

Napredno planiranje i terminiranje aktivnosti u proizvodnim procesima

Belić, Ante

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:235:107847>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-30**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ante Belić

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Miro Hegedić,

Student:

Ante Belić

Zagreb, 2021.

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

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Miri Hegediću, na Vašoj nesebičnoj pomoći, vodstvu, suradnji, te korisnim savjetima tijekom izrade ovoga diplomskog rada.

Veliko hvala svima prijateljima i kolegama koji su svojim prisustvom i savjetima uljepšali moje studentske dane.

Također, veliko hvala tvrtki Končar mjerni transformatori d.d. na suradnji, savjetima i ustupljenim podacima, korištenim za izradu ovog diplomskog rada.

A posebna zahvala mojoj obitelji koja mi pruža bezuvjetnu podršku i vjeru u uspjeh, hvala vam na strpljenju.

Ante Belić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

| | |
|--|---------|
| Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum: | Prilog: |
| Klasa: 602-04/21-6/1 | |
| Ur. broj: 15-1703-21 | |

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: ANTE BELIĆ Mat. br.: 0035191353

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Napredno planiranje i terminiranje aktivnosti u proizvodnim procesima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Advanced planning and scheduling of activities in production processes**

Opis zadatka:

Planiranje predstavlja ključnu funkciju upravljanja proizvodnjom. Na samo planiranje utječe mnogo različitih faktora koji zavise o razini na kojoj se planiranje vrši. Terminiranje predstavlja dodjeljivanje radnih aktivnosti određenim radnim mjestima u proizvodnji stoga takvi modeli zahtijevaju najveći stupanj detalja i točnosti. S jedne strane postoje različiti modeli i pristupi planiranju i terminiranju te dostupni komercijalni softverski alati za ovu primjenu. S druge strane, planiranje i terminiranje i dalje predstavljaju značajan izazov za proizvodna poduzeća.

U radu je potrebno:

1. Objasniti pojmove planiranja i terminiranja aktivnosti u proizvodnim procesima
2. Na temelju pregleda dostupne literature opisati i usporediti najznačajnije modele i pristupe naprednom planiranju i terminiranju aktivnosti u proizvodnim procesima
3. Opisati trenutno dostupna softverska rješenja za planiranje i podršku procesu planiranja i terminiranja
4. Koristeći se podacima iz procesa proizvodnje usporediti najznačajnije pristupe terminiranju proizvodnih aktivnosti
5. Na realnom primjeru iz proizvodnje opisati primjenu jednog softvera za planiranje.

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

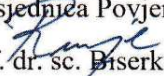
Zadatak zadan:
30. rujna 2021.

Rok predaje rada:
2. prosinca 2021.

Predviđeni datum obrane:
13. prosinca do 17. prosinca 2021.

Zadatak zadao:

doc. dr. sc. Miro Hegedić

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

| | |
|--|-----|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | III |
| POPIS TABLICA | IV |
| POPIS KRATICA | V |
| SAŽETAK | VI |
| SUMMARY | VII |
| 1. UVOD | 1 |
| 2. PLANIRANJE I TERMINIRANJE AKTIVNOSTI..... | 3 |
| 2.1. Uvod..... | 3 |
| 2.2. Podjela..... | 4 |
| 2.3. Scenariji procesa proizvodnje | 7 |
| 2.3.1. Planiranje proizvodnja po narudžbi kupaca | 7 |
| 2.3.2. Planiranje proizvodnje temeljene na zalihama | 7 |
| 2.3.3. Planiranje montaže po narudžbi..... | 8 |
| 2.4. Matrica planiranja proizvodnog procesa..... | 8 |
| 2.5. Zadaci dugoročnog planiranja | 9 |
| 2.5.1. Proizvodni program i strateško planiranje prodaje | 9 |
| 2.5.2. Struktura fizičke distribucije | 10 |
| 2.5.3. Lokacija pogona i proizvodnih sustava..... | 10 |
| 2.5.4. Program materijala i izbor dobavljača | 10 |
| 2.5.5. Suradnje..... | 11 |
| 2.6. Zadaci srednjoročnog planiranja | 11 |
| 2.6.1. Srednjoročno planiranje prodaje..... | 11 |
| 2.6.2. Planiranje distribucije | 11 |
| 2.6.3. Zakazivanje glavne proizvodnje i planiranje kapaciteta | 12 |
| 2.6.4. Planiranje osoblja..... | 12 |
| 2.6.5. Planiranje zahtjeva za materijalom | 12 |
| 2.6.6. Ugovori..... | 13 |
| 2.7. Zadaci kratkoročnog planiranja | 13 |
| 2.7.1. Kratkoročno planiranje prodaje | 13 |
| 2.7.2. Dopuna skladišta, planiranje prijevoza | 13 |
| 2.7.3. Određivanje veličine i raspored strojeva..... | 14 |
| 2.7.4. Kratkoročno planiranje osoblja, naručivanje materijala | 14 |
| 3. NAPREDNO PLANIRANJE I TERMINIRANJE | 15 |
| 3.1. Uvod u napredno planiranje i terminiranje | 15 |
| 3.2. Struktura APS-a..... | 16 |
| 3.2.1. Strateško mrežno planiranje | 16 |
| 3.2.2. Planiranje potražnje | 17 |
| 3.2.3. Ispunjavanje potražnje i količine raspoložive za obećanje | 19 |
| 3.2.4. Master planiranje | 19 |
| 3.2.5. Planiranje i terminiranje proizvodnje..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 3.2.6. Nabava i planiranje zahtjeva za materijalom..... | 23 |
| 3.3. Modeli APS-a | 24 |
| 3.3.1. Matematički modeli | 25 |
| 3.3.2. Genetski algoritmi..... | 27 |
| 4. SOFTVERI ZA PLANIRANJE I PODRŠKU PROCESU PLANIRANJA I TERMINIRANJA | 30 |
| 4.1. Siemens Simatic IT Opcenter APS..... | 30 |
| 4.2. CAD/CAM grupa Delmia Ortens | 32 |
| 4.3. SAP S/4HANA..... | 33 |
| 4.4. Asprova | 36 |
| 4.5. Cybertec | 37 |
| 4.6. Simio..... | 39 |
| 5. PROCES ODABIRA | 40 |
| 6. USPOREDBA APS SUSTAVA..... | 41 |
| 7. PRISTUPI TERMINIRANJU PROIZVODNIH AKTIVNOSTI..... | 44 |
| 7.1. Statičko terminiranje..... | 44 |
| 7.2. Dinamičko terminiranje | 45 |
| 7.2.1. Precizne metode..... | 45 |
| 7.2.2. Približne metode | 45 |
| 7.2.2.1. Pravilo prioriteta | 45 |
| 7.2.2.2. Ekspertni sustav | 46 |
| 7.2.2.3. Metoda simulacije | 46 |
| 7.2.2.4. Neuronska mreža..... | 46 |
| 7.2.2.5. Genetski algoritam | 46 |
| 7.2.2.6. Algoritam optimizacije kolonije mrava..... | 47 |
| 7.2.2.7. Optimizacija roja čestica | 47 |
| 7.2.2.8. Imunološki algoritam | 47 |
| 7.2.2.9. Metoda s više agenata | 47 |
| 7.2.2.10. Mutna logika..... | 47 |
| 8. REALNI PRIMJER TVRTKA KONČAR MJERNI TRANSFORMATORI D.D. | 48 |
| 9. ZAKLJUČAK..... | 56 |

POPIS SLIKA

| | | |
|-----------|---|----|
| Slika 1. | Podjela planiranja [1] | 5 |
| Slika 2. | Matrica planiranja proizvodnog procesa [1]..... | 9 |
| Slika 3. | Ilustracija konfiguracije strateškog lanca opskrbe [6]..... | 17 |
| Slika 4. | Zadaci planiranja potražnje [7] | 18 |
| Slika 5. | Primjer lanca opskrbe [8] | 20 |
| Slika 6. | Opći postupak planiranja proizvodnje [1] | 23 |
| Slika 7. | Integracija APS-a [1]..... | 24 |
| Slika 8. | Genetski algoritam [14]..... | 28 |
| Slika 9. | Siemens Simatic IT Opcenter APS [18]..... | 30 |
| Slika 10. | Vizualizacija procesa Opcenter APS [18] | 31 |
| Slika 11. | Funkcionalnosti Delmia Ortems sustava [19]..... | 32 |
| Slika 12. | Granične zone sigurnosnih zaliha [20]..... | 35 |
| Slika 13. | Prediktivno planiranje materijala i resursa [20]..... | 36 |
| Slika 14. | Vizualizacija u softveru Asprova [21]..... | 37 |
| Slika 15. | Cybertec CyberPlan softverski paket [22]..... | 38 |
| Slika 16. | Simio softverski paket [23]..... | 39 |
| Slika 17. | Procesni tokovi izrade transformatora APU | 49 |
| Slika 18. | Osnovni plan | 50 |
| Slika 19. | Osnovni plan procesi | 51 |
| Slika 20. | Osnovni plan gantogram..... | 52 |
| Slika 21. | Plan terminiranja | 52 |
| Slika 22. | Zauzetost resursa | 53 |
| Slika 23. | Preklapanje resursa..... | 54 |
| Slika 24. | Iskorištenost resursa | 55 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Planiranje proizvodnje i sustavi kontrole proizvodnje [2] | 6 |
| Tablica 2. Usporedba APS | 42 |

POPIS KRATICA

| Kratika | Opis |
|----------------|---|
| APS | Napredno planiranje i terminiranje – <i>eng. Advance Planing and Scheduling</i> |
| ATP | Količina raspoloživa za obećanje – <i>eng. Available-to-Promise</i> |
| BOM | Koncept sastavnice – <i>eng. Bill-of-materials</i> |
| CRP | Planiranje zahtjeva za kapacitetom – <i>eng. Capacity requirements planning</i> |
| CTP | Sposobno za obećanje – <i>eng. Capable-to-promise</i> |
| DW | Skladištenje podataka – <i>eng. Data Warehouse</i> |
| EDD | Najraniji rok – <i>eng. Earliest Due Date</i> |
| EDLP | Svakodnevna strategija niske cijene – <i>eng. Every-day-low-price</i> |
| ERP | Planiranje resursa poduzeća – <i>eng. Enterprise Resource Planing</i> |
| FCFS | Prvi dolazi prvi poslužen – <i>eng. First Come First Served</i> |
| GA | Genetski algoritam – <i>eng. Genetic algorithm</i> |
| JIT | Upravo na vrijeme – <i>eng. Just-in-time</i> |
| LP | Linearno programiranje – <i>eng. Linear Programming</i> |
| LPT | Najduže vrijeme obrade – <i>eng. Longest Processing Time</i> |
| MES | Izvedbeni sustavi proizvodnje – <i>eng. Manufacturing Execution Systems</i> |
| MOM | Upravljanje proizvodnim operacijama – <i>eng. Manufacturing operation management</i> |
| MPS | Glavni raspored proizvodnje – <i>eng. Master production scheduling</i> |
| MRP | Planiranje zahtjeva za materijalom – <i>eng. Material requirements planning</i> |
| MRP II | Planiranje proizvodnih resursa – <i>eng. Manufacturing Resource Planning</i> |
| OEE | Ukupna učinkovitost opreme – <i>eng. Overall Equipment Effectiveness</i> |
| OLTP | Online obrada transakcija – <i>eng. Online Transactional Processing</i> |
| PPS | Planiranje i terminiranje proizvodnje – <i>eng. Production Planing and Scheduling</i> |
| RFID | Radiofrekventna identifikacija – <i>eng. Radio-frequency identification</i> |
| RND | Nasumice – <i>eng. Random</i> |
| SCM | Upravljanje lancem opskrbe – <i>eng. Supply Chain Management</i> |
| SPT | Najkraće vrijeme obrade – <i>eng. Shortest Processing Time</i> |
| VMI | Inventar kojim upravlja dobavljač – <i>eng. Vendor managed inventory</i> |

SAŽETAK

Napredno planiranje i terminiranje aktivnosti u proizvodnim procesima predstavljaju proširenje funkcije planiranja i terminiranja proizvodnje. Definiranjem koncepta planiranja i terminiranja daje se temelj za razumijevanje i mogućnost uspoređivanja različitih modela i pristupa naprednog planiranja i terminiranja. Dostupnost različitih komercijalnih softverskih alata za ovu primjenu predstavljaju izazov za tvrtke prilikom odabira. Izbor i implementacija odgovarajućeg softvera za tvrtku odgovoran je i dugotrajan proces zbog svoje kompleksnosti i potrebe za specijaliziranim funkcijskim zahtjevima. Prikazom i usporedbom nekih od rješenja i modela dan je smjer mogućeg izbora nekog softvera dostupnog na tržištu. Za specifične proizvodne procese ponekad je potrebno naručiti posebno izrađen softver prilagođen zahtjevu naručitelja.

Ključne riječi: napredno planiranje i terminiranje, planiranje, terminiranje

SUMMARY

Advanced planning and scheduling of activities in production processes represent an extension of the function of production planning and scheduling. Defining planning and scheduling concepts makes it easier to compare different models and approaches of advanced planning and scheduling. The availability of different commercial software tools presents a challenge for companies when choosing the appropriate software. The selection and implementation of appropriate software for a company is a responsible and time-consuming process. The reason for this is the need for specialized functional requirements. Comparing some of the solutions and models makes easier for companies to choose some software available on the market. Companies with a specific production process sometimes have to order specialized planning software.

Keywords: advanced planning and scheduling, planning, scheduling

1. UVOD

U lancu opskrbe stotine i tisuće pojedinačnih odluka moraju se donijeti i koordinirati svake minute. Odluke su različite važnosti, a što je odluka važnija, to se mora bolje proces pripremiti. Priprema procesa je posao planiranja. Planiranje podržava donošenje odluka, identificiranjem alternativa budućih aktivnosti i odabirom nekih dobrih ili čak najboljih odluka. Planiranje se može podijeliti u faze: prepoznavanje i analiza problema odlučivanja, definiranje ciljeva, predviđanje budućeg razvoja, identifikaciju i evaluaciju izvedivih aktivnosti i na kraju odabir dobrih rješenja. Lanci opskrbe su vrlo složeni te se ne mogu uvijek poštivati svi detalji koji se moraju rješavati u stvarnosti tijekom procesa planiranja. Stoga je uvijek potrebno upotrijebiti pojednostavljenu kopiju stvarnosti, takozvani model, kao osnovu za uspostavu plana. Umjetnost izgradnje modela je prikazati stvarnost što je moguće jednostavnije, ali što je moguće detaljnije, ne zanemarujući nikakva ozbiljna ograničenja u stvarnom svijetu [1].

Modeli predviđanja i simulacije pokušavaju predvidjeti budući razvoj i objasniti odnose između ulaza i izlaza u složenim sustavima. Međutim, oni ne podržavaju odabir jednog ili nekoliko rješenja koja su dobra u smislu unaprijed definiranih kriterija iz velikog niza izvedivih aktivnosti. To je svrha optimizacijskih modela koji se od prethodnih razlikuju po dodatnoj ciljnoj funkciji koju treba minimizirati ili maksimizirati. Planovi se ne prave za vječnost. Valjanost plana ograničena je na unaprijed definirani period planiranja. Kad se dosegne period planiranja mora se napraviti novi plan koji odražava trenutno stanje [1].

Klasični PPS sustavi *eng. Production Planning and Scheduling*, sustavi za planiranje i terminiranje proizvodnje, temelje se na MRP konceptu *eng. Material requirements planning*, konceptu planiranja zahtjeva za materijalom. Sastavni dijelovi koncepta, također poznati kao MRP I, su moduli za planiranje proizvodnog programa, planiranje količine, planiranje zahtjeva za materijalom na temelju popisa dijelova i u nekim slučajevima od modula za količinu narudžbi i planiranje veličine serije. Međutim, datumi i kapaciteti se ne uzimaju u obzir u ovom konceptu, pa se planirani proizvodni program često ne može provesti. Kao rezultat toga, razvijen je MRP II, *eng. Manufacturing Resource Planning*, sustav za planiranje proizvodnih resursa, koji za razliku od MRP I, uključuje ograničenja kapaciteta i slijedi hijerarhijski koncept planiranja. Sve veća globalizacija tržišta i rezultirajuća povećana

konkurencija zahtijevaju optimizaciju cjelokupnog logističkog lanca. Implementacija se danas odvija putem SCM sustava, eng. *Supply Chain Management*, sustava upravljanja lancem opskrbe koji se temelje na ERP sustavima, eng. *Enterprise Resource Planing*, sustavima za planiranje resursa poduzeća [2].

Trajno korištenje kapaciteta kao glavni cilj zamijenjen je drugim ciljevima, stalnim fokusom na tržište, visokom točnosti poštivanja rokova, kratkim rokovima isporuke, malim zalihama na skladištu, velikom dostupnošću proizvoda i usluga, brzom isporukom informacija. Kao odgovor na promjenu ciljeva, razvijeni su sustavi planiranja i kontrole proizvodnje kako bi se nosili s trendovima i promjenjivim uvjetima novih ciljeva. APS sustavi, eng. *Advance Planing and Scheduling*, sustavi za napredno planiranje i terminiranje softverski su paketi koji podržavaju integrirano projektiranje i provedbu operativnog planiranja, kontrolu proizvodnje i s tim povezano upravljanje podacima. Ciljevi planiranja proizvodnje i kontrole proizlaze iz ciljeva tvrtke. Cilj je postići sljedeće: visoko poštivanje rokova, veliku i ravnomjernu iskorištenost kapaciteta, kratko vrijeme isporuke, niske zalihe skladišta i radionica, fleksibilnost proizvodnje, optimalne veličine proizvodnje [2].

Općenito, APS sustavi koriste se zajedno s ERP sustavima, bilo kao dodaci ili kao izravne integralne komponente ERP sustava, stvarajući mehanizam podrške za planiranje i donošenje odluka. APS sustav definiran je kao, tehnike koje se bave analizom i planiranjem ili logistikom i proizvodnjom tijekom kratkih, srednjih i dugoročnih vremenskih razdoblja. APS sustav opisuje svaki računalni program koji koristi napredne matematičke algoritme i / ili logiku za izvođenje optimizacije ili simulacije planiranja konačnih kapaciteta, nabave izvora, planiranja kapitala, planiranja resursa, predviđanja, upravljanja potražnjom i drugih karakteristika. Ove tehnike istodobno uzimaju u obzir niz ograničenja i poslovnih pravila kako bi osigurale planiranje i terminiranje u stvarnom vremenu, podršku u odlučivanju, mogućnosti koje su dostupne za ispunjenje i mogućnosti koje se mogu u tom trenutku ispuniti. APS često generira i procjenjuje više scenarija [3].

Ovaj tehnološki napredak omogućio je brze cikluse planiranja i omogućio je elegantna grafička rješenja vizualizacije. Softverske tvrtke u nastajanju koristile su te ideje u kombinaciji s napretkom tehnologije za stvaranje softvera koji su se pozabavila poznatim nedostacima MRP -a, dok su sebi stvorili značajan udio na tržištu [4].

2. PLANIRANJE I TERMINIRANJE AKTIVNOSTI

2.1. Uvod

Najjednostavniji način planiranja je promatrati alternative, uspoređivati ih s obzirom na zadane kriterije i odabrati najbolju alternativu. Nažalost, ovaj jednostavan postupak u većini slučajeva nailazi na tri velike poteškoće. Prvo, često postoji nekoliko kriterija koji podrazumijevaju suprotstavljene ciljeve i dvosmislene preferencije između alternativa. Uobičajen način rješavanja ovog problema s više ciljeva odlučivanja je postavljanje minimalne ili maksimalne razine zadovoljstva za svaki cilj, osim za onaj koji će biti optimiziran. Još jedan koristan način rješavanja višestrukih ciljeva sastoji se od određivanja cijene svih ciljeva u novcu prema prihodima ili troškovima i maksimiziranju rezultirajuće granične dobiti. Međutim, ne može se svaki cilj izraziti u novčanim vrijednostima. Općenitiji način i jedno od rješenja je definirati vrijednosne ljestvice ili ocjene za svaki cilj i objediniti ih u ponderirani zbroj. Drugu poteškoću uzrokuje ogroman broj alternativa koje prevladavaju u planiranju proizvodnje. U slučaju kontinuiranih varijabli odlučivanja, kao što su veličine narudžbi ili vremena početka rada, skup alternativa je zapravo beskonačan, ali i za diskretne odluke, kao što je raspored više poslova na stroju, broj alternativa može biti kombinatorno velik. U tim je slučajevima nemoguće pronaći optimalno rješenje nabranjem svih alternativa, pa čak i izvedivo rješenje može biti teško pronaći. U ovoj situaciji, matematičke metode operacijskih istraživanja trebale bi podržati proces planiranja. Neke metode mogu odrediti točno optimalno rješenje, kao što je linearno programiranje ili algoritmi mrežnog toka, ali za većinu kombinatornih problema heuristički se mogu izračunati samo gotovo optimalna rješenja. Uspjeh ovih metoda također ovisi o načinu na koji je problem modeliran. Treća i vjerojatno najteža poteškoća odnosi se na nesigurnost. Planiranje predviđa buduće aktivnosti i temelji se na podacima o budućem razvoju. Podaci se mogu procijeniti modelima prognoze, ali će postojati manje ili više važna pogreška prognoze. Ova pogreška smanjuje dostupnost proizvoda i stoga smanjuje korisničku uslugu koju tvrtka nudi. Za poboljšanje usluge mogu se koristiti sigurnosne zalihe koje ublažavaju zahtjeve koji premašuju prognozu. Međutim, to nije jedini način rješavanja neizvjesnosti. Gotovo uvijek će stvarnost odstupati od plana. Odstupanje se mora kontrolirati i plan treba revidirati ako je odstupanje preveliko. Koncept tradicionalnog planiranja materijalnih zahtjeva koji je implementiran u gotovo sve ERP sustave ograničen je na proizvodnju i područje nabave, a ne optimizira i u većini

slučajeva čak ni ne razmatra ciljnu funkciju [1]. Trajna iskorištenost kapaciteta kao glavni cilj zamijenjena je drugim ciljevima, kao što su stalna usmjerenost na tržište, visoko poštivanje rokova, kratko vrijeme isporuke, male skladišne i radioničke zalihe, visoka spremnost za isporuku, brza dostava informacija. Kao odgovor na promjenu ciljeva, razvijeni su sustavi planiranja i kontrole proizvodnje kako bi se mogli nositi s promjenjivim uvjetima. Ciljevi planiranja i kontrole proizvodnje proizlaze iz ciljeva poduzeća [2].

2.2. Podjela

Prema duljini perioda planiranja i važnosti odluka koje treba donijeti, planski zadaci obično se klasificiraju na tri različite razine planiranja, prikazano [Slika 1]. Podjela je izvršena na dugoročno planiranje, odluke ove razine nazivaju se strateškim odlukama i trebale bi stvoriti preduvjete za razvoj poduzeća ili lanca opskrbe u budućnosti. Obično se tiču dizajna i strukture opskrbnog lanca i imaju dugoročne učinke, vidljive tijekom nekoliko godina. Srednjoročno planiranje, dijelom spada u okviru strateških odluka. Srednjoročno planiranje određuje pregled redovnih operacija, osobito grube količine i vrijeme za tokove i resurse u danom opskrbnom lancu. Period planiranja kreće se od šest do dvadeset četiri mjeseca, što omogućuje razmatranje sezonskih kretanja potražnje. Kratkoročno planiranje je najniža razina planiranja i ono mora specificirati sve aktivnosti i dati detaljne upute za trenutno izvršenje i kontrolu. Stoga modeli kratkoročnog planiranja zahtijevaju najviši stupanj detalja i točnosti. Period planiranja je između nekoliko dana i tri mjeseca. Kratkoročno planiranje ograničeno je odlukama o strukturi i količinskom opsegu s viših razina. Ipak, to je važan čimbenik za stvarni učinak planiranja proizvodnog procesa u vezi s rokovima, kašnjenjima, korisničkom uslugom i drugim strateškim pitanjima [1].



Slika 1. Podjela planiranja [1]

Osnova svakog planiranja proizvodnog procesa je planiranje proizvodnog programa koje treba provoditi u bliskoj suradnji s odjelom prodaje. Proizvodi koji se trebaju izraditi stoga moraju biti specificirani prema vrsti, količini i datumu. Sukobi ciljeva u planiranju programa proizlaze iz sukobljenih zahtjeva za kratkim rokovima isporuke, uz visoku pouzdanost isporuke i visoku konstantnu iskorištenost kapaciteta u isto vrijeme. Kvaliteta planiranja proizvodnog programa presudna je za učinkovitost cjelokupnog sustava. Često se postiže potreban kapacitet, ali je potražnja precijenjena. Stoga su razvijeni procesi za preciznije planiranje prodaje. Počevši od primarnog zahtjeva, zahtjev za kapacitetom i zahtjev za dijelovima. Ti zahtjevi izračunavaju se na temelju prethodno izrađenih popisa dijelova i planova rada, prikaz [Tablica 1], dok potražnja za proizvodima nabavljenim izvana također proizlazi iz podataka o potražnji [2].

Tablica 1. Planiranje proizvodnje i sustavi kontrole proizvodnje [2]

| | | Glavna funkcija | Djelomična funkcija | Planirani period |
|------------------------|------------------------------|---|--|------------------|
| Planiranje proizvodnje | Osnovno upravljanje podacima | Raspored proizvodnje (Planiranje primarnog zahtjeva pomoću određivanja količina koje će se proizvesti u idućem razdoblju.) | Prognoza Grubo planiranje Upravljanje prodajnim nalogima | 3-12 mjeseci |
| | | Planiranje količine (Određivanje sekundarnih zahtjeva) | Upravljanje zalihama Usklađivanje zaliha Planiranje usmjereno na potrošnju | 3-12 mjeseci |
| | | Raspored i planiranje kapaciteta (Određivanje datuma početka i završetka za radne operacije) | Zakazivanje vremena isporuke Planiranje kapaciteta Raspored kapaciteta | 1-3 mjeseca |
| Kontrola proizvodnje | | Pokretanje narudžbe | Provjera dostupnosti Odobrenje narudžbe Faktura o zauzetosti | 1-2 tjedna |
| | Nadzor kapaciteta i narudžbe | Narudžbe za proizvodnju | | |

Ulazni podaci za planiranje mogu biti prethodne narudžbe i narudžbe iz prethodne godine, pri čemu se narudžbe dijele prema vanjskim kupcima i internim narudžbama. Također jedan od ulaznih podzadataka može biti ankete ispunjene od strane kupaca i ponašanje kupaca na testnim tržištima. Neizostavan dio planiranje je ekonomska situacija ili poslovni ciklus, procjene ili prognoze, oglašavanje i sniženje cijena. Ekstrapolacija prošlih vrijednosti korištenjem metoda matematičkog predviđanja daju daljnje odrednice za: tehnologiju

proizvodnje, kapacitet proizvodnje, dostupnost dijelova, obuka zaposlenika i predvidive zahtjeve kupaca [2].

2.3. Scenariji procesa proizvodnje

Osim klasičnih principa proizvodnje koji određuju strukturu proizvodnje, proizvodnja se može podijeliti na različite scenarije proizvodnog procesa. Različiti scenariji klasificiraju proizvodni proces unutar planiranja proizvodnog sustava i tako određuju u kojoj je mjeri proizvodni sustav ili proizvodna logistika organizirana i planirana [2].

2.3.1. Planiranje proizvodnja po narudžbi kupaca

Za proizvodnju po narudžbi kupca karakteristično je da se proizvodni proces pokreće tek nakon početka procesa obrade narudžbe, odnosno kupac pokreće narudžbu. Specifični zahtjevi poznati su samo na početku proizvodnog procesa i ne postoji sveobuhvatno planiranje proizvodnog procesa. Proizvodnja se planira individualno za svaku narudžbu kupca. Ovaj scenarij se obično koristi za vrlo složene gotove proizvode koji moraju zadovoljiti vrlo visoke i specifične zahtjeve kupaca. Najčešća je pojedinačna proizvodnja, a samo ponekad obuhvaća serijsku proizvodnju. Tipičan problem je održavanje kratkih rokova isporuke. Primjeri proizvodnje po mjeri su: namještaj koji se izrađuje po mjeri, specijalizirani strojevi ili brodogradnja [2].

2.3.2. Planiranje proizvodnje temeljene na zalihama

Planiranje proizvodnje je od posebne važnosti u scenariju planiranja proizvodnje temeljene na zalihama, budući da se na temelju prethodno predviđene tržišne potražnje, proizvode proizvodi za zalihe. Proces obrade narudžba je u ovom slučaju nizvodno od procesa proizvodnje, traženi proizvod je u skladištu i može se odmah isporučiti. Ovaj se scenarij obično koristi u industrijama u kojima se isti proizvod uvijek iznova prodaje mnogim kupcima, a vrijeme obrade narudžbi kupaca je vrlo kratko kao što je masovna proizvodnja i djelomična proizvodnja različitih vrsta. Planiranje treba osigurati da specifični zahtjevi kupaca, koji se mogu vidjeti iz postojećih narudžbi kupaca, nikada ne prelaze projekcije. Stoga postoji kompromis između dobre pouzdanosti isporuke i malih zaliha. Primjeri proizvodnje na zalihama su potrošačka elektronika i knjižare [2].

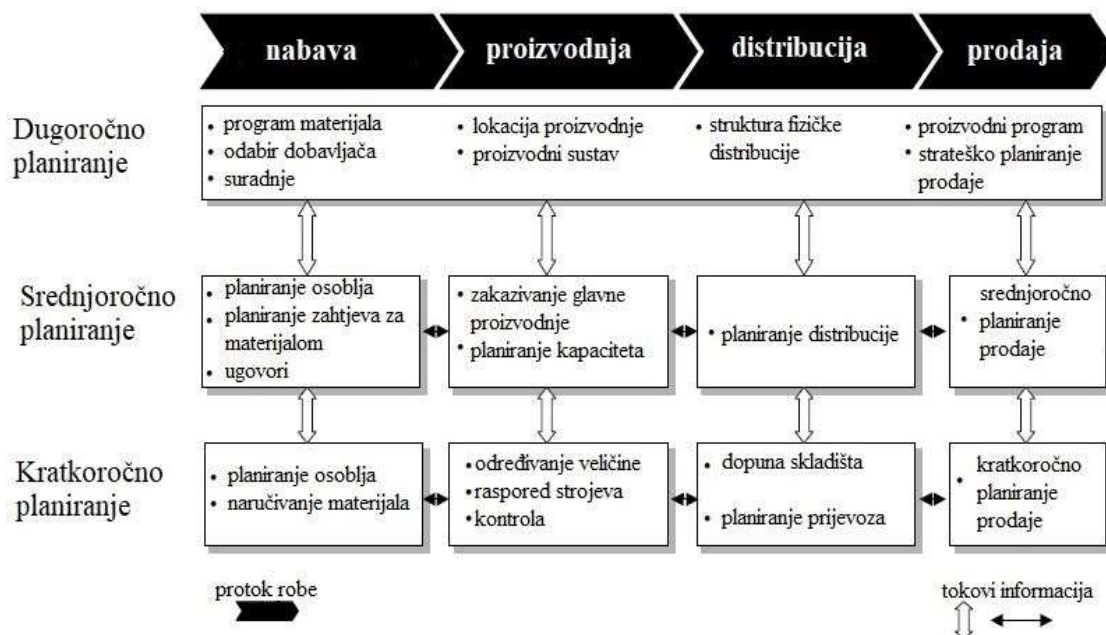
2.3.3. Planiranje montaže po narudžbi

Montaža po narudžbi koristi se u proizvodnji proizvoda koji sadrže standardizirane komponente, a proizvod se izrađuju po narudžbi. Predstavlja hibridni oblik planiranja proizvodnje po narudžbi kupca i planiranja proizvodnje za zalihe. Završetak proizvodnje kao što je montaža proizvoda odvija se tek na početku procesa obrade narudžbe od kupca. Procesi prije dovršetka krajnjeg proizvoda pokreću se na temelju predviđanja, dobiveni pojedinačni dijelovi se drže na zalihama i uklanjaju nakon zaprimanja narudžbe kupca. Ova metoda se koristi u industrijama koje imaju karakteristike serijske proizvodnje. Prednost ovog scenarija je u tome što se rokovi isporuke i isporuke mogu iznimno skratiti. Primjeri montaže po narudžbi su uslužna proizvodnja i komponente za automobilsku industriju [2].

2.4. Matrica planiranja proizvodnog procesa

Matrica planiranja proizvodnog procesa klasificira zadatke planiranja u dvije dimenzije: period planiranja i proizvodni proces. [Slika 2] prikazuje tipične zadatke koji se javljaju u većini vrsta proizvodnih procesa, ali s različitim sadržajima u pojedinim poduzećima. Na slici dugoročni zadaci prikazani su u jednom okviru kako bi se ilustrirao sveobuhvatan karakter strateškog planiranja. Ostali okviri predstavljaju unose matrice, ali ne odgovaraju točno modulima planiranja. Na kratkoročnoj razini, zadaci planiranja mogu se raščlaniti prema daljnjim dimenzijama poput tvorničkih mjesta ili grupi proizvoda koji kombiniraju zadatke nekoliko područja. Moduli planiranja u matrici planiranja proizvodnog procesa moraju biti povezani tokovima informacija. Glavni horizontalni tokovi idu prema gore, a sastoje se od narudžbi kupaca, predviđanja prodaje, internih narudžbi za popunu skladišta i proizvodnje u različitim odjelima, kao i od narudžbi za kupnju upućenim prema dobavljačima. Tako cijeli proizvodni proces pokreću kupci. Međutim, razmjena dodatnih informacija je u oba smjera, a ne samo između susjednih modula, a to može značajno poboljšati performanse. Posebno odnosi na stvarne zalihe, raspoloživo vrijeme isporuke kapaciteta i podatke o prodajnim mjestima. Tokovi prema dolje koordiniraju podređene planove pomoću rezultata plana više razine. Tipične informacije su skupne količine, dodijeljene proizvodnim mjestima, odjelima ili procesima. Vremenski raspored količina bolje je izražen u obliku projiciranih konačnih zaliha na kraju perioda planiranja donje razine jer to uključuje informacije o dužem periodu planiranja na gornjoj razini i pruža veću fleksibilnost na nižoj razini. Koordinacija se također

ostvaruje dodjelom kapaciteta i određivanjem rokova dospijea. Uzlazni tokovi pružaju gornjoj razini detaljnije podatke o izvedbi, kao što su stvarni troškovi, stope proizvodnje, iskorištenost opreme i rokovi isporuke. Ove informacije se mogu koristiti u planiranju na gornjoj razini za predviđanje posljedica za detaljnije procese na nižoj razini [1].



Slika 2. Matrica planiranja proizvodnog procesa [1]

2.5. Zadaci dugoročnog planiranja

2.5.1. Proizvodni program i strateško planiranje prodaje

Odluka o proizvodnom programu koji tvrtka želi ponuditi treba se temeljiti na dugoročnoj prognozi koja pokazuje moguću prodaju cijelog asortimana proizvoda. Takva prognoza uključuje ovisnosti između postojećih proizvodnih linija i budućeg razvoja proizvoda te potencijal novih prodajnih regija. Često je potrebno kreirati različite scenarije ovisno o odluci o proizvodnom programu. Dugoročne prognoze uzimaju u obzir informacije o životnim ciklusima proizvoda, ekonomskim, političkim i konkurentskim čimbenicima. Budući da nije moguće procijeniti brojeke dugotrajne prodaje za svaki artikl, proizvode je potrebno podijeliti u skupine artikala koji dijele zajedničke karakteristike prodaje i proizvodnje [5].

2.5.2. Struktura fizičke distribucije

Sve više se povećava udaljenost između proizvodnog pogona i kupaca, te troškovi distribucije rastu. Takvi trendovi i promjenjivo okruženje zahtijevaju reorganizaciju distribucijskog sustava. Fizička struktura obuhvaća broj i veličinu skladišta i pristajališta uključujući potrebne transportne veze. Tipični ulazni podaci za tu odluku su: program proizvoda, predviđanje prodaje, planirani proizvodni kapacitet u svakom pogonu i temeljna struktura troškova. Cilj je minimizirati dugoročne troškove transporta, zaliha, rukovanja i ulaganja u imovinu kao što su skladišta i manipulativni objekti. Pitanje obavljaju li se prijevozi vlastitim voznim parkom ili trećim prijevoznikom usko je vezano uz odluku o fizičkom distribucijskom sustavu. Iz tog razloga, dvije vrste odluka trebale bi biti integrirane u jedan model [5].

2.5.3. Lokacija pogona i proizvodnih sustava

Dugoročne promjene u programima proizvoda ili brojkama prodaje zahtijevaju reviziju postojećih proizvodnih kapaciteta i lokacija. Nadalje, kontinuirano unapređenje proizvodnih tehnologija dovodi do novih preduvjeta. Stoga je potrebno provjeriti sustave proizvodnje i odlučivanja. Obično se odluke o lokaciji pogona i distribucijskoj strukturi donose zajedno. Temelje se na dugoročnim prognozama i raspoloživim proizvodnim kapacitetima bez razmatranja pojedinačnih strojeva. Planiranje proizvodnog sustava znači organiziranje jednog proizvodnog pogona, projektiranje rasporeda postrojenja i rezultirajućih tokova materijala između strojeva [5].

2.5.4. Program materijala i izbor dobavljača

Program materijala često je izravno povezan s programom proizvoda jer se konačni proizvodi sastoje od nekih unaprijed definiranih komponenti i sirovina. Ponekad se različiti materijali mogu koristiti alternativno za istu svrhu. Za odabir jednog od njih za program materijala potrebno je uzeti u obzir cijenu, uključujući moguće količinske popuste, kvalitetu i dostupnost. Stoga dobavljače treba ocjenjivati prema kvaliteti, uslugama i troškovima nabave [5].

2.5.5. *Suradnje*

Daljnje smanjenje troškova nabave često se postiže strateškom suradnjom s dobavljačima materijala. Planiranje i evaluacija koncepata suradnje dobivaju na važnosti jer se više ne natječu tvrtke već cijeli lanci opskrbe jedni protiv drugih. Ovi koncepti uključuju istovremeno smanjenje zaliha i zaostalih narudžbi pomoću ideja kao što su VMI eng. *Vendor managed inventory* ideja inventar kojim upravlja dobavljač, EDLP eng. *Every-day-low-price* ideja svakodnevne strategija niske cijene i JIT eng. *Just-in-time* ideje opskrbe upravo na vrijeme. Dok se gore navedeni koncepti suradnje odnose na današnje operacije, centri za simultano inženjerstvo i konsolidaciju postavljaju strateške okvire za svakodnevne procese nabave [5].

2.6. *Zadaci srednjoročnog planiranja*

2.6.1. *Srednjoročno planiranje prodaje*

Glavni zadatak u srednjoročnom planiranju prodaje je predviđanje potencijalne prodaje za grupe proizvoda u određenim regijama. Budući da su predviđanja ulazne informacije u glavni raspored proizvodnje, proizvodi se grupiraju prema njihovim proizvodnim karakteristikama. Prognoza se obično izračunava na tjednoj ili mjesečnoj bazi za jednu godinu ili manje. Uključuje učinke srednjoročnih marketinških događanja i promocija vezanih uz prodaju. Potrebne sigurnosne zalihe za gotove proizvode uglavnom su određene kvalitetom prognoze. Stoga ih je razumno postaviti na temelju pogreške prognoze koja se mora izračunati u postupku predviđanja [5].

2.6.2. *Planiranje distribucije*

Srednjoročno planiranje distribucije uključuje planiranje transporta između skladišta i određivanje potrebnih razina zaliha. Izvediv plan ispunjava procijenjenu potražnju i uzima u obzir raspoložive transportne i skladišne kapacitete uz minimiziranje relevantnih troškova. Troškovi držanja zaliha i transporta elementi su ciljne funkcije. Period planiranja sastoji se od tjednih ili mjesečnih skupina. Stoga temeljni model uzima u obzir samo raspoloživi kapacitet kamiona, a ne pojedinačne kamione. U plan distribucije također se može navesti korištenje vlastite flote i potrebni kapacitet koji se mora zakupiti od treće strane prijevoznika [5].

2.6.3. Zakazivanje glavne proizvodnje i planiranje kapaciteta

Rezultat ovog zadatka planiranja pokazuje kako iskoristiti raspoloživi proizvodni kapacitet jednog ili više objekata na troškovno učinkovit način. Glavni raspored proizvodnje, MPS eng. *Master production scheduling*, mora se nositi sa sezonskim fluktuacijama potražnje i izračunati okvir za potrebne količine prekovremenog rada. Budući da se plan temelji na grupi proizvoda i tjednim ili mjesečnim vremenskim segmentima, ne uzima u obzir pojedinačne proizvodne procese. Cilj je uravnotežiti trošak kapaciteta s troškom sezonskih zaliha. Ako se razmatra više od jednog proizvodnog pogona troškovi prijevoza između lokacija moraju biti uključeni u funkciju cilja [5].

2.6.4. Planiranje osoblja

Planiranje kapaciteta daje grubi pregled potrebnog radnog vremena za gotove proizvode. Planiranje osoblja mora izračunati ljudski kapacitet za izradu komponenata i druge faze proizvodnje koje se moraju proći prije završne montaže proizvoda. Ovaj korak planiranja uzima u obzir specifična znanja grupa osoblja i njihovu dostupnost prema ugovorima o radu. Ako nema dovoljno zaposlenika za ispunjavanje radnog opterećenja, planiranje osoba pokazuje potrebnu količinu dodatnih zaposlenika s nepunim radnim vremenom [5].

2.6.5. Planiranje zahtjeva za materijalom

Kako MPS planira samo gotove proizvode i kritične materijale. Koncentraciju na uska grla i planiranje potreba za materijalom preuzima MRP koji mora izračunati proizvodnju i količine narudžbe za sve preostale artikle. To bi se moglo učiniti tradicionalnim MRP konceptom koji je dostupan u većini ERP-sustava ili stohastičkim sustavima kontrole zaliha. Dok je MRS koncept prikladan za prilično važne materijale i komponente. Izračun zahtjeva za materijalom trebao bi podržati odluke o veličini serije za svaku stavku u opisu materijala, BOM eng. *Bill-of-materials* i uzeti u obzir ovisnosti između serija na različitim razinama sastavnice. Srednjoročno planiranje postavlja okvire za tjedne ili mjesečne količine narudžbe i okvir sigurnosnih zaliha koje osiguravaju željenu razinu proizvodnje [5].

2.6.6. Ugovori

Na temelju tjednih ili mjesečnih zahtjeva dobivenih od MRP-a, mogu se sklopiti osnovni ugovori s dobavljačima. Takvi ugovori određuju cijenu, ukupni iznos i druge uvjete za isporuku materijala tijekom sljedećeg razdoblja planiranja [5].

2.7. Zadaci kratkoročnog planiranja

2.7.1. Kratkoročno planiranje prodaje

U okruženjima od proizvodnje do zaliha, kratkoročno planiranje uključuje ispunjavanje narudžbi kupaca iz zaliha. Stoga se zalihe na raspolaganju mogu podijeliti na predane zalihe i količinu raspoloživu za obećanje, ATP *eng. Available-to-Promise*. Ako kupac zatraži proizvod, prodavač provjerava može li se količina ispuniti iz ATP-a i pretvara traženi iznos u zalihe. Za upite kupaca o dostupnosti proizvoda u budućim razdobljima, količina ATP-a se izračunava zbrajanjem raspoloživih zaliha i planiranih količina proizvodnje. Opisana funkcionalnost sposobnosti za obećanje, CTP *eng. Capable-to-promise*, proširenje je tradicionalnog ATP zadatka, koja ima dodatnu mogućnost stvaranja novih proizvodnih narudžbi [5].

2.7.2. Dopuna skladišta, planiranje prijevoza

Dok srednjoročno planiranje distribucije predlaže tjedne ili mjesečne transportne količine za grupe proizvoda, kratkoročno nadopunjavanje skladišta planiranje specificira u dnevnim količinama za pojedinačne proizvode. Ovaj vremenski period implementacije uzima u obzir detaljne transportne kapacitete i stvarne narudžbe kupaca ili kratkoročne prognoze. Planirane ili stvarne količine proizvodnje postavljaju okvir za plan transporta i također ograničavaju mogući stupanj usluge za korisnike. Svaki dan planirana isporuka mora biti raspoređeni na lokacije kupaca u skladu s rutom koja minimizira troškove. Prijevozi se odvijaju ne samo u procesu distribucije, već i u sklopu nabave i mogu biti kontrolirani od strane dobavljača ili primatelja. U takvom slučaju, planiranje transporta je potrebno je i na strani nabave, a transportni procesi moraju se uzeti u obzir i na srednjoročnoj i dugoročnoj razini planiranja nabave [5].

2.7.3. Određivanje veličine i raspored strojeva

Kratkoročno planiranje proizvodnje uključuje određivanje veličina serija i redoslijeda serija na strojevima. Dimenzioniranje serije mora uravnotežiti troškove izmjene i držanja zaliha s obzirom na ovisnosti između različitih proizvoda. Te su serije raspoređene prema datumima dolaska i raspoloživom kapacitetu s preciznošću do minute. Oba zadatka mogu se samostalno izvršiti ako promjene ne ovise o slijedu proizvoda. Budući da su prekidi ili kašnjenja uobičajeni u složenim proizvodnim okruženjima, plan se mora aktivno kontrolirati i narudžbe se moraju odgovarajuće rasporediti [5].

2.7.4. Kratkoročno planiranje osoblja, naručivanje materijala

Kratkoročni plan proizvodnje određuje odgovarajuće zadatke osoblja u tvornici s obzirom na njihova znanja i sposobnosti. Kratkoročnim ljudskim planiranjem utvrđuje se detaljan raspored osoblja s obzirom na ugovore o radu i troškove rada. Budući da je određena količina materijala preuzeta iz srednjoročnog planiranja, kratkoročnom planiranju osoblja, i naručivanja materijala ostaje kratkoročni zadatak ispunjavanja obveza na isplativ način [5].

3. NAPREDNO PLANIRANJE I TERMINIRANJE

3.1. Uvod u napredno planiranje i terminiranje

APS eng. *Advance Planing and Scheduling*, je skup tehnologija, poslovnih procesa i metrika učinka koji omogućuju proizvodnim tvrtkama da se učinkovitije natječu na globalnom tržištu. Uključene tehnologije su računalni softver i hardver koji omogućuju organizaciji da promijeni način na koji planira, predviđa, distribuira proizvode i komunicira s kupcima i dobavljačima. Obuhvaća tehnike koje se bave analizom i planiranjem ili logistikom i proizvodnjom, u kratkim, srednjim i dugoročnim vremenskim razdobljima. APS sustav opisuje svaki računalni program koji koristi napredne matematičke algoritme ili logiku za izvođenje optimizacije ili simulacije planiranja konačnih kapaciteta, nabave izvora, planiranja kapitala, planiranja resursa, predviđanja i upravljanja potražnjom. Ove tehnike istovremeno uzimaju u obzir niz ograničenja i poslovnih pravila kako bi osigurale planiranje i terminiranje u stvarnom vremenu, podršku odlučivanju, mogućnosti koje su dostupne za obećanje i sposobnosti koje se mogu obećati. APS često generira i procjenjuje više scenarija. Zatim se odabire jedan scenarij koji će se koristiti kao službeni, osnovni plan. Pet glavnih komponenti APS sustava su: planiranje potražnje, planiranje proizvodnje, terminiranje proizvodnje, planiranje distribucije i planiranje transporta. APS sustav je softverski sustav dizajniran za integraciju s ERP i MRP sustavima kako bi se poboljšalo planiranje i terminiranje proizvodnje [3].

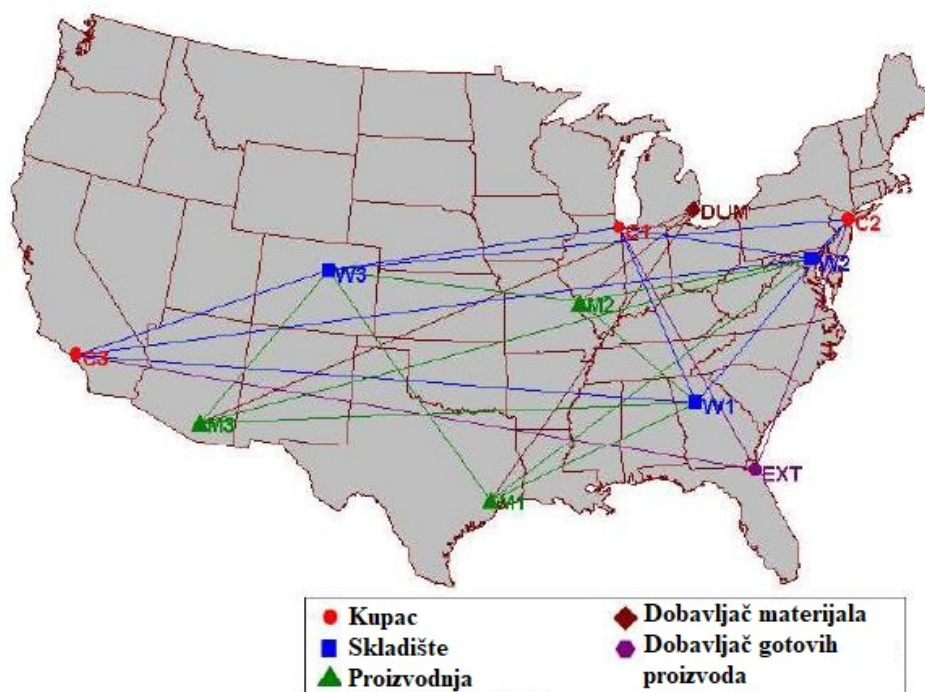
Učinkovitiji način ažuriranja planova je planiranje na temelju događaja. Novi plan se ne izrađuje u redovitim intervalima, već u slučaju važnog događaja, kao što je neočekivana prodaja, velike promjene u narudžbama kupaca, kvar na stroju i slično. Ovaj postupak zahtijeva da se svi podaci koji su potrebni za planiranje, kao što su zalihe, izvršenost radova i ostalo, kontinuirano ažuriraju tako da su dostupni u bilo kojem proizvoljnom vremenu. To je slučaj s APS-om koji se temelji na podacima iz sustava za planiranje resursa poduzeća. Postoje tri glavne karakteristike APS-a. Planiranje cjelokupnog opskrbnog lanca, od dobavljača do kupaca jednog poduzeća, ili čak opsežnije mreže poduzeća. Optimizacija pravilnim definiranjem alternativa, ciljeva i ograničenja za različite probleme planiranja korištenjem metoda optimizacije planiranja, bilo točnih ili heurističkih. Hijerarhijski sustav planiranja jedini je okvir koji dopušta kombinaciju dva prethodna svojstva. Optimalno planiranje cijelog lanca opskrbe nije moguće u obliku sustava koji istovremeno izvršava sve

zadatke planiranja. Hijerarhijsko planiranje kompromis je između izvedivosti i razmatranja međuovisnosti između zadataka planiranja. Glavna ideja hijerarhijskog planiranja je rastaviti cjelokupni zadatak planiranja na module planiranja, kao što su djelomični planovi, dodijeljeni različitim razinama gdje svaka razina pokriva cijeli opskrbni lanac, ali se zadaci razlikuju od razine do razine. Na najvišoj razini, postoji samo jedan modul, razvoj dugoročnog, ali vrlo grubog plana za cijelo poduzeće. Što su razine niže, to su dijelovi lanca opskrbe obuhvaćeni jednim planom s više ograničenja, period planiranja je kraći, a plan detaljniji. Planovi za različite dijelove opskrbnog lanca na jednoj razini koordinirani su opsežnijim planom na sljedećoj razini u hijerarhijskoj strukturi. APS pokušava digitalizirati planiranje. Tri velike prednosti koje donosi APS sustavi su: vizualiziranje informacija, skraćivanje vremena planiranja i mogućnost za laku primjenu metoda optimizacije. Međutim, ljudsko znanje, iskustvo i vještina još uvijek su potrebni da bi se smanjile razlike između modela i stvarnosti. Sustavi planiranja, bez obzira koliko napredni bili, ostaju sustavi podrške odlučivanju, odnosno podržavaju i pomažu planerima u donošenju odluka. Također, u planiranju vođenom događajima obično je radnik taj koji odlučuje hoće li se plan revidirati. Konačno, svaki modul planiranja zahtijeva radnika koji je odgovoran za njegovu funkciju, podatke i rezultate [1].

3.2. Struktura APS-a

3.2.1. Strateško mrežno planiranje

Strateško mrežno planiranje pokriva sva četiri dijela dugoročnog planiranja, posebno zadatke lokacije pogona i dizajn fizičke distribucijske strukture. Unutar planiranja mogu se razmotriti i neka pitanja koja se nameću u strateškom planiranju prodaje kao što je pitanje, koje proizvode plasirati na određena tržišta. U osnovi se utvrđuje dizajn opskrbnog lanca i tokovi elementarnih materijala između dobavljača i kupaca. Glavni objekti u projektu strateškog dizajna mrežnog planiranja odnosi se na različite zemlje, razdoblja planiranja, proizvode, kupce, dobavljače i dobavljače, proizvodne i distribucijske objekte te transportna sredstva [Slika 3] [6].



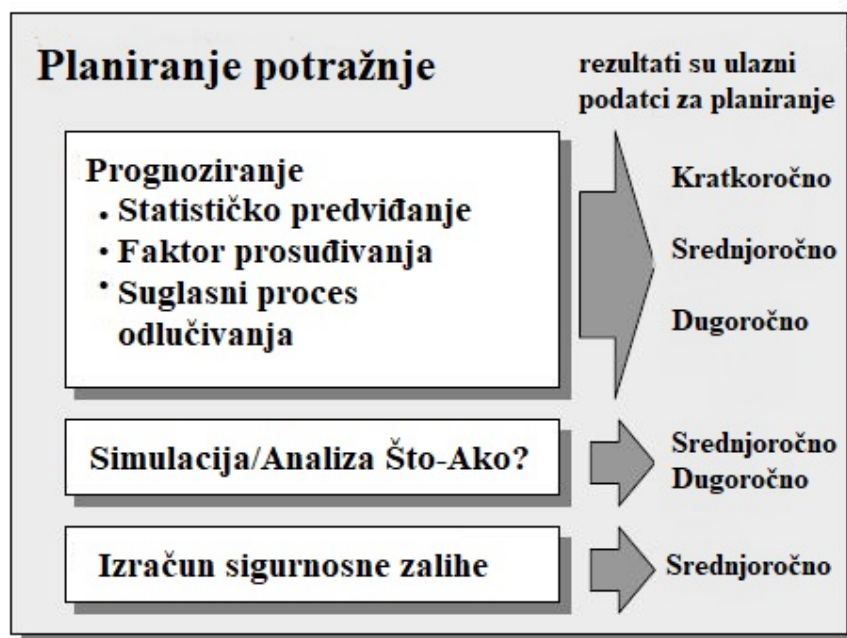
Slika 3. Ilustracija konfiguracije strateškog lanca opskrbe [6]

Dvije glavne vrste dizajnerskih odluka su: status određenog pogona ili proizvodne linije i odnosi ili raspodjele tijekom određenog razdoblja planiranja. Također obuhvaća tokove proizvoda i količine skladištenih zaliha u lancu opskrbe tijekom razdoblja planiranja [6].

3.2.2. Planiranje potražnje

Modul planiranja potražnje sastoji se od sljedeća tri alata za planiranje. Statističko predviđanje koji koristi sofisticirane metode za automatsko stvaranje predviđanja za veliki broj stavki. Ovo bi mogao biti prvi korak u procesu planiranja potražnje i obuhvaća glavne karakteristike vremenske serije. Drugi korak koristi statističke prognoze i dodaje informacije u vremensku seriju koje nisu bile poštivane u prethodnom koraku. Ovaj unos sadrži informacije o promocijama, marketinškim kampanjama i promjeni broja trgovina. Taj unos može se izvesti ručnim ispravljanjem prognoze ili uz pomoć softverskog alata. Tako korisnik daje informacije o tome kada čimbenik utječe na prognozu, a modul planiranja potražnje izračunava odgovarajuće količine iz prijašnjih uzročnih utjecaja. Kao što je gore opisano, proces predviđanja mora biti podržan od strane velikog broja članova opskrbnog lanca iz različitih funkcionalnih područja kao što su prodaja, proizvodnja, nabava. Stoga je nužan učinkovit proces suradnje kako bi se dobio rezultat koji prihvaćaju svi sudionici. Ishod ovog

procesa je prognoza temeljena na konsenzusu koja se koristi za svaki korak planiranja u cijelom lancu opskrbe. Predviđanje kao takvo nije pravi proces planiranja ili odlučivanja jer ima za cilj predviđanje budućnosti što je točnije moguće. Predviđanje budućnosti ne utječe na potražnju i stoga, promjena potražnje zahtijeva dodatni modul za simulaciju i analizu, najčešće što-ako [Slika 4]. Ovaj alat omogućuje korisniku da vidi posljedice različitih scenarija. Omogućuje planiranje promocija, oblik krivulje životnog ciklusa ili odlučivanje o trenutku u kojem će novi proizvod biti lansiran [7].



Slika 4. Zadaci planiranja potražnje [7]

Planiranje potražnje znači predviđanje buduće prodaje; stoga je potrebno uključiti sve dostupne informacije u lancu opskrbe koje bi mogle biti relevantne. Ali te su informacije često samo specifične i pohranjene decentralizirano. Svi bi podaci konačno trebali dodati prognozu koja pokriva cjelokupnu potražnju koju opskrbljuje lanac opskrbe. S druge strane, mora biti u stanju dohvatiti prognoze stvorene za posebne namjene, kao što su brojke potražnje stvorene po grupama proizvoda i tjednima za glavno planiranje. Stoga baza podataka planiranja potražnje mora podržavati najmanje sljedeće tri dimenzije agregiranja i razvrstavanja. Prva bi bila dimenzija proizvoda, odnosno proizvod, grupa proizvoda, obitelj proizvoda, linija proizvoda. Druga dimenzija je geografska dimenzija, kupac, prodajna regija,

lokacija i treća vremenska dimenzija predstavlja različite periode kao što su dani, tjedni i godine [7].

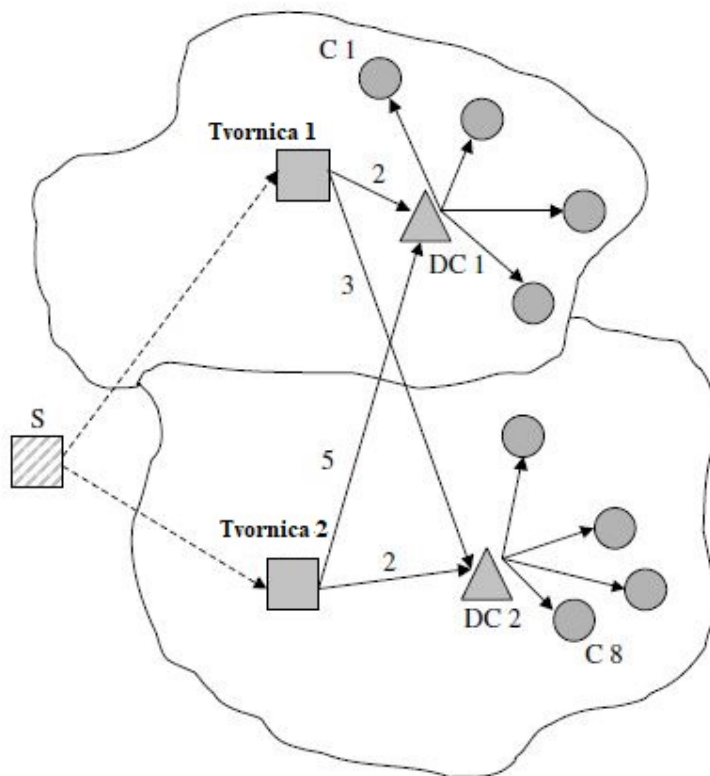
3.2.3. Ispunjavanje potražnje i količine raspoložive za obećanje

Ispunjavanje potražnje je proces planiranja koji određuje u kojoj je mjeri stvarna potražnja kupaca ispunjena. Proces ispunjenja potražnje određuje prvo raspoloživu količinu obećanu kupcu i to najviše utječe na vrijeme isporuke narudžbe i isporuku na vrijeme. Na današnjim konkurentnim tržištima važno je generirati brza i pouzdana obećanja narudžbe kako bi se zadržali kupci i povećati tržišni udio. To je osobito istaknuto u okruženju e-poslovanja gdje se narudžbe unose online, a kupac očekuje da će dobiti pouzdan datum dospijeca u kratkom vremenskom razdoblju. Nadalje, rješenja za e-poslovanje moraju podržati online upite u kojima kupac traži pouzdan datum dospijeca bez obveze narudžbe. Brzo generiranje pouzdanih obećanja narudžbe postaje složenije kako se, povećava broj proizvoda, proizvodi se konfiguriraju tijekom procesa narudžbe, prosječni životni ciklusi proizvoda postaju kraći, broj kupaca se povećava, uvode se fleksibilna cjenovna politika i varijacije potražnje se povećavaju i postaju manje predvidljive. Tradicionalni pristup obećanja narudžbe je traženje inventara, ako nema dostupnog inventara, narudžbe se označavaju prema vremenu isporuke. Ovaj postupak može rezultirati neizvedivim ponudama, jer ponuda u odnosu na vrijeme isporuke može narušiti druga ograničenja, kao što je raspoloživi kapacitet ili problem s opskrbom materijala. Moderna rješenja za ispunjenje potražnje temeljena na mogućnostima planiranja APS-a koriste sofisticiranije postupke koji obećavaju narudžbe, kako bi poboljšali isporuku na vrijeme generiranjem pouzdanih ponuda. Tako smanjuju broj propuštenih poslovnih prilika s učinkovitijom potragom za izvedivim i povećavaju prihod i profitabilnost, povećanjem prosječne prodajne cijene [1].

3.2.4. Master planiranje

Glavna svrha master planiranja je sinkronizacija protoka materijala duž cijelog opskrbnog lanca. Master planiranje podržava srednjoročne odluke o učinkovitom korištenju proizvodnje, transporta, opskrbnih kapaciteta, sezonskih zaliha kao i o uravnoteženju ponude i potražnje. Kao rezultat ove sinkronizacije, proizvodni i distribucijski subjekti mogu smanjiti razinu svojih zaliha. Bez centraliziranog glavnog planiranja potrebni su veći međuspremници kako bi se osigurao kontinuirani protok materijala. Koordinirani glavni planovi pružaju mogućnost

smanjenja tih sigurnosnih međuspremnikama smanjenjem odstupanja u proizvodnji i distribucijskim količinama. Za učinkovitu sinkronizaciju protoka materijala važno je odlučiti kako će se koristiti raspoloživi kapaciteti svakog dijela proizvodnog procesa [Slika 5] [8].



Slika 5. Primjer lanca opskrbe [8]

Kako master planiranje pokriva srednjoročne odluke, potrebno je uzeti u obzir barem jedan sezonski ciklus kako bi se mogli uravnotežiti svi vrhovi potražnje. Odluke o količinama proizvodnje i transporta potrebno je rješavati istovremeno, minimizirajući ukupne troškove zaliha, prekovremenog rada, proizvodnje i transporta. Rezultati glavnog planiranja su ciljevi i upute za planiranje i terminiranje proizvodnje, planiranje distribucije i transporta, kao i planiranje nabave i potrebe za materijalom. Modul planiranja proizvodnje mora uzeti u obzir količinu planirane zalihe na kraju svakog razdoblja glavnog planiranja i rezervirani kapacitet u periodu planiranja. Master planiranje zahtijeva združivanje proizvoda i materijala u grupe proizvoda odnosno grupe materijala, te koncentriranje na resurse uskog grla. S time se može postići smanjenje podataka i može se smanjiti nesigurnost u srednjoročnim podacima i

pojednostaviti složenost modela. Izgradnja modela, uključujući procese združivanja i rastavljanja, a plan treba generirati centralno i povremeno ga ažurirati [8].

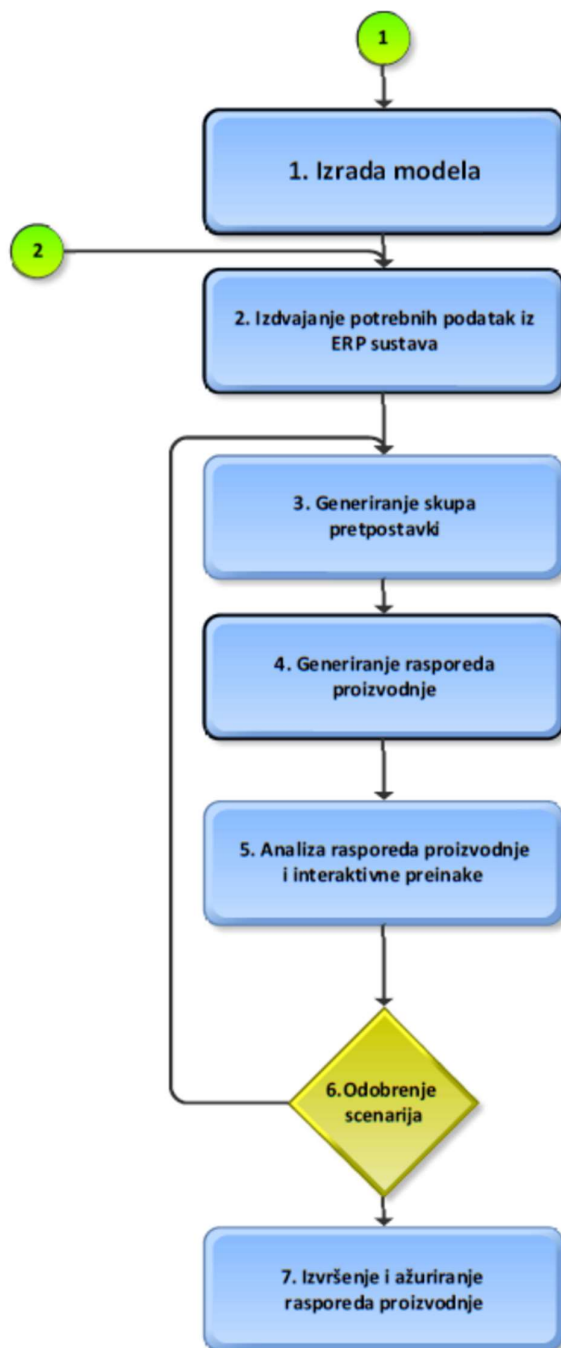
3.2.5. *Planiranje i terminiranje proizvodnje*

Planiranje i terminiranje proizvodnje postavlja okvir unutar kojeg se može izvršiti planiranje i raspored proizvodnje u decentraliziranim jedinicama odlučivanja. Odgovarajući podaci obično su količina prekovremenog rada ili dodatnih smjena koje treba koristiti, dostupnost artikala iz jedinica u lancu opskrbe u različitim vremenskim trenucima, ugovori o kupovini ulaznih materijala od dobavljača koji nisu dio našeg opskrbnog lanca. Nadalje, taj plan će dati smjernice zbog proširenog pogleda na opskrbeni lanac i intervala planiranja. Kao ulazne podatke mogli bi imati količinu sezonskih zaliha različitih artikala koje treba izraditi do kraja planiranog perioda. Zadaća mu je dati rokove za isporuku narudžbi sljedećoj fazi proizvodnje, pošiljatelju ili krajnjem kupcu [1].

[Slika 6] prikazuje opći postupak paniranja i terminiranja proizvodnje podijeljenih u 7 koraka [1]:

- Korak 1: Izrada modela Model tvornice mora obuhvatiti specifična svojstva proizvodnog procesa i odgovarajuće tokove materijala koji omogućuju generiranje izvedivih planova uz minimalne troškove. Podskup svih postojećih resursa u pogonu koji bi se mogli pokazati kao usko grlo morat će se eksplicitno modelirati, budući da je izlazna efikasnost sustava ograničena upravo tim potencijalnim uskim grlima.
- Korak 2: Izdvajanje potrebnih podataka planiranja proizvodnje i terminiranja koristeći podatke iz ERP sustava, glavnog planiranja i planiranja potražnje. Samo dio podataka dostupnih u ovim modulima koristit će se u planiranju i terminiranju proizvodnje. Stoga je potrebno navesti koji će podaci zapravo biti potrebni za modeliranje određene proizvodne jedinice.
- Korak 3: Generiranje skupa pretpostavki i scenarija. Osim podataka dobivenih iz izvora kao što su ERP sustav, glavno planiranje i planiranje potražnje, donositelj odluka na razini postrojenja ili proizvodne jedinice može imati neka druga znanja ili očekivanja o trenutnim i budućim situacijama koja nisu dostupna na drugim mjestima kao što su softverski moduli. Također, može postojati nekoliko opcija s obzirom na raspoloživi kapacitet. Stoga donositelj odluke mora imati mogućnost modificiranja podataka i tako postavljanja određenog scenarija.

- Korak 4: Generiranje početnog rasporeda proizvodnje. Automatski se generira početni raspored proizvodnje za dati scenarij. To se može učiniti ili hijerarhijom planiranja na dvije razine ili u jednom koraku.
- Korak 5: Analiza rasporeda proizvodnje i interaktivne izmjene. Ako postoji gornja razina planiranja, tada se plan proizvodnje može analizirati prije generiranja detaljnog rasporeda. Pogotovo, ako je plan proizvodnje neizvediv, donositelj odluke može interaktivno naznačiti neki tijek radnje kako bi uravnotežio kapacitete, kao što je uvođenje prekovremenog rada ili specifikacija drugačijeg rutiranja. To može biti lakše nego mijenjati detaljan slijed operacija na pojedinačnim resursima što je niža razina planiranja. Prekoračenja roka dospjeća narudžbe ili preopterećenja resursa prikazuju se kao upozorenja. Također, rješenje generirano za scenarij može se poboljšati interaktivnim uključivanjem iskustva i znanja donositelja odluka. Međutim, kako bi se pružila stvarna potpora odlučivanju, broj potrebnih izmjena trebao bi biti ograničen.
- Korak 6: Odobrenje scenarija, nakon što je donositelj odluke siguran da je procijenio sve dostupne alternative, on/ona će odabrati najperspektivniji raspored proizvodnje.
- Korak 7: Izvršavanje i ažuriranje rasporeda proizvodnje. Odabrani raspored proizvodnje bit će prebačen u MRP modul za eksploziranje plana, ERP sustav za izvršenje plana i modul planiranje transporta. Potrebni materijali bit će rezervirani za određene narudžbe. Raspored će se izvršavati do trenutka u kojem događaj signalizira da se revizija plana proizvodnje čini preporučljivom. To može biti događaj poput pristizanja nove narudžbe, kvara stroja ili određenog trenutka u kojem je izvršen određeni dio rasporeda. Promjena modela postrojenja je rjeđi, ako struktura ostane nepromijenjena i zahvaćene su samo količine poput broja strojeva unutar grupe strojeva ili neke nove varijante poznatih proizvoda, tada se model može automatski ažurirati putem podataka koji se preuzimaju iz ERP sustava. Međutim, za velike promjene, poput uvođenja nove faze proizvodnje s novim svojstvima, preporučuje se ručna prilagodba modela od strane stručnjaka.



Slika 6. Opći postupak planiranja proizvodnje [1]

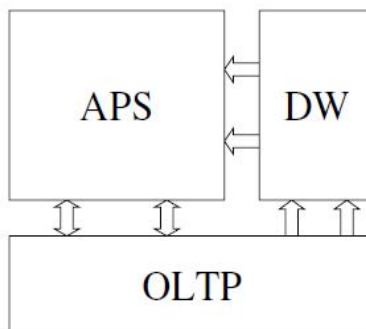
3.2.6. Nabava i planiranje zahtjeva za materijalom

Planiranje materijalnih zahtjeva, MRP, smatra se temeljnim motorom ERP sustava, koji izračunava vremenski fazne planove sekundarnih zahtjeva za komponentama i dijelovima na temelju vremenske serije primarnih zahtjeva. Sekundarni zahtjevi u vremenskim fazama preduvjet su za generiranje narudžbi za proizvodnju ili dopunu kako bi se zahtjevi za gotovim

proizvodima mogli izvršiti na vrijeme sa što manje rada u procesu i zaliha. Iako najprivlačnija, ova logika pati od ignoriranja raspoloživih kapaciteta. Posljedično, proizvodni nalozi mogu dovesti do preopterećenosti kapaciteta, a time i do neizvedivosti. Iskustvo je pokazalo da i postupak u dva koraka, prvo izračunavanje svih sekundarnih zahtjeva, a zatim balansiranje kapaciteta pomoću modula za planiranje zahtjeva za kapacitetom u ERP-u, ne daje zadovoljavajuća rješenja. Ovi nedostaci doveli su do razvoja APS-a, koji ne razdvaja generiranje sekundarnih zahtjeva i balansiranje kapaciteta. Međutim, kako bi se smanjila složenost, APS se koncentrira na operacije koje treba izvesti na potencijalnim uskim grlima, koja su obično samo mali podskup svih operacija koje se odnose na tvorničke narudžbe. Nakon što se generiraju planovi za kritične operacije, vrijeme i količine nekritičnih operacija mogu se lako izračunati korištenjem standardne MRP logike. Niz primarnih zahtjeva koji su polazišna točka su: količine proizvodnje po razdoblju za kritične grupe proizvoda izračunate u Master planiranju, količine proizvodnje po razdoblju za kritične operacije izračunate u modulu za planiranje proizvodnje ili kritični proizvodni nalozi generiran u modulu za planiranje [1].

3.3. Modeli APS-a

Da bi se APS učinkovito koristio, on mora biti integriran u postojeću IT infrastrukturu [Slika 7]. Glavne interakcije postoje između APS-a i sustava za obradu online transakcija, OLTP eng. *Online Transactional Processing*, kao što je ERP. Drugi važan sustav, a posebno za zadatak planiranja potražnje je skladištenje podataka, DW eng. *Data Warehouse*. On pohranjuje glavne povijesne podatke o poslovnom i opskrbnom lancu. Nova tehnologija softvera, pod nazivom APS, pruža platformu za integraciju različitih alata i baza podataka potrebnih za napredno planiranje i terminiranje [1].



Slika 7. Integracija APS-a [1]

3.3.1. Matematički modeli

Od matematičkih modela koji se primjenjuje razlikujemo planiranje temeljno na ograničenjima i optimizaciji. Planiranje temeljeno na ograničenjima koristi se i za planiranje na temelju ograničenja i za optimizaciju. Razlika je u tome što se u planiranju temeljenom na ograničenjima ne uzimaju u obzir ciljevi ili kriteriji optimizacije plana nego samo ograničenja. Ova opcija daje izvediv, ali ne nužno i optimalan plan. Optimizirani plan s druge strane temelji se na troškovnoj ili profitnoj perspektivi, što dovodi do optimalnog plana gledanog iz financijske perspektive, ali ne nužno i optimalnog plana sa stanovišta proizvodnje ili kupca. Općenito programiranje temeljeno na ograničenjima kombinira snagu i mogućnosti sofisticiranih algoritama s fleksibilnošću i mogućnostima modeliranja ekspertnih sustava. Alat za programiranje koji se temelji na ograničenjima pruža funkcionalnost za deklariranje varijabli odlučivanja, za navođenje ograničenja i za rješavanje rezultirajućih problema. Prednost pristupa je u tome što dopušta jasno razdvajanje između problema varijable i ograničenja i rješavanja problema algoritama. Sustav baziran na ograničenjima dobro se skalira i brzo daje rezultate. Vrijeme korišteno za generiranje plana za cijeli opskrbni lanac značajno je smanjeno korištenjem programiranja temeljenog na ograničenjima. U većini slučajeva problema s mješovitim cjelobrojnim programiranjem predstavljaju ograničenja ili zahtjevi koji moraju biti ispunjeni. Rješenje problema mješovitog cjelobrojnog programiranja ne dopušta kršenje ograničenja. Druga važna značajka programiranja temeljenog na ograničenjima je mogućnost korištenja pravila. Pravila se koriste kao eksplicitne odluke koje donosi planer i koriste se kada postoji više opcija u generiranju plana. Pravila su rangirana korištenjem prioriteta zadanih tema kao što su zahtjevi, kupci i artikli. Pravila igraju važnu ulogu u planiranju temeljenom na ograničenjima izbjegavajući tradicionalno ponovno planiranje i ponovno planiranje nakon generiranja plana [9]. Još jedan primjer matematičkog modela su mješovite cjelobrojne programske formulacije za APS sustave koji će se koristiti na razini tvornice u tipičnom okruženju radionice. Osnovni model je takav da se stavka može obraditi na određenom skupu podobnih strojeva, postoji mnogo proizvoda s više stavki na različitim razinama i kupci diktiraju rokove dospijeca za svoje narudžbe. Proširenja osnovnog modela su postavke ovisne o sekvenci i vremenu prijenosa između strojeva. Ove formulacije daju rasporede izvedivih kapaciteta koji minimiziraju ukupne troškove, a koji se sastoje od troškova neaktivnosti, troškova prijevremenosti i kašnjenja. Formulacije bi se također mogle koristiti za određivanje datuma dospijeca za narudžbe kupaca tako da se, u koraku

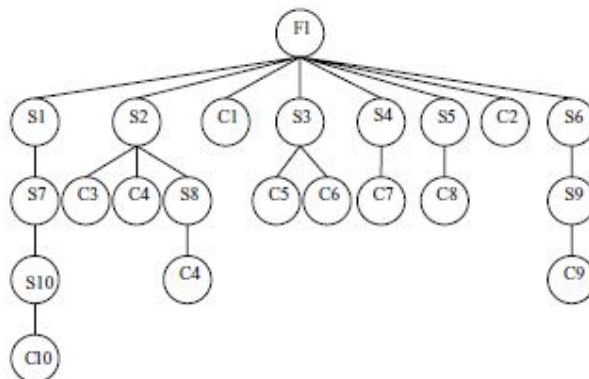
obećavajuće narudžbe, narudžbe kupaca mogu unijeti u model i da se realističniji i osjetljiviji datumi dospjeća mogu vratiti kupcu koristeći model koji minimizira raspon. Glavna karakteristika APS sustava je optimizacija ili algoritmi temeljeni na matematičkom programiranju. Stoga se razvijeni matematički modeli mogu koristiti za stjecanje uvida u sustav i umjesto metoda optimizacije temeljene na opuštanju linearnog programiranja, treba isprobati druge metode kao što su programiranje ograničenja i heuristika koje koriste inteligentno filtriranje domene i sredstva usmjerenog pretraživanja [10]. Brojne varijable odlučivanja mogu se koristiti za postizanje željenih poslovnih ciljeva. Višestruki objektivni kriteriji koriste se za procjenu planova za neograničen broj varijabli odlučivanja. Varijable odluke su gotovo iste kao i pravila koja se koriste u planiranju temeljenom na ograničenjima, ali ovdje se razmatraju alternativni i zamjenski uvjeti. Varijable odluke su najčešće izvori dobavljača proizvodnje, izbor ruta i resursa, količine proizvodnje i nabave, izbor načina prijevoza, izbor popisa materijala i artikala, razine sigurnosnih zaliha [9]. Moguće je proširenje modela pretvaranje statičkih zahtjeva u dinamičke zahtjeve. Odnosno, na početku svakog dana primaju se nove narudžbe za proizvode i pripremaju se novi rasporedi. U ovom slučaju pretpostavlja se da su do sada pripremljeni rasporedi fiksirani i nove narudžbe se planiraju nakon njih, ili osim za stavke koje su već dovršene ili su u procesu, operacije nakon današnjeg dana se reprogramiraju kako dolaze nove narudžbe. Osim toga, metode reaktivnog planiranja i/ili trošak promjena u rasporedu proizvodnje mogu se smatrati problemom istraživanja za rukovanje dinamičkim zahtjevima [11]. Optimizirani planovi se generiraju na temelju ciljeva plana i ograničenja. Pravila koja se koriste kao eksplicitne odluke u planiranju temeljenom na ograničenjima zamijenjena su varijablama odluka i faktorima kazne koji se opet koriste za procjenu kompromisa između ograničenja i varijabli odluke. Budući da se optimizacija temelji na trošku ili dobiti, ograničenja mogu se poništiti ako se time smanjuju ukupni troškovi. Unaprijed definirana pravila koja se koriste u planiranju temeljenom na ograničenjima, kao što je prioritet potražnje i rang raspodjele dobavljača, mogli bi se poništiti kako bi se postigla najbolja dobit. Sve odluke ne mogu se temeljiti na troškovima i dobiti. Ukupni troškovi mogu biti niži iako su troškovi dijela veći, ali to, nažalost, nije moguće modelirati [9]. Napredni sustavi planiranja i terminiranja su softverski alati koji omogućuju tvrtkama da donose odluke i mišljenja o strukturama lanca opskrbe, dugoročnim planovima i detaljima rasporeda. Model odlučivanja koji se koristi u APS softveru je formalan: sastoji se od ciljnih funkcija i ograničenja. Formalni model trebao bi obuhvatiti stvarnost na takav način

da korisnici prepoznaju model kao svoju percepciju stvarnosti, a model prihvaća planera. Planerov i formalni model su po definiciji drugačiji od stvarnosti [12].

3.3.2. *Genetski algoritmi*

Zbog nepraktičnosti matematičkih algoritama, heuristički algoritmi su često bili usvojeni kao dopuna. Heuristički algoritmi traže gotovo optimalna rješenja uz razumne računске troškove bez ikakvog jamstva optimalnosti. Ipak, heuristički algoritmi općenito daju rješenja unutar prihvatljivijih vremena rješavanja, matematičko programiranje obično daju rješenja koja se lakše generaliziraju. Drugim riječima, svaki heuristički algoritam ima vlastito ograničenje i isključivo primjenjiv za određeni problema. Jedna od najčešće prihvaćenih heuristika je genetički algoritam [13]. Posljednjih godina sve više studija razmatra probleme planiranja i rasporeda u dinamičnom okruženju. Dio istraživanja obrađuje heurističku metodu rekonstruirajući dio rasporeda, kada dođe do poremećaja, kako bi se uskladio s rasporedom u nekom budućem vremenu. Također, usvojeni su pristupi usklađivanja s minimiziranjem promjena rasporeda za odgovor na smetnje, uključujući umetanje novih narudžbi. Za dinamičko planiranje u trgovinama fleksibilnog protoka, razvili su se učinkoviti algoritmi temeljeni na Lagrangeovom opuštanju kako bi se nosili s promjenama u proizvodnom okruženju. Genetske algoritme za terminiranje i preraspodjelu poslova u proizvodnji pokazali su da daju daleko bolje rezultate od metoda temeljenih na pravilima prioriteta. Učinkovite postupke rješenja za umetanje novih poslova u postojeći raspored pod uvjetom jednog stroja, gdje je poremećaj modeliran ili kao ograničenje ili kao komponenta u cilju. Kada poslovi stalno pristižu u proizvodnju predložena je genetska metodologija lokalnog pretraživanja koja istovremeno razmatra učinkovitost i stabilnost kroz višeciljnu varijablu. Nažalost, većina istraživačkih napora koncentrirana je na situacije jednog stroja, pogona toka i radnje, pod pretpostavkom da se operacije izvode u nizu [14]. Lagrangeovo opuštanje je još jedna dobro poznata heuristika koju koriste mnogi istraživači. Ova je heuristika imala problema u rješavanju učinkovitog i djelotvornog linearnog programiranja kada je problem postao kompliciraniji [13]. Najteži korak u primjeni genetskog algoritma za planiranje i terminiranje je problema kodiranja rješenja. Tradicionalni pristupi često usvajaju doslovnu permutacijsku strategiju kodiranja, a zatim razvijaju specijalizirane operatore kako bi se osigurala izvedivost generiranih rješenja. Za pokretanje genetskog algoritma mora se stvoriti početna populacija rješenja. Inicijalizacija populacije kromosoma može se obaviti generiranjem kromosoma nasumično koliko je željena veličina populacije. Svaki kromosom sadrži niz nasumičnih

brojeva koji označavaju prioritete gena. Budući da su kromosomi nasumično građeni, nema preferencije za bilo kakvo rješenje u prostoru pretraživanja. Populacijom kromosoma treba upravljati genetskim operacijama kao što su reprodukcija, križanje i mutacije kako bi se uzgojilo kompetitivno potomstvo i popunila sljedeća populacija prikazano [Slika 8]. Razvijene su mnoge vrste genetskih operacija kako bi se poboljšale performanse pri rješavanju problema planiranja i terminiranja [14].



Slika 8. Genetski algoritam [14]

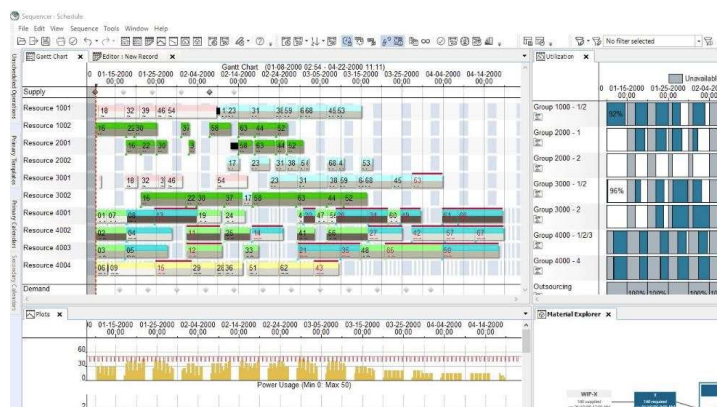
Genetski algoritmi su evolucijska metoda pretraživanja koja može pružiti optimalna ili gotovo optimalna rješenja za probleme kombinatorne optimizacije. Primjenjiv je na brojnim područjima, uključujući inženjerstvo, biologija, informatika i društvene znanosti. Jedna od najatraktivnijih značajki genetskih algoritama je njegova fleksibilnost u rukovanju raznim funkcijama cilja s manje zahtjeva za finom matematičkom ispravnošću. Glavni čimbenici u razvoju GA su zastupljenost kromosoma, inicijalizacija populacije, evaluacija, križanje, mutacija i strategija odabira. Osim toga, genetski parametri, kao što su veličina populacije, broj generacija, vjerojatnost križanja i vjerojatnost sposobnosti mutacije, određuju se prije izvođenja algoritma [15]. Međutim, postoji slabost koja je zadavanje cijelog niza operacija ili niza operacija bez ograničenja. Odnosno, zanemaruju se fleksibilnost posebno za narudžbe u kojoj postoje određena ograničenja prioriteta u svakoj narudžbi, ali i redoslijed. Nedavno su proizvođači shvatili koliko je važno odgovarati na zahtjeve kupaca. Kao rezultat toga, zamjenjuje se pojednostavljena teorija ograničenja i slični modela čekanja s novima modelima APS-a dizajniranim za rješavanje problema uskih grla i terminiranje radnih stanica. Sljedeća generacija APS sustava morat će se nositi s rasporedom na razini transakcije, u vanjskom okruženju i zahtjevima za kapacitetom resursa u više pogona, a također će morati

biti u mogućnosti pružiti precizne datume za obećanje na više mjesta. APS metode imaju holistički i suradnički pristup kako bi osigurale globalnu optimizaciju. Ovaj novi poslovni model je pokušaj optimizacije ne samo rad postrojenja, već i svih aktivnosti od dobavljača do kupca. Genetski algoritma je pristup za rješavanje takvih vrsta APS problema s obzirom na okruženje. On je kodiran uzimajući u obzir informacije o sekvenci operacije i hibridiziran s nekom heurističkom strategijom za odabir resursa kao što je minimalno vrijeme obrade. Ovaj pristup je zapravo poboljšao učinkovitost konvergencije, ali može izgubiti neko optimalno rješenje [16]. Kako broj dijelova i veličina skupa operacija postaju sve veći, analitički modeli zamjenjuju se naprednim algoritmima. Dakle, razvoj učinkovitog heurističkog algoritma, koji ima široku primjenu je neophodan. Najatraktivnija značajka genetskog algoritma je fleksibilnost rukovanja raznim vrstama ciljnih funkcija s manje zahtjeva za finim matematičkim svojstvima. Stoga se takav pristup može primijeniti za rješavanje različitih modela [17].

4. SOFTVERI ZA PLANIRANJE I PODRŠKU PROCESU PLANIRANJA I TERMINIRANJA

4.1. Siemens Simatic IT Opcenter APS

Digitalizacija mijenja sve, a proizvođači moraju brzo i inteligentno reagirati na neočekivane promjene, a pritom moći odgovoriti na kraće vrijeme isporuke i zadovoljiti zahtjeve kupaca. S tim se izazovima ne suočavaju samo velika poduzeća, već i mala i srednja poduzeća. Opcenter APS, ranije poznata kao "Preactor APS", napredna su softverska rješenja za planiranje i terminiranje, te su posebno razvijena kako bi zadovoljila tu potrebu, koristeći napredne algoritme koji uravnotežuju potražnju i kapacitet za generiranje ostvarivih rasporeda proizvodnje. Opcenter APS proizvodi mogu se koristiti za dugoročno strateško planiranje koje obuhvaća mjeseci i godine, srednjoročno taktičko planiranje s periodom planiranja od nekoliko tjedana, te za detaljno sekvenciranje i terminiranje. Može se koristiti samostalno za upravljanje planiranjem i terminiranjem, a također je dizajniran za integraciju s drugim softverima kao što su ERP, MES, prikupljanje podataka, predviđanje, planiranje potražnje i OEE aplikacije. Napredni softver za planiranje podržava odluke o proizvodnim kapacitetima koji se odnose na proširenje radne snage, resursa i tvornica. Ovaj softver pomaže u određivanju koji proizvod i u kojoj količini proizvesti, na kojem radnom mjestu, u kojem vremenu, te koji su materijali i resursi potrebni [18]. Napredno planiranje se može izvesti u konačnom ili beskonačnom kapacitetu, a vremenska razdoblja planiranja mogu biti dani, tjedni, mjeseci ili kombinacija sva tri [Slika 9]. Glavni raspored proizvodnje tada se može ponovno izračunati koristeći raspored proizvodnje kao osnovu za nove rezultate [18].



Slika 9. Siemens Simatic IT Opcenter APS [18]

Četiri glavne značajke Opcenter APS-a su: planiranje na nižoj razini, interaktivna vizualizacija rasporeda, planiranje po narudžbi i planiranje zaliha. Planiranje na razini BOM *eng. Bill of materials* može se rastaviti na komponente, a zatim se na isti način izračunava plan proizvodnje za stavke niže razine. Na temelju MOM -a *eng. Manufacturing operation management* i plana proizvodnje, predloženi zahtjevi za nabavu materijala mogu se izvesti u ERP sustav ili Excel. Interaktivna vizualizacija služi da se nakon izrade početnog glavnog rasporeda proizvodnje podaci mogu prikazati kao grafikoni profila zaliha i grafikoni upotrebe kapaciteta. MPS se može promijeniti jednostavnim klikom i povlačenjem točke na grafikonu zaliha ili kapaciteta, a proizvodnja određene stavke može se premjestiti iz jednog planskog razdoblja u drugo. Sve izvršene promjene odrazit će se na sve povezane prozore grafikona. U okruženju izrade po narudžbi, zalihe gotovih i međuproizvoda neće biti dio ključnih parametara procesa. No i dalje će postojati potreba za procjenom učinaka budućih promjena potražnje na proizvodni proces. Kad dođe do promjene potražnje, bilo u smislu količine ili datuma isporuke, postoji potreba za brzom procjenom je li moguće zadovoljiti nove zahtjeve. U okruženju izrade do zaliha mogu se generirati točni i ostvarivi glavni rasporedi proizvodnje uzimajući u obzir gubitke rezanja, brojke pakiranja unaprijed, ciljani dane pokrivanja zaliha, preferencije proizvodnje, minimalne i maksimalne količine ponovne narudžbe, ponovne narudžbe i rokovi trajanja proizvoda. Proizvodni kapacitet može se odrediti kao količina, trajanje ili težina [18]. Napredno zakazivanje je napredni softver s interaktivnim sustavom koji pruža podršku pri donošenju odluka o prekovremenom radu, određivanju prioriteta narudžbi, proizvodnim serijama, pregovaranju o datumu dospijeca i obradi narudžbe. Sastoji se od modeliranja ograničenja, rukovanja materijalom, optimizacijom rasporeda, vizualizacijom procesa montaže, aktivnog razvojnog okruženje, interaktivnog pregledavanja rasporeda i mogućnosti rangiranje ili ponderiranja prioriternih narudžbi. Vizualizacija procesa od sirovina do gotovih proizvoda, grafički prikazuje ovisnost o materijalu, kao i grafikone zaliha tijekom vremena [Slika 10].



Slika 10. Vizualizacija procesa Opcenter APS [18]

Napredno modeliranje predstavlja međuoperacijska ograničenja, uključujući ograničenja vremena između operacija i koliko se vrijeme rad može produžiti. Softverski rasporedi temelje se na raspoloživosti resursa, dodatnih ograničenja i materijala potrebnih za narudžbu kojem je moguće pridružiti određeni rang prioriteta [18].

4.2. CAD/CAM grupa Delmia Ortems

Delmia Ortensa je softver kojem se mogu zadavati ograničenja na različitim područjima, strojevima, ljudskim kapacitetima, stanju skladišta, dobavljačima, dobavi materijala, raspoloživosti prostora, vremenskim ograničenjima, raspoloživosti strojeva i alata, preventivnog održavanje strojeva i ostalog prema potrebi. Ovaj softver za modeliranje proizvodnog planiranja koristi se ograničenjima i također još planira kapacitet proizvodnje, rješava problem uskog grla i provodi simulaciju različitih scenarija prilikom planiranja [Slika 11] [19].



Slika 11. Funkcionalnosti Delmia Ortems sustava [19]

Podatke Delmia Ortems prikuplja u jednoj središnjoj bazi, primjerice u ERP sustavu, i iz tih se podataka formira konkretan plan proizvodnje koji se možete vratiti u ERP, ili se mogu neposredno izrađivati izvještaje putem MS Excel tablica ili Ortems Report modula. Ulazni podaci koje koristi su podaci iz inženjeringa: sastavnice, podaci o djelatnicima i strojevima. Podaci iz nabave i prodaje kao što su narudžbe, nalozi, planovi prodaje. Ulazne podatke još čine podaci o dovršenosti radnih naloga, podaci o kvarovima na strojevima i sve ostalo što je dostupno u MES i ERP sustavima. Ključna prednost Delmia Ortems sustava prikazana je kroz dinamičnost, odnosno brzu prilagodljivost svakoj promjeni. Sustav omogućuje predviđanje svih eventualnih materijalnih ograničenja i jasnom slikom trenutnih i budućih potreba može brzo prepoznati i riješiti uska grla u proizvodnji [19].

4.3. SAP S/4HANA

Lansiranje novog paketa, nazvanog SAP S/4HANA, održano je 3. veljače 2015. na burzi u New Yorku. Sustav za napredno planiranje i terminiranje izgrađen je na SAP S/4HANA platformi. Sastoji se od SAP S/4HANA Proizvodna rješenje za planiranje i raspoređivanje i SAP S/4HANA Proizvodna rješenje za proizvodno inženjerstvo i operacije, te oni pružaju poboljšano, sveobuhvatno i pojednostavljeno korisničko iskustvo koje omogućuje suradnju u proizvodnji i u cijelom poduzeću unutar integriranog SAP S/4HANA okruženja [20].

Detaljnija podjela modula Planiranje proizvodnje na platformi je: [20]

- Planiranje prodaje i poslovanja (PP-SOP)
 - o Planiranje prodaje i poslovanja (LO-LIS-PLN)
 - o Planiranje distribucijskih resursa (PP-SOP-DRP)
- Glavno planiranje (PP-MP)
 - o Upravljanje potražnjom (PP-MP-DEM)
 - o Dugoročno planiranje (PP-MP-LTP)
- Planiranje kapaciteta (PP-CRP)
 - o Procjena kapaciteta (PP-CRP-ALY)
 - o Niveliranje kapaciteta (PP-CRP-LVL)
- Planiranje kapaciteta (PP-CFS)
- Planiranje materijalnih zahtjeva (PP-MRP)
- Planiranje proizvodnih serijskih brojeva/individualno projektiranje projekata

Modul Planiranje proizvodnje je alat kojim se osigurava dostupnost materijala, on omogućuje i osigurava dovoljan broj komponenta koje će pokriti potrebe proizvodnje i istovremeno omogućava planiranje i terminiranje radnih mjesta. Modul Planiranje prodaje i poslovanja je alat za fleksibilno predviđanje i planiranje prodaje, proizvodnje i drugih ciljeva proizvodnog procesa. Planiranje prodaje i poslovanja se sastoji od dvije aplikacijske komponente: Standardno planiranje (PP-SOP) i Fleksibilno planiranje (LO-LIS-PLN). Standardno planiranje dolazi već konfigurirano s isporukom sustava, dok Fleksibilno planiranje nudi više opcija za prilagođavanje konfiguracije. Fleksibilno planiranje omogućava planiranje na bilo kojem stupnju organizacijske hijerarhije, a korisnik definira izgled i sadržaj prikaza. Distribucijsko planiranje resursa (PP-SOP-DRP) je ograničen na korisnike koji su ga uspješno

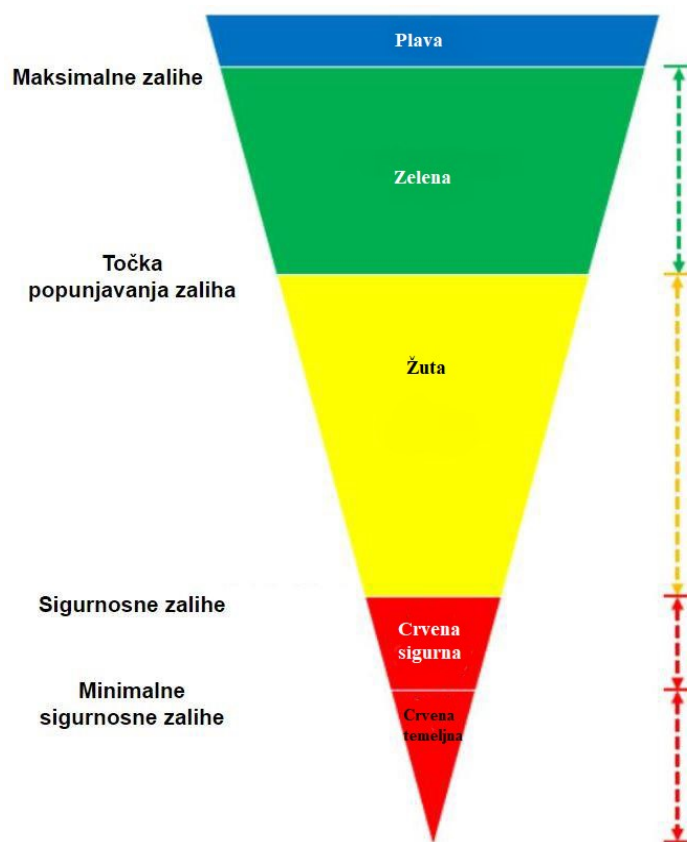
koristili u prošlim verzijama softvera. Ovaj modul pruža okvir za određivanje potreba za obnavljanjem zaliha i to tako da spoji potrebe tržišta s proizvodnjom i upravljanjem potražnjom, stvaranjem relacija u proizvodnom planiranju između trenutnih zaliha i predviđanja potražnje. Funkcija Upravljanje potražnjom (PP-MP-DEM) je dio Glavnog planiranja (PP-MP) i određuje potrebne količine i datume dostave za gotove proizvode. Prvo što korisnik mora definirati u modulu Upravljanje potražnjom je strategija planiranja. Dugoročno planiranje (PP-MP-LTP) je također komponenta Glavnog planiranja kao bi se mogao napraviti godišnji plan trebaju informacije o prodajnim i operacijskim planovima i kako oni utječu na resurse. Svrha modula Planiranje kapaciteta (PP-CPR) je ekonomična upotreba resursa. Ovaj modul podržava planiranje u svim fazama, od kratkoročnog do dugoročnog. U modulu Procjena kapaciteta (PP-CRP-ALY) se utvrđuju slobodni kapaciteti i potrebe za kapacitetima te se uspoređuju u lista ili grafikama. Ciljevi modula Niveliranje kapaciteta (PP-CRP-LVL) su optimalno vezivanje kapaciteta i selekcija prikladnih resursa. Modul Planiranje kapaciteta (PP-CFS) je zadužen za upravljanje kapacitetima radnih centara, izradu i nadziranje proizvodnih rasporeda. Modul Planiranje materijalnih zahtjeva (PP-MRP) kao glavnu funkciju ima osiguravanje dostupnosti materijala ili komponenti. S verzijom 4.5A je puštena i funkcionalnost Planiranje proizvodnih serijski brojeva/individualno projektiranje projekta s ciljem da se pruži funkcionalnost utvrđivanja odvojenih troškova koji nastaju uslijed promjena izvedenih na proizvodu [20].

Detaljnija podjela modula Prošireno planiranje i terminiranje proizvodnje [20]:

- Dopuna na temelju potražnje
- Prediktivno planiranje materijala i resursa (pMRP)
- Planiranje proizvodnje i detaljno terminiranje (PP/DS)

Modul Prošireno planiranje i terminiranje proizvodnje omogućuje planiranje i upravljanje lancima opskrbe temeljeno na potražnji kupaca. On omogućuje predviđanje problema s kapacitetima i alate za simuliranje s kojima se ti problemi rješavaju. Dopuna na temelju potražnje je funkcija modul pomoću kojeg se planira i upravlja lancima opskrbe na temelju potražnje kupaca. Tako da se strateški odjele neki tokovi materijala s ciljem manje izloženosti poremećajima u opskrbnom lancu, ali i zaštitom tokova relevantnih proizvoda pomoću dinamičkog upravljanja sigurnosnim zalihama. Sigurnosna zaliha je obično podijeljena na tri razine, zelena, žuta i crvena. Podjela se temelji na razini uzbune i pripravnosti za količine

zaliha. Crvena označuje najvišu razinu uzbune u sigurnosnim zaliham, gdje su zalihe niske i postoji neposredna i hitna potreba za dopunom zaliha. Žuta boja označava srednju razinu u zaliham, zalihe su manje od idealnih količina i postoji potreba za dopunom zaliha. Kumulativni zbroj crvene i žute zone daje granicu pri kojoj se treba početi s dopunom zaliha. Zelena zona označava da je najniži stupanj uzbune, odnosno da je količina trenutno dostatna i može pokriti potražnju. Kumulativni zbroj crvene, žute i zelene zone daje gornju preporučenu razinu zaliha [Slika 12] [20].



Slika 12. Granične zone sigurnosnih zaliha [20]

Modul Prediktivno planiranje materijala i resursa (pMRP) pomaže planerima u identificiranju problema s kapacitetima te pomaže u rješavanju istih. Moguća rješenja su pojednostavljeni planovi potreba koji se generiraju pomoću pojednostavljenog algoritma za materijalne potrebe prikazano [Slika 13] [20].

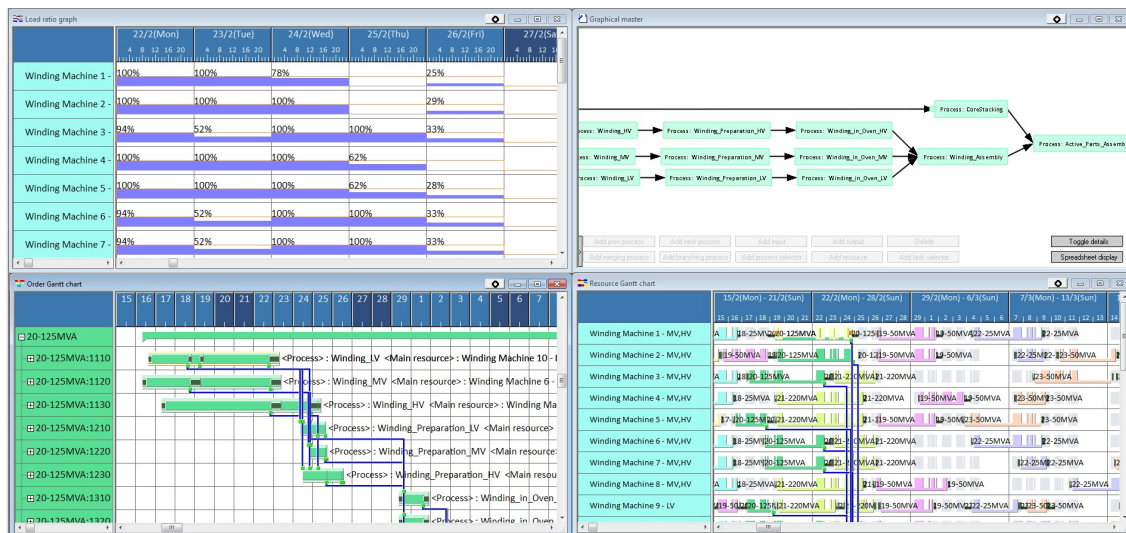


Slika 13. Prediktivno planiranje materijala i resursa [20]

Modul Planiranje proizvodnje i detaljno terminiranje (PP/DS) koristi se za stvaranje prijedloga nabave za internu proizvodnju ili prijedloge za vanjsku nabavu zbog pokrivanja potreba. PP/DS se koristi za planiranje kritičnih proizvoda kao što su proizvodi koji imaju duga vremena nadopunjavanja ili za one koji se proizvode resursima koji stvaraju usko grlo [20].

4.4. Asprova

Asprova je softverska tvrtka sa sjedištem u Japanu koja je osnovana 1994. godine i nudi softverski proizvod pod nazivom Asprova. Asprova nudi obuku putem dokumentacije, uživo putem interneta, webinarima i osobnih sesija. Asprova je APS softver i uključuje značajke kao što su scenariji "što-ako", automatizirano zakazivanje, optimizacija uskih grla, planiranje kapaciteta, raspoređivanje ograničenja, raspoređivanje poslova, planiranje materijala i planiranje zasnovano na prioritetima prikazano [Slika 14] [21].



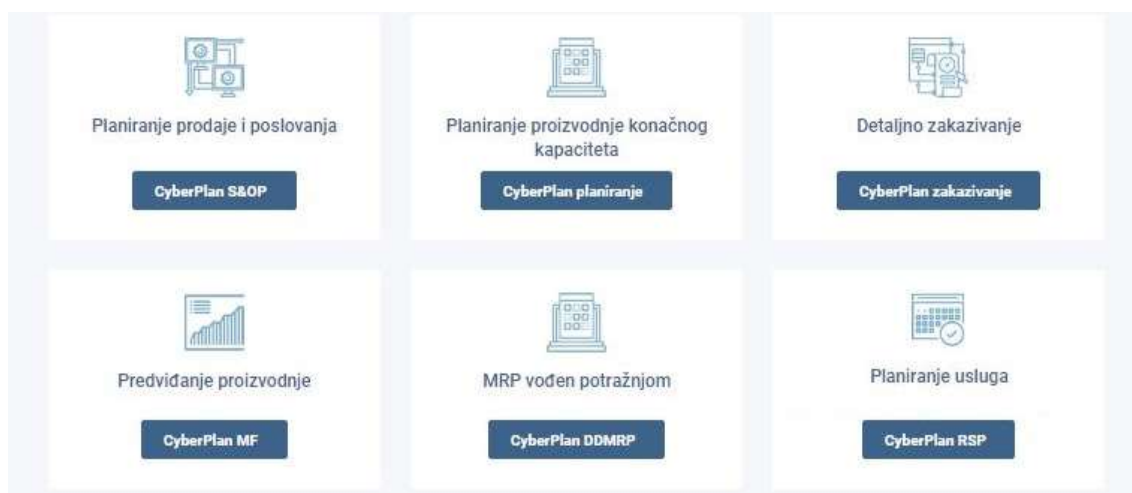
Slika 14. Vizualizacija u softveru Asprova [21]

Asprova APS ima opsežne mogućnosti. Nekoliko tisuća standardnih parametara čini potpuno standardiziranu funkcionalnu osnovu za preslikavanje proizvodnog procesa. Moguće su kratkoročne, srednjoročne i dugoročne simulacije optimiziranih scenarija proizvodnje s obzirom na cijenu, vrijeme isporuke i zalihe. Odjel za planiranje može trenutno izdati realne datume isporuke za novo pridošle narudžbe kupaca. Uska grla vidljiva su unaprijed, tako da se mogu zaobići preventivnim mjerama. U slučaju promjene prioriteta narudžbi, rezultirajuće promjene u ostatku plana postaju odmah očite. Odjel za planiranje izdaje izvedive radne upute za svaki proizvodni resurs. Vrijeme i protok proizvodnje postaju optimizirani s obzirom na proizvodni model, proizvodna ograničenja, optimalne datume kupnje materijala unutarnjih i vanjskih dobavljača i preventivno održavanje. Status trenutno obrađenih i budućih proizvodnih naloga vizualizira se blizu stvarnog vremena radi kontinuiranog nadzora i kontrole. Neposredna reakcija u slučaju odstupanja i smetnji, pružanje alternativnih scenarija s vjerojatno da neće doći do povećanja ukupnih troškova i bez kašnjenja u narudžbama kupaca. Neposredna reakcija u slučaju promjena prioriteta narudžbe ili u slučaju žurbe, brzo izdavanje informacija o datumu isporuke prodajnom odjelu i kupcima [21].

4.5. Cybertec

Cybertec nudi kompletan set softvera APS za pokrivanje procesa proizvodnih tvrtki od predviđanja prodaje do planiranja proizvodnje i raspoređivanja prema gotovom kapacitetu. Cybertec svoj proizvod dijeli na šest kategorija: Predviđanje proizvodnje, Planiranje prodaje i

poslovanja, Planiranje proizvodnje konačnog kapaciteta, MRP vođen potražnjom, Detaljno zakazivanje i Planiranje usluga prikazano [22].



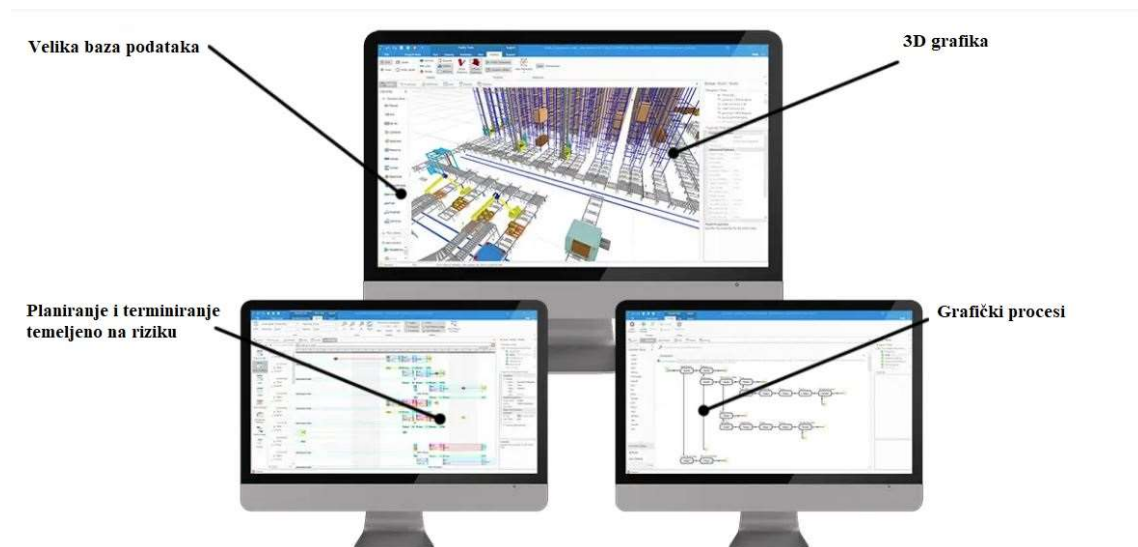
Slika 15. Cybertec CyberPlan softverski paket [22]

Planiranje proizvodnje za postizanje i upravljanje visokokvalitetnim i izvedivim prognozama uzima u obzir sva tvornička ograničenja koje dijele različiti odjeli. Rješenje CyberPlan MF namijenjeno je svim proizvodnim tvrtkama u kojima su rokovi isporuke smanjeni u odnosu na vrijeme isporuke i proizvodnje. Integracija, simulacijska moć i jednostavnost uporabe omogućuju povećanu izvedivost za usklađivanje s proizvodnim odjelom. Kako bi se povećala pouzdanost prognoza i smanjili troškovi CyberPlan generira prognoze s različitim razinama agregacije ovisno o vremenskom periodu. Ne samo na razini gotovog proizvoda, već i na razini varijabilnih obitelji proizvoda na planu predviđanja. Omogućuje simulaciju budućeg razvoja prodajnog plana unaprijed ističući sve moguće kritičnosti u pogledu materijala i resursa, procjenjujući učinke na promet i maržu. Zahvaljujući računalnoj snazi i inovativnom pristupu, omogućuje povećanje točnosti prognoza. Planiranje proizvodnje konačnih kapaciteta za upravljanje opskrbnim lancem visokih performansi, u jednom softveru. Takav softver je intuitivan, brz, visoko konfigurabilan, integrira MPS, MRP/CRP, raspoređuje konačne kapacitete i upravljanje ograničenjima materijala u jednom rješenju, skraćujući vrijeme potrebno za programiranje proizvodnog procesa. Potpuna preglednost proizvodnog procesa za učinkovito planiranje proizvodnje jako je bitna. U ovom slučaju jedan alat daje potpunu kontrolu nad cijelim lancem opskrbe. Potpuna konfiguracija CyberPlan-a omogućuje da su svi potrebni parametri za planiranje proizvodnje, poput mogućnosti resursa i zahtjeva za materijalima na jednom mjestu. Osim toga, brzo i učinkovito izvršavanje MRP / CRP algoritama omogućuje da izračun ponovi više puta, što omogućuje brzo identificirati

najučinkovitijeg scenarija. Integrirani alat za automatiziranje raspoređivanja proizvodnje CyberPlan-u omogućuje automatiziranje procesa planiranja proizvodnje. Stvaranje optimalnih sekvenci obrade na pojedinim strojevima omogućuje testiranje tvornice i resursa bez ugrožavanja datuma isporuke ili skladišnog prostora [22].

4.6. Simio

Simio softver omogućuje izradu simulacijskog modela koji u potpunosti obuhvaća i detaljna ograničenja i varijacije unutar sustava. Model se može koristiti na dva različita načina. Prvi način je model koji generira detaljan raspored i plan izveden u simuliranom okruženju bez kvara na strojevima gdje je vrijeme procesa uvijek konstantno i materijali su neograničeni. Drugi način je ponavljanje istog simulacijskog modela, s uključenim varijacijama. To omogućuje analizu i procjenu temeljnih rizika povezanih s rasporedom. S ovim modelom, generirane mjere rizika uključuju vjerojatnost ispunjenja definiranih ciljeva s očekivanim, pesimističnim i optimističnim rezultatima. Između patentiranih značajki i intuitivnog sučelja, Simio pomaže u donošenju odluka i omogućava vizualizaciju u 3D. Simiovo planiranje i raspoređivanje temeljeno na riziku koristi analizu rizika zasnovana na simulaciji za raspoređivanje konačnih kapaciteta. Softver za zakazivanje osigurava upravljanje rizikom i uklanjanje neizvjesnosti [Slika 16] [23].



Slika 16. Simio softverski paket [23]

5. PROCES ODABIRA

Napredni sustavi planiranja i terminiranja relativno su nova softverska tehnologija. Jedan od prvih naprednih sustava planiranja bio je OPT koji je implementiran krajem osamdesetih. OPT se temelji na Teoriji ograničenja, koja propisuje da ograničenja proizvodnog sustava moraju biti detaljno predstavljena u sustavu planiranja kako bi se iskoristio i kontrolirao njegov učinak [1]. Od ovih prvih dana, tržište SCM-a je strahovito naraslo i na tržištu su se pojavili mnogi novi dobavljači APS-a, a druge su kupile veće softverske tvrtke. Potencijalni korisnik ima na raspolaganju veliki izbor sustava, a u mnogim slučajevima nije pri ruci jasan pokazatelj koji sustav kupiti i implementirati. Stoga je potreban sustavan pristup odabiru APS-a. Sljedeća četiri koraka pružaju smjernice i provjerenu metodologiju za odabir APS-a.

- Napravite kratki popis APS-a na temelju parametara kao što su podržani procesi planiranja, specifičnosti industrije, informacije o tvrtkama dobavljačima APS-a, naknade za licence i tipična implementacija vrijeme i trud za APS
- Procijenite APS na užem popisu na temelju zahtjeva koji su prikupljeni u fazi definiranja APS projekta. Uklonite APS s užeg popisa koji ne ispunjavaju glavne zahtjeve.
- Postavite detaljan plan provedbe uključujući pročišćenu procjenu napora i vremenske rokove za provedbu i integraciju APS-a.
- Usporedite dobavljače APS-a na temelju njihovih napora nakon implementacije i modela podrške, dostupnost i troškovi korisničke podrške i naknade za usluge.

6. USPOREDBA APS SUSTAVA

Procesi planiranja obuhvaćeni APS modulima su: Strateško mrežno planiranje *eng. Strategic Network Planning*, Planiranje potražnje *eng. Demand Planning*, Glavno planiranje *eng. Master Planning*, Ispunjenje zahtjeva *eng. Demand Fulfillment/ATP*, Planiranje i terminiranje proizvodnje *eng. Production Planning & Scheduling*, Planiranje distribucije i transporta *eng. Distribution & Transport Planning*, Suradničko planiranje *eng. Collaborative Planning*, Upravljanje upozorenjima *eng. Alert Management*.

Područje primjene APS sustava su industrije kao što je: automobilska, tekstilna, maloprodaja, elektronika i visoke tehnologije, pakirana roba široke potrošnje, prehrambena, pružatelji logističkih usluga, zrakoplovna, proizvodna, farmacijska, kemijska, promet i turizam.

Bitni podaci prilikom izbora su i:

- Godišnje naknade za održavanje i podršku koje zahtijeva dobavljač APS-a.
- Troškovi ažuriranja izdanja i uobičajena učestalost ažuriranja izdanja.
- Troškovi administracije sustava.
- Troškovi korisničke podrške.

Osim gore navedenog potrebno je procijeniti mogućnosti:

- Upravljanja bazama podataka koje koristi APS.
- Prelazak tekućeg mjesečnog ili tjednog plana na sljedeći ciklus planiranja.
- Administracija APS poslužitelja na razini operacijskog sustava koja u većini slučajeva koriste Windows poslužitelji.
- Proširenje i/ili prilagođavanje APS-a, izrada novih izvješća, instalacija novih klijenata, modifikacija modela, administracija korisnika.

Informacije o tvrtkama dobavljačima APS-a:

- Godina kada je tvrtka ušla na APS tržište.
- Financijske informacije o poslovanju.
- Informacije o dodatnim programskim paketima koje nudi tvrtka, kao što su paketi za planiranje resursa poduzeća ERP i upravljanje odnosima s klijentima CRM.

Također bitni podaci za usporedbu su naknade za licence, vrijeme i troškovi instalacije.

Zadaci koji se postavljaju APS softverima su: modeliranje lanca opskrbe, uključujući definiranje lokacija, mjesta, materijalni tokovi, operacija, međustanica i resursa. Također i prilagođavanje postupaka planiranja i optimizacije, postavljanje internih struktura podataka i baza podataka, realizacija organizacijskih promjena i aktivnosti obuke i upravljanja projektima. To se postiže unutar modula s funkcijama kao što su [Tablica 2]:

- Scenarij što-ako?,
- modeliranje ograničenja,
- automatsko zakazivanje,
- optimizacija uskih grla,
- planiranje kapaciteta,
- raspored poslova,
- planiranje materijala,
- zakazivanje zasnovano na prioritetima,
- kontrola kvalitete.

Tablica 2. Usporedba APS

| Softver | Opcenter APS | Delmia Ortems | SAP S/4HANA | Asprova APS | CyberPlan | Simio |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---|---|---|---|
| Tvrtka | Siemens | Dassault | SAP | Asparova | Cybertec | Simio |
| Status razvoja | Aktivan | Aktivan | Aktivan | Aktivan | Aktivan | Aktivan |
| Podržana platforma | Windows Mac Saas | Windows Saas | Windows Mac Saas | Windows | Windows Saas | Windows Saas |
| Trošak | Na upit | Na upit | Na upit | Na upit | 1.500USD/ mj | Na upit |
| Korisnici | Tvrtke svih veličina | Tvrtke svih veličina | Tvrtke svih veličina | Tvrtke svih veličina | Tvrtke svih veličina | Tvrtke svih veličina |
| Trening | Dokumentacija Online | Dokumentacija Online | Dokumentacija Webinari Online Osobno | Dokumentacija Webinari Online Osobno | Dokumentacija Webinari Online Osobno | Dokumentacija Webinari Online Osobno |
| Podrška | U radno vrijeme | U radno vrijeme | 0-24 | U radno vrijeme | U radno vrijeme | U radno vrijeme |

| Softver | Opcenter APS | DELMIA Ortens | SAP S/4HANA | Asprova APS | CyberPlan | Simio |
|---------------------------------------|--------------|---------------|-------------|-------------|-----------|----------|
| Besplatna probna verzija | Ne | Da | Da | Na zahtjev | Da | Da |
| Besplatna verzija | Ne | Ne | Ne | Na zahtjev | Ne | Da |
| Mobilna aplikacija | Ne | Ne | Da | Ne | Ne | Ne |
| Jezik | Engleski | Engleski | Engleski | Engleski | Engleski | Engleski |
| Scenarij što ako? | Da | Ne | Da | Da | Da | Da |
| Modeliranje ograničenja | Da | Da | Da | Da | Da | Da |
| Automatsko zakazivanje | Da | Ne | Da | Ne | Da | Da |
| Optimizacija uskih grla | Da | Da | Da | Da | Da | Da |
| Planiranje kapaciteta | Da | Da | Da | Da | Da | Da |
| Raspored poslova | Da | Da | Da | Da | Da | Da |
| Planiranje materijala | Da | Da | Da | Da | Da | Da |
| Zakazivanje zasnovano na prioritetima | Da | Da | Da | Da | Da | Da |
| Kontrola kvalitete | Da | Ne | Da | Ne | Da | Da |

7. PRISTUPI TERMINIRANJU PROIZVODNIH AKTIVNOSTI

7.1. Statičko terminiranje

Terminiranje predstavlja dodjeljivanje radnih aktivnosti određenim radnim mjestima u proizvodnji stoga takvi modeli zahtijevaju najveći stupanj detalja i točnosti. Težnja ka učinkovitosti proizvodnih procesa zahtijeva da se oni planiraju i pripremaju prije izvođenja. Terminiranje proizvodnje ključno je rješenje koje rješava niz problema povezanih s proizvodnjom. Iako se ideja o rasporedu poslova čini nekomplikiranom, postoje brojni čimbenici, koji se nazivaju čimbenicima nesigurnosti, koji odbacuju raspored poslova odmah nakon pokretanja proizvodnog procesa, što zauzvrat dovodi do neorganiziranosti i nesigurnosti. Analiza tipičnih proizvodnih procesa omogućuje nam navođenje nekoliko izvora nesigurnosti, kao što su: vrijeme obrade operacije, rokovi pripreme, vrijeme i dostupnost transporta, raspoloživost strojeva, dostupnost osoblja i alata, kao i dostupnost materijala i poluproizvod. Kada se pojave, takvi problemi oni mogu rezultirati smanjenjem konkurentnosti tvrtke i urušavanjem povjerenja kupaca, što si nijedna tvrtka ne može priuštiti u suvremenom, visoko konkurentnom svijeta. Raspored poslova u stvarnim uvjetima uključuje niz aspekata koji se tiču, između ostalog, dinamike proizvodnog procesa ili matematičke složenosti problema rasporeda. Postojeća ograničenja dovela su do razvoja terminiranja proces koji uzima u obzir varijabilnost parametara proizvodnog sustava [24].

Prediktivno terminiranje, povezano je s fazom planiranja, razvija sljedeće rasporede:

- nominalni raspored – na temelju stvarnih parametara sustava,
- prediktivni raspored – uzimajući u obzir neizvjesnost i fleksibilnost izvršenog procesa.

Reaktivno terminiranje odnosi se na fazu izvršenja i naziva se on-line faza. Raspored se kreira ili mijenja u proizvodnji. Svaka promjena procesa rezultira provedbom alternativnog rasporeda. Terminiranje ima za cilj minimiziranje utjecaja različitih poremećaja na proces u izvršenju. Razvijeni raspored će tako osigurati da ne dođe do gubitka performansi u prisutnosti poremećaja. Najčešće tehnike izrade uključuju:

- Tehnike temeljene na redundanciji,
- uvjetno zakazivanje,
- kreiranje djelomično uređenih rasporeda,
- analiza osjetljivosti rasporeda.

Implementacija terminiranih rasporeda i povezanih tehnika omogućuje planiranje u stvarnim proizvodnim sustavima, gdje standardna rješenja često pokazuju veliku neučinkovitost. Terminiranje se može provest i metoda raspoređuje poslove na pojedinim strojevima na temelju određenih pravila prioriteta, prema kojima bira sljedeću operaciju [24]:

- FCFS – eng. *First Come First Served*, prioritet se daje operacijama koje prve stignu,
- EDD – eng. *Earliest Due Date*, prioritet se daje operacijama s najranijim rokovima dospijeća,
- SPT – eng. *Shortest Processing Time*, prioritet se daje operacijama s najkraćim vremenom procesiranja,
- LPT – eng. *Longest Processing Time*, prioritet se daje operacijama s najdužim vremenom procesiranja,
- RND – eng. *Random*, prioritet je dodijeljen nasumično.

7.2. Dinamičko terminiranje

Terminiranje proizvodnje može biti i s aspekta dinamičkih događaja. Dinamički događaji mogu biti vezani za obradak, radno mjesto, proces proizvodnje i ostalo. Predviđanje reaktivnog rasporeda uobičajena je strategija i uključuje dva osnovna koraka. Prvi korak je generiranje sheme predrasporeda bez razmatranja dinamičkih događaja. Drugi korak je ažuriranje plan predrasporeda koji je pokrenut dinamičkim događajima i dinamičkim zakazivanjem koje može poboljšati izvedbu rasporeda. Dinamičko terminiranje vrši podjelu metoda na dvije grupe: precizne metode i približne metode [25].

7.2.1. Precizne metode

Precizne metode izgrađuju jedan ili više modela optimizacije ciljne funkcije kako bi se dobilo optimalno rješenje transformacijom problema planiranja proizvodnje uz ograničenje jednakosti ili ograničenja nejednakosti. Kako se problem rasporeda povećava s povećanjem broja strojeva, izvedivo rješenje raste do eksponencijalnog reda i precizne metode ne mogu lako dobiti optimalno rješenje unutar zadovoljavajućeg vremena, pa se precizne metode ne mogu uvijek koristiti [25].

7.2.2. Približne metode

7.2.2.1. Pravilo prioriteta

Najtradicionalnija metoda za terminiranje zadataka proizvodnje i obrade je pravilo prioriteta. Ono se može koristiti u sustavu dinamičkog planiranja u stvarnom vremenu zbog svoje

jednostavnosti, lake razumljivosti i niske računske složenosti. Posljednjih godina stvorena su mnoga nova pravila. Online zakazivanje na temelju pravila dodjele prioriteta u dinamičkom raspoređivanju u kombinaciji s genetskim algoritmom dalo je rezultate simulacije koji pokazuju da je algoritam ispravan i učinkovit [25].

7.2.2.2. *Ekspertni sustav*

Ekspertni sustav raspoređivanja može generirati složena heuristička pravila koja su inteligentna, ali je razdoblje razvoja dugo, cijena je vrlo visoka, a teško je steći potrebno iskustvo i znanje [25].

7.2.2.3. *Metoda simulacije*

Zbog složenosti proizvodnog sustava teško ga je opisati i ispitati točnim analitičkim modelima. Međutim, simulacija može dati ovaj idealni model, te može kvantitativno napraviti procjenu, čime se usvaja prikladna metoda raspoređivanja za stvarni sustav. Stoga je simulacija još uvijek jedna od najpopularnijih metoda. Ali neizbježno ima sljedeće probleme. Nedostatak teorijske važnosti. Vrijednost i vjerodostojnost rezultata simulacije uvelike se oslanjaju na simulacijske modele, simulacijsku metodu i simulacijske podatke. Točnost simulacije vrlo je ograničena prosudbom i vještinom programera [25].

7.2.2.4. *Neuronska mreža*

Umjetna neuronska mreža je programski sustav koji je generiran na temelju koncepta organizacijske strukture ljudskog mozga i mehanizma rada. Prednosti su veliki skladišni prostor, jaka sposobnost skladištenja, sposobnost samoučenja, dobra tolerancija grešaka i jednostavna klasifikacija. Ali postoje problemi kao što su niska učinkovitost učenja, mala brzina. Neuronska mreža se primjenjuje u terminiranju više od deset godina, među kojima se široko koriste Back Propagation net i Hopfield net. Model neuronske mreže trebao bi se koristiti za traženje optimalnog rješenja algoritmom za minimiziranje dodatnog vremenskog kašnjenja u vremenu obrade programa koji se izvršavaju u automatiziranom sustavu [25].

7.2.2.5. *Genetski algoritam*

Prednosti genetskog algoritma su zrela tehnologija kodiranja i jednostavan rad. Ali kada se rješavaju veliki problemi kombinatorne optimizacije, algoritam često ima veliki prostor pretraživanja, vrijeme pretraživanja je duže i lako se dolazi do preuranjene konvergencije. Generalizacijski model može se primijeniti na statičko, dinamično i nesigurno proizvodno

okruženje, na temelju kojeg je metoda rješenja temeljena na genetskom algoritmu osmišljena tako da minimizira prosječno vrijeme protoka. Rezultati pokazuju da je superiornija od metode optimizacije koja se temelji na klasičnom pravilu dodjele prioriteta [25].

7.2.2.6. *Algoritam optimizacije kolonije mrava*

Algoritam optimizacije kolonije mrava pronalazi najpovoljnije rješenje zadanog problema uz pomoć grupnih informacija, a prednosti su jednostavan izračun, brza konvergencija, ali postoji nedostatak pada u lokalni optimum [25].

7.2.2.7. *Optimizacija roja čestica*

Optimizacija roja čestica naširoko se koristi u rješavanju različitih problema optimizacije zbog svoje visoke učinkovitosti, manje parametara za podešavanje, jednostavnog algoritma, jake robusnosti i drugih karakteristika. Njegova glavna mana je to što je lako doći do prijevremene konvergencije i slabe sposobnosti lokalne optimizacije [25].

7.2.2.8. *Imunološki algoritam*

Algoritam umjetnog imunološkog sustava je globalni inteligentni algoritam pretraživanja koji simulira funkciju biološkog imunološkog sustava, sa svojom brzom stopom konvergencije i snažnom mogućnosti globalnog pretraživanja. Imunološki algoritam je omogućio nove ideje za probleme terminiranja [25].

7.2.2.9. *Metoda s više agenata*

Metoda raspoređivanja s više agenata javlja se porastom široko rasprostranjenog zakazivanja, što je idealan model raspoređivanja. Može se prilagoditi dinamičnim promjenama u radioničkoj proizvodnji i postići samousavršavanje [25].

7.2.2.10. *Mutna logika*

Temeljna ideja neizrazite matematike je korištenje matematičkih alata za oponašanje razmišljanja ljudskog mozga i rješavanje složenih stvari nejasnom obradom. U proizvodnom sustavu s umreženim proizvodnim okruženjem primjenjuje se neizrazita teorija za određivanje distribucije vjerojatnosti vremena proizvodnje i planiranja proizvodnje pomoću interne evaluacije [25].

8. REALNI PRIMJER TVRTKA KONČAR MJERNI TRANSFORMATORI D.D.

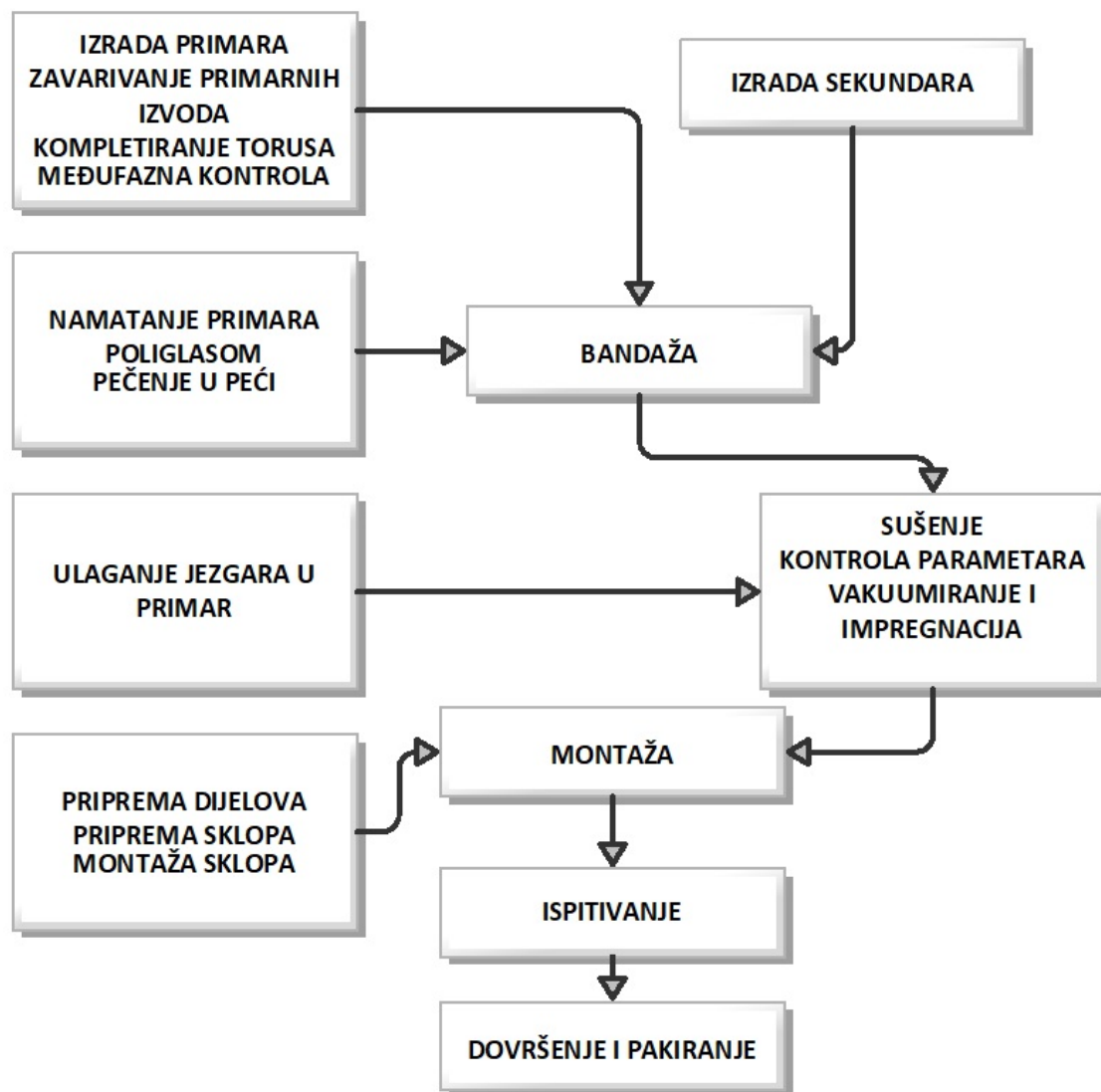
Kako je objavljeno tvrtka Končar mjerni transformatori d.d. odnos s kupcima i dobavljačima zasniva i održava na obostranom povjerenju, a posebno prilikom usklađivanja termina, specifikacija i zahtjeva na kvalitetu. Za Končar mjerne transformatore d.d. je ispunjenje zahtjeva kupca i poštivanje nadležnih normi u izradi transformatora obveza je od najveće važnosti, pa se za svaku narudžbu provodi planiranje i upravljanje procesima prema utvrđenim i propisanim postupcima. Proizvodnja se zasniva na godišnjem proizvodnom kapacitetu od visokonaponskih uljem i plinom izolirani mjernih transformatora u količini od 4.000 komada i srednje i niskonaponskih mjernih transformatora odlivenih u epoksidnoj smoli u količini od 10.000 komada, a društvo trenutno zapošljava preko 250 djelatnika [26].

Kako bi ostvarila ispunjenje zahtjeva, specifikacija i vrijeme isporuke tvrtka KMT implementirala je softver za planiranje i terminiranje proizvodnje tvrtke ININ informatički inženjering d.o.o. iz Slavonskog Broda. Trenutno korišteni paket je verzija IN-PLAN 2.0. koji i dalje proširuju i nadograđuju novim funkcijama.

Planiranje proizvodnje vrše po principu planiranje po narudžbi kupaca. Za proizvodnju po narudžbi kupca karakteristično je da se proizvodni proces pokreće tek nakon početka procesa obrade narudžbe, odnosno kupac pokreće narudžbu i proizvodni proces. Specifični zahtjevi poznati su tek na početku proizvodnog procesa, odnosno nakon narudžbe. Proizvodnja se u tvrtki KMT planira individualno za svaku narudžbu kupca posebno.

Jedan od proizvoda je transformator APU čiji je proces proizvodnje prikazan u nastavku. Proces proizvodnje sastoji se od različitih procesa koje treba planirati. Prva faza izrade sastoji se od izrade primara u kojoj se zavaruju primarni izvodi, kompletira torus i provodi međufazna kontrola, a paralelno se izvodi izrada sekundara. Prije druge faze, faze bandažiranja potrebno je izvesti namatanje primara poliglasom i pečenje u peći. Nakon bandažiranja slijedi proces ulaganja jezgara u primar i sušenje, kontrola parametara, vakuumiranje i impregnacija. Za završnu montažu potrebna je priprema sklopa i montaža sklopa. Nakon montaže procesi koji se također planiraju su ispitivanje, dovršenje i pakiranje. Kako bi svi dijelovi proizvodnog procesa bili povezani sa softverom IN-PLAN 2.0 svaki radnik, radna stanica i proizvod ima svoju oznaku barkodom. Točno praćenje, a posljedično korištenje tih podataka služi za simulaciju planiranja i analizu, za prikaz zauzetosti, gotovosti i

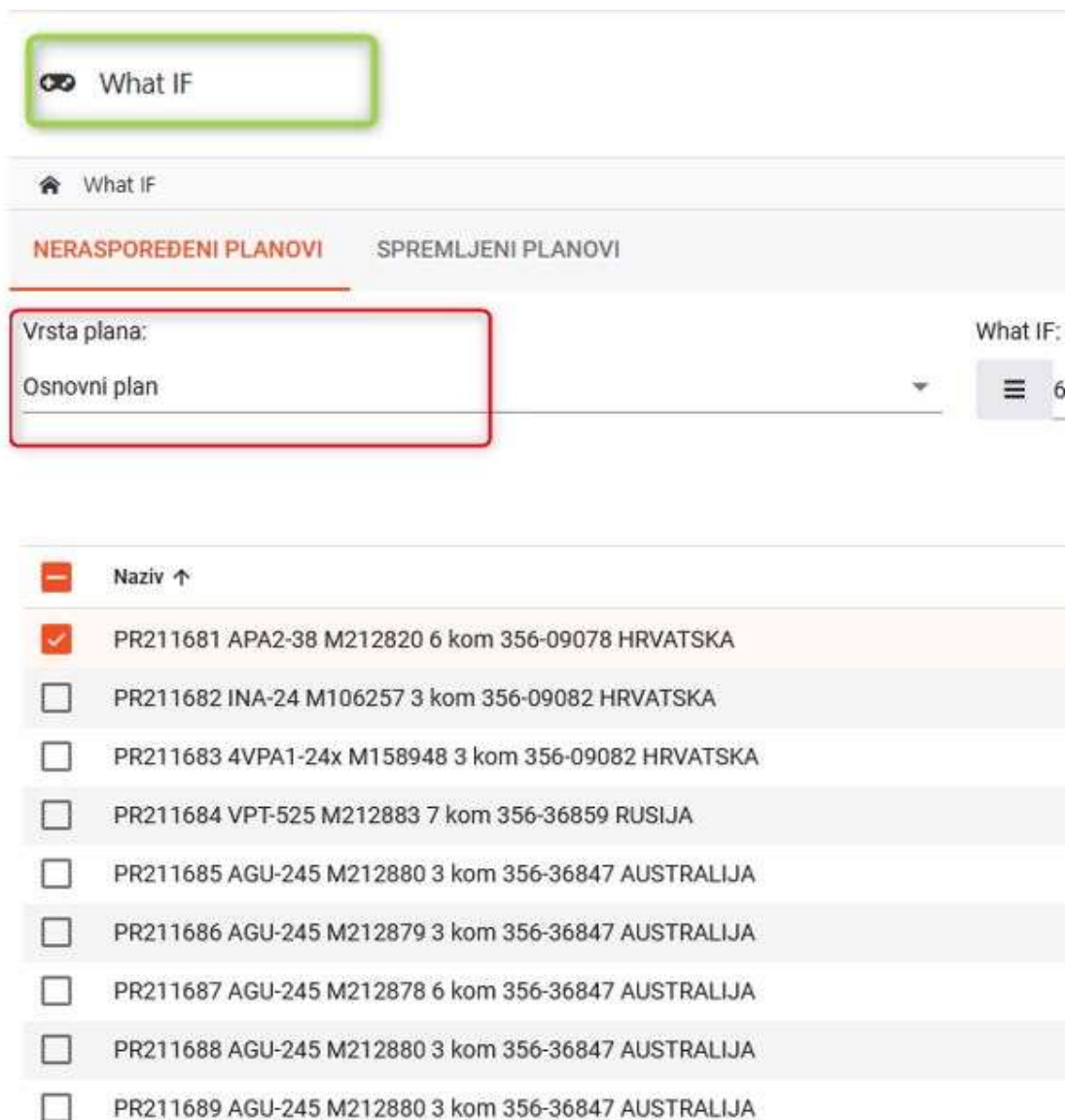
preklapanja procesa na radnim stanicama. Radnik na radnom mjestu zadužen je skenirati početak i završetak proizvodnog procesa i radno mjesto na kojem se proces odvija. Proizvodnih procesa izrade transformatora APU [Slika 17].



Slika 17. Procesni tokovi izrade transformatora APU

Tri su glavne značajke IN-PLAN softvera koji se koristi u tvrtki, a to su: planiranje osnovnog plana, plana terminiranja i interaktivna vizualizacija rasporeda. Glavni raspored proizvodnje, MPS eng. *Master production scheduling*, u tvrtki Končar mjerni transformatori d.d. označen je pojmom Osnovni plan. Osnovni plan mora se nositi s izmjenama u potražnje i izračunavati okvir za potrebne količine prekovremenog rada i mogućnosti ispunjavanja zahtjeva. Budući da se plan temelji na specifikaciji proizvoda i tjednim ili mjesečnim vremenskim segmentima,

ne uzima u obzir pojedinačne proizvodne procese. Osnovni plan postavlja okvir unutar kojeg se može izvršiti planiranje i raspored proizvodnje u decentraliziranim jedinicama odlučivanja. Odgovarajući podaci obično su količina prekovremenog rada ili dodatnih smjena koje treba koristiti i o kojoj odlučuje planer. Nadalje, glavni plan će dati smjernice zbog proširenog pogleda na opskrbni lanac i dužeg intervala planiranja. Osnovni plan u segmentu naprednog planiranja pomoću softvera IN-PLAN, koristi algoritam What IF bez ograničenja resursa [Slika 18].



Slika 18. Osnovni plan

Vizualizacija osnovnog plana vrši se pomoću gantograma, prikaz može biti na razini godina, mjeseca, tjedana i dana. Kako se osnovni plan prati i nakon donošenja on u svojem prikazu ima gotovost procesa. Procesi koje obuhvaća ovaj dio planiranja su:

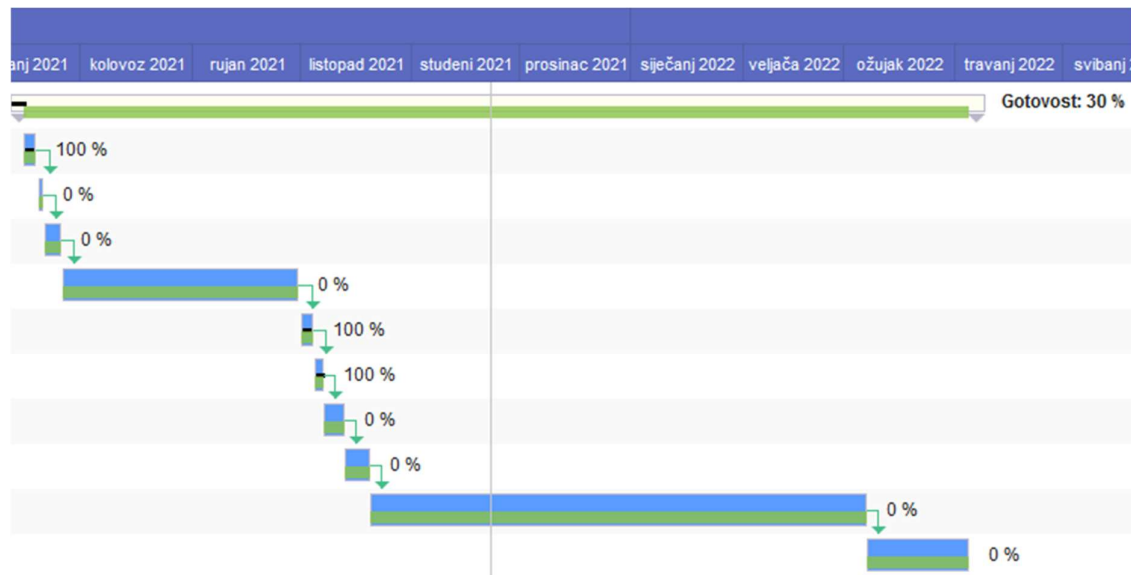
- Projektiranje kritičnih komponenti,
- priprema proizvodnje kritičnih komponenti,
- nabava kritičnih komponenti,
- čekanje kritičnih komponenti,
- projektiranje transformatora,
- konstrukcija cijele sastavnice,
- priprema cijele sastavnice,
- nabava cijele sastavnice,
- čekanje ostalih komponenti,
- proizvodnja transformatora.

Svi ovi procesi definirani su u Osnovnom planu bez ograničenja resursa What-IF analizom. Za njih je određeno vrijeme početka i vrijeme završetka, trajanje, prikazan postotak gotovosti i dodijeljena osoba. Iz analize moguće je vidjeti još i zauzetost resursa kad se koristi jedna smjena ili dvije smjene te moguće preklapanje. Osnovni plan se koncentrira na operacije koje predstavljaju potencijalna uska grla i koja su samo mali podskup svih operacija [Slika 19].

| | Naziv | Originalni | Vrijeme početka | Vrijeme završetka | Trajanje | Postotak |
|----------|--|------------|---------------------|---------------------|----------|----------|
| PR181451 | AGU-420 M175544 6 kom 356-36078 NORVEŠKA | PR181451 | 16.07.2021 07:00:00 | 04.04.2022 14:00:00 | 30 | |
| | PROJEKTIRANJE KRITIČNIH KOMPONENATA | PR181451 | 16.07.2021 07:00:00 | 19.07.2021 15:00:00 | 2 d | 100 |
| | PRIPREMA PROIZVODNJE KRITIČNIH KOMPONENATA | PR181451 | 20.07.2021 07:00:00 | 21.07.2021 15:00:00 | 2 d | 0 |
| | NABAVA KRITIČNIH KOMPONENETA | PR181451 | 22.07.2021 07:00:00 | 26.07.2021 15:00:00 | 3 d | 0 |
| | ČEKANJE KRITIČNIH KOMPONENATA | PR181451 | 27.07.2021 07:00:00 | 30.09.2021 15:00:00 | 40 d | 0 |
| | PROJEKTIRANJE TRANSFORMATORA | PR181451 | 01.10.2021 06:00:00 | 04.10.2021 14:00:00 | 2 d | 100 |
| | KONSTRUKCIJA CIJELE SASTAVNICE | PR181451 | 05.10.2021 06:00:00 | 07.10.2021 14:00:00 | 3 d | 100 |
| | PRIPREMA CIJELE SASTAVNICE | PR181451 | 07.10.2021 14:00:00 | 13.10.2021 14:00:00 | 4 d | 0 |
| | NABAVA CIJELE SASTAVNICE | PR181451 | 13.10.2021 14:00:00 | 20.10.2021 14:00:00 | 5 d | 0 |
| | ČEKANJE OSTALIH KOMPONENATA | PR181451 | 20.10.2021 14:00:00 | 07.03.2022 14:00:00 | 87 d | 0 |
| | PROIZVODNJA TRANSFORMATORA | PR181451 | 07.03.2022 14:00:00 | 04.04.2022 14:00:00 | 20 d | 0 |

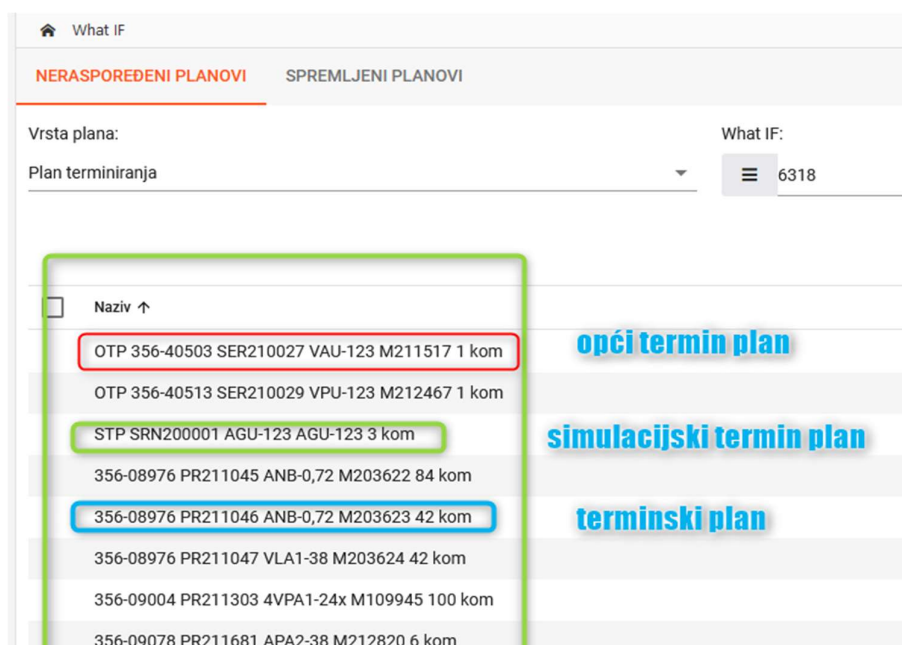
Slika 19. Osnovni plan procesi

Osnovni plan se vizualizira pomoću gantograma u duljini trajanja perioda po izboru dani, mjeseci, godine i prikazuje gotovost, zauzetost i preklapanje [Slika 20].



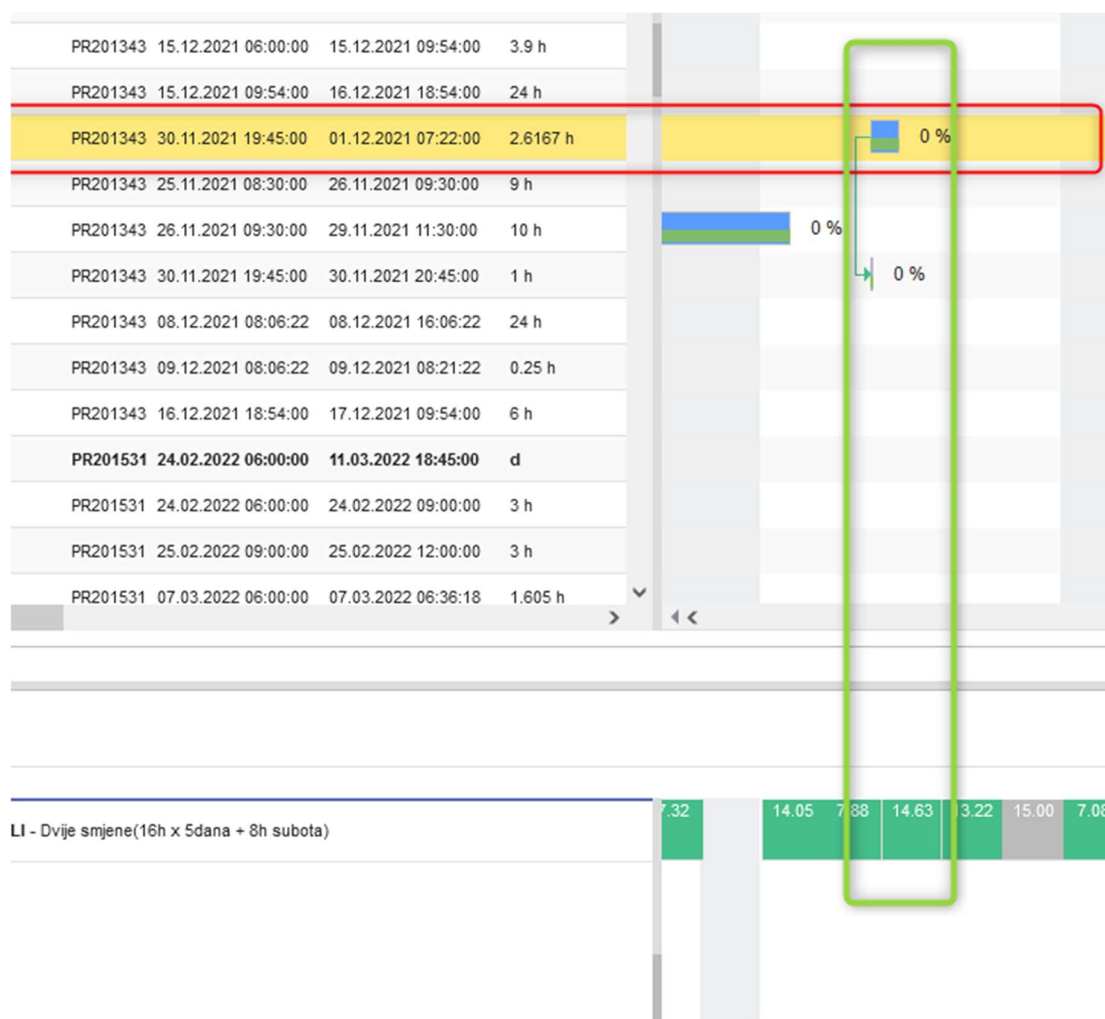
Slika 20. Osnovni plan gantogram

Drugi dio softvera IN-PLAN predstavlja dio za terminiranja proizvodnje. Podjela se vrši na tri vrste plana [Slika 21]: Opći termin plan, Simulacijski termin plan i Terminski plan. Analiza se provodi pomoću algoritama What-IF metodom vremenskog isječka unaprijed.



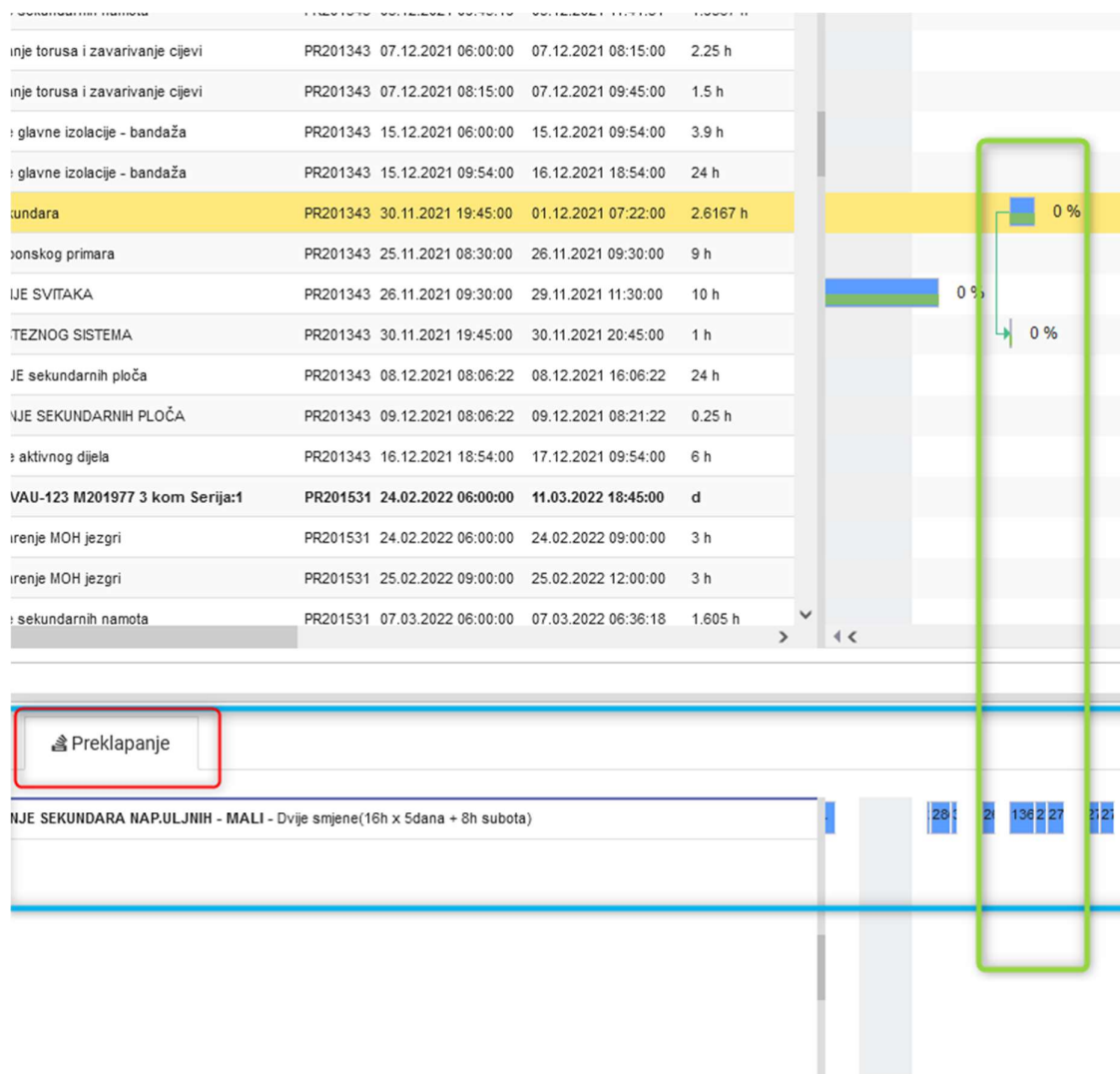
Slika 21. Plan terminiranja

Rezultat ovog zadatka planiranja pokazuje kako se iskorištava raspoloživi proizvodni kapacitet jednog ili više radnog mjesta. Elegantno grafička rješenja vizualizacije pomoću gantograma, omogućava prikaz stvarnog trajanja vremena rada. Kontinuirani nadzor i kontrola koja se vrši skeniranjem barkodova na svi radnim mjestima po fazama daje točna vremena početka i završetka određenog procesa u fazi proizvodnje. Prikaz zauzetosti po radnom mjestu i fazi proizvodnje određen je preko radnih sati i ako je u okviru kapaciteta označen je zelenom bojom, drugi indikator boje je crveni a on prikazuje potrebu za izmjenom plana ili pomicanjem rokova. Proizvodni sustav je dinamični i u njemu često dolazi do promjena, nakon uočavanja crvenog upozorenja zauzetosti provodi se simuliranjem pomoću What-IF analize i dolazi do novih planova, a stari se zatim rebalansiraju [Slika 22].



Slika 22. Zauzetost resursa

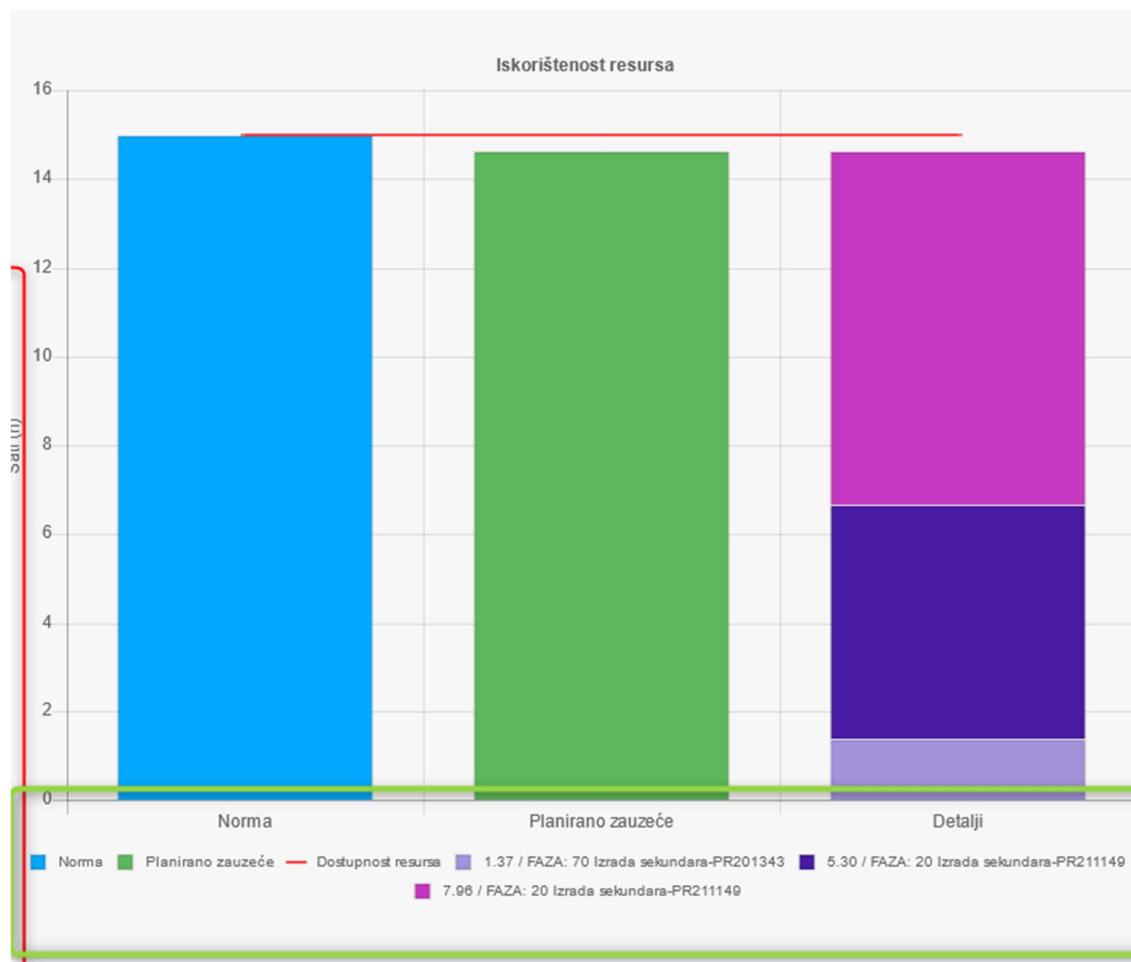
Druga karakteristika softvera za planiranje je preklapanje [Slika 23]. Pogotovo, ako je plan proizvodnje neizvediv, donositelj odluke, planer, može interaktivno promijeniti neki tijek radnje kako bi uravnotežio kapacitete, kao što je uvođenje prekovremenog rada ili specifikacija drugačijeg rutiranja. To može biti lakše nego mijenjati detaljan slijed operacija na pojedinačnim resursima što je niža razina planiranja. Preklapanje u fazama prikazuju se kao upozorenja.



Slika 23. Preklapanje resursa

Cilj sustava za napredno planiranje i terminiranje aktivnosti je postići visoko poštivanje rokova, a nakon toga veliku i ravnomjernu iskorištenost kapaciteta resursa proizvodnje. Vizualni prikaz ovog dijela predstavljaju tri dijagrama. Dijagram norme, planiranog zauzeća i detaljni dijagram faza procesa proizvodnje koje će se u tom periodu odvijati. Glavna linija

odnosno ograničenje koje predstavlja sustav upozorenja je dostupnost resursa i u ovom dijelu terminiranja proizvodnog procesa ona predstavlja ograničenje [Slika 24].



Slika 24. Iskorištenost resursa

Končar mjerni transformatori d.d. u suradnji s tvrtkom ININ informatički inženjering d.o.o. i dalje nastavljaju suradnju osim u pogledu održavanja sustava i na širenju i implementaciji novih značajki sustava. Uvođenjem novih značajki za bolje praćenje po radnim mjestima i zamjenom postojećih barkodova predstavljaju prostora za napredak, olakšavanje posla radnicima i brži prijenos informacija u bazu, pošto trenutni sustav ovisi o radniku koji samostalno mora skenirati barkod. Mogućnost u napretku predstavlja tehnologija kamera za detektiranje procesa i radiofrekventni identifikacijski sustavi RFID eng. *Radio-frequency identification*.

9. ZAKLJUČAK

Sustave za napredno planiranje i terminiranje aktivnosti u proizvodnim procesima tvrtke koriste za planiranje i zadovoljavanje potreba kupaca koristeći ograničenja raspoloživosti materijala i ograničenja kapaciteta resursa na razini poduzeća, kao i na razini pogona. U praksi, tvrtke mogu razviti vlastiti prilagođeni sustav za napredno planiranje i terminiranje na temelju specifikacija svojih aktivnosti ili odabrati i implementirati postojećeg softvera dostupnog na tržištu. Napredni sustavi za planiranja i terminiranje postali su važni dio za proizvodnju i proizvodne tvrtke koje zahtijevaju poseban sustav za optimizaciju proizvodnje, logistike, materijalnih i ljudskih resursa, s ciljem poboljšanja ekonomičnosti poduzeća. Zbog nedostatka stručnog znanja i iskustva u razvoju internih sustava, mnoge su tvrtke odabrale kupnju gotovog proizvoda od softverske kompanije kao što je i tvrtka Končar mjerni transformatori d.d.. U radu se zaključuje da je funkcionalnost planiranja jako poboljšana u usporedbi sa sustavima za planiranje resursa poduzeća i sustavima za planiranje zahtjeva za materijalom, ali naglašava koliko je bitno za dobar ishod da je korisnik upoznat s osnovnom funkcionalnošću naprednih sustava kako bi se omogućilo pažljivo postavljanje mnogih parametara planiranja. Odabirom neprikladnog softvera moglo bi dovesti do netočnih i skupih rezultata, što bi se negativno odrazilo na organizacijske performanse. Analizom izabranih softvera uočene su male razlike u mogućnostima koje nude. Nedavno su proizvođači shvatili koliko je važno odgovarati na zahtjeve kupaca. Kao rezultat toga, zamjenjuje se pojednostavljena teorija ograničenja i slični modeli čekanja s novim modelima sustava za napredno planiranje i terminiranje dizajniranim za rješavanje problema uskih grla i terminiranje radnih stanica. Sljedeća generacija sustava morat će se nositi s rasporedom na razini transakcije, u vanjskom okruženju i zahtjevima za kapacitetom resursa u više pogona, a također će morati biti u mogućnosti pružiti precizne datume za obećanje na više mjesta. Dakle, razvoj učinkovitog heurističkog algoritma, koji ima široku primjenu je neophodan. Najatraktivnije značajke ima genetski algoritam koji je fleksibilan za rukovanje na raznim vrstama ciljnih funkcija s manje zahtjeva za finim matematičkim svojstvima. Stoga se takav pristup može primijeniti za rješavanje različitih modela.

LITERATURA

- [1] H. Stadtler i C. Kilger, *Supply Chain Management and Advanced Planning*, Heidelberg: Springer, 2005.
- [2] H. Wannenwetsch, *Integrierte Materialwirtschaft, Logistik, Beschaffung und Produktion*, Springer Vieweg, 2021.
- [3] L. K. Ivert, *Use of Advanced Planning and Scheduling*, Göteborg, Sweden: Chalmers University of Technology, 2012.
- [4] K. G. Kempf, P. Keskinocak i R. Uzsoy, *Planning Production and Inventories in the Extended Enterprise*, Springer, 2005.
- [5] B. Fleischmann i H. Meyr, »Planning Hierarchy, Modeling and Advanced Planning Systems,« u *Supply Chain Management: Design, Coordination, Operation, Handbooks in Operations Research*, Elsevier B.V, 2003, pp. 457-523.
- [6] M. Goetschalckx i B. Fleischmann, »Strategic Network Planning,« u *Supply Chain Management and Advanced Planning*, Springer, 2005, pp. 117-137.
- [7] M. Wagner, »Demand Planning,« u *Supply Chain Management and Advanced Planning*, Springer, 2005, pp. 133-160.
- [8] J. Rohde, M. Wagner i M. Albert, »Master Planning,« u *Supply Chain Management and Advanced Planning*, Springer, 2015, pp. 155-175.
- [9] H. H. Hvolby i K. Steger-Jensen, »Technical and industrial issues of Advanced Planning and Scheduling (APS) systems,« *Computers in Industry*, svez. 61(9), br. Elsevier B.V., pp. 845-851, 2010.
- [10] C. Öztürk i A. M. Ornek, »Operational extended model formulations for Advanced Planning and Scheduling systems,« *Applied Mathematical Modelling*, svez. 38(1), br. Elsevier, pp. 181-195, 2014.
- [11] T. Sawik, *Scheduling in supply chains using mixed integer programming*, Wiley, 2011.
- [12] A. J. Zoryk-Schalla, J. C. Fransoo i T. G. De Kok, »Modeling the planning process in advanced planning systems,« *Information and Management*, svez. 42(1), br. Elsevier, pp. 75-87, 2004.
- [13] L. C. Kung i C. C. Chern, »Heuristic factory planning algorithm for advanced planning and scheduling,« *Computers and Operations Research*, svez. 36(9), br. Elsevier, pp. 2513-2530, 2009.
- [14] K. J. Chen i P. Ji, »A genetic algorithm for dynamic advanced planning and scheduling (DAPS) with a frozen interval,« *Expert System with Applications*, svez. 33(4), br. Elsevier, pp. 1004-1010, 2007.
- [15] Y. H. Lee, C. S. Jeong i C. Moon, »Advanced planning and scheduling with outsourcing in manufacturing supply chain,« Pergamon, 2002.
- [16] M. Gen, L. Lin i H. Zhang, »Evolutionary techniques for optimization problems in integrated manufacturing system: State-of-the-art-survey,« *Computers and Industrial Engineering*, svez. 56(3), br. Elsevier, pp. 779-808, 2009.
- [17] C. Moon i Y. Seo, »Evolutionary algorithm for advanced process planning and scheduling in a multi-plant,« *Computers and Industrial Engineering*, svez. 45(2), br. Elsevier, pp. 311-325, 2005.
- [18] [Mrežno]. Available:
<https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-operations->

- center/preactor-aps.html. [Pokušaj pristupa 15 10 2021].
- [19] [Mrežno]. Available: <https://www.cadcam-group.eu/hr/rjesenja/po-podrucju/planiranje-i-optimizacija-proizvodnje/>. [Pokušaj pristupa 20 10 2021].
- [20] [Mrežno]. Available: <https://help.sap.com/viewer/index>. [Pokušaj pristupa 15 10 2021].
- [21] [Mrežno]. Available: <https://www.asprova.us/us/index/>. [Pokušaj pristupa 20 10 2021].
- [22] [Mrežno]. Available: <https://www.cybertec.it/en/software-advanced-planning-scheduling/>. [Pokušaj pristupa 10 20 2021].
- [23] [Mrežno]. Available: <https://www.simio.com/software/production-scheduling-software.php>. [Pokušaj pristupa 22 10 2021].
- [24] L. Sobaszek, A. Gola i A. Swić, »Predictive Scheduling as a Part of Intelligent Job Scheduling System,« u *Advance in Intelligent Systems and Computing*, 2018.
- [25] M. Jatoth, L. Krishnanand i R. A. Neelakanteswara, »A review of dynamic job shop scheduling techniques,« u *Procedia Manufacturing*, 2019.
- [26] [Mrežno]. Available: <http://www.koncar-mjt.hr/>. [Pokušaj pristupa 15 11 2021].