

U slučaju 1, nisu uzeti u obzir zaključci dobiveni analitičkim putem, a to su da se izbaci glodalica\_3 zbog slabog opterećenja te se proizvodnja preusmjeri na jedan od strojeva sličnih karakteristika, te da se izbaci stroj bušilica\_1, te da se dodaju dodatni strojevi glodalica\_4 te glodalica\_5, te se dodaje i još jedan stroj brusilica\_2, koji će rasteretiti istovrsne strojeve. Na slici 27. prikazan je Sankey dijagram simulacijskog modela, na ovom dijagramu toka prikazan je tok svih deset proizvoda kroz sustav. Debljina linije u dijagramu predstavlja količinu toka što znači da ako je linija deblja, tim tokom se kreće veća količina proizvoda. Sustav je podešen tako da se po obavljanju svih operacija dijelovi šalju na izlaz sustava, a tok dijelova kroz sustav ovisi o planu izrade koji su prethodno izrađeni u okviru projekta iz kolegija „Projektiranje tehnoloških procesa“.



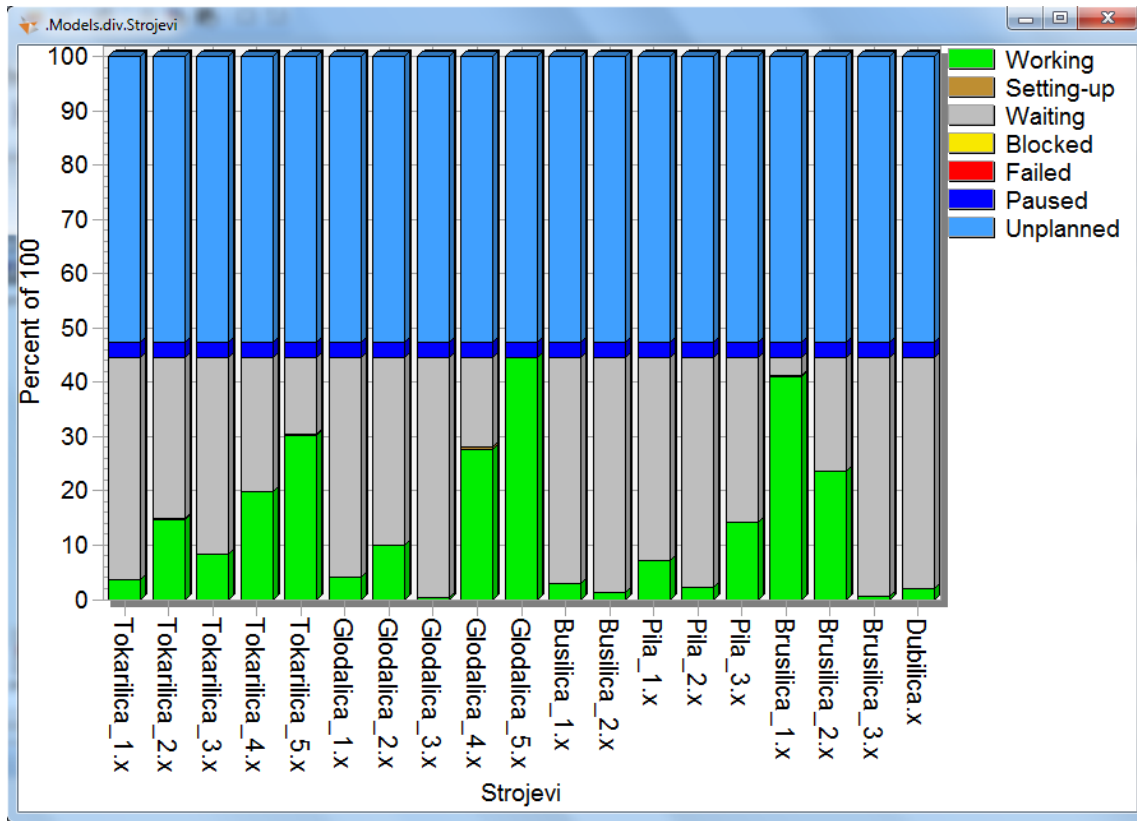
Slika 28. Opterećenje strojeva u slučaju rada u jednoj smjeni

Na temelju prethodno provedene analize, ostvarena je pretpostavka da se zahtijevane količine proizvoda neće proizvesti u zahtijevanom roku od godine dana. Kod ovako izvedenog sustava iz slike 28. moguće je uočiti da su strojevi tokarilica\_5, glodalica\_4, glodalica\_5 i brusilica\_2 rade cijelo radno vrijeme uzimajući u obzir da je predviđen rad u jednoj smjeni, te je iz tog razloga potrebno uvođenje dodatnih strojeva koji će ih rasteretiti te time povećati protok sustava, na taj način biti ispunjen zahtijevani rok isporuke. Potrebni dodatni strojevi te njihova količina vidljiva je u tablici 4. Osim toga moguće je uočiti slabu opterećenost strojeva glodalica\_3, bušilica\_2, brusilica\_3 koji će biti isključeni u slučaju 2.

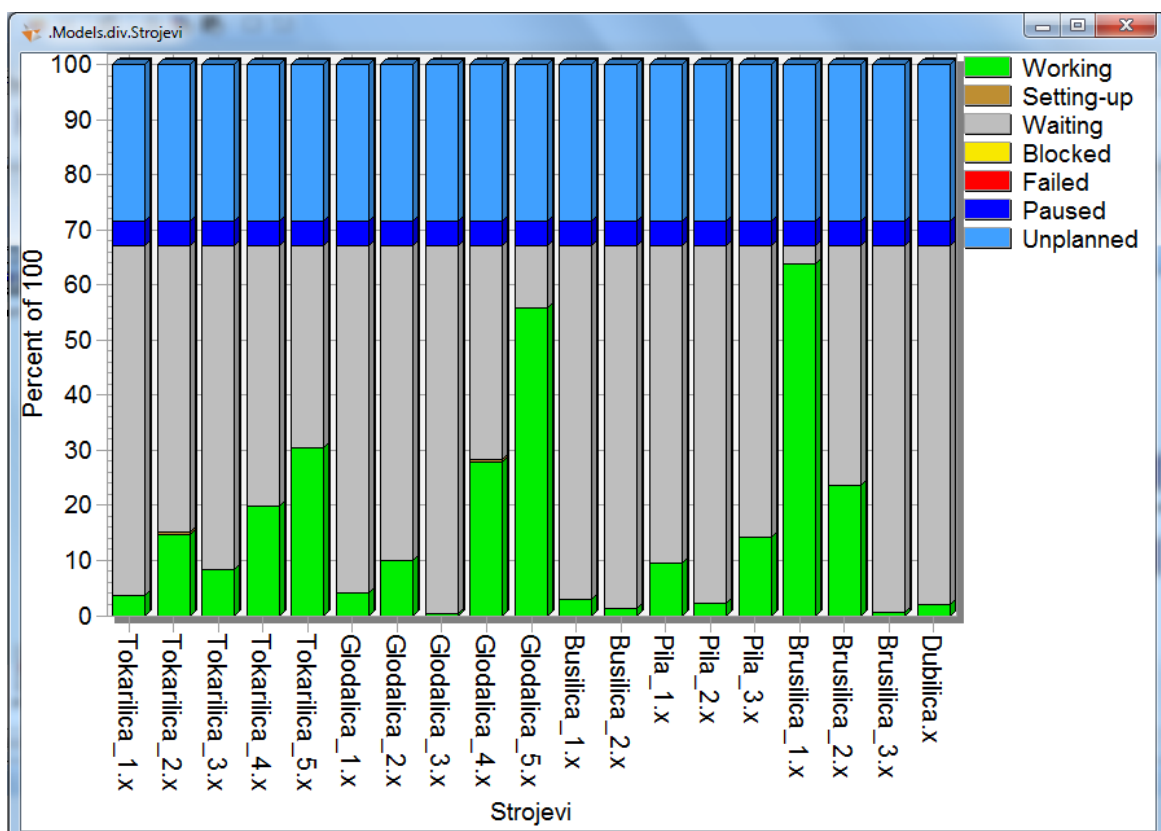
Tamno plava polja predstavljaju udio vremena kada je pauza u smjeni, svijetlo plava neradne dane subote i nedjelje i ono vrijeme unutar kojeg nije planiran rad strojeva, a smeđa udio pripremno-završnih vremena. Žuta polja predstavljaju udio vremena kada je stroju blokiran izlaz te on ne može poslati dio na iduću operaciju, a crvena udio vremena kada je stroj pokvaren. Siva polja predstavljaju vrijeme kada stroj čeka dio koji će se obrađivati na njemu, a to ovisi o prethodnoj operaciji.

Osim što se rješenju problema može pristupiti tako da se dodaju dodatni kapaciteti, jedan od načina bio bi da se radi u više smjena, no za ovako modeliran sustav iz slučaja 1 čak i uz rad u 2 ili 3 smjene rok isporuke od jedne godine nije moguće ostvariti što će biti prikazano u nastavku.

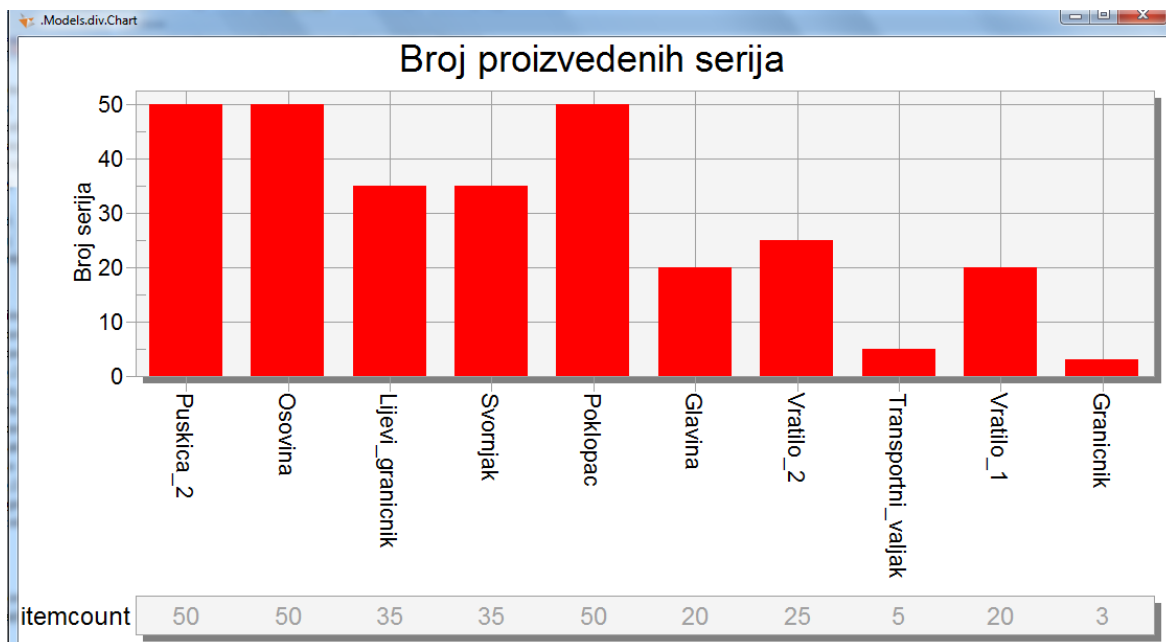
Opterećenja strojeva u slučaju rada u 2 i 3 smjene su prikazana slikama:



Slika 29. Opterećenje strojeva u slučaju rada u dvije smjene

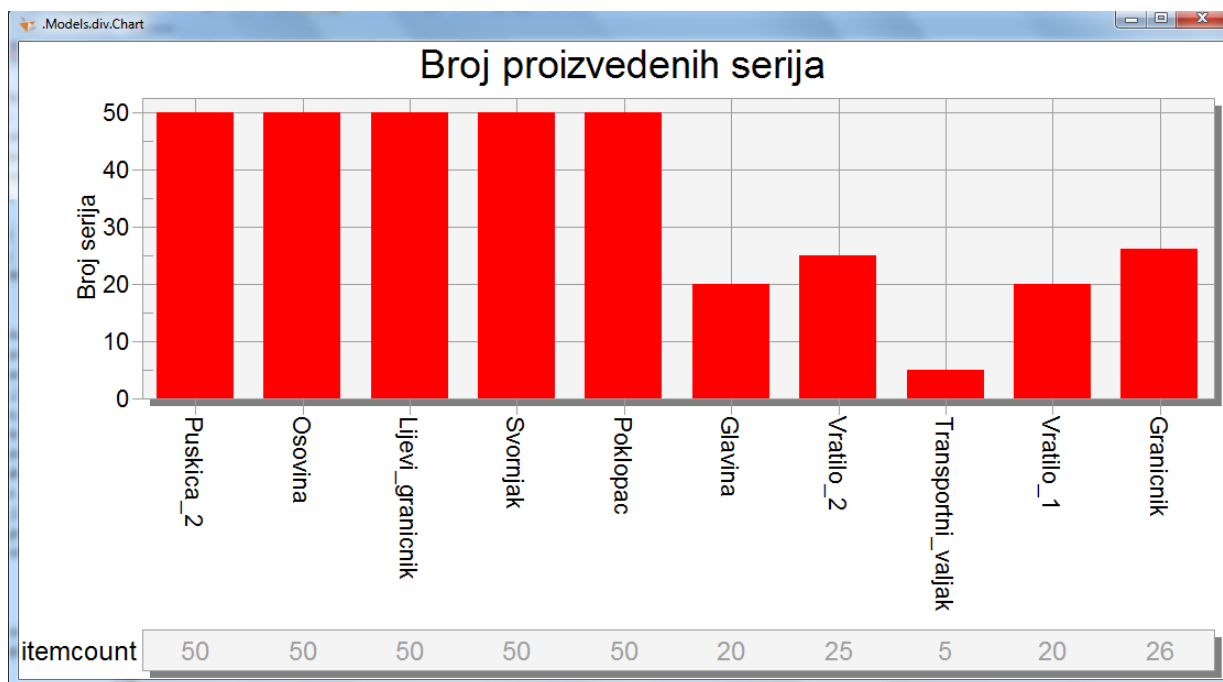


Slika 30. Opterećenje strojeva u slučaju rada u tri smjene

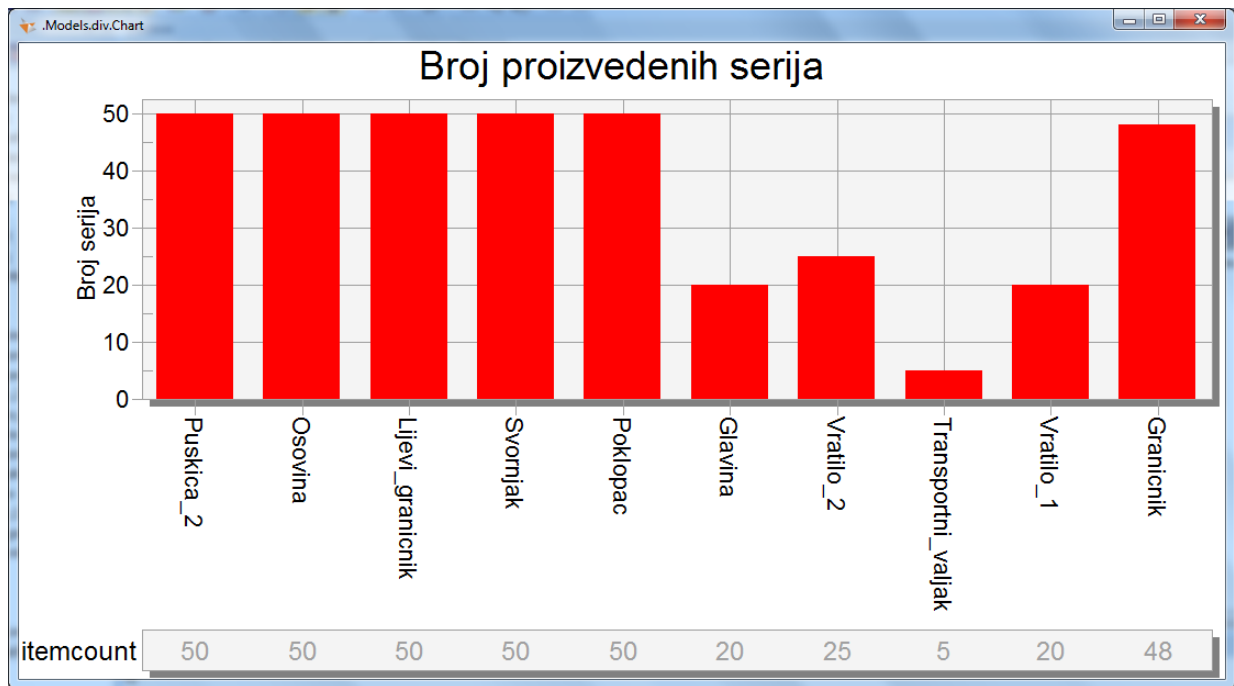


Slika 31. Broj proizvedenih serija u 1. slučaju, za rad u jednoj smjeni

Iz gornje slike može se uočiti da u zahtijevanom roku nije ostvareno 370 serija proizvoda u godinu dana, već je ostvareno 293 serije, u slučaju rada u jednoj smjeni potrebno je 1193 dana da se ostvari zahtijevana količina. Razlog tome je nedostatak kapaciteta kako bi se ispoštovao rok isporuke te neadekvatan raspored proizvoda po strojevima. Kao što je spomenuto i prije čak i uz rad u 2 ili 3 smjene za ovakav model sustava nije moguće ostvariti rok isporuke. Grafički prikaz za broj izrađenih serija u višesmjenskom radu dan je u nastavku:



Slika 31. Broj proizvedenih serija u 1. slučaju, za rad u dvije smjene



Slika 32. Broj proizvedenih serija u 1. slučaju, za rad u tri smjene

U slučaju rada u dvije smjene ostvareno je 346 serija u godini dana, a zahtijevani broj serija bio bi postignut za 441 dan, dok bi u slučaju rada u tri smjene bile proizvedeno 368 serija za godinu dana, a zahtijevani broj serija bio bi ostvaren u roku od 372 dana.



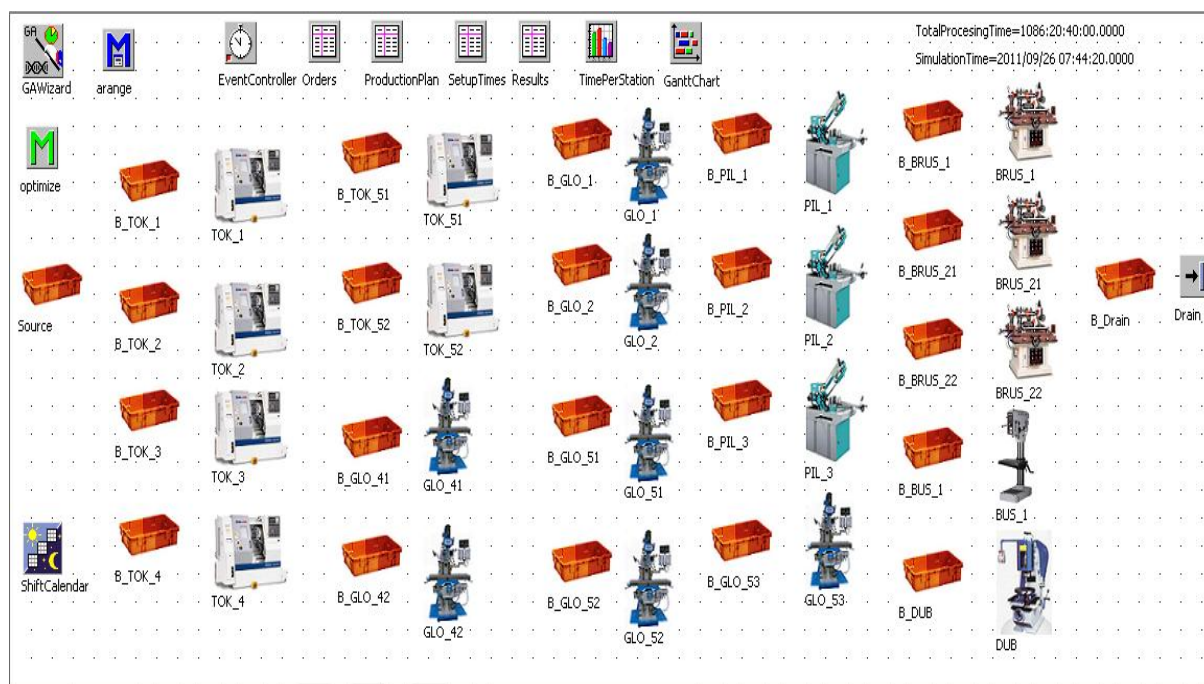
## 5.5.2 Simulacijski model 2

### Izrada 2. modela

Kod izrade ovog modela u obzir su uzete pretpostavke dobivene na temelju analitičkih rješenja vezanih za potreban broj strojeva kako je prikazano u tablici 4., odnosno dodani si potrebni kapaciteti kako bi bilo moguće izraditi proizvode unutar zadanog roka., dok su slabo opterećeni strojevi izbačeni. Proizvodi koji su se obrađivali na njima prebačeni su na strojeve sličnih značajki. Unutar ovog modela bit će obavljeno ispitivanje vremena izrade sa i bez primjene genetskog algoritma. Zbog uvažavanja analitičkog rješenja moguće je pretpostaviti da će oba vremena zadovoljavati rok isporuke, dok bi se uslijede izvršene optimizacije trebalo ostvariti minimalno potrebno vrijeme.

Izrada modela odvija se na taj način da se u *class library* kreiraju objekti koji će predstavljati strojeve i međuspremnike kako bi se model što brže izradio, koristeći jedno od najvažnijih svojstava Plant Simulation, a to je nasljeđivanje značajki roditeljskih objekata. To nam omogućuje brze promjene određenih parametara kod svih deriviranih objekata unutar *frame-a* modela.

Model 2 prikazan je slikom 33. u nastavku:



Slika 33. Model 2

Ograničenja koja su postojala unutar 1. modela vezana za kretanje proizvoda, ovdje nisu prisutna zato što postoji mogućnost odlaska na više različitih strojeva iste vrste npr. proizvod graničnik na kojem se obavlja operacija glodanja ima mogućnost izrade na glodalicama GLO\_51, GLO\_52 ili GLO\_53, stoga je izrađen *TableFile* unutar kojeg je formiran plan proizvodnje na slijedeći način:



The image shows three screenshots of a software interface, illustrating the structure of a production plan table. The top screenshot shows a table with 10 rows and 3 columns. The middle screenshot shows a table with 4 rows and 8 columns. The bottom screenshot shows a table with 4 rows and 6 columns. Arrows indicate the zooming in from the top table to the middle table, and from the middle table to the bottom table.

**Top Screenshot: .Models.Frame.ProductionPlan**

	string 0	table 1
string	Product	Operations
2	Vratilo_2	tab
3	Puskica_2	tab
4	Osovina	tab
5	Transportni_valjak	tab
6	Svornjak	tab
7	Glavina	tab
8	Vratilo_1	tab
9	Lijevi_granicnik	tab
10	Granicnik	tab

**Middle Screenshot: .Models.Frame.ProductionPlan[1,10]**

	string 0	table 1	table 2	string 3	string 4	string 5	string 6
string	Operation	Stations	Schedule				
2	glodanje	tab	tab				
3	brusenje	tab	tab				
4	piljenje	tab	tab				

**Bottom Screenshot: ...Frame.ProductionPlan[1,10][1,2]**

	object 0	object 1	time 2	string 3	str 4
string	Station	Buffer	ProcessingTim		
1	GLO_51	B_GLO_51	2:19:00:00.0		
2	GLO_52	B_GLO_52	2:19:00:00.0		
3	GLO_53	B_GLO_53	2:19:00:00.0		
4					

Slika 34. Struktura tabele plana proizvodnje

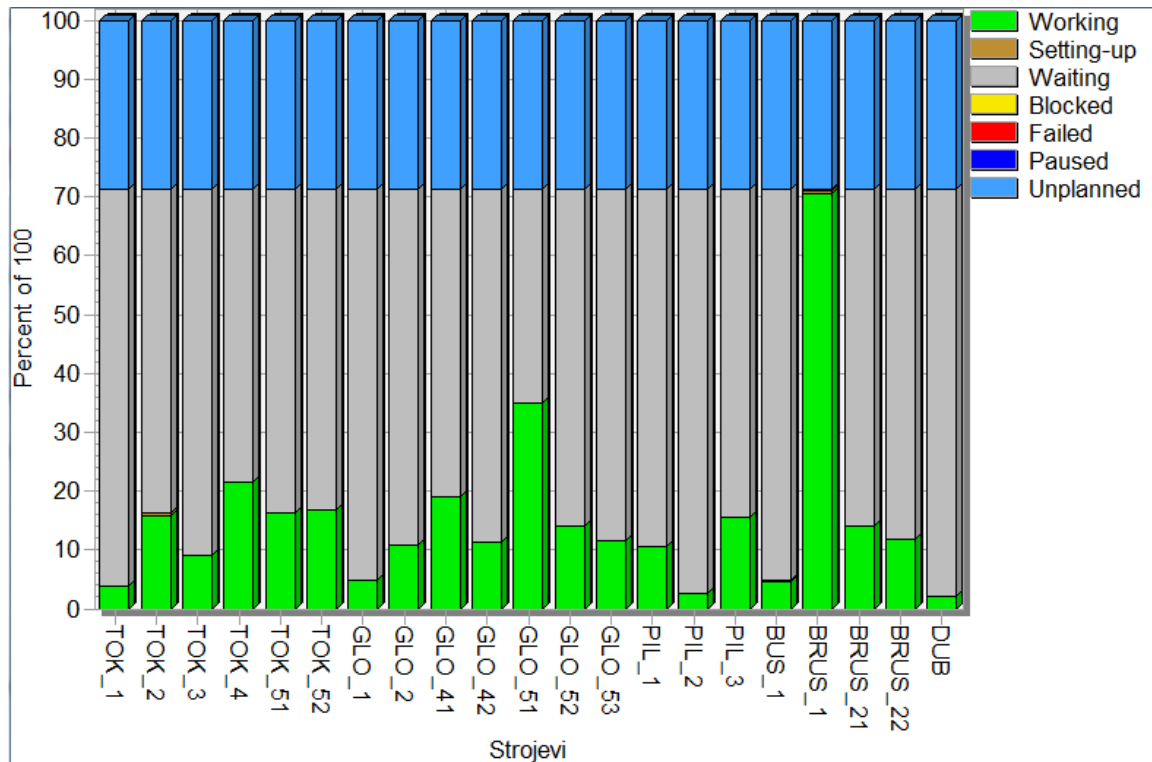
Kao što je vidljivo ovdje neće dolaziti do čekanje proizvoda na međuspremniku glodalice, u slučaju da postoji slobodan stroj, što će za posljedicu imati bržu izradu svih serija proizvoda.

Pozivanje vremena pripreme i obrade i kod ovog model obavlja se putem formula na objektima *SingleProc*, što je u ovom slučaju olakšano iz razlog što se taj unos obavlja samo jednom na roditeljskom objektu unutar *class librarya*, dok istovrsni objekti nasljeđuju ove parametre. Oblik ovih formula unutar prozora *SingleProc*-a pod tabom *Times* ima slijedeći oblik:

```
root.ProductionPlan[1, @.name][1, @.Step ][2, Self]
```

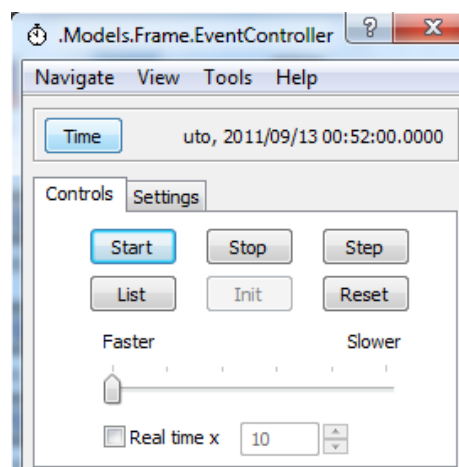
```
root.SetupTimes[Self, @.name]
```

Kod modela 2 bez primijenjenog genetskog algoritma dobiveni su slijedeća opterećenja strojeva kod rada u tri smjene:



Slika 35. Opterećenje strojeva kod 2 modela bez GA

Rok za isporuku godišnje količine proizvoda je unutar modela zadan kao 10.10.2010. , a datum završetka rada dobiven simulacijom ovog modela bez optimizacije je 13.9.2010. kako je vidljivo unutar *EventControllera*:



Slika 36. Rezultat simulacije 2. modela bez optimizacije

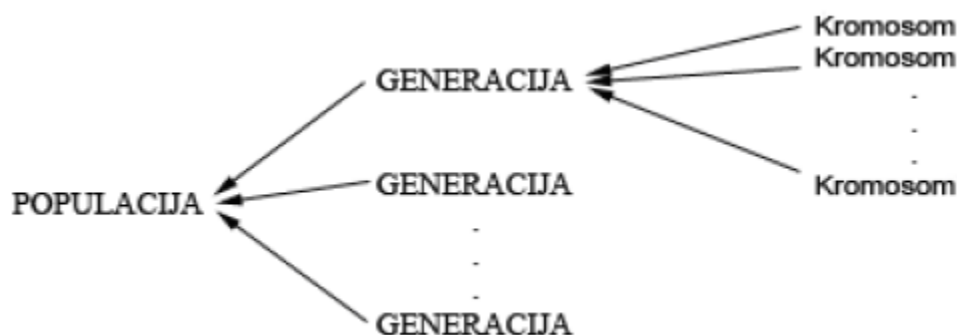
Iako je zadovoljen rok isporuke kako bi se postiglo minimalno vrijeme izrade nužno je primijeniti alat za genetski algoritam.

### Općenito o genetskom algoritmu [15]

Genetski algoritmi su algoritmi potrage bazirani na metode prirodne selekcije i prirodne genetike. Kombiniraju preživljavanje najjačih sa raznolikom strukturiranom razmjenoj informacija. “ Genetski materijal uspješnih roditelja prenosi se u daljnje generacije i međusobno kombinira, uzrokujući poboljšanje traženih svojstava. Povremeno dolazi do uvođenja nove genetske informacije, pomoću metoda mutacije.

Prvi genetski algoritmi, kakve danas poznajemo, razvijeni su sredinom 1960 – ih godina od strane John H. Hollanda i suradnika na University of Michigan. Naglim razvojem procesorske snage unazad zadnjih dvadesetak godina genetski algoritmi, kao i većina numeričkih metoda, dobivaju novi zamah.

Osnovni objekti genetskog algoritma su kromosomi koji zajedno čine generaciju. Sve generacije zajedno čine populaciju što je prikazano slikom 33.:



Slika 37. Struktura populacije

Jedna od ključnih stvari u genetskom algoritmu je predstavljanje realnih parametara problema koji se rješava u obliku koda pogodnog za genetski algoritam. Uobičajeni način je prikazivanje u binarnom zapisu, pri čemu su realni parametri prevedeni u nizove nula i jedinica. Takav način je izuzetno pogodan za operatore genetskog algoritma; križanje i mutaciju. Međutim, s obzirom da je ponekad jako teško prikazati realne parametre kao niz nula i jedinica, takav prikaz nije i jedini mogući.

S obzirom da genetski algoritmi primjenjuju preživljavanje najboljih, potrebno je napraviti rang listu kromosoma pojedine generacije. Rang lista radi se ocjenjivanjem kromosoma po izabranom kriteriju (kriterij ovisi o prirodi problema). Da bi se kromosom mogao ocijeniti potrebno je genotip prevesti u fenotip. Fenotip je dekodirani genotip, gdje su kodirani parametri prevedeni u realne parametre koji se ocjenjuju. Na temelju ocjenjivanja genima se dodjeljuje vjerojatnost izbora.

Glavni mehanizam prenošenja genetskih karakteristika roditelja na potomke je križanje roditelja. Od izabranih roditelja dobiva se potomak na način da se slučajnim izborom dio

genetskog niza prvog roditelja kombinira sa dijelom genetskog niza drugog roditelja. Mjesto križanja se bira slučajnim izborom, a broj mjesta križanja također može varirati.

Mutacija je druga operacija kojom se vrši unošenje novog genetskog koda u postojeću populaciju, čime se postiže istraživanje novih područja potrage. Mutacija je razmjerno rijetka pojava (vjerojatnost mutacije je reda veličine jednog postotka). Mjesto mutacije bira se slučajno, nakon čega se nađena vrijednost na izabranoj aleli (mjesto u genotipu) mijenja iz nule u jedan ili obratno.

Navedene operacije za posljedicu imaju poboljšanje parametara kromosoma i eventualni pronalazak globalnog optimuma.

Razlike genetskog algoritma u odnosu na tradicionalne metode (optimizacije)

- Genetski algoritmi rade sa kodiranim oblikom parametara, a ne sa samim parametrima. Zbog toga zahtijevaju kodiranje problema konačnim nizovima, konačne abecede. Time iskorištavaju sličnosti kodiranja u generalnom smislu, te nisu podložni ograničenjima drugih metoda kao što su zahtjevi za kontinuiranost, postojanje derivacija, te probleme vezane uz postojanje više lokalnih ekstrema. Međutim pred korisnike stavljaju zahtjeve za umjesnim kodiranjem parametara.
- Genetski algoritmi traže populacije točkaka, a ne samo jednu točku, čime se dobiva dobra pokrivenost područja potrage i učinkovito rješava problem lokalnih ekstrema. Takav pristup je računalno izuzetno zahtjevan, ali i puno učinkovitiji od metoda „planinarenja“ prilikom kojih se kreće od jedne točke i po određenoj logici traži susjedna bolja.
- Genetski algoritmi koriste rezultat same funkcije, tj. činjenicu koliko je pojedini kromosom podoban ili nije. Genetski algoritmi nisu gradijentne metode. Iako su tokom vremena razvijani genetski algoritmi usmjeravani znanjem, u svojoj osnovi oni su „slijepi“. Ta činjenica, zajedno sa činjenicom da im za uspješan rad nisu potrebni dodatni vanjski podaci niti posebna metrika, čine genetske algoritme izuzetno primjenljivim na širokom spektru domena i problema.
- Genetski algoritmi koriste zakonitosti vjerojatnosti, a ne determinističke zakone. Pri tome valja imati na umu da to nije slučajna potraga. „Genetski algoritmi koriste slučajni izbor kao alat koji će voditi potragu u područja prostora koje „obećavaju“ napredak“

## Optimizacija 2. modela

Kako bi bilo postignuto minimalno vrijeme izrade primijenjen je alat za genetički algoritam. U konkretnom slučaju ovdje se radi o kombinaciji najboljeg raspored serija proizvoda na raspoloživim strojeve, pa se tako funkcija cilja zapravo sastoji od više funkcija cilja vezanih za minimalno vrijeme izrade pojedinih proizvoda, a zbroj tih vremena čini najkraće ukupno vrijeme izrade, a uz uvjet da je ispunjen zadani rok isporuke. Težinski faktori funkcija cilja zadani su putem objekta *TableFile* kako je prikazano na slici:

root.TotalProcesingTimeNum		
	string 1	real 2
	Target value	Weighting
1	root.TotalProcesingTimeNum	1.00000
2	root.Results[2,1]	1.00000
3	root.Results[2,2]	1.00000
4	root.Results[2,3]	1.00000
5	root.Results[2,4]	1.00000
6	root.Results[2,5]	1.00000
7	root.Results[2,6]	1.00000
8	root.Results[2,7]	1.00000
9	root.Results[2,8]	1.00000
10	root.Results[2,9]	1.00000
11	root.Results[2,10]	1.00000
12		

Slika 38. Prioriteti funkcija cilja

Iz razloga što je ukupna funkcija cilja ovisna o pojedinim funkcijama cilja proizvoda težinski faktor su im jednaki.

Kako bi se izračunalo ukupno vrijeme izrade na svakom *SingleProc* objektu modela 2 definirana je metoda koja se poziva po izlazu proizvoda s objekta, a njen oblik je:

TotalProcesingTime := TotalProcesingTime + root.ProductionPlan[1,@.name ][1,@.step][2,?];

Ograničenja postavljena unutar modela odnose se na broj strojeva raspoloživih za određenu operaciju. Broj ograničenja za svaki proizvod ide prema slijedećem izrazu:

$(P1 \times K1_1 \times MK1_1 \times KP1) + (P1 \times K2_1 \times MK2_1 \times KP1) + \dots + (P1 \times Km_1 \times MKm_1 \times KP2)$  za proizvod

$P1$

$(P2 \times K1_2 \times MK1_2 \times KP2) + (P2 \times K2_2 \times MK2_2 \times KP2) + \dots + (P2 \times Km_2 \times MKm_2 \times KP2)$  za proizvod

⋮

$P2$

$(Pn \times K1_n \times MK1_n \times KPn) + (Pn \times K2_n \times MK2_n \times KP2) + \dots + (Pn \times Km_n \times MKm_n \times KPn)$  za proizvod  $Pn$

Gdje je:

$P_n$  = vrsta proizvoda

$Km_n$  = m-ta vrsta operacije za n-tu vrstu proizvoda

$MKm_n$  = mogući broj strojeva za izradu m-te vrste operacije za n-tu vrstu proizvoda

$KP_n$  = količina proizvoda.

Ograničenje glasi:

$$KP_{n-min} > P_n \times Km_n \times MKm_n < KP_{n-max}$$

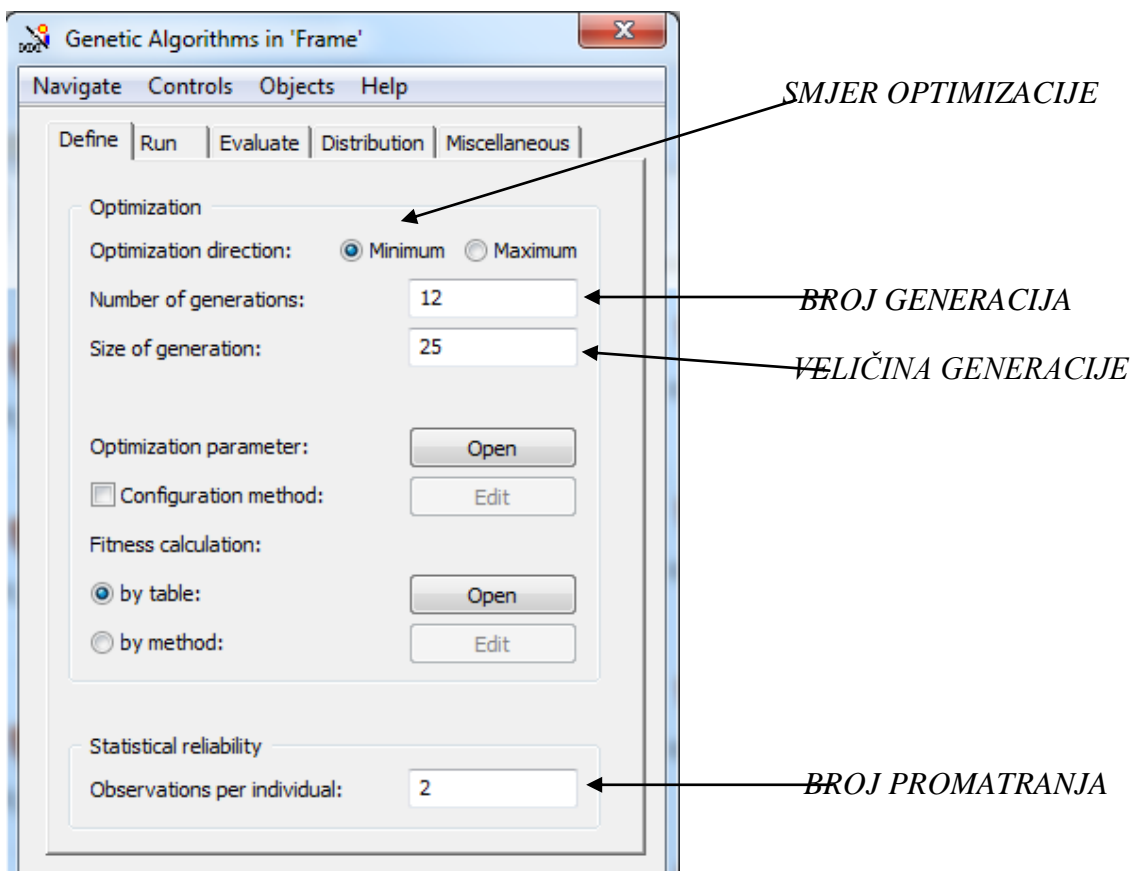
Element 1						
	string 2081	integer 2082	string 2083	integer 2084	string 2085	integer 2086
string	Parameter:	root.ProductionPlan[1,9][2,1][1,6]	Parameter:	root.ProductionPlan[1,9][2,1][1,7]	Parameter:	root.ProductionPlan[1,9][2,1][1,8]
1	Lower bound	1	Lower bound	1	Lower bound	1
2	Upper bound	3	Upper bound	3	Upper bound	3
3	Increment	1	Increment	1	Increment	1
4						
5						
6						
7						
8						

Slika 39. Ograničenja genetskog algoritma

U slučaju sa slike 39., granice su brojevi raspoloživih strojeva zadani u planu proizvodnje, te ih genetički algoritam mijenja sa inkrementacijom 1.

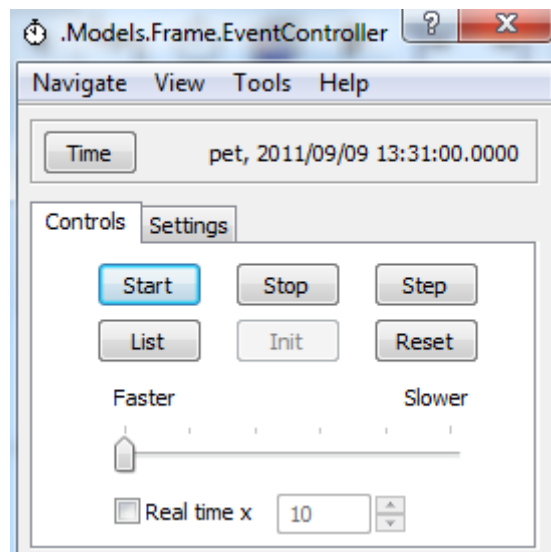
Nakon što se putem metode „*arange*“ izvrši raspoređivanje pojedinih serija proizvoda na određene strojeve, genetički algoritam počinje generiranja različitih rješenja. Generacija predstavlja broj rješenja koje algoritam kombinira, a obzervacija predstavlja broj simulacija za svaku novu generiranu individuu.

U našem modelu postavljeni su sljedeći parametri:



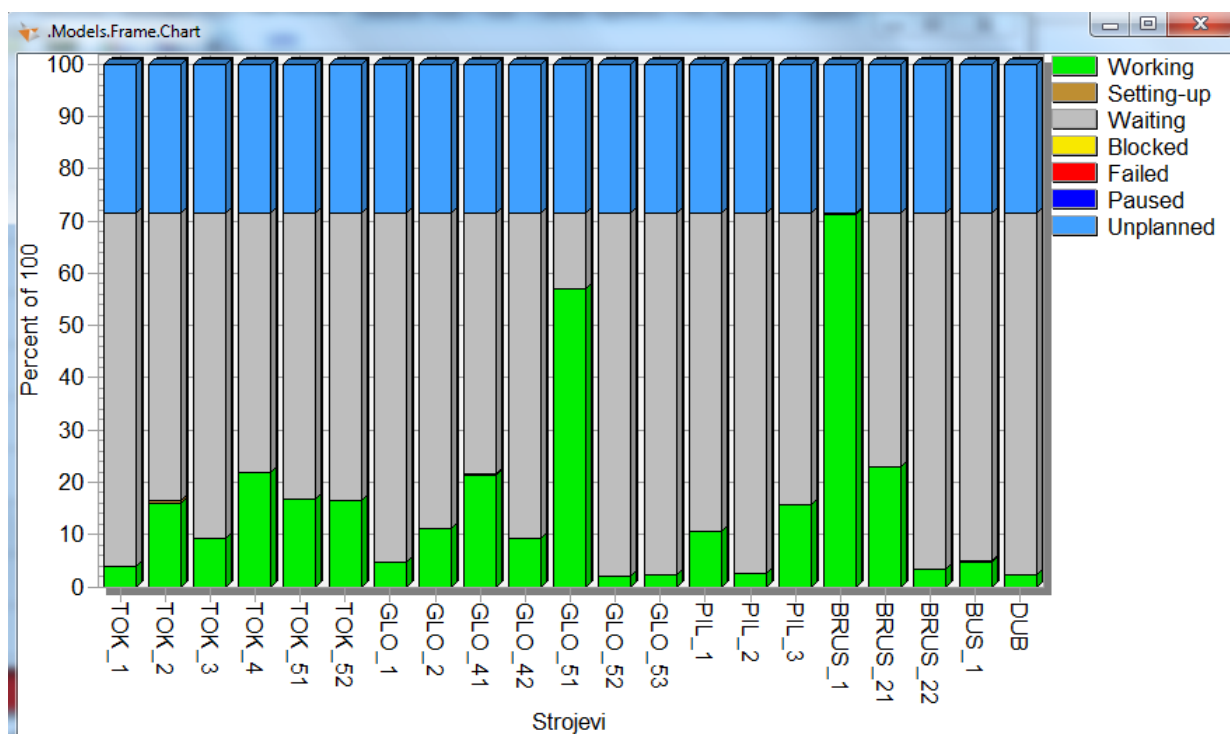
Slika 40. Parametri optimizacije modela 2

Vrijeme izrade dobiveno primjenom genetičkog algoritma također zadovoljava vrijeme isporuke, no uslijed boljeg raspored proizvoda po strojevima ostvareno je kraće vrijeme izrade koje je vidljivo unutar *EventControllera*:



Slika 41. Vrijeme izrade model 2 uz GA

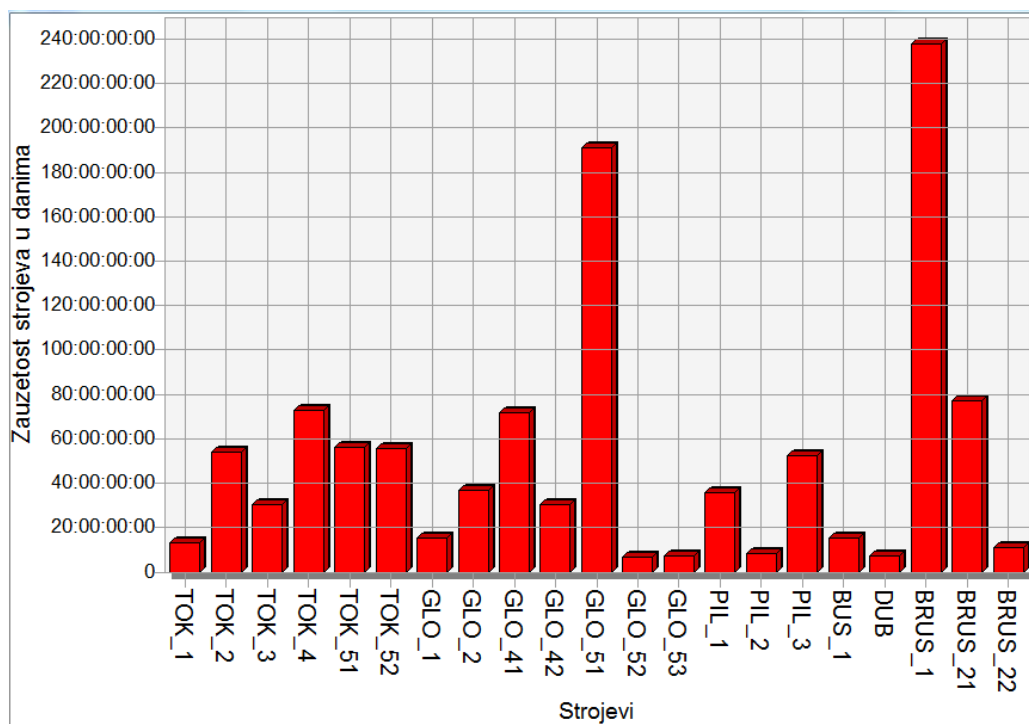
Kao što možemo uočiti uočeno je poboljšanje od 4 dana u odnosu na istovrsni model bez obavljanja optimizacije. U nastavku dana je slika opterećenja strojeva za slučaj primjene genetskog algoritma.



Slika 42. Opterećenje strojeva kod 2.modela uz primjenu GA

Ono što možemo uočiti na slici 42, da se u odnosu na ovaj model bez primijenjene optimizacije može uočiti povećanje u opterećenosti stroja GLO\_51, a samim time i smanjenje opterećenosti

istovrsnih strojeva GLO\_52 i GLO\_53, uz to došlo je do povećanja opterećenja BRUS\_21 i smanjenja opterećenja BRUS\_22, dok se kao i u prethodnom slučaju, može uočiti da je stroj BRUS\_1 najopterećeniji. Ove promjene u opterećenju posljedica su promjena u rasporedu serija proizvoda na određenim strojevima. Prikaz zauzetosti strojeva u danima dan je slikom 43.:



Slika 43. Zauzetost strojeva u danima

Za bolji uvid u faze i aktivnosti izrade serija proizvoda odnosno operacije koje se odvijaju u određenim vremenskim periodima može se upotrijebiti gantogram, pri čemu se na ordinati nalaze objekti terminiranja u ovom slučaju proizvodi dok se na apscisi nalaze terminske jedinice, aktivnosti koje su obavljene u zahtijevanom roku prikazane su zelenom boje, dok su one koje ne ispunjavaju rok obojane crvenom bojom.



Slika 44. Gantogram izrade proizvoda



## 6 ANALIZA REZULTATA

Na temelju izrade prvog simulacijskog modela prikazano je kako osim primjene simulacije kod planiranja proizvodnog sustava i godišnjih količina veliku važnost nosi izrada analitičkog rješenja kako bi se mogle okvirno odrediti vrijednosti vezane za godišnju opterećenost strojeva te kako bi mogle biti donesene odluke o uvođenju dodatnih potrebnih kapaciteta. No već iz samog analitičkog rješenja bilo je moguće uočiti kako se rok isporuke neće moći ostvariti zbog nedostatka kapaciteta tako da se tome rješenju nije moglo doskočiti ni uvođenjem dodatnih smjena, što za posljedicu nosi probijanje roka isporuke. To za posljedicu nosi materijalnu štetu koja se manifestira u obliku penala za kašnjenje, ovdje možemo govoriti i o gubitku povjerenja naših kupaca te ugleda na tržištu što može imati dalekosežne posljedice koje će se moći tek kasnije kvantificirati usporedbom količine dobivenih narudžbi prije i nakon neispunjenja roka.

Neke od mogućnosti za rješenje ove vrste problema, a u slučaju da ne postoje dodatni kapaciteti, bilo bi slanje dijela proizvodnje na kooperaciju ili rada vikendima, no u tom slučaju trebalo bi izvršiti analizu troškova rad vikendom te onih za rad u kooperacija. Pri tome treba uzeti u obzir da postoji mogućnost pojave kašnjenja kod kooperantske tvrtke te dodatnih troškova uslijed transporta, ali mogućnost nezadovoljavajuće kvalitete izrađenih proizvoda, što kao posljedicu nosi dodatne troškove.

Stoga su u okviru izrade drugog simulacijskog modela u obzir uzeta analitička rješenja, a uvođenje dodatnih kapaciteta omogućiti će rasterećenje pojedinih kapaciteta, što je značilo da će biti ostvareno ispunjenje roka isporuke. No ono što je glavna prednost kod primjene simulacije na ovom konkretnom modelu je mogućnost optimizacije kako bi vrijeme izrade bilo dodatno skraćeno te se na taj način ubrzao rok isporuke. Primjenom genetskog algoritma kod modela 2 postignut je bolji raspored proizvoda odnosno njihovih serija po određenim strojevima što je u ovom slučaju značilo smanjenje vremena izrade za 4 dana, uslijed smanjenja čekanja na međuspremnicima. Pošto je funkcija cilja bila u ovom slučaju što kraće vrijeme izrade, ne uzimajući u obzir troškove rada na određenim strojevima, jer ipak je realno da su brži strojevi i skuplji, kako bi se moglo govoriti o mogućnosti povećanja dobiti po proizvodu te o povećanju ukupnog profita, u obzir bi morao biti uzet i ovaj parametar. No u svakom slučaju u slučaju kraćeg vremena izrade, postoji mogućnost iskorištenja slobodnih strojeva za izradu drugih radnih naloga te ostvarenja zarade na novim poslovima. Uz to sposobnost ranijeg roka isporuke s gledišta konkurentske prednosti na globalnom tržištu je od neizmjerne važnosti ne samo za razvoj već i opstanak uslijed povećanja konkurencije.

## 7 ZAKLJUČAK

Kroz ovaj rad dan je jasan prikaz PLM koncepta, jednog od novonastalih pristupa za ostvarenje poboljšanja u konkurentnosti te poslovnoj učinkovitosti. Opisan je njegov povijesni razvoj s razlozima njegovog nastanka uslijed potreba za poslovnim rješenjem koje će omogućiti potporu kroz cijeli životni ciklus proizvoda. Osim toga dane su osnovne informacije vezane poslovne procese kojima PLM služi kao podrška, te pozicija ovog rješenja u odnosu na ostala poslovna rješenja unutar tvrtke. Te su dani primjeri specifičnih koristi postignutih primjenom PLM rješenja.

Direktna primjena ovog pristup ostvarena je primjenom softverskih rješenja kojima se pokušavaju integrirati funkcije cijele tvrtke. Ukazano je na zahtjeve koji se postavljaju na ovu vrstu informacijskih sustava, te na karakteristične značajke koje posjeduju, a opisana je i sama arhitektura PLM sustava. Kratak osvrt dan je i na uobičajene komercijalna rješenja tj. na ona koja nalaze najčešću primjenu unutar kompanija.

Ono što je temelj ovog rada jest primjena Siemens PLM Software-a, odnosno softverskog rješenja Tecnomatix Plant Simulation. Kako u današnje vrijeme nema prostora za promašaje vezane uz planiranje proizvodnje te rezultate proizvodnih sustava, primjena simulacijskih alata kod razvoja ove vrste poslovnih aktivnosti nameće se kao snažno sredstvo kojim se podržavaju inovativni procesi. Na ovaj način unaprijed se mogu izvesti zaključci koji će usmjeriti daljnje poslovne poteze u pravom smjeru te olakšati reakciju kompanijana izazove današnjeg tržišta.

Unutar rada simuliran je virtualni proizvodni program tvrtke, koji je temeljen na stvarnim podacima o potrebnim operacijam i resursima za izradu navedenih proizvoda, te je pritom obavljena analiza kako bi se odredila potreba za proizvodnim kapacitetima kako bi se zadovoljile godišnje količine, te je pokazano da je temelj svake smislene simulacije prethodna analitička obrada podataka, što je naročito vidljivo kod 1. modela gdje se uslijed ne poštivanja rezultata analize, simulacijom samo potvrđuje pretpostavka o tome da se zahtijevana godišnja količina ne može ostvariti zbog nedostatka proizvodnih resursa.

Kod razvoja 2. modela opisana su dva slučaja, kod kojih oba uzimaju u obzir analitička rješenja, te se već time ostvaruje podloga za ostvarenje zadanog roka isporuke. Uz primjenu genetičkog algoritma otišlo se i korak dalje, te se optimizacijom kroz generiranje različitih parametara mogućih rješenja došlo do optimalne kombinacije rasporeda serija proizvoda na strojevima. Ta kombinacija osim što zadovoljava rok isporuke, ostvaruju kraće ukupno vrijeme izrade u odnosu na prvi slučaj kod 2. modela, odnosno dovodi do minimizacije vremena potrebnog za izradu, a samim time i isporuku. Ovaj primjer predstavlja dobru osnovu za daljnje primjene kod istraživanja i analize stvarnih sustava, jer daje mogućnost pravovremene reakcije u fazi razvoja proizvodnog sustava kako bi se izbjegli ne potrebni gubici.

## 8 LITERATURA

- [1] Bangsow S., „Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk“, Springer-Verlag, 2010.
- [2] CIMdata Inc., “Product Lifecycle Management – Empowering the Future of Business”, Ann Arbor, 2002.
- [3] Vadla I., Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2009.
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Product\\_lifecycle\\_management](http://en.wikipedia.org/wiki/Product_lifecycle_management)
- [5] Saaksvuori A., Immonen A., „Product Lifecycle Management“, Springer-Verlag, 2008.
- [6] Gecevska V., Lombardi F., Cus F., Anisic Z., Angelides D., Veza I., Popovska Vasilevska S., Ćosić P., „PLM-Product Lifecycle Management Strategy for innovative and competitive Business Enviroment“, Maribor, 2010.
- [7] Anisic Z., „Product Lifecycle Management“, ICT Innovation Conference , Ohrid, 2009.
- [8] PDM Information Company, „PDM/PLM Vendors, VARs and Service Providers“, 2004.
- [9] <http://www.ptc.com/solutions/index.htm>
- [10] [http://en.wikipedia.org/wiki/ENOVIA\\_MatrixOne](http://en.wikipedia.org/wiki/ENOVIA_MatrixOne)
- [11] <http://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS/ENOVIA/PDF/Datasheet-Automotive Accelerator-for-Program-Management.pdf>
- [12] [http://en.wikipedia.org/wiki/Siemens\\_PLM\\_Software](http://en.wikipedia.org/wiki/Siemens_PLM_Software)
- [13] [http://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/)
- [14] Medved D., Barilar N., Projekt „eM-Plant“, FSB, Zagreb, 2009.
- [15] Goldberg D.E., „Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning“. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1989.