

3. Industrijska logistika

Savremeno industrijsko inženjerstvo i inženjerski menadžment podrazumeva interdisciplinarna znanja i veštine donosioca odluka, koja se u najvećoj meri baziraju na tehnikama i alatima modernog menadžmenta operacija (Operations Management). Menadžer koji upravlja poslovnim procesima u 21. veku, svoje poslovne odluke treba da bazira na dinamičkom pristupu upravljanju, koje uzima u obzir visoki nivo promene u poslovnom okruženju. Naime, uslovi poslovanja bilo kojeg poslovno proizvodnog sistema, u stanju dinamičnog okruženja, podložni su promenama takoreći na dnevnom nivou. Razlozi promena najčešće dolaze iz okruženja, ali su česti i uzroci promene modela poslovanja koji su posledica promena unutrašnjih uslova u poslovnom sistemu. Ova činjenica još više dolazi do izražaja kada se radi o složenim tehničko – tehnološkim sistemima. Kako se proizvodnja najčešće odvija upravo u poslovnim sistemima sa visokim stepenom složenosti, onda je za upravljanje poslovnim procesima iz oblasti proizvodnje, zaista neophodno integrisati brojna znanja i veštine inženjerskih kompetencija ali i menadžmenta poslovnih operacija, u cilju adekvatne procene uslova i donošenja upravljačkih odluka. Samim time, industrijska logistika ne podrazumeva samo poznavanje logističkih aktivnosti kompanije, već podrazumeva jedan širi sistemski pristup i razumevanje ukupnih operacija kompanije i nakon svojevrstne integracije logistike kao spone koja vrši povezivanje različitih operacionih celina takvog kompleksnog sistema.

Na taj način, upravljanje logističkim procesima ne treba razdvajati od upravljanja procesima proizvodnje, već ih treba planirati, izvršavati i optimizirati paralelno, kao komplementarne aktivnosti ukupnih operacija poslovno proizvodnih sistema (PPS).

Iako su termin „logistika“, pa i same logističke aktivnosti, već duže vreme poznati i prisutni u praksi različitih vidova poslovnih i neposlovnih procesa, problematika industrijske logistike dobija na značaju tokom dvadesetog veka, razvojem savremenih proizvodnih sistema pa samim time i porastom produktivnosti, prvenstveno u industrijski razvijenim zemljama a potom i na globalnom nivou. Svakako, savremeni koncepti digitalizacije industrijskih operacija u 21. veku, zahtevaju dodatnu modifikaciju i optimizaciju i procedura industrijske logistike. U početnu, može se reći da se trend razvoja proizvodnje odvijao znatno većom brzinom u odnosu na razvoj pratećih - logističkih aktivnosti, kao što su npr. procesi unutrašnjeg i spoljašnjeg transporta, skladištenja i rukovanja materijalima potrebnim za proizvodnju. Takav trend ugrozio je dalje uspešno unapređenje proizvodnje i ukazivao na neophodnost snažnog napretka u procesu razvoja novih tehnologija u oblasti realizacije pratećih procesa. Značajan napredak se desio razvojem savremenih informaciono – komunikacionih tehnologija. Naime, razvoj savremenih sistema za skladištenje i transfer informacija, doveo je do toga da kretanje materijalnih dobara postane, istovremeno a kasnija čak i sporije od protoka informacija o samom materijalu koji se kreće. To je omogućilo da i logističke aktivnosti postanu jednostavnije za planiranje i realizaciju, jer se one u velikoj meri oslanjaju na blagovremenom protokutoku informacija.

Na taj način, pored primarne potrebe da logističke aktivnosti u svom razvoju prate aktivnosti proizvodnih procesa, dolazi do potrebe za razvojem modela njihove optimizacije kako u teorijskom tako i na praktičnom nivou. Pri tome, sam proces sistemskog posmatranja logističkih aktivnosti, različitog novoa, u značajnoj meri je olakšan upravo razvojem savremenih ICT alata.

Paraleleno sa razvojem savremenog koncepta industrijskog inženjertva, odnosno menadžmenta operacija, dolazi do pojave i razvoja novih modela optimizacije u logistici, kao i do razvoja adekvatnih softverskih aplikacija koje se mogu koristiti u te svrhe. Kao posledica toga, industrijska logistika više nije samo praktična – operativna aktivnost, već postaje i svojevrstna naučna oblast u

kojoj se prate i razvijaju novi načini za optimizaciju logističkih procesa i aktivnosti. To dovodi i do pojave naučnih časopisa koji se bave upravo problematikom optimizacije u logističkim sistemima ali i do razvoja studijskih programa koji uključuju i industrijsku logistiku na fakultetima i višim školama.

Pre nego što se pristupi iznošenju definicija samog termina industrijske logistike, u ovom poglavlju će biti izvršen pokušaj da se predstavi značaj i mesto logističkih aktivnosti u industrijskom menadžmentu savremenih poslovno proizvodnih sistema. Naime, pre nego što se pristupi opisu logističkih aktivnosti bilo kog poslovnog procesa, potrebno je znati da se svako poslovanje zasniva na integraciji velikog broja poslovnih operacija, te je samim time, neophodno poznavati i upravljati aktivnostima poslovnih procesa, u okviru menadžmenta operacija. Menadžment operacija (ili „Operations Management“ u stranoj literaturi) uključuje aktivnosti upravljanja resursima koji proizvode i isporučuju finalne proizvode, kao i usluge. Naime, u savremenom poslovanju je teško razdvojiti proizvode od usluga, jedino se razlikuje da li je u posmatranom paketu proizvod-usluga glavni element proizvod a usluga prateći, ili obratno. Prema tome, funkcija menadžmenta operacija kompanija je deo organizacije koji je odgovoran upravo za upravljanje svim neophodnim resursima. Prema savremenom posmatranju menadžmenta operacija, postoje tri glavne funkcije u bilo kojoj organizaciji¹: Marketing funkcija (koja uključuje prodaju); Funkcija razvoja proizvoda/usluge i Funkcija operacija. Pored ovih, postoje i tri funkcije podrške: Funkcija računovodstva i finansija; Funkcija ljudskih resursa i IT/Tehnička funkcija.

U svakom slučaju, iako uslovno podeljene prema prethodnoj klasifikaciji, sve navedene funkcije su međusobno povezane i integrisane u jednu celinu upravljanja operacijama kompanija. Obzirom da se industrijski menadžment operacija zasniva na upravljanju resursima kompanije u cilju izrade i distribucije finalnih paketa proizvod/usluga; sami resursi mogu biti resursi koji transformišu (Operama i Ljudstvo), kao i resursi koji se transformišu (Materijali, Informacije, Klijenti). Navedeni resursi, koji se transformišu, se potom uvode u proces kojim se vrši njihova transformacija u finalne proizvode i usluge. Transformacija se odvija kroz određeni poslovno – proizvodni proces veće ili manje složenosti. Pri tome, finalni proizvodi/usluge, trebaju biti u takvom odnosu kvalitet/cena/količina da zadovolje potrebe stvarnih i potencijalnih kupaca. Pod stvarnim kupcima se podrazumevaju oni koji su naručili određene proizvode od razmatranog Poslovno-Proizvodnog-Sistema (PPS), dok se pod potencijalnim kupcima podrazumevaju predstavnici segmenata ukupnog tržišta koji su targetirani istraživanjem tržišta kao mogući potrošači zainteresovani za proizvod/uslugu koju kreira razmatrani PPS.

Pored toga, može se reći da industrijski menadžment operacija treba da odgovori na sledeća pet pitanja, koja su u stranoj literaturi poznata kao 4W + 1H: Šta „What“ ?; Gde „Where“?; Kome „Whom“ ?; Kada „When“? i Kako „How“?. Naime, prva i možda najznačajnija odluka industrijskog menadžmenta operacija je ŠTA proizvoditi. Portfolio proizvod/usluga jedne kompanije treba da bude zasnovan na visokom nivou istraživanja segmenta tržišta kojima nudimo svoje proizvode ili usluge, kao i na sopstvenim tehničko tehnološkim potencijalima PPS-a. Ovo je veoma kompleksan proces selekcije adekvatnih činioca portfolia novih i postojećih proizvoda i usluga². Drugo veoma važno pitanje je GDE? U ovom pitanju se nalazi zapravo razmatranje o tome gde treba smestiti proizvode kapacitete PPS-a ali i gde se nalazi naše tržište i kako mu

¹ Nigel Slack, Alistair Brandon-Jones, Robert Johnston, Operations Management, Pearson Education Limited, Edinburgh Gate, Harlow CM20 2JE, United Kingdom, 2013.

² Ivan Mihajlović, Nenad Milijić, Aca Jovanović, Aca Jovanović, Upravljanje Proizvodnom, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 2016.

najadekvatnije pristupiti? I ova odluka mora biti rezultat sveobuhvatnog razmatranja i višekriterijumske analize, koja ima velikog uticaja na buduće poslovne rezultate kompanije. Treće pitanje KOMA? Odnosi se na činjenicu da se u savremenom poslovnom svetu retko događa da postoji samo jedan proizvođač određene vrste proizvoda/usluga. Naime, savremena proizvodnja je skopčana sa postojanjem konkurencije, kako na polju plasmana finalnih proizvoda, tako i iz ugla nabavke neophodnih resursa. Na taj način, teško je da postoji proizvod/usluga koji može biti globalno namenjen čitavom tržištu. Ono sa čime se savremeno poslovanje susreće je segmentacija tržišta prema brojnim ekonomsko-demografsko-kulturološkim parametrima. Naime, selekcija adekvatnog finalnog korisnika proizvoda/usluga PPS-a je složeni proces koji zahteva sveobuhvatno istraživanje kako tržišta tako i proizvoda konkurencije, da bi se dobio odgovor kome su namenjeni praoizvodi/usluge koje kreira razmatrani PPS. Sledeće pitanje KADA se odnosi na dinamičnost PPS i samih procesa proizvodnje i stvaranja usluga. Naime u savremenom tržišnom okruženju, vreme je veoma bitan činilac. Postoje brojne oblasti savremenog industrijskog menadžmenta koje se bave upravo upravljanjem vremenom. Naime, vreme treba smatrati značajnim, kako iz ugla projektovanje dužine trajanja poslovnih procesa (kroz terminiranje), tako i iz ugla pravovremenosti plasmana finalnih proizvoda/usluga na tržištu. Tu je svakako ponovno veoma značajan faktor i postojanje konkurencije, koja utiče na neophodnost brzine i fleksibilnosti savremenih poslovnih procesa. Kao poslednje pitanje, javlja se pitanje KAKO? Ovim pitanje treba odgovoriti na ukupnost optimalne selekcije najadekvatnijih transformacionih procesa kojima će se resursi prevesti u finalne proizvode ali i selekcije adekvatnih načina transporta i kretanja resursa unutar i van transformacionih procesa kompanije.

Prema tome, pokušaj definisanja industrijske LOGISTIKE, kao operativne aktivnosti, biće povezan sa navedenih pet pitanja, ali i kroz tumačenje predstavljene 3 osnovne i 3 funkcije podrške u poslovno proizvodnim sistemima, jer se logistika može i posmatrati sponom koja objedinjuje sve navedene pojmove.

Pre toga, svakako treba istaći da se termin „logistika“ već duži niz godina u literaturi upotrebljava sa različitim tumačenjima, često nejasnim, a ponekad i netačno [1]. Naime, prvo pojavljivanje termina logistika se vezuje za primenu u vojnim operacijama francuske vojske, u 19. veku, te se smatra da ovaj termin potiče od francuske reči „*logistique*“. Prema Cambridge zvaničnom rečniku, definicija logistike je: „Pažljiva organizacija kompleksnih aktivnosti tako da se one odvijaju na uspešan i efektivni način“. Prema poslovnom rečniku³, definicija logistike je: „Planiranje, izvršenje i kontrola nabavke, kretanja i mirovanja osoblja, materijala i drugih resursa, kako bi se postigli ciljevi poduhvata, plana, projekta ili strategije“. Takođe, može se posmatrati i kao upravljanje zalihama u kretanju i mirovanju. Ipak, u okviru ovog kursa biće razmatrana industrijska logistika koja u savremenim uslovima predstavlja: „***Funkcionalni most preko kojeg se ostvaruje fizičko kretanje (i koordinacija) roba i materijala pre u toku i nakon proizvodnog procesa***“⁴.

Samim time, imajući u vidu navedeni opis menadžmenta operacija, kao i predstavljenih 3 osnovnih i 3 pomoćnih funkcija poslovno proizvodnih sistema (PPS), na osnovu definicije industrijske logistike ili logistike proizvodnje, može se reći da je upravo logistika spona navedenih funkcija PPS-a, kao i podrška koja će pomoći u davanju odgovora na navedenih 5W i 1H pitanja. Naime, jasno je da se industrijski menadžment bavi resursima na takav način da upotrebom resursa adekvatno kreira ishode procesa (proizvode/usluge) kako bi ispunio određene ili pretpostavljene potrebe tržišta. Samim time, aktivnosti industrijske logistike daju podršku navedenim operacijama kako bi osigurale da će svi neophodni resursi biti na raspolaganju u pravoj količini, na pravom

³ <http://www.businessdictionary.com/definition/logistics.html>

⁴ H.B.Maynard, Industrijski Inženjering, knjiga 4 (prevod sa engleskog), Provredni pregled, Beograd, 1984.

mestu i u unapred planiranom momentu vremena. Pored toga, logističke aktivnosti obezbeđuju neometan tok materijala kroz transformacioni proces i na kraju planski organizovanu distribuciju finalnih proizvoda ka krajnjim korisnicima – potrošačima.

Pri tome, logističke aktivnosti treba obavljati u vrlo složenim proizvodnim sistemima. Logistički sistemi se sastoje iz većeg broja podsistema, kojima je potrebno upravljati na jedinstven – sinhronizovan način. Prema tome, industrijska logistika proizvodnog procesa je veoma potrebna inženjeru, jer stečena znanja iz ove oblasti mogu da mu posluže za kvalitetno donošenje odluka pri: organizaciji snabdevanja repromaterijalom; skladištenja materijala i planiranja zaliha; distribuciji materijala u okviru proizvodnih pogona i odeljenja - do nivoa radnih mesta; organizaciji rada u skladištima; distribuciji gotovih proizvoda do finalnih korisnika; reverzne logistike u cilju reciklaže proizvoda nakon isteka njihove upotrebe, itd. Svaki od navedenih logističkih aktivnosti se može planirati zasebno u okviru adekvatnih logističkih podsistema, koji se na kraju sinhronizuju, ili istovremeno na sistemskom nivou kroz aplikaciju tzv. „integrisane logistike“, o kojoj će biti više reči, u daljem tekstu.

Ipak, bez obzira na način organizovanja upravljanja logističkim aktivnostima, sve se one svode na isti cilj a to je uvećanje ukupnog profita PPS-a. Obzirom da je za kvalitetnu analizu i optimizaciju bilo kog segmenta industrijskih procesa najvažnija pravilna analiza i modelovanje razmatranog sistema ili dela sistema (podsistema), kao promenjiva u jednačini modela čiju je optimizaciju potrebno izvršiti u okviru logističkog sistema, najčešće se koriste varijabilni troškovi. Upravo inženjer sa poznavanjem alata i metoda industrijskog menadžmenta treba da planira, prati, kontroliše i reguliše veličinu ovih troškova u okviru razmatranog poslovno proizvodnog sistema (PPS), te da permanentno razmišlja o načinima smanjenja troškova koji će rezultovati uvećanjem profita. Na taj način, većina optimizacionih modela predstavljenih na ovom kursu zasnivaju se na minimiziranju troškova ispitivanog industrijskog segmenta, jer tamo gde su troškovi minimalni, nalazi se optimum poslovanja.

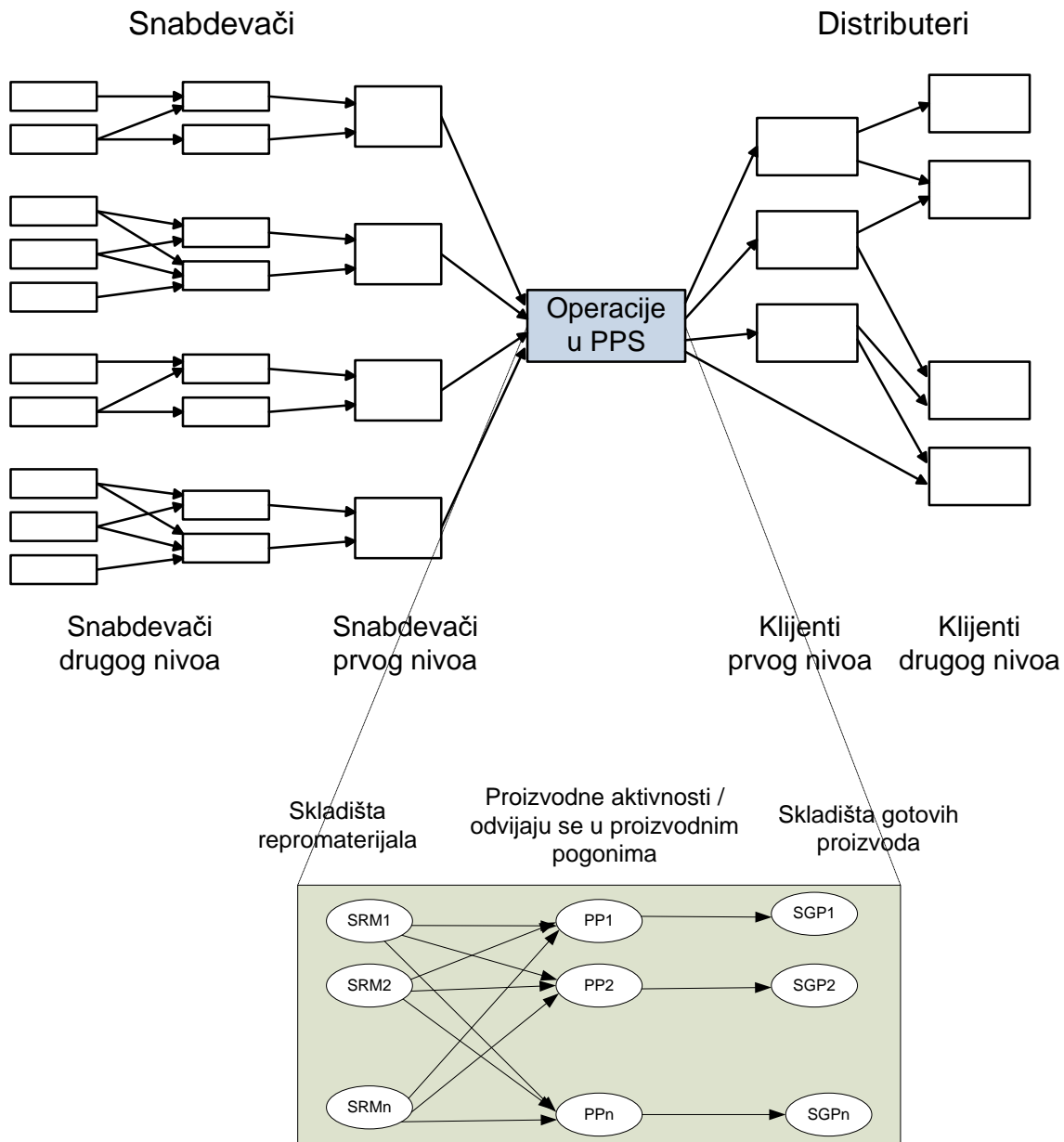
Imajući u vidu prethodne napomene, industrijska logistika se može posmatrati kao sistem koji sadrži određene podsisteme/elemente unutar PPS ali i podsisteme/elemente van PPS (elemente okruženja), Slika 3.1.



Slika 3.1. Pozicija sistema logistike u odnosu na poslovno proizvodni sistem (PPS) i njegovo okruženje

Na osnovu slike 3.1, može se zaključiti da se aktivnosti industrijske logistike javljaju kako unutar samog poslovno proizvodnog sistema, tako i u smislu interakcije PPS-a sa njegovim poslovnim okruženjem - tržištem. Na taj način, navedena interpretacija se u potpunosti može oslikati još jednom definicijom industrijske logistike, koju je predložio Maynard, i koja glasi: „***Pod logistikom (u industriji) podrazumeva se proučavanje tokova materijala počevši od izvora sirovina pa završno sa isporukom gotovih proizvoda krajnjim korisnicima***“. Ova definicija može da posluži i kao osnov opisivanja osnovnih elemenata/podsistema koji sačinjavaju sistem industrijske logistike. Činioci ovog sistema, u najopštijem obliku su (Slika 3.2):

- Izvori sirovina, odnosno snabdevači neophodnim repromaterijalima ili komponentama, predstavljaju prvi činioac sistema logistike. Oni mogu biti snabdevači prvog nivoa koji su u direktnoj sprezi sa razmatranim PPS-om, ili snabdevači drugog nivoa, koji su u indirektnoj vezi sa PPS-om. Izvori sirovina/komponenti su najčešće van sistema poslovno proizvodnog sistema i pripadaju okruženju, odnosno tržišta nabavke,
- Drugi činioac predstavljaju skladišta repromaterijala (SRM), ovaj podsistem pripada sistemu PPS-a. Broj i lokacija navedenih skladišta zavisi od modela zaliha kojima će upravljati PPS, od vrste samih repromaterijala, kao i od obima proizvodnje.
- Treći činioac čine proizvodni pogoni (PP) i unutrašnji je deo PPS-a. U Okviru proizvodnih pogona vrše se same operacije transformacije ulaznih repromaterijala u finalne proizvode/usluge, prema planu i programu proizvodnje samog PPS-a.
- Četvrti činioac je u najvećem broju slučajeva takođe unutrašnji i čine ga skladišta gotovih proizvoda (SGP). U ovim skladištima se zadržavaju (kraći ili duži vremenski period) finalni proizvodi, pre njihove isporuke krajnjim korisnicima.
- Peti činioac predstavljaju kupci gotovih proizvoda - klijenti, koji su povezani sa PPS-om preko distributivne mreže (preko distributera). Oni se nalaze van sistema PPS-a, i pripadaju okruženju sistema, odnosno tržištu prodaje.



Slika 3.2. Jednostavni grafički prikaz logističke mreže odnosno logističkog sistema PPS-a

Naravno, pobrojani osnovni činioci su istovremeno povezani sa više podsistema u okviru poslovno proizvodnog sistema što daje veoma kompleksnu strukturu ovakvom sistemu. Takođe, postoje i dodatni podsistemi koji su logističkim aktivnostima vezani za PPS.

Osnovni podsistemi u PPS-u, koji su uključeni u logističke aktivnosti su: podsistem transporta; podsistem zaliha; podsistem za rukovanje materijalom; podsistem operativnog planiranja i terminiranja; podsistem informacija; podsistem pregleda i kontrole. Naravno ovo su samo neki od potencijalnih podsistema logističkog sistema PPS. Zavisno od stepena kompleksnosti, može ih biti i više.

Da bi se sirovina (repromaterijal, polufabrikat, gotov proizvod) dopremila do mesta skladištenja, od skladišta do proizvodnog pogona, a isto tako i finalni proizvodi dovezli do skladišta ili otpremili kupcu potreban je podsistem transporta. Takođe, često je unutar samom PPS-a neophodno vršiti transport materijala, poluproizvoda i komponenti između pogona ili skladišta. Prema tome, sam podsistem transporta se dalje može klasifikovati na elemente spoljašnjeg i unutrašnjeg transporta. Ovaj podsistem čine odabrana transportna sredstva i njihovi pravci i putanje kretanja.

PPS donosi odluku o nivou i načinu upravljanja zalihama ulaznog tipa (ulazna sirovina i repromaterijali), kao i zalihama izlaznog tipa (gotovi proizvodi). Prema tome, drugi podsistem čine postojeće zalihe tekuće proizvodnje, i odnosi se na zalihe sirovina, finalnih proizvoda i poluproizvoda na svim punktovima logističkog sistema.

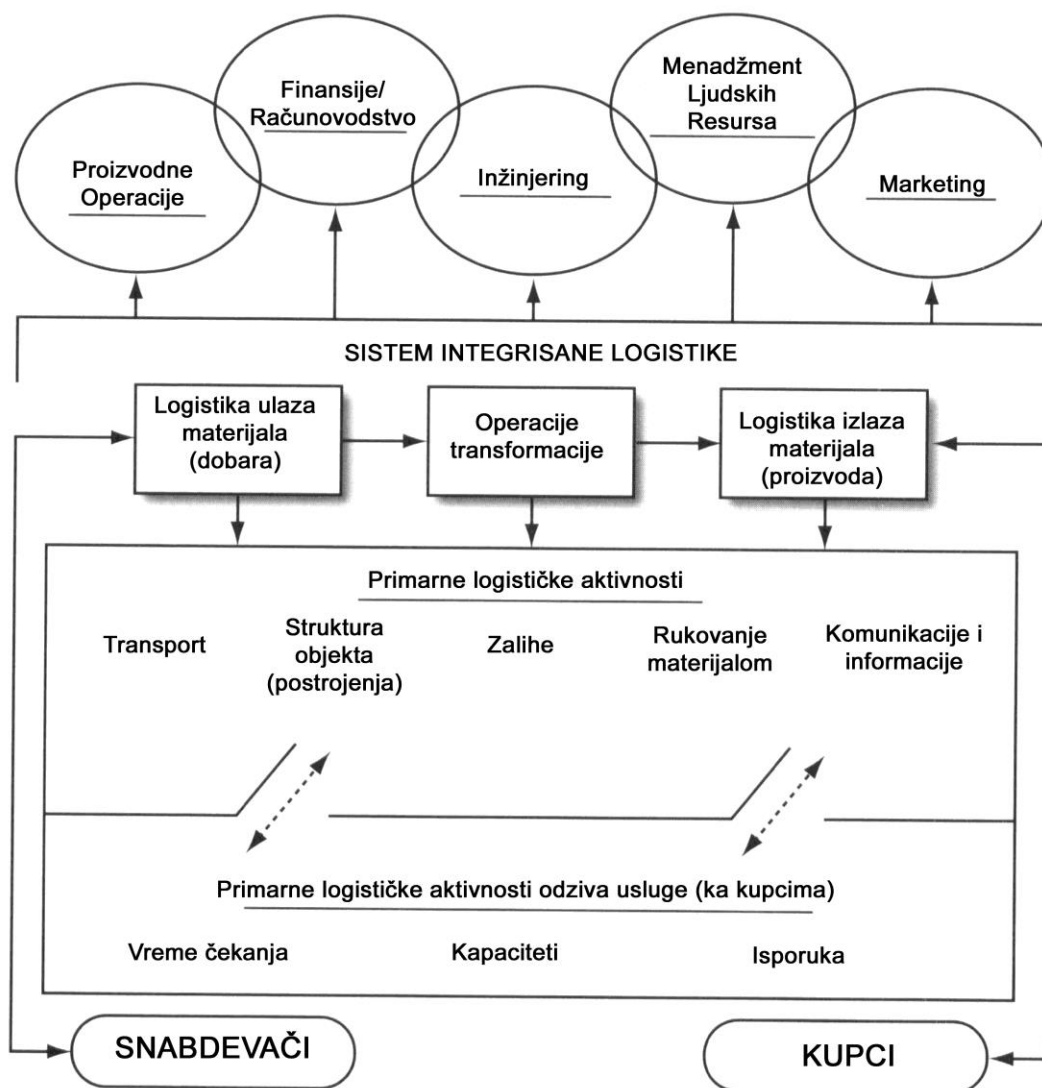
Dalje, podsistem za rukovanje materijalom čini oprema za utovar i istovar, razni uređaji, oprema za pakovanje i peletiziranje, rukovanje kontejnerima, rukovanje materijalima u skladištima, i dr. Podsistem za operativno planiranje i terminiranje se odnosi na raspored redosleda zadataka po pojedinim punktovima kao i na određivanje rokova početka i završetka radnih zadataka po proizvodnim pogonima, odeljenjima i radnim mestima. Takođe tu spada sinhronizacija toka materijala između pojedinih elemenata sistema (nabavka sirovina, tok materijala kroz proizvodni proces, otpremanje finalnih proizvoda). Ovaj podsistem pored toga što je deo logističkog sistema obično je deo kompleksnih sistema planiranja materijala (MRP) ili sistema planiranja resursa na nivou kompanije (ERP sistema).

Podsistem informacija čini tok, distribuciju, formiranje, sakupljanje i obrade nosioca informacije u cilju koordinacije pobrojanih podsistema i elemenata sistema. On dakle prati fizički tok materijala putem obrade informacija, na osnovu čega je moguće vršiti kontrolu i korekciju parametara toka materijala.

Podsistem pregleda i kontrole je zadužen za realizaciju operativnih i termin planova, kako procesa proizvodnje, tako i logističkih aktivnosti. Naime, ovaj posistem je zadužen za proveru da li se aktivnosti u PPS-u odvijaju prema unapred definisanom planu ili ne. Ukoliko dođe do odstupanja kroz ovaj podsistem se traže razlozi, otklanjaju nedostaci i deluje intervencijama i korekcijama.

U savremenom konceptu industrijske logistike, industrijski menadžment planiranja, upravljanja i kontroletokova reursa, posmatra se kroz koncept integrisane logistike. Integrisana logistika se može definisati kao: *Proces predviđanja potreba i želja kupaca; dobavljanja kapitala, materijala, ljudi, tehnologija, i informacija neophodnih da se ispune ovi zahtevi i želje; optimizacija mreže proizvodnje dobara i usluga kako bi se ispunili zahtevi kupaca; i upotreba mreže kako bi se ispunili zahtevi kupaca na vreme.*

Prema tome, integrisana logistika se sastoji od ulazne logistike, operacija konverzije (transformacije), i izlazne logistike. Ulazna logistika je pokretanje proizvoda ka firmi. Operacije konverzije uključuju kretanje proizvoda u okviru fabrike i/ili skladišta, kroz transformacioni proces. Izlazna logistika je pokretanje proizvoda od fabrike ka kupcima. Slika 3.3. predstavlja proces integrisane logistike.



Slika 3.3. Proces integrisane logistike

Postavlja se pitanje koja je razlika između logističke mreže, predstavljene na slici 3.2 i integrisane logistike u lancu snabdevanja, date na slici 3.3. Suština razlike je u sledećem: logističku mrežu, odnosno logistički sistem ima svako preduzeće jer nabavlja određene resurse od dobavljača (kroz proces kupovine koji će biti detaljno opisan u sledećem poglavlju), potom ih transformiše i u vidu finalnih proizvoda plasira kupcima. Ukoliko svako od preduzeća u tom nizu funkcioniše kao zasebna celina, a tok materijala je definisan ugovorima, to je klasičan logistički sistem. Da bi logistički sistem prerastao u lanac snabdevanja, neophodno je da se firme koje se nalaze u logističkoj mreži međusobno povežu ne samo kupoprodajnim ugovorima, već i jačim vezama u vidu vertikalne diverzifikacije. Naime, tako povezane firme funkcionišu kao jedna celina – korporacija, koja zajedno učestvuje u troškovima poslovanja i shodno tome zajedno učestvuje i u ostvarenoj dobiti. Da bi se moglo upravljati kompleksnim logističkim aktivnostima tako složenih celih, formira se zajednički sistem integrisane logistike koji objedinjuje funkcije analize i

optimizacije protoka materijala na čitavom nivou lanca snabdevanja. Takođe, povezuju logistički sistem sa ostalim operacionim celinama PPS-a (slika 3.3).

Kako je prikazano na slici 3.3. integrisana logistika ima dva karakteristična podskupa: logističke aktivnosti i logističke aktivnosti servisnog odziva (usluge ka kupcima). Dobra (materijali) fizički se kreću kroz distribucionni kanal uz korišćenje logističkih aktivnosti-transport, struktura postrojenja, zalihe, rukovanje materijalom, komunikacije i informacije. Nematerijalne usluge kreću se ka kupcima na svim nivoima distribucionih kanala preko logističkih aktivnosti servisnog odziva-vreme čekanja, kapacitet i isporuka. Kada logistika i servisni odziv rade u konjukciji jedno sa drugim, postaju integrisana logistika.

Globalizacija biznisa krajem dvadestog i početkom 21. veka i stvaranje svetskih trgovinskih blokova pospešilo je razvoj SCM-a. Domaći ali i globalni kompetativni distribucionni kanali zahtevaju da svi njihovi delovi pokreću dobra i usluge prema zahtevima kupaca. Da bi se uvećala vrednost prema kupcima, dobra i usluge moraju biti dostupni kada su potrebni. Firme moraju uspostaviti smislaoni tok gde dobra i usluge teku kontinualno kroz kanal. Ukoliko se isporuka zaustavi u kanalu, sistem se lomi, izazivajući dodatne troškove. Organizacije i službe koje obezbeđuju logistiku i proizvođači mogu mnogo efikasnije i efektivnije do dostignu želje kupaca formiranjem adekvatnog lanca snabdevanja. SCM nije uobičajno poslovanje! SCM je dizajniran kako bi firme totalno kontrolisale i koordinirale dobra i usluge kroz distribucione kanale. U suštini, kako bi se postiglo da SCM da svoje pune kapacitete moraju se stvarati savezi većeg broja kompanija, zasnovani na vertikalnoj diverzifikaciji.

U prethodnom tekstu je predstavljen transformacioni proces, iz ugla industrijskog menadžmenta, gde se kao ulazne veličine javljaju resursi koji transformišu i resursi koji se transformišu. I jedne i druge PPS mora da obezbedi u adekvatnoj količini, na adekvatnom nivou kvaliteta u u pravom momentu vremena.

Svakako, iako savremeni poslovni koncepti industrijskog menadžmenta sugerišu upotrebu poslovnih koncepta po principu Just in Time (JiT), gde se trebaju eliminisati zalihe bilo koje vrste, svakako je neophodno imati određeni nivo zaliha neophodnih repromaterijala, finalnih proizvoda, alata i/ili delova. Svakako, zalihe treba optimizirati u smislu eliminacije suvišnih troškova vezanog kapitala. Naime, zalihe predstavljaju određenu količinu resursa (najčešće repromaterijala, mada tu mogu spadati i poluproizvodi, nedovršena proizvodnja, kao i finalni proizvodi) privremeno idvojenog iz procesa proizvodnje. Međutim, pored svojih pozitivnih osobina, poslovanje sa zalihama ima i određene negativne osobine, kao što su: vezivanje obrtnih sredstava u resurse na zalihama koji možda i neće biti upotrebljeni u procesu proizvodnje, ukoliko se u međuvremenu pojave novi tipovi materijala ili te količine na zalihama prevazilaze potrošnju repromaterijala diktiranu potražnjom za finalnim proizvodima; zalihe zahtevaju prostor; opremu i ljudstvo za upravljanje njima; postoji mogućnost isteka roka trajanja; kvarenja; oštećenja ili krađe materijala na zalihama.

Prema tome, imajući u vidu pozitivne i negativne osobine poslovanja sa zalihama, PPS treba da se odluči o modelu kojim će upravljati zalihama. Teoretski, ukoliko bi se preduzeće opredelilo da posluje bez zaliha bilo koje vrste, tu bi se radilo o poslovanju po JiT principu. Kod ovog načina poslovanja, proizvodnje se odvija samo kada krajnji korisnik naruči određenu količinu finalnih proizvoda. Tada se, upravo za tu količinu finalnih proizvoda naručuje neophodna količina svih repromaterijala od dobavljača i nakon prispeća iste, inicira se proces proizvodnje. Samim time, u teoriji, nebi trebalo da postoje zalihe repromaterijala jer se one naručuju tek prema potrebi. Nema zaliha nedovršene proizvodnje jer se obično rade manje proizvodne serije prema narudžbini i nema

zaliha finalnih proizvoda jer se oni isporučuju odmah nakon što su završeni. Ovakav način iniciranja proizvodnje, prema narudžbini krajnjih korisnika se u stranoj literaturi naziva „pull“ sistem proizvodnje. Razlog za to je u činjenici da se zapravo resursi „povlače“ kroz proces proizvodnje, prema narudžbini sa kraja transformacionog procesa (od strane kupca finalnih proizvoda). Ukoliko bi se poslovalo u potpunosti na napred naveden način, bez zaliha bilo koje vrste, to je takozvani JiT koncept po principu „sinhronizovane“ proizvodnje. Ipak, da bi ovakav sistem mogao da funkcioniše samo ukoliko svi akteri u u logističkom sistemu (slika 3.2), posluju prema JiT principu – sinhronizovane proizvodnje, što je moguće samo u visokorazvijenim ekonomijama sa visokim nivoom organizacije tržišnog poslovanja. U slučajevima gde ovakav način organizacije nije praktično izvodljiv, ipak postoje neke manje količine zaliha repromaterijala kao i konačnih proizvoda. I tada se novi ciklus proizvodnje inicira prema narudžbini krajnjeg korisnika, pri čemu se to događa onda kada kupac kupi određeni broj finalnih proizvoda koji već postoje u skladištu ili u prodajnom salonu (dakle ipak predstavljaju zalihe finalnih proizvoda). To je signal da PPS treba da proizvede novu količinu, koja će nadomestiti tu upravo prodatu količinu finalnih proizvoda. Tada se, ponovo prema „pull“ principu, aktivira deo zaliha neophodnih repromaterijala i kreće se u proces proizvodnje. Količina repromaterijala koja se aktivira proporcionalna je neophodnoj količini za proizvodnju onog broja finalnih proizvoda koji je identičan prodatoj količini. U ranijim godinama nastanka ovakvog koncepta JiT proizvodnje, aktivacija količine repromaterijala, kao i aktivacija samog procesa proizvodnje, vršila se signalnim kartama koje su se nazivale „kanban“. Iz tog razloga se i čitav ovakav koncept JiT sistema naziva Kanban sistem proizvodnje.

Ukoliko se ne posluje za poznatog kupca već se proizvodnja vrši prema planu proizvodnje, tada se proces odvija na sledeći način. Odeljenje za marketing PPS-a vrši istraživanje tržišta o dugoročnim potrebama za proizvodima iz svog portfolia. Potom, te dugoročne potrebe se razlažu na srednjoročne a ove na kratkoročne, do nivoa trajanja jednog ciklusa proizvodnje. Sama proizvodnja se vrši u ciklusima i tu najčešće svaki proizvodni ciklus, na nivou plana predviđa proizvodnju identične količine finalnih proizvoda. Potom, na osnovu kratkoročnog plana – za jedan ciklus proizvodnje; ili na osnovu srednjoročnog plana – za nekoliko ciklusa proizvodnje (npr. 3 meseca – kvartal ili 6 meseca), pristupa se nabavci neophodnih resursa koji se smeštaju u ulazna skladišta repromaterijala i potom se pristupa proizvodnji prema planu. Obzirom da se ovde proizvodnja inicira nabavkom planirane količine repromaterijala, ovo je takozvani „push“ sistem proizvodnje. Naime, ovde se repromaterijal „gura“ u proces proizvodnje kako bi se proizvela unapred planirana količina finalnih proizvoda, koja će se potom ponuditi tržištu. Ovo je takođe i način poslovanja za „nepoznatog“ kupca ili proizvodnja za tržište. U stranoj literaturi ovaj vid poslovanja je prisutan kao MRP – Material requirement Planing. Svakako, i kod ovog načina poslovanja planirana količina finalnih proizvoda se može vremenom korigovati, prema rezultujućem plasmanu finalnih proizvoda na tržištu. U suštini, praktično je najčešći slučaj kombinovanja MRP i JiT koncepta planiranja neophodnih repromaterijala.

Prema tome, ukoliko se PPS opredeli za Kanban sistem ili kombinaciju Kanban sistema sa MRP-om, u svakom slučaju, određeni nivo zaliha neophodnih repromaterijala će biti potreban, pre početka procesa proizvodnje. Koliki je taj nivo, može se proceniti prema iskustvu iz prethodnih ciklusa proizvodnje, ali se takođe može i proračunavati primenom nekog od modela za upravljanje zalihama. O tome će biti reči u ovom poglavlju, gde će biti predstavljeni osnovni modeli za planiranje, praćenje i upravljanje zalihama.

Ponovo treba istaći da je problem zaliha jedan od značajnijih ekonomskih problema PPS-a, pa mu se odavno posvećuje velika pažnja i traže pogodne metode za njegovo rešavanje. Okolnost da se

u zalihama vezuje znatan deo sredstava koja su na raspolaganju preduzeću uticala je na povećanu pažnju privrednika (a samim time i istraživača iz ove oblasti) za pronalaženje načina za racionalnim upravljanjem tim sredstvima.

Kako je već rečeno, količina sirovina i materijala, polupoizvoda, odnosno gotovih proizvoda, koja se nalazi na skladištu preduzeća u posmatranom trenutku vremena predstavlja zalihe. Zalihe čine značajan deo ukupne imovine razmatranog PPS-a. To su sredstva koja su privremeno izdvojena iz neposrednog proizvodnog procesa, te su u posmatranom trenutku neaktivna i neiskorišćena. Količina zaliha u posmatranom trenutku posledica je nejednakosti u prilivu (inputu) i oticanju (outputu) odgovarajućih oblika sredstava u transformacionom procesu. Na taj način se količina zaliha u određenom trenutku (Z_t) može predstaviti kao:

$$Z_t = Z_0 + \sum_{i=1}^t p_i - \sum_{i=1}^t q_i \quad (3.1)$$

Gde su: Z_0 količina zaliha na početku posmatranog intervala, p_i priliv određenih vrsta repromaterijala u i -tom razdoblju, q_i potrošnja repromaterijala u i -tom razdoblju posmatranog intervala.

Za razmatranje zaliha sa gledišta logistike prethodni opis može se sublimirati u sledećim elementima:

- zalihe predstavljaju privremeno izdvojena sredstva sa ciljem da se ona kasnije upotrebe;
- tih sredstava nema u proizvoljnim količinama;
- za tim sredstvima postoji potražnja, pa ona označavaju i perspektivu u budućem radu preduzeća obezbeđujući kontinualnost u radu.

U zavisnosti od mesta u procesu reprodukcije gde se javljaju zalihe, razlikujemo sledeće vrste zaliha: zalihe pre početka procesa proizvodnje (zalihe sirovina i materijala, rezervnih delova, itd), koje se još nazivaju i zalihe ulaznog tipa; zalihe u toku samog procesa proizvodnje (nedvršena proizvodnja i poluproizvodi) i zalihe na kraju procesa proizvodnje (zalihe gotovih proizvoda), koje se nazivaju i zalihe izlaznog tipa.

Svaka od ovih kategorija zaliha ima svoje specifične osobine koje se odnose na njihov značaj i ulogu u procesu transformacije, kao i probleme upravljanja dinamikom njihovog kretanja, odnosno trošenja. Dosadašnja proučavanja i iskustva ukazuju da su od primarnog značaja i kompleksnosti problemi upravljanja zalihama pre početka procesa proizvodnje, odnosno zalihe repromaterijala. Najveći broj modela za optimizaciju upravljanja zalihama su razvijeni upravo za ovu kategoriju zaliha, s tim što se uz odgovarajuća prilagođavanja, na isti način i istim modelima može upravljati i ostalim oblicima zaliha. Pored toga, sličnim modelima se može proračunavati i optimalna količina proizvoda u jednoj proizvodnoj seriji, samo što se u ovom slučaju na račun smanjenja količine repromaterijala u toku vremena, javlja rast količine finalnih proizvoda. Obzirom da proračun optimalne količine proizvoda u proizvodnoj seriji nije deo ovog kursa, detaljniji opis ovog fenomena, dat je u literaturi.

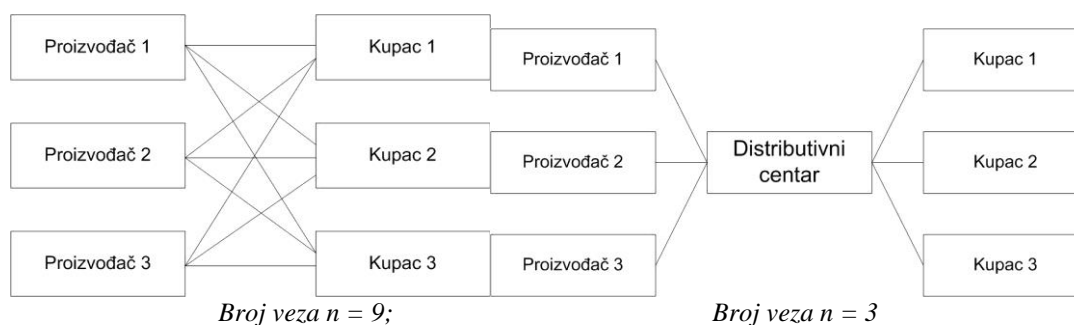
Obzirom da zalihe predstavljaju određenu, često veliku, količinu materijalnih resursa; za njihov smeštaj je neophodno obezbediti određeni prostor. Prema tome, zalihe svih vrsta najčešće se nalaze u skladištima.

Prema nameni razlikujemo skladišta ulaznog tipa, u koja se smeštaju neophodni repromaterijali i skladišta izlaznog tipa, u koja se smeštaju finalni proizvodi. Zalihe nedovršene proizvodnje, kao i određeni poluproizvodi, koje je neophodno smeštati u prostor tokom određenih faza proizvodnje, smeštaju se u skladišta ulazno-izlaznog tipa.

Pored ove podele, u opštem slučaju razlikuju se dva osnovna tipa skladišta u složenom sistemu PPS-a:

- Proizvodna skladišta, u kojima se smeštaju proizvodne zalihe koje se koriste za sopstvenu proizvodnju i njih čine ulazni repromaterijal, sirovine, poluproizvodi, energenti i dr. Samim time, može se reći da su proizvodna skladišta, zapravo skladišta ulaznog tipa.

- Distributivna skladišta (ili distributivni centri), u koja se smeštaju takozvane tržišne zalihe. U tržišne zalihe se ubrajaju u koje se ubrajaju finalni proizvodi i rezervni delovi i one su namenjene krajnjim potrošačima. Ove zalihe se mogu direktno isporučivati iz PPS-a ili preko distributivnih skladišta/centara. Razlika distributivnog skladišta i distributivnog centra je u tome što distributivni centar ne mora istovremeno biti i skladište. Naime, tu je samo moguće sakupiti robu većeg broja proizvođača, izvršiti njeno prepakivanje prema porudžbinama krajnjih kupaca i izvršiti distribuciju samih porudžbina. U stranoj literaturi to su takozvani centri za „cross docking“. Značaj i smisao distributivnog centra uočava se na slici 3.4.



Slika 3.4. Poslovanje (a) uz i (b) bez korišćenje distributivnog centra [2]

Za razliku od distributivnog centra, u distributivnim skladištima je i fizički smeštena roba - proizvodi od različitih proizvođača, koja je namenjena brojnim kupcima. Za razliku od distributivnih centara, gde nema dužeg zadržavanja robe, u distributivnim skladištima roba se može zadržavati izvesni period vremena, jer su za to obezbeđeni neophodni uslovi.

Ovde je data navedene klasifikacija skladišta, kako bi preko nje bila jasnija razlika između osnovnih vrsta zaliha:

- zalihe pre početka procesa proizvodnje (zalihe sirovina i materijala, rezervnih delova, itd), koje se još nazivaju i zalihe ulaznog tipa;
- zalihe u toku samog procesa proizvodnje (nedvršena proizvodnja i poluproizvodi na kojima se odvijaju radne operacije);
- zalihe na kraju procesa proizvodnje (zalihe gotovih proizvoda), koje se nazivaju i zalihe izlaznog tipa.

Kako je već rečeno, postovanje zaliha ima svoje prednosti ali i nedostatke. U tom smislu, njihovo postojanje je poželjno radi obezbeđenja neprekidnog odvijanja proizvodnog procesa. Ukoliko je količina materijala na zalihama veća, utoliko je veća verovatnoća da neće doći do prekida procesa proizvodnje zbog nedostatka materijala. Međutim, skladištenje velikih količina materijala i njihovo duže zadržavanje u skladištu izaziva povećanje ukupnih troškova proizvodnje što se nepovoljno odražava na cenu koštanja finalnog proizvoda. Zato se obično postavlja pitanje: koja je to količina materijala koju treba nabaviti, a zatim držati na skladištu da bi se obezbedilo neometano odvijanje proizvodnog procesa, ali uz najniže troškove? Odgovor na ovo pitanje se

dobija pronalaženjem optimalne količine materijala (optimalna veličina zaliha), koja se definiše primenom nekog od modela za upravljanje zalihama. U svakom slučaju, optimalna količina zaliha se zasniva na analizi troškova koji rezultuju držanjem određene količine materijala u skladištima.

3.1. Neki od modela za optimizaciju zaliha

Sumirajući sve napred rečeno, može se zaključiti da formiranje matematičkih modela pomoću kojih će se odrediti optimalne količine zaliha PPS-a, zahteva istovremeno razmatranje i obuhvatanje brojnih faktora koji utiču na veličinu zaliha. Samim time, može se reći da selekcija optimalnog nivoa zaliha spada u klasu višekriterijumske analize. Sami kriterijumi, odnosno faktori, koji su značajni za odlučivanje o nivou zaliha PPS-a, se mogu svrstati u dve osnovne grupe elemenata, koje sadrže dodatne podelemente:

3.1.1. Pre svega to su elementi koji se odnose na uslove snabdevanja i troškove vezane za formiranje i držanje zaliha

Uslovi snabdevanja odnose se, pre svega, na vreme isporuke. Ono obuhvata vreme koje protekne od trenutka naručivanja do trenutka prijama materijala u skladišta preduzeća. Što je kraće vreme nabavke, odnosno vreme isporuke, manja će biti količina materijala koju treba držati na zalihama i obrnuto.

Kod određivanja optimalne veličine zaliha troškovima pripada značajno mesto. Uostalom, kod problema zaliha optimalno je ono rešenje koje obezbeđuje nesmetano odvijanje procesa proizvodnje uz minimalne troškove stvaranja i držanja zaliha, pa je jedna od funkcija troškova i da jasno pokaže prednost odabranog rešenja u odnosu na sva ostala rešenja. Ovo nije slučajno, naime, kako je već rečeno, obzirom da su PPS kompleksni sistemi u kojima se javljaju ulazne i izlazne promenjive različite vrste, univerzalni imenitelj koji ih sve može obuhvatiti je novac – odnosno troškovi. Iz tog razloga se veličina optimizacionih modela upravo razvija u funkciji troškova, pa je tako i kod modela optimizacije zaliha PPS-a.

Prema tome, da bi se utvrdila optimalna količina materijala na zalihama potrebno je ispitati ponašanje troškova vezanih za obezbeđivanje i čuvanje materijala. Osnovni troškovi ove kategorije obuhvataju:

- troškove nabavke repromaterijala koji mogu biti troškovi redovne nabavke i troškovi hitne nabavke;
- troškove skladištenja;
- troškove usled nedostatka repromaterijala.

Troškovi redovne nabavke (troškovi naručivanja) su troškovi koji nastaju prilikom redovne nabavke materijala (troškovi pribavljanja obaveštenja o dobavljačima materijala, troškovi sprovođenja nabavke – odnosno javne nabavke kod javnih preduzeća, kancelarijski troškovi, itd) i ne zavise od količine materijala u jednoj porudžbini. U nekim slučajevima ovde se kalkulišu i troškovi transporta materijala, ukoliko je ugovorom predviđen sopstveni transport a ne transport od strane isporučioaca.

Troškovi hitne nabavke (troškovi naknadnih nabavki) zaliha su troškovi koji nastaju kada se, zbog nedostatka materijala na zalihama, ubrzanom (hitnom) nabavkom obezbeđuje potrebni materijal. Ovi troškovi su po jedinici materijala znatno veći od troškova koji nastaju pri redovnim nabavkama. Razlog za to je u činjenici da je znatno skuplje vršiti transport manjim transportnim

sredstvima (odnosno vršiti česte isporuke manjih količina), nego vršenje jednokratne isporuke veće količine većim transportnim sredstvima.

Troškovi skladištenja se odnose na preuzimanje materijala (koje se odvija primenom sredstava unutrašnjeg transporta iz sredstava spoljašnjeg transporta), njegovo čuvanje i održavanje, troškovi opreme za manipulaciju materijala u skladištu, troškovi informacionih sistema za akviziciju i praćenje količine, troškovi komisioniranja i izdavanja, održavanje skladišta, kamate na novčana sredstva vezana u zalihama, troškovi osiguranja, troškovi kvarenja i rastura materijala, itd. Ovi troškovi zavise od količine i vrste materijala koja se čuva na zalihama.

Troškovi usled nedostatka materijala predstavljaju penale koje je neophodno platiti ukoliko isporuka finalnih proizvoda kasni, iz razloga nedovoljne količine repromaterijala na zalihama. Naime, ovo je veoma značajan činilac, posebno u savremenom tržišnom okruženju, gde ukoliko proizvođač nije u stanju da ispoštuje dogovorene rokove, kupac uvek može da slične proizvode potraži kod konkurencije.

Nvedenim kategorijama troškova nije obuhvaćena nabavna cena materijala jer ona ne utiče na izbor optimalne količine materijala na zalihama zato što je ukupno potrebna količina materijala poznata (strateški plan materijala).

3.1.2. Druga grupa elemenata proističe iz načina (karakteristika) trošenja zaliha

Sama potrošnja materijala sa zaliha se opisuje koeficijentom trošenja, koji predstavlja količinu potrošenog materijala u jedinici vremena. Ovaj koeficijent je još poznat i kao brzina, odnosno tempo trošenja materijala. Pri tome, logično je da nemaju sve vrste materijala isti tempo i karakteristike trošenja, kao ni značaj za proizvodnju. Na osnovu karakteristika trošenja i značaja za proizvodnju, posebno treba ukazati na dve grupe zaliha: zalihe normativnog materijala i zalihe rezervnih delova.

Normativni materijali se troše u procesu proizvodnje prema normativima koji su određeni po jedinici proizvoda. Osnovne karakteristike trošenja ove vrste materijala mogu se svrstati na sledeći način: troše se u velikim količinama, pa često angažuju znatna obrtna sredstva, normirani su po jedinici proizvoda te se njihova ukupna potrošnja može unapred odrediti za planirani obim proizvodnje i za određeni period vremena, ukoliko preduzeće posluje prema MRP principu; zbog ovakvog načina potrošnje relativno je jednostavno određivanje njihovih optimalnih veličina; zbog velikih količina koje se troše, te samim time i relativno mala smanjenja količine koja će se držati na zalihama mogu predstavljati znatne efekte u smanjenju iznosa angažovanih obrtnih sredstava u zalihama.

Za ovu grupu materijala formiraju se, takozvani deterministički modeli zaliha.

Rezervni delovi imaju drugačiju ulogu za proces proizvodnje i drugačije karakteristike trošenja. Savremena proizvodnja sve više nabavlja i koristi visokoproduktivnu opremu. Veoma često se radi o opremi koja omogućava prelazak na automatizovani oblik proizvodnje. Zbog toga i kraći zastoji u funkcionisanju te opreme mogu izazvati visoke troškove usled prekida procesa proizvodnje. Ovo, zahteva niz odgovarajućih preventivnih mera u cilju povećanja pouzdanosti ove opreme. Jedna od tih mera je i držanje određene količine potrebnih rezervnih delova na zalihama. Međutim, problem određivanja količine rezervnih delova koju treba držati na zalihama znatno je složeniji u odnosu na prethodnu grupu materijala. Problem postaje još složeniji kada se radi o uveznoj opremi jer su onda rokovi nabavke rezervnih delova dugi, čak i kada se radi o redovnom snabdevanju.

Osnovne karakteristike držanja i trošenja rezervnih delova su u sledećem: oni su veoma značajni za pouzdanost rada opreme; njihova potrošnja nije unapred poznata i stohastičke je prirode; dugo

stoje na zaliham a te je koeficijent obrta sredstava angažovanih u njih uvek nizak; ukoliko se ne utroše u toku eksploatacije opreme, preostale zalihe često postaju nepotrebne; često se radi o skupim rezervnim delovima.

Za optimizaciju nabavke rezervnih delova, koriste se takozvani stohastički modeli zaliha.

Prema navedenim faktorima koji utiču na proračun optimalnog nivoa zaliha, a koji zavise od većeg broja podfaktora, jasno je da višekriterijumski problem optimizacije zaliha metodološki nije mogao biti rešen formiranjem jednog modela koji bi bio univerzalan i pogodna za sve slučajeve. Naprotiv, za svaki PPS i dalje, za svaku vrstu proizvoda PPS-a, koji opravdava optimizaciju (kao što su npr. proizvodi klasifikovani u grupu A, nakon ABC analize) formira se zaseban model za proračun optimalnog nivoa zaliha. U okviru tipova modela zaliha – prema karakteru trošenja materijala, kako je već rečeno, razlikuju se deterministički i stohastički modeli. U daljem tekstu biće predstavljeni osnovni tipovi determinističkih i stohastičkih modela zaliha, koji se javljaju u savremenoj literaturi iz oblasti industrijskog menadžmenta, upravljanja proizvodnjom i industrijske logistike. nakon predstavljanja samih modela, biće predstavljeni praktični primeri sa rešenjima koja su predstavljena klasičnim proračunskim putem, ali i primenom softverskog alata QM for Windows. Naravno, ovde treba napomenuti da postoje brojne softverske aplikacije koje se mogu koristiti za proračun optimalnog nivoa zaliha, ali je iz razloga dostupnosti po principu otvorenog pristupa, akademske verzije ovog softvera, ovde odabran navedeni softver.

3.2. Deterministički modeli zaliha

Kako je već napomenuto u prethodnom tekstu, ukoliko je ponašanja sistema predvidivo, odnosno podložno opisivanju modelom koji u određenom periodu vremena može da predvidi odziv sistema, za dovedene poznate ulazne veličine, takvi sistemi se nazivaju deterministički. Obzirom da u procesu proizvodnje, svaki segment transformacionog procesa podleže uticaju velikog broja promenljivih, kao i dinamičkom uticaju okruženja, teško je moguće ovakve sisteme smatrati potpuno determinističkim. Ipak, ukoliko se izvrše određene aproksimacije i pojednostavljenja, zalihe normativnih materijala se mogu posmatrati kao determinističke, za uslove poslovanja prema MRP principima. Na taj način, u daljem tekstu će biti predstavljeni modeli zaliha, koji se u savremenoj literaturi iz oblasti operativnog menadžmenta, smatraju determinističkim. U tu grupaciju spadaju sledeći modeli za optimizaciju zaliha:

- Model kada hitne nabavke nisu dozvoljene;
- Model kada hitne nabavke nisu dozvoljene - specijalni slučaj;
- Model kada su hitne nabavke dozvoljene;
- Model koji obuhvata cenu materijala;
- Model sa promenjivom cenom materijala.

U daljem tekstu biće obrađeni samo neki od osnovnih determinističkih modela zaliha: Modela kada hitne nabavke nisu dozvoljene i Model kada hitne nabavke nisu dozvoljene – specijalni slučaj.

a) Model kada hitne nabavke nisu dozvoljene

Pre svega je potrebno reći da je ovo osnovni model za predstavljanje zaliha, iz koga su potom razvijeni svi ostali deterministički optimizacioni modeli. Samim time, sam model koji se

predstavlja ovim principom kada hitne nabavke nisu dozvoljene, ima svoj teorijski značaj jer se preko njega mogu spoznati odnosi osnovnih troškovnih veličina koje utiču na obim planiranih zaliha. Pri tome, ovakav vid planiranja zaliha nema direktnu praktičnu primenu jer se vrši dosta aproksimacija. Ipak, ostali deterministički modeli, koji rezultuju iz ovog polaznog, imaju veliku praktičnu primenu.

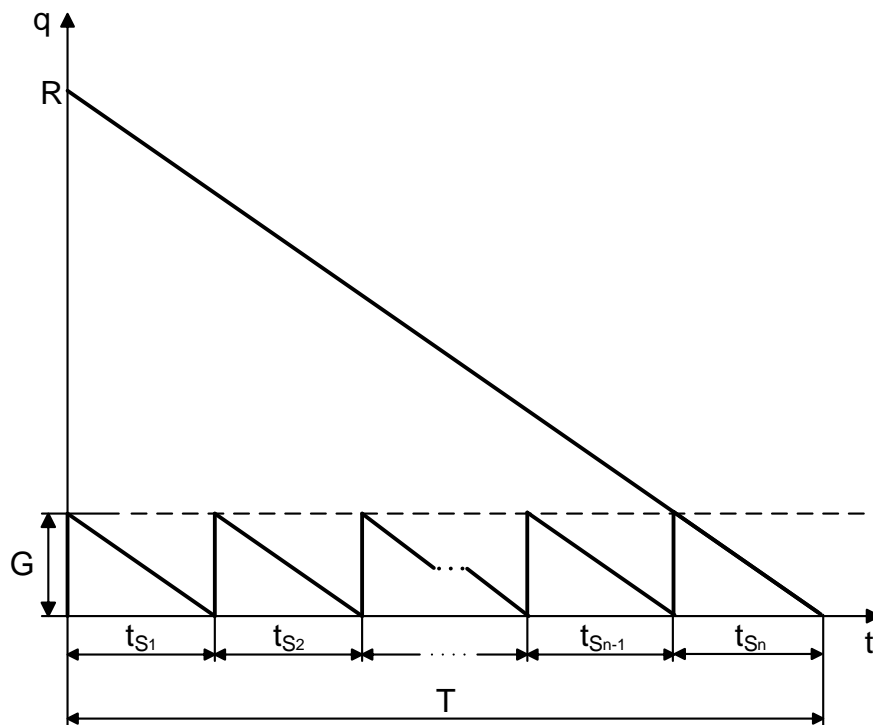
Prema tome, da bi se razumeli osnovni elementi od značaja kod optimizacije zaliha, i njihova međusobna povezanost, najpre će biti razmatran slučaj konstantne potrošnje materijala M , pri čemu nisu dozvoljene hitne nabavke. Vremenski interval planiranja zaliha može biti na nivou godišnjeg plana, na nivou polugodišta ili kvartali, pa sve do nivoa trajanja jednog ciklusa proizvodnje, koji zavisi od tipa proizvoda može biti i kraći od mesec dana. Naravno, tu treba imati u vidu da PPS prave svoje strategijske planove nabavke repromaterijala za dugoročne vremenske periode, na osnovu analize tržišta potražnje za finalnim proizvodima, a potom te planove svode na kratkoročni – operativni nivo, u cilju realne nabavke repromaterijala.

Prema tome, za potrebe predstavljanja ovog osnovnog modela zaliha, za vremenski interval dugoročnog plana proizvodnje i nabavke, biće usvojena jedna godina i ovaj interval će biti obeležen simbolom T . Količina materijala koja se nabavlja i smešta na zalihamu biće predstavljena na ordinantnoj osu (simbol q koji potiče od engleske reči quantity), dok će vremenski tok biće predstavljen na apscisi (slika 3.5). Kod ovog modela, usvaja se da tada je: $t_1 = t_2 = \dots t_i \dots = t_n = t_s$. Odnosno:

$$T = n \cdot t_s.$$

Gde su:

n – broj perioda nabavke neophodne količine materijala u toku intervala T ,
 t_s – vreme trajanja jednog perioda nabavke.



Slika 3.5. Model kod kojeg hitne nabavke nisu dozvoljene

Kako je već rečeno, optimizacija nivoa zaliha biće izvršena u funkciji ukupnoih troškova poslovanja sa zalihama. Prema tome potrebno je razviti jednačinu ukupnih troškova u funkciji veličine narudžbine, odnosno količine materijala koja se naručuje u jednoj narudžbini. Sama funkciju troškova biće označena simbolom F . Takođe, biće usvojeno da je nezavisna promenljiva u jednačini modela, odnosno nepoznata veličina, upravo optimalna količina materijala koju treba naručiti u jednoj narudžbini (G). Onzirom na linearnost promene količine materijala na zalihama, u toku svakog perioda vremena t_s (slika 3.5), može se tvrditi da je prosečna količina zaliha materijala u svakom periodu vremena dužine t_s upravo:

$$\frac{1}{2} \cdot G \quad (3.2)$$

Uzimajući u obzir sva gore navedena ograničenja, troškovi svake porudžbine se mogu predstaviti kao:

$$f = C_0 + \frac{1}{2} \cdot G \cdot C_1 \cdot t_s \quad (3.3)$$

U navedenoj jednačini predstavljena je zavisnost sledećih faktora:

C_0 – troškovi redovne nabavke materijala po jednoj porudžbini. Ovi troškovi obuhvataju cenu poslova koji se pojavljuju pri pripremi i realizaciji svake pojednačne porudžbine, i tu spadaju: troškovi pripreme dokumentacije za nabavku; kontakt sa potencijalnim dobavljačima; izbor dobavljača i sl. Ovde takođe mogu da se uvrste i troškovi usled: utovara; prevoza; istovara i primarnog smeštaja materijala u skladištu. Ovi troškovi imaju karakter fiksnih troškova u odnosu na količinu materijala koji se nalazi u jednoj porudžbini.

C_1 – troškovi skladištenja po jedni materijala koji se nabavlja, u toku jedinice vremena, i odnose se na sve poslove vezane za čuvanje materijala u skladištu. U te troškove spadaju, na primer: troškovi zakupa ili izgradnje neophodnog skladišnog prostora; troškovi eksploatacije i amortizacije opreme; troškovi radne snage u skladištu; troškovi kamata usled zamrzavanja sredstava u zalihama materijala (ukoliko su sredstava uzeta kreditom) i dr.

Prema tome, ukupni troškovi svih porudžbina u toku n intervala od jediničnih perioda t_s , za ukupni period T su:

$$F(G) = (C_0 + \frac{1}{2} \cdot G \cdot C_1 \cdot t_s) \cdot n \quad (3.4)$$

Prema karakteru potrošnje repromaterijala, predstavljenom na slici 3.5, može se reći da je $n = \frac{T}{t_s} = \frac{R}{G}$. Pri tome, vrednost R predstavlja ukupnu količinu repromaterijala koju PPS planira da nabavi u toku vremenskog intervala T , preko više manjih jediničnih nabavki sa količinama G (slika 20). Samim time, zamenom u gornjoj jednačini se dobija:

$$F(G) = (C_0 + \frac{1}{2} \cdot G \cdot C_1 \cdot t_s) \cdot \frac{R}{G} \quad (3.5)$$

Odnosno:

$$F(G) = (C_0 + \frac{1}{2} \cdot G \cdot C_1 \cdot \frac{T}{R} \cdot G) \cdot \frac{R}{G} \quad (3.6)$$

Što nakon sredjivanja daje jednačinu:

$$F(G) = C_0 \cdot \frac{R}{G} + \frac{1}{2} G \cdot C_1 \cdot T \quad (3.7)$$

Funkcija troškova (3.7) je formirana iz dve grupe troškova koji se po jedinici materijala ponašaju prema različitim matematičkim zakonitostima. Naime, prvi član u jednačini (3.7) predstavlja troškove nabavke po jednoj porudžbini, koji se eksponencijalno smanjuju ukoliko se količina materijala po jednoj porudžbini (G) povećava, što je uočljivo iz prvog člana funkcije koji će biti označen sa $F_1(G)$, tj:

$$F_1(G) = C_0 \frac{R}{G} \quad (3.8)$$

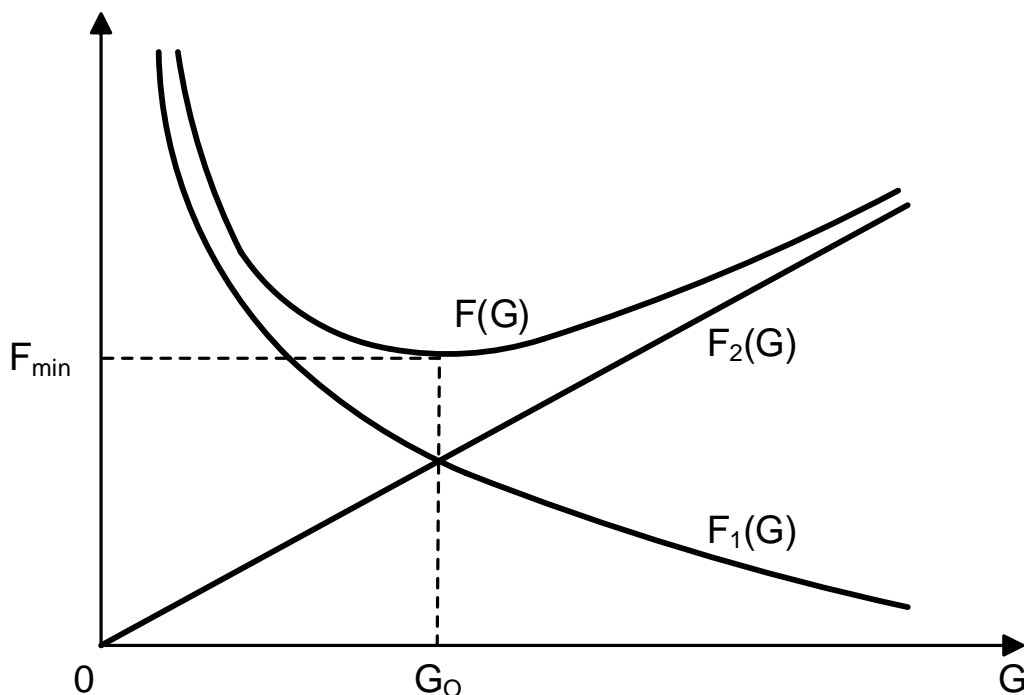
Drugi član funkcije (3.7), predstavlja troškovi skladištenja po jednoj porudžbini i oni se linearno povećavaju sa povećanjem količine materijala (odnosno vrednosti G). Ovaj član će biti označen sa $F_2(G)$, te je:

$$F_2(G) = \frac{1}{2} G \cdot C_1 \cdot T \quad (3.9)$$

Prema tome, očigledno je da je funkcija $F(G)$, sastavljena od dve funkcije, jedne eksponencijalno opadajuće i jedne linearno rastuće, koje u zbiru čine funkciju $F(G)$ a u preseku daju minimum funkcije $F(G)$:

$$F(G) = F_1(G) + F_2(G) \quad (3.10)$$

Ukoliko se gornje izlaganje predstavi grafički, dobija se grafik dat na slici 3.6.



Slika 3.6. Ukupni troškovi prema modelu zaliha gde hitne nabavke nisu dozvoljene

Ukoliko se uzme u obzir da su veličine u jednačini (3.7) C_o , C_i , R i T konstante koje zavise od strategijakog plana poslovanja PPS-a, koji se potom operacionalizuje, može se reći da su ukupni troškovi zavisni samo od jedne nezavisne promenljive, odnosno nepoznate, a to je optimalne količine materijala (G). Obzirom da je već rečeno, da se optimum modela nalazi tamo gde su troškovi poslovanja minimalni, potrebno je pronaći minimum funkcije (3.7), po promenljivoj G , što se dobija na sledeći način:

$$\frac{\partial F(G)}{\partial G} = -C_o \frac{R}{G^2} + \frac{1}{2} C_1 T = 0 \quad (3.11)$$

odakle je optimalna količina materijala koju treba naručiti u jednoj porudžbini:

$$G_0 = \sqrt{\frac{2C_o R}{C_1 T}} \quad (3.12)$$

Prema tome, količina materijala koja bi se nabavljala u svakoj pojedinačnoj porudžbini, predstavljena jednačinom (3.12) obezbeđuje minimalne troškove. Sama vrednost minimalnih troškova se dobijaju kada se vrednost za G_0 , prema jednačini (4.12) zameni u (3.7), odnosno:

$$F_{\min} = F(G_0) = C_o \cdot \frac{R}{\sqrt{\frac{2C_o R}{C_1 T}}} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2C_o R}{C_1 T}} C_1 T = C_o \cdot R \frac{\sqrt{C_1 T}}{\sqrt{2C_o R}} + \frac{C_1 T}{2} \sqrt{\frac{2C_o R}{C_1 T}} =$$

$$\begin{aligned}
&= C_o \cdot R \frac{\sqrt{2C_o R C_1 T}}{2C_o R} + \frac{C_1 T}{2} \sqrt{\frac{2C_o R}{C_1 T}} = \frac{\sqrt{2C_o R C_1 T}}{2} + \frac{C_1 T}{2} \frac{\sqrt{2C_o R C_1 T}}{C_1 T} = \\
&= \sqrt{2C_o R C_1 T} \quad (3.13)
\end{aligned}$$

S druge strane, optimalni nivo materijala, koji treba naručiti u jednoj porudžbini, može se odrediti i primenom tzv. grafične metode. Naime, prema grafičkoj zavisnosti predstavljenoj slikom 3.6, najmanji ukupni troškovi mogu se postići samo ako su troškovi nabavke jednaki troškovima skladištenja. Ova tačka se nalazi tamo gde se grafične zavisnosti $F_1(G)$ i $F_2(G)$ seku, odnosno ukoliko je:

$$F_1(G) = F_2(G) \quad (3.14)$$

Na taj način se optimalna količina materijala i minimalni troškovi mogu dobiti izjednačavanjem funkcija $F_1(G) = F_2(G)$, pri čemu je:

$$C_o \frac{R}{G} = \frac{1}{2} G \cdot C_1 \cdot T, \text{ ukoliko se leva i desna stranu jednačine pomnoži sa } G, \text{ sledi:}$$

$$C_o \cdot R = \frac{1}{2} G^2 C_1 T, \text{ odakle je:}$$

$$G_o = \sqrt{\frac{2C_o R}{C_1 T}}, \text{ što je identično izrazu (3.12), dobijenom određivanjem ekstrema funkcije (3.7).}$$

U daljem tekstu će biti predstavljen par primera u kojima je primenjen ovaj vid modelovanja zaliha. Cilj navdenih primera je da se predstavi potencijalna praktična primena napred izvedenih jednačina modela, u cilju optimizacija zaliha PPS-a.

a1) Model zaliha kada hitne nabavke nisu dozvoljene - specijalni slučaj

Kao specijalni slučaj modela zaliha gde hitne nabavke nisu dozvoljene, može se posmatrati model u kojem se pored ukupnog - dugoročnog - zahteva za materijalom (R) u obzir uzima i dnevna potreba za datim materijalom (dnevna potrošnja - d) ali i dnevno nabavljena ili proizvedena količina materijala (p).

Kod ovog modela, pripremni troškovi porudžbine se računaju kao:

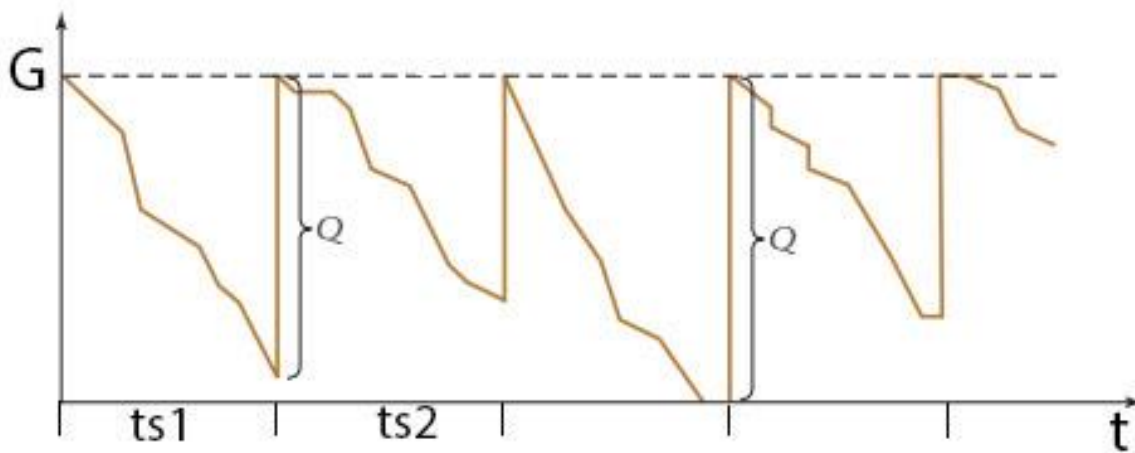
$$F_1(G) = \frac{R}{G} \cdot C_o, \text{ dakle isto kao i kod klasičnog modela gde hitne nabavke nisu dozvoljene.}$$

Troškovi skladištenja se računaju kao:

$$F_2(G) = \frac{G}{2} \cdot \left(\frac{p-d}{p} \right) \cdot C_1 \quad (3.8)$$

Ekstremni slučajevi se javljaju kada je $d = 0$, jer u tom danu nema potrošnje, odnosno sva količina nabavljenog materijala odlazi na zalihe; kao i u slučaju $p = d$, kada se sva nabavljena količina u tom danu i upotrebi, te tada nema zaliha (što je slučaj kod sinhronizovane proizvodnje).

Kod ovog modela se javlja koeficijent $\frac{p-d}{p}$, koj se može posmatrati kao koeficijent uskladištenja. On se kreće u gubicima od 0 do 1. Sama činjenica da ovaj koeficijent utiče na nelinearnost troškova skladištenja, usled nejednake količine materijala koji se doprema na skladište u posmatranim vremenskim intervalima, dovodi do toga da i količine materijala na zalihama nisu linearna funkcija:



Slika 3.7. Uticaj koeficijenta uskladištenja na nelinearnost promena nivoa zaliha

Kod ovog modela zaliha, optimalni nivo se izračunava putem obrasca:

$$G_0 = \sqrt{\frac{2RC_0}{C_1} \left(\frac{p}{p-d} \right)} \quad (3.9)$$