

**UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA**

MAGISTRSKO DELO

NIKOLA JAKŠIĆ

**UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA**

MAGISTRSKO DELO

**ODLOČANJE ZA LOKALNEGA ALI GLOBALNEGA
DOBAVITELJA Z VIDIKA OBVLADOVANJA STROŠKOV ZALOG**

Ljubljana, maj 2012

NIKOLA JAKŠIĆ

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani Nikola Jakšić, študent Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, izjavljam, da sem avtor magistrskega dela z naslovom ODLOČANJE ZA LOKALNEGA ALI GLOBALNEGA DOBAVITELJA Z VIDIKA OBVLADOVANJA STROŠKOV ZALOG, pripravljena v sodelovanju s svetovalcem doc. Petrom Trkmanom.

Izrecno izjavljam, da v skladu z določili Zakona o avtorskih in sorodnih pravicah (Ur. l. RS, št. 21/1995 s spremembami) dovolim objavo zaključne strokovne naloge/diplomskega dela/specialističnega dela/magistrskega dela/doktorske disertacije na fakultetnih spletnih straneh.

S svojim podpisom zagotavljam, da

- je predloženo besedilo rezultat izključno mojega lastnega raziskovalnega dela;
- je predloženo besedilo jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem
 - poskrbel(-a), da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam v zaključni strokovni nalogi/diplomskem delu/specialističnem delu/magistrskem delu/doktorski disertaciji, citirana oziroma navedena v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, in
 - pridobil(-a) vsa dovoljenja za uporabo avtorskih del, ki so v celoti (v pisni ali grafični obliki) uporabljena v tekstu, in sem to v besedilu tudi jasno zapisal(-a);
- se zavedam, da je plagiatstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Zakonu o avtorskih in sorodnih pravicah (Ur. l. RS, št. 21/1995 s spremembami);
- se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predložene zaključne strokovne naloge/diplomskega dela/specialističnega dela/magistrskega dela/doktorske disertacije dokazano plagiatstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom.

V Ljubljani, dne _____

Podpis avtorja: _____

KAZALO

UVOD.....	1
1 Teoretične osnove.....	6
1.1 Verjetnost in statistika	6
1.1.1 Zvezne porazdelitve verjetnosti.....	6
1.1.2 Normalna porazdelitve verjetnosti.....	6
1.1.3 Statistična povprečja.....	7
1.1.4 Metoda Monte Carlo.....	9
1.1.5 Metoda Bootstrap	9
1.2 Skladiščenje in obvladovanje zalog.....	10
1.2.1 EOQ model.....	13
1.2.2 EOQS model.....	15
1.2.3 SQ model.....	17
2 Analiza vpliva variabilnosti povpraševanja na celotne stroške skladiščenja s simulacijo Monte Carlo	20
3 Analiza vpliva variabilnosti povpraševanja in dobavnega roka na celotne stroške po SQ modelu	32
3.1 Relativno kratek dobavni rok.....	32
3.2 Relativno dolg dobavni rok.....	40
4 Analiza vpliva variabilnosti povpraševanja in dobavnega roka na celotne stroške s simulacijo Monte Carlo	43
4.1 Relativno kratek dobavni rok.....	43
4.1.1 Konstantno povpraševanje na periodo (1×).....	43
4.1.2 Povpraševanje na periodo se spremeni 5×.....	46
4.1.3 Povpraševanje na periodo se spremeni 20×.....	48
4.2 Relativno dolg dobavni rok.....	50
5 Primerjava dveh dobaviteljev	51
SKLEP	60
LITERATURA IN VIRI.....	62

UVOD

Globalizacija zadnjih 20 let je, do leta 2008, potekala v pretežno ugodnih gospodarskih razmerah. Ta čas zaznamuje tudi rast globalnih oskrbovalnih verig in vsesvetovne trgovine. Stroškovna plat poslovanja podjetji ni bila v torišču pozornosti zaradi njihove hitre rasti (Tanko, 2011): "*V času konjunktore so podjetja zaradi izjemne rasti prodaje in velike donosnosti pogosto namenjala premalo pozornosti stroškovni plati poslovanja*".

Globalizacija ekonomskih aktivnosti skupaj s hitro razvijajočo se informacijsko tehnologijo je pripeljala do skrajšanja življenjskega cikla izdelkov, manjših količin naročanja in nestanovitnih preferenc kupcev. To je prispevalo k povečanju negotovosti povpraševanja in posledično do povečanja pomembnosti dobrega načrtovanja oskrbovalnih omrežij in njihove robustne zasnove (Melo, Nickel & Saldanha-da Gama, 2009).

Izvoz iz držav z nizko ceno delovne sile se je povečeval približno eksponentialno do leta 2008 (The Boston Consulting Group, 2010b), nato pa je strmo padel (Tanko, 2011): "*Globalizacija proizvodnje in prodaje je bila od leta 2000 do 2008 smiselna, saj je bilo tako mogoče izkoriščati velike stroškovne razlike pri proizvodnji v razvitem in nerazvitem svetu*". Ravno tako so se po letu 2008 povečala valutna tveganja v državah z nizko ceno delovne sile (The Boston Consulting Group, 2010b).

Drugačen odnos managerjev do globalizacije, premik od upoštevanja parametra cene na več vplivnih faktorjev, se kaže tudi v raziskavi (Maltz, Carter & Maltz, 2011), ki ugotavlja, da so stroški in zanesljivost ključni kriteriji, ki jih uporabljajo managerji v nabavi. Avtorji tudi ugotavljajo, da dejavniki, kot so varovanje intelektualne lastnine, igrajo važno vlogo. Pomembnost lokalnega dobavitelja poudarjajo tudi (Tunisini, Bocconcelli & Pagano, 2011). Avtorji ugotavljajo, da empirične raziskave kažejo, da so lokalni dobavitelji odigrali strateško vlogo v različnih obdobjih zgodovine in s tem odigrali odločilno vlogo pri prispevanju znanja in kompetenc k razvoju, prilagodljivosti proizvodnje in stroškovni učinkovitosti.

Seznam ključnih stroškov in težav pri poslovanju s tujimi dobavitelji je že pred 15 leti vključeval dolge dobavne roke, transportne stroške, carinske dajatve in podobno na eni strani, na drugi strani pa probleme kot so kulturne razlike in težave v sporazumevanju (Handfeld, 1994). Politične in gospodarske spremembe v zadnjih desetletjih so bistveno zmanjšale nekatere od teh stroškov in težav. Glaeser in Kohlhase (2004) sta pokazala, da so se železniški, cestni in plinovodni stroški transporta dosledno znižali za okoli 2-2,5% letno zaradi deregulacije njihovih trgov. Poleg tega se nadaljuje zmanjševanje trgovinskih ovir v okviru sporazuma NAFTA, Mercosur in preko članstva Evropske unije in Kitajske v Svetovno trgovinsko organizacijo (STO). Vse to je prispevalo k zmanjšanju zapletenosti in stroškov mednarodne trgovine. Nenazadnje so Fink, Mattoo in Neagu (2002) pokazali, da nižji stroški komuniciranja pozitivno vplivajo na mednarodno trgovino.

Kljub tem makroekonomskim podporam razvoja, še vedno obstajajo, poleg dejavnikov, ki jih obravnava Handfield (1994), številne ovire za globalno oskrbo (Cho & Kang, 2001; Nassimbeni, 2006). Nezdružljivost »Just In Time« (JIT = (dobava) ravno ob pravem času) in globalne oskrbe je pomembno področje razprave (Vickery, 1989; Das & Handfield, 1997; Humphreys, Mak & Yeung, 1998). Ključni konflikt tu povzroča pomanjkanje bližine kupec-dobavitelj, saj JIT zahteva pogosto dobavljanje majhnih količin in hiter odziv dobavitelja. Velike razdalje globalne oskrbe zahtevajo, skoraj po pravilu, Transporte večjih količin in daljše dobavne roke. Potrebna "organizacijska" bližina je redko dosegljiva pri mednarodni oskrbi, ki jo okarakterizirajo daljše, manj zanesljive oskrbovalne verige z več posredniki (Fawcett & Birou, 1992). Vickery (1989) je preučevala prakse treh ameriških družb, pri usklajevanju JIT zahtev s tistimi, ki iz globalne oskrbe. Po njenem mnenju ključni dejavniki uspeha pri doseganju globalne JIT oskrbe vključujejo: izboljšano načrtovanje logistike in proizvodnje ter usklajevanje urnika s kupci, vzpostavitev učinkovitih komunikacijskih povezav na relaciji kupec-prodajalec z upoštevanjem časovnih razlik, razvoj dolgoročnega odnosa kupec-prodajalec in hitrega gibanja blaga skozi carino. Vendar pa sta skoraj desetletje kasneje Das in Handfield (1997) prišla do zaključka, da JIT z globalno oskrbo še ni primerljiv z JIT baziranemu na lokalni oskrbi. Avtorja poudarjata, da so JIT odnosi s tujimi dobavitelji še vedno omejena na manj pogosto oskrbo.

Leta 2008 sledi premislek o omejitvah globalne oskrbe, ki ga podaja delo (Steinle & Schiele, 2008). V njem avtorja navajata, da, v nasprotju s pričakovanji, visok delež globalne oskrbe podjetja ne izboljša nujno njegove konkurenčnosti. V tej luči obstaja limita deleža globalne oskrbe, do katere se podjetju splača povečevati njen delež, razen če uspe podjetje dobiti status prednostnega kupca pri svojih strateških dobaviteljih. Analiza je zajela dve podjetji, kjer se je eno podjetje ukvarja z medicinsko tehnologijo. Temu pritrjuje tudi delo (Tunisini et al., 2011), ki se navezuje na geografsko področje Italije.

Problem oddaljene lokacije dobavitelja in možnosti zmanjšanja posledičnih pomanjkljivosti, predvsem negotovosti pri dobavnih rokih, je opisano v delu (Golini & Kalchschmidt, 2011). V zadnjih letih so podjetja posvečala povečano pozornost managementu oskrbovalnih verig na globalni ravni. Raziskave specifičnih kompetenc dobaviteljev in zaskrbljenost nad mednarodno konkurenco so prisilile podjetja v izboljšanje njihovih zmožnosti kosanja z dobavitelji lociranimi v različnih državah sveta. Literatura navaja pravilo, da se zaloge kupca povečujejo s povečanjem geografske oddaljenosti dobavitelja, zaradi daljših in manj zanesljivih dobavnih rokov. Cilj tega članka je prikaz, kako lahko podjetja omejijo omenjeni učinek s specifičnimi investicijami v oskrbovalno verigo in z odnosom do svojih dobaviteljev.

Globalna logistika je kompleksen problem (The Boston Consulting Group, 2010a), zato so avtorji prispevka, na podlagi študije več podjetij (brez modela), kreirali listo parametrov pomembnih pri odločitvi za oskrbo iz Kitajske. Drugačen pristop pa zagovarjajo avtorji prispevka (Holweg, Reichhart & Hong, 2011) s predlaganjem bazičnih stroškovnih

elementov za modeliranje in postavitev modela odločanja na podlagi celotnih stroškov z oceno tveganja.

Melo, Nickel in Saldanha-da Gama (2009) podajajo pregled modelov lociranja enot oskrbovalne verige kot so obrati, skladišča, logistični in distribucijski centri glede na dobavitelje in kupce tudi z upoštevanjem obratne logistike. Avtorji identificirajo osnovne lastnosti, ki naj bi jih tovrstni modeli imeli, da bi lahko primerno podprli strateški proces odločanja pri planiranju. Informativno je, da kar 75 % od 139 obdelanih referenc (modelov) bazira na stroških kot odločitvenem parametru in le 16 % na dobičku. To kaže, da je pri managementu oskrbovalne verige še vedno prevladujoč stroškovni vidik.

Pregled 18-ih modelov, ki podpirajo odločitveni proces oblikovanja globalnih oskrbovalnih verig kaže, da so pred letom 1990 carine, tarife in davki predstavljali dominantne postavke v procesu odločanja. Med leti 1991 in 1995 se poudarek preseli na variabilnost in negotovost valutnih tečajev. Med leti 1996 in 2000 so se raziskovalci nadalje osredotočali na variabilnost in negotovost tudi drugih spremenljivk v modelu. Po letu 2000 so si raziskovalci prizadevali konsolidirati modele in jih nadgraditi. Zanimivo je omeniti, da prav vsi opisani modeli (18), upoštevajo valutna tveganja, le 5 jih vsebuje stroške skladiščenja in le 2 analizirata tudi dobavne roke. Vsi modeli so bili objavljeni do vključno leta 2003, torej v času pred krizo (Meixell & Gargeya, 2005).

Delo (Goetschalckx, Vidal & Dogan, 2002) obravnava 7 modelov, razvitih med 1986 in 1996. Le en model vključuje dobavni rok in le eden zanesljivost dobavitelja. Obvladovanje stroškov skladiščenja verjetno ni bila kritična dejavnost v tistem obdobju.

Avtorica (Beamon, 1998) podaja pregled 24 modelov pretežno iz 90-ti let prejšnjega stoletja. 19 jih upošteva velikost zalog v svojih spremenljivkah. Zanimivo je, da se le trije modeli poslužujejo numerične simulacije, ostali modeli so analitični; bodisi deterministični ali stohastični.

V zadnjih desetih letih se je modeliranje problematike oskrbovalnih verig, tako lokalnih kot tudi globalnih, precej razmahnilo (Ganesan, George, Jap, Palmatier & Weitz, 2009). Modeli postajajo kompleksni in vključujejo različne elemente, ki vplivajo na oskrbovalno verigo (Anand & Goyal, 2009) ali so del nje.

- *Omejitev*: omejena kapaciteta skladišč (Ghodsypour & O'Brien, 2001), omejena kapaciteta dobavitelja (Hariga & Haouari, 1999), omejen proračun (Chou, Peterson & Hung, 2009)
- *Popusti*: količinski popusti na blago (Huang, 2010; Huang, Tsai & Wub, 2010), popusti pri prednaročilih (Pan & Hsiao, 2005)
- *Zamujanje plačil*: (Huang, 2010; Huang et al., 2010)
- *Hkratno optimiranje proizvodnje in povpraševanja*: (Huang, 2010; Huang et al., 2010)
- *Negotovost povpraševanja*: (Sakaguchi, 2009; Balkhi & Benkherouf, 2004; Park, 2007)
- *Negotovost dobavnega roka*: (Chui, 1995; Dohi, Shibuya & Osaki, 1997; Chua, 2005)

- *Horizont*: končni (Ravichandran, 2007) in neskončni (Urban, 2005; Moon & Choi, 1998)
- *Več izdelkov hkrati*: (Zhang, Liang, Yu & Yu, 2007)
- *Več skladišč hkrati*: (Liang & Zhou, 2011)
- *Več dobaviteljev hkrati*: (Ghodsypour & O'Brien, 2001)
- *Zaloga, ki izgublja vrednost s časom*: (Chui, 1995; Balkhi & Benkherouf, 2004; Hung, 2011)

Tudi narava modelov samih se spreminja od deterministično analitičnih preko stohastično analitičnih do numeričnih simulacij (Melo et al., 2009).

Motivacija za magistrsko nalogo izhaja iz ugotovitev člankov, povzetih v predhodnem poglavju. Ugotovitve dobro ponazarja nedavna študija Boston Consulting Group, ki ugotavlja, da globalna nabava ostaja, vendar se bo namesto zniževanja stroškov dela osredotočila na znižanje celotnih stroškov (The Boston Consulting Group, 2010b) ter tudi iz ugotovitev iz lokalnega okolja (Tanko, 2011; Tunisini et al., 2011). Vprašanje torej je:

Kako, na kateri podlagi, se lahko odločimo za lokalnega ali oddaljenega (globalnega) dobavitelja?

Namen naloge je raziskati nekatere vplivnejše dejavnike odločitve za oskrbo v lokalnem ali v globalnem okolju. Predvsem imamo v mislih vpliv negotovosti povpraševanja in dobavnih rokov na celotne stroške skladiščenja. Razvili bomo orodje, matematično-numerični model, ki naj pomaga pri odločitvi o izbiri vira oskrbe podjetja na podlagi primerjave celotnih stroškov zalog.

Cilj naloge je predstaviti stroškovni pogled na način izbire dobavitelja z vidika obvladovanja stroškov zalog. Pokazati želimo, da:

- najnižja cena blaga na trgu ne sme biti edini odločitveni faktor,
- variabilnost povpraševanja in zmožnost dobavitelja, da se odzove nanjo, igra važno vlogo,
- igrajo važno vlogo tudi dobavni roki dobavitelja in njegova zanesljivost in
- tudi izbira metodologije (modela) vpliva na odločitve.

Osredotočili smo se na dva modela izračuna celotnih stroškov zalog.

Prvi model je stohastičen in hkrati analitičen. V literaturi (Jensen & Bard, 2003) se ta model imenuje (S,Q) ali kar SQ model. Model SQ, ki vključuje le naključno povpraševanje, smo nadgradili na način, da smo upoštevali tudi naključno porazdeljen dobavni rok. Prednost analitičnega modela so seveda rešitve v zaključeni obliki, kjer je z enim izračunom zajeto vse bogastvo možnih rešitev, če je le vrsta porazdelitve verjetnosti definirana za naključne spremenljivke. Predpostavili smo normalno porazdelitev verjetnosti.

Omejitve tega modela se nanašajo na dejstvo, da obravnava le eno periodo. To je s stališča variabilnosti dobavnega roka precejšnja omejitev, saj se variabilnost dobavnega roka lahko prenaša verižno preko več period.

Zato smo se odločili za uporabo še ene metode – simulacije z metodo Monte Carlo. Slabost metode je v številu potrebnih izračunov, da bi zadostili popisu porazdelitve verjetnosti rezultatov simulacije. To seveda pomeni, da porazdelitev rezultatov ni izračunana iz zaključene oblike, ampak jo definira set točk, od katerih vsaka predstavlja možen izid. Iz rešitev (diskretnih točk) lahko nazaj sklepamo o porazdelitvi rezultatov, če le imamo dovolj točk.

V teoretičnih osnovah smo najprej razložili osnovne postavke verjetnosti in statistike in to le tiste, ki jih potrebujemo pri modelih obvladovanja zalog. Središčni del teoretičnih osnov zasedajo trije modeli obvladovanja zalog. Dva sta kar najbolj osnovna, deterministična in analitična in nam služita kot uvod v problematiko. Tretji model je sicer analitičen, vendar je po vsebini stohastičen. Uporabili smo ga kot samostojno orodje in tudi kot način izračuna varnostne zaloge in točke ponovnega naročanja pri Monte Carlo simulacijah.

Teoretičnim osnovam sledijo tri poglavja, kjer smo analizirali in primerjali različne parametre in modele med seboj. V teh treh poglavjih gre za verificiranje modelov in ugotavljanje njihovih lastnosti.

V drugem poglavju smo analizirali vpliv variabilnosti povpraševanja na celotne stroške skladiščenja pri simulaciji Monte Carlo in primerjavo slednjih z rezultati deterministično-analitičnih modelov na eni periodi.

V tretjem poglavju smo analizirali vpliv variabilnosti povpraševanja in dobavnega roka na celotne stroške skladiščenja na eni periodi. Orodje analize je bil analitično-stohastični model.

V četrtem poglavju smo ponovili analizo tretjega poglavja, le s simulacijo Monte Carlo.

V petem poglavju smo uporabili razvita in preverjena orodja v primerjavi med dvema različnima dobaviteljema – prvi lokalni in drugi globalni. Predvsem nas je zanimalo razmerje cen izdelkov, ki narekuje enake celotne stroške skladiščenja pri različnih lastnostih dobaviteljev.

1 TEORETIČNE OSNOVE

V tem poglavju podajamo najprej osnove verjetnosti in statistike in to le tiste, ki jih v nadaljevanju, pri obravnavanju modelov skladiščenja in obvladovanja zalog, potrebujemo. Temu sledi opis analitičnih modelov obvladovanja zalog kot osrednji del tega poglavja.

1.1 Verjetnost in statistika

V tem poglavju opredelimo zgolj omejen nabor pojmov. Za celoten pregled področja naj bralec pogleda učbenike s tega področja: (Grabec, 1988; Vadnal, 1979; Vukadinović, 1990).

1.1.1 Zvezne porazdelitve verjetnosti

Naj bo X zvezna naključna spremenljivka. Razpon zvezne spremenljivke je kontinuum, ki ne favorizira nobene njene vrednosti. Iz tega sledi, da ne moremo določenemu dogodku, pri katerem spremenljivka zasede določeno vrednost, pripisati verjetnosti večje od nič. Lahko pa je od nič različna verjetnost, da vrednost naključne spremenljivke pade v interval določene dolžine. Naj bo $[x, x+dx]$ interval infinitezimalne dolžine dx . Verjetnost, da naključna spremenljivka X zavzame katerokoli vrednost na tem intervalu, zapišemo

$$P = P[x < X \leq x + dx]. \quad (1)$$

Gostoto porazdelitve verjetnosti $f(x)$ definiramo kot

$$f(x) = \frac{dP}{dx} \quad (2)$$

in zbirno (kumulativno) porazdelitveno funkcijo kot

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = P[X \leq x]. \quad (3)$$

1.1.2 Normalna porazdelitve verjetnosti

Normalna porazdelitev verjetnosti sodi v družino dvoparametričnih zveznih porazdelitev verjetnosti. Med vsemi porazdelitvami jo najpogosteje uporabljamo, saj dobro popisuje mnoge naključne procese v naravi. Gostoto porazdelitve opredeljuje Gaussova funkcija

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

kjer sta μ pričakovana (srednja) vrednost in σ standardni odklon oz. σ^2 je varianca. Zbirno funkcijo normalne porazdelitve zapišemo kot

$$F(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x-\mu}{\sigma\sqrt{2}} \right) \right), \quad (5)$$

kjer je $\text{erf}(x)$ funkcija napake. Standardna normalna porazdelitev je definirana pri $\mu = 0$ in $\sigma = 1$ ter z argumentom y . Vsako normalno porazdelitev verjetnosti lahko prevedemo na standardno s substitucijo argumenta.

$$x = \mu + y\sigma \quad \text{ali} \quad y = \frac{x-\mu}{\sigma} \quad (6)$$

Na podlagi substitucije lahko izpeljemo naslednje izraze:

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{f(y)}{\sigma} \\ F(x) &= F(y) \\ G(x) &= \sigma G(y) \end{aligned} \quad (7)$$

kjer je $G(y)$ definirana kot (Jensen & Bard, 2003)

$$G(y) = \int_y^{\infty} (z - y)f(z)dz = f(y) - y(1 - F(y)). \quad (8)$$

V tabeli 1 so zbrane vrednosti argumenta y ter funkcij $f(y)$, $F(y)$ in $G(y)$ standardne normalne porazdelitve verjetnosti za dane ravni storitve γ . Raven storitve pomeni, da je verjetnost izvedbe storitve enaka vrednosti γ iz tega sledi, da je raven storitve enaka vrednosti zbirne funkcije; $\gamma = F(y)$.

Tabela 1: Parametri standardne normalne porazdelitve, kjer je γ raven storitve

γ	$F(y)$	y	$f(y)$	$G(y)$
0,9	0,9	1,281552	0,175498	0,0473432
0,95	0,95	1,644854	0,103136	0,0208930
0,99	0,99	2,326348	0,0266521	0,00338866
0,999	0,999	3,090232	0,00336709	0,000276858
0,9999	0,9999	3,719016	0,000395848	0,0000239463

1.1.3 Statistična povprečja

Povprečno vrednost naključne funkcije y zapišemo kot $E[Y]$ in izračunamo z

$$E[Y] = \int y(x)dP(x) = \int y(x)f(x)dx \quad (9)$$

in ga poimenujemo tudi prvi moment porazdelitve. Posplošitev povprečja na k -to potenco spremenljivke imenujemo k -ti moment in ga definiramo z izrazom

$$E[Y^k] = \int y^k(x)f(x)dx \quad (10)$$

Pojem statističnega povprečja lahko sedaj razširimo na vektorske spremenljivke. Naj bo $Z=(X,Y)$ dvodimenzionalna naključna spremenljivka. Potem velja izraz $dP(z)=dP(x,y)$ oziroma $dP(x,y)=f(x,y)dxdy$, ki podaja povezano verjetnost, da pade konica tega vektorja na

diferencialno majhno ploskev $dx dy$ v okolici točke (x, y) . Statistično povprečje naključnega vektorja Z definiramo kot

$$E[Z] = E[X, Y] = \iint (x, y) f(x, y) dx dy \quad (11)$$

Naj bo $Z=(X, Y)$ vektor z naključno neodvisnima komponentama in $W=XY$ na njem definirana funkcija. Zaradi neodvisnosti komponent X in Y lahko zapišemo, da je $f(x, y)=f(x)f(y)$. Statistično povprečje (prvi moment) funkcije W zapišemo

$$\mu_w = E[W] = \iint xyf(x)f(y) dx dy = \int xf(x) dx \int yf(y) dy = E[X]E[Y]. \quad (12)$$

Izraz za drugi moment W pa zapišemo kot

$$E[W^2] = \iint x^2 y^2 f(x) f(y) dx dy = \int x^2 f(x) dx \int y^2 f(y) dy = E[X^2]E[Y^2]. \quad (13)$$

Varianco (drugi centralni moment porazdelitve) funkcije W zapišemo

$$\sigma_w^2 = E[(W - E[W])^2] = E[W^2 - 2WE[W] + E[W]^2] = E[W^2] - (E[W])^2. \quad (14)$$

Upoštevajmo sedaj, da sta naključni spremenljivki X in Y porazdeljeni po normalni porazdelitvi verjetnosti: $X \propto \mathcal{N}(\mu_x, \sigma_x)$ in $Y \propto \mathcal{N}(\mu_y, \sigma_y)$. Ob upoštevanju

$$E[X] = \mu_x$$

$$E[Y] = \mu_y \quad (15)$$

$$E[X^2] = \mu_x^2 + \sigma_x^2$$

$$E[Y^2] = \mu_y^2 + \sigma_y^2$$

lahko zapišemo prvi moment porazdelitve W

$$\mu_w = E[W] = E[X]E[Y] = \mu_x \mu_y \quad (16)$$

in varianco porazdelitve W

$$\sigma_w^2 = E[(W - E[W])^2] = E[X^2]E[Y^2] - (E[X]E[Y])^2 \quad (17)$$

oziroma

$$\sigma_w^2 = (\mu_x^2 + \sigma_x^2)(\mu_y^2 + \sigma_y^2) - (\mu_x \mu_y)^2 = \mu_x^2 \sigma_y^2 + \mu_y^2 \sigma_x^2 + \sigma_x^2 \sigma_y^2 \quad (18)$$

Enačbi (16) in (18) bomo potrebovali pri izračunu varnostne zaloge v skladišču in točke stanja zalog kjer sprožimo novo naročilo.

1.1.4 Metoda Monte Carlo

Metoda Monte Carlo je diskretizacijska metoda reševanja zveznega stohastičnega problema. Metodo so začeli uporabljati v Los Alamos laboratoriju pri projektu Manhattan (Metropolis & Ulam, 1949).

Model stohastičnega problema popisujejo integro-diferencialne enačbe. Z metodo Monte Carlo prevedemo stohastični model v množstvo determinističnih, lažje rešljivih modelov. Vhod in rezultat metode Monte Carlo je populacija diskretnih vhodnih vrednosti in rezultatov, ki odraža porazdelitev verjetnosti vhodnih spremenljivk in rezultatov stohastičnega modela.

Torej, z metodo Monte Carlo zamenjamo, na primer, naključno vhodno spremenljivko, ki ima določeno gostoto porazdelitve, s končnim številom točk iz zaloge vrednosti te funkcije. Za vsako točko izračunamo rezultat modela, kot bi ta bil determinističen. S tem dobimo populacijo rezultatov determinističnega modela, ki predstavljajo diskretizirane vrednosti porazdelitve verjetnosti rezultata stohastičnega modela.

Pri metodi Monte Carlo uporabljamo naključne (v resnici pseudo-naključne) generatorje števil na podlagi predpisane funkcije gostote porazdelitve verjetnosti.

Osnovna prednost metode se kaže v relativni neobčutljivosti metode na vrsto porazdelitve verjetnosti parametrov. Slabosti metode pa se kažejo predvsem v eksponentni rasti velikosti problema z rastjo števila naključnih parametrov. Ta slabost se odraža v dolgih računskih časih in to lahko omejuje uporabnost metode. (Gupta & Maranas, 2003; Hung, Samsatli & Shah, 2006)

1.1.5 Metoda Bootstrap

Metoda Bootstrap (Efron & Tibshirani, 1993) omogoča določanje statističnih lastnosti statistik določene populacije. Metoda deluje na principu naključno izbranih podmnožic osnovne množice, ki predstavlja celotni vzorec. Za vsako podmnožico ocenimo željeno statistiko in tako dobimo populacijo vrednosti statistike na kateri lahko ocenimo statistične lastnosti populacije.

Dva razloga narekujeta uporabo Bootstrap metode. Prvi razlog leži v dejstvu, da z metodo Bootstrap lahko ocenimo lastnosti (srednjo vrednost in varianco) statistike (recimo povprečno vrednost celotnih stroškov) že na enem samem setu Monte Carlo simulacij. Drugi razlog pa je ocena zaupanja v rezultate simulacije Monte Carlo. Če so raztrosi ocenjevane statistike po metodi Bootstrap majhni, lahko zaupamo že izhodiščni oceni statistike in si s tem prihranimo veliko računskega časa.

1.2 Skladiščenje in obvladovanje zalog

Zaloge so shranjene dobrine, ki čakajo na nadaljnjo obdelavo ali prodajo. Najdemo jih prav v vseh sektorjih ekonomske dejavnosti. Pri pregledu bilance skoraj vseh podjetij lahko zasledimo, da je nekaj sredstev vedno vezanih v zalogah kot surovine, polizdelki ali izdelki, bodisi neposredno v skladiščih ali znotraj proizvodnega procesa. Na zaloge lahko gledamo tudi kot na sredstva, ki, ne le da ne prinašajo dobička, ampak se na njih vežejo dodatni stroški (Jensen & Bard, 2003; Urbancl, 2010; Bramel & Simci-Levi, 1997; Lambert, Stock & Ellram, 1998).

$$\text{zaloge} = \text{kumulativna oskrba} - \text{kumulativno povpraševanje} \quad (19)$$

Zaloge v trenutku t označimo z $I(t)$, ob predpostavki, da na začetku nismo imeli zalog; $I(0) = 0$. Kumulativno oskrbo označimo s $S(0,t]$ in kumulativno povpraševanje z $D(0,t]$. V tem primeru lahko zapišemo

$$I(t) = S(0,t] - D(0,t] \quad (20)$$

kjer je razvidno, da so zaloge načeloma lahko negativne; $I(t) < 0$. To se zgodi, ko je povpraševanje večje od oskrbe in naročila ne moremo izpolniti. Pozitivne vrednosti zalog si lahko predstavljamo, kot kup blaga v skladišču in negativne vrednosti kot kup naročil v pisarni medtem, ko je skladišče prazno.

Zaradi stroškov, ki so vezani na zaloge, si prizadevamo zmanjšati količino zalog do meje, da še zagotovimo normalno delovanje organizacije. V tem primeru govorimo o optimalnih politikah vodenja zalog oziroma o optimalnih politikah naročanja. Za optimalnimi politikami stojijo matematični modeli, ki jih definirajo.

Navkljub slabim lastnostim zalog pa obstajajo dobri razlogi za njihov obstoj (Jensen & Bard, 2003):

- zadovoljevanje variabilnega povpraševanja,
- zaščita proti zmanjkanju materiala/izdelkov,
- izkoriščanje količinskih popustov,
- ohranjanje neodvisnosti proizvodnje/storitve,
- zaščita proti zvišanju cen,
- zaščita proti variaciji dobavnih rokov,
- zaščita proti nezanesljivemu urniku proizvodnje,
- zaščita proti večji količini defektov,
- zaščite proti slabi napovedi povpraševanja,
- količina blaga pri naročilu ni poljubna in podobno.

Povsem očitno je, da zaloge potrebujemo, vendar ne prevelike. Pri optimalni politiki obvladovanja zalog je potrebno upoštevati naslednje faktorje oz. napotke:

- način spremljanja zalog:
 - zvezno spremljanje stanja zalog: vsakič, ko spremenimo zalogo, preverimo tudi stanje zalog, da bi lahko ugotovili, če je potrebno naročilo za dopolnjenje zalog,
 - periodično spremljanje stanja zalog: stanje zalog spremljamo v konstantnih časovnih intervalih, da bi lahko ugotovili, če je potrebno naročilo za dopolnjenje zalog,
- zanesljiva napoved povpraševanja,
- relativno dobra ocena:
 - stroškov skladiščenja,
 - stroškov naročanja,
 - stroškov izčrpavanja zalog,
 - stroškov transporta,
 - stroškov zastaranja blaga,
 - dobavnih rokov,
- stroškov kapitala za nakup zalog,
- davki in stroški zavarovanja in podobno.

Vsako politiko obvladovanja zalog lahko optimiziramo, vendar le na podlagi modela. Sestavni deli modelov so spodaj navedeni parametri, ki jih povzemamo po (Jensen & Bard, 2003). Povezave med parametri so seveda tudi sestavni deli modela. Viri (Urbancl, 2010; Chan & Karakul, 2009; Bramel & Simchi-Levi, 1997; Lambert, Stock & Ellram, 1998) navajajo enake parametre, vendar je njihov nabor lahko skrčen glede na globino obravnave problematike. Tolmačenje parametrov pa je pri vseh virih enako.

Strošek blaga (*product cost*), c , predstavlja ceno ene enote naročenega blaga in je sestavni del stroška naročanja. Če je cena enote blaga neodvisna od naročene količine, potem lahko zapišemo $C_c(Q) = cQ$. Strošek blaga je izražen v denarni enoti na enoto blaga [€/kos].

Stroški naročanja (*ordering cost*) nastane pri izdaji notranjega ali zunanjega naročila za Q enot. Ta strošek je velikokrat nelinearna funkcija količine, $C_c(Q)$, vezane na ceno enote naročenega blaga in je izražen v denarni enoti [€]. V primeru enovite cene enote velja $C_c(Q) = cQ$, v primeru popustov na količino pa

$$C_c(Q) = \begin{cases} c_1 Q & ; & 0 < Q \leq Q_1 \\ c_2 Q & ; & 0 < Q \leq Q_2 \\ \vdots & ; & \vdots \end{cases} \quad (21)$$

kjer so c_i ; $i = 1, \dots, n$ cene glede na naročeno količino Q in cenovni razred po količinah Q_i .

Strošek naročila (*setup cost*), k , nastane pri izdaji notranjega ali zunanjega naročila in je, po predpostavki, neodvisen od naročene količine. V ta strošek prištevamo plačilo opravljenega dela zaposlenih, stroške komunikacije in podobno. Strošek naročanja podajamo v denarni enoti [€]. Različni viri (Chiu, 1995; Ghodsypour & O'Brien, 2001;

Humphreys et al., 1998) navajajo, da ta strošek znaša med 100\$ in 250\$ v primeru ročnega naročanja in med 10\$ in 30\$ v primeru elektronskega naročanja.

Strošek skladiščenja (*holding cost*), h , je strošek držanja ene enote v skladišču v trajanju ene enote časa. Merimo ga torej v denarni enoti na enoto izdelka in na časovno enoto [€/kos/enota časa]. Navadno ta strošek izrazimo kot delež vrednosti enote zalog.

Strošek izčrpavanja zalog (*shortage cost*), p . Kadar kupec želi izdelek in je skladišče prazno, lahko ostane naročilo neizpolnjeno ali pa počaka na izpolnitev v kasnejšem obdobju. Prvi primer obravnavamo kot izguba prodaje, drugega pa kot prednaročilo. V obeh primerih je ta strošek težko ovrednotiti. V prvem primeru ga merimo v denarni enoti na časovno enoto [€/enota časa], v drugem primeru ga merimo v denarni enoti na enoto izdelka in na časovno enoto [€/kos/enota časa]. Slednji (drugi) primer uporabimo v tem delu.

Povpraševanje (*demand rate*), D , popisuje hitrost s katero se zaloge v skladišču zmanjšujejo. Opredeljuje ga enota kosov zaloge na časovno enoto [kos/enota časa].

Količina naročila (*lot size*), Q , je število kosov/količina s katero povečamo zalogo pri vsakokratnem dospelju naročila/polnjenju skladišča. Merimo ga v enotah izdelka [kos].

Perioda (*cycle time*), τ ali T , popisuje trajanje med dvema dospelji naročil in merimo ga v časovni enoti [enota časa].

Točka ponovnega naročanja (*reorder point*), S , predstavlja stanje zalog pri katerem je potrebno plasirati novo naročilo. Točka ponovnega naročanja je odvisna od povpraševanja in od roka dobave. Merimo jo v količini zalog [kos].

Stopnja oskrbe ali **raven storitve** (*service level*), γ , predstavlja verjetnost izpolnitve povpraševanja pri negotovem povpraševanju in negotovih dobavnih rokih.

Varnostna zaloga (*safety stock*), SS , je zaloga, ki jo vzdržujemo zaradi negotovosti bodočega povpraševanja in zaradi negotovosti dobavnih rokov. Merimo jo v količini zaloge [kos].

Celotni stroški naročila (*total setup cost*), C_k , je strošek naročanja k na časovno enoto oz. periodo [€/enota časa].

Celotni stroški skladiščenja (*total holding cost*), C_h , je strošek skladiščenja h na časovno enoto oz. periodo [€/enota časa].

Celotni stroški izčrpavanja zalog (*total stockout cost*), C_p , je strošek izčrpavanja zalog p na časovno enoto oz. periodo [€/enota časa].

Celotni stroški (*total cost*), C_t , zajemajo vse stroške povezane z obvladovanjem zalog. Navadno so podani v denarni enoti na enoto časa [€/enota časa].

Po različnih lastnostih lahko modele razdelimo v več skupin (Jensen & Bard, 2003):

- *Naključnost*: pri tej lastnosti razlikujemo med *determinističnimi* modeli in *stohastičnimi* modeli.
- *Horizont*: pri tej lastnosti razlikujemo med *neskončnim* in *končnim* horizontom povpraševanja.
- *Spremljanje stanja zalog*: pri tej lastnosti razlikujemo med *zveznim (sprotnim)* in *diskretnim (intervalnim)* spremljanjem stanja zalog, kjer so lahko intervali *periodični* ali *aperiodični*.
- *Sestava izdelka*: pri tej lastnosti razlikujemo med *enovitim* izdelkom in *sestavljanim* izdelkom iz več vrst podsklopov, ki so enoviti ali sestavljeni izdelki.
- *Vrsta izdelka*: izdelki s časom *padajočo vrednostjo* (recimo: sadje in zelenjava) in izdelki s *stalno vrednostjo*.

1.2.1 EOQ model

EOQ (*Economic Order Quantity*) model je najenostavnejši model optimiranja stroškov zalog (Jensen & Bard, 2003). EOQ model lahko opredelimo tudi kot stacionarni model politike naročanja pri ničnih zalogah (angl. *Stationary Zero-Inventory-Ordering Policy*). Lastnosti tega modela lahko strnemo v:

- *naključnost*: model je determinističen,
- *horizont*: model ima neskončni horizont,
- *spremljanje stanja zalog*: model predpostavlja zvezno spremljanje zalog in
- *sestava izdelka*: model predpostavlja enovit izdelek ter
- *vrsta izdelka*: izdelki s stalno vrednostjo.

Model je predstavljen na sliki 1. Čas t leži na abscisni osi in količina zalog q na ordinatni osi. Model predpostavlja takojšnjo dobavo ob izdanem naročilu. Čas dobave (*lead time*) je torej nič. Predpostavlja tudi konstantno periodo τ , konstantno velikost naročila Q , konstantno povpraševanje D in tudi ceno naročenega izdelka neodvisno od velikosti naročila; $C_c(Q) = cQ$. Zmanjkanje zalog ni predvideno v tem modelu.

Naloga modela je določiti optimalno velikost naročila Q^* in optimalno periodo τ^* v smislu najmanjših skupnih stroškov. Periodo izračunamo po enačbi (22).

$$\tau = \frac{Q^*}{D} \quad (22)$$

Povprečno količino zalog v periodi izračunamo z

$$I = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} (Q - Dx) dx = \frac{Q}{2} \quad (23)$$

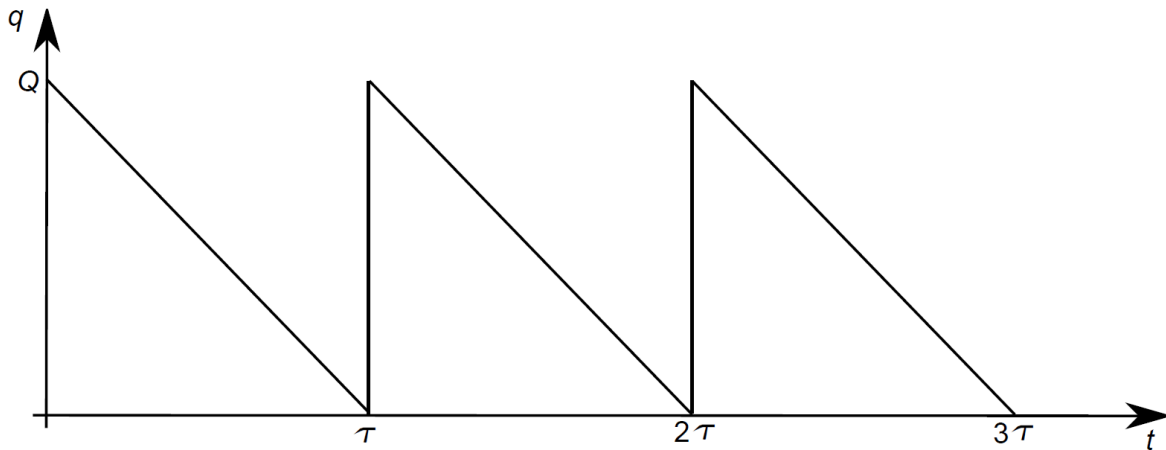
Funkcijo skupnih stroškov na časovno enoto v odvisnosti od velikosti naročila Q zapišemo kot vsoto stroškov naročila, naročanja in skladiščenja,

$$C_t = \frac{cQ}{\tau} + \frac{k}{\tau} + \frac{hQ}{2} \quad (24)$$

oziroma z upoštevanjem enačbe (22)

$$C_t = cD + \frac{kD}{Q} + \frac{hQ}{2}. \quad (25)$$

Slika 1: EOQ model



Poiskati je potrebno minimum funkcije skupnih stroškov.

$$\frac{dC_t(Q)}{dQ} = 0 = -\frac{Dk}{Q^2} + \frac{h}{2} \quad (26)$$

$$\frac{d^2C_t(Q)}{dQ^2} = \frac{2Dk}{Q^3} > 0 \quad (27)$$

Iz enačbe (26) sledi izraz za optimalno velikost naročila Q^* .

$$Q^* = \sqrt{2D \frac{k}{h}} \quad (28)$$

Enačba (27) dokazuje, da je ekstrem funkcije $C_t(Q)$ pri vrednosti Q^* resnično minimum. Optimalno periodo izračunamo iz enačbe (22) z uporabo optimalne velikosti naročila Q^* ,

$$\tau^* = \frac{Q^*}{D} = \sqrt{\frac{2k}{Dh}} \quad (29)$$

ravno tako lahko zapišemo ekspliciten izraz za izračun minimalnih stroškov kot

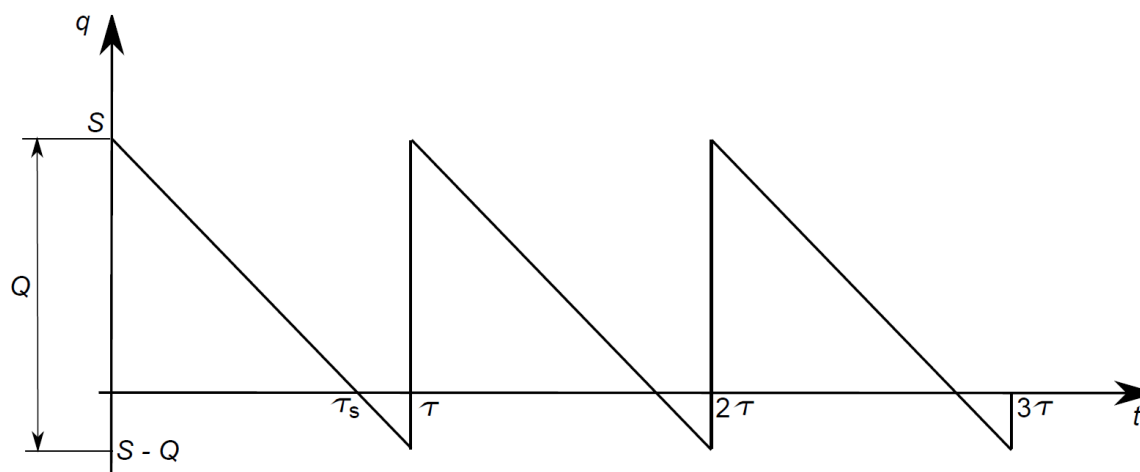
$$C_t(Q^*) = cD + \frac{kD}{Q^*} + \frac{hQ^*}{2} = cD + \sqrt{2Dkh} \quad (30)$$

EOQ model je determinističen in zato je enostavno upoštevati tudi dobavni rok L , ki je večji od nič. Blago naročimo, ko zaloge dosežejo vrednost $S = DL$.

1.2.2 EOQS model

EOQS (*Economic Order Quantity model with Shortages*) je razširitev modela EOQ (Jensen & Bard, 2003). Lastnosti tega modela so enake klasičnemu modelu EOQ, le da tu dovoljujemo negativne zaloge v obliki zmanjkanja zalog ali v obliki prednaročil.

Slika 2: EOQS model



Model je predstavljen na sliki 2. Čas t leži na abscisni osi in količina zalog q na ordinatni osi. Model predpostavlja takojšnja dobavo ob izdanem naročilu. Čas dobave (*lead time*) je torej nič. Predpostavlja tudi konstantno periodo τ , konstantno velikost naročila Q , konstantno povpraševanje D in tudi ceno naročenega izdelka neodvisno od velikosti naročila; $C_c(Q) = cQ$. Zmanjkanje zalog je predvideno v tem modelu z vrednostjo parametra p , ki popisuje strošek izčrpanja zalog v največji količini $S-Q$. V tem modelu S ne pomeni točke ponovnega naročanja. Čas, pri ničnem stanju zalog, označimo s τ_s in ga izračunamo s pomočjo podobnih trikotnikov, slika 2.

$$\tau_s = \tau \frac{S}{Q} \quad (31)$$

Povprečno količino zalog I_1 za interval $0 \leq t \leq \tau_s$ izračunamo z enačbo (32)

$$I_1 = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau_s} (S - Dx) dx = \frac{S^2}{2Q} \quad (32)$$

in povprečno količino zalog I_2 za interval $\tau_s \leq t \leq \tau$ pa z enačbo (33).

$$I_2 = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau-\tau_s} (-Dx) dx = \frac{(Q-S)^2}{2Q} \quad (33)$$

Funkcijo skupnih stroškov v odvisnosti od velikosti naročila Q zapišemo kot vsoto stroškov naročila, naročanja, skladiščenja in zmanjkanja,

$$C_t(Q, S) = \frac{cQ}{\tau} + \frac{k}{\tau} + h \frac{S^2}{2Q} + p \frac{(Q-S)^2}{2Q} \quad (34)$$

oziroma

$$C_t(Q, S) = cD + k \frac{D}{Q} + h \frac{S^2}{2Q} + p \frac{(Q-S)^2}{2Q}. \quad (35)$$

Poiskati je potrebno minimum funkcije skupnih stroškov.

$$\frac{\partial C_t(Q, S)}{\partial Q} = 0 = -k \frac{D}{Q^2} - h \frac{S^2}{2Q^2} + p \frac{Q^2 - S^2}{2Q^2} \quad (36)$$

$$\frac{\partial C_t(Q, S)}{\partial S} = 0 = (k + p) \frac{S}{Q} - p \quad (37)$$

Iz enačb (36) in (37) dobimo sistem dveh nelinearnih enačb,

$$\begin{aligned} Q^2 &= \frac{2kD}{p} + S^2 \frac{h+p}{p} \\ Q &= S \frac{h+p}{p} \end{aligned} \quad (38)$$

ki ga rešimo z eliminacijo spremenljivk in dobimo izraza za optimalne vrednosti Q^* in S^* .

$$Q^* = \sqrt{2D \frac{k}{h} \sqrt{\frac{h+p}{p}}} \quad (39)$$

$$S^* = \sqrt{2D \frac{k}{h} \sqrt{\frac{p}{h+p}}} \quad (40)$$

Razmerje med optimalnima vrednostima Q^* in S^* izrazimo z osnovnimi parametri, enačba (38).

$$\frac{S^*}{Q^*} = \frac{p}{h+p} \quad (41)$$

Optimalno periodo izračunamo iz enačbe (22) z uporabo optimalne velikosti naročila Q^* ,

$$\tau^* = \frac{Q^*}{D} = \sqrt{\frac{2k}{Dh} \sqrt{\frac{h+p}{p}}} \quad (42)$$

ravno tako lahko izračunamo minimalne stroške kot

$$C_t(Q, S) = cD + k \frac{D}{Q} + h \frac{S^2}{2Q} + p \frac{(Q-S)^2}{2Q} = cD + \sqrt{2Dkh} \sqrt{\frac{p}{h+p}} \quad (43)$$

EOQS model je, tako kot EOQ model, determinističen in zato je enostavno upoštevati realnost dobavnega roke L , ki ga dobavitelj definira, in, ki je večji od nič. Blago naročimo, ko zaloge dosežejo vrednost DL .

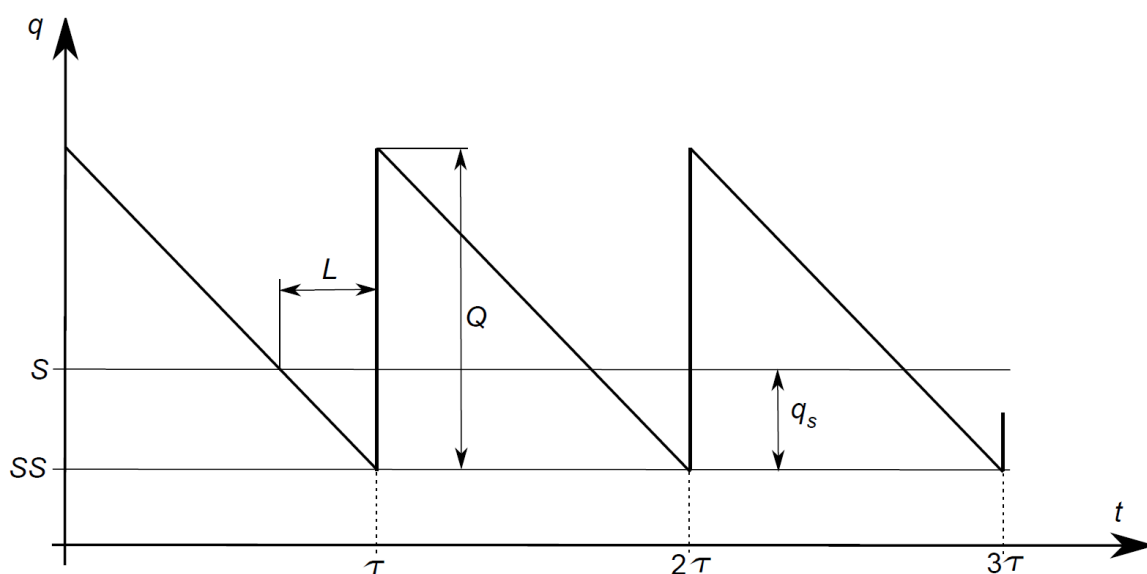
1.2.3 SQ model

Model SQ, slika 3, ali kot ga v literaturi (Jensen & Bard, 2003), tudi poimenujejo (S,Q), je podoben determinističnemu modelu EOQ oz. EOQS, le da deterministično povpraševanje na časovno enoto D zamenjamo za naključno, popisano z izbrano dvoparametersko porazdelitvijo verjetnosti, po navadi je to kar normalna (Gaussova) porazdelitev verjetnosti. V tem delu razširimo model, ki je podan v (Jensen & Bard, 2003), z naključnostjo dobavnega roka. Upoštevamo tudi, da je dobavni rok L naključna spremenljivka popisana z izbrano dvoparametersko porazdelitvijo verjetnosti, po navadi je to kar normalna (Gaussova) porazdelitev verjetnosti. Lastnosti tega modela so:

- *naključnost*: model je stohastičen,
- *horizont*: model ima neskončni horizont,
- *spremljanje stanja zalog*: model predpostavlja zvezno spremljanje zalog in
- *sestava izdelka*: model predpostavlja enovit izdelek ter
- *vrsta izdelka*: izdelki s stalno vrednostjo.

Model je predstavljen na sliki 3. Čas t leži na abscisni osi in količina zalog q na ordinatni osi. Model predpostavlja naključnost dobavnega roka L . Čas dobave (*lead time*) je torej normalna naključna spremenljivka $L \propto \mathcal{N}(\mu_L, \sigma_L)$. Model predpostavlja tudi konstantno periodo τ , konstantno velikost naročila Q in tudi ceno naročenega izdelka neodvisno od velikosti naročila; $C_c(Q) = cQ$. Povpraševanje D je prav tako normalno porazdeljena naključna spremenljivka, $D \propto \mathcal{N}(\mu_D, \sigma_D)$. Zmanjkanje zalog je predvideno v tem modelu z vrednostjo parametra p , ki popisuje strošek izčrpavanja zalog in ga izračunamo glede na zahtevano raven storitve γ .

Slika 3: SQ ali (S,Q) model



Pričakovana količina povpraševanja v dobavnem roku je torej $q_s = DL$. Srednjo vrednost statistike q_s lahko zapišemo po enačbi (16) kot $\mu_q = \mu_D \mu_L$ in njeno varianco po enačbi (18) kot $\sigma_q = \sqrt{\mu_D^2 \sigma_L^2 + \mu_L^2 \sigma_D^2 + \sigma_D^2 \sigma_L^2}$. Pomanjkanje se pojavi, če je količina povpraševanja v dobavnem roku večje od S . Verjetnost tega dogodka je

$$P_S = P\{x > S\} = \int_S^{\infty} f(x)dx = 1 - F(S) \quad (44)$$

pri tem je raven storitve γ določena komplementarno s $\gamma = F(S) = 1 - P_S$. Običajno je točka ponovnega naročila signifikantno večja od te, ki jo določa pričakovana vrednost povpraševanja, zato je vrednost P_S precej majhna. Varnostno zalogo SS definiramo kot

$$SS = S - q_s \quad (45)$$

kar predstavlja pričakovano vrednost zaloge tik pred dospeljem nove pošiljke. Povprečno količino zalog v periodi izračunamo z enačbo (46).

$$I = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} (Q - \mu_D x + SS) dx = \frac{Q}{2} + SS = \frac{Q}{2} + S - q_s \quad (46)$$

Funkcijo skupnih stroškov v odvisnosti od velikosti naročila Q zapišemo kot vsoto stroškov naročila, naročanja, skladiščenja in zmanjkanja zalog,

$$C_t(Q, S) = \frac{cQ}{\tau} + \frac{k}{\tau} + h \left(\frac{Q}{2} + S - q_s \right) + \frac{c_S}{\tau} \quad (47)$$

oziroma

$$C_t(Q, S) = c\mu_D + \frac{k\mu_D}{Q} + h \left(\frac{Q}{2} + S - q_s \right) + \frac{c_S\mu_D}{Q}. \quad (48)$$

Stroške zmanjkanja na časovno enoto c_S/τ je najtežje določiti. Poiskati je potrebno minimum funkcije skupnih stroškov.

$$\frac{\partial C_t(Q, S)}{\partial Q} = 0 = \frac{h}{2} - \frac{\mu_D(k + c_S)}{Q^2} \quad (49)$$

$$\frac{\partial C_t(Q, S)}{\partial S} = 0 = h - \frac{\mu_D}{Q} \frac{\partial c_S}{\partial S} \quad (50)$$

Iz enačbe (49) sledi izraz za optimalno velikost naročila.

$$Q^* = \sqrt{2\mu_D \frac{k + c_S}{h}} \quad (51)$$

Iz enačbe (50) pa sledi da je

$$\frac{\partial c_S}{\partial S} = -h \frac{Q}{\mu_D} \quad (52)$$

Iz enačbe (45) lahko sklepamo, da imata naključni spremenljivki S in q_S enako varianco, saj varnostna zaloga SS ni naključna spremenljivka, $\sigma_S = \sigma_q$. Pričakovano pomanjkanje lahko tako zapišemo kot

$$E_S = \int_S^{\infty} (x - S)f(x)dx = \sigma_S [f(r) - r(1 - F(r))] \quad (53)$$

kjer je r porazdeljena po standardni normalni porazdelitvi. Ob upoštevanju stroškov zmanjkanja po enoti izdelka p , lahko zapišemo pričakovane stroške pomanjkanja na periodo.

$$c_S = pE_S \quad (54)$$

Iz enačbe (54) sledi

$$\frac{\partial c_S}{\partial S} = -p \int_S^{\infty} f(x)dx = -p(1 - F(S)) = -p(1 - \gamma) \quad (55)$$

in iz enačb (52) in (55) nadalje sledi

$$p(1 - \gamma) = h \frac{Q}{\mu_D} \quad (56)$$

Iz sistema enačb (54) in (56) lahko izračunamo strošek za zmanjkanja ene enote izdelka p , enačba (57) in strošek zmanjkanja c_S , enačba (40) za določeno raven storitve γ .

$$p = \frac{hE_S^* + \sqrt{(hE_S^*)^2 + 2hk\mu_D(1-\gamma)^2}}{(1-\gamma)^2} \quad (57)$$

Vrednosti r , $F(r)$, $f(r)$ in $G(r)$ so podane v tabeli 1 za pet ravni storitve γ . Povezavo med funkcijami argumentov r in S opredeljujejo enačbe (7).

Dolžino optimalne periode τ^* zapišemo kot

$$\tau^* = \frac{Q^*}{\mu_D} = \sqrt{\frac{2}{\mu_D} \frac{k+c_S}{h}} \quad (58)$$

in minimalne stroške izračunamo kot

$$C_t(Q^*, S^*) = c\mu_D + \frac{k\mu_D}{Q^*} + h \left(\frac{Q^*}{2} + S^* - q_S \right) + \frac{c_S\mu_D}{Q^*} \quad (59)$$

Model SQ se precej bolj približa realnemu stanju v primerjavi z determinističnima modeloma, saj upošteva negotovost povpraševanja in negotovost točne dobave naročila.

2 ANALIZA VPLIVA VARIABILNOSTI POVPRASEVANJA NA CELOTNE STROŠKE SKLADIŠČENJA S SIMULACIJO MONTE CARLO

Numerično simulacijo smo izvedli na podlagi vhodnih podatkov, ki so zbrani v tabeli 2, in na podlagi optimalnih vrednosti modela EOQ, ki so predstavljeni v tabeli 3. V isti tabeli so predstavljeni tudi optimalne vrednosti modela EOQS.

Tabela 2: Vhodni parametri

Opis	Oznaka	Vrednost	Enota
Strošek blaga	c	10,0	€/kos
Strošek naročila	k	50,0	€
Strošek skladiščenja	h	1,0	€/kos/enota časa
Strošek izčrpavanja zalog	p	4,0	€/kos/enota časa
Pričakovano povpraševanje	μ_D	100	kos/enota časa
Variabilnost povpraševanja	σ_D	$[0,1;0,2;0,5;1,0;2,0]$	μ_D kos/enota časa
Število simulacij z metodo Monte Carlo	N_m	10^6	
Velikost populacije za Bootstrap metodo	N_b	10^4	
Število populacij za Bootstrap metodo	N_n	10^4	
Število intervalov v histogramu	N_i	100	

Primerjava optimalnih vrednosti modelov EOQ in EOQS pokaže, da je minimalni strošek modela EOQS manjši od modela EOQ zaradi dovoljevanja izčrpavanja zalog. Količina naročila je večja pri modelu EOQS, prav tako je perioda pri tem modelu daljša.

Tabela 3: Optimalni parametri modelov EOQ in EOQS

Parameter	EOQ model	EOQS model
Q	100,0	111,803
S	100,0	89,443
T	1,0	1,118
C_c	1000,0	1000,000
C_k	50,0	44,721
C_h	50,0	35,777
C_p	0,0	8,944
C_t	1100,0	1089,443

Simulacije po metodi Monte Carlo smo izvajali na eni periodi s predpostavko optimalnosti, ki jo podaja model EOQ. Pri tem smo upoštevali tri različne primere časovnega spreminjanja povpraševanja.

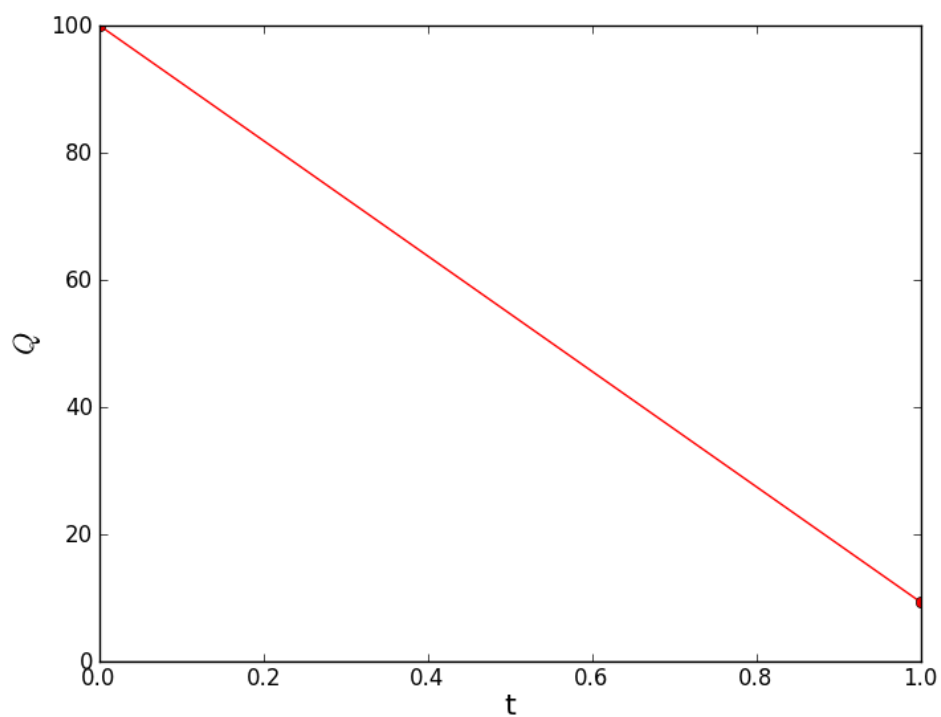
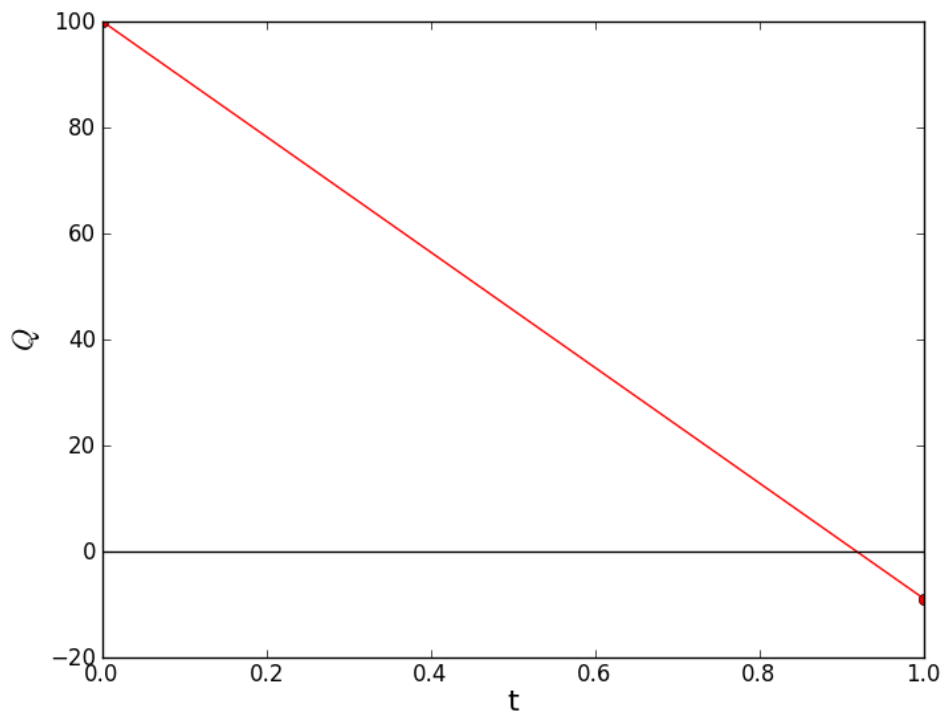
Prvi primer opisuje stanje, ko se povpraševanje spremeni le vsako periodo. Povpraševanje znotraj periode je konstantno, Slika 4. To stanje na smo na slikah in tabelah označili kot $1\times$ spreminjanje povpraševanja na periodo

Drugi primer opisuje stanje, ko se povpraševanje spremeni $5\times$ na vsako periodo, slika 5. To stanje na smo na slikah in tabelah označili kot $5\times$ spreminjanje povpraševanja na periodo.

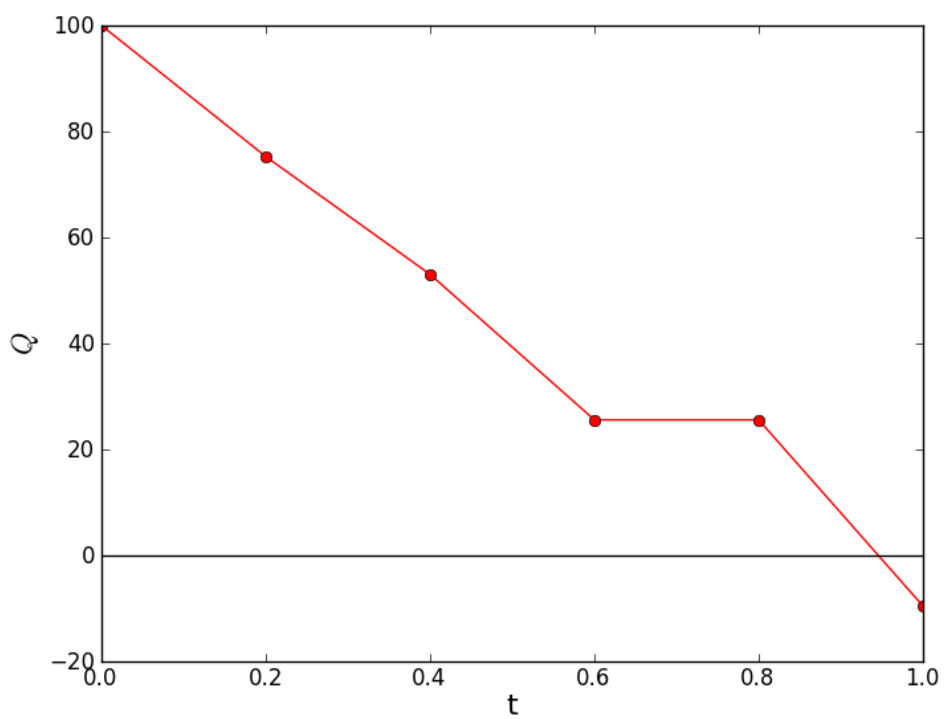
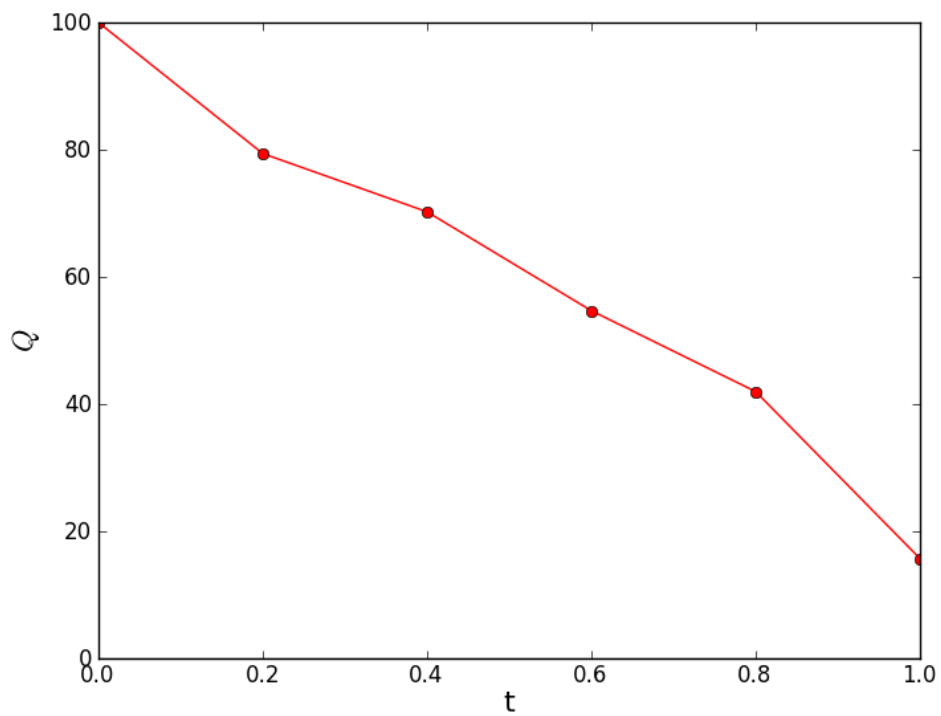
Tretji primer pa opisuje stanje, ko se povpraševanje spremeni kar $25\times$ na vsako periodo, slika 6. Ta primer je nekoliko ekstremen je pa informativen za prikaz vpliva variabilnosti povpraševanja na celotne stroške skladiščenja. To stanje na smo na slikah in tabelah označili kot $25\times$ spreminjanje povpraševanja na periodo.

Slike 4 – 6 prikazujejo stanje pri standardnem odklonu povpraševanja, ki ustreza enačbi $\sigma_D/\mu_D = 5$. Slike za druge vrednosti standardnega odklona povpraševanja so podobne.

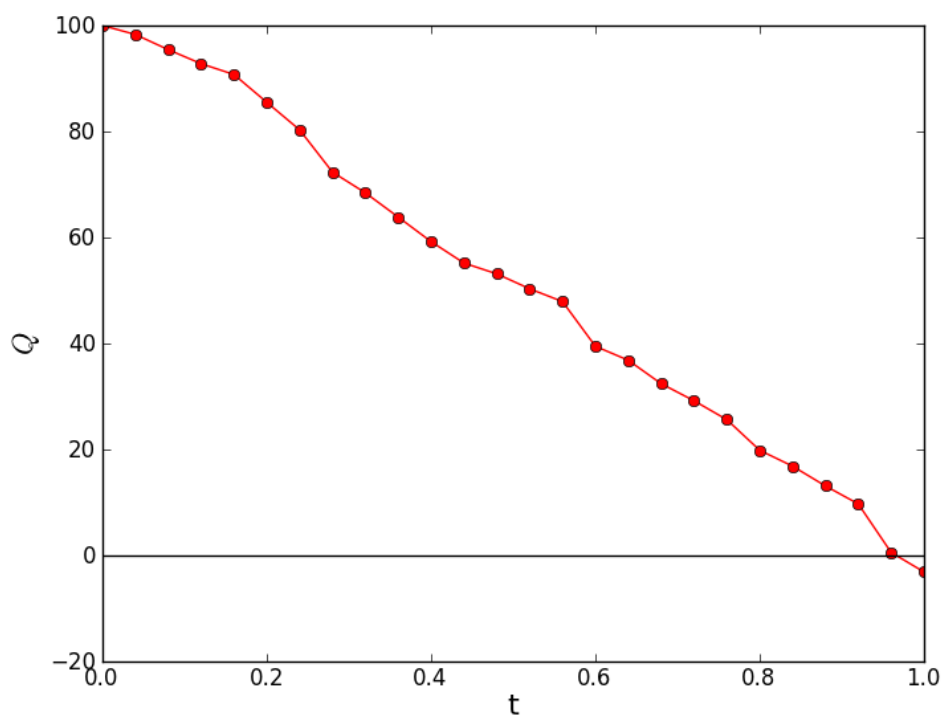
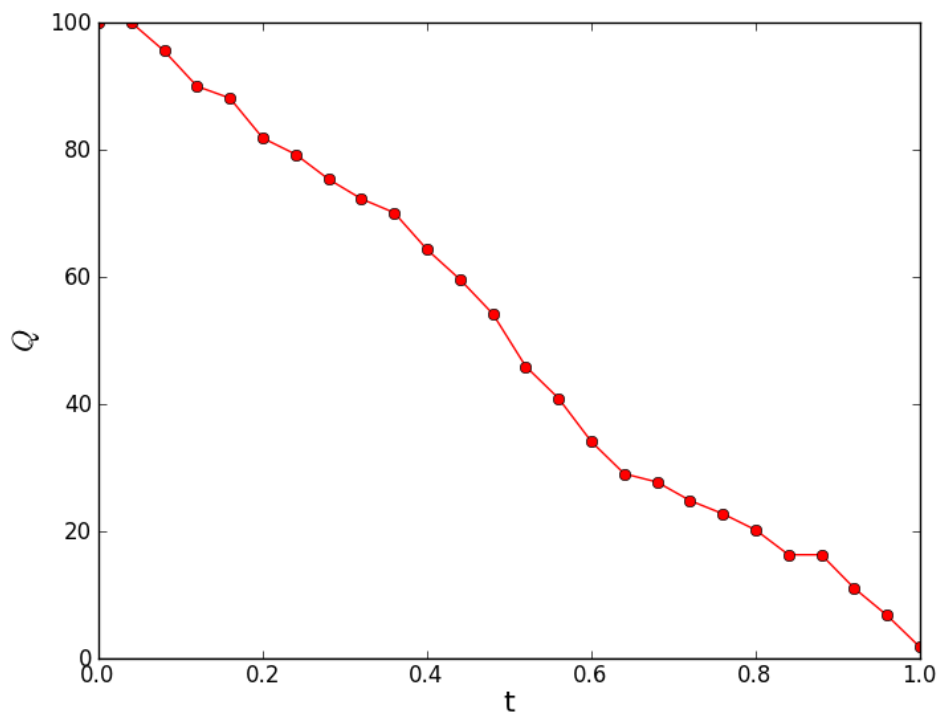
Slika 4: Monte Carlo simulacije na eni periodi z naključnim povpraševanjem $\sigma_D/\mu_D=5$, ki se spremeni $1\times$ na periodo.



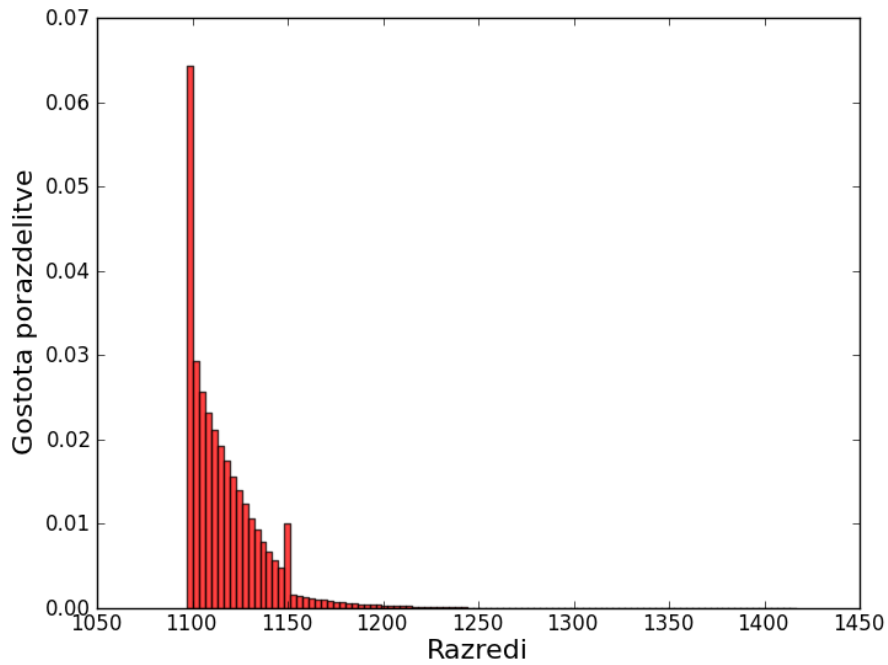
Slika 5: Monte Carlo simulacije na eni periodi z naključnim povpraševanjem $\sigma_D/\mu_D=5$, ki se spremeni $5\times$ na periodo.



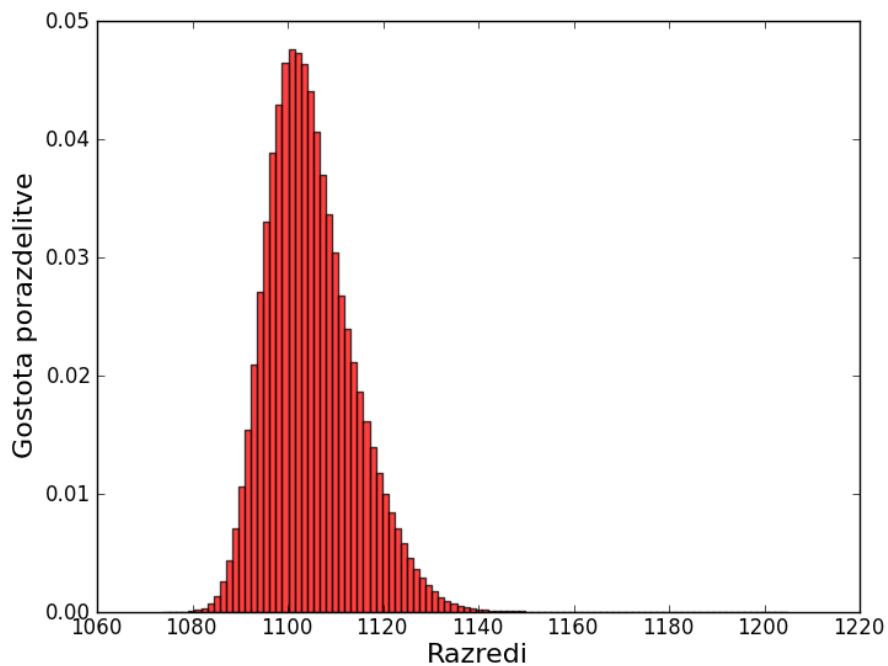
Slika 6: Monte Carlo simulacije na eni periodi z naključnim povpraševanjem $\sigma_D/\mu_D=5$, ki se spremeni $25\times$ na periodo.



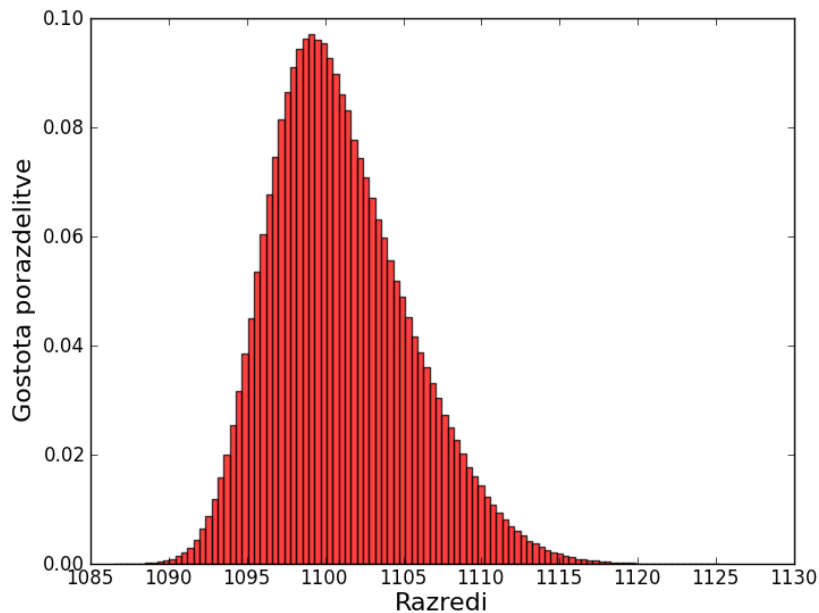
Slika 7: Histogram C_t simulacije na eni periodi z naključnim povpraševanjem $\sigma_D/\mu_D=5$, ki se spremeni $1 \times$ na periodo; Razredi na abscisni osi definirajo razpon celotnih stroškov C_t , ordinatna os pa njihovo pogostnost.



Slika 8: Histogram C_t simulacije na eni periodi z naključnim povpraševanjem $\sigma_D/\mu_D=5$, ki se spremeni $5 \times$ na periodo; Razredi na abscisni osi definirajo razpon celotnih stroškov C_t , ordinatna os pa njihovo pogostnost.



Slika 9: Histogram C_t simulacije na eni periodi z naključnim povpraševanjem $\sigma_D/\mu_D=5$, ki se spremeni $25\times$ na periodo; Razredi na abscisni osi definirajo razpon celotnih stroškov C_t , ordinatna os pa njihovo pogostnost.



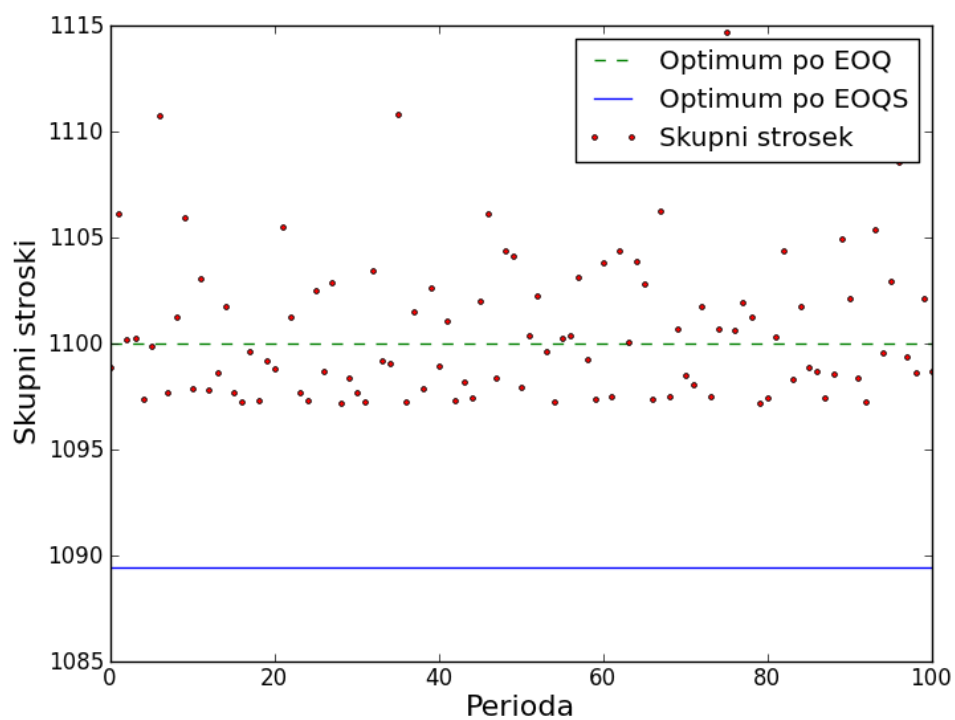
Simulacijo smo ponovili $N_m = 10^6$ -krat, torej na 10^6 periodah. Na vsaki periodi smo generirali povpraševanje v skladu z normalno porazdelitvijo verjetnost s parametri navedenimi v tabeli 2 in v skladu s pogostnostjo spreminjanja povpraševanja znotraj periode. Rezultat porazdelitve celotnih stroškov prikazujejo slike 7, 8 in 9, za primer 1-kratnega, 5-kratnega in 25-kratnega spreminjanja povpraševanja znotraj periode. Na teh slikah je razvidno, da so porazdelitve celotnih stroškov nesimetrične, da pa postajajo manj nesimetrične z večjim številom spreminjanja povpraševanja znotraj periode.

Na slikah 10 – 12 so prikazane vrednosti celotnih stroškov za prvih 100 simulacij in za različne vrednosti standardnega odklona povpraševanja in pri različnih frekvencah spreminjanja povpraševanja znotraj periode. Na vsakem grafu sta dodani še referenčni vrednosti celotnih stroškov po metodah EOQ in EOQS.

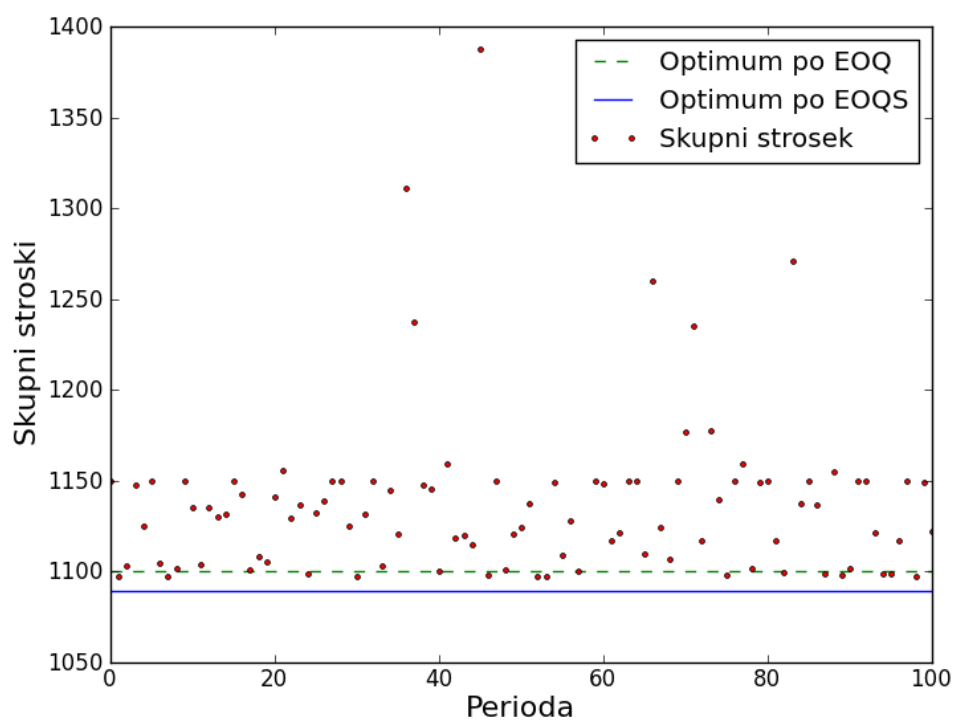
Na teh slika je evidentno, da se raztros rezultatov simulacije Monte Carlo povečuje s povečanjem vrednosti raztrosa povpraševanja. Tako kot pri histogramih, je tudi tu vidna nesimetričnost porazdelitve celotnih stroškov.

Slika 10: Vrednost C_t za 100 Monte Carlo simulacije na eni periodi z naključnim povpraševanjem, ki se spremeni $1 \times$ na periodo.

$$\sigma_D/\mu_D=0,1$$

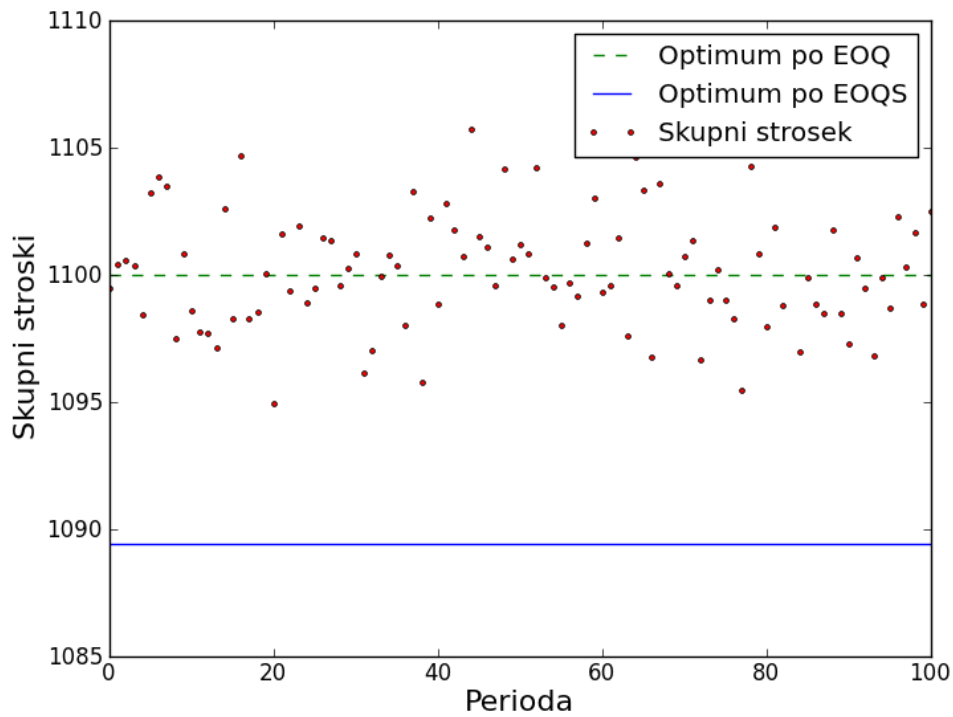


$$\sigma_D/\mu_D=1,0$$

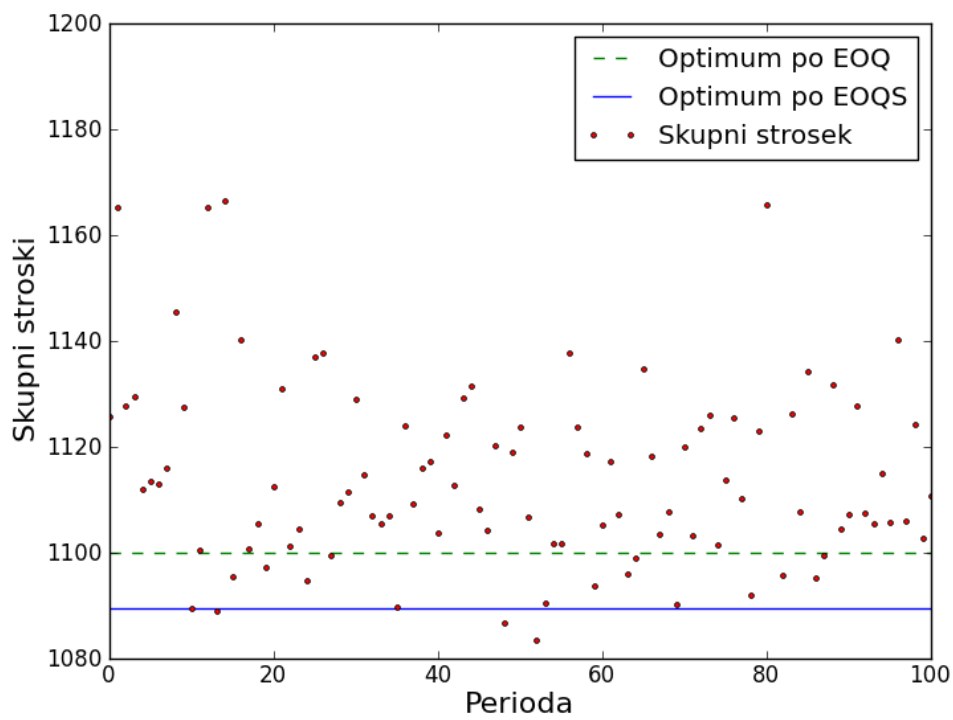


Slika 11: Vrednost C_t za 100 Monte Carlo simulacije na eni periodi z naključnim povpraševanjem, ki se spremeni $5 \times$ na periodo.

$$\sigma_D/\mu_D=0,1$$

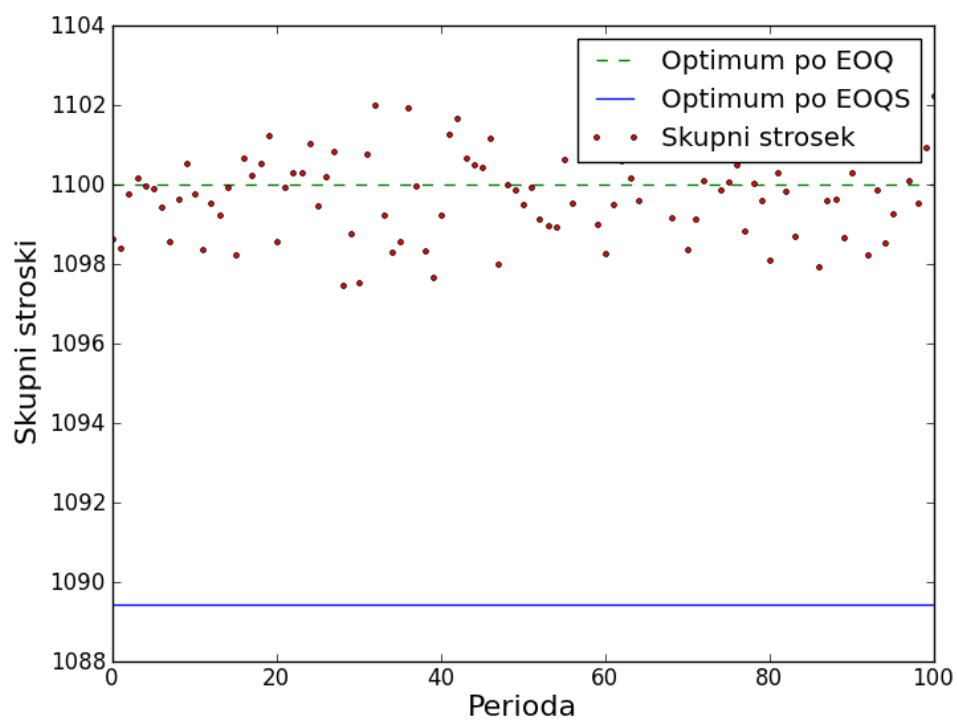


$$\sigma_D/\mu_D=1,0$$

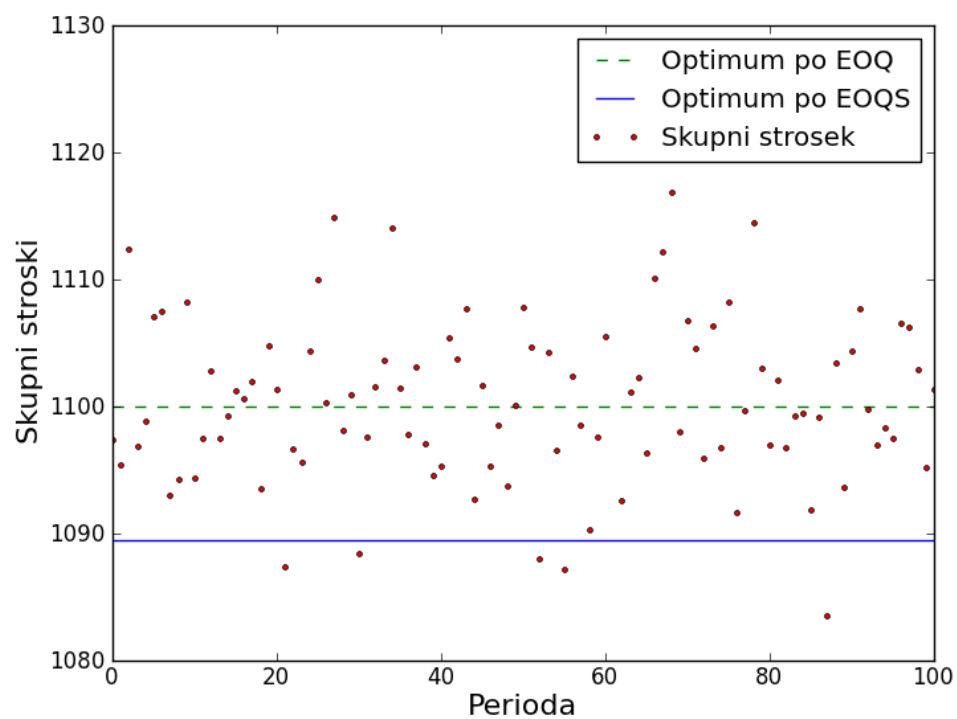


Slika 12: Vrednost C_t za 100 Monte Carlo simulacije na eni periodi z naključnim povpraševanjem, ki se spremeni $25\times$ na periodo.

$$\sigma_D/\mu_D=0,1$$



$$\sigma_D/\mu_D=1,0$$



V tabelah 4 – 6 so predstavljene povprečne vrednosti stroškov na periodo in njihovi raztrosi (standardni odkloni). Pomen oznake $\text{mean}(C_t)$ opredelimo kot srednja vrednost statistike C_t po metodi Bootstrap.

Prvo kar opazimo v tabelah 4 – 6 je, da so standardni odkloni statistike C_t po metodi Bootstrap majhni in da se srednje vrednosti ujemajo s tistimi ocenjenimi na osnovni populaciji. Iz tega sklepamo, da je cenilka skupnih stroškov dobro ocenjena že na osnovni populaciji in da je njen raztros majhen. Metodo Bootstrap smo zato v nadaljnjih analizah izpustili.

Povsem pričakovano sta stroška C_c in C_k neodvisna od raztrosov povpraševanja. Strošek C_h se zmerno poveča s povečanjem raztrosa povpraševanja. Najbolj se s povečanjem raztrosa povpraševanja poveča strošek C_p . Celotni strošek je vsota vseh štirih stroškov.

Največje povečanje celotnih stroškov ob povečanju variabilnosti opazimo v tabeli 4 in najmanjše v tabeli 6, ki popisuje 25-kratno spreminjanje povpraševanja znotraj periode. Dejstvo lahko razložimo s tem, da je povpraševanje v bistvu definirano kot časovni odvod količine. Če želimo izračunati stroške na periodo, moramo krivuljo zalog, predstavljeno na slikah 4 – 6, integrirati v času. Znano pa je (Jakšić & Boltežar, 2002), da integracija časovne vrste deluje kot nizko-pasovni filter. To pomeni, da integriranje filtrira hrup iz časovne vrste. Večkratno spreminjanje povpraševanja v periodi pa že samo po sebi vnaša manj “hrupa” v krivuljo zalog.

Tabela 4: Povprečne vrednosti stroškov za naključno povpraševanje, ki se spremeni $1 \times$ na periodo.

Parameter →		C_c	C_k	C_h	C_p	C_t	$\text{mean}(C_t)$
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 0,1$	Povprečje	1000,000	50,000	50,213	0,869	1101,083	1101,083
	Std. dev.	0,000	0,000	4,683	1,841	3,670	0,037
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 0,2$	Povprečje	1000,000	50,000	50,754	3,062	1103,816	1103,816
	Std. dev.	0,000	0,000	8,879	6,243	6,626	0,066
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 0,5$	Povprečje	1000,000	50,000	53,380	14,402	1117,782	1117,781
	Std. dev.	0,000	0,000	19,591	27,404	21,344	0,211
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 1,0$	Povprečje	1000,000	50,000	56,182	41,226	1147,408	1147,410
	Std. dev.	0,000	0,000	28,916	73,666	58,813	0,591
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 2,0$	Povprečje	1000,000	50,000	56,912	106,683	1213,595	1213,625
	Std. dev.	0,000	0,000	35,810	179,894	157,262	1,572

Dobro ujemanje vrednosti celotnih stroškov pri majhnih raztrosih povpraševanja metode Monte Carlo, s tistim, ki ga napove model EOQ nam pove, da je numerični algoritem metode Monte Carlo pravilno apliciran in s tem verificiran.

Tabela 5: Povprečne vrednosti stroškov za naključno povpraševanje, ki se spremeni $5 \times$ na periodo.

Parameter \rightarrow		C_c	C_k	C_h	C_p	C_t	mean(C_t)
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 0,1$	Povprečje	1000,000	50,000	50,048	0,188	1100,235	1100,235
	Std. dev.	0,000	0,000	2,503	0,410	2,273	0,023
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 0,2$	Povprečje	1000,000	50,000	50,181	0,717	1100,897	1100,897
	Std. dev.	0,000	0,000	4,884	1,545	4,130	0,041
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 0,5$	Povprečje	1000,000	50,000	50,803	4,090	1104,893	1104,894
	Std. dev.	0,000	0,000	11,233	8,366	9,145	0,092
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 1,0$	Povprečje	1000,000	50,000	49,605	15,227	1114,831	1114,828
	Std. dev.	0,000	0,000	17,407	27,194	21,380	0,215
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 2,0$	Povprečje	1000,000	50,000	44,184	55,916	1150,100	1150,099
	Std. dev.	0,000	0,000	22,408	79,037	66,918	0,670

Tabela 6: Povprečne vrednosti stroškov za naključno povpraševanje, ki se spremeni $25 \times$ na periodo.

Parameter \rightarrow		C_c	C_k	C_h	C_p	C_t	mean(C_t)
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 0,1$	Povprečje	1000,000	50,000	50,008	0,039	1100,047	1100,047
	Std. dev.	0,000	0,000	1,141	0,087	1,090	0,011
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 0,2$	Povprečje	1000,000	50,000	50,039	0,154	1100,193	1100,193
	Std. dev.	0,000	0,000	2,257	0,338	2,067	0,021
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 0,5$	Povprečje	1000,000	50,000	50,027	0,948	1100,975	1100,975
	Std. dev.	0,000	0,000	5,339	1,983	4,415	0,044
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 1,0$	Povprečje	1000,000	50,000	47,104	5,102	1102,206	1102,205
	Std. dev.	0,000	0,000	8,540	8,155	6,856	0,068
$\frac{\sigma_D}{\mu_D} = 2,0$	Povprečje	1000,000	50,000	37,998	31,183	1119,181	1119,187
	Std. dev.	0,000	0,000	10,685	31,377	24,901	0,251

3 ANALIZA VPLIVA VARIABILNOSTI POVPRASEVANJA IN DOBAVNEGA ROKA NA CELOTNE STROŠKE PO SQ MODELU

Raztrosa povpraševanja in dobavnega roka sta najpomembnejši negotovosti pri optimalnem obvladovanju zalog. Njun kombiniran vpliv smo analizirali z metodo SQ pri dveh različnih povprečnih dobavnih rokih: $L = 0,1\tau$ in $L = 0,3\tau$. Prvi dobavni rok je relativno kratek glede na periodo naročanja, drugi je pa relativno dolg. Predpostavka pri modelu SQ namreč je, da je dobavni rok kratek (Jensen & Bard, 2003).

Pri vsaki analizi smo varirali raztros povpraševanja σ_D in raztros dobavnega roka σ_L ter stopnjo storitve γ .

Vhodne podatke podaja tabela 2. Zgolj za primerjavo pa optimalne vrednosti metod EOQ in EOQS podaja tabela 3.

3.1 Relativno kratek dobavni rok

Optimalne vrednosti količine naročila Q in velikosti periode τ podajata tabeli 7 in 8. Z večanjem obeh raztrosov se povečujejo vrednosti obeh parametrov. Sklepamo lahko, da sta parametra Q in τ približno enako občutljiva na raztrosa dobavnega roka in povpraševanja.

Z večanjem obeh raztrosov se povečuje tudi vrednost točke ponovnega naročanja S , tabela 9, zaradi povečanja varnostnih zalog SS , tabela 10. Le-te se, povsem logično, povečujejo tudi s povečevanjem stopnje storitve γ . Negativna vrednost varnostnih zalog bi pomenila, da bi tudi brez njih dosegli boljšo raven storitve kot je predpisana. V tem primeru je v tabeli 10 napisana ničla, torej varnostnih zalog ne potrebujemo.

Z modelom SQ lahko ocenimo tudi strošek izčrpavanja zalog p , tabela 11. Izkaže se, da na vrednost p najbolj vpliva zahtevana stopnja storitve. Višja kot je vrednost γ , višja je vrednost p . Velja pa tudi, da se, zaradi večje varnostne zaloge pri višji stopnji storitve, izčrpavanje zalog zgodi manj pogosto in zato celotni stroški izčrpavanja zalog C_p , tabela 12, rastejo drugače kot p , tabela 11. Opisan pojav opisuje enačba (40), ki povezuje stroške izčrpavanja zalog s stroškom p in matematičnim pričakovanjem, da se izčrpanje res zgodi E_s . To, slednje, vpliva na omenjene razlike med C_p in p .

Celotni stroški C_t so prikazani v tabeli 13. Celotni stroški rastejo s povečanjem raztrosa povpraševanja, s povečanjem raztrosa dobavnega časa in načeloma tudi z višjo stopnjo storitve, s tem, da je stopnja storitve malo bolj vplivna od ostalih dveh parametrov in glede na vhodne parametre lahko celo znižuje celotne stroške (Jensen & Bard, 2003).

Tabela 7: Parameter Q modela SQ .

Stopnja storitve	σ_L/μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D/\mu_D = 0,1$						
0,9	100,5	100,5	100,5	100,7	101,1	102,5
0,95	100,4	100,4	100,5	100,6	100,9	102,2
0,99	100,3	100,3	100,4	100,5	100,8	101,8
0,999	100,3	100,3	100,3	100,4	100,6	101,4
0,9999	100,2	100,2	100,3	100,3	100,5	101,2
$\sigma_D/\mu_D = 0,2$						
0,9	101,0	101,0	101,0	101,1	101,4	102,6
0,95	100,8	100,8	100,9	100,9	101,2	102,3
0,99	100,7	100,7	100,7	100,8	101,0	101,9
0,999	100,6	100,6	100,6	100,6	100,8	101,5
0,9999	100,5	100,5	100,5	100,5	100,7	101,3
$\sigma_D/\mu_D = 0,5$						
0,9	102,4	102,4	102,4	102,5	102,6	103,6
0,95	102,1	102,1	102,1	102,2	102,3	103,2
0,99	101,7	101,7	101,7	101,8	101,9	102,6
0,999	101,4	101,4	101,4	101,4	101,5	102,1
0,9999	101,2	101,2	101,2	101,2	101,3	101,8
$\sigma_D/\mu_D = 1,0$						
0,9	104,8	104,8	104,9	104,9	105,0	106,0
0,95	104,3	104,3	104,3	104,3	104,4	105,2
0,99	103,4	103,4	103,5	103,5	103,6	104,2
0,999	102,8	102,8	102,8	102,8	102,9	103,4
0,9999	102,4	102,4	102,4	102,4	102,5	103,0
$\sigma_D/\mu_D = 2,0$						
0,9	109,9	109,9	109,9	110,0	110,2	111,4
0,95	108,7	108,7	108,7	108,8	108,9	110,0
0,99	107,0	107,0	107,0	107,1	107,2	108,1
0,999	105,7	105,7	105,7	105,7	105,8	106,5
0,9999	104,9	104,9	104,9	104,9	105,0	105,6

Tabela 8: Parameter τ modela SQ.

Stopnja storitve	σ_L/μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D/\mu_D = 0,1$						
0,9	1,005	1,005	1,005	1,007	1,011	1,025
0,95	1,004	1,004	1,005	1,006	1,009	1,022
0,99	1,003	1,003	1,004	1,005	1,008	1,018
0,999	1,003	1,003	1,003	1,004	1,006	1,014
0,9999	1,002	1,002	1,003	1,003	1,005	1,012
$\sigma_D/\mu_D = 0,2$						
0,9	1,010	1,010	1,010	1,011	1,014	1,026
0,95	1,008	1,008	1,009	1,009	1,012	1,023
0,99	1,007	1,007	1,007	1,008	1,010	1,019
0,999	1,006	1,006	1,006	1,006	1,008	1,015
0,9999	1,005	1,005	1,005	1,005	1,007	1,013
$\sigma_D/\mu_D = 0,5$						
0,9	1,024	1,024	1,024	1,025	1,026	1,036
0,95	1,021	1,021	1,021	1,022	1,023	1,032
0,99	1,017	1,017	1,017	1,018	1,019	1,026
0,999	1,014	1,014	1,014	1,014	1,015	1,021
0,9999	1,012	1,012	1,012	1,012	1,013	1,018
$\sigma_D/\mu_D = 1,0$						
0,9	1,048	1,048	1,049	1,049	1,050	1,060
0,95	1,043	1,043	1,043	1,043	1,044	1,052
0,99	1,034	1,034	1,035	1,035	1,036	1,042
0,999	1,028	1,028	1,028	1,028	1,029	1,034
0,9999	1,024	1,024	1,024	1,024	1,025	1,030
$\sigma_D/\mu_D = 2,0$						
0,9	1,099	1,099	1,099	1,100	1,102	1,114
0,95	1,087	1,087	1,087	1,088	1,089	1,100
0,99	1,070	1,070	1,070	1,071	1,072	1,081
0,999	1,057	1,057	1,057	1,057	1,058	1,065
0,9999	1,049	1,049	1,049	1,049	1,050	1,056

Tabela 9: Parameter S modela SQ.

Stopnja storitve	σ_L/μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D/\mu_D = 0,1$						
0,9	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
0,95	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
0,99	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	11,9
0,999	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	15,8
0,9999	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	19,1
$\sigma_D/\mu_D = 0,2$						
0,9	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
0,95	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
0,99	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	12,7
0,999	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	16,9
0,9999	10,0	10,0	10,0	10,0	10,6	20,4
$\sigma_D/\mu_D = 0,5$						
0,9	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
0,95	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	12,3
0,99	11,6	11,6	11,7	11,9	12,7	17,4
0,999	15,5	15,5	15,5	15,8	16,9	23,2
0,9999	18,6	18,6	18,7	19,1	20,4	27,9
$\sigma_D/\mu_D = 1,0$						
0,9	12,8	12,8	12,8	12,9	13,3	15,7
0,95	16,4	16,5	16,5	16,6	17,1	20,1
0,99	23,3	23,3	23,3	23,5	24,2	28,5
0,999	30,9	30,9	31,0	31,2	32,1	37,8
0,9999	37,2	37,2	37,3	37,6	38,6	45,5
$\sigma_D/\mu_D = 2,0$						
0,9	25,6	25,6	25,7	25,8	26,3	29,4
0,95	32,9	32,9	32,9	33,1	33,7	37,7
0,99	46,5	46,5	46,6	46,8	47,7	53,3
0,999	61,8	61,8	61,9	62,2	63,3	70,8
0,9999	74,4	74,4	74,5	74,8	76,2	85,2

Tabela 10: Parameter SS modela SQ.

Stopnja storitve	σ_L / μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D / \mu_D = 0,1$						
0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9
0,999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8
0,9999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1
$\sigma_D / \mu_D = 0,2$						
0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7
0,999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9
0,9999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	10,4
$\sigma_D / \mu_D = 0,5$						
0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3
0,99	1,6	1,6	1,7	1,9	2,7	7,4
0,999	5,5	5,5	5,5	5,8	6,9	13,2
0,9999	8,6	8,6	8,7	9,1	10,4	17,9
$\sigma_D / \mu_D = 1,0$						
0,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,3	5,7
0,95	6,4	6,5	6,5	6,6	7,1	10,1
0,99	13,3	13,3	13,3	13,5	14,2	18,5
0,999	20,9	20,9	21,0	21,2	22,1	27,8
0,9999	27,2	27,2	27,3	27,6	28,6	35,5
$\sigma_D / \mu_D = 2,0$						
0,9	15,6	15,6	15,7	15,8	16,3	19,4
0,95	22,9	22,9	22,9	23,1	23,7	27,7
0,99	36,5	36,5	36,6	36,8	37,7	43,3
0,999	51,8	51,8	51,9	52,2	53,3	60,8
0,9999	64,4	64,4	64,5	64,8	66,2	75,2

Tabela 11: Parameter p modela SQ.

Stopnja storitve	σ_L/μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D/\mu_D = 0,1$						
0,9	10,0	10,0	10,1	10,1	10,1	10,2
0,95	20,1	20,1	20,1	20,1	20,2	20,4
0,99	100,3	100,3	100,4	100,5	100,8	101,8
0,999	1002,8	1002,8	1003,1	1003,9	1006,2	1014,3
0,9999	10024,0	10024,1	10026,8	10034,0	10053,9	10123,4
$\sigma_D/\mu_D = 0,2$						
0,9	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,3
0,95	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,5
0,99	100,7	100,7	100,7	100,8	101,0	101,9
0,999	1005,6	1005,6	1005,7	1006,2	1007,9	1015,3
0,9999	10048,0	10048,1	10049,5	10053,9	10068,6	10132,0
$\sigma_D/\mu_D = 0,5$						
0,9	10,2	10,2	10,2	10,2	10,3	10,4
0,95	20,4	20,4	20,4	20,4	20,5	20,6
0,99	101,7	101,7	101,7	101,8	101,9	102,6
0,999	1013,9	1013,9	1014,0	1014,3	1015,3	1021,0
0,9999	10120,4	10120,5	10121,2	10123,4	10132,0	10181,2
$\sigma_D/\mu_D = 1,0$						
0,9	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,6
0,95	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	21,0
0,99	103,4	103,4	103,5	103,5	103,6	104,2
0,999	1028,1	1028,1	1028,1	1028,4	1029,2	1034,5
0,9999	10242,3	10242,4	10242,9	10244,8	10252,0	10297,6
$\sigma_D/\mu_D = 2,0$						
0,9	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,1
0,95	21,7	21,7	21,7	21,8	21,8	22,0
0,99	107,0	107,0	107,0	107,1	107,2	108,1
0,999	1056,9	1056,9	1057,0	1057,3	1058,3	1065,4
0,9999	10490,4	10490,4	10491,2	10493,5	10502,8	10563,7

Tabela 12: Parameter C_p modela SQ.

Stopnja storitve	σ_L/μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D/\mu_D = 0,1$						
0,9	0,5	0,5	0,5	0,7	1,1	2,4
0,95	0,4	0,4	0,5	0,6	0,9	2,1
0,99	0,3	0,3	0,4	0,5	0,8	1,7
0,999	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	1,4
0,9999	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	1,2
$\sigma_D/\mu_D = 0,2$						
0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,4	2,6
0,95	0,8	0,8	0,9	0,9	1,2	2,3
0,99	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	1,9
0,999	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1,5
0,9999	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	1,3
$\sigma_D/\mu_D = 0,5$						
0,9	2,4	2,4	2,4	2,4	2,6	3,6
0,95	2,1	2,1	2,1	2,1	2,3	3,1
0,99	1,7	1,7	1,7	1,7	1,9	2,5
0,999	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	2,1
0,9999	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,8
$\sigma_D/\mu_D = 1,0$						
0,9	4,7	4,7	4,7	4,8	4,9	5,8
0,95	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	5,1
0,99	3,4	3,4	3,4	3,4	3,5	4,2
0,999	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	3,4
0,9999	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,9
$\sigma_D/\mu_D = 2,0$						
0,9	9,5	9,5	9,5	9,5	9,7	10,8
0,95	8,4	8,4	8,4	8,4	8,6	9,6
0,99	6,8	6,8	6,8	6,8	6,9	7,8
0,999	5,5	5,5	5,5	5,6	5,7	6,3
0,9999	4,8	4,8	4,8	4,8	4,9	5,5

Tabela 13: Parameter C_t modela SQ.

Stopnja storitve	σ_L/μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D/\mu_D = 0,1$						
0,9	1100,5	1100,5	1100,5	1100,7	1101,1	1102,5
0,95	1100,4	1100,4	1100,5	1100,6	1100,9	1102,2
0,99	1100,3	1100,3	1100,4	1100,5	1100,8	1103,7
0,999	1100,3	1100,3	1100,3	1100,4	1100,6	1107,3
0,9999	1100,2	1100,2	1100,3	1100,3	1100,5	1110,3
$\sigma_D/\mu_D = 0,2$						
0,9	1101,0	1101,0	1101,0	1101,1	1101,4	1102,6
0,95	1100,8	1100,8	1100,9	1100,9	1101,2	1102,3
0,99	1100,7	1100,7	1100,7	1100,8	1101,0	1104,6
0,999	1100,6	1100,6	1100,6	1100,6	1100,8	1108,5
0,9999	1100,5	1100,5	1100,5	1100,5	1101,3	1111,7
$\sigma_D/\mu_D = 0,5$						
0,9	1102,4	1102,4	1102,4	1102,5	1102,6	1103,6
0,95	1102,1	1102,1	1102,1	1102,2	1102,3	1105,5
0,99	1103,3	1103,3	1103,4	1103,7	1104,6	1110,0
0,999	1106,8	1106,8	1107,0	1107,3	1108,5	1115,3
0,9999	1109,8	1109,8	1109,9	1110,3	1111,7	1119,7
$\sigma_D/\mu_D = 1,0$						
0,9	1107,7	1107,7	1107,7	1107,8	1108,4	1111,7
0,95	1110,7	1110,7	1110,8	1110,9	1111,5	1115,4
0,99	1116,7	1116,7	1116,8	1117,0	1117,8	1122,7
0,999	1123,7	1123,7	1123,8	1124,0	1125,0	1131,3
0,9999	1129,6	1129,6	1129,7	1130,0	1131,2	1138,5
$\sigma_D/\mu_D = 2,0$						
0,9	1125,5	1125,5	1125,6	1125,8	1126,4	1130,8
0,95	1131,6	1131,6	1131,7	1131,9	1132,6	1137,7
0,99	1143,5	1143,5	1143,6	1143,9	1144,9	1151,4
0,999	1157,5	1157,5	1157,6	1157,9	1159,2	1167,4
0,9999	1169,3	1169,3	1169,4	1169,8	1171,2	1180,9

3.2 Relativno dolg dobavni rok

V tabelah 14 – 16 so zbrane vrednosti parametrov Q , SS in C_t pri trikrat daljšem dobavnem roku kot v prejšnjem podglavju.

Tabela 14: Parameter Q modela SQ .

Stopnja storitve	σ_L/μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D/\mu_D = 0,1$						
0,9	101,4	101,4	101,6	102,0	103,2	107,5
0,95	101,3	101,3	101,4	101,8	102,9	106,6
0,99	101,0	101,0	101,1	101,5	102,3	105,3
0,999	100,8	100,8	100,9	101,2	101,9	104,3
0,9999	100,7	100,7	100,8	101,0	101,6	103,7
$\sigma_D/\mu_D = 0,2$						
0,9	102,9	102,9	103,0	103,2	104,1	108,1
0,95	102,5	102,5	102,6	102,9	103,6	107,1
0,99	102,1	102,1	102,1	102,3	102,9	105,7
0,999	101,7	101,7	101,7	101,9	102,4	104,7
0,9999	101,4	101,4	101,5	101,6	102,1	104,0
$\sigma_D/\mu_D = 0,5$						
0,9	107,4	107,4	107,4	107,5	108,1	111,2
0,95	106,5	106,5	106,5	106,6	107,1	109,8
0,99	105,2	105,2	105,2	105,3	105,7	107,9
0,999	104,2	104,2	104,3	104,3	104,7	106,4
0,9999	103,7	103,7	103,7	103,7	104,0	105,5
$\sigma_D/\mu_D = 1,0$						
0,9	115,2	115,2	115,2	115,4	115,8	118,9
0,95	113,3	113,3	113,4	113,5	113,9	116,5
0,99	110,7	110,7	110,7	110,8	111,1	113,2
0,999	108,7	108,7	108,7	108,7	109,0	110,7
0,9999	107,4	107,4	107,5	107,5	107,7	109,2
$\sigma_D/\mu_D = 2,0$						
0,9	132,4	132,4	132,4	132,6	133,3	137,7
0,95	128,2	128,2	128,2	128,4	128,9	132,8
0,99	122,4	122,4	122,4	122,5	123,0	126,0
0,999	118,0	118,0	118,0	118,1	118,5	120,8
0,9999	115,4	115,4	115,4	115,5	115,8	117,8

Tabela 15: Parameter SS modela SQ.

Stopnja storitve	σ_L/μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D/\mu_D = 0,1$						
0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8
0,999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,5
0,9999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,2
$\sigma_D/\mu_D = 0,2$						
0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2
0,999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,8
0,9999	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	31,1
$\sigma_D/\mu_D = 0,5$						
0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0
0,99	4,9	4,9	5,1	5,8	8,2	22,3
0,999	16,4	16,4	16,6	17,5	20,8	39,5
0,9999	25,8	25,8	26,1	27,2	31,1	53,7
$\sigma_D/\mu_D = 1,0$						
0,9	8,4	8,5	8,5	8,8	10,0	17,1
0,95	19,3	19,4	19,5	19,8	21,3	30,4
0,99	39,8	39,8	40,0	40,5	42,5	55,5
0,999	62,7	62,7	62,9	63,6	66,3	83,5
0,9999	81,6	81,6	81,8	82,7	85,9	106,6
$\sigma_D/\mu_D = 2,0$						
0,9	46,9	46,9	47,0	47,4	48,8	58,1
0,95	68,7	68,7	68,8	69,3	71,1	83,1
0,99	109,6	109,6	109,8	110,5	113,0	129,9
0,999	155,4	155,4	155,7	156,6	160,0	182,4
0,9999	193,1	193,2	193,5	194,5	198,7	225,6

Tabela 16: Parameter C_i modela SQ.

Stopnja storitve	σ_L/μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D/\mu_D = 0,1$						
0,9	1101,4	1101,4	1101,6	1102,0	1103,2	1107,5
0,95	1101,3	1101,3	1101,4	1101,8	1102,9	1106,6
0,99	1101,0	1101,0	1101,1	1101,5	1102,3	1111,1
0,999	1100,8	1100,8	1100,9	1101,2	1101,9	1121,8
0,9999	1100,7	1100,7	1100,8	1101,0	1101,6	1130,9
$\sigma_D/\mu_D = 0,2$						
0,9	1102,9	1102,9	1103,0	1103,2	1104,1	1108,1
0,95	1102,5	1102,5	1102,6	1102,9	1103,6	1107,1
0,99	1102,1	1102,1	1102,1	1102,3	1102,9	1113,9
0,999	1101,7	1101,7	1101,7	1101,9	1102,4	1125,4
0,9999	1101,4	1101,4	1101,5	1101,6	1103,9	1135,1
$\sigma_D/\mu_D = 0,5$						
0,9	1107,4	1107,4	1107,4	1107,5	1108,1	1111,2
0,95	1106,5	1106,5	1106,5	1106,6	1107,1	1116,9
0,99	1110,1	1110,1	1110,4	1111,1	1113,9	1130,3
0,999	1120,6	1120,6	1120,9	1121,8	1125,4	1146,0
0,9999	1129,4	1129,5	1129,8	1130,9	1135,1	1159,2
$\sigma_D/\mu_D = 1,0$						
0,9	1123,7	1123,7	1123,8	1124,2	1125,8	1136,0
0,95	1132,7	1132,7	1132,8	1133,3	1135,2	1147,0
0,99	1150,5	1150,5	1150,7	1151,3	1153,6	1168,7
0,999	1171,4	1171,4	1171,6	1172,4	1175,3	1194,2
0,9999	1189,0	1189,0	1189,3	1190,2	1193,7	1215,8
$\sigma_D/\mu_D = 2,0$						
0,9	1179,3	1179,3	1179,4	1180,0	1182,0	1195,8
0,95	1196,9	1196,9	1197,1	1197,7	1200,1	1215,8
0,99	1232,0	1232,0	1232,2	1233,0	1236,0	1255,9
0,999	1273,4	1273,4	1273,7	1274,7	1278,5	1303,2
0,9999	1308,5	1308,6	1308,9	1310,0	1314,5	1343,4

Vidimo lahko, da tudi dolžina dobavnega roka vpliva na velikosti parametrov. Vsi omenjeni parametri so v primerjavi s prejšnjim poglavjem večji. Vzrok leži v izrazu za izračun standardnega odklona parametra S in v izrazu za izračun parametra q_S modela SQ.

4 ANALIZA VPLIVA VARIABILNOSTI POVPRÁŠEVANJA IN DOBAVNEGA ROKA NA CELOTNE STROŠKE S SIMULACIJO MONTE CARLO

V prejšnjem poglavju smo analizirali kombiniran vpliv raztrosa povpraševanja in dobavnega roka na parametre optimalne politike vodenja zalog z metodo SQ na eni periodi. Na ta način ni bilo možno analizirati stanja, ko se povpraševanje spreminja znotraj periode. To lahko storimo z metodo Monte Carlo. Zaradi lastnosti dobavnega roka, da vpliva tudi na naslednjo periodo, smo simulirali tri zaporedne periode.

Simulacije razdelimo na dva glavna dela. Prvi del je pri relativno kratkem dobavnem roku, $L = 0,1\tau$, in drugi pri relativno daljšem dobavnem roku, $L = 0,3\tau$. V prvem delu smo varirali število sprememb povpraševanja v periodi ($1\times$, $5\times$ in $20\times$). V drugem delu pa upoštevamo le eno povpraševanje na periodo ($1\times$).

Za vsako kombinacijo parametrov predstavimo tabele za količino naročila, Q in skupne stroške, C_t , kjer smo varirali raztros povpraševanja σ_D in raztros dobavnega roka σ_L ter stopnjo storitve γ .

Vhodne podatke podaja tabela 2, kjer smo število simulacij z metodo Monte Carlo zmanjšali na $N_m = 10^4$. Zgolj za primerjavo pa optimalne vrednosti metod EOQ in EOQS podaja tabela 3. Optimalni parametri na katerih sloni simulacija so izračunani s SQ metodo.

Vse slike v tem poglavju so prikazane pri kombinaciji parametrov: $\sigma_D/\mu_D=0,2$ in $\sigma_L/\mu_L=0,1$ ter $\gamma = 0,9$. Vse tabele pa podajajo vrednosti preračunane na periodo.

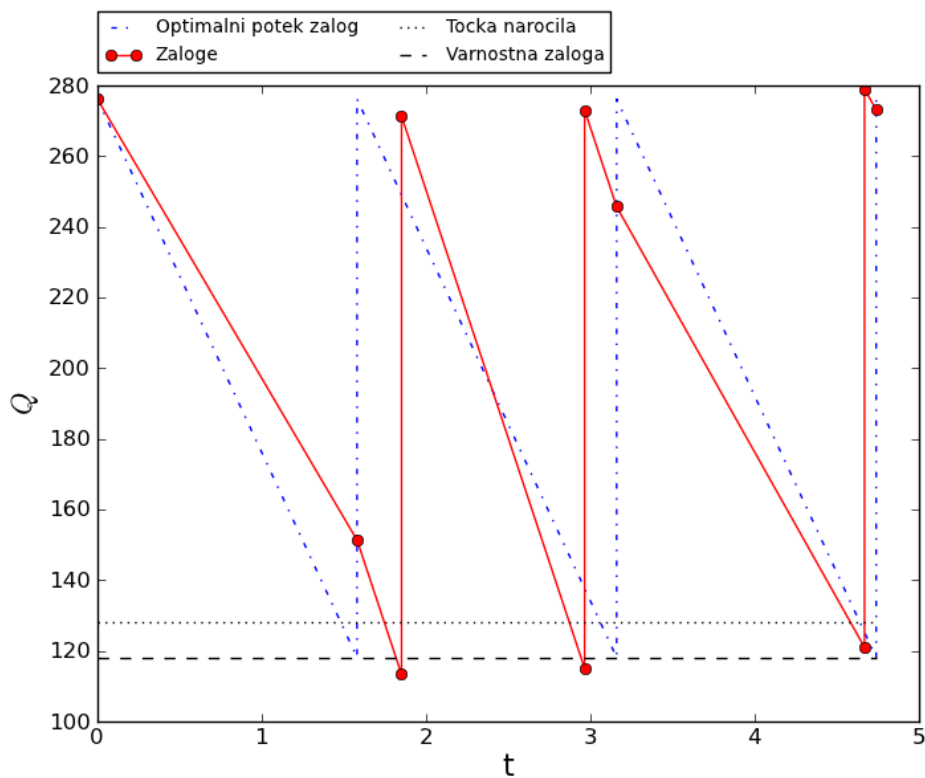
4.1 Relativno kratek dobavni rok

V tem podpoglavju obravnavamo primere konstantnega in spremenljivega povpraševanja v periodi in sicer 5 in 25-kratno spreminjanje povpraševanja na periodo.

4.1.1 Konstantno povpraševanje na periodo ($1\times$)

Na sliki 13 je predstavljen časovni potek zalog v treh periodah.

Slika 13: Primer (1×) Monte Carlo simulacije na treh periodah.



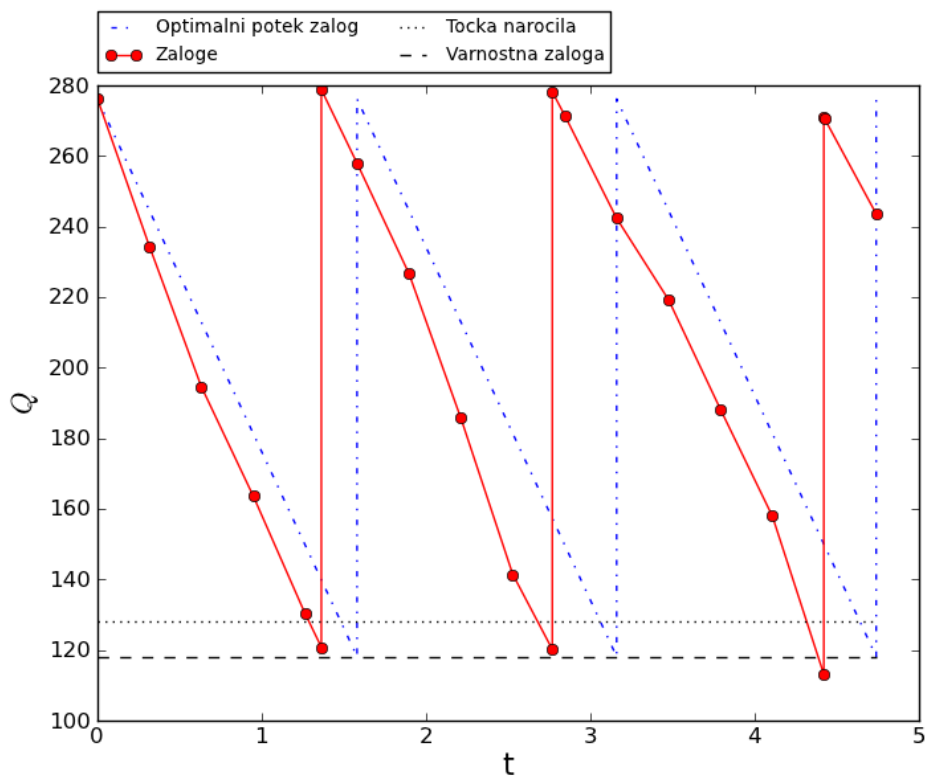
V tabeli 17 so zbrani celotni stroški po metodi Monte Carlo. V primerjavi s tabelo 13 opazimo, da so skupni stroški po modelu Monte Carlo malo višji od tistih ocenjenih z modelom SQ.

Tabela 17: Povprečni strošek C_i na periodo ($1 \times$).

Stopnja storitve	σ_L/μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D/\mu_D = 0,1$						
0,9	927,287	934,369	949,687	972,197	1038,306	1246,750
0,95	926,239	930,780	944,335	975,350	1038,101	1236,638
0,99	927,527	929,516	946,327	972,916	1032,011	1225,190
0,999	928,050	931,919	940,535	975,444	1036,107	1231,617
0,9999	934,483	936,594	946,957	979,610	1040,998	1242,090
$\sigma_D/\mu_D = 0,2$						
0,9	930,015	930,568	949,743	975,972	1035,964	1248,757
0,95	926,683	926,807	947,597	972,098	1035,112	1231,447
0,99	925,032	930,672	943,942	974,615	1035,606	1228,171
0,999	929,231	934,469	948,489	979,403	1037,280	1232,300
0,9999	955,962	960,723	945,609	978,491	1039,869	1248,210
$\sigma_D/\mu_D = 0,5$						
0,9	931,733	937,914	957,485	980,709	1043,691	1257,238
0,95	931,132	941,236	952,806	980,230	1035,490	1239,881
0,99	933,788	938,873	950,670	985,061	1037,842	1230,439
0,999	950,036	956,902	949,391	982,701	1043,051	1240,101
0,9999	1120,841	1120,548	962,686	981,483	1042,797	1255,039
$\sigma_D/\mu_D = 1,0$						
0,9	1013,458	1023,140	1039,996	1067,202	1140,284	1364,011
0,95	1023,497	1016,908	1049,874	1066,756	1135,298	1332,665
0,99	1014,421	1032,781	1036,449	1061,775	1128,240	1329,972
0,999	1080,513	1091,380	1058,114	1071,319	1128,626	1329,585
0,9999	1735,805	1748,369	1178,288	1063,891	1141,088	1345,116
$\sigma_D/\mu_D = 2,0$						
0,9	1340,791	1345,592	1365,605	1411,284	1474,908	1766,228
0,95	1332,180	1354,511	1370,943	1399,264	1489,227	1732,391
0,99	1354,654	1357,081	1398,609	1403,653	1462,841	1711,880
0,999	1656,916	1628,167	1541,017	1445,447	1472,916	1691,070
0,9999	4398,402	4312,435	2834,201	1619,018	1478,630	1698,809

4.1.2 Povpraševanje na periodo se spremeni 5×

Slika 14: Primer (5×) Monte Carlo simulacije na treh periodah.



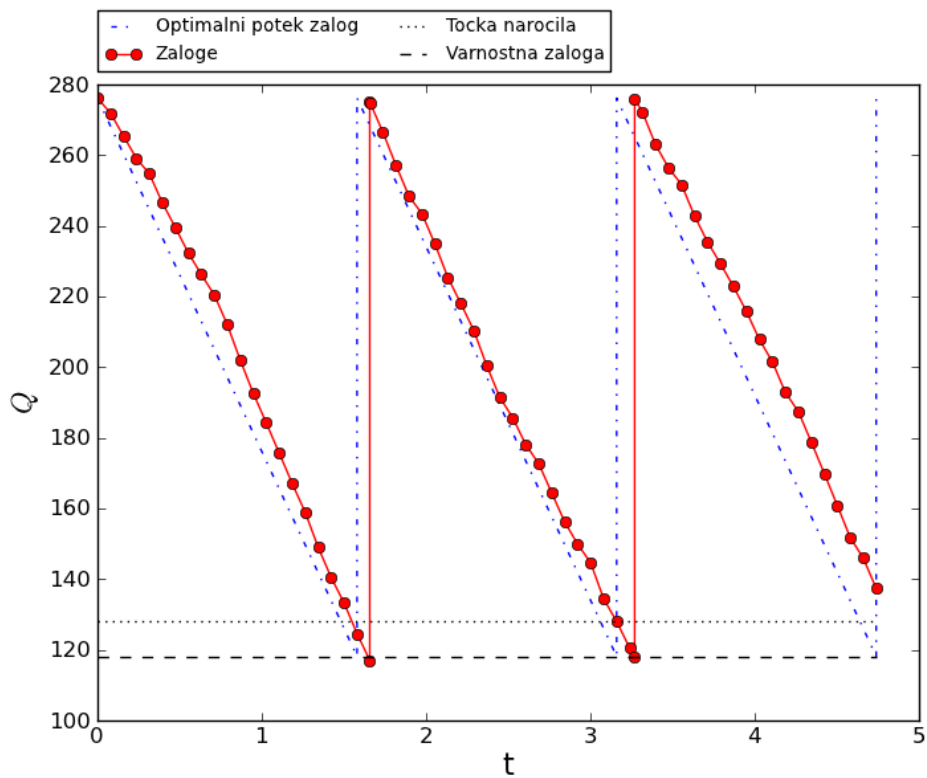
V tabeli 18 so zbrani celotni stroški po metodi Monte Carlo, če se povpraševanje spremeni 5× v periodi. Skupni stroški so primerljivi s tistimi ob enkratnem spreminjanju povpraševanja, Tabela 17.

Tabela 18: Povprečni strošek C_1 na periodo ($5\times$).

Stopnja Storitve	σ_L/μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D/\mu_D = 0,1$						
0,9	923,534	929,115	949,152	974,435	1037,259	1244,745
0,95	926,152	925,738	945,490	971,633	1031,435	1236,181
0,99	921,933	932,076	945,477	969,879	1028,741	1219,275
0,999	929,747	929,183	942,344	975,842	1034,994	1232,235
0,9999	930,281	934,565	947,140	978,827	1041,058	1243,456
$\sigma_D/\mu_D = 0,2$						
0,9	925,802	931,759	947,689	973,328	1040,012	1248,862
0,95	925,487	929,833	949,692	973,565	1034,729	1233,977
0,99	926,215	931,452	946,016	973,859	1030,558	1229,172
0,999	929,921	930,984	945,897	975,534	1037,877	1232,140
0,9999	949,786	952,184	948,156	978,025	1036,007	1243,328
$\sigma_D/\mu_D = 0,5$						
0,9	932,402	937,514	958,382	980,227	1042,667	1256,271
0,95	933,583	938,937	951,363	981,800	1035,938	1238,678
0,99	932,821	936,613	951,240	979,939	1037,919	1229,894
0,999	947,242	949,562	953,865	982,609	1038,186	1240,450
0,9999	1083,033	1086,083	951,422	982,707	1045,340	1250,928
$\sigma_D/\mu_D = 1,0$						
0,9	1012,087	1017,069	1039,088	1066,580	1133,100	1358,668
0,95	1011,960	1017,826	1039,657	1064,041	1125,777	1335,431
0,99	1016,155	1022,298	1039,221	1058,188	1124,962	1325,442
0,999	1080,657	1079,336	1053,666	1059,177	1121,904	1330,972
0,9999	1615,915	1623,553	1144,030	1064,601	1124,917	1339,807
$\sigma_D/\mu_D = 2,0$						
0,9	1328,997	1342,701	1360,247	1394,001	1479,332	1750,518
0,95	1336,956	1337,631	1355,036	1392,829	1470,112	1722,821
0,99	1352,272	1359,051	1371,108	1394,370	1461,528	1702,171
0,999	1584,504	1588,412	1514,008	1414,608	1463,822	1693,766
0,9999	3855,872	3863,528	2497,482	1537,167	1467,025	1702,681

4.1.3 Povpraševanje na periodo se spremeni 20×

Slika 15: Primer (20×) Monte Carlo simulacije na treh periodah.



V tabeli 19 so zbrani celotni stroški po metodi Monte Carlo, če se povpraševanje spremeni 5× v periodi. V primerjavi s tabelama 17 in 18 opazimo, da so skupni stroški primerljivi.

Tabela 19: Povprečni strošek C_i na periodo ($20\times$).

Stopnja storitve	σ_L/μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D/\mu_D = 0,1$						
0,9	926,519	927,495	951,005	971,789	1035,786	1240,602
0,95	921,158	926,389	948,197	970,008	1032,459	1231,699
0,99	925,516	930,206	946,394	970,929	1032,233	1221,076
0,999	925,135	924,732	944,642	974,552	1033,925	1230,192
0,9999	927,379	927,221	944,458	973,556	1035,992	1243,822
$\sigma_D/\mu_D = 0,2$						
0,9	928,732	927,606	948,195	974,749	1035,173	1244,552
0,95	926,001	929,980	946,621	971,602	1033,019	1235,083
0,99	927,393	931,594	943,741	971,608	1031,394	1223,072
0,999	927,866	930,065	942,768	975,002	1033,179	1230,810
0,9999	938,475	936,966	946,545	976,951	1044,536	1243,935
$\sigma_D/\mu_D = 0,5$						
0,9	936,626	941,191	958,046	982,766	1047,031	1259,771
0,95	938,528	939,120	957,127	980,848	1043,450	1241,622
0,99	937,326	941,110	956,154	980,929	1042,297	1236,706
0,999	943,402	945,719	954,465	981,250	1043,012	1243,922
0,9999	1009,224	1009,775	956,358	986,136	1051,791	1250,839
$\sigma_D/\mu_D = 1,0$						
0,9	1025,157	1030,575	1049,124	1078,034	1146,429	1369,202
0,95	1027,869	1030,374	1050,441	1076,217	1137,196	1353,145
0,99	1027,339	1031,117	1047,399	1074,747	1134,994	1338,734
0,999	1051,381	1058,726	1051,434	1076,632	1139,113	1343,594
0,9999	1329,535	1339,025	1069,160	1076,521	1145,326	1353,246
$\sigma_D/\mu_D = 2,0$						
0,9	1327,068	1334,406	1356,977	1392,904	1479,010	1748,325
0,95	1330,195	1336,927	1360,960	1394,882	1468,706	1724,068
0,99	1338,557	1346,761	1365,505	1390,284	1455,147	1695,030
0,999	1465,920	1467,196	1416,788	1388,761	1455,611	1688,239
0,9999	2698,122	2699,910	1766,589	1397,508	1455,309	1692,722

4.2 Relativno dolg dobavni rok

V tabeli 20 so zbrani celotni stroški po metodi Monte Carlo. V primerjavi s tabelo 16 opazimo, da so skupni stroški po modelu Monte Carlo višji od tistih ocenjenih z modelom SQ.

Tabela 20: Povprečni strošek C_t na periodo ($I \times$).

Stopnja storitve	σ_L / μ_L					
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5
$\sigma_D / \mu_D = 0,1$						
0,9	924,088	931,490	948,706	971,203	1017,707	1218,390
0,95	927,982	929,006	948,201	968,920	1008,987	1205,557
0,99	926,368	929,603	945,235	957,976	1007,738	1202,787
0,999	933,661	934,692	950,386	966,022	1010,568	1205,690
0,9999	989,916	989,786	1013,235	960,338	1014,939	1218,028
$\sigma_D / \mu_D = 0,2$						
0,9	926,643	933,527	950,457	976,258	1019,840	1223,475
0,95	925,964	930,426	947,538	967,758	1015,724	1206,877
0,99	931,462	933,922	945,383	958,862	1012,375	1202,485
0,999	953,682	950,499	967,466	980,442	1014,759	1207,936
0,9999	1158,870	1163,027	1200,182	1000,486	1020,158	1219,552
$\sigma_D / \mu_D = 0,5$						
0,9	932,703	940,602	959,417	978,848	1032,790	1229,483
0,95	937,121	936,416	955,291	977,827	1020,091	1210,923
0,99	947,591	951,272	964,751	985,887	1020,518	1205,765
0,999	1092,296	1086,735	1101,404	1106,706	1025,245	1213,429
0,9999	2428,095	2423,840	2501,261	1702,047	1034,579	1227,024
$\sigma_D / \mu_D = 1,0$						
0,9	1021,369	1019,287	1043,932	1060,299	1118,013	1331,123
0,95	1011,485	1024,621	1043,349	1057,293	1113,652	1320,243
0,99	1069,032	1088,253	1097,008	1092,474	1128,158	1300,878
0,999	1625,542	1649,854	1654,923	1638,437	1215,098	1313,407
0,9999	7047,314	7130,208	7165,290	5321,687	1642,479	1333,097
$\sigma_D / \mu_D = 2,0$						
0,9	1338,707	1342,277	1360,715	1411,933	1468,013	1724,789
0,95	1375,328	1373,645	1391,911	1425,768	1491,218	1722,055
0,99	1568,920	1556,070	1581,304	1609,941	1577,144	1708,169
0,999	3746,030	3792,665	3815,851	3720,890	2501,597	1919,898
0,9999	25538,330	25626,616	25868,091	21439,680	8751,505	2772,519

5 PRIMERJAVA DVEH DOBAVITELJEV

V prejšnjih poglavjih smo analizirali vplivnost povpraševanja in dobavnega roka, ki sta oba stohastična, normalno porazdeljena, parametra, na skupne stroške skladiščenja. Analize smo izvedli na eni periodi (SQ in Monte Carlo) ali na največ treh periodah z metodo Monte Carlo. V tem poglavju pa smo simulirali poslovanje preko celotnega leta z metodo Monte Carlo in na eni periodi z metodo SQ. Namen simulacije z metodo Monte Carlo je bolj realistična simulacija poslovanja in upoštevanje vpliva raztrosa dobavnega roka preko več period. Metoda SQ je kar se tega tiče omejena na le eno periodo in to se je izkazalo za njeno glavno pomanjkljivost.

Celotne stroške skladiščenja smo izračunali pri različnih kombinacijah parametrov predvsem pri različnih stopnjah storitve, razmerjih cen med dvema dobaviteljema in variacijah dobavnega roka.

Kot rečeno smo primerjali dva dobavitelja z vidika celotnih stroškov obvladovanja zalog v dobi enega leta. Prvi dobavitelj je lokalni in je sposoben dobaviti naročilo v enem dnevu. Drugi dobavitelj je globalni in njegov dobavni rok je deset dni. Osnovni parametri scenarija so zbrani v tabeli 21 in parametri obeh dobaviteljev v tabeli 22. Predpostavka je, da je količina naročila vedno enaka in nespremenljiva.

Enota časa je en dan. Po predpostavki se povpraševanje lahko spremeni vsak dan. Razmerje med ceno blaga globalnega dobavitelja in lokalnega dobavitelja definira parameter α ; $\alpha=c_2/c_1$, kjer je c_1 cena prvega dobavitelja za kos in c_2 cena drugega dobavitelja. Že na prvi pogled je jasno, da mora biti $\alpha < 1$.

Tabela 21: Vhodne vrednosti parametrov (1)

Opis	Oznaka	Vrednost	Enota
Število dni v letu	N_T	250	
Velikost povpraševanja na leto	N_D	250000	kos/leto
Specifični standardni odklon povpraševanja	σ_D/μ_D	0,2	kos/dan
Število simulacij z metodo Monte Carlo	N_m	10^4	
Strošek naročila	k	50,0	€
Strošek skladiščenja	h	0,1	€/kos/dan

Tabela 22: Vhodne vrednosti parametrov (2)

Opis	Oznaka	Dobavitelj 1	Dobavitelj 2	Enota
Perioda naročanja	T	5,0	15,0	čas
Pričakovani dobavni rok	L	1,0	10,0	čas
Standardni odklon dob. roka	σ_L	0,1	[0,1;0,5;1,0;2,0;5,0]	čas
Strošek blaga	c	1,0	α	€/kos

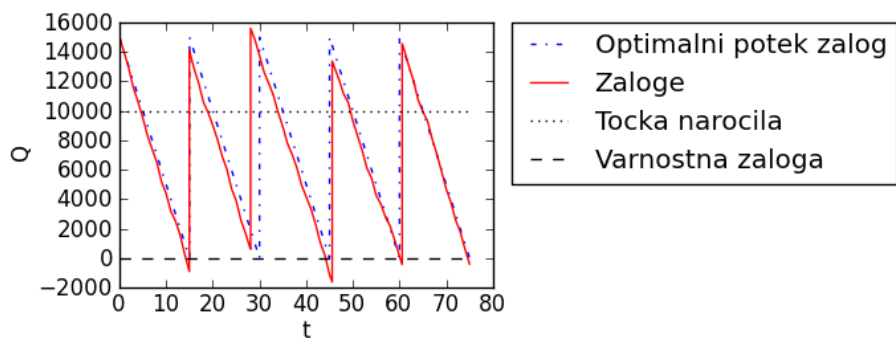
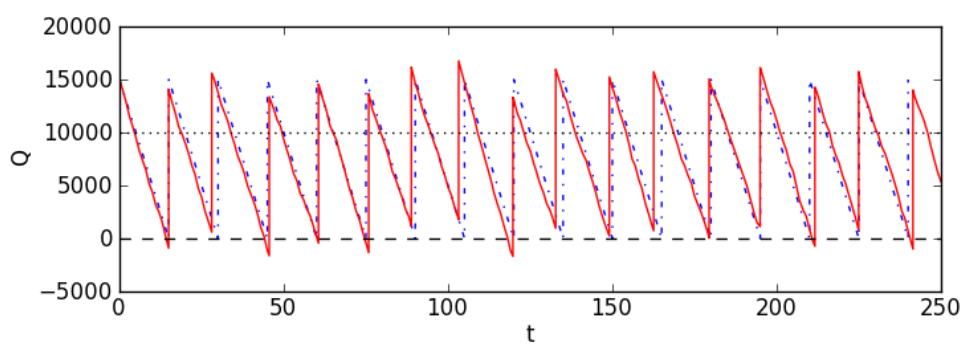
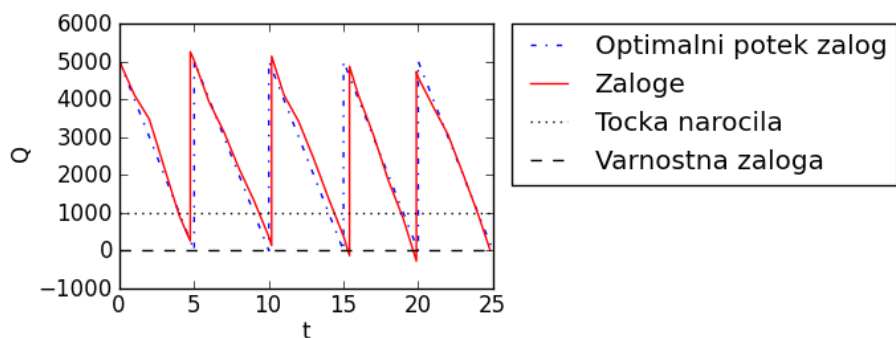
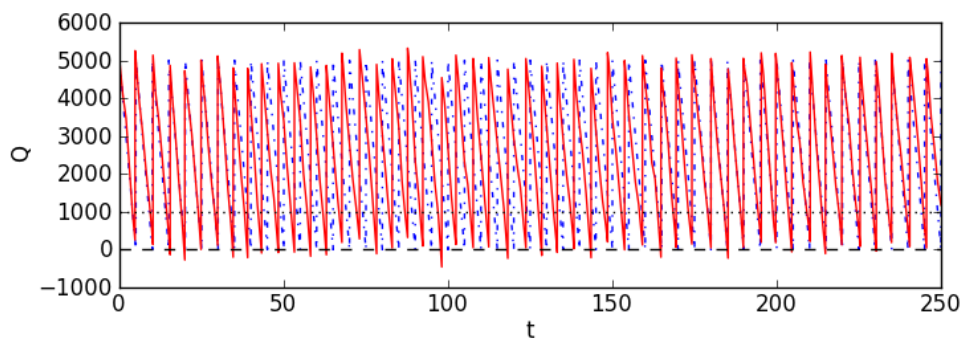
V tem scenariju primerjamo skupne stroške obvladovanja zalog, ki nastanejo pri poslovanju z lokalnim dobaviteljem, s tistimi, ki nastanejo pri poslovanju z globalnim dobaviteljem. Pri tem upoštevamo različne zahtevane stopnje storitve γ . Pri lokalnem dobavitelju upoštevamo le en raztros dobavnega roka, saj je njegova pričakovana vrednost majhna. Pri globalnem dobavitelju pa upoštevamo več različnih možnih raztrosov dobavnega roka, saj je le-ta precej daljši od dobavnega roka lokalnega dobavitelja.

Razmerja med celotnimi stroški obeh dobaviteljev smo določili z upoštevanjem parametra α , pri različnih stopnjah storitve γ in pri različnih standardnih odklonih dobavnega roka dobavitelja 2, σ_{L2} .

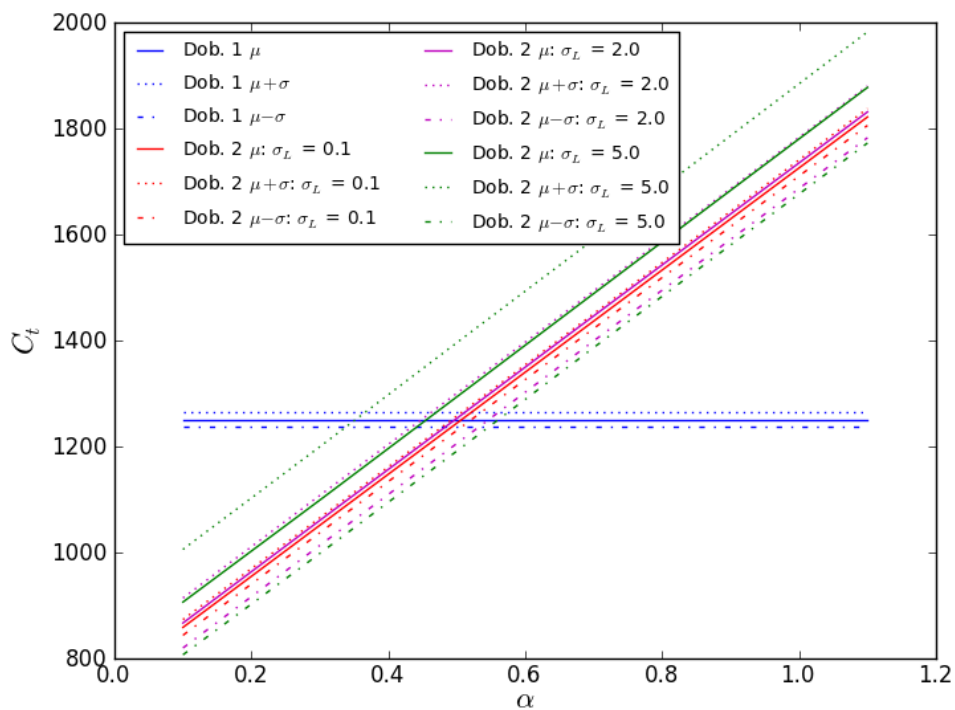
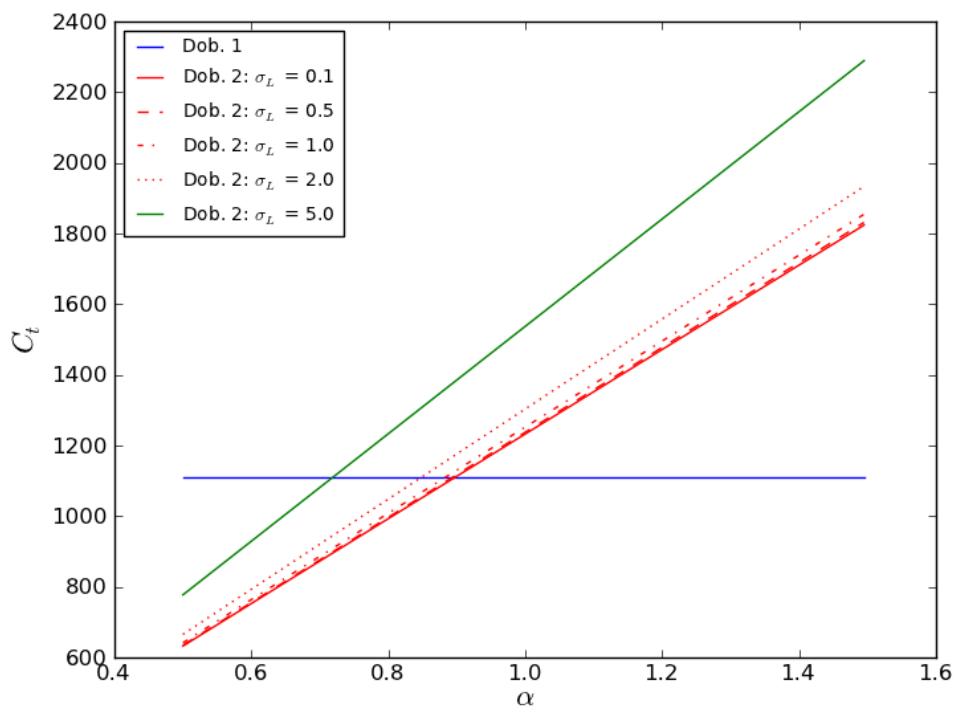
Nalogo smo rešili na dva različna načina in sicer z uporabo metode SQ in z uporabo simulacije z metodo Monte Carlo. Slednja omogoča kontinuirano simulacijo stanja zalog preko celega leta, kar prikazuje slika 16 za stopnjo storitve $\gamma = 0,99$. Zgornji del slike predstavlja primer stanja zalog lokalnega dobavitelja preko celega leta za $\sigma_{L1} = 0,1$. Spodnji del slike pa prikazuje primer stanja zalog globalnega dobavitelja preko celega leta za $\sigma_{L2} = 0,1$. Količine naročanja pri globalnem dobavitelju so trikrat večje kot pri lokalnem zaradi trikrat daljše periode. Zaradi $10\times$ daljšega dobavnega roka globalnega dobavitelja v primerjavi z lokalnim je točka ponovnega naročanja tudi približno $10\times$ višja.

Na slikah 17 – 21 so predstavljeni rezultati simulacij obeh metod. Na abscisni osi je podan parameter α , ki popisuje razmerje cen blaga globalnega in lokalnega dobavitelja. Na ordinatni osi pa so celotni stroški C_t preračunani na časovno enoto (en dan), tako, da je mogoča primerjava med metodama. Zgoraj so predstavljeni rezultati metode SQ in spodaj metode Monte Carlo. Na spodnjem delu slike so narisane tudi vrednosti stroškov za \pm en standardni odklon.

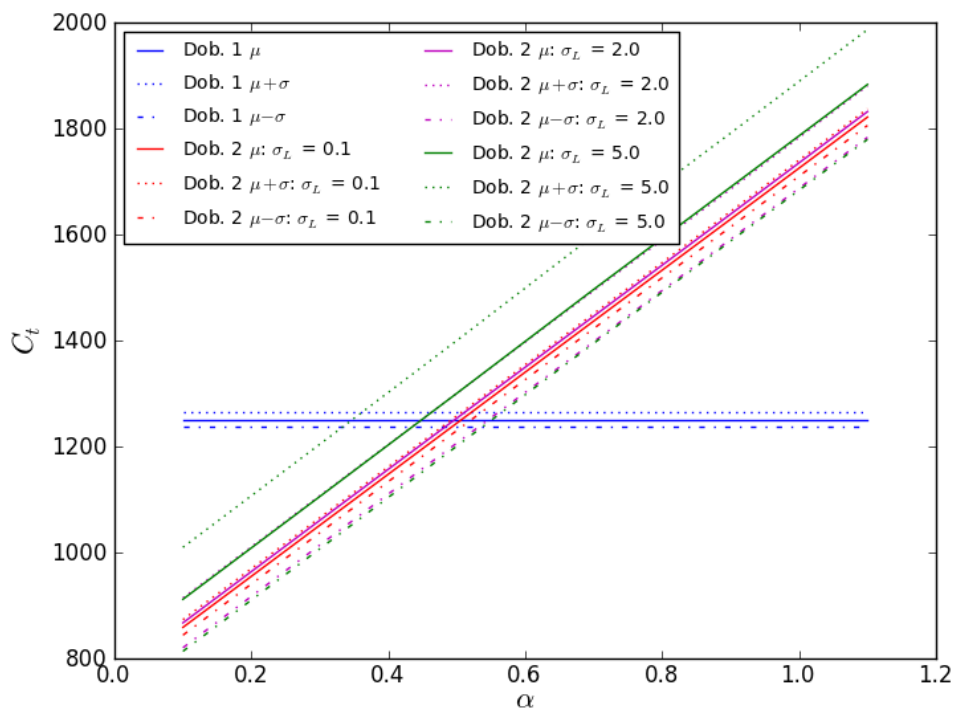
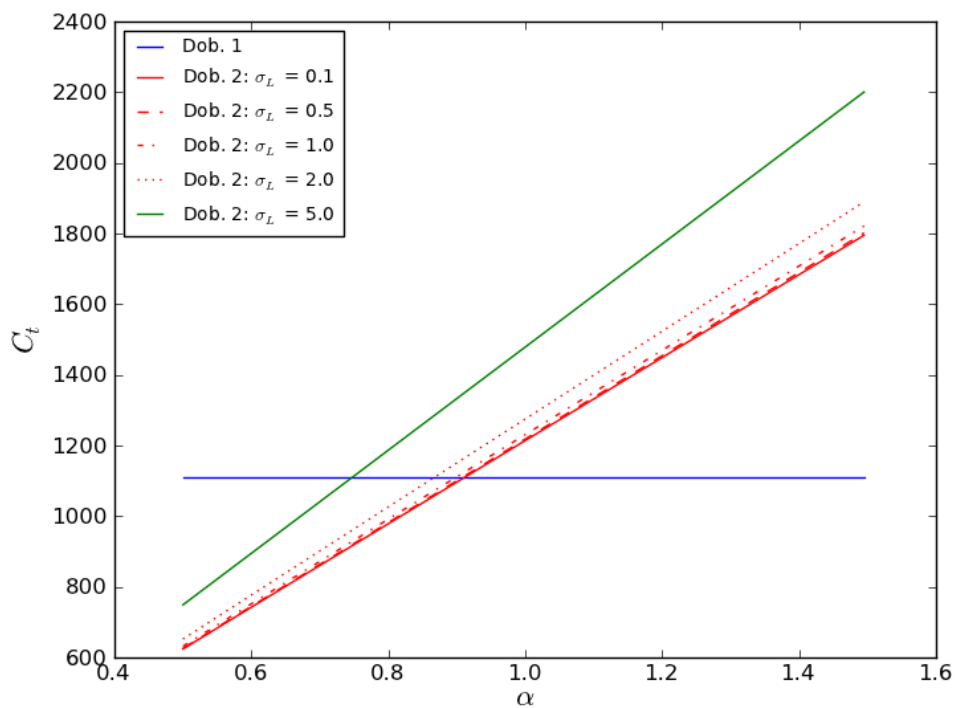
Slika 16: Primera časovnih potekov zalog preko celega leta po metodi Monte Carlo pri zahtevani stopnji storitve $\gamma = 0,99$; zgoraj lokalni dobavitelj, spodaj globalni dobavitelj; levo od legende je predstavljen detajl prvih petih period.



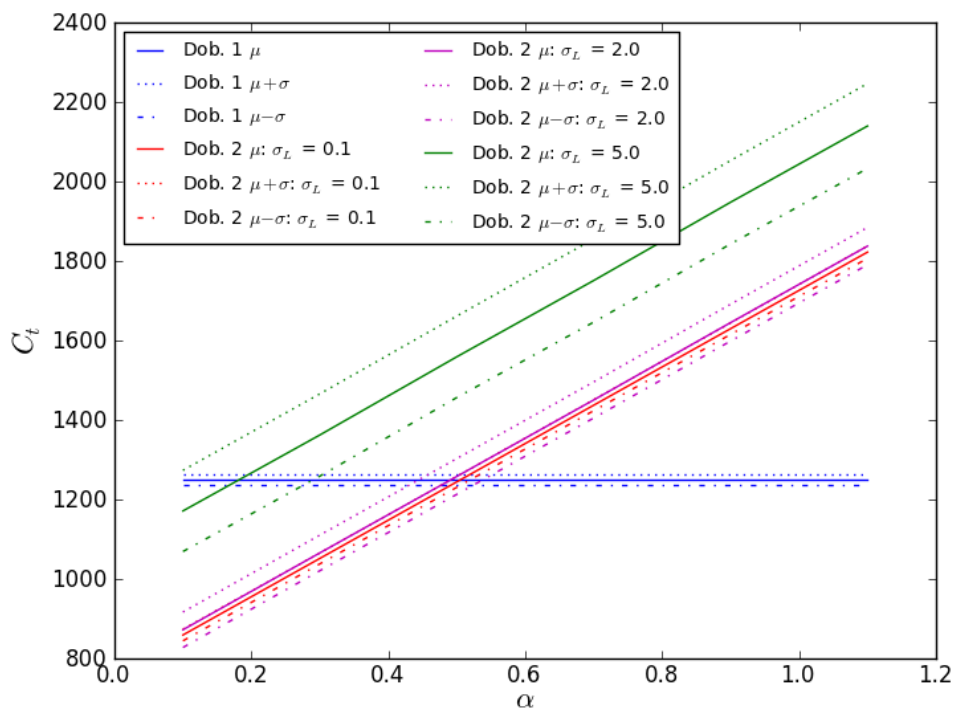
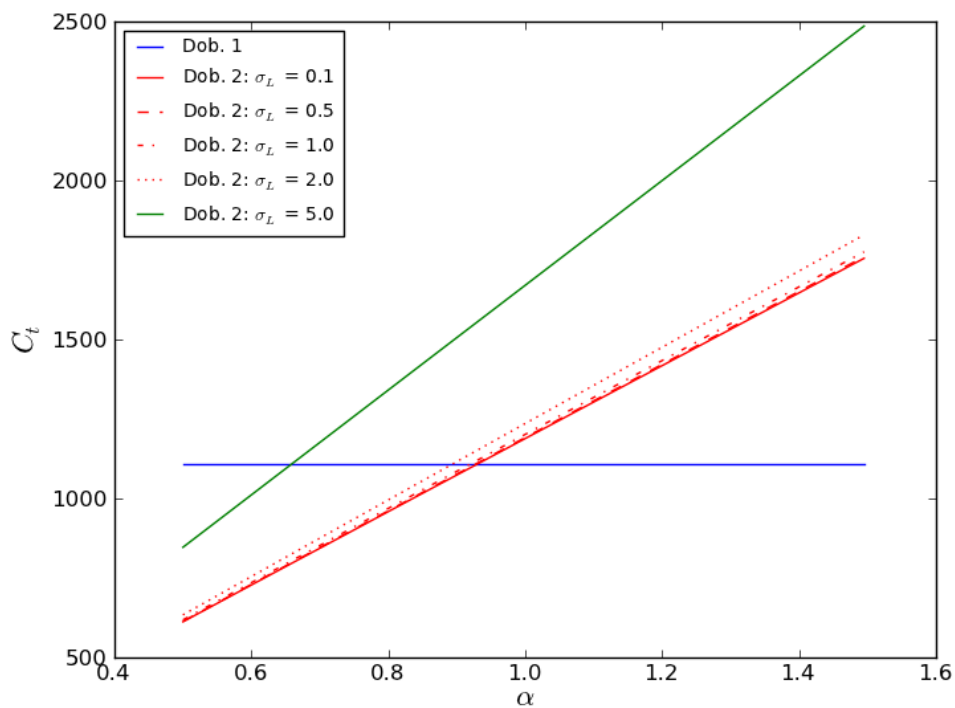
Slika 17: Simulacija skupnih stroškov za oba dobavitelja pri zahtevani stopnji storitve $\gamma=0,9$; zgoraj po metodi SQ, spodaj po metodi Monte Carlo.



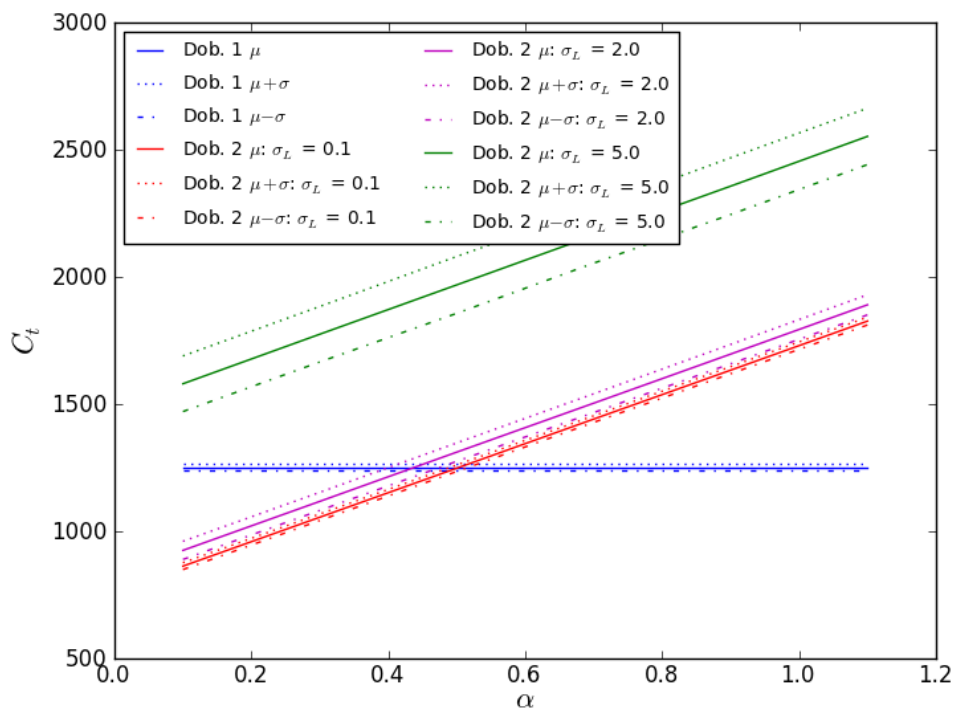
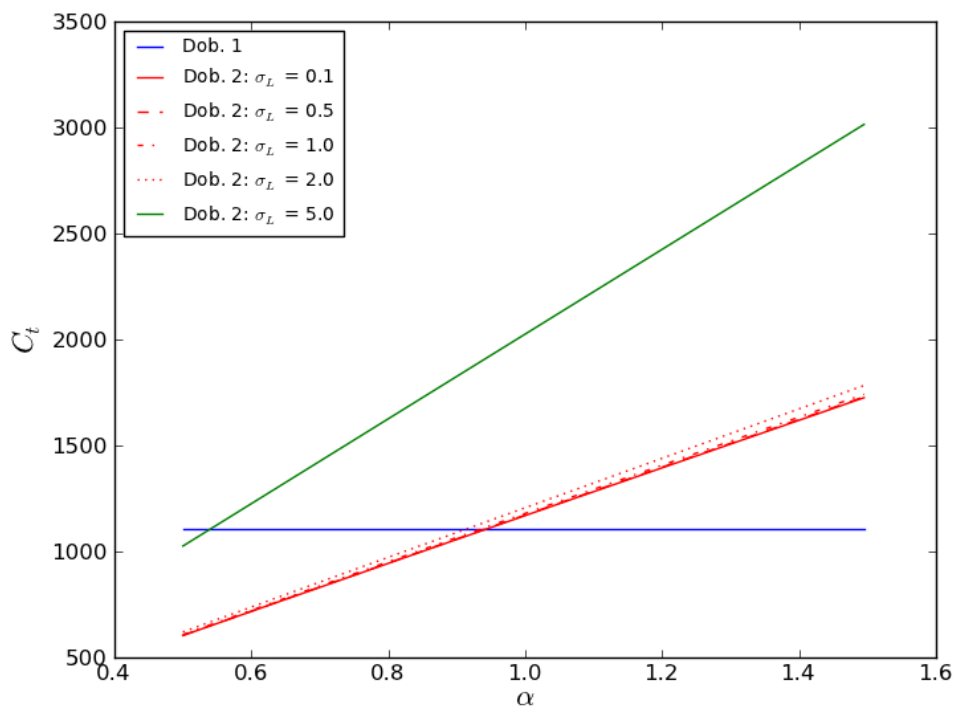
Slika 18: Simulacija skupnih stroškov za oba dobavitelja pri zahtevani stopnji storitve $\gamma=0,95$; zgoraj po metodi SQ, spodaj po metodi Monte Carlo.



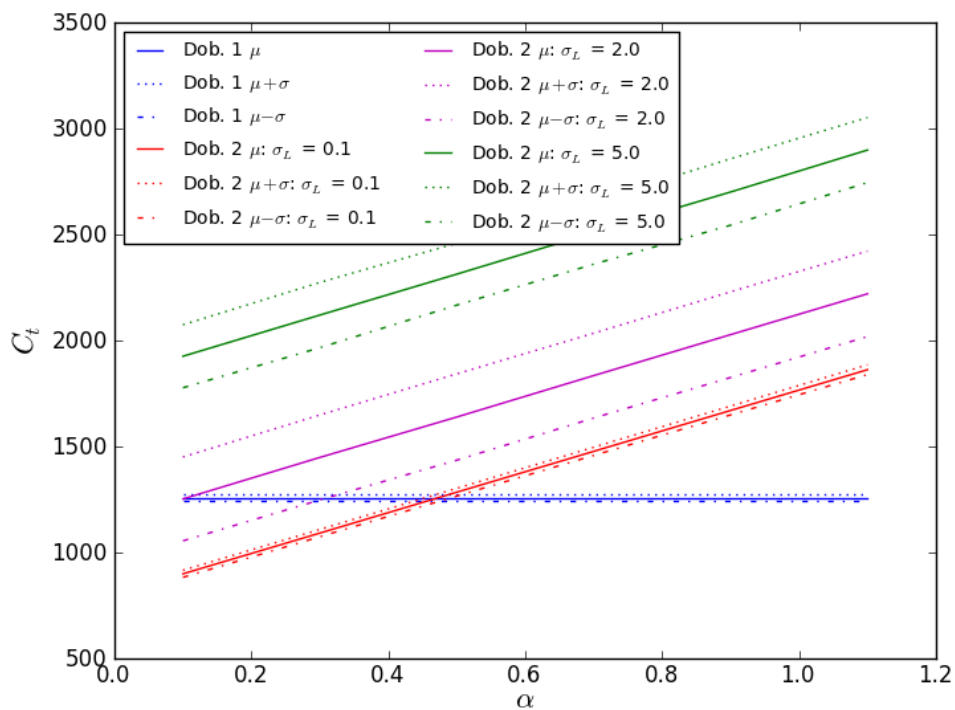
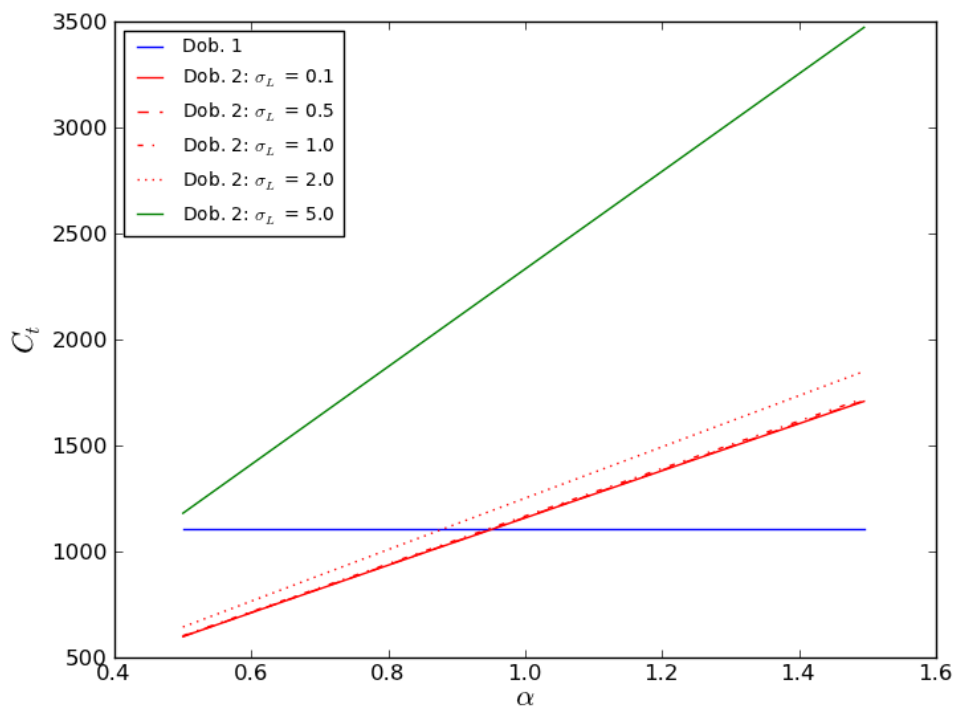
Slika 19: Simulacija skupnih stroškov za oba dobavitelja pri zahtevani stopnji storitve $\gamma=0,99$; zgoraj po metodi SQ, spodaj po metodi Monte Carlo.



Slika 20: Simulacija skupnih stroškov za oba dobavitelja pri zahtevani stopnji storitve $\gamma=0,999$; zgoraj po metodi SQ, spodaj po metodi Monte Carlo.



Slika 21: Simulacija skupnih stroškov za oba dobavitelja pri zahtevani stopnji storitve $\gamma=0,9999$; zgoraj po metodi SQ, spodaj po metodi Monte Carlo.



Presek krivulj lokalnega in globalnega dobavitelja predstavlja njuno razmerje cen blaga α , kjer so celotni stroški izenačeni. Te vrednosti so zbrane v tabeli 23. Tu se potrjuje ugotovitev, da metoda Monte Carlo oceni celotne stroške višje od SQ metode in to progresivno glede na povečanje standardnega odklona naključne spremenljivke, ki v tem primeru predstavlja dobavni rok obeh dobaviteljev, predvsem pa dobavni rok drugega dobavitelja.

Iz tabele 23 in slik 17-21 je razvidno, da mora biti cena drugega (globalnega) dobavitelja precej nižja od cene prvega (lokalnega) dobavitelja, da se, glede na stroške obvladovanja zalog, globalno dobavljanje izplača. Pri visokih vrednostih stopnje storitve γ pa postane globalno dobavljanje neizvedljivo, saj je zaradi dolgega in variabilnega dobavnega roka težko, če že ne nemogoče doseči visoke stopnje storitve. Poudariti je potrebno, da smo upoštevali le varnostno zalogo, ki je ekonomsko sprejemljiva po modelu SQ.

Negativna vrednost parametra α pomeni, da z globalno oskrbo sploh ni mogoče doseči želene stopnje storitve γ , zaradi dolgega in nezanesljivega dobavnega roka. V tem primeru so raztrosi σ_{L2} resnično veliki in je zategadelj njihova pojavnost malo verjetna.

Razlike v ocenah metod lahko najverjetneje pripišemo dejstvu, da metoda SQ deluje le na eni periodi in ne upošteva vpliva raztrosa dobavnega roka preko več period, kat je odlika metode Monte Carlo.

Tabela 23: Razmerja cen dobaviteljev α pri enakih skupnih stroških obeh dobaviteljev

γ	Metoda	σ_{L2}				
		0,1	0,5	1,0	2,0	5,0
0,9	SQ	0,900	0,896	0,885	0,850	0,720
	Monte Carlo	0,507			0,498	0,456
0,95	SQ	0,913	0,910	0,900	0,868	0,747
	Monte Carlo	0,507			0,498	0,449
0,99	SQ	0,931	0,929	0,921	0,894	0,659
	Monte Carlo	0,507			0,493	0,184
0,999	SQ	0,946	0,944	0,937	0,916	0,540
	Monte Carlo	0,504			0,439	-0,238
0,9999	SQ	0,954	0,953	0,947	0,881	0,467
	Monte Carlo	0,474			0,106	-0,586

Ugotovimo lahko, da nižja cena globalnega dobavitelja še ne pomeni nižje skupne stroške obvladovanja zalog. Cena globalnega dobavitelja mora biti manjša od razmerja α , ki je predstavljeno v preglednici 23, v primerjavi z lokalnim dobaviteljem.

SKLEP

V delu predstavljamo vplivnost variabilnosti povpraševanja in dobavnega roka na skupne stroške skladiščenja. S tem dobimo enega od pokazateljev, ki je zelo informativen pri izbiri dobavitelja, še posebej, v luči minimiziranja stroškov poslovanja.

Za izračun skupnih stroškov skladiščenja smo uporabili dva analitično-deterministična modela; EOQ in EOQS. Njuni rezultati so predvsem informativne narave, saj ne upoštevata nezanesljivosti povpraševanja in dobavnega roka. Njune rezultate smo primerjali z rezultati simulacije Monte Carlo na eni periodi. Ugotovimo lahko, da:

- se raztros rezultatov simulacije Monte Carlo povečuje s povečanjem vrednosti raztrosa povpraševanja,
- da postaja porazdelitev celotnih stroškov bolj simetrična z večjim številom spreminjanja povpraševanja znotraj periode,
- je vidna nesimetričnost porazdelitve celotnih stroškov,
- so standardni odkloni statistike C_t po metodi Bootstrap majhni in da se srednje vrednosti ujemajo s tistimi ocenjenimi na osnovni populaciji,
- sta stroška C_c in C_k neodvisna od raztrosov povpraševanja,
- se strošek C_h zmerno poveča s povečanjem raztrosa povpraševanja,
- se s povečanjem raztrosa povpraševanja poveča strošek C_p in
- večkratno spreminjanje povpraševanja v periodi vnaša manj "hrupa" v krivuljo zalog.

Model SQ je stohastičen in zato primerno orodje za validacijo vplivov naključnih spremenljivk, kot sta povpraševanje in dobavni rok, na celotne stroške skladiščenja. Pomanjkljivost modela je v tem, da deluje le preko ene periode in zato ne upošteva akumulacije stroškov predvsem zaradi naključnosti dobavnega roka. Zaključimo lahko, da:

- celotni stroški rastejo s povečanjem raztrosa povpraševanja, s povečanjem raztrosa dobavnega časa in tudi z višjo stopnjo storitve, s tem, da je stopnja storitve malo bolj vplivna od ostalih dveh parametrov,
- sta parametra Q in τ približno enako občutljiva na raztrosa dobavnega roka in povpraševanja,
- se z večanjem obeh raztrosov povečuje tudi vrednost točke ponovnega naročanja S , zaradi povečanja varnostnih zalog SS .
- se varnostne zaloge SS povečujejo tudi s povečevanjem stopnje storitve γ ,
- na vrednost p najbolj vpliva zahtevana stopnja storitve γ - višja kot je vrednost γ , višja je vrednost p ,
- se, zaradi večje varnostne zaloge pri višji stopnji storitve γ , izčrpavanje zalog zgodi manj pogosto in so zato celotni stroški izčrpavanja zalog C_p , rastejo drugače kot p , in
- enake ugotovitve veljajo pri relativno kratkem in dolgem pričakovanem (nazivnem) dobavnem roku.

Enako analizo kot pri SQ modelu smo ponovili z Monte Carlo simulacijo. Namesto ene periode smo upoštevali tri periode in s tem vsaj omejeno simulirali tudi kumulativni učinek variabilnega dobavnega roka. Ugotovili smo, da:

- so skupni stroški po modelu Monte Carlo višji od tistih ocenjenih z modelom SQ.

Nazadnje smo primerjali skupne stroške skladiščenja, ki izhajajo iz sodelovanja z dvema dobaviteljema – prvi lokalni in drugi globalni. Za izračun skupnih stroškov skladiščenja smo uporabili dve metodi. Prva je uporaba stohastičnega analitičnega SQ modela in druga je uporaba Monte Carlo simulacije. Simulirali smo dobo enega leta, kjer kumulativni vpliv variabilnosti dobavnega roka lahko pride do izraza pri metodi Monte Carlo. SQ metoda je omejena le na eno periodo. Skupne stroške obeh metod in obeh dobaviteljev smo primerjali v isti časovni enoti – en dan in ugotovili, da:

- metoda Monte Carlo oceni celotne stroške višje od SQ metode in to progresivno glede na povečanje standardnega odklona naključne spremenljivke, ki v tem primeru predstavlja dobavni rok obeh dobaviteljev, predvsem pa dobavni rok drugega dobavitelja in
- zgolj malo nižja cena blaga globalnega dobavitelja še ne pomeni nižjih skupnih stroškov.

Analiza skupnih stroškov skladiščenja v odvisnosti od variabilnega povpraševanja in dobavnega roka ter v odvisnosti od stopnje storitve pokaže, da mora biti cena blaga globalnega dobavitelja, ki ima praviloma daljši dobavni rok z večjim raztrosom, precej nižja od cene lokalnega dobavitelja, da bodo skupni stroški skladiščenja nižji v primerjavi z istimi lokalnega dobavitelja. V nekaterih primerih z uporabo globalnega dobavitelja celo ni mogoče zagotoviti zelene ravni storitve.

Pri teh ugotovitvah je vendarle potrebno opozoriti na enostavnost scenarija, ki ne upošteva:

- morebitnih omejitev glede proizvodnje, skladiščnih kapacitet, ipd.,
- kompleksnosti večine izdelkov,
- količinskih popustov,
- kulturnih in organizacijskih razlik med dobavitelji,
- poškodb naročenih izdelkov pri transportu,
- delež slabih izdelkov v naročilu,
- časovnega padanja vrednosti izdelka (recimo: sadje, zelenjava),
- usklajenega optimiranja proizvodnje in prodaje,
- narave izdelka, ki je lahko strateška in zato se varnostne zaloge določajo drugače in podobno.

Upoštevanje vseh naštetih dejavnikov in širitev modela pa je izziv za prihodnje delo.

LITERATURA IN VIRI

1. Anand, K.S., & Goyal, M. (2009). Strategic information management under leakage in a supply chain. *Management Science*, 55(3), 438-452.
2. Balkhi, Z.T., & Benkherouf, L. (2004). On an inventory model for deteriorating items with stock dependent and time-varying demand rates. *Computers & Operations Research*, 31(2), 223-240.
3. Beamon, B. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics*, 55(3), 281-294.
4. The Boston Consulting Group (2010a). *Creating the optimal supply chain*. Tehn. por., Boston: The Boston Consulting group.
5. The Boston Consulting Group (2010b). *Global sourcing in the postdownturn era*. Tehn. por., Boston: The Boston Consulting group.
6. Bramel, J., & Simchi-Levi, D. (1997). *The Logic of Logistics: Theory, Algorithms, and Applications for Logistics Management*. New York: Springer.
7. Chan, L., & Karakul, M. (2009). Don Taylor, G (ur.), *Introduction to Logistics Engineering, Poglavje 6: Inventory Control Theory: Deterministic and Stochastic Models*, (str. 6-1 – 6-25). London: CRC Press.
8. Chiu, H.N. (1995). A heuristic (R,T) periodic review perishable inventory model with lead times. *International Journal of Production Economics*, 42(1), 1-15.
9. Cho, J., & Kang, J. (2001). Benefits and challenges of global sourcing: perceptions of US apparel retail firms. *International Marketing Review*, 18(5), 542-561.
10. Chou, S.-Y., Peterson, C.J., & Hung, K.-C. (2009). A note on fuzzy inventory model with storage space and budget constraints. *Applied Mathematical Modelling*, 33(11), 4069-4077.
11. Chua, P., Yang, K.-L., & Chen, P.S. (2005). Improved inventory models with service level and lead time. *Computers & Operations Research*, 32(2), 285-296.
12. Das, A., & Handfield, R.B. (1997). Just-in-time and logistics in global sourcing: an empirical study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 27(3/4), 244-259.

13. Dohi, T., Shibuya, T., & Osaki, S. (1997). Models for 1-out-of Q systems with stochastic lead times and expedited ordering options for spares inventory. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 255-272.
14. Efron, B., & Tibshirani, R. (1993). *An Introduction to the Bootstrap*. London: Chapman and Hall.
15. Fawcett, S.E., & Birou, L.M. (1992). Exploring the logistics interface between global and JIT sourcing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 22(1), 3-15.
16. Fink, C., Mattoo, A., & Neagu, I.C. (2002). Assessing the impact of communication costs on international trade, *Policy Research Working Paper*. Washington: WorldBank.
17. Ganesan, S., George, M., Jap, S., Palmatier, R. W., & Weitz, B. (2009). Supply Chain Management and Retailer Performance: Emerging Trends, Issues, and Implications for Research and Practice. *Journal of Retailing*, 85(1), 84-94.
18. Ghodsypour, S.H., & O'Brien, C. (2001). The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *International Journal of Production Economics*, 73(1), 15-27.
19. Glaeser, E.L., & Kohlhase, J.E. (2004). Cities, regions and the decline of transport costs. *Regional Science*, 83(1), 197-228.
20. Goetschalckx, M., Vidal, C., & Dogan, K. (2002). Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms (invited interview). *European Journal of Operational Research*, 143(1), 1-18.
21. Golini, R., & Kalchschmidt, M. (2011). Moderating the impact of global sourcing on inventories through supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 86-94.
22. Grabec, I. (1988). *Verjetnost in statistika*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani.
23. Gupta, A., & Maranas, C. D. (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning. *Computers & Chemical Engineering*, 27(8-9), 1219-1227.

24. Handfeld, R.B. (1994). US global sourcing: pattern of development. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(6), 40-51.
25. Hariga, M., & Haouari, M. (1999). An EOQ lot sizing model with random supplier capacity. *International Journal of Production Economics*, 58(1), 39-47.
26. Holweg, M., Reichhart, A., & Hong, E. (2011). On risk and cost in global sourcing. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 333-341.
27. Huang, C.-K. (2010). An integrated inventory model under conditions of order processing cost reduction and permissible delay in payments. *Applied Mathematical Modelling*, 34(5), 1352-1359.
28. Huang, C.-K., Tsai, D.-M., Wub, J.-C., & Chung, J.-K. (2010). An integrated vendor–buyer inventory model with order-processing cost reduction and permissible delay in payments. *European Journal of Operational Research*, 202(2), 473-478.
29. Humphreys, P., Mak, K.L., & Yeung, C.M. (1998). A just-in-time evaluation strategy for international procurement. *Supply Chain Management: An International Journal*, 3(4), 175-186
30. Hung, K.-C. (2011). An inventory model with generalized type demand, deterioration and backorder rates. *European Journal of Operational Research*, 208(3), 239-242.
31. Hung, W. Y., Samsatli, N. J., & Shah, N. (2006). Object-oriented dynamic supply-chain modelling incorporated with production scheduling. *European Journal of Operational Research*, 169(3), 1064-1076.
32. Jakšić, N., & Boltežar, M. (2002). An approach to parameter identification for a single degree-of-freedom dynamical system based on short free acceleration response. *Journal of Sound and Vibration*, 250(3), 465-483.
33. Jensen, P., & Bard, J. (2003). *Operations Research Models and Methods, Chapter 25: Inventory*. New York: John Wiley and Sons.
34. Lambert, D., Stock, J., & Ellram, L. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. Boston: McGraw-Hill.
35. Liang, Y., & Zhou, F. (2011). A two-warehouse inventory model for deteriorating items under conditionally permissible delay in payment. *Applied Mathematical Modelling*, 35(5), 2221-2231.

36. Maltz, A., Carter, J., & Maltz, E. (2011). How managers make sourcing decisions about low cost regions: Insights from perceptual mapping. *Industrial Marketing Management*, 40(5), 796-804.
37. Meixell, M., & Gargeya, V. (2005). Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research Part E*, 41(6), 531-550.
38. Melo, M., Nickel, S., & Saldanha-da Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management - a review. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 401-412.
39. Metropolis, N., & Ulam, S. (1949). The Monte Carlo method. *Journal of the American Statistical Association*, 44(247), 335-341.
40. Moon, I., & Choi, S. (1998). A note on lead time and distributional assumptions in continuous review inventory models. *Computers & Operations Research*, 25(11), 1007-1012.
41. Nassimbeni, G. (2003). Local manufacturing systems and global economy: are they compatible? The case of the Italian eyewear district. *Journal of Operations Management*, 21(2), 151-171.
42. Pan, J. C.-H., & Hsiao, Y.-C. (2005). Integrated inventory models with controllable lead time and backorder discount considerations. *International Journal of Production Economics*, 93–94, 387-397.
43. Park, C. (2007). An analysis of the lead time demand distribution derivation in stochastic inventory systems. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 263-272.
44. Ravichandran, N. (2007). A finite horizon inventory model: An operational framework. *International Journal of Production Economics*, 108(1-2), 406-415.
45. Sakaguchi, M. (2009). Inventory model for an inventory system with time-varying demand rate. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 269-275.
46. Steinle, C., & Schiele, H. (2008). Limits to global sourcing? strategic consequences of dependency on international suppliers: Cluster theory, resource-based view and case studies. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 14(1), 3-14.

47. Tanko, M. (2011). Oskrbovalne verige po krizi: iz globalizacije v regionalizacijo. *Finance*, 76, Objavljeno 19.04.2011. na naslovu <http://www.finance.si/309722/Oskrbovalne-verige-po-krizi-iz-globalizacije-v-regionalizacijo>
48. Tunisini, A., Bocconcelli, R. in Pagano, A. (2011). Is local sourcing out of fashion in the globalization era? Evidence from Italian mechanical industry. *Industrial Marketing Management*, 40(6), 1012-1023.
49. Urban, T.L. (2005). A periodic-review model with serially-correlated, inventory-level-dependent demand. *International Journal of Production Economics*, 95(3), 287-295
50. Urbancl, B. (2010). *Poslovna logistika*. Ljubljana: Zavod IRC.
51. Vadnal, A. (1979). *Elementarni uvod v verjetnostni račun*. Ljubljana: Društvo matematikov, fizikov in astronomov SRS.
52. Vickery, S.K. (1989). International sourcing: implications for just-in-time manufacturing. *Production and Inventory Management Journal*, 30(3),66-72.
53. Vukadinović, S. (1990). *Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike*. Beograd: Privredni pregled.
54. Zhang, T., Liang, L., Yu, Y., & Yu, Y. (2007). An integrated vendor-managed inventory model for a two-echelon system with order cost reduction. *International Journal of Production Economics*, 109(1-2), 241-253.