

"Efekt biča" u lancima opskrbe

Jakopić, Katarina

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:352944>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-27**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Katarina Jakopić

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Goran Đukić

Studentica:

Katarina Jakopić

Zagreb, 2021.

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

Zahvaljujem mentoru, prof. dr. sc. Goranu Đukiću, na pruženom znanju kroz studij te stručnoj pomoći i savjetima tijekom izrade ovog rada.

Posebno zahvaljujem svojoj majci na bezgraničnoj podršci koju mi je pružala tijekom izrade ovog rada i mojeg obrazovanja. Mutti, bez tebe ovo ne bi bilo moguće!

Tata, tvoje riječi ohrabrenja još uvijek pamtim. Znam da bi bio ponosan na mene!

Katarina Jakopić



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: KATARINA JAKOPIĆ Mat. br.: 0035201252

Naslov rada na hrvatskom jeziku: "Efekt biča" u lancima opskrbe

Naslov rada na engleskom jeziku: "Bullwhip effect" in Supply Chains

Opis zadatka:

Uslijed i samo manjih promjena u potražnji na strani krajnjih potrošača u lancima opskrbe događaju se ponekad i ekstremne promjene u količini zaliha i potražnji uzvodno u opskrbnom lancu. Takva pojava nazvana je "efekt biča". S ciljem smanjivanja negativnih efekata, potrebno je razumijevanje uzroka pojave, kao i načina smanjivanja njenih negativnih posljedica.

U radu je potrebno:

- opisati pojam i pojavu "efekta biča" u lancima opskrbe,
- temeljem izvora objasniti uzroke pojave "efekta biča",
- za odabrani primjer provesti simulacije pojave "efekta biča" u različitim situacijama,
- temeljem izvora objasniti načine smanjivanja negativnih posljedica "efekta biča".

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


Zadatak zadan:
12. studenog 2020.

Rok predaje rada:
14. siječnja 2021.

Predviđeni datum obrane:
18. siječnja do 22. siječnja 2021.


Zadatak zadao:

prof. dr. sc. Goran Đukić


Predsjednica Povjerenstva:
prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

| | |
|---|------|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | III |
| POPIS TABLICA..... | IV |
| POPIS OZNAKA | V |
| POPIS KRATICA | VII |
| SAŽETAK..... | VIII |
| SUMMARY | IX |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. EFEKT BIČA | 5 |
| 2.1. Efekt biča u industrijama | 8 |
| 2.2. Posljedice efekta biča..... | 9 |
| 3. UZROCI NASTANKA EFEKTA BIČA | 11 |
| 3.1. Struktura i procesi u lancu opskrbe..... | 12 |
| 3.1.1. Ažuriranje predviđanja potražnje..... | 12 |
| 3.1.2. Ciklus naručivanja..... | 13 |
| 3.1.3. Variranje cijena | 14 |
| 3.1.4. Racioniranje i špekuliranje..... | 15 |
| 3.2. Kašnjenje materijala i informacija | 16 |
| 3.3. Varijabilnost opskrbe | 16 |
| 3.3.1. Pouzdanost strojeva i kvaliteta proizvodnje..... | 17 |
| 3.3.2. Kapacitet i razgranatost lanca opskrbe..... | 17 |
| 3.4. Bihevioralni utjecaj | 18 |
| 4. ILUSTRACIJA EFEKTA BIČA | 19 |
| 4.1. Beer Game..... | 19 |
| 4.2. Simulacijski model..... | 20 |
| 4.2.1. Jednadžbe modela | 20 |
| 4.2.2. Politika nabave..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 4.3. Simulacija..... | 24 |
| 4.3.1. Primjer s varijacijom potražnje tržišta | 26 |
| 4.3.2. Primjer s povećanjem potražnje na tržištu | 28 |
| 4.3.3. Usporedba grafova | 31 |
| 4.4. Mjera efekta biča..... | 34 |
| 5. NAČINI SMANJENJA EFEKTA BIČA I POPRATNIH NEGATIVNIH POSLJEDICA | 37 |
| 5.1. Razvoj suradnje i jačanje povjerenja | 37 |
| 5.1.1. VMI..... | 38 |
| 5.1.2. CPFR..... | 40 |
| 5.1.3. Usporedba učinka VMI i CPFR sustava u lancu opskrbe..... | 43 |
| 5.2. Predviđanje potražnje i izbjegavanje višestrukih ažuriranja potražnje | 45 |
| 5.2.1. Metode predviđanja potražnje..... | 45 |
| 5.2.2. Utjecaj metoda predviđanja na efekt biča | 46 |
| 5.3. Smanjenje količine i povećanje učestalosti narudžbi..... | 47 |
| 5.3.1. Strategija nabave | 48 |
| 5.3.2. Model ekonomske količine narudžbi..... | 49 |
| 5.3.3. Pružatelji logističkih usluga treće strane..... | 51 |
| 5.4. Stabilizacija cijena i eliminiranje špekulacija..... | 51 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 54 |
| LITERATURA..... | 56 |
| PRILOZI..... | 59 |

POPIS SLIKA

| | | |
|-----------|--|----|
| Slika 1. | Protok informacija i robe u lancu opskrbe | 5 |
| Slika 2. | Povećanje varijabilnosti potražnje u lancu opskrbe [2]..... | 6 |
| Slika 3. | Prikaz efekta biča i obrnutog efekta biča [3]..... | 7 |
| Slika 4. | Umbrella pattern pojava u lancu opskrbe [3] | 8 |
| Slika 5. | Uzroci nastanka efekta biča..... | 11 |
| Slika 6. | Odnos varijabilnosti narudžbi i potražnje [2]..... | 13 |
| Slika 7. | Efekt biča zbog sezonalnosti prodaje [2] | 15 |
| Slika 8. | Struktura proizvodno-distribucijskog sustava u Beer Game modelu [11] | 19 |
| Slika 9. | Varijabilna potražnja tržišta | 26 |
| Slika 10. | Povećanje potražnje na tržištu..... | 29 |
| Slika 11. | Narudžbe pri varijaciji potražnje tržišta | 31 |
| Slika 12. | Narudžbe pri povećanju potražnje na tržištu..... | 32 |
| Slika 13. | Zalihe pri varijaciji potražnje tržišta | 33 |
| Slika 14. | Zalihe pri povećanju potražnje na tržištu | 33 |
| Slika 15. | Prikaz efekt biča pri varijaciji potražnje tržišta..... | 35 |
| Slika 16. | Prikaz efekt biča pri povećanju potražnje na tržištu..... | 36 |
| Slika 17. | Upravljanje zalihama od strane dobavljača [18] | 38 |
| Slika 18. | CPFR model [23]..... | 41 |
| Slika 19. | Strukture lanca opskrbe s VMI i CPFR sustavima..... | 43 |
| Slika 20. | EOQ model [1] | 50 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Praćenje narudžbi malotrgovca po tjednima kod varijacije potražnje | 27 |
| Tablica 2. Praćenje narudžbi veletrgovca po tjednima kod varijacije potražnje..... | 27 |
| Tablica 3. Praćenje narudžbi dobavljača po tjednima kod varijacije potražnje | 28 |
| Tablica 4. Praćenje narudžbi proizvođača po tjednima kod varijacije potražnje..... | 28 |
| Tablica 5. Praćenje narudžbi malotrgovca po tjednima kod povećanja potražnje | 29 |
| Tablica 6. Praćenje narudžbi veletrgovca po tjednima kod povećanja potražnje | 30 |
| Tablica 7. Praćenje narudžbi dobavljača po tjednima kod povećanja potražnje..... | 30 |
| Tablica 8. Praćenje narudžbi proizvođača po tjednima kod povećanja potražnje..... | 31 |
| Tablica 9. Efekt biča pri varijaciji potražnje tržišta | 35 |
| Tablica 10. Efekt biča pri povećanju potražnje na tržištu | 36 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Opis oznake |
|---------------|---|
| ASL_t | prilagodba lanca opskrbe u periodu t |
| AS_t | prilagodba zaliha u periodu t |
| BL_t | otvorene narudžbe u periodu t |
| BL_{t-1} | otvorene narudžbe u periodu $t-1$ |
| BWE | mjera efekta biča |
| D | potražnja |
| DBL_t | otvorena narudžba dobavljača u periodu t |
| $DINV$ | optimalna količina zaliha |
| DIO_t | dolazna narudžba dobavljaču u periodu t |
| DOS_t | količina robe koju isporučuje dobavljač u periodu t |
| DSL | optimalna količina robe u lancu opskrbe |
| ED_t | očekivana potražnja u periodu t |
| ED_{t-1} | očekivana potražnja u periodu $t-1$ |
| EOQ | ekonomična količina narudžbe |
| H | trošak držanja zaliha |
| INV_t | zalihe u periodu t |
| INV_{t-1} | zalihe u periodu $t-1$ |
| IO_t | dolazne narudžbe u periodu t |
| IO_{t-1} | dolazne narudžbe u periodu $t-1$ |
| IS_t | zaprimljena roba u periodu t |
| IS_{t-1} | zaprimljena roba u periodu $t-1$ |
| LT | vrijeme dobave |
| OP_t | količina robe koja se naručuje u periodu t |
| OP_{t-1} | količina robe koja se naručuje u periodu $t-1$ |
| OS_t | isporučena roba u periodu t |
| Q | sređeni izraz za optimalnu količinu zaliha i robe u lancu opskrbe |
| R | trošak naručivanja |
| SL_t | količina robe u lancu opskrbe u periodu t |

| | |
|---------------|---|
| WIS_t | roba koju je zaprimio veletrgovac u periodu t |
| WSL_t | količina robe koju ima veletrgovac u lancu opskrbe u periodu t |
| α_S | parametar prilagodbe zaliha |
| α_{SL} | parametar prilagodbe lanca opskrbe |
| β | parametar udjela lanca opskrbe kojeg član uzima u obzir pri naručivanju proizvoda |
| σ_D^2 | varijanca potražnje |
| σ_O^2 | varijanca narudžbi |
| θ | parametar koji kontrolira brzinu kojom se očekivanja ažuriraju |
| μ_D | prosječna vrijednost potražnje |
| μ_O | prosječna vrijednost narudžbe |

Napomena:

Oznake su bezdimenzijske ili im mjerna jedinica izravno ovisi o vrsti proizvoda. Npr. količina naručene robe može biti u kilogramima, metrima, litrama...

POPIS KRATICA

| Kratika | Opis |
|----------------|--|
| 3PL | <i>Third Party Logistics</i> - pružatelji logističkih usluga treće strane |
| ABC | <i>Activity-Based Costing</i> - troškovi temeljeni na aktivnostima |
| ANN | <i>Artificial Neural Network</i> - umjetna neuronska mreža |
| ARIMA | <i>Autoregressive Integrated Moving Average</i> -metoda autoregresivnog integriranog pomičnog prosjeka |
| ARMA | <i>Autoregressive Moving Average</i> -metoda autoregresivnog pomičnog prosjeka |
| CC | <i>Cloud Computing</i> -računarstvo u oblacima |
| CPFR | <i>Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment</i> -suradničko planiranje, predviđanje i popunjavanje zaliha |
| EDLP | <i>Every Day Low Prices</i> - strategija trajno niskih cijena |
| EOQ | <i>Economic Order Quantity</i> - model ekonomične količine narudžbi |
| ERP | <i>Enterprise Resource Planning</i> -planiranje poslovnih procesa |
| ES | <i>Exponential Smoothing</i> -metoda eksponencijalnog izgladivanja |
| FTL | <i>Full Truck Load</i> - prijevoz kompletnog utovara |
| LTL | <i>Less than Truck Load</i> - prijevoza tereta manjeg od cjelokupno utovarenog kamiona |
| MA | <i>Moving Average</i> -metoda pomičnih prosjeka |
| P&G | <i>Procter & Gamble</i> |
| POS | <i>Point of Sale</i> -prodajno mjesto |
| RFID | <i>Radio-Frequency Identification</i> -radiofrekvencijska identifikacija |
| RMSE | <i>Root Mean Square Error</i> - korijen srednjeg kvadratnog odstupanja |
| ROP | <i>Reorder Point</i> -točka narudžbe u kojoj se automatski kreira narudžba |
| SCM | <i>Supply Chain Management</i> -upravljanje lancem opskrbe |
| SKU | <i>Stock Keeping Unit</i> -skladišna jedinica |
| VMI | <i>Vendor Managed Inventory</i> - upravljanje zalihama od strane dobavljača |

SAŽETAK

Efekt biča je jedan od glavnih izazova u upravljanju lancem opskrbe. Radi se o pojavi u kojoj male promjene u potražnji uzrokuju oscilirajuće i povećane promjene u količinama zaliha u cijelom lancu opskrbe. Varijabilnost tržišta i otežana predviđanja nameću potrebu stvaranja zaliha. Međutim, loše predviđanje potražnje dovodi do viška zaliha koje tvrtkama stvaraju još veće troškove te ostale popratne probleme. U radu je provedena simulacija efekta biča za slučaj varijabilne potražnje tržišta i povećanja potražnje na tržištu. Također je objašnjeno što sve uzrokuje efekt biča u lancu opskrbe te kako smanjiti posljedice istog.

Ključne riječi: efekt biča, logistika, upravljanje lancem opskrbe, predviđanje potražnje, upravljanje zalihama, politika nabave

SUMMARY

The bullwhip effect is one of the main challenges occurring in supply chain management. It is a phenomenon in which slight changes in demand cause oscillating and amplified changes in inventory volumes throughout the supply chain. Market variability and difficulty in forecasting impose the need to create the inventory. Poor demand forecasting leads to excess inventory which creates even higher costs for companies, which in return lead to other accompanying problems. This thesis includes simulation of the bullwhip effect when market demand is variable and when there is an increase in demand. It is also explained which sources lead to the emergence of the bullwhip effect in the supply chain and how to mitigate the phenomenon and its consequences.

Key words: bullwhip effect, logistics, supply chain management, demand forecasting, inventory management, ordering policy

1. UVOD

Sva poduzeća, proizvodna i uslužna, karakterizira kretanje materijala i informacija kroz sve funkcije i procese njihove djelatnosti. Za protok materijala kroz operacije unutar poduzeća, kao i kroz funkcije povezane s njihovim neposrednim dobavljačem i kupcem odgovorna je logistika. S obzirom da su poduzeća međusobno povezana te se roba i proizvodi kreću kroz niz poduzeća od izvornog dobavljača do krajnjeg korisnika, pojam logistike se širi na lanac opskrbe (eng. *supply chain*) gdje je naglasak na kretanju materijala i proizvoda kroz više organizacija. Kada se govori o kretanju materijala kroz lanac opskrbe, pojam logistike se mijenja pojmom upravljanja lancem opskrbe (eng. *Supply Chain Management-SCM*). Postoje razlike u pristupu te se u literaturi mogu naći različite definicije. Negdje se govori o logistici i SCM-u kao sinonimima, a neka literatura navodi ta dva pojma kao različita. Uvriježeno mišljenje je da je SCM širi pojam od logistike. Logistika je vezana uz kretanje materijala u poduzeću, a SCM se fokusira na optimizaciju toka materijala kroz cijeli lanac opskrbe i na taj način povezuje funkcije i procese svih članova. Drugim riječima, SCM se kao strateški koncept, osim logističkim aktivnostima, bavi i planiranjem i upravljanjem aktivnostima vezanim za izbor dobavljača (eng. *sourcing*) i pretvorbu (eng. *conversion*) te koordinacijom i suradnjom sa svim članovima lanca opskrbe.

Kada se kao točka gledišta uzme jedno poduzeće unutar lanca opskrbe, sve aktivnosti ispred, kojima se ostvaruje ulaz materijala, zovu se uzvodne aktivnosti (eng. *upstream activities*), a sve aktivnosti nakon poduzeća zovu se nizvodne aktivnosti (eng. *downstream activities*). I uzvodne i nizvodne aktivnosti su podijeljene po razinama. Npr. neposredni dobavljač poduzeća je dobavljač prve razine. Dobavljač dobavljača prve razine je poduzeću dobavljač druge razine. Isto vrijedi i za korisnike i kupce. Tako poduzeće može imati korisnike prve razine, korisnike druge razine itd.

Govoreći o ciljevima logistike, odnosno ciljevima SCM-a, naglasak se stavlja na učinkovito ostvarivanje kretanja materijala. Na taj način se poboljšava zadovoljstvo kupca i razina usluge uz što manje troškove, tj. što veći profit. Međutim, to je teško postići. Za efikasno kretanje proizvoda od izvora do krajnjeg potrošača potrebno je ostvariti koordinaciju i suradnju svih članova lanca opskrbe. Nadalje, troškovi logistike su iznimno veliki te znatno variraju ovisno o djelatnostima i granama industrije te o samim logističkim aktivnostima. Prema [1] ključne logističke aktivnosti su: nabava, transport, skladištenje (uključujući i komisioniranje),

pakiranje, upravljanje zalihama, rukovanje materijalom, fizička distribucija, povratna logistika, lokacija te komunikacijski i informacijski sustavi.

Upravljanje zalihama (eng. *inventory management*), kao ključna logistička aktivnost, ima direktan utjecaj na ostvarivanje ciljeva logistike. Uloga upravljanja zalihama je određivanje nivoa zaliha s ciljem minimizacije ukupnih troškova uz osiguranje traženog nivoa usluge, tj. zadovoljenje potražnje korisnika. Zalihe su sirovine, materijali i proizvodi koji se nalaze u poduzeću te ih je potrebno skladištiti. Držanje zaliha generira troškove i teži se njihovu smanjenju, odnosno eliminaciji. Međutim, brojni su razlozi postojanja zaliha. Zalihe ublažavaju i prigušuju razne neočekivane situacije. Tako zalihe omogućuju isporuku proizvoda kada je potražnja veća od očekivane, omogućuju nabavu robe koja izlazi iz prodaje ili ju je teško pronaći te omogućuju i potpomažu sezonsku prodaju i proizvodnju. Općenito govoreći zalihe uravnotežuju ponudu i potražnju. Zahtjevi kupaca su sve složeniji i teško ih je predvidjeti. Na tržištu su dostupne razne varijante proizvoda te je njihov životni vijek kratak. To rezultira oskudnim ili nikakvim informacijama o njihovoj potražnji. U slučaju neplaniranih zahtjeva kupaca, zalihe su nužne kao ne bi došlo do gubitka kupaca, a samim time i profita. Kupci zahtijevaju brzu isporuku robe. Taj zahtjev je često nemoguće ostvariti bez postojanja zaliha jer poduzeća ne mogu proizvesti i dostaviti, odnosno nabaviti i proizvesti robu u zahtijevanom roku.

Zalihe služe i kao zaštita u slučaju neizvjesnosti i neplaniranih događaja. U slučaju kašnjenja naručene robe zbog nemogućnosti isporuke dobavljača, zalihe su ključne za odvijanje daljnjih procesa u lancu opskrbe. Ponekad se zalihe sakupljaju kako bi se osiguralo od rizika kao što su prirodne nepogode, nesreće ili štrajkovi.

Iako držanje zaliha uzrokuje troškove, zalihe mogu indirektno i smanjiti operativne troškove drugih aktivnosti i na taj način pokriti povećane troškove držanja zaliha. Radi se o ekonomiji obujma. Kod nabave većih količina materijala i sirovina dobiva se popust na količinu. Ako je trošak skladištenja veće količine robe manji od troškova nabave materijala, isplati se naručiti veću količinu robe. Kada se očekuje porast cijene proizvoda, naručivanje veće količine robe i držanje te robe na zalihama je također opravdano. Nadalje, transportni troškovi se smanjuju prijevozom većih količina. Na taj način povećanje troškova zaliha se uravnotežuje smanjenjem troškova transporta.

Upravljanje zalihama se temelji na planiranju proizvodnje te predviđanju potražnje na tržištu. Potrebno je odrediti optimalnu količinu zaliha, pratiti njihovo stanje te definirati sigurnosne

zalihe i učestalost narudžbi uz pravovremeno naručivanje kako bi se minimizirali ukupni troškovi zaliha i zadovoljila potražnja.

S upravljanjem zaliha je usko povezana i nabava (eng. *procurement*). Proces nabave je zapravo veza između poduzeća u lancu opskrbe i popratni mehanizam za koordinaciju protoka materijala i sirovina između uzvodnih i nizvodnih članova, tj. dobavljača i kupaca. Duž lanca opskrbe dijele se informacije o potražnji kupaca, a kao odgovor na to se dobiva informacija o količini proizvoda kojom dobavljači raspolažu. Zatim se pregovara o uvjetima isporuke. S aspekta jednog člana lanca opskrbe, važnost nabave se očituje kroz njezinu funkciju u osiguranju zaliha. Logistika nabave bavi se planiranjem, izvršavanjem i kontrolom toka materijala i informacija od dobavljača do poduzeća. Ako nabava nije dobro provedena, sirovine i proizvodi nisu isporučeni na vrijeme ili su isporučeni u nedovoljnoj količini, loše kvalitete i po previsokoj cijeni, a u najgorem slučaju isporuka nije ni izvršena. Glavni cilj nabave je osigurati potrebne sirovine i proizvode uz minimalne troškove zadovoljavajući kriterije kvalitete, količine i vremena dobave. U početku se nabavi nije pridavala važnost te je smatrana isključivo s aspekta administrativne uloge, tj. kupovine. Kasnije je nabava dobila na važnosti te danas ima proširenu ulogu. Tako obuhvaća operativne zadatke kao što su evaluacija i izbor dobavljača, pregovaranje o cijeni, rokovima i količini robe koja se naručuje. Strateški zadaci nabave su planiranje potreba i istraživanje tržišta nabave te upravljanje i njegovanje odnosa s dobavljačima.

Važan faktor vezan za nabavu i formiranje narudžbi te upravljanje zalihama je i procjena, odnosno predviđanje potražnje. Potražnja se može podijeliti na zavisnu i nezavisnu. [1] Nezavisna potražnja je potražnja koju određuje tržište, tj. potražnja koja se formira izvan proizvodnog procesa poduzeća. Određivanje nezavisne potražnje temelji se na metodama predviđanja (eng. *forecasting methods*). Zavisna potražnja nekog proizvoda, kako naziv i sugerira, ovisi o potražnji nekog drugog proizvoda. Određivanje zavisne potražnje temelji se na glavnom planu proizvodnje (eng. *Master Schedule*) i sastavnicama materijala. Ovaj rad se fokusira na nezavisnu potražnju i nabavu te popratne pojave vezane uz to.

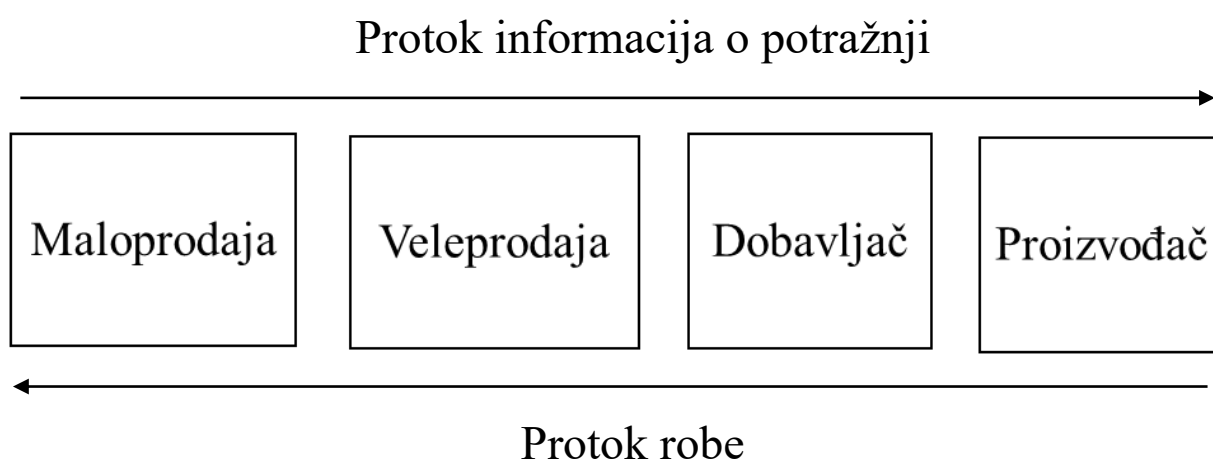
Najnoviji trendovi u razvoju logistike i SCM-a teže optimizaciji svih logističkih aktivnosti i ostvarivanju logističkih ciljeva. Kako bi se eliminirali gubici u operacijama unutar lanca opskrbe te se postigao efikasniji tijek materijala s manje troškova nabave i uz manje zaliha, razvijen je koncept vitke logistike (eng. *lean logistics*). Nadalje, fleksibilnost logistike i prilagodba konstantnim promjenama zahtjeva korisnika postiže se primjenom agilne logistike (eng. *agile logistics*). S ciljem poboljšanja suradnje i kooperacije svih članova lanca opskrbe

razvijena je integrirana (integralna) logistika (eng. *integrated logistics*). Iako su ti koncepti i pristupi detaljno razvijeni i istraživani, njihova implementacija je zahtjevna i iziskuje puno vremena.

Lanci opskrbe su izrazito kompleksni i razgranati sustavi što otežava SCM. Različiti članovi lanca opskrbe imaju svoje ciljeve koje teže ostvariti. Ciljevi članova lanca opskrbe su često u međusobnom konfliktu i u suprotnosti s ciljevima cijelog lanca opskrbe. Nadalje, zbog svoje dinamičnosti lanci opskrbe su podložni konstantnim promjenama. Globalizacija je dovela do širenja tržišta i povećanja konkurencije. Povećana dostupnost različitih proizvoda dovela je i do povećanja zahtjeva korisnika. To rezultira povećanjem ukupnih troškova, pogotovo ako poduzeća nemaju potrebnu tehnologiju za ispuniti zahtjeve ili je ta tehnologija zastarjela. Zakonske regulative vezane uz održivost i očuvanje okoliša stvaraju dodatan pritisak na SCM. Izazov s kojim se SCM često susreće je vezan s varijabilnošću potražnje. Male varijacije u potražnji na maloprodajnom kraju imaju tendenciju drastično se povećavati putujući uzvodno kroz lance opskrbe, što rezultira učinkom da su odnosi narudžbi vrlo neuravnoteženi i da mogu biti pretjerani za jedan tjedan, a već sljedeći vrlo mali. Pojava u kojoj male promjene u potražnji uzrokuju oscilirajuće i povećane promjene u proizvodnji, kapacitetu i zalihama u cijelom lancu opskrbe naziva se efekt biča. U nastavku rada objasnit će se pojava efekta biča te uzroci nastanka, kao i načini smanjenja efekta biča i negativnih posljedica te pojave. Provedena je i simulacija za dvije vrste potražnje kako bi se ilustrativno prikazao efekt biča i utjecaj te pojave na nabavu i zalihe.

2. EFEKT BIČA

Lanac opskrbe sastoji se od niza aktivnosti i organizacija uključenih u kretanje materijala od izvora do krajnjeg korisnika. U tom lancu opskrbe svaka organizacija naručuje od svog neposrednog uzvodnog člana, odnosno dobavljača prve razine. Narudžbe nizvodnog člana, tj. korisnika su vrijedni ulazni podaci informacijskog toka za uzvodnu proizvodnju i donošenje odluka o količini zaliha. Na slici 1 je prikazan protok informacija i robe unutar lanca opskrbe¹.

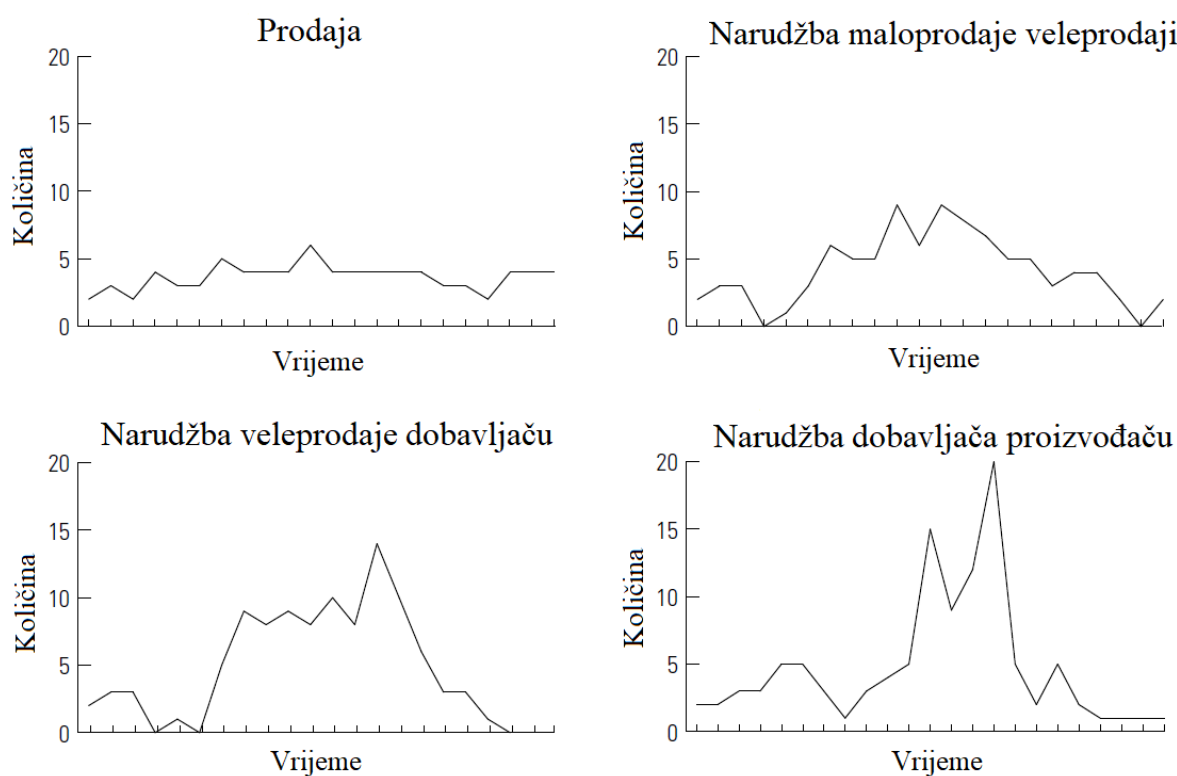


Slika 1. Protok informacija i robe u lancu opskrbe

Današnje brzo mijenjajuće globalno okruženje karakterizirano je visokom razinom neizvjesnosti i nesigurnosti. Podaci su podložni varijacijama i distorzijama te se to izobličavanje širi uzvodno u pojačanom obliku što navodi uzvodne članove lanca opskrbe na donošenje loših odluka. Takvo povećanje varijabilnosti od kraja prema početku lanca opskrbe naziva se efekt biča (eng. *bullwhip effect*). Taj termin se prvi put spominje 1961. godine u knjizi *Industrial Dynamics* J.W.Forrestera. Radi se o ekstremnoj promjeni u količini zaliha od kraja prema početku lanca opskrbe koja je izazvana malom promjenom u potražnji. Efekt biča je zorno prikazan na slici 2. U lancu opskrbe za tipični potrošački proizvod, čak i kada se prodaja potrošača ne razlikuje mnogo, postoji izrazita varijabilnost u narudžbama maloprodaje i veleprodaje. Narudžbe dobavljača proizvođaču imaju najveću varijabilnost. Pojednostavljeno rečeno, krajnji kupac je taj koji pokreće potražnju i od njega sve do

¹ Neki autori, uključujući Lee et al., koriste drugačiji poredak članova lanca opskrbe. Prvo navode proizvođača, a zatim dobavljača sirovina kao prvog uzvodnog člana. U nastavku rada se koristi redosljed prikazan na slici 1.

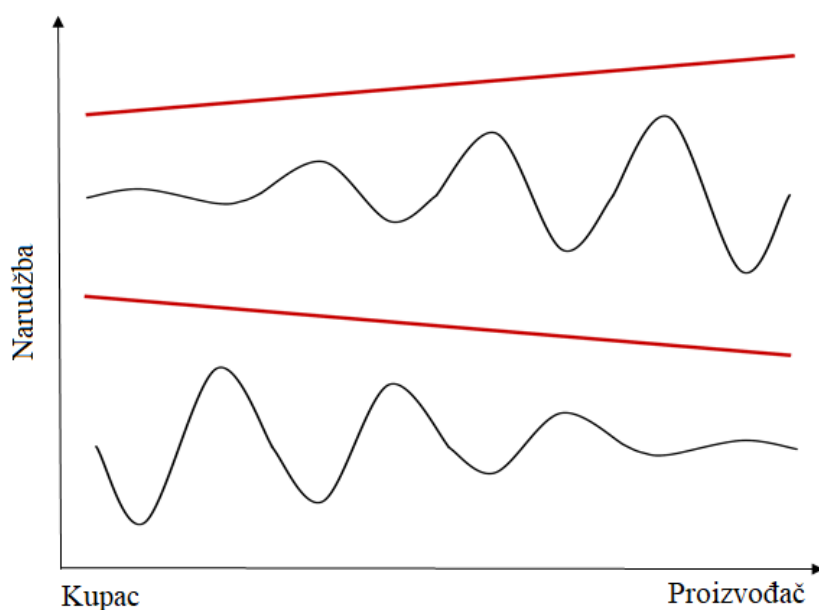
proizvođača raste varijabilnost potražnje. Zbog tog rasta distorzije raste i greška u predviđanju potražnje te količina narudžbi postaje sve veća. Dobavljač će stoga od proizvođača naručiti više proizvoda nego što mu je potrebno i gomilati zalihe. Dakle, članu lanca opskrbe teže je predvidjeti ispravnu količinu što je udaljeniji od krajnjeg potrošača. Unutar lanca opskrbe nužna je suradnja i partnerstvo svakog člana. Međutim, to nije uvijek slučaj. Upravo zbog netransparentnosti te nedostatka informacija kroz lanac opskrbe, što rezultira neizvjesnošću, dolazi do pojave efekta biča.



Slika 2. Povećanje varijabilnosti potražnje u lancu opskrbe [2]

Iako se ovaj rad fokusira na male varijacije u potražnji na maloprodajnom kraju koje se povećavaju dok putuju uzvodno kroz lanac opskrbe, potrebno je napomenuti da neizvjesnosti ne moraju nužno biti samo sa strane potražnje nego i sa strane ponude. U posljednjih nekoliko godina zabilježen je niz poremećaja i nesreća velike magnitude, uključujući prirodne katastrofe kao što su uragani, poplave, potresi te novonastala pandemija. Takvi nepredvidivi događaji imaju veliki utjecaj na lance opskrbe, ali i različiti manji poremećaji koji se redovito događaju također utječu na naručivanje zbog nesigurnosti opskrbe. Istraživanja su pokazala da

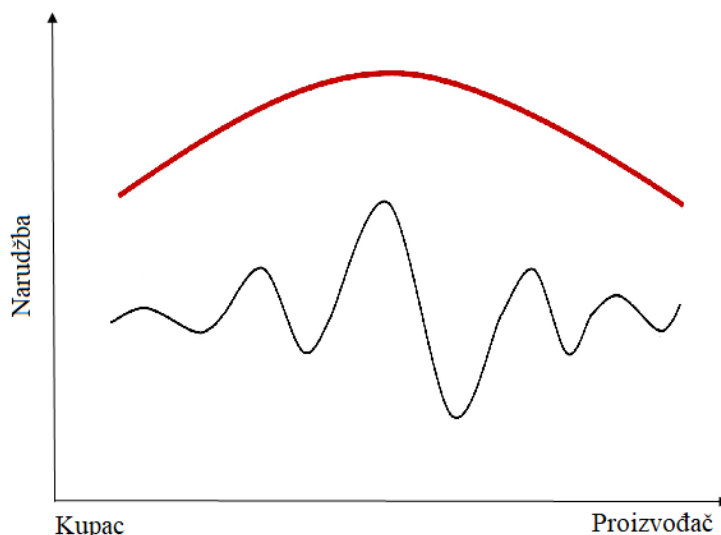
poremećaji koji uzrokuju nesigurnost opskrbe dovode do fenomena obrnutog efekta biča² (eng. *reverse bullwhip effect*). Efekt biča i obrnuti efekt biča su zorno prikazani na slici 3.



Slika 3. Prikaz efekta biča i obrnutog efekta biča [3]

Postoje dva načina nastanka obrnutog efekta biča: preopterećenje lanca opskrbe i pretjerana reakcija na dosezanje proizvodnih kapaciteta. Preopterećenje lanca opskrbe dovodi do zaglađivanja obrasca naručivanja uzvodno u lancu opskrbe, dok drastično i prebrzo reagiranje na dosezanje proizvodnih kapaciteta propagira oscilacije nizvodno u lancu u obliku povećane varijacije narudžbi. [3] Kada efekt biča i obrnuti efekt biča postoje istovremeno u lancu opskrbe, najveće oscilacije se javljaju u sredini lanca. U stranoj literaturi se takav obrazac ponašanja naziva *umbrella pattern* jer nalikuje otvorenom kišobranu kao što prikazuje slika 4.

² Slobodan prijevod autora. U hrvatskoj literaturi nema naziva za tu pojavu.



Slika 4. Umbrella pattern pojava u lancu opskrbe [3]

Iako menadžeri i rukovoditelji nastoje izbjeći efekt biča i posljedice koje ta pojava sa sobom nosi, efekt biča je, u većoj ili manjoj mjeri, uvijek prisutan u svim lancima opskrbe.

2.1. Efekt biča u industrijama

Efekt biča je tijekom godina opsežno proučavan i opisivani u maloprodaji, veleprodaji i proizvodnim industrijama općenito. Tako je logistički odjel tvrtke Procter & Gamble (P&G) pri provjeri obrasca naručivanja za jedan od njihovih najprodavanijih proizvoda-Pampers uočio zanimljivu pojavu koju tada nisu znali precizno definirati, a danas je poznata pod nazivom efekt biča. Prodaja Procter & Gamble proizvoda je u maloprodajnim trgovinama varirala, ali varijabilnosti nisu bile pretjerane. Međutim, pregledavajući narudžbe dobavljača, rukovoditelji su bili iznenađeni stupnjem varijabilnosti. Kada je P&G bacio pogled na narudžbe materijala i sirovina koje su poslali svojim dobavljačima, otkrili su da su varijacije još veće. Isto je uočila i tehnološka tvrtka Hewlett-Packard. [2] Prodaja printera kod jednog veletrgovca je, kao što je i očekivano, varirala. Međutim, potražnja je još više varirala. Najveće fluktuacije potražnje u njihovom lancu opskrbe su bile kod uzvodnih članova.

Fenomen efekta biča prepoznat je na raznim tržištima. Unazad par godina počeo se istraživati i unutar industrije nafte i plina. Detaljniji uvid pokazao je veliki ekonomski značaj i posebna obilježja efekta biča u toj industriji. Prema [4] aktivnosti na bušotinama nafte i plina oscilirale su čak do tri puta više nego proizvodnja između 1975. i 2005. godine. Najznačajniji čimbenici, koji su pridonijeli velikoj nestabilnosti, su nagli porast, tj. pad potražnje, političke krize i financijske špekulacije. To je za posljedicu imalo i velike oscilacije u nabavi strojeva i

opreme za naftne i plinske bušotine. Lanac opskrbe u proizvodnji nafte i plina ima različite karakteristike u odnosu na ostale industrije. Tako glavni članovi lanca opskrbe, kao što su proizvođači i prerađivači plina i nafte, trebaju veliki početni kapital za razvoj projekta i početak proizvodnje. Nadalje, cijene nafte i plina su izrazito volatilne te ih je teško predvidjeti. Proizvođači i rafinerije imaju kontinuirane procese, a i transport cjevovodima je karakterističan i ističe se u odnosu na druge industrije. Zbog tih značajki i razlika nije posve jasno mogu li se postojeće teorije efekta biča primijeniti u industriji nafte i plina, a posebno koji čimbenici mogu povećati ili umanjiti efekt biča u lancu opskrbe.

2.2. Posljedice efekta biča

Ako je potražnja potrošača manja nego što je očekivano, stvara se višak zaliha. Logična radnja je smanjiti ponudu za buduće narudžbe, tj. manje proizvesti. To može rezultirati suprotnim učinkom. Dolazi do nestašice ako potražnja poraste. S razlogom je to jedna od lošijih posljedica jer dovodi do gubitka prodaje i narušavanja odnosa s kupcima. S druge strane, kupci mogu pretjerati s narudžbama ako dođe do smanjenja ponude. Time se na neki način osiguravaju od nestašice proizvoda u budućnosti. To može dovesti do viška zaliha ako se naruči prevelika količina od proizvođača ili ako potražnja krajnjih potrošača padne. Prekomjerne zalihe često postaju nekurentne ili se moraju baciti kad su proizvodi pokvarljivi što dovodi do dodatnog gubitka.

S obzirom da se većina tvrtki suočava s efektom biča kontinuirano kroz vrijeme i to s velikim oscilacijama, razmišlja se i o načinu naručivanja. Najčešća situacija je naručivanje u serijama gdje se rjeđe naručuje i to u velikim količinama što uzrokuje efekt biča kao što je i opisano u potpoglavlju 3.1.2. Jedna od strategija za ublažavanje toga je prijelaz na češće naručivanje manjih količina. Prijevoz i otprema su tada skuplji, ali se izbjegne sakupljanje prekomjernih zaliha, troškovi skladištenja su niži te se istovremeno postiže cirkuliranje novih proizvoda u trgovinama.

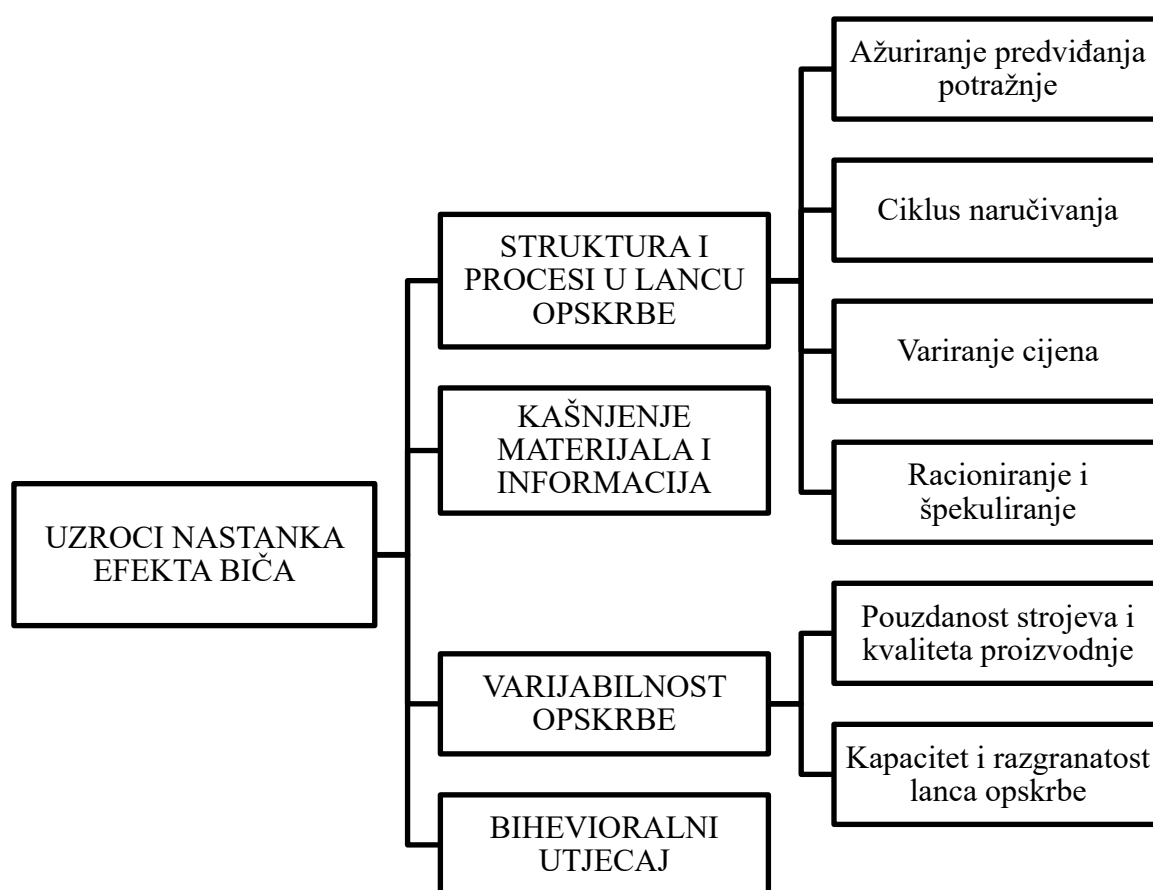
Zbog efekta biča kupci stvaraju pritisak na proizvođača. Neočekivani porast potražnje ima za posljedicu povećanje proizvodnje, odnosno užurbanu proizvodnju velike količine i brzu isporuku. To može rezultirati smanjenom kvalitetom proizvoda, kao i povećanim troškovima prijevoza. U drugim slučajevima, kupci pregovaraju otkup robe koji prisiljava dobavljače da preuzmu višak zaliha. Dobavljači postaju frustrirani stalnim promjenama, a kupci su nezadovoljni zbog dugog roka isporuke ili, u najgorem slučaju, nestašice robe. Dakle, konstantno loše predviđanje potražnje narušava odnose svih članova lanca opskrbe.

Može se ustvrditi da su prekomjerne zalihe uobičajena posljedica efekta biča zbog visokog stupnja nesigurnosti i varijabilnosti potražnje. S obzirom da se stvarna prodaja uvelike razlikuje od potražnje želi se na neki način kompenzirati ta razlika. Posljedice se zbog toga gomilaju, odnosno dolazi do lančane reakcije. Proizvođač promatra svoje neposredno okruženje te zbog iskrivljenih podataka o pojačanoj potražnji stvara višak sirovina kako bi se osigurao, što dovodi do povećanja troškova zbog neplanirane kupnje. Loša predviđanja uzrokuju neizvjesno planiranje proizvodnje, loše odnose i nezadovoljstvo kupaca zbog nedostupnih proizvoda te visoke troškove korekcija kao što su brza dostava i prekovremeni rad. Procjene govore da ove aktivnosti mogu rezultirati povećanim troškovima u rasponu između 12,5 % i 25 %. [5]

Valja naglasiti da nije cilj eliminirati zalihe. Držanje zaliha uzrokuje troškove i mnogi to smatraju nepotrebnim, odnosno gubitkom. No usprkos tome, brojni su razlozi i za postojanje zaliha. Iste možemo promatrati kao mjere povećanja usluge korisniku i/ili smanjenje ukupnih troškova. Ponuda i potražnja su varijabilne i neizvjesne. Zalihe služe kao *buffer* između raznih dijelova lanca opskrbe, omogućavajući tako uravnoteženje ponude i potražnje, kao i zaštitu od neizvjesnosti i nepredviđenih događaja. Dakle, zalihe su nužne. Problem je kako odrediti optimalnu količinu zaliha, tj. onu količinu koja minimizira ukupne troškove zaliha u određenom periodu.

3. UZROCI NASTANKA EFEKTA BIČA

Kao što je već spomenuto, prvo opsežno istraživanje o pojačanju distorzije potražnje u lancu opskrbe proveo je Forrester u svojoj knjizi *Industrial Dynamics*. On svodi uzroke efekta biča na dvije vrste kašnjenja. [6] Na kašnjenje u prijenosu informacija o potražnji i kašnjenje prijenosa fizičkih proizvoda kroz lanac opskrbe (ciklus proizvodnje). Autori koji su poslije istraživali efekt biča i uzroke njegove pojave to su malo proširili. Tako prema Lee et al. četiri glavna uzroka efekta biča su ažuriranje predviđanja potražnje, ciklus naručivanja, odnosno naručivanje velikih količina, variranje cijena te racioniranje i špekuliranje. [2] Najnovija istraživanja [7] su te uzroke svrstala u posebne skupine i nadodala još neke vrste uzroka kao što je prikazano na slici 5.



Slika 5. Uzroci nastanka efekta biča

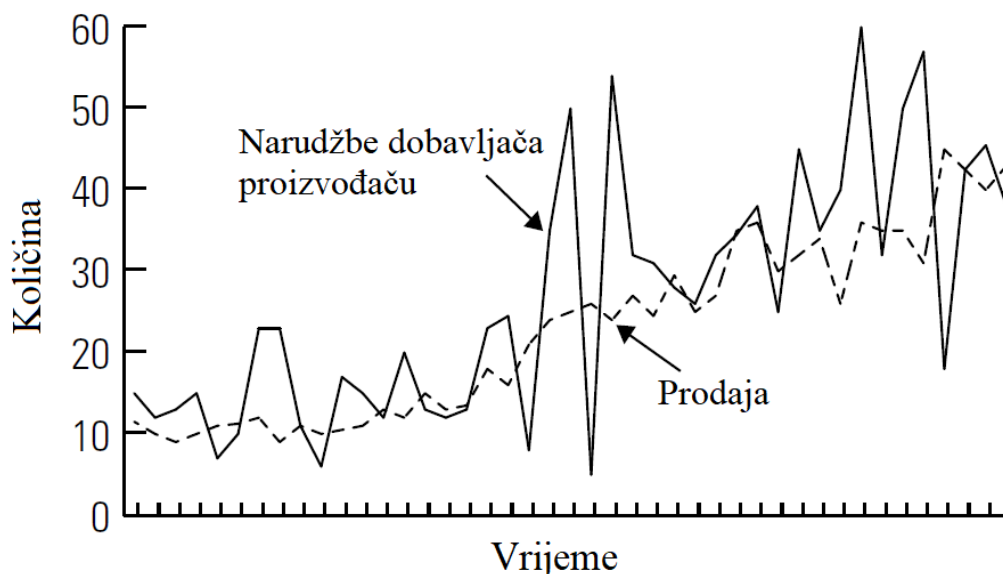
3.1. Struktura i procesi u lancu opskrbe

Ažuriranje predviđanja potražnje i ciklus naručivanja su međusobno povezani uzroci jer ih pokreće svaki član lanca opskrbe pokušavajući optimizirati unutarnje poslovanje tvrtke i upravljanje zalihama. Variranje cijena te racioniranje i špekuliranje su također povezani jer odražavaju reakcije članova lanca opskrbe na dinamiku tržišta. Opširnije u nastavku.

3.1.1. Ažuriranje predviđanja potražnje

Svaka tvrtka u lancu opskrbe radi predviđanje potražnje i planira proizvodnju svojih proizvoda. Planira kapacitete, kontrolira zalihe i planira nabavu materijala i sirovina. Svaki član lanca opskrbe komunicira samo sa svojim neposrednim članom. Tako se i predviđena potražnja bazira na informacijama od neposrednog proizvodnog člana. Povećanje narudžbi utječe na predviđanje povećanja potražnje. To se odražava na sljedećeg uzvodnog člana lanca opskrbe koji dobiva još veću narudžbu te se distorzija još više pogoršava. Vrijedi i suprotno, smanjenje potražnje kupca se povećava kako se kreće uzvodno kroz lanac opskrbe, tj. proizvođač dobiva informaciju o velikom smanjenju potražnje.

Rukovoditelj koji mora odlučiti koju količinu naručiti od svog dobavljača koristi neku metodu za predviđanje potražnje kao što je eksponencijalno izgladivanje (eng. *Exponential Smoothing-ES*). To je metoda analize vremenskih serija koja je pogodna za kratkoročne prognoze jer više vrednuje podatke iz bliže prošlosti. Ovom metodom buduća potražnja je kontinuirano ažurirana kako novi podaci o dnevnoj potražnji postaju dostupni. Narudžba koja se šalje dobavljaču odražava količinu koja je potrebna da se napune zalihe s ciljem ispunjenja buduće potražnje, kao i sigurnosne zalihe koje predstavljaju količinu robe u skladištu koja se drži radi osiguranja od nepredviđenih promjena u potražnji ili ponudi robe. To s vremenom rezultira povećanom varijabilnošću narudžbi u odnosu na podatke o potražnji. Kao što je vidljivo na slici 6, narudžbe dobavljača proizvođaču pokazuju veću varijabilnost od potražnje kupaca. S obzirom da količina sigurnosnih zaliha doprinosi efektu biča, da se zaključiti da s povećanjem vremena između ponovne opskrbe proizvodima, duž lanca opskrbe, raste i varijabilnost.



Slika 6. Odnos varijabilnosti narudžbi i potražnje [2]

3.1.2. Ciklus naručivanja

U lancu opskrbe svako poduzeće naručuje od neke uzvodne organizacije. Zalihe proizvoda koji se naručuju se s vremenom smanjuju, ali tvrtka ne naručuje materijal i sirovine od svog dobavljača odmah. Često postoji vremenska zadržka prije nego se izda narudžbenica. Dakle, tvrtka može dobivati narudžbe na dnevnoj bazi, ali će ona sama izdavati naloge svom dobavljaču na tjednoj bazi. Razlog tome leži u troškovima naručivanja te učinkovitosti prijevoza robe. Često se ne naručuje redovito nego tek kad se dostigne točka narudžbe (eng. *Reorder Point-ROP*). To je točka koja definira razinu sigurnosnih zaliha. Kad zalihe padnu na tu razinu ili ispod, aktivira se zahtjev za narudžbom novih proizvoda.

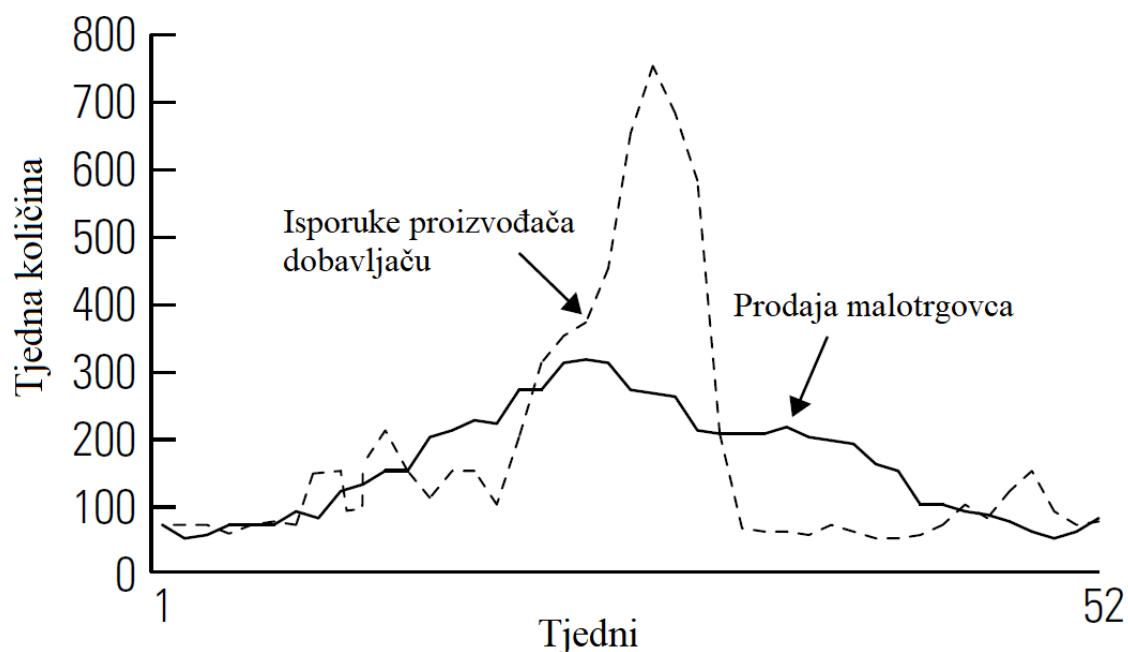
Prepreka češćem naručivanju je i trošak prijevoza. Postoji velika razlika između prijevoza kompletnog utovara (eng. *Full Truck Load-FTL*) i prijevoza tereta manjeg od cjelokupno utovarenog kamiona (eng. *Less than Truckload-LTL*). Prijevoz u kojemu kamion prevozi teret kojim je čitavi kamion natovaren je za prijevoznika, kao i za nalogodavca vrlo praktičan. Za prijevoznika to znači izostanak dodatnih izdataka za obavijesti o isporuci, fakturiranje i vremena čekanja na više mjesta utovara i istovara. Prednost za nalogodavca je da se radi o najbržoj mogućoj varijanti prijevoza jer roba koju se prevozi putuje direktnim putem, bez dodatnog pretovara, od mjesta utovara do primatelja. [8] Iz tih razloga preferira se FTL

prijevoz koji podrazumijeva narudžbe na mjesečnoj bazi ili rjeđe jer je za većinu tvrtki prijevoz kompletnog utovara opskrba za mjesec dana ili više.

U sustavu nezavisnih zaliha ukupna potražnja za proizvodom sastoji se od mnogo zasebnih potražnji koje nisu međusobno povezane. Upravljanje zalihama u sustavu nezavisne potražnje mora uzeti u obzir koje proizvode naručiti, kada i u kojoj količini. Također, treba uzeti u obzir da niti jedan proizvod, koliko god bio jeftin, ne treba držati na zalihama bez prethodnog razmatranja troškova i koristi. Velike količine naručene robe uzrokuju velike prosječne količine zaliha, a time i visoke troškove držanja zaliha, ali manje troškove naručivanja i potrebnu administraciju. Manje, frekventnije narudžbe pak smanjuju prosječnu razinu zaliha, no povećavaju troškove naručivanja i administraciju. Vrijeme naručivanja ovisi o sustavu kontrole zaliha, vrsti potražnje, vrijednosti robe, vremenu dobave te pouzdanosti dobavljača.

3.1.3. Variranje cijena

Procjenjuje se da je 80 % transakcija između proizvođača i distributera u prehrambenoj industriji ugovoreno terminskom kupnjom, a i u drugim industrijama je slična situacija. [5] Radi se o kupnji robe unaprijed što podrazumijeva sklapanje ugovora s dogovorom o cijeni sada, a odgođenom isporukom u budućnosti. Razlog tome je volatilitet tržišta. Proizvođači i distributeri povremeno imaju posebne promidžbe kao što su snižene cijene, popust na količinu, kuponi, rabat i slično. Zbog tih raznih promidžbi i trgovinskih ugovora cijene proizvoda znatno variraju što uvelike utječe na potražnju. Kupuje se veća količina robe koja ne odražava stvarne potrebe, odnosno kad je cijena proizvoda snižena, kupac kupi veću količinu koju stavlja na zalihe i obrnuto. Dakle, u slučaju promidžbi i sniženja varijabilnost kupljene količine je veća od varijabilnosti potrošnje što dovodi do efekta biča. Ako su troškovi držanja zaliha manji od razlike u cijeni, kupovati unaprijed ima smisla. Većini tvrtki takav način trgovanja ne pogoduje. Pogotovo ako se uzme u obzir sezonalnost prodaje. Na slici 7 je prikazana prodaja proizvođača juhe koju karakterizira sezonalnost prodaje, s većom prodajom zimi. Iz tog razloga količine pošiljki koje proizvođač isporučuje dobavljaču, odražavajući njegove narudžbe, jako variraju. Zbog sezonalnosti tvrtke ponekad moraju u jednom razdoblju raditi prekovremeno, dok u drugom stagniraju. Štoviše, morat će imati ogromne zalihe u nekom periodu kako bi pokrile povećanu potražnju. Radi se o sezonskim zalihama, odnosno količini robe sakupljene tijekom godine namijenjene zadovoljenju povećane potražnje u sezoni. U tom slučaju može doći i do povećanog troška prijevoza kako bi se brzo isporučilo traženu količinu robe.



Slika 7. Efekt biča zbog sezonalnosti prodaje [2]

Kad se govori o promidžbama i sniženjima postoje dvije vrste zaliha koje su na neki način povezane s time. To su promocijske i nekurentne zalihe. Promocijske zalihe su zalihe robe nabavljene zbog predviđanja povećanja prodaje uslijed promocija, a nekurentne zalihe su zalihe robe u skladištu koja se zbog zastarjelosti, gubitka svojstava ili demodiranosti teško prodaje, odnosno prodaje se samo uz sniženje cijene. [8]

3.1.4. Racioniranje i špekuliranje

U slučaju da potražnja proizvoda premašuje ponudu, dobavljač mora svoj proizvod racionirati. Upoznati s time, kupci naručuju više nego što stvarno trebaju kako bi sakupili špekulativne zalihe. To je količina robe u skladištu koja se sakuplja s ciljem prodaje kada se cijene znatnije povećaju. Kasnije, kada nema više nestašice smanjuju se i narudžbe, tj. dolazi do storniranja narudžbi. Kada dolazi do nestašice proizvoda, uvode se metode racioniranja. Radi se o raspodjeli proizvoda kako bi se prilagodila potrošnja nedovoljnoj proizvodnji te zaštitilo potrošače od špekulativnoga dizanja cijena. U jednoj od metoda racioniranja proizvođač količinu proizvoda raspodjeljuje proporcionalno naručenoj količini. Npr. ako je ukupna ponuda 50 % ukupne potražnje, svi kupci dobivaju 50 % onoga što naruče. Upravo iz

tog razloga kupci i naručuju veću količinu, odnosno špekuliraju. Svrha špekulacija je prije svega velika i brza zarada, a koja se najčešće postiže naglim porastom cijene određene robe. Problem je u tome što narudžbe kupaca daju proizvođačima malo informacija o stvarnoj potražnji. Špekulacije su vrlo česte. Zbog predviđanja manjka proizvoda na tržištu, narudžbe se povećavaju kako bi se osigurala dovoljna količina proizvoda. Čak se naručuje od više dobavljača i kupuje se od prvog koji isporuči, a ostale narudžbe se otkazu. Kada kupci otkazu narudžbe, proizvođač bilježi gubitak zbog nepotrebnog povećanja kapaciteta, ali i zbog povećanja troškova skladištenja uzrokovanih viškom zaliha proizvoda koji se nisu prodali.

3.2. Kašnjenje materijala i informacija

Za prijenos robe i informacija vežu se dva vremenska pojma: vrijeme dobave i vrijeme izvođenja. Vrijeme dobave (eng. *lead time*) je karakterizirano kao vrijeme između slanja narudžbe i isporuke proizvoda. Vrijeme izvođenja (eng. *lead time*) je vrijeme između pokretanja i završetka proizvodnog procesa. Vidljivo je da se u engleskoj literaturi koristi isti naziv za dva različita vremena. Općenito *lead time* predstavlja vrijeme potrebno za izvođenje procesa. Međutim, *lead time*, pogotovo kada se spominje lanac opskrbe, podrazumijeva vrijeme potrebno za proizvodnju naručene količine i isporuku proizvoda. Ovisno o duljini trajanja tih vremena isporuka kupcu je brža ili sporija. Članovi lanca opskrbe su međusobno povezani te se njihove radnje i procesi nadovezuju. Tako se na primjer može pretpostaviti da dobavljač lanca opskrbe ima zaprimljenu narudžbu od veletrgovca, ali svoju narudžbu ne šalje odmah nego čeka neko vrijeme zbog veće isplativosti naručivanja u serijama. Takvo sporo donošenje odluka o nabavi robe dovodi do kašnjenja prijenosa informacija o potražnji. To sa sobom povlači i kašnjenje materijala i sirovina jer proizvođač još nema informacije o potražnji i koju količinu mora naručiti. Nakon izvjesnog vremena, proizvođač će materijal zaprimiti, ali ne može isporučiti odmah robu zbog vremena izvođenja procesa proizvodnje. I u najboljem slučaju, ako ne dođe do kvara ili uskog grla u proizvodnji, vremenski period će biti dugačak. Veći periodi čekanja pogoršavaju odnos s kupcima kao i efekt biča. Simulacije provedene u istraživanjima pokazale su da se eliminacijom vremenskih kašnjenja znatno smanjuju oscilacije potražnje. [7] Dakle, dokazano je da kašnjenje materijala i informacija uvelike doprinosi efektu biča.

3.3. Varijabilnost opskrbe

Varijabilnost opskrbe uključuje probleme povezane s kvarom i pouzdanošću strojeva te kvalitetom izrade. Također se razmatra utjecaj koji razgranatost strukture lanca opskrbe i

ograničenost kapaciteta imaju na efekt biča.

3.3.1. Pouzdanost strojeva i kvaliteta proizvodnje

Proizvodi dobiveni iz nepouzdanih strojeva osciliraju u kvaliteti i te oscilacije pokreću varijabilnost potražnje članova nizvodno od člana čiji proizvodi variraju u kvaliteti. Na primjer, ako je razina kvalitete proizvodnje u nekom periodu ispod zahtijevane, proizvodni nalog za sljedeći period bit će pretjerano uvećan kako bi se nadoknadio manjak iz prethodnog perioda te kako bi se osiguralo u slučaju budućih potencijalnih manjka i nestašica uzrokovanih nekvalitetnim proizvodima. Zbog varijabilnosti proizvodnje uzvodnog člana, količina zaprimljene robe nizvodno u lancu varira te se stvara efekt biča kojem su početni okidač oscilacije na razini proizvodnje.

Gori slučaj od nepouzdanog i lošeg stroja je stroj koji traži korektivno održavanje. Kvar stroja dovodi do gubitka funkcionalne sposobnosti i prekida rada. Samim time se povećavaju troškovi, gomilaju otvorene narudžbe te se povećava vrijeme izvođenja. Zbog međusobne povezanost procesa u lancu opskrbe dolazi do poremećaja u cijelom lancu. Kada do kvara dođe kod prvog uzvodnog člana, opskrba je otežana svim nizvodnim članovima jer član nije u mogućnosti isporučiti zahtijevanu količinu proizvoda. Nadalje, ako dođe do kvara nekog stroja i prestanka rada, preostali strojevi moraju raditi s povećanim kapacitetom. Dolazi do opterećenja radnika koji pod pritiskom povećanog rada gube koncentraciju. To rezultira izradom proizvoda lošije kvalitete što još više povećava efekt biča.

3.3.2. Kapacitet i razgranatost lanca opskrbe

Kapacitet označava proizvodnu sposobnost sustava. Svaki proizvodni sustav ima limitirana sredstva i prostor za proizvodnju određene količine tijekom fiksnog perioda. Povećanje potražnje nizvodnih članova može zahtijevati povećanje proizvodnog kapaciteta. Ako je potrebno proizvesti više nego što je planirano, nužne su brze reakcije i preraspodjele proizvodnih kapaciteta. To je posao koji iziskuje puno planiranja i proces prilagodbe je vremenski zahtjevan. Zbog te nesigurnosti i varijabilnosti opskrbe potražnja počinje još više varirati i povećavati efekt biča. Suprotno tome, dobro isplanirani, ograničeni i stabilni kapacitet u velikoj mjeri može ublažiti problem.

Najjednostavniji lanac opskrbe ima jedan proizvod koji se kreće kroz niz poduzeća. Stvarnost pojedinog poduzeća je puno složenija. Mnoga poduzeća rade s puno različitih proizvoda od kojih svaki ima svoj lanac opskrbe. Kada se uzme u obzir sva složenost strukture takvih lanaca i kretanje materijala kroz isti, dolazi se do zaključka da razgranatost uvelike utječe i na

efekt biča. Što je struktura lanca opskrbe složenija, potrebno je više vremena za obradu podataka. To za posljedicu ima veća vremena izvođenja i dobave. Također, dolazi do smanjenja dijeljenja informacija, stvaranja nesporazuma i gubitka poslova.

3.4. Bihevioralni utjecaj

Uzroci nastanka efekta biča mogu se podijeliti u dvije velike kategorije: operativni i bihevioralni. Kao što je prethodno prikazano, veliki fokus je stavljen na operativne uzroke koji su se u detalje proučavali proteklih niz godina. Međutim, u zadnje vrijeme počinje se sve više istraživati kako ljudsko ponašanje vezano uz donošenje odluka utječe na lanac opskrbe, a samim time i na efekt biča.

Manjak koordinacije članova lanca opskrbe pospješuje efekt biča. Različiti članovi imaju različite i konfliktne ciljeve. Svaki član nastoji maksimizirati svoj profit, ponekad i nauštrb drugih članova. Izostanak suradnje između članova lanca opskrbe dovodi do variranja potražnje uzrokovane nedostatkom informacija. Uz efekt biča koji se pri tome stvara, dolazi i do smanjenja profita cijelog lanca opskrbe zbog iskrivljenih i zakašnjelih informacija o potražnji. [9]

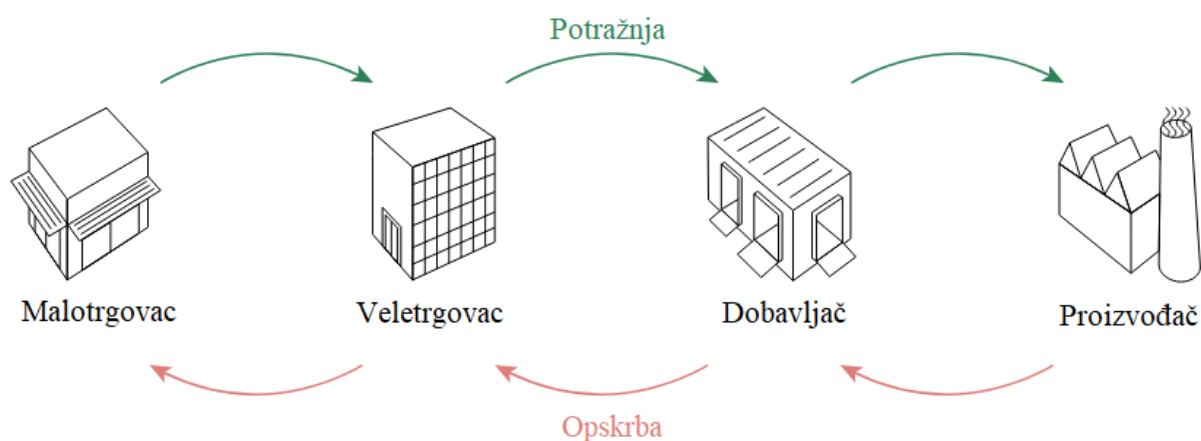
Odluke koje se donose s ciljem postizanja lokalnog optimuma, tj. optimuma jednog člana lanca opskrbe štete sveukupnom lancu opskrbe. [10] Na primjer, rukovoditelj logističkog odjela jednog člana lanca opskrbe teži povećanju profita tako da povećava trošak transporta robe. Zbog te odluke drugi članovi rjeđe naručuju kako bi mogli postići prijevoz kompletnog utovara (FTL) i smanjiti trošak nabave. To onda rezultira većim variranjem potražnje i povećanim efektom biča. Može se gledati i na drugačiji način. Isti taj rukovoditelj želi smanjiti svoje troškove transporta što dovodi do duljeg perioda dobave proizvoda i sirovina u to poduzeće. Opskrba u lancu je opet narušena i dolazi do variranja potražnje zbog smanjene dostupnosti proizvoda. Dakle, nijedna odluka koja je usredotočena na lokalni optimum se ne odražava dobro na cijeli lanac opskrbe.

4. ILUSTRACIJA EFEKTA BIČA

U ovom poglavlju bit će detaljnije prikazana ilustracija efekta biča. Teorijski će se objasniti ilustracija efekta biča pomoću Beer Game i način na koji je takva simulacijska igra distribucije piva dovela do današnjih simulacija efekta biča. Nadalje, bit će navedene pretpostavke i jednadžbe korištene u simulacijskom modelu te će biti prikazana dva simulirana primjera efekta biča s različitom tržišnom potražnjom. Na kraju će biti prikazana mjera efekta biča.

4.1. Beer Game

Ilustracija efekta biča, tzv. igra distribucije piva³ (eng. *Beer Game*) razvijena je na Massachusetts Institute of Technology Sloan School of Management 1960-ih. Beer Game je simulacijska igra u kojoj igrači iz prve ruke doživljavaju složenost upravljanja lancem opskrbe. Sudionici igraju ulogu kupaca, malotrgovca, veletrgovca, dobavljača i proizvođača piva kao što je prikazano na slici 8. Cilj je minimizirati troškove poslovanja, a igrači se penaliziraju zbog prevelikih količina zaliha. Sudionici moraju donijeti odluke na temelju informacija prvog nizvodnog člana. Može se komunicirati samo prenošenjem naloga putem uobičajenih kanala, oponašajući lanac opskrbe u stvarnom životu, a moraju se uzeti u obzir i zalihe i otvorene narudžbe te njihov utjecaj.



Slika 8. Struktura proizvodno-distribucijskog sustava u Beer Game modelu [11]

³ U hrvatskom jeziku nije uvriježen takav naziv nego se i dalje koristi engleski naziv pa se i u nastavku rada koristi Beer Game.

Igra, između ostalog, pokazuje i poteškoće pri donošenju ispravnih odluka s ograničenim informacijama. Sustav nije u potpunosti poznat svim sudionicima. Članovi lanca opskrbe imaju nepotpuno znanje o strukturi i stanju sustava u kojem djeluju. Nadalje, vezani su raznim vremenski ovisnim varijablama. Odluke donesene u jednom vremenskom trenutku utječu na uvjete pod kojima se donose naknadne odluke. Interakcija s drugim članovima lanca opskrbe može biti prijateljska ili natjecateljska. Iracionalno ponašanje igrača može imati utjecaj na pojačanu varijabilnost potražnje. [2] Ljudsko ponašanje vezano uz nedostatak informacija uzrokuje gomilanje zaliha radi sigurnosti te na taj način doprinositi efektu biča. Međutim, ponašanje donositelja odluke ima mali učinak na efekt biča naspram same infrastrukture lanca koja ima veliki utjecaj na protok informacija i povezane procese. Zbog roka isporuke robe i nelinearnih ograničenja igrači su otkrili da nisu u mogućnosti osigurati stabilan rad sustava i da su se, shodno tome, razvile fluktuacije velikih razmjera. Donosioci odluke o količini robe koja se naručuje moraju se nositi s vrlo složenom situacijom i cijeloj situaciji je potrebno pristupiti objektivno. Iz tog razloga razvijena je heuristika za redosljed donošenja odluka u igri. [12] Kasnije provedene računalne simulacije takvog proizvodno-distribucijskog sustava otkrile su izrazito nelinearne dinamičke pojave s kaotičnim ponašanjem. [13] Za određena područja prostora parametara, isti sadrži različita rješenja. I male promjene u postupku provedbe naručivanja mogu u potpunosti promijeniti ponašanje sustava. To je dovelo do zaključka da se deterministički kaos može stvoriti odlukama u pojednostavljenom poslovnom okruženju. Tako je i potvrđeno da je Beer Game, razvijen kako bi ilustrirao utjecaj ekonomske strukture na generiranje dinamike, kompliciraniji sustav nego što se je u početku mislilo.

4.2. Simulacijski model

Tijekom simulacije svaki član lanca opskrbe vrši niz radnji od zaprimanja i isporuke robe do izračuna i slanja sljedeće narudžbe. Prema Thomsen et al. [14] cijela simulacija je zamišljena kao visoko dimenzionalna iteracijska mapa čiji parametri pojedinačno predstavljaju svakog člana lanca opskrbe i slijed radnji koje oni čine. Stoga su i jednadžbe modela prikazane i objašnjene na taj način.

4.2.1. Jednadžbe modela

Zalihe se ažuriraju dodajući zaprimljenu robu i oduzimajući količinu isporučene robe. U mjeri u kojoj je količina zaliha i zaprimljene robe dostatna, isporučena roba je jednaka sumi dolazne i otvorene narudžbe kao što jednadžbe (1), (2) i (3) prikazuju.

$$INV_t = INV_{t-1} + IS_{t-1} - BL_{t-1} - IO_{t-1} \quad (1)$$

ako

$$INV_{t-1} + IS_{t-1} \geq BL_{t-1} + IO_{t-1} \quad (2)$$

inače

$$INV_t = 0 \quad (3)$$

Gdje je:

INV_t, INV_{t-1} zalihe u periodu t, odnosno periodu t-1

IS_{t-1} zaprimljena roba u periodu t-1

BL_{t-1} otvorene narudžbe u periodu t-1

IO_{t-1} dolazne narudžbe u periodu t-1.

Na temelju tih jednadžbi da se zaključiti da je količina zaprimljene robe jednog člana lanca opskrbe zapravo količina isporučene robe neposrednog uzlaznog člana.

Otvorene narudžbe se ažuriraju dodajući dolaznu narudžbu i oduzimajući količinu isporučene robe. Prema jednadžbama (4), (5) i (6) vidljivo je da novih otvorenih narudžbi nema ako su dolazne i otvorene narudžbe u potpunosti pokrivena postojećim zalihama i zaprimljenom količinom robe .

$$BL_t = BL_{t-1} + IO_{t-1} - INV_{t-1} - IS_{t-1} \quad (4)$$

ako

$$BL_{t-1} + IO_{t-1} \geq INV_{t-1} + IS_{t-1} \quad (5)$$

inače

$$BL_t = 0 \quad (6)$$

Nastavno na prethodne jednadžbe, količina isporučene robe se može prikazati jednadžbom (7) koja pokazuje da je količina isporučene roba minimalna vrijednost zbroja količine zaliha i zaprimljene robe, odnosno otvorenih i dolaznih narudžbi.

$$OS_t = \text{MIN}\{INV_t + IS_t, BL_t + IO_t\} \quad (7)$$

4.2.2. Politika nabave

Politika nabave⁴ (eng. *ordering policy*) je skup odluka o naručivanju potrebne količine robe. Sudionici mogu temeljiti svoju odluku o naručivanju na temelju svih neposredno dostupnih

⁴ Ponekad se naziva i strategija nabave.

informacija kao što su trenutna vrijednost zaliha i otvorenih narudžbi, prethodne vrijednosti, očekivane dolazne narudžbe, očekivane količine zaprimljene robe itd.

Količina robe koja će se naručiti određuje se prema [14] u skladu s jednadžbom (8)

$$OP_t = \max\{0, OP_t^*\} \quad (8)$$

Gdje je:

$$OP_t^* = ED_t + AS_t + ASL_t \quad (9)$$

Jednadžba (9) koja određuje količinu robe koja će se naručiti suma je tri stavke: očekivane potražnje, količine robe potrebne za popunjavanje zaliha do optimalne razine i količine robe potrebne za održavanje lanca opskrbe na nekoj određenoj razini.

Prethodno navedene stavke definirane su kako slijedi:

$$ED_t = \theta \cdot IO_{t-1} + (1 - \theta) \cdot ED_{t-1} \quad (10)$$

Gdje je:

ED_t, ED_{t-1} očekivana potražnja u periodu t, odnosno periodu t-1

θ parametar koji kontrolira brzinu kojom se očekivanja ažuriraju

IO_{t-1} dolazne narudžbe u periodu t-1.

Očekivana potražnja bazira se na nekoj metodi predviđanja. Međutim, pogreške predviđanja i nepravilnosti unutar lanca opskrbe mogu rezultirati odmicanjem zaliha od optimalne razine. Sukladno tome, količina koja se naručuje prilagođava se iznad ili ispod očekivane potražnje kako bi se zalihe optimizirale. To se radi pomoću druge dvije stavke jednadžbe (9).

Jednadžba za očekivanu potražnju (10) prema [12] uzima u obzir parametar θ koji se nalazi u intervalu $(0 \leq \theta \leq 1)$. $\theta = 0$ odgovara stacionarnim očekivanjima, a $\theta = 1$ opisuje situaciju u kojoj se procjena očekivane potražnje bazira na prethodnoj vrijednosti dolazne narudžbe. Statistička analiza pokazuje da je θ obično 0,25.

Prilagodba zaliha gleda količinu zaliha potrebnu za popunjavanje zaliha do željene, tj. optimalne razine.

$$AS_t = \alpha_S(DINV - INV_t + BL_t) \quad (11)$$

Gdje je:

AS_t prilagodba zaliha u periodu t

α_S parametar prilagodbe zaliha

$DINV$ optimalna količina zaliha

INV_t zalihe u periodu t
 BL_t otvorene narudžbe u periodu t.

Parametar prilagodbe zaliha α_S je parameter prilagodbe odstupanja između optimalnih i stvarnih zaliha. Statistička studija sa značajnim brojem sudionika [14] pokazala je da parametri prilagodbe zaliha α_S variraju između 0 i 1.

Analogno formuli za prilagodbu zaliha (11) slijedi formula za prilagodbu lanca opskrbe (12).

$$ASL_t = \alpha_{SL}(DSL - SL_t) \quad (12)$$

Gdje je:

ASL_t prilagodba lanca opskrbe u periodu t
 α_{SL} parametar prilagodbe lanca opskrbe
 DSL optimalna količina robe u lancu opskrbe
 SL_t količina robe u lancu opskrbe u periodu t.

Parametar prilagodbe lanca opskrbe α_{SL} je parametar stope prilagođavanja, tj. prilagodbe odstupanja između količine robe u optimalnom i stvarnom lancu opskrbe.

Prilagodba lanca opskrbe uzima u obzir količinu potrebnu za održavanje lanca opskrbe do neke određene stabilne vrijednosti tako da prati prethodnu narudžbu koju je član lanca opskrbe poslao sljedećem uzvodnom članu, ali koja još tom istom članu nije isporučena s obzirom na vrijeme dobave. U protivnom oscilacije su još i veće.

Prema [14] količina robe u lancu opskrbe u nekom periodu računa se uzimajući u obzir povezanost člana lanca opskrbe za kojeg se računa količina robe koju je potrebno naručiti i njegovog neposrednog uzlaznog člana. Tako je jednadžba za veletrgovca i dobavljača, kao njegovog uzlaznog člana, sljedeća:

$$WSL_t = WIS_t + DIO_t + DBL_t + DOS_t \quad (13)$$

Gdje je:

WSL_t količina robe koju ima veletrgovac u lancu opskrbe u periodu t
 WIS_t roba koju je zaprimio veletrgovac u periodu t
 DIO_t dolazna narudžba dobavljaču u periodu t
 DBL_t otvorena narudžba dobavljača u periodu t
 DOS_t količina robe koju isporučuje dobavljač u periodu t.

Iz jednadžbe (13) je vidljivo da se time stvara petlja koja se rješava postupkom iteracije. Količina robe koju ima veletrgovac u lancu opskrbe dobivena je iteracijom pomoću funkcije količine robe koju ima dobavljač u istom periodu kao veletrgovac.

Definiranjem jednadžbi (14) i (15)

$$\beta = \alpha_{SL} / \alpha_S \quad (14)$$

$$Q = DINV + \beta \cdot DSL \quad (15)$$

jednadžba za količinu robe koja se naručuje je sljedeća:

$$OP_t^* = ED_t + \alpha_S(Q - INV_t + BL_t - \beta \cdot SL_t) \quad (16)$$

Parametar β može se protumačiti kao postotak, tj. udio lanca opskrbe kojeg član uzima u obzir pri naručivanju proizvoda. Tako $\beta=1$ prikazuje da član lanca opskrbe u potpunosti prati svoje prethodne narudžbe i stavlja naglasak na prilagodbu lanca opskrbe kod svog naručivanja. Ako je $\beta=0$, prethodne narudžbe se ne uzimaju u obzir. Praksa je pokazala da većina članova prepoznaje važnost lanca opskrbe i njegove prilagodbe te ga pokušavaju držati na relativno stabilnoj razini. [14]

Također, da se zaključiti da će članovi lanca opskrbe veći naglasak staviti na prilagodbu zaliha nego na prilagodbu lanca opskrbe. Lanac opskrbe nema direktan utjecaj na troškove niti je značajno važniji od zaliha. Sukladno tome $\alpha_{SL} \leq \alpha_S$ i $\beta \leq 1$.

Potrebno je napomenuti da je razlog sređivanja izraza za politiku nabave prema jednadžbi (16) teorijske prirode kako bi se dobio bolji uvid u parametre i njihov utjecaj na količinu robe koja se naručuje. Stoga se u nastavku koristi inicijalna jednadžba (9) s malim preinakama kako je i detaljnije objašnjeno u sljedećem potpoglavlju.

4.3. Simulacija

Simulacija provedena u ovom radu koristi sve prethodno navedene formule bez preinaka osim formule za količinu robe koja se naručuje. Tako se ne uzima se u obzir očekivana potražnja niti se koristi neka od metoda predviđanja nego se naručuje na temelju aktualne potražnje što je i vidljivo iz jednadžbe (17).

$$OP_t^* = IO_t + \alpha_S(DINV - INV_t + BL_t) + \alpha_{SL}(DSL - SL_t) \quad (17)$$

Dakle, politika nabave se temelji na jednadžbi koja se sastoji od tri dijela: aktualne potražnje, tj. dolazne narudžbe, količine robe potrebne za popunjavanje zaliha do optimalne razine i količine robe potrebne za održavanje lanca opskrbe na nekoj određenoj razini.

Optimalna količina zaliha se razlikuje od člana do člana. Veće količine optimalnih zaliha olakšavaju upravljanje istim i osiguravaju stabilnost. S druge strane, ako stabilnost nije upitna, manja količina optimalnih zaliha je poželjna jer su onda i niži troškovi skladištenja. Iako je prema [14] optimalna količina zaliha konstantna i iznosi 14, u simuliranim primjerima napravljenim u ovom radu količina optimalnih zaliha jednaka je optimalnoj količini robe u lancu opskrbe.

$$DINV = DSL = IO_t \cdot LT \quad (18)$$

Kao što prikazuje jednadžba (18), optimalne količine robe se određuju kao produkt količine dolazne narudžbe i vremena potrebnog da roba bude dostavljena. Dakle, optimalna razina zaliha je ona koja je dostatna za vrijeme dobave.

Lanac opskrbe, tj. količina robe u lancu opskrbe u nekom određenom periodu t računa se prema pojednostavljenoj jednadžbi (19) gdje se uzima u obzir količina robe koja je naručena u prethodnom periodu pomnoženo s vremenom potrebnim da se roba isporuči. Na taj način se gledaju prethodne narudžbe i njihov utjecaj na lanac opskrbe.

$$SL_t = OP_{t-1}^* \cdot LT \quad (19)$$

Parametre prilagodbe zaliha i lanca opskrbe potrebno je pomno odabrati. Ako su vrijednosti parametra prevelike, tj. bliže vrijednosti 1, oscilacije u zalihama među članovima lanca opskrbe nisu tako velike. Međutim, broj otvorenih narudžbi je velik zbog nedostatnih količina zaliha.

Suprotno tome, ako su vrijednosti parametra preniske, odnosno blizu 0, velike su oscilacije u zalihama između članova lanca opskrbe i svaki član gomila zalihe. [14] Nadalje, treba paziti da vrijednosti parametra nisu podjednake, ali ni da nema prevelikog raspona između te dvije vrijednosti.

Kombinacija parametra koja je posebno zanimljiva je ona u kojoj se prethodne narudžbe uopće ne uzimaju u obzir. Prema [14] kada je $(\alpha_s, \alpha_{SL}) = (0,45, 0,00)$ dolazi do tzv. intermitentnosti između dva hiperkaotična rješenja. Pojednostavljeno, članovi lanca opskrbe imaju agresivnu politiku upravljanja i prilagođavanja zaliha, a u potpunosti zanemaruju svoju liniju opskrbe. To dovodi do znatnog povećanja zaliha i naručivanja prevelike količine jer se zaboravlja na prethodno naručenu količinu robe. Suprotni slučaj se ni ne razmatra jer se

pretpostavlja da svako poduzeće, bez obzira kako jednostavnu politiku nabave imalo, uzima u obzir prilagodbu zaliha kako bi upravljanje zalihama davalo što bolje rezultate. Jedino što se može promijeniti u prvom dijelu jednadžbe (17) je praćenje otvorenih narudžbi.

Iz prethodno navedenog može se zaključiti da bi se za postizanje relativno stabilnog lanca opskrbe morala primijeniti politika nabave koja uzima u obzir značaj lanca opskrbe i kontinuirano ujednačava zalihe. Na temelju toga odabrane su vrijednosti parametra. Parametar prilagodbe zaliha $\alpha_s=0,3$, a parametar prilagodbe lanca opskrbe $\alpha_{sL}=0,015$. U slučaju kada jednadžba (17) rezultira količinom narudžbe čija vrijednost nije cjelobrojna zaokružuje se na prvo veće cjelobrojno rješenje.

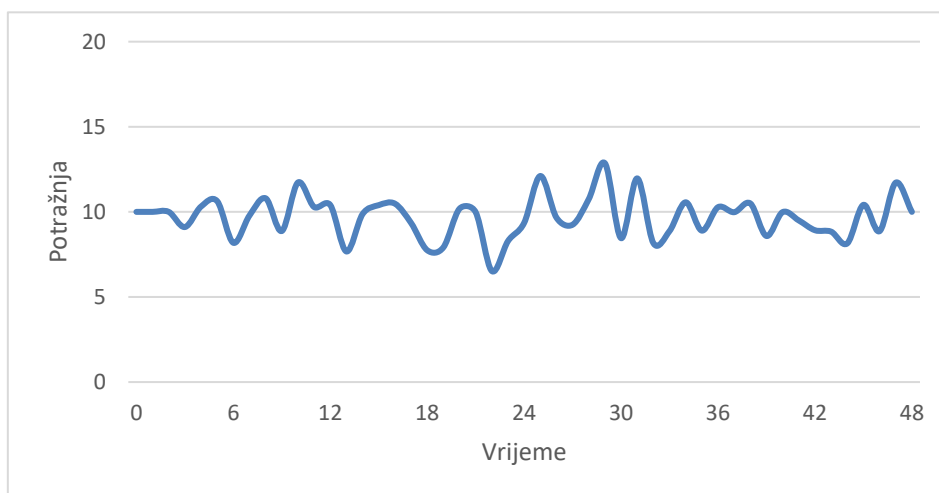
Simulacijski model je pojednostavljen te su uvedene sljedeće pretpostavke:

- Na početku je stacionarno stanje (svi članovi imaju istu količinu zaliha).
- Svaki član lanca opskrbe će svoju sljedeću narudžbu zaprimiti za 3 tjedna (vrijeme dobave je 3 tjedna).
- Članovi nemaju maksimalnog ograničenja kapaciteta (skladište je neograničeno).
- Sve što proizvođač naruči to i dobije (sirovine uvijek ima).
- Obje simulacije su napravljene u trajanju od godinu dana (naručuje se svaki tjedan).
- Svaki član lanca opskrbe naručuje prema aktualnoj potražnji.

U nastavku su napravljene simulacije za dvije karakteristične potražnje tržišta: varijacija potražnje tržišta i povećanje potražnje na tržištu.

4.3.1. *Primjer s varijacijom potražnje tržišta*

Na slici 9 je prikazana varijabilna potražnja tržišta simulirana za potrebe daljnjeg izračuna. Potražnja varira oko srednje vrijednosti 10 s varijancom 1.



Slika 9. Varijabilna potražnja tržišta

U nastavku su prikazane tablice prvih 12 tjedana svakog člana lanca opskrbe kad je potražnja na tržištu varijabilna.

Tablica 1. Praćenje narudžbi malotrgovca po tjednima kod varijacije potražnje

| Period [Tjedni] | Zalihe | Količina zaprimljene robe | Količina isporučene robe | Otvorene narudžbe | Dolazne narudžbe | Ispunjene narudžbe | Narudžba malotrgovca |
|-----------------|--------|---------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------------|
| 1. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 2. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 3. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 4. | 30 | 10 | 9 | 0 | 9 | 9 | 9 |
| 5. | 31 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 6. | 31 | 10 | 11 | 0 | 11 | 11 | 12 |
| 7. | 30 | 9 | 8 | 0 | 8 | 8 | 7 |
| 8. | 31 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 9. | 31 | 12 | 11 | 0 | 11 | 11 | 12 |
| 10. | 32 | 7 | 9 | 0 | 9 | 9 | 8 |
| 11. | 30 | 10 | 12 | 0 | 12 | 12 | 14 |
| 12. | 28 | 12 | 10 | 0 | 10 | 10 | 11 |

Tablica 2. Praćenje narudžbi veletrgovca po tjednima kod varijacije potražnje

| Period [Tjedni] | Zalihe | Količina zaprimljene robe | Količina isporučene robe | Otvorene narudžbe | Dolazne narudžbe | Ispunjene narudžbe | Narudžba veletrgovca |
|-----------------|--------|---------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------------|
| 1. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 2. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 3. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 4. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 5. | 30 | 10 | 9 | 0 | 9 | 9 | 9 |
| 6. | 31 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 7. | 31 | 10 | 12 | 0 | 12 | 12 | 14 |
| 8. | 29 | 9 | 7 | 0 | 7 | 7 | 5 |
| 9. | 31 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 10. | 31 | 14 | 12 | 0 | 12 | 12 | 14 |
| 11. | 33 | 5 | 8 | 0 | 8 | 8 | 6 |
| 12. | 30 | 10 | 14 | 0 | 14 | 14 | 18 |

U tablicama se može primijetiti da u prvih 12 tjedana nijedan član lanca opskrbe nema otvorenih narudžbi. Iako je to za očekivati za članove bliže kraju lanca opskrbe, uzvodni članovi, kao što su dobavljač i proizvođač, nemaju otvorenih narudžbi zbog vremenskog kašnjenja dolaznih narudžbi i dobave robe. Može se zaključiti, a vidljivo je i iz grafičkog prikaza zaliha na slici 13 da će biti i otvorenih narudžbi i neispunjavanja narudžbi. Iako je varijacija potražnje na tržištu relativno mala, narudžbe se, idući uzvodno u lancu opskrbe, podosta povećavaju te iz tjedna u tjedan pokazuju velike varijacije u vrijednostima.

Tablica 3. Praćenje narudžbi dobavljača po tjednima kod varijacije potražnje

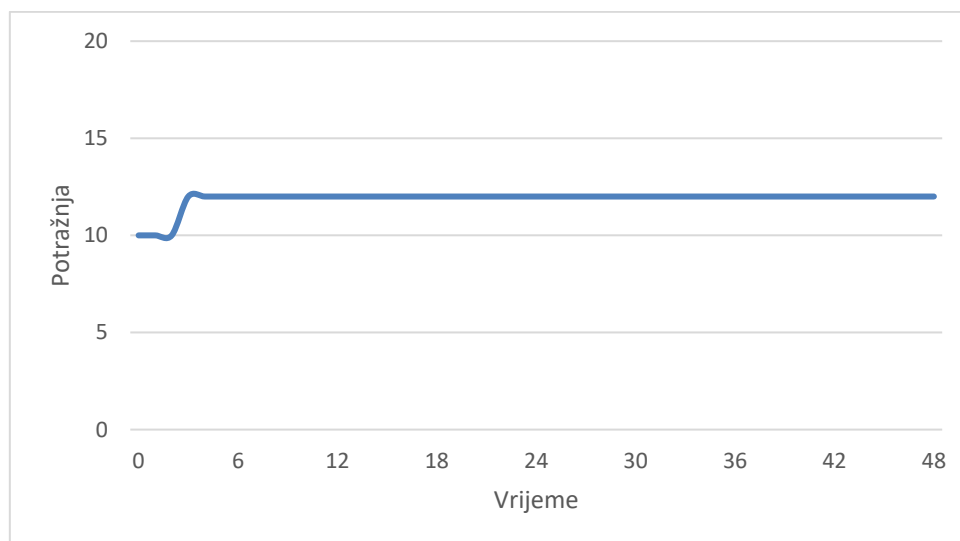
| Period [Tjedni] | Zalihe | Količina zaprimljene robe | Količina isporučene robe | Otvorene narudžbe | Dolazne narudžbe | Ispunjene narudžbe | Narudžba dobavljača |
|-----------------|--------|---------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| 1. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 2. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 3. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 4. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 5. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 6. | 30 | 10 | 9 | 0 | 9 | 9 | 9 |
| 7. | 31 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 8. | 31 | 10 | 14 | 0 | 14 | 14 | 18 |
| 9. | 27 | 9 | 5 | 0 | 5 | 5 | 1 |
| 10. | 31 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 11 |
| 11. | 31 | 18 | 14 | 0 | 14 | 14 | 18 |
| 12. | 35 | 1 | 6 | 0 | 6 | 6 | 1 |

Tablica 4. Praćenje narudžbi proizvođača po tjednima kod varijacije potražnje

| Period [Tjedni] | Zalihe | Količina zaprimljene robe | Količina isporučene robe | Otvorene narudžbe | Dolazne narudžbe | Ispunjene narudžbe | Narudžba proizvođača |
|-----------------|--------|---------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------------|
| 1. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 2. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 3. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 4. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 5. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 6. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 7. | 30 | 10 | 9 | 0 | 9 | 9 | 9 |
| 8. | 31 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 9. | 31 | 10 | 18 | 0 | 18 | 18 | 26 |
| 10. | 23 | 9 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 11. | 31 | 10 | 11 | 0 | 11 | 11 | 13 |
| 12. | 30 | 26 | 18 | 0 | 18 | 18 | 26 |

4.3.2. *Primjer s povećanjem potražnje na tržištu*

Na slici 10 je prikazana potražnja koja se nakon prva 3 tjedna povećala za 20 % i ostala konstantna na većoj vrijednosti.



Slika 10. Povećanje potražnje na tržištu

U nastavku su prikazane tablice prvih 12 tjedana svakog člana lanca opskrbe kad se potražnja na tržištu povećala.

Tablica 5. Praćenje narudžbi malotrgovca po tjednima kod povećanja potražnje

| Period [Tjedni] | Zalihe | Količina zaprimljene robe | Količina isporučene robe | Otvorene narudžbe | Dolazne narudžbe | Ispunjene narudžbe | Narudžba malotrgovca |
|-----------------|--------|---------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------------|
| 1. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 2. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 3. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 4. | 30 | 10 | 12 | 0 | 12 | 12 | 14 |
| 5. | 28 | 10 | 12 | 0 | 12 | 12 | 15 |
| 6. | 26 | 10 | 12 | 0 | 12 | 12 | 15 |
| 7. | 24 | 14 | 12 | 0 | 12 | 12 | 16 |
| 8. | 26 | 15 | 12 | 0 | 12 | 12 | 15 |
| 9. | 29 | 15 | 12 | 0 | 12 | 12 | 14 |
| 10. | 32 | 16 | 12 | 0 | 12 | 12 | 14 |
| 11. | 36 | 15 | 12 | 0 | 12 | 12 | 12 |
| 12. | 39 | 14 | 12 | 0 | 12 | 12 | 12 |

Tablica 6. Praćenje narudžbi veletrgovca po tjednima kod povećanja potražnje

| Period [Tjedni] | Zalihe | Količina zaprimljene robe | Količina isporučene robe | Otvorene narudžbe | Dolazne narudžbe | Ispunjene narudžbe | Narudžba veletrgovca |
|-----------------|--------|---------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------------|
| 1. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 2. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 3. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 4. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 5. | 30 | 10 | 14 | 0 | 14 | 14 | 18 |
| 6. | 26 | 10 | 15 | 0 | 15 | 15 | 21 |
| 7. | 21 | 10 | 15 | 0 | 15 | 15 | 22 |
| 8. | 16 | 18 | 16 | 0 | 16 | 16 | 26 |
| 9. | 18 | 21 | 15 | 0 | 15 | 15 | 23 |
| 10. | 24 | 21 | 14 | 0 | 14 | 14 | 19 |
| 11. | 31 | 26 | 14 | 0 | 14 | 14 | 18 |
| 12. | 43 | 24 | 12 | 0 | 12 | 12 | 10 |

Suprotno prethodnom primjeru za varijaciju potražnje na tržištu, kod povećanja potražnje na tržištu dolazi do nedostatka zaliha, tj. otvorenih narudžbi u prvih 12 tjedana. Razlog tome je u puno većoj količini naručene robe. Tako proizvođač, kako bi mogao ispuniti otvorene narudžbe, u roku mjesec dana naručuje 10 puta veću količinu robe nego prije kao što je prikazano u tablici 8.

Tablica 7. Praćenje narudžbi dobavljača po tjednima kod povećanja potražnje

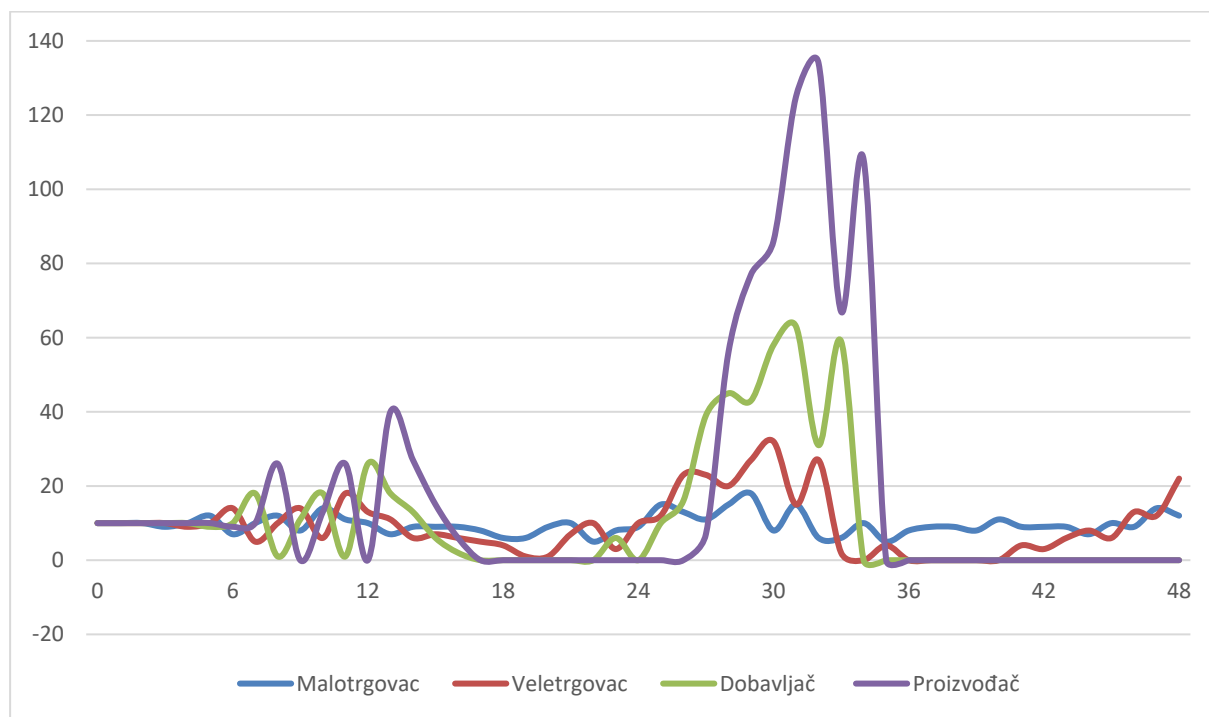
| Period [Tjedni] | Zalihe | Količina zaprimljene robe | Količina isporučene robe | Otvorene narudžbe | Dolazne narudžbe | Ispunjene narudžbe | Narudžba dobavljača |
|-----------------|--------|---------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| 1. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 2. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 3. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 4. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 5. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 6. | 30 | 10 | 18 | 0 | 18 | 18 | 26 |
| 7. | 22 | 10 | 21 | 0 | 21 | 21 | 34 |
| 8. | 11 | 10 | 21 | 0 | 22 | 21 | 38 |
| 9. | 0 | 26 | 26 | 1 | 26 | 26 | 50 |
| 10. | 0 | 24 | 24 | 1 | 23 | 24 | 43 |
| 11. | 0 | 10 | 10 | 0 | 19 | 10 | 36 |
| 12. | 0 | 42 | 27 | 9 | 18 | 27 | 37 |

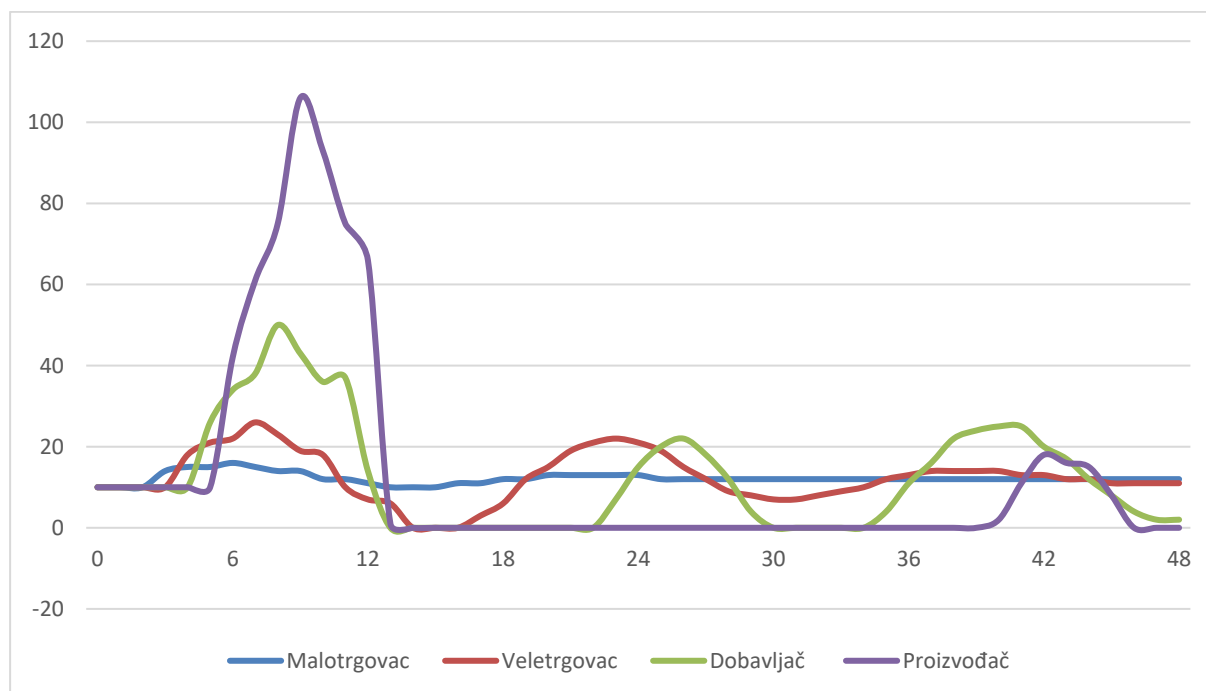
Tablica 8. Praćenje narudžbi proizvođača po tjednima kod povećanja potražnje

| Period [Tjedni] | Zalihe | Količina zaprimljene robe | Količina isporučene robe | Otvorene narudžbe | Dolazne narudžbe | Ispunjene narudžbe | Narudžba proizvođača |
|-----------------|--------|---------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------------|
| 1. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 2. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 3. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 4. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 5. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 6. | 30 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 7. | 30 | 10 | 26 | 0 | 26 | 26 | 42 |
| 8. | 14 | 10 | 24 | 0 | 34 | 24 | 61 |
| 9. | 0 | 10 | 10 | 10 | 38 | 10 | 75 |
| 10. | 0 | 42 | 42 | 38 | 50 | 42 | 106 |
| 11. | 0 | 61 | 61 | 46 | 43 | 61 | 93 |
| 12. | 0 | 75 | 64 | 28 | 36 | 64 | 75 |

4.3.3. Usporedba grafova

Slike 11 i 12 prikazuju simulaciju kretanja narudžbi članova lanca opskrbe pri varijaciji potražnje te povećanju potražnje na tržištu tijekom 48 tjedana.

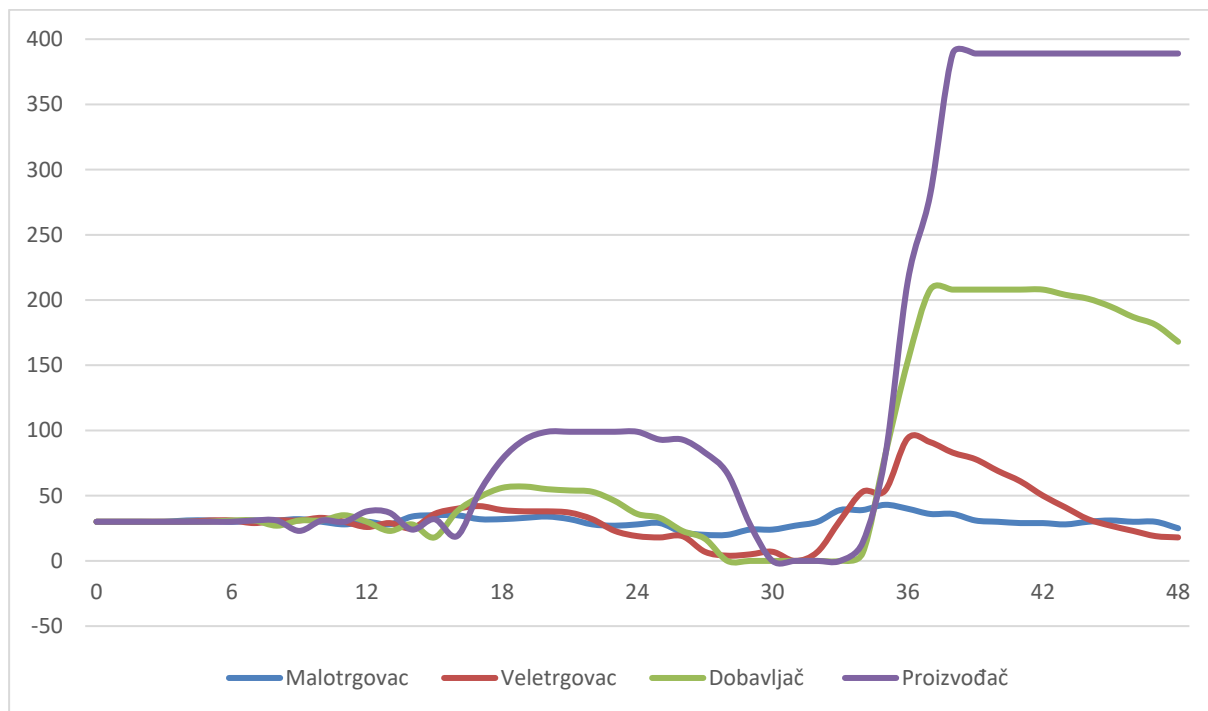
**Slika 11. Narudžbe pri varijaciji potražnje tržišta**



Slika 12. Narudžbe pri povećanju potražnje na tržištu

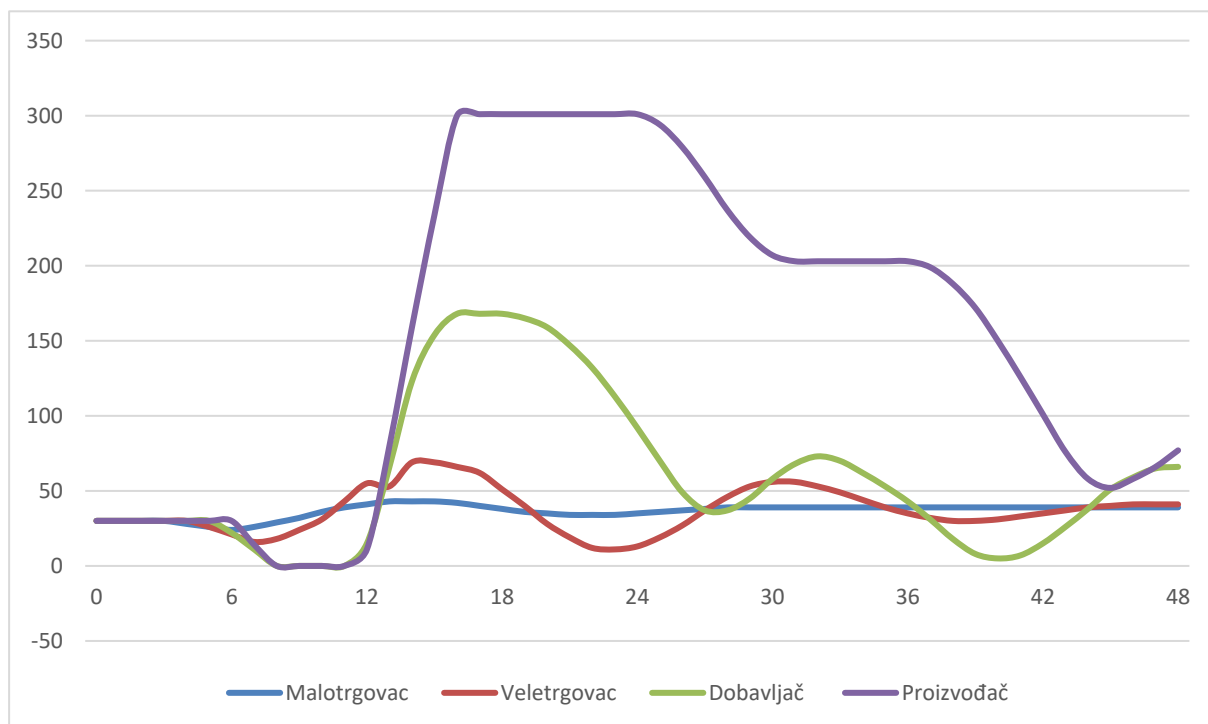
Kod varijacije potražnje veliki porast u narudžbama može se zamijetiti oko 30-og tjedna kad je potražnja tržišta varirala oko povećanih vrijednosti. To je dovelo do amplitudnog rasta količine robe koja se naručuje kako bi se ispunile otvorene narudžbe. Nakon povećanja naručenih količina dolazi do smanjena količina koje se naručuju, odnosno roba se uopće ne naručuje kao što je slučaj za dobavljača i proizvođača.

U slučaju povećanja potražnje na tržištu malotrgovac koji ima direktnu vezu s tržištem može se već nakon 5 mjeseci prilagoditi novonastaloj situaciji i ustaliti svoju narudžbu na novoj vrijednosti. 6 mjeseci kasnije to polazi za rukom i veletrgovcu dok ostala dva člana lanca opskrbe trebaju još vremena za prilagodbu. Može se zaključiti da će se nakon nekog vremena svi članovi uravnotežiti na nekim novim i povećanim vrijednostima koje će zadovoljavati njihovu povećanu potražnju. Proizvođač nakon velikog početnog povećanja u količini robe koju naručuje dugi period ne naručuje ništa kako bi mogao potrošiti nagomilane zalihe.



Slika 13. Zalihe pri varijaciji potražnje tržišta

Slike 13 i 14 prikazuju simulaciju kretanja zaliha članova lanca opskrbe pri varijaciji potražnje te povećanju potražnje na tržištu tijekom 48 tjedana.



Slika 14. Zalihe pri povećanju potražnje na tržištu

Potrebno je uočiti da je veća količina zaliha nagomilana pri varijaciji potražnje. Razlog tome leži upravo u varijabilnom, odnosno nestabilnom karakteru potražnje na tržištu. S obzirom da je teško procijeniti kako će se potražnja kretati u sljedećih par tjedana, svaki član lanca opskrbe teži osigurati se s dovoljnim brojem zaliha gomilajući iste. Pri povećanju potražnje na tržištu članovi lanca opskrbe mogu s većom sigurnošću zaključiti, gledajući prethodne dolazne narudžbe, da će potražnja ostati na toj konstantnoj povećanoj razini. Sukladno tome, ne gomilaju toliko zaliha.

Članovi nakon gomilanja zaliha jedno vrijeme ne naručuju robu te su i zalihe konstantne (ravna linija na grafovima). Nakon toga slijedi crpljenje nagomilanih zaliha te ponovno naručivanje veće količine robe kako manjak zaliha ne bi dugo potrajao ili, u idealnom slučaju, ne bi došlo do manjka zaliha. Iz oba grafa vidljivo je da su u jednom periodu zalihe bile iscrpljene do kraja što znači da je i bilo otvorenih narudžbi. Pri varijaciji potražnje na tržištu samo malotrgovac nije do kraja iscrpio svoje zalihe dok kod povećanja potražnje zalihe nisu pale na nulu ni malotrgovcu ni veletrgovcu. Razlog tome je da nizvodni članovi imaju bolju vezu s tržištem, pogotovo malotrgovac koji ima direktnu vezu, pa je i reakcija na promjenu u potražnji pravovremena. Također, može se vidjeti da se količina zaliha pri povećanju potražnje, barem što se tiče malotrovgovca i veletrgovca, počinje stabilizirati u novoj vrijednosti.

Politika nabave s parametrima koji su odabrani daje efekt biča koji je karakteriziran malom količinom otvorenih narudžbi. Razlog tome leži u gomilanju zaliha. Oscilacije u narudžbama i zalihama dobivene ovakvom politikom nabave jesu velike, ali i očekivane.

4.4. Mjera efekta biča

Prema [15] za mjeru efekta biča uzima se omjer prema jednadžbi (20)

$$BWE = \frac{\sigma_O^2 / \mu_O}{\sigma_D^2 / \mu_D} \quad (20)$$

Gdje je:

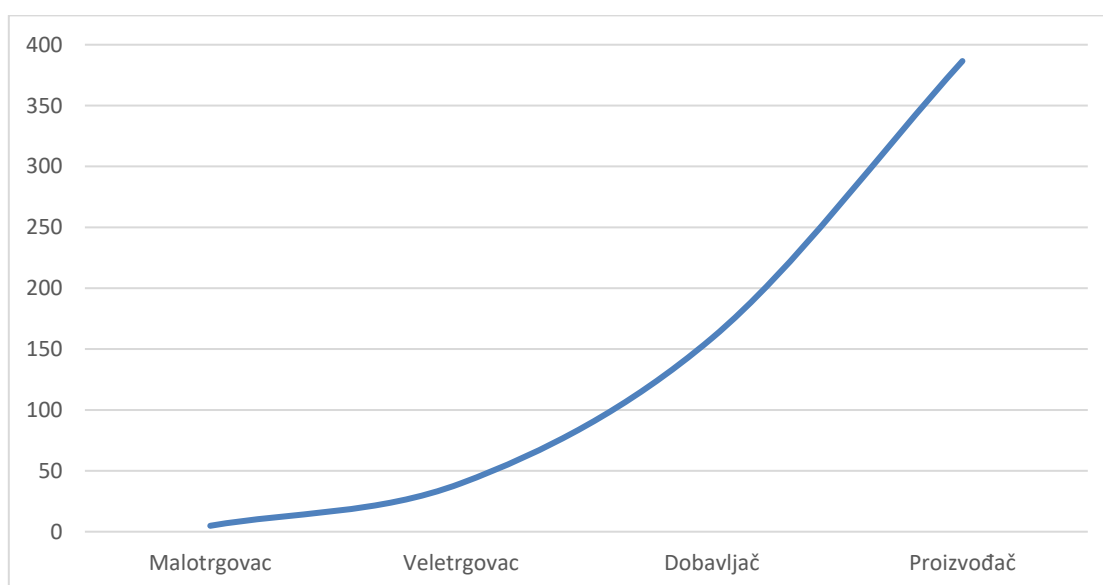
| | |
|--------------|---------------------------------|
| BWE | mjera efekta biča |
| σ_O^2 | varijanca narudžbi |
| σ_D^2 | varijanca potražnje |
| μ_O | prosječna vrijednost narudžbe |
| μ_D | prosječna vrijednost potražnje. |

Mjera efekta biča jednaka 1 pokazuje da je varijanca narudžbi jednaka varijanci potražnje, tj. ne dolazi do pojačanja varijabilnosti. Vrijednost veća od 1 ukazuje na prisutnost efekta biča u lancu opskrbe, dok vrijednost manja od 1 znači da je došlo do zaglađivanja, odnosno narudžbe pokazuju manju varijabilnost u odnosu na potražnju te dolazi do obrnutog efekta biča. [16]

Rezultati dobiveni simulacijom prikazani su u tablici 9 i 10 te grafički na slikama 15 i 16.

Tablica 9. Efekt biča pri varijaciji potražnje tržišta

| | Malotrgovac | Veletrgovac | Dobavljač | Proizvođač |
|------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| <i>BWE</i> | 4,86 | 39,75 | 158,81 | 386,57 |

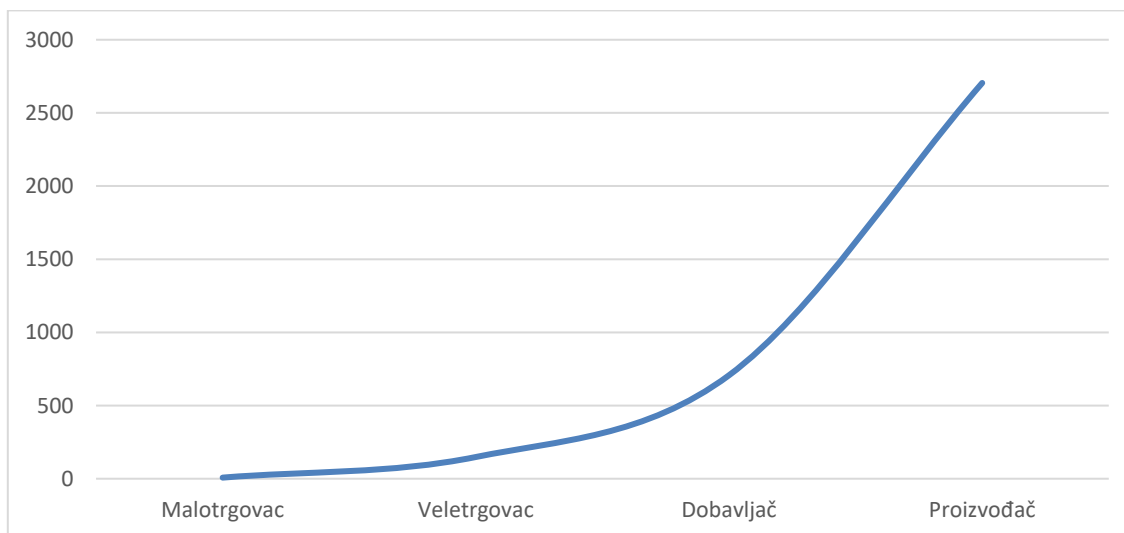


Slika 15. Prikaz efekt biča pri varijaciji potražnje tržišta

Iz tablica, kao i iz grafičkih prikaza, vidljivo je da efekt biča raste od kraja prema početku lanca, tj. od zadnjeg nizvodnog do prvog uzvodnog člana. Također je vidljivo da je kod varijacije potražnje tržišta omjer varijanci manji, tj. manja je varijabilnost između članova nego u slučaju povećanja potražnje na tržištu. I to cca. 4 do 7 puta ovisno o kojim članovima lanca opskrbe se radi. U oba slučaja, kao što prikazuju slike 15 i 16, radi se o gotovo eksponencijalnom rastu što jasno pokazuje razmjer efekta biča i magnitudu posljedica.

Tablica 10. Efekt biča pri povećanju potražnje na tržištu

| | Malotrgovac | Veletrgovac | Dobavljač | Proizvođač |
|------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| <i>BWE</i> | 7,39 | 148,35 | 707,03 | 2704,55 |

**Slika 16. Prikaz efekt biča pri povećanju potražnje na tržištu**

Velika mjera efekta biča sugerira fluktuacije u obrascu naručivanja. To za posljedicu ima velike varijacije u proizvodnoj razini, što rezultira povećanjem prosječnih troškova proizvodnje u tom razdoblju. [16]

Također, treba uzeti u obzir da su ti primjeri krajnje pojednostavljeni i bez konkretnih ograničenja koja bi držala efekt biča pod kontrolom. Tako svaki član lanca opskrbe koristi istu politiku nabave i pokušava osigurati da se dostigne optimalna, tj. ciljana razina zaliha uz prilagodbu lanca opskrbe. Budući da potrošač više troši, malotrgovac mora poslati veću narudžbu. Veletrgovac tada daje još veću narudžbu i tako dalje uzvodno lancem opskrbe. Dakle, efekt biča se ne može eliminirati, ali se može smanjiti. Više o načinima smanjenja u sljedećem poglavlju.

5. NAČINI SMANJENJA EFEKTA BIČA I POPRATNIH NEGATIVNIH POSLJEDICA

Razumijevanje uzroka efekta biča pomaže menadžerima pri pronalasku strategije za njegovo smanjenje. Moguća rješenja su bazirana na mehanizmu koordinacije svih članova lanca opskrbe, protoku informacija te operativnoj učinkovitosti. Usklađivanjem kanala unutar lanca opskrbe koordinira se cijena, transport te upravljanje zalihama između uzvodnih i nizvodnih članova. Dijeljenjem informacija podaci o potražnji se pravovremeno prenose uzvodno, a operativna učinkovitost poboljšava aktivnosti vezane uz efikasnost tvrtki kao što je smanjenje troškova i vremena dobave. U nastavku će biti detaljnije opisano kako smanjiti efekt biča.

5.1. Razvoj suradnje i jačanje povjerenja

Prema [17] suradnja i povjerenje su ključni čimbenici za postizanje i održavanje partnerskih odnosa između članova lanca opskrbe te povećanja efikasnosti i zadovoljstva korisnika. Suradnja članova lanca opskrbe dugoročno jača odnose koji se temelje na povjerenju te donosi druge prednosti kao što su zajedničko stvaranje znanja, razmjena stručnosti, smanjenje ukupnih troškova i stvaranje vrijednosti u lancu opskrbe. Tvrtke koje imaju visoku razinu povjerenja učinkovitije su u obradi podataka, prijenosu znanja i provedbi tog znanja u konkretne postupke. [17] Okruženje koje je karakterizirano transparentnošću podataka i dijeljenjem znanja pospješuje proces učenja i dobiva se pristup tzv. implicitnom znanju (eng. *tacit knowledge*) koje se temelji na iskustvu i stečenim vještinama. S takvim pristupom znanju, može se brže reagirati i donositi bolje odluke čime se postižu i bolji rezultati. Organizacijska kultura koja zagovara razmjenu znanja postiže veće stope rasta, ima više inovacija te u konačnici ostvaruje konkurentsku prednost.

Suradnja lanca opskrbe se može podijeliti u dvije kategorije: vertikalnu i horizontalnu. [17] Vertikalna unutarnja (interna) suradnja se temelji na povezivanju funkcija unutar organizacije, dok se vanjska (eksterna) odnosi na povezivanje s dobavljačima i klijentima. Dakle, vertikalna vanjska suradnja je povezivanje proizvoda ili usluga različitih organizacija koje su na različitim razinama u lancu opskrbe. Horizontalna suradnja je suradnja s konkurentima, a na unutarnjoj razini to je suradnja s proizvođačima s kojima se dijeli proizvodni kapacitet.

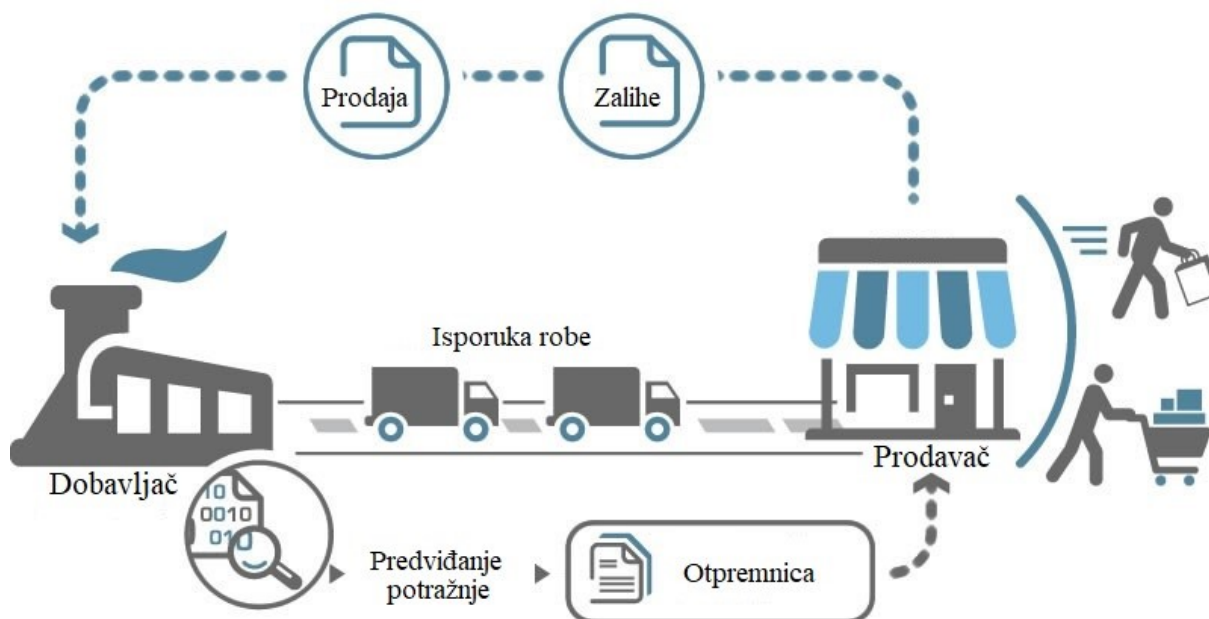
Mnoge organizacije imaju integriranu neku vrstu sučelja, tj. informacijskog sustava za internu suradnju kao što je ERP (eng. *Enterprise Resource Planning*) koji povezuje razne odjele i poslovne procese tvrtke. Međutim, unutarnja suradnja mora biti povezana i sinkronizirana s

vanjskom kako bi se stvorila jača povezanost s partnerima te integrirali procesi i pospješilo dijeljenje informacija. Dakle, sustavi unutarnje integracije moraju biti usklađeni s pokretačima i ograničenjima ostatka lanca opskrbe. [17] Vanjska suradnja bazira se na sustavima za zajedničko predviđanje potražnje i upravljanje zalihama. Detaljnije o tome u sljedećim potpoglavljima.

Ostvarivanjem suradnje komunikacija i dijeljenje informacija je uspješnije i postiže se jedna razina transparentnosti između članova što poboljšava fleksibilnost poslovanja. Razmjena informacija o prodaji, vremenu dobave, narudžbenicama i radnim nalogima te predviđanjima potražnje eliminira višak zaliha, smanjuje ukupne troškove, koordinira aktivnosti više poduzeća i pokazuje veću spremnost za rješavanje logističkih problema kao što je efekt biča. Postizanjem suradnje članovi nisu samo fokusirani na sebe i svoje ciljeve nego sagledavaju utjecaj svojih odluka na cijeli lanac.

5.1.1. VMI

Upravljanje zalihama od strane dobavljača (eng. *Vendor Managed Inventory-VMI*) je strategija lanca opskrbe u kojoj dobavljač preuzima odgovornost za upravljanje zalihama svog nizvodnog člana, tj. svog kupca. VMI sustav se u lance opskrbe implementira koristeći podatke prikupljene ERP sustavom na temelju kojih se donose odluke o količini robe koju je potrebno isporučiti. Strategija VMI sustava je prikazana na slici 17. Dobavljač prati zalihe i prodaju robe te na temelju toga radi procjenu i predviđanje kada i u kojoj količini je potrebno isporučiti robu. Nakon što se donese odluka, dobavljač isporučuje robu zajedno s otpremnicom.



Slika 17. Upravljanje zalihama od strane dobavljača [18]

VMI nije nova strategija. O tome se je opsežno raspravljalo još 60-ih godina prošlog stoljeća. Postoje razni argumenti o tome tko bi u lancu opskrbe trebao upravljati zalihama. Malotrgovac, odnosno prodajna organizacija bi trebala biti u mogućnosti kontrolirati i upravljati svojim zalihama. Prodajne organizacije su te koje imaju korist od zaliha jer im one osiguravaju zadovoljstvo kupca. S druge strane, dobavljač je taj koji isporučuje robu svom nizvodnom članu i teži da to bude što ekonomičnije, a za to mu treba potpuni uvid u potražnju. Prema [19] moguće je doći do rješenja. Korisnik, u ovom slučaju malotrgovac, se mora osigurati da će potrebna roba biti isporučena na vrijeme. Sukladno tome, ima i odgovornost navesti dobavljaču maksimalnu i minimalnu količinu potrebnih zaliha. Kada se ta ograničenja prihvate, dobavljač je odgovoran za ispunjenje potražnje unutar tih granica pritom koristeći pogodnosti koje mu taj raspon donosi. Na taj način članovi dijele međusobnu odgovornost i kontrolu nad zalihama.

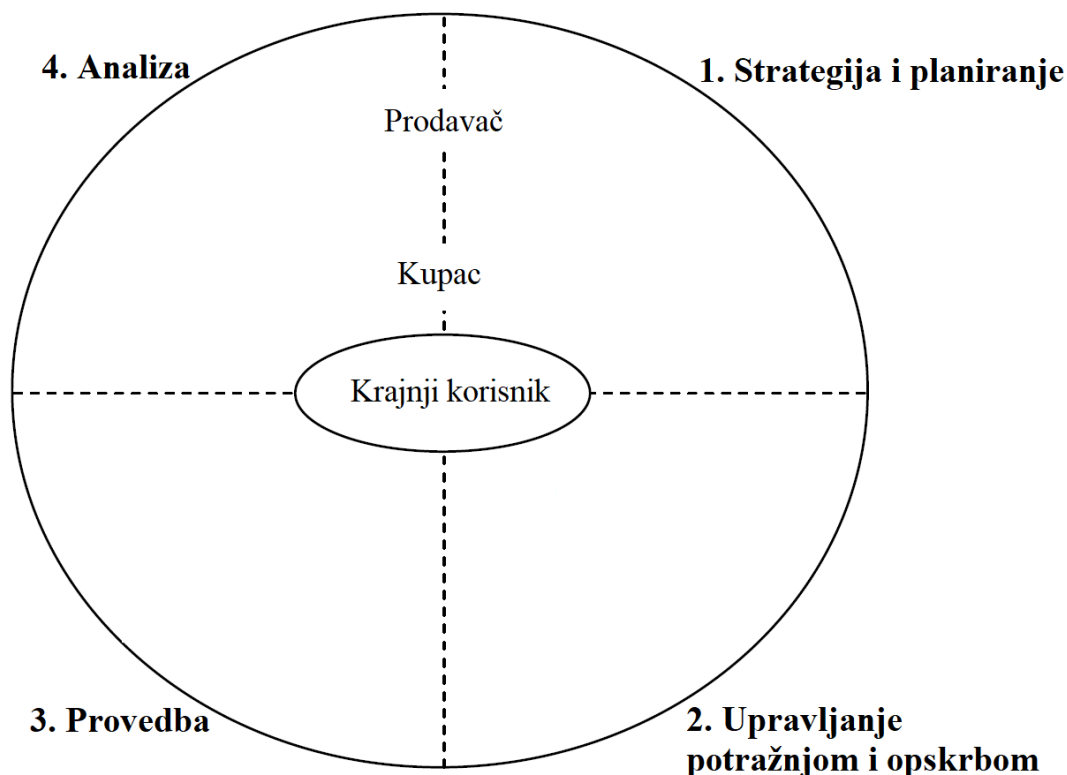
VMI je strategija lanca opskrbe koja je pronašla široku primjenu u brojnim tržišnim sektorima. Najčešći razlog implementacije VMI sustava u lanac opskrbe je poimanje nizvodnih članova, odnosno trgovca da bi najbolje rješenje za njih bilo prenošenje odgovornosti za upravljanje zalihama na dobavljača. Strategija je popularizirana kasnih 80-ih uspjehom suradnje između maloprodajnog lanca Walmarta i tvrtke P&G. [20] S obzirom da je P&G vodeći u sektoru deterdženta i kozmetike te imaju više informacija o kretanju potražnje, Walmart je predložio P&G-ovom timu da oni preuzmu odgovornost o obavještavanju kada je potrebno poslati sljedeću narudžbu. Kasnije je Walmart odlučio da nije potrebna preporuka P&G tima nego da sami isporuče količinu koju smatraju dostatnom. Danas Walmart, uz pomoć informacijske i komunikacijske tehnologije, takvu vrstu suradnje ima sa svim svojim dobavljačima.

VMI je strategija koja zahtijeva ulaganja u informacijske i komunikacijske tehnologije. Jedna takva tehnologija je i tehnologija radiofrekvencijske identifikacije (eng. *Radio-Frequency Identification-RFID*). RFID tehnologija, uz pomoć ručnih čitača za očitavanje oznaka proizvoda i lokacija na kojima se ti proizvodi nalaze, omogućuje bolje upravljanje podacima dolazne robe i optimizaciju zaliha. Iako su potrebna ulaganja brojna i skupa, koristi i prednosti su velike. VMI nudi konkurentsku prednost trgovcima jer rezultira većom dostupnošću proizvoda i razinom usluge kao i smanjenjem troškova naručivanja i upravljanja zalihama. Za dobavljače implementacija VMI strategije rezultira smanjenjem efekta biča, boljim iskorištavanjem proizvodnih kapaciteta te boljim planiranjem popunjavanja zaliha. [21] S obzirom da dobavljač ima aktivnu ulogu u lancu opskrbe, smanjuje se i kašnjenje u transportu

robe jer se ne čeka na dolaznu narudžbu. U pojedinim slučajevima prisutni su i nedostaci implementacije VMI sustava. Dobavljači ponekad nisu u mogućnosti nositi se s promotivnim ponudama proizvođača i njihovim utjecajem na zalihe. Također, ponekad su predviđanja dobavljača loša i nezadovoljavajuća za trgovca. Glavno ograničenje VMI sustava je neučinkovito korištenje podataka na maloprodajnoj razini. Razlog tome leži u činjenici da su trgovci isključeni iz procesa predviđanja potražnje. Njihova jedina odgovornost je dijeljenje podataka s dobavljačem. Međutim, ponekad su tržišta tako nepredvidiva da je potrebno iskustvo i znanje trgovca o kupovnim navikama potrošača. Stoga je razvijen sustav koji može riješiti većinu problema koji se susreću pri implementaciji VMI-a. Više o tome u sljedećem potpoglavlju.

5.1.2. CPFR

CPFR (eng. *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment*) je engleski akronim za suradničko planiranje, predviđanje i popunjavanje zaliha. CPFR je poslovna praksa koja kombinira znanje više članova lanca opskrbe u planiranju i ispunjavanju potražnje kupca. [21] Prema Voluntary Interindustry Commerce Solutions, organizaciji koja je definirala okvir i smjernice za provođenje CPFR-a, 4 ključne faze CPFR procesa su: strategija i planiranje, upravljanje potražnjom i opskrbom, provedba i analiza. [22] Kao što je prikazano na slici 18, prodavač i kupac, tj. uzvodni i nizvodni članovi lanca opskrbe rade zajedno kao suradnici kako bi zadovoljili zahtjeve krajnjeg korisnika koji se nalazi u samom centru modela.



Slika 18. CPFR model [23]

Faza strategije i planiranja je faza razvoja strategije suradničkog odnosa između članova lanca opskrbe. Naglasak je na tome da svaki član koji ima udio u partnerstvu i profitu snosi i odgovornost. Zajednički poslovni plan definira značajne događaje koji utječu na potražnju i opskrbu kao što su promocije i lansiranje novih proizvoda.

Druga faza, faza upravljanja potražnjom i opskrbom se fokusira na prodaju i predviđanje potražnje. CPFR zahtijeva da svi članovi lanca opskrbe zajedno izrađuju predviđanje potražnje, planove nabave i proizvodnje te popunjavaju zalihe. Predviđanja se vrše na temelju „sirovih” podataka prvog nizvodnog člana, odnosno podataka s prodajnog mjesta (eng. *Point of Sale-POS*). Predviđanje potražnje stvoreno zajedničkim doprinosima cijelog lanca opskrbe je točnije i preciznije od više različitih predviđanja koje svaki član radi za sebe.

Faza provedbe odnosi se na generiranje narudžbi te procese proizvodnje, isporuke, zaprimanja i skladištenja proizvoda i materijala. Kada se svi članovi usuglase i potvrde predviđanje potražnje kao ispravno i točno, ta predviđena količina postaje količina koja se naručuje i time započinje proces popunjavanja zaliha. Također se u ovoj fazi evidentiraju prodajne transakcije i vrše plaćanja.

Analiza podrazumijeva stalni nadzor aktivnosti planiranja i provedbe. Ako dođe do odstupanja, partneri dijele saznanja i vrši se prilagodba planova ili razvoj alternativne strategije te se teži kontinuiranom unaprjeđenju. Mjere se ključni pokazatelji uspješnosti kako bi se evaluirao stupanj postizanja zajedničkih ciljeva.

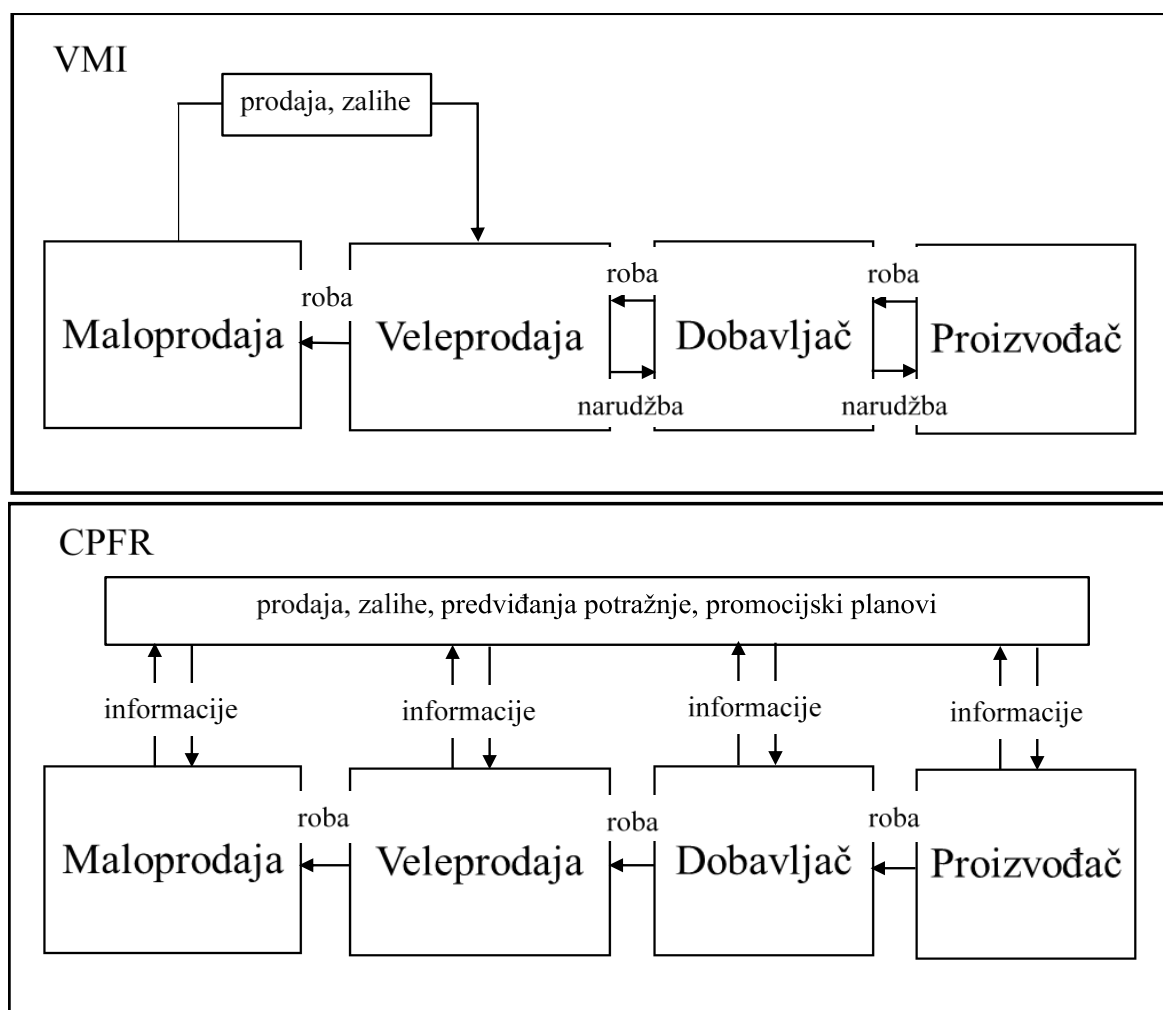
Uspješna implementacija CPFR-a nije lako ostvariva. Zahtijeva uzajamno povjerenje i suradnju više članova lanca opskrbe te više organizacijskih resursa. Iako CPFR eliminira nedostatke VMI sustava, investicijski i operativni troškovi su znatno veći. Stoga je nužna dobra analiza troškova i koristi kao bi menadžment lanca opskrbe utvrdio odgovarajuću razinu suradnje. Dugoročna suradnja i partnerstvo između proizvođača i trgovca poboljšava uslugu i povećava profit svim članovima lanca opskrbe. Implementacija CPFR modela u lanac opskrbe poboljšava protok informacija i materijala kroz lanac opskrbe te povećava efikasnost proizvodnje. Dodaje se vrijednost lancu opskrbe u obliku smanjenih zaliha i poboljšane korisničke usluge postizanjem bolje podudarnosti ponude i potražnje. [21] Troškovi skladištenja su svedeni na minimum jer se narudžbe dobavljačima i kupcima procesiraju istovremeno što rezultira primanjem materijala potrebnog za proizvodnju u pravo vrijeme, bez kašnjenja kako bi se konačni proizvod isporučio na vrijeme. Tako se eliminiraju i uska grla u proizvodnji. CPFR program može predvidjeti parametre potražnje kao što su vrsta distribucije, varijanca te aritmetička sredina što daje bolji uvid u potražnju i točnije i jeftinije upravljanje zalihama. S druge strane, velika količina dostupnih podataka može zbuniti menadžere i navesti ih na krive zaključke ako je njihovo znanje o problemu neadekvatno. To za posljedicu ima smanjene učinke lanca opskrbe i gotovo pa nikakvu isplativost implementacije CPFR-a.

Menadžeri lanca opskrbe koriste se raznim tehnologijama kako bi podržali CPFR model. Najčešće se radi o internetskom poslužitelju koji omogućava pohranjivanje i osiguravanje ogromnih količina podataka kojima mogu pristupiti samo ovlaštene aplikacije ili korisnici. To je tzv. računarstvo u oblacima (eng. *Cloud Computing-CC*). Kada svi članovi lanca opskrbe učinkovito surađuju i postignu dogovor u vezi korištenja tehnologija, CPFR također može poboljšati integraciju cijelog sustava i pojednostaviti poslovne procese eliminirajući nepotrebne radnje i papirologiju. Međutim, poteže se i par nedostataka vezanih za to. Naime, postoji velika potražnja za pristupom podacima određene razine kvalitete i njihovim povezivanjem s ciljem dijeljenja istih. S obzirom na to da se izvori tih podataka nalaze u heterogenoj okolini, integracija između sustava je u najmanju ruku problematična. Postoji i problem upravljanja velikim podacima (eng. *Big Data*). Kako bi iskoristili velike podatke,

članovi lanca opskrbe moraju podržavati različite vrste informacija, imati infrastrukturu za pohranu masovnih skupova podataka i fleksibilnost za korištenje informacija nakon što se one prikupe i pohrane te tako omogućiti njihovu analizu u realnom vremenu. Također, u pitanje se dovodi i sigurnosti tih podataka.

5.1.3. Usporedba učinka VMI i CPFR sustava u lancu opskrbe

VMI, u lanac opskrbe koji se sastoji od 4 člana, najčešće je implementiran između malotrgovca i njegovog neposrednog dobavljača, tj. veletrgovca. Na taj način se najbolje iskorištavaju prednosti koje VMI nudi. Naravno, VMI se može implementirati između bilo koja dva člana lanca opskrbe. Kada su svi članovi lanca opskrbe međusobno povezani te surađuju i dijele informacije govori se o CPFR praksi. Dijele se podaci o količini prodane robe, tekućim zalihama i o sadašnjim i budućim promocijama proizvoda. Na temelju prikupljenih podataka kreira se zajedničko predviđanje potražnje tržišta. Grafički prikaz struktura lanca opskrbe s VMI i CPFR sustavom prikazan je na slici 19.



Slika 19. Strukture lanca opskrbe s VMI i CPFR sustavima

Prema istraživanju [21] koje je usporedilo učinke implementacije VMI i CPFR sustava u lanac opskrbe koji se sastoji od 4 člana uočeno je da veću korist i više prednosti donosi dobro implementirani CPFR sustav. CPFR stvara niže ukupne troškove lanca opskrbe te višu razinu korisničke usluge. Simulacija [21] je također pokazala da povećanje efikasnosti dobiveno implementacijom sustava ovisi o 3 faktora: proizvodnom kapacitetu, vremenu dobave i volatilnosti tržišne potražnje. Tako manji proizvodni kapacitet neutralizira prednosti oba sustava. Ovisno o međusobnom odnosu 3 faktora mijenja se i razlika u razini efikasnosti između VMI i CPFR-a. Npr. kada je vrijeme dobave kratko i/ili je proizvodni kapacitet izrazito ograničen, VMI je isplativiji od CPFR-a, tj. ne isplati se uložiti u prelazak na CPFR. Razlog leži u tome što kolanje informacija između svih članova ne doprinosi puno ukupnom lancu opskrbe i smanjenju efekta biča dobivenom varijacijom potražnje. U slučaju postizanja proizvodnog kapaciteta dolazi do ograničavanja, tj. poništavanja benefita točnog predviđanja porasta potražnje. Dakle, koristi dobivene CPFR-om ostaju neiskorištene. Slično vrijedi i za kratko vrijeme dobave. Kašnjenje informacija i materijala nije veliko i nema zamjetni utjecaj na efekt biča stoga je i implementacija sustava izmijene informacija skupa i nepotrebna.

Smanjenje ukupnih troškova lanca opskrbe kod implementacije VMI sustava ne korelira s povećanjem vremena dobave. Međutim, CPFR ima pozitivnu korelaciju. Dakle, smanjenje ukupnih troškova lanca opskrbe se povećava što je vrijeme dobave dulje. Kod četverostrukog povećanja vremena dobave, ukupni troškovi se smanjuju za 20 % više u odnosu na prije. [21] Iako je vrijeme dobave veliko, informacije o potražnji te nabavi materijala i sirovina se prenose u realnom vremenu pa se bolje i efikasnije može isplanirati proizvodnja i smanjiti vrijeme izvođenja.

CPFR ostvaruje veliku prednost nad VMI sustavom na volatilnim tržištima. Kako se varijabilnost potražnje povećava, efikasnost VMI sustava se smanjuje. Kod velike varijabilnosti potražnje efikasnost CPFR-a se također smanjuje, no to smanjenje je neznatno i iznosi oko 3 %. [21] Razlog tome je činjenica da lanac opskrbe može bolje upravljati volatilnošću kroz zajedničko sudjelovanje u predviđanju potražnje i upravljanju zalihama. Stoga se CPFR sustavi i preferiraju u industrijama koje imaju značajnu varijabilnost potražnje. Tako je potreba za CPFR sustavima i suradnjom nužna u tehnološkim industrijama kao što je industrija računalnih komponenti koju karakteriziraju proizvodi kratkog životnog ciklusa i promjenjiva potražnja kupaca. Nadalje, lanci opskrbe koji imaju implementiran CPFR pokazuju višu razinu korisničke usluge od onih s VMI sustavom, bez obzira na varijabilnost potražnje.

5.2. Predviđanje potražnje i izbjegavanje višestrukih ažuriranja potražnje

Kao što je spomenuto u prethodnom potpoglavlju, najbolji način smanjenja posljedica predviđanja na efekt biča je dijeljenje informacija i zajedničko predviđanje. Međutim, ako je suradnja članova lanaca opskrbe narušena i nema povjerenja, svaki član lanca opskrbe provodi svoje predviđanje potražnje kako bi mogao bolje planirati. Proizvođač planira proizvodnju, dobavljač planira distribuciju itd. Na taj način greška predviđanja se gomila. Istraživanjem magnitude greške predviđanja, odnosno amplitude efekta biča kroz lanac opskrbe utvrđeno je da se greške predviđanja upola smanjuju korištenjem metoda koje uzimaju u obzir vremensku komponentu. Za većinu raspodjela vjerojatnosti najsigurnija vrijednost predviđanja je ona koja daje podatak čija je vrijednost približno jednaka aritmetičkoj sredini distribucije. Pogreška u predviđanju te promatrana varijanca potražnje su međusobno povezane. Varijanca je prosječno kvadratno odstupanje svakog podatka od aritmetičke sredine. Varijanca potražnje mjeri odstupanje od stvarne potražnje, kao i odstupanje od sezonski prilagođenih potražnji. Na taj način potpomaže u određivanju pogreške predviđanja. U nekim industrijama je uočeno da je varijanca proizvodnje dvostruko veća od varijance prodaje. [24] Tako velike amplitude efekta biča ima negativne posljedice na cijeli lanac opskrbe.

5.2.1. Metode predviđanja potražnje

Najnovije metode predviđanja, bazirane na prediktivnoj analitici, smanjuju greške predviđanja, a samim time i efekt biča. Prediktivnim modeliranjem se analiziraju uzorci pronađeni u povijesnim i transakcijskim podacima s ciljem predviđanja budućih događaja za identifikaciju rizika i prilika, što dovodi do boljeg donošenja odluka vezanih za proizvodnju sukladno potražnji. Odabir tehnike modeliranja ovisi o podacima i cilju te je to iterativni proces. Cilj je stvoriti model koji radi prihvatljiva i logična predviđanja na temelju dokaza i uz određenu neizvjesnost. Analiza vremenskih serija je dio prediktivne analitike koja uzima u obzir niz brojevanih podataka promatrane varijable koji su odijeljeni jednakim vremenskim intervalima te poredani u vremenskom redosljedu. Sukladno tome, promatrana varijabla ukazuje na promjene tijekom vremena. Dakle, varijabla je potražnja čije se promjene prikazuju u određenom vremenskom intervalu. Kao što je navedeno u potpoglavlju 3.1.1, predviđanje se može provoditi metodom eksponencijalnog izgladivanja gdje se podaci izgladuju eksponencijalno ponderiranim prosjecima koji eliminiraju slučajne obrasce, tj. šum. Primjer eksponencijalnog izgladivanja je i jednadžba (10). Metoda slična eksponencijalnom

izglađivanju je metoda pomičnih prosjeka (eng. *Moving Average-MA*). MA je metoda koja se koristi za kratkoročna predviđanja podataka koji ne pokazuju trend. Još jedna metoda analize vremenskih serija koja se često koristi je ARIMA. Autoregresivni integrirani pomični prosjek (eng. *Autoregressive Integrated Moving Average-ARIMA*) je oblik regresijske analize koja analizira snagu jedne zavisne varijable u odnosu na ostale koje se mijenjaju. Naziv metode je zapravo akronim koji sadrži najbitnije aspekte ove metode. Autoregresija označava model kojem je glavna pretpostavka da je trenutna vrijednost zavisne varijable povezana s prethodnim vrijednostima te iste varijable, odnosno da su vrijednosti međusobno ovisne. Integracija, odnosno red integracije označava koliko puta je potrebno derivirati vremenski niz da bi on postao stacionaran., a pomični prosjek ukazuje na to da se zaglađivanjem podataka prepoznaje pravilnost u seriji. [25] Autoregresivni pomični prosjek (eng. *Autoregressive Moving Average-ARMA*) je zapravo sličan ARIMA metodi samo nema integrirani dio, tj. ARMA je za stacionarne modele, dok se nestacionarni modeli ARIMA metodom svode na stacionarne.

Iako je ARIMA metoda najčešće korištena, sve više se počinje koristiti umjetna neuronska mreža (eng. *Artificial Neural Network-ANN*) za predviđanje potražnje. ANN je matematički, odnosno računalni model inspiriran strukturom i funkcioniranjem bioloških aspekta neurona koji se koristi kako bi se modelirale složene veze između ulaznih i izlaznih podataka. Neuronska mreža se sastoji od međusobno povezanih grupa umjetnih neurona koji se nalaze u slojevima i obrađuje informacije koristeći veze kojima su pridodane određene težine. U većini slučajeva ANN je adaptivan sustav koji mijenja strukturu ovisno o vanjskim i unutarnjim informacijama koje prolaze kroz mrežu tijekom faze učenja. [25] Upravo ta adaptabilnost daje ovom algoritmu prednost nad ARIMA metodom.

Kod modela predviđanja stavlja se naglasak na njihovu robusnost, odnosno na generalizaciju problema koja omogućava robusnost modela. Također je važna skalabilnost i interpretativnost modela te njegova preciznost. Daljnji napredak prediktivne analitike i rudarenja podataka dovest će do preciznijih modela predviđanja potražnje.

5.2.2. Utjecaj metoda predviđanja na efekt biča

Utjecaj metoda predviđanja na efekt biča je tema mnogih istraživanja. Tako je prema [26] provedena simulacija kako bi se utvrdio utjecaj MA, ES i ARMA metode na efekt biča. Istraživanje je pratilo i vezu točnosti predviđanja na smanjenje efekta biča. Kao mjera točnosti predviđanja uzet je korijen srednjeg kvadratnog odstupanja (eng. *Root Mean Square Error-RMSE*). To je standardna devijacija grešaka predviđanja, odnosno reziduala.

Pojednostavljeno, RMSE je mjera rasipanja koja pokazuje kako su podaci razmješteni oko regresijske linije.

Uočeno je da korištenje metoda predviđanja koje su točnije i preciznije ne rezultira uvijek smanjenjem efekta biča. Dakle, precizna predviđanja potražnje nisu preduvjet smanjenju efekta biča. Pogotovo ako svaki član lanca opskrbe radi svoje predviđanje na temelju narudžbe prethodnog člana. Međutim, ako svi članovi vrše zajedničko predviđanje bolje je koristiti metodu koja daje bolja i točnija predviđanja. Istraživanje [26] je pokazalo da je ARMA točnija od MA i ES metode. Međutim, u slučaju potražnje koja nema ni trend ni sezonalnost povoljnija je metoda pomičnih prosjeka. Eksponencijalno izgladivanje rezultira najlošijim predviđanjima osim u slučaju potražnje koja je karakterizirana sezonalnošću i trendom. U tom slučaju najgora predviđanja daje MA. Što je parametar izgladivanja veći, predviđanja su manje precizna. Pojednostavljeno, manje povijesnih podataka i stavljanje veće važnosti na novije podatke o prodaji uzrokuje lošija predviđanja. Sukladno tome, korištenje više povijesnih podataka o potražnji rezultira smanjenjem efekta biča.

Bez obzira na metodu predviđanja, veliko vrijeme dobave povećava efekt biča. Međutim, metoda predviđanja ima izravan utjecaj na amplitudu efekta biča. Za stabilnu potražnju najbolje su precizne metode kao što je ARMA. Ako je potražnja varijabilna, bez trenda i sezonalnosti, MA i ES metode su bolje i vode smanjenju efekta biča. To su jednostavne metode za kratkoročno predviđanje te su stoga fleksibilne i lakše se prilagođavaju promjenjivoj potražnji.

5.3. Smanjenje količine i povećanje učestalosti narudžbi

Najčešći razlog sakupljanja narudžbi i dugih vremenskih intervala između narudžbi je veliki trošak naručivanja. Međutim, naručivanje velike količine robe doprinosi efektu biča. Kako bi se efekt biča smanjio, potrebno je osmisliti politiku nabave koja provodi češća naručivanja bez da taj trošak nadilazi smanjenje troška držanja manjih količina zaliha. Pojednostavljeno, trošak učestalog naručivanja ne smije neutralizirati učinak smanjenih zaliha. To zahtijeva veliku količinu resursa i poznavanje utjecaja politike nabave na sveukupne troškove poduzeća i na upravljanje zalihama.

Drugi razlog zašto se naručuje velika količina robe je trošak transporta. Razlike u trošku prijevoza FTL i LTL su tako velike da tvrtkama nije ekonomično naručivati manje robe od kompletnog utovara kamiona iako to dovodi do rjeđih popunjavanja zaliha. Štoviše, ograničenje koje trošak prijevoza LTL postavlja, briše ostala poboljšanja učinkovitost

naručivanja manje količine. U nastavku će biti detaljnije opisana kompleksnost nabave i njena povezanost s upravljanjem zalihama. Također, opisuje se utjecaj pružatelja logističkih usluga treće strane na smanjenje količine i povećanje učestalosti narudžbi.

5.3.1. Strategija nabave

S obzirom da dulji vremenski razmak između ciklusa naručivanja te naručivanje velikih količina doprinosi efektu biča, tvrtke moraju osmisliti strategiju koja vodi k manjem i češćem naručivanju. To nije tako jednostavno. Postoje pravila i norme koje se koriste u svakom poduzeću pri naručivanju materijala i sirovina. Općenito, više se vremena i truda ulaže u proces nabave skupih materijala i sirovina, pogotovo onih koji zahtijevaju posebne uvjete. *Ad hoc* procedure se koriste za rutinsku nabavu proizvoda male vrijednosti, automatizirane procedure za robu veće vrijednosti, dok se rigorozne procedure i posebne, detaljne analize koriste za veće kupnje. Prema [27] postoje 3 vrste materijala vezane uz proces nabave: nekritični materijali, materijali s uskim grlom te strateški materijali.

Nekritični materijali imaju mali profit i uz njihovu opskrbu je povezan mali rizik te stoga ne zahtijevaju posebne procedure, nego je dovoljan jednostavan postupak nabave. Materijali s uskim grlom donose mali profit, ali je njihova opskrba rizična te su potrebni dugoročni ugovori s dobavljačima kako bi se izbjegli potencijalni problemi. Za strateške materijale s visokim profitom ključna je suradnja i dobra partnersku vezu s dobavljačima.

Jednom kada se takva pravila uspostave, automatizirani sustav može nadzirati kupnje i provjeriti da se provode na najbolji način. Nadalje, može se napraviti naknadna analiza provedene nabave i provjeriti je li ishod zadovoljavajući, tj. je li uloženi napor razuman u odnosu na troškove i važnost nabave te može li se postupak ubuduće poboljšati.

Potrebno je naglasiti i važnost rutinskih, ponovljenih narudžbi i provedbe novih. Ako dobavljač pruža dobru uslugu kroz dulje vrijeme, organizacija može gotovo u potpunosti izbjeći ciklus nabave i u narednim razdobljima ulagati minimalni napor u upravljanje i provedbu narudžbi te praktički samo poslati sličnu narudžbenicu.

Ponekad proizvodno poduzeće mora donijeti odluku hoće li samo izrađivati neke proizvode i/ili dijelove, ili će ih nabavljati od vanjskih suradnika. Drugim riječima, postavlja se pitanje može li poduzeće nabaviti jeftinije proizvode od dobavljača nego da ih samo proizvodi. S razvojem ekonomije obujma i efikasnog poslovanja, upravo to je postalo i moguće. Međutim, potrebno je pomno razmotriti svaku opciju. Interna izrada proizvoda je pouzdanija, daje veću kontrolu nad opskrbom te dodaje vrijednost krajnjem proizvodu. S druge strane, dobavljači donose sa sobom veću razinu stručnosti i specijalizacije u izradi te smanjenje količine zaliha.

Promatrajući politiku nabave predstavljenu u potpoglavlju 4.2.2 i jednadžbu narudžbe (9), može se uočiti da postoje 3 parametra koja se mogu optimizirati. To su θ , α_S i α_{SL} . Za optimizaciju tih parametra potrebno je uložiti dodatne napore i provesti metodu pokušaja i pogreške kako bi se utvrdilo koji parametri su najpovoljniji za koji proizvod ovisno o njegovoj potražnji, količini zaliha i lancu opskrbe. Kada se to promotri sa šireg aspekta cijelog lanca opskrbe koji se sastoji od 4 člana, vidljivo je da je to dugotrajan proces. U primjeru ilustriranom u poglavlju 4 svaki član je koristio iste parametre. U stvarnosti, svaki član bi radio optimizaciju svojih parametra što za takav lanac opskrbe od ukupno 4 člana znači 12 parametra koje je potrebno optimizirati. Nadalje, svaki član lanca opskrbe nema samo jedan proizvod, nego puno proizvoda što znači da se mora optimizirati proces nabave za svaki od tih proizvoda. Štoviše, svaka organizacija ima i druga ograničenja, kao što je količina dostupnog prostora u skladištu. Tako je potrebno u nekim slučajevima postaviti gornju granicu za naručenu količinu. To može dovesti do smanjenja troškova zaliha, ali mora se uzeti u obzir da time mogu porasti troškovi otvorenih narudžbi. To opet rezultira dodatnim naporima koji se moraju uložiti u proces nabave i sve popratne aktivnosti.

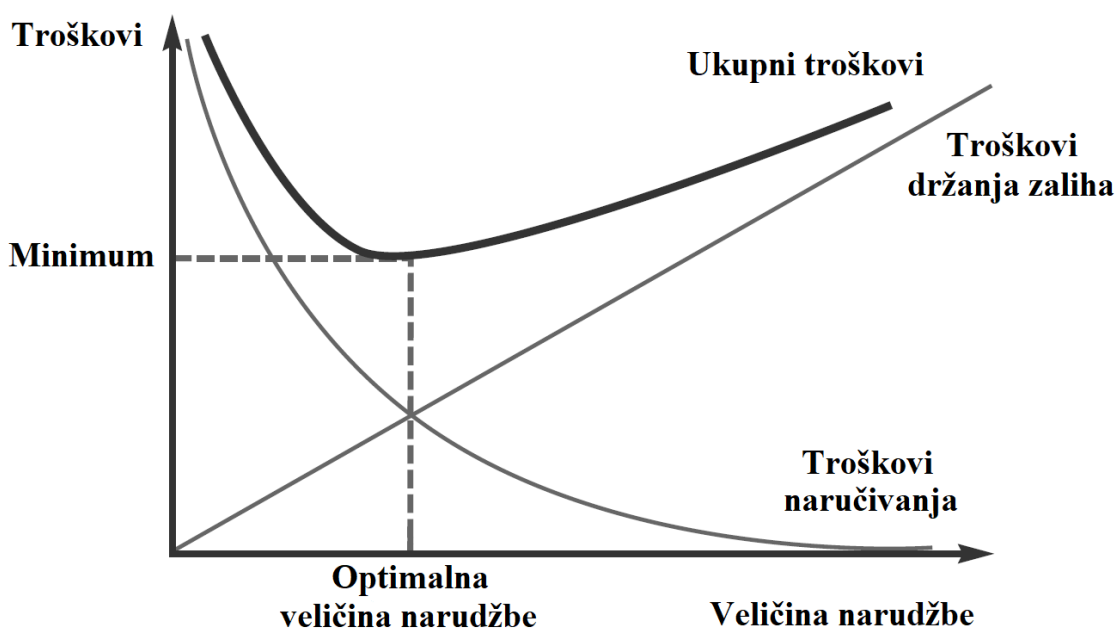
5.3.2. Model ekonomske količine narudžbi

Jedan od modela za upravljanje zalihama je model ekonomske količine narudžbi (eng. *Economic Order Quantity-EOQ*). [1] EOQ model određuje točku u kojoj su troškovi naručivanja i držanja zaliha najmanji. Model je razvijen početkom prošlog stoljeća i kao takav je ostao najkorišteniji za upravljanje zalihama u nezavisnoj potražnji. Model je jednostavan za uporabu te daje osnovne smjernice za upravljanje troškovima vezanim za zalihe.

Komponente ukupnih troškova zaliha su troškovi materijala (eng. *unit cost*), tj. jedinični trošak nabave ili trošak proizvodnje, troškovi naručivanja (eng. *reorder cost*), troškovi držanja zaliha (eng. *holding cost*) i troškovi koji nastaju zbog nedostatka zaliha (eng. *shortage cost*).

Model EOQ pretpostavlja da su jedinični trošak, trošak naručivanja i trošak držanja zaliha poznati, a trošak uzrokovan nestašicom tako visok da potražnja mora biti zadovoljena i nedostatak zaliha nije dopušten. Uz te pretpostavke teži se pronaći najbolju i najpovoljniju količinu za naručiti.

S obzirom da nestašice nisu dopuštene, trošak zbog nedostatka zaliha se zanemaruje. Nadalje, trošak materijala je konstantan bez obzira na količinu koja se naručuje te se izostavlja iz EOQ modela. Na slici 20 je prikazan grafički prikaz EOQ modela. Može se vidjeti da troškovi držanja zaliha linearno rastu s veličinom narudžbe. Suprotno tome, troškovi naručivanja padaju s povećanjem naručene količine.



Slika 20. EOQ model [1]

Dakle, rjeđe narudžbe velikog obujma uzrokuju visoke troškove držanja zaliha te manje troškove naručivanja. Male učestale narudžbe smanjuju troškove držanja, ali povećavaju troškove naručivanja. Na temelju toga dobiva se konveksna krivulja koja prikazuje da se u minimalnom ukupnom trošku zaliha nalazi optimalna veličina narudžbe.

Jednadžba za određivanje ekonomične količine narudžbe (21) je sljedeća:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2RD}{H}} \quad (21)$$

Gdje je:

| | |
|-------|------------------------------|
| EOQ | ekonomična količina narudžbe |
| R | trošak naručivanja |
| D | potražnja |
| H | trošak držanja zaliha. |

Problem s korištenjem EOQ modela je u tome da može rezultirati količinom narudžbe koja nije cijeli broj. Nameće se pitanje treba li zaokružiti broj na veću ili manju vrijednost i koliki to utjecaj zapravo ima na ukupne troškove zaliha. Analiza osjetljivosti je pokazala da se

naručena količina može povećati na 156 % ekonomične količine narudžbi ili pasti na 64 % iste, a trošak će porasti samo za 10 %. [1] Dakle, iako se izračun bazira na nizu pretpostavki i aproksimacija, ukupni trošak zaliha polako raste oko optimuma.

5.3.3. Pružatelji logističkih usluga treće strane

Popunjavanje zaliha malim narudžbama postaje ekonomično i korištenjem logističkih usluga treće strane (eng. *Third Party Logistics-3PL*). 3PL konsolidira robu više proizvođača koji se nalaze u blizini što omogućava tvrtkama da ostvare prijevoz kompletnog utovara bez da se radi o isporuci od jednog dobavljača. Takav način isporuke više različitih proizvoda od različitih dobavljača jednom kupcu je poznatiji pod nazivom *Milk run*. Prije 3PL-a to je bilo teško izvedivo. Dobavljači koji zaprimaju FTL pošiljke od proizvođača daljnju isporuku raznovrsnih artikla veleprodaji i maloprodaji obavljaju korištenjem usluga 3PL-a. Iako nastaju dodatni troškovi vezani uz rukovanje robom i administraciju, takav način prijevoza se isplati jer ušteda premašuje troškove. Dobavljači stoga potiču svoje veletrgovce da naruče niz različitih proizvoda te tako napune cijeli kamion. Rezultat toga je da je svaki proizvod češće naručivan, a učestalost isporuka ostaje ista te je učinkovitost prijevoza očuvana. Tvrtke poput Procter & Gamble svojim distributerima, koji su spremni naručiti raznovrsne artikle, tj. skladišne jedinice (eng. *Stock Keeping Unit-SKU*), daju popuste te ih na taj način potiču na češću opskrbu. [2] Taj pristup je posebno značajan malim tvrtkama koje nemaju tako velike zahtjeve za robom te čija količina ne opravdava učestalo naručivanje. Ako se svaki kupac opskrbljuje zasebno punim kamionom raznovrsnih proizvoda, korištenje logističkih usluga treće strane može značiti promjenu popunjavanja zaliha s mjesečne na tjednu bazu. Nadalje, proizvođači koordiniranjem isporuke sa svojim kupcima mogu postići ravnomjernu raspodjelu pošiljki kroz tjedan.

5.4. Stabilizacija cijena i eliminiranje špekulacija

Najjednostavniji način smanjenja efekta biča koji je uzrokovan kupnjom unaprijed i raznim promidžbama je smanjenje učestalosti sniženja veleprodajnih cijena. Proizvođač može smanjiti terminsku kupnju robe uspostavljanjem uniformne cjenovne politike. Većina tvrtki koristi strategiju trajno niske cijene (eng. *Every Day Low Prices-EDLP*) kojom obećavaju kupcima trajno niske cijene bez da moraju čekati na sniženje. [5] U takvoj cjenovnoj strategiji tvrtka postavlja nisku cijenu i održava je kroz dugo vremensko razdoblje (uzimajući u obzir da troškovi proizvoda ostaju nepromijenjeni). EDLP smanjuje fluktuacije potražnje koje bi se pojavile tijekom sniženja i promidžbi. Time predviđanje potražnje postaje jednostavnije.

Tijekom regionalnih promidžbi neke tvrtke veletrgovci često kupuju velike količine na području gdje se odvija promidžba te višak preusmjeravaju u druge regije radi potrošnje. Troškovi toga su ogromni, ali se ne mogu prikazati uobičajenim računovodstvenim sustavima. Troškovi temeljeni na aktivnostima (eng. *Activity-Based Costing-ABC*) omogućavaju tvrtkama uvid u troškove skladištenja, rukovanja materijalom, transporta i sl. ABC metoda upravljanja troškovima ukazuje na loše strane kupnje prevelike količine proizvoda koji su na sniženju te na taj način potpomaže implementaciju EDLP strategije.

Kada dobavljač ima manjak robe, umjesto da raspodjeljuje proizvode na temelju narudžbi, može ih rasporediti proporcionalno podacima o prethodnim prodajama. Kupcima je tada teže manipulirati s količinom robe koja im je potrebna i koju naručuju. Dobavljačima tu pomaže i XYZ analiza (eng. *XYZ analysis*). XYZ analiza je postupak klasifikacije zaliha prema varijabilnosti njihove potražnje. [28] Potražnja na tržištu je raznovrsna. Postoji roba čija potražnja se ne mijenja značajno kroz neki dulji period, ali postoje i proizvodi koji imaju značajne varijacije u potražnji, ponekad s trendovima i sezonalnostima, a ponekad i bez tih komponenti. Svaka potražnja nekog proizvoda na tržištu je karakteristična i utječe na upravljanje zalihama i politiku nabave.

X proizvod je proizvod koji ima veliki obrtaj i koji zahtijeva konstantno popunjavanje. Potražnju za tim proizvodom lako je predvidjeti i relativno je konstantna tijekom vremena. Potražnja Y proizvoda nije stabilna i pokazuje varijacije, ali te varijacije su uzrokovane čimbenicima kao što su sezonalnost ili životni ciklus proizvoda stoga se i varijabilnost potražnje može predvidjeti s određenom pogreškom. Potražnja Z proizvoda ima velike varijacije ili je potražnja povremena. Predviđanje je otežano jer nema nikakvih komponenti kao što su trend ili sezonalnost na kojima bi se predviđanje baziralo.

U poslovanju tvrtke postoje dvije situacije koje uvelike utječu na profitabilnost poslovanja. Dostizanje kapaciteta proizvodnje i gubitak kupca zbog nemogućnosti isporuke robe, pogotovo u slučaju sezonske potražnje. Kao što je spomenuto i u potpoglavlju 3.1.3, zbog ograničenja kapaciteta potrebno je pomno isplanirati proizvodnju i uspješno predvidjeti potražnju kako bi se pravovremeno osigurale zalihe za vrhunac sezonske potražnje. S obzirom da je skladištenje velike količine proizvoda skupo, potrebno je dobro proučiti izvedivost takvog načina proizvodnje i izračun troškova. Dakako, u slučaju nepostojanja zaliha smanjenje profitabilnosti je još veće. Ne samo zbog gubitka prodaje nego i zbog narušavanja odnosa s kupcem i potencijalnog gubitka istog.

Protok informacija o kapacitetu i zalihama proizvođača kroz cijeli lanac opskrbe smanjuje zabrinutost kupaca zbog nestašice, a samim time i njihovu potrebu za stvaranjem viška zaliha. Međutim, dostupnost informacije o nestašici robe malo znači kad je roba stvarno nedostupna. Stoga neki proizvođači surađuju sa svojim kupcima te oni imaju mogućnost unaprijed naručiti sezonske proizvode kako bi si osigurali svoju zalihu. To ide u prilog i proizvođačima koji onda mogu bolje isplanirati proizvodnju sukladno potražnji.

Način upravljanja povratom robe te sama politika povrata ima značajni utjecaj na cjelokupnu profitabilnost poduzeća. Logistika povrata je važna funkcija čije procese i aktivnosti je potrebno efikasno provoditi. Vraćeni proizvodi povećavaju troškove skladištenja i zauzimaju skladišni prostor. Štoviše, manipulacija robom u povratnom procesu mora biti brza i učinkovita jer kvaliteta robe stajanjem pada, a samim time i njezina cijena.

Velikodušna politika povrata robe potiče špekulativno naručivanje robe. Bez nekih ozbiljnih posljedica kupcima je isplativo naručiti prekomjerne količine te zatim otkazati narudžbu. Kako bi se smanjilo takvo špekulativno naručivanja te posljedično otkazivanje narudžbi, uvode se novčane kazne za otkazivanje narudžbi.

6. ZAKLJUČAK

Upravljanje lancem opskrbe s ciljem minimiziranja ukupnih troškova rezultira boljom korisničkom uslugom, što je neophodno u današnjim dinamičnim i konkurentnim poslovnim okruženjima. Jedan od glavnih uzroka povećanja troškova je efekt biča. Efekt biča je pojava oscilacija koje su nastale kao reakcija na varijabilnu potražnju kupca. Kako se ide od kraja prema početku lanca opskrbe, amplitude oscilacija rastu. Beer Game, kao najpoznatija ilustracija efekta biča, pokazao je poteškoće pri donošenju ispravnih odluka kada su informacije ograničene, a situacija složena. Uobičajena posljedica su prekomjerne zalihe uzrokovane visokim stupnjem varijabilnosti potražnje i nesigurnosti. Pojava efekta biča uočena je u brojnim industrijama s različitim razinama ekonomskog značaja.

Simulacija provedena u ovom radu pokazala je kako varijabilna potražnja tržišta stvara veće oscilacije u potražnji kroz cijeli lanac opskrbe nego povećanje potražnje na tržištu. Razlog tome leži u činjenici da je varijabilna potražnja karakterizirana konstantnom neizvjesnošću i većim gomilanjem zaliha kako bi se osigurala dovoljna količina za isporuku robe. Kod povećanje potražnje na tržištu prilagodba novonastaloj situaciji je jednostavnija te svi članovi, u nekom određenom periodu, mogu ustaliti svoju narudžbu na novoj, povećanoj količini.

Efekt biča je uzrokovan kašnjenjem informacija o potražnji i nabavi te kašnjenjem materijala i sirovina potrebnih za proizvodnju. Predviđanje potražnje informacijama dobivenim samo od neposrednog proizvodnog člana povećava efekt biča. Neredovito naručivanje i produljeni ciklusi naručivanja također. Varijabilnost cijena na tržištu te s time povezane špekulacije dovode do još većih oscilacija. Osim operativnih uzroka, veliki utjecaj na efekt biča imaju međusobni odnosi članova lanca opskrbe. Manjak koordinacije i nedostatak suradnje dovodi do značajnog variranja potražnje, a osim efekta biča dolazi i do smanjenja profita. Što je lanac opskrbe razgranatiji i kompleksniji utjecaj efekta biča je veći, a posljedice su dalekosežnije.

Operativni načini smanjenja efekta biča su brojni. Potrebno je izbjeći višestruka ažuriranja potražnje implementacijom neke od tehnologija dijeljenja podataka o potražnji jer protok informacija o potražnji, stanju na zalihama i proizvodnom kapacitetu smanjuje zabrinutost svih članova lanca opskrbe, a samim time su i špekulativna naručivanja svedena na minimum. Metode predviđanja su raznovrsne i s minimalnom greškom predviđanja doprinose boljoj politici nabave i upravljanju zalihama. Izrada učinkovite strategije nabave dovodi do poboljšanja poslovanja i smanjenja ukupnih troškova uz frekventnije naručivanje manjih

količina. Štoviše, povećanje učestalosti naručivanja je isplativo i s aspekta transporta korištenjem pružatelja logističkih usluga treće strane.

Općenito, za smanjenje efekta biča potrebna je dobra tehnologija i edukacija ljudskih potencijala. Dok je eksplicitno znanje lako dostupno, implicitno znanje je ono za čime svaka organizacija teži. Upravo otvorenost suradnji i dijeljenju informacija otvara pristup implicitnom znanju. Međutim, to nije lako postići. Pogotovo u razgranatim lancima opskrbe. Odluke koje se donose u lancu opskrbe više su fokusirane na postizanje lokalnih ciljeva, bez da se ima na umu povećanje profita cijelog lanca opskrbe. Oportunistički način razmišljanja i nedostatak transparentnosti šteti svim članovima lanca opskrbe i samo pospješuje efekt biča.

Efekt biča poznat je već 60-ak godina i opsežno je istraživano i ilustrirano. Detaljno su razrađeni uzroci njegove pojave u lancima opskrbe i načini smanjenja svakog od tih uzroka. Usprkos tome, još uvijek se nije dobio potpuni uvid u tu pojavu niti kako ju eliminirati. Što se više ulazi u srž problema uočava se njegova kompleksnost. Može se zaključiti da su dijeljenje informacija i zajednički napor svih članova lanca opskrbe najbolji načini smanjenja efekta biča, a samim time i ostvarivanja glavnih ciljeva upravljanja lancem opskrbe, a to su poboljšanje usluga kupca i povećanje profita.

LITERATURA

- [1] Waters, D.: *Logistics: An Introduction to Supply Chain Management*, Palgrave Macmillan, Hampshire, 2003.
- [2] Lee et al.: *The Bullwhip Effect in Supply Chains*, Sloan Management Review 38(3), 1997., 93-102.
- [3] Rong et al.: *The impact of ordering behavior on order-quantity variability: a study of forward and reverse bullwhip effects*, Flexible Services and Manufacturing Journal 20, 2008., 95-124.
- [4] Zhu et al.: *Bullwhip effect in the oil and gas supply chain: A multiple-case study*, International Journal of Production Economics 224, 2020.
- [5] Lee, H.L., Padmanabhan, V., Whang, S.: *Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect*, Management Science 50(12), 2004., 1875–1886.
- [6] Forrester, J. W.: *Industrial Dynamics*, MIT Press: Cambridge, Massachusetts, 1961.
- [7] Paik, S., Bagchi, P.K.: *Understanding the causes of the bullwhip effect in a supply chain*, International Journal of Retail & Distribution Management 35(4), 2007., 308-324.
- [8] Đukić, G.: *Predavanja iz kolegija Logistički menadžment*, FSB, Zagreb, 2019.
- [9] Alony, I., Munoz Aneiros, A.: *The Bullwhip effect in complex supply chains*, International Symposium on Communications and Information Technologies, 2007., 1355-1360.
- [10] Moyaux et al.: *Information Sharing as a Coordination Mechanism for Reducing the Bullwhip Effect in a Supply Chain*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C (Applications and Reviews) 37(3), 2007., 396-409.
- [11] The Beer Distribution Game
Dostupno na: <https://beergameapp.com/about/> [datum posjete: 5.12.2020.]
- [12] Sterman, J. D.: *Deterministic Chaos in Models of Human Behaviour: Methodological Issues and Experimental Results*, System Dynamics Review 4, 1988., 148-178.
- [13] Mosekilde et al.: *Coping with Complexity: Deterministic Chaos in Human Decision Making Behaviour* In *Beyond Belief: Randomness, Prediction and Explanation in Science*, CRC Press, Boston, 1991., 199-229.

- [14] Thomsen et al.: *Hyperchaotic Phenomena in dynamic decision making*, Systems Analysis Modelling Simulation 9(2), 1992., 137-156.
- [15] Chen et al.: *Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information*, Management Science 46(3), 2000., 436-443
- [16] Disney, S. M., Lambrecht, M. R.: *The Bullwhip Effect: The Dynamics of Supply Chains* In *On Replenishment Rules, Forecasting and the Bullwhip Effect in Supply Chains*, Now Foundations and Trends, Boston 2008., 3-16.
- [17] Barratt, M.: *Understanding the meaning of collaboration in the supply chain*, Supply Chain Management: An International Journal 9(1), 2004., 30–42.
- [18] Vendor Managed Inventory
Dostupno na: https://www.edicomgroup.com/en_US/solutions/VMI/what_is.html
[datum posjete: 28.12.2020.]
- [19] Magee, J.F.: *Production Planning and Inventory Control*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1958., 80–83.
- [20] Disney, S.M., Towill, D.R.: *The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains*, International Journal of Production Economics 85(2), 2003., 199-215.
- [21] Sari, K.: *On the benefits of CPFR and VMI: A comparative simulation study*, International Journal of Production Economics 113(2), 2008., 575-586.
- [22] Attaran et al.: *Collaborative supply chain management: The most promising practice for building efficient and sustainable supply chains*, Business Process Management Journal 13(3), 2007., 390-404.
- [23] Salmela et al.: *Best collaboration practices in supply chain of technical wholesale items*, International Journal of Collaborative Enterprise 2(1), 2011., 16-38.
- [24] Metters, R.: *Quantifying the bullwhip effect in supply chains*, Journal of Operations Management 15, 1997., 89-100.
- [25] Jaipuria, S., Mahapatra, S.S.: *An improved demand forecasting method to reduce bullwhip effect in supply chains*, Expert Systems with Applications 41(5), 2014., 2395–2408.
- [26] Chaharsooghi et al.: *A simulation study on the impact of forecasting methods on the bullwhip effect in the supply chain*, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2008., 1875 – 1879.
- [27] Van de Vliet, A.: *When the gagging has to stop*, Management Today, 1996., 56–60.

[28] XYZ inventory management

Dostupno na: <https://www.cgma.org/resources/tools/cost-transformation-model/xyz-inventory-management.html> [datum posjete: 28.12.2020.]

PRILOZI

I. CD-R disk