

Jure Erjavec
Miro Gradišar

**Stroškovni vidiki procesnega
pogleda na optimizacijo
razreza**

Znanstvene monografije Ekonomske fakultete

doc. dr. Jure Erjavec, prof. dr. Miro Gradišar
Stroškovni vidiki procesnega pogleda na optimizacijo razreza

Založila: Univerza v Ljubljani Ekonomska fakulteta, Založništvo
za založnika: dekanja prof. dr. Metka Tekavčič
Šifra: ERG15ZM115

Uredniški odbor: doc. dr. Mojca Marc (predsednica), doc. dr. Mateja Bodlaj,
lekt. dr. Nadjia Dobnik, prof. dr. Marko Košak, prof. dr.
Vesna Žabkar

Recenzenta: doc. dr. Marko Jakšič
zasl. prof. dr. Miroljub Kljajić

Lektorica: Danijela Čibej
Oblikovanje besedila: Darija Lebar
Oblikovanje naslovnice: Robert Ilovar

Tisk: Copis d.o.o., Ljubljana
Naklada: 100 izvodov

Ljubljana, 2015

Monografija je izšla s finančno podporo Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

005.921.8

ERJAVEC, Jure

Stroškovni vidiki procesnega pogleda na optimizacijo razreza / Jure Erjavec, Miro Gradišar. -
Ljubljana : Ekonomska fakulteta, 2015. - (Znanstvene monografije Ekonomske fakultete)

ISBN 978-961-240-293-8
I. Gradišar, Miro
280361728

Vse pravice pridržane. Noben del gradiva se ne sme reproducirati ali kopirati v kakršni koli obliki: grafično, elektronsko ali mehanično, kar vključuje (ne da bi bilo omejeno na) fotokopiranje, snemanje, skeniranje, tipkanje ali katere koli druge oblike reproduciranja vsebine brez pisnega dovoljenja avtorja ali druge pravne ali fizične osebe, na katero bi avtor prenesel materialne avtorske pravice.

KAZALO

UVOD	1
1 OPTIMIZACIJA RAZREZA MATERIALA.....	4
1.1 Klasifikacija problemov razreza materiala	11
1.2 Enodimenzionalni razrez	16
1.2.1 Predstavitev sekvenčne hevristične procedure za enodimenzionalni razrez.....	17
1.2.2 Kontinuiran enodimenzionalni razrez	21
2 RAZREZ MATERIALA KOT POSLOVNI PROCES	23
2.1 Procesno organizirano podjetje.....	26
2.2 Opredelitev razreza materiala kot poslovnega procesa	32
2.3 Študija primera prenove procesa razreza.....	34
2.3.1 Proizvodni procesi.....	35
2.3.2 Metodologija.....	36
2.3.3 Modeliranje poslovnih procesov	40
2.3.4 Prenova procesa razreza skupaj z mejnimi procesi.....	46
2.3.5 Izvedba in analiza simulacij	54
3 VPLIV ZALOG NA RAZREZ MATERIALA.....	62
3.1 Osnovni pojmi in prepostavke povezane z managementom zalog.....	64
3.1.1 Stroški povezani z zalogami.....	66
3.1.2 Zaloge v povezavi z načinom izpolnjevanja naročila	68
3.2 Pomen obravnavanja razreza materiala v okviru oskrbovalne verige	70
3.3 Predlog razširitve modela optimalnega obsega naročila z vključitvijo stroškov neuporabnega ostanka	71
3.3.1 Model optimalnega obsega naročila.....	72
3.3.2 Predlog razširitve.....	75
4 MODEL KONTINUIRANEGA PROCESA RAZREZA	79
4.1 Simulacije v poslovnem odločanju.....	82
4.2 Optimalna velikost zaloge	90
4.2.1 Opredelitev problema	92
4.2.2 Reševanje problema optimalnega razmerja s pomočjo simulacij ...	95
4.2.3 Analiza rezultatov.....	99

4.2.4	Uporabnost pristopa.....	105
4.2.5	Razmerje med povprečno dolžino palic na zalogi in povprečno dolžino palic v pričakovanih naročilih	110
4.2.6	Spoznanja glede optimalne velikosti zaloge ter dimenzij materiala.....	119
4.3	Izvedba in analiza simulacij kontinuiranega modela procesa razreza ...	121
SKLEP		128
LITERATURA IN VIRI		131

KAZALO SLIK

Slika 1:	Prepletenost obravnavanih področij.....	2
Slika 2:	Gibanje člankov s področja razreza med leti 1960 in 1990.....	7
Slika 3:	Poslovni proces	23
Slika 4:	Porterjeva veriga vrednosti.	24
Slika 5:	Primer funkcionalne dekompozicije poslovnega procesa.....	26
Slika 6:	Cikel managementa poslovnih procesov	30
Slika 7:	Shema proizvodnega procesa.....	35
Slika 8:	Koraki procesa	44
Slika 9:	Povezovalni simboli	45
Slika 10:	Bazeni in proge	45
Slika 11:	Artefakti	46
Slika 12:	Proces M-Prej	48
Slika 13:	Proces M-Potem.....	52
Slika 14:	Proces razreza z mejnimi procesi za razrez po naročilu	53
Slika 15:	Osnovni model optimalnega obsega naročila	73
Slika 16:	Grafični prikaz predloga razširjenega modela optimalnega obsega naročila	77
Slika 17:	Model kontinuiranega procesa razreza	80
Slika 18:	Umestitev simulacij med pristope k reševanju problemov.....	84
Slika 19:	Delitev simulacijskih modelov po posameznih atributih.....	87
Slika 20:	TWHC	99
Slika 21:	TTLC.....	100

Slika 22: TCON.....	101
Slika 23: Skupni stroški (TCC) v odvisnosti od razmerja med celotno zalogo in celotnim naročilom (RA).....	102
Slika 24: Skupni stroški (TCC) na naročeno enoto dolžine.....	104
Slika 25: Skupni stroški na naročeno dolžinsko enoto v primeru razmerja stroškov WHC:TLC:CON 10:1:1	109
Slika 26: Neuporabni ostanek v odvisnosti od razmerja povprečne dolžine palice na zalogi in povprečne dolžine palice v naročilu (RD)	117
Slika 27: Frekvenčna porazdelitev naročil glede na dolžino naročila	124
Slika 28: Frekvenčna porazdelitev dolžine neuporabnega ostanka	125

KAZALO TABEL

Tabela 1: Število objavljenih člankov s področja razreza.....	8
Tabela 2: Rezultati simulacije	56
Tabela 3: Primerjava transakcijskih statistik (v urah) med modeloma M-Prej in M-Potem.....	57
Tabela 4: Primerjava povprečnih stroškov na razrez med modeloma M-Prej in M-Potem.....	58
Tabela 5: Rezultati simulacij za model M-Potem.....	59
Tabela 6: Optimalna razmerja med celotno zalogo in celotnim naročilom (RA) za različna razmerja WHC:TLC:CON.....	107
Tabela 7: Razmerja med povprečno dolžino palice na zaloge in povprečno dolžino palice v naročilu	112
Tabela 8: Rezultati simulacij	123

UVOD

Podjetja morajo za doseganje konkurenčnih prednosti poznati lastno verigo vrednosti, ki se deli na temeljne in podporne procese. Med temeljnimi procesi v podjetju je tudi proces proizvodnje. Razrez materiala je pomemben (pod)proces proizvodnje v številnih industrijskih panogah od tekstilne, papirne in kovinske do lesne itd. Osnovni problem razreza materiala je, kako kose materiala, ki so na zalogi, razrezati na kose, ki jih podjetje dobi v naročilu, da bi pri tem nastalo čim manj neuporabnega ostanka. Neuporabni ostanek je ostanek materiala pri razrezu, ki se po končanem razrezu zaradi premajhnih dimenzij zavrže. Zgolj nižanje neuporabnega ostanka pri posameznem razrezu materiala pa s stroškovnega vidika ni vedno optimalno, zato se problem razreza v literaturi v zadnjem desetletju ne obravnava zgolj kot samostojna aktivnost, temveč se pojavljajo poskusi, da bi bili algoritmi za optimizacijo razreza vključeni v odločanje o poslovanju podjetja.

Korak dlje je obravnavanje razreza kot proizvodnega procesa, ki skozi koncept faz življenjskega cikla managementa poslovnih procesov omogoča njegovo stalno izboljševanje. Eden izmed ciljev tega izboljševanja je tudi krajšanje poslovnega cikla. V tej monografiji predstavljamo izvedeno študijo primera obravnavanja razreza kot poslovnega procesa in njegove prenove. V njej dokazujemo, da obravnavanje razreza kot poslovnega procesa ter njegova prenova znatno znižata stroške procesa in skrajšata pretočne čase. Ti prihranki so znatno višji od prihrankov, ki jih lahko dosežemo z razvojem ustreznih algoritmov za optimizacijo načrta razreza. Krajši pretočni časi pomenijo hitrejši obrat zalog, kar pomeni, da so zaloge lahko nižje. V tem primeru se znižajo tudi stroški skladiščenja, povečajo pa se stroški naročil, ki so pogostejša. Nižanje zalog je eden izmed osnovnih ciljev pri managementu oskrbovalne verige, vendar ne sme biti na račun višjih skupnih stroškov proizvodnje ali daljših odzivnih časov.

Ob nižanju zalog pa se pojavi problem učinkovitosti algoritmov za optimizacijo načrta razreza. Za problem enodimenzionalnega razreza, na katerega se osredotočamo v tej monografiji, namreč velja, da se neuporabni ostanek pri razrezu niža z višanjem razmerja med številom palic na zalogi in številom palic v naročilu ter z višanjem razmerja med dolžinami palic na zalogi in palic v naročilu.

Pri optimizaciji procesov nabave, skladiščenja in proizvodnje si na eni strani prizadevamo za krajše pretočne čase in nižje zaloge ter večjo prožnost pri izpolnjevanju naročil, na drugi strani pa s tem ustvarjamo več neuporabnih ostankov. Poiskati je torej treba optimalno razmerje med velikostjo zaloge in velikostjo pričakovanih naročil v določenem obdobju, da bodo stroški zalog, stroški neuporabnega ostanka in stroški neizpolnitve naročila najnižji.

Predmet raziskovanja v tej monografiji so torej področja poslovnih procesov, optimizacije razreza in managementa oskrbovalne verige. Algoritme za optimizacijo načrta razreza preučujemo kot »črne škatle«, zanimajo nas zgolj potrebni vhodi in pridobljeni izhodi. Na področju poslovnih procesov je za predmet raziskovanja najpomembnejše področje prenove poslovnih procesov in managementa poslovnih procesov. Ker prenova procesa razreza vpliva na pretočne čase, vključujemo tudi področje managementa oskrbovalne verige, natančneje področje zalog.

V tej monografiji ugotavljamo, kako prenova poslovnih procesov vpliva na stroškovno učinkovitost celotnega procesa v primerjavi z izboljševanjem algoritmov za optimizacijo načrta razreza in kakšne posledice ima za optimizacijo zalog za potrebe razreza v več obdobjih. Do ugotovitev prihajamo s pomočjo uporabe metode študije primera in metode simulacij.

Slika 1: *Prepletenost obravnavanih področij*



Ugotovitve v tej monografiji so, da optimizacija procesa razreza (vključno z mejnimi procesi) lahko prinese nižje stroške kot samo optimizacija algoritmov za izdelavo načrta razreza, da so od velikosti zaloge materiala odvisni celotni stroški procesa razreza, ki vključujejo stroške neuporabnega ostanka razreza, skladišče-

nja in neizpolnitve naročil, ter da razmerje med dolžinami materiala na zalogi in v pričakovanih naročilih vpliva na skupne stroške procesa proizvodnje.

V monografiji preučujemo obstoječe stanje na področju algoritmov za reševanje problema razreza v povezavi s področji poslovnih procesov in z managementom oskrbovalnih verig. Na podlagi izvedene študije primera opredelimo vlogo razreza kot enega od poslovnih (pod)procesov ter uvrstimo algoritme za izdelavo načrta razreza v proces razreza. V okviru izdelave študije primera tudi stroškovno analiziramo proces razreza ter njegove mejne procese in primerjamo stroške posameznih aktivnosti. Na podlagi ugotovitev v študiji primera umestimo stroške neuporabnega ostanka v obstoječe stroškovne modele teorije zalog. Na koncu na podlagi ugotovitev razvijemo simulacijski model za napovedovanje optimalne velikosti in sestave zalog v zaporednih časovnih obdobjih ob negotovih prihodnjih naročilih in danem algoritmu za izdelavo načrta razreza.

Monografija predstavlja povezovanje področij optimizacije razreza, poslovnih procesov in managementa oskrbovalne verige. Predstavljeni so pristopi, ki omogočajo zniževanje stroškov poslovanja ter razrez umestijo v poslovne procese podjetja. V prvem poglavju navajamo literaturo s področja optimizacije razreza materiala in predstavljamo najnovejšo klasifikacijo področja. Podrobneje se osredotočamo na problem enodimenzionalnega razreza in na njegovo preučevanje v več zaporednih obdobjih. V drugem poglavju pogled na razrez nadgradimo z njegovim obravnavanjem kot poslovnim procesom v procesno organiziranem podjetju. Na podlagi pregleda literature in opravljene študije primera podajamo ključne ugotovitve, do katerih smo prišli z obravnavo razreza kot poslovnega procesa. Hkrati podajamo izhodišča za smiselnost obravnave razreza v okviru managementa zalog. V tretjem poglavju obravnavamo pomen razreza z vidika managementa oskrbovalne verige, natančneje managementa zalog. Na podlagi pregleda literature oblikujemo predlog razširitve modela optimalnega obsega naročila z vključitvijo stroškov neuporabnega ostanka. V četrtem poglavju podajamo predlog kontinuiranega modela procesa razreza, ki izhaja iz ugotovitev, pridobljenih v prvih treh poglavjih. Predstavljeni model eksperimentalno preverimo s pomočjo simulacij. Ob izdelavi in simuliranju modela razvijemo dva pomembna pristopa, in sicer pristop za ocenjevanje optimalne velikosti zaloge ter pristop za ocenjevanje optimalnega razmerja med dolžino palic na zalogi in dolžino palic v pričakovanih naročilih.

1 OPTIMIZACIJA RAZREZA MATERIALA

Razrez materiala se izvaja v mnogih podjetjih, kjer je treba določen material razrezati na manjše kose. Lahko gre za del proizvodnje ali pa celotna proizvodnja temelji na razrezu materiala. Za potrebe razreza se zaradi pestrosti materialov, ki se režejo, uporabljajo različne tehnologije. Pri razrezu materiala se neredko dogaja, da po razrezu določen del materiala ostane in se smatra kot neuporaben, zato je manjšanje neuporabnega ostanka in nižanje stroškov, povezanih z njim, pomemben poslovni vidik pri obravnavanju razreza materiala. V tej monografiji se ukvarjamo z razrezom materiala s poslovnega vidika, zato nas zanimajo neuporabni ostanek in stroški, povezani z njim. Tehnološkega vidika razreza ne obravnavamo, zato se tudi vsebina uvodnega poglavja nanaša predvsem na poslovni vidik razreza materiala.

Problem razreza materiala (angl. *cutting stock problem*) izhaja iz omejenih virov. Omejenost se odraža v omejeni količini ali omejenih dimenzijah materiala, ki je na voljo za razrez, možna pa je seveda tudi kombinacija obeh omejitev. V praksi to pomeni, da ima podjetje količinsko omejeno zalogo materiala, ki je lahko posledica različnih dejavnikov in razmer na trgu. Omejitve glede dimenzij materiala pa izhajajo med drugim iz dostopnosti materiala na trgu, logističnih omejitev (denimo velikost in teža materiala), naravnih omejitev (denimo maksimalne dolžine hlodov, pogojene z velikostjo posekanih dreves, grčavost lesa) itd. Zgornji dejavniki in omejitve so podrobneje predstavljeni v tretjem poglavju.

Osnovni problem razreza je, kako kose materiala, ki so na zalogi, razrezati na kose, ki jih podjetje dobi v naročilu. Pri tem je cilj podjetja minimizirati neuporabni ostanek. Neuporabni ostanek je definiran kot ostanek materiala pri razrezu, ki ga po končanem razrezu zaradi premajhnih dimenzij zavržemo (Gass, 1985). Kot bomo prikazali v nadaljevanju, sodobni pristopi k reševanju problema kot kriterije za uspešnost metod zasledujejo tudi druge cilje, vendar je kljub temu pri vseh eden izmed kriterijev še vedno minimiziranje neuporabnega ostanka.

Neuporabni ostanek je za potrebe problema razreza definiran kot ostanek materiala pri razrezu, ki ga po končanem razrezu zaradi različnih razlogov zavržemo (najpogostejši razlog so premajhne dimenzije ostanka). Dimenzije, ki definirajo neuporabni ostanek, so v posameznih primerih različne.

Splošno definicijo problema razreza najdemo v Wascher, Haussner in Schumann (2007). Definicija vključuje tudi probleme pakiranja, ki so sorodni problemu razreza. V splošnem imamo nabor velikih predmetov (vložki oziroma ponudba) ter nabor manjših predmetov (izložki oziroma povpraševanje), ki so lahko definirani v eni ali več dimenzijah. Problem, ki ga je treba rešiti, je, kako manjše predmete razporediti v večje, tako da se vsi manjši predmeti nahajajo znotraj velikih ter se hkrati ne prekrivajo.¹ Pri reševanju problema se uporabijo vsi ali samo nekateri veliki predmeti in vsi ali samo nekateri manjši predmeti.

V znanstveni literaturi se za opisani problem uporablja več različnih poimenovanj, ki izhajajo iz povezanosti problema razreza in problema pakiranja. Pakiranje je namreč ravno nasprotno razrezu. Tako gre pri razrezu za rezanje večjih kosov na manjše, pri pakiranju pa za pakiranje manjših kosov v večje. Pristopi reševanja obeh problemov so si med seboj podobni, zato lahko v literaturi zasledimo različna poimenovanja, ki se lahko nanašajo samo na en tip problema ali pa na oba tipa hkrati: »problem razreza«, »problem neuporabnega ostanka«, »problem pakiranja« itd. Da bi se izognili nejasnostim, bomo v nadaljevanju uporabljali zgolj prvo navedeno poimenovanje.

Razrez materiala se v praksi pogosto pojavlja. Navajamo nekaj primerov iz znanstvene literature, ki ponazarjajo pestrost področij, kjer se uporabljajo metode za optimizacijo razreza materiala:

- razrez plošč nerjavečega jekla, iz katerih se izdelujejo razni kuhinjski pripomočki, kot so vrči, skodelice, posoda itd. (Cui, Gu & Hu, 2009);
- razrez aluminijastih in PVC-profilov za izdelavo oken in vrat (Dimitriadis & Kehris, 2009);
- razrez steklenih plošč pri proizvodnji LCD-zaslonov (Tsai, Hsieh & Huang, 2009);
- proizvodnja kovinskih žičnih mrežic, ki omogočajo normalen pretok krvi skozi koronarne arterije (Aktin & Ozdemir, 2009);
- določanje števila in tipov proizvodnje lansirnih plovil za lansiranje satelitov v orbito (Morgan, Morton & Daniels, 2006);

¹ Definicija je enaka za probleme razreza in pakiranja. Ko pri razrezu govorimo o razporejanju manjših predmetov v večje, je seveda mišljen načrt razreza, s katerim določimo, kako bomo iz velikih predmetov narezali posamezne manjše predmete.

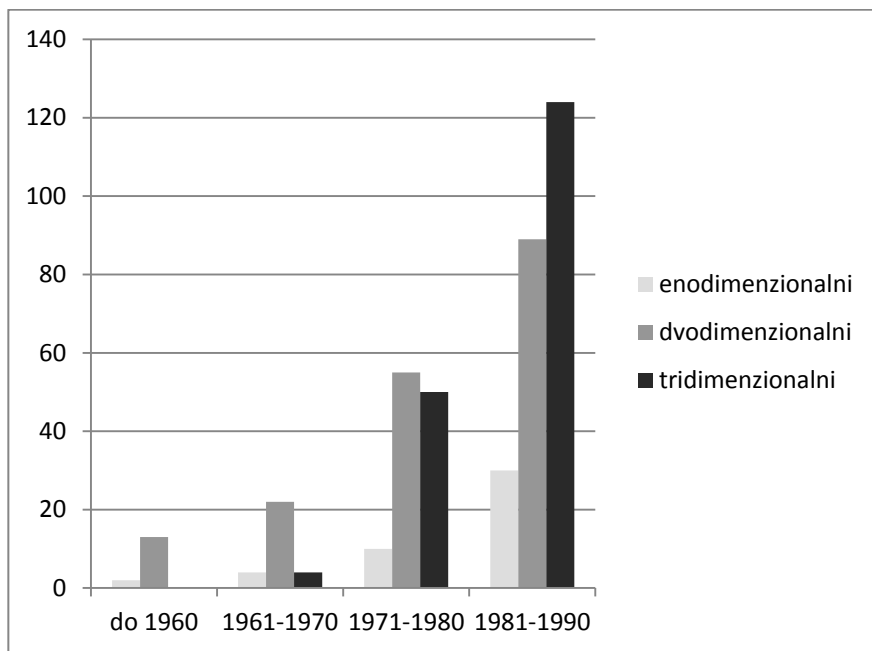
- razrez navitkov papirja na manjše kose v papirni industriji (Chauhan, Martel & D'amour, 2008; Kallrath, Rebennack, Kallrath & Kusche, 2014);
- razrez navitkov blaga v tekstilni industriji (Gradišar, Jesenko & Resinovič, 1997).

Iz zgornjih primerov je razvidno, da se s problemom razreza materiala podjetja srečujejo tako pri proizvodnji polproizvodov kot tudi končnih proizvodov. Z vidika oskrbovalne verige se razrez kot aktivnost oziroma (pod)proces lahko nahaja praktično na vseh stopnjah. Več o tem pogledu na razrez predstavljamo v drugem poglavju. Problem razreza pa se lahko aplicira tudi na abstraktnejše probleme, ki vsebujejo denimo časovne ali finančne dimenzije (Dyckhoff, 1990).

S problemom optimizacije razreza materiala se raziskovalci ukvarjajo že več kot pol stoletja. Prvi raziskovalni zametki segajo v medvojno Sovjetsko zvezo, natančneje v leto 1939, ko je Kantorovich (1960)² v delu svoje monografije opisal tudi problem neuporabnih ostankov pri razrezu materiala. Matematični pristop k razrezu so raziskovali tudi Brooks, Smith, Stone in Tutte (1940). Raziskovanje problema razreza materiala se je nato razmahnilo dve desetletji kasneje. Eisemann (1957) ugotavlja, da je ključni element optimizacije razreza ravno minimiziranje neuporabnega ostanka. Kmalu zatem sta se Gilmore & Gomory lotila reševanja problema razreza materiala z uporabo metode linearnega programiranja, sprva zgolj za problem enodimenzionalnega razreza materiala (Gilmore & Gomory, 1961, 1963), nato pa še za problem dvo- in večdimenzionalnega razreza materiala (Gilmore & Gomory, 1965). Omenjena avtorja sta prva problem razreza materiala zapisala v obliki linearnega programa.

² Original je bil izdan v ruščini kot monografija leta 1939, v angleščino prevedeno delo pa je izšlo leta 1960.

Slika 2: Gibanje števila člankov s področja razreza v letih med 1960 in 1990



Vir: Sweeney in Paternoster (1992).

V naslednjih letih je število objavljenih znanstvenih člankov s področja razreza materiala raslo, kar ugotavlja raziskava, ki je bila opravljena v začetku 90. let (Sweeney & Paternoster, 1992). Tako je bilo v letih med 1960 in 1970 objavljenih okoli 40 znanstvenih člankov s področja problema razreza, v letih med 1980 in 1990 pa je bilo objavljenih že več kot 200 znanstvenih člankov. Ta številka je nato še naprej rasla. Gibanje števila člankov s področja razreza v letih med 1960 in 1990 je razvidno s Slike 2. Stolpci, obarvani s svetlo sivo barvo, označujejo članke s področja enodimenzionalnega razreza, temno sivi stolpci članke s področja dvodimenzionalnega razreza, črni stolpci pa članke s področja tridimenzionalnega razreza.

Tabela 1: Število objavljenih člankov s področja razreza

Leto	Število člankov*	Število člankov**
1995	40	13
1996	25	11
1997	61	8
1998	39	10
1999	60	13
2000	42	8
2001	41	8
2002	47	20
2003	48	14
2004	40	15
2005	n. p.	19
2006	n. p.	23
2007	n. p.	26
2008	n. p.	23
2009	n. p.	28
2010	n. p.	22
2011	n. p.	26
2012	n. p.	25
2013	n. p.	23

Legenda: * povzeto po Wascher et al. (2007); ** v Web of Science, iskalni pojem »cutting stock problem«

Vir: Erjavec, Gradišar in Trkman (2009), lasten.

V raziskavi o razmahu področja optimizacije razreza (Wascher et al., 2007) avtorji ugotavljajo, da je bilo v letih med 1995 in 2004 na sorodnih področjih razreza in pakiranja objavljenih 445 znanstvenih prispevkov, od katerih se jih največ ukvarja s problemi enodimenzionalnega razreza (172), sledijo običajni problemi dvodimenzionalnega razreza (150) in neobičajni problemi dvodimenzionalnega razreza (64). Od vseh prispevkov se jih 263 (59 %) ukvarja s problemi, kjer število enot na zalogi zadošča za izpolnitev vseh naročil, pri ostalih pa je ravno obratno, torej število enot na zalogi ne zadošča za izpolnitev vseh naročil. Podatki iz raziskave so prikazani v drugem stolpcu v Tabeli 1, v tretjem stolpcu pa so prikazani podatki, ki smo jih pridobili z iskanjem v Web of Science z uporabo iskal-

nega pojma »*cutting stock problem*«. Kot je razvidno iz podatkov, se je število člankov s področja razreza v zadnjih letih ustalilo, kar kaže na zrelost področja.

Glede na splošno opredelitev problema razreza je bila v preteklosti večina raziskovalnih naporov usmerjena na nižanje neuporabnega ostanka, tako da sodobne metode za optimizacijo razreza dosegajo zelo majhne neuporabne ostanke (Cherri, Arenales & Yanasse, 2013; Cui & Yang, 2010; Gradišar & Trkman, 2005). Tradicionalno obravnavanje razreza privede do iskanja optimalnih možnosti razreza, ki vodijo do minimalnega neuporabnega ostanka, ne ukvarjajo pa se z optimizacijo tistih delov procesa nabave, skladiščenja, proizvodnje in prodaje, ki so povezani z razrezom. To privede do minimiziranja stroškov z vidika neuporabnega ostanka, vendar pa ne nujno tudi do minimiziranja celotnih stroškov.

Zgolj nižanje neuporabnega ostanka pri posameznem razrezu materiala ni vedno najboljša možnost. Dimitriadis in Kehris (2009) tako ugotavljata, da manjšanje neuporabnega ostanka zaradi novih in izboljšanih računskih metod prinese slabše rezultate (manjše prihranke) kot izboljšave, ki se dosežejo z obravnavanjem kosov, ki ostanejo po razrezu. Nekateri kosi se v tem primeru zavržejo kot neuporabni ostanek, drugi pa se lahko ponovno uporabijo pri izpolnjevanju prihodnjih naročil. Tako se sodobni avtorji osredotočajo tudi na druge kriterije, kot so poraba energije, ekološki učinek in skupni proizvodni stroški (Rodriguez & Vecchietti, 2007).

Hkrati so nekateri avtorji (Trkman & Gradišar, 2007) v nasprotju s tradicionalnim pogledom, ki razrez obravnava kot enkratno aktivnost, začeli razrez obravnavati kot proces, ki se v podjetju odvija kontinuirano, kar pomeni, da je treba zadostiti naročilom v več zaporednih časovnih obdobjih. To problematiko v okviru obravnavanja enodimenzionalnega razreza podrobneje predstavljamo v poglavju 1.2.1.

Pomemben zasuk pri obravnavi algoritmov za reševanje problema razreza pa pomeni tudi možnost vračanja že uporabljenega materiala na zalogo za potrebe izpolnjevanja kasnejših naročil. Material se na zalogo vrača zgolj v primeru, da so njegove dimenzije dovolj velike. Med prvimi so ta pristop uporabili Gradišar, Kljajić, Resinovič in Jesenko (1999), sledili pa so jim tudi drugi avtorji (Alfieri, van de Velde & Woeginger, 2007; Cherri, Arenales & Yanasse, 2009; Cui &

Yang, 2010). V različnih pristopih je najmanjša še uporabna velikost, ki se vrne v skladišče za nadaljnjo uporabo, določena arbitrarno, v praksi pa običajno ni manjša od najmanjšega kosa v naročilu.

Problem se lahko pojavi pri vračanju večjega števila enot na zalogo. Nanj opozarjajo že Gradišar et al. (1999), ki ugotavljajo, da v primeru vračanja enot na zalogo lahko pride do situacij, ko neuporabnega ostanka ne bo, vendar pa bo na zalogo vrnjenih več enot, ki bodo še ustrezale minimalni dolžini za vrnitev na zalogo. To se sicer obnese pri obravnavi problema v enem obdobju, lahko pa vodi do večje količine neuporabnih ostankov v kasnejših obdobjih in do kopičenja zalog.

Večina zgoraj navedenih avtorjev, ki problem obravnava z možnostjo vračanja materiala na zalogo, uporablja pravilo, da se na zalogo lahko za ponovno uporabo vrne zgolj ena enota materiala, kljub temu pa nekateri avtorji (Cui & Yang, 2010) zagovarjajo možnost vračanja večjega števila enot na zalogo. Omenjena avtorja sta mnenja, da so ostanki istih dolžin, ki se vrnejo na zalogo, lahko obravnavani kot ena izmed standardnih dolžin z istim številom kosov. To naj bi po njunem mnenju poenostavilo upravljanje z zalogami, saj število različnih dolžin uporabnih ostankov ni veliko, v najslabšem primeru pa je enako številu različnih dolžin, ki so bile na zalogi pred začetkom razreza. V poglavju 1.2.1 navajamo nekatere dodatne razloge proti tovrstnemu obravnavanju uporabnega ostanka, predvsem z vidika razreza v več zaporednih obdobjih.

Na podlagi zgornjega je razvidno, da se razrez v literaturi v zadnjem desetletju ne obravnava zgolj kot samostojna aktivnost, temveč se pojavljajo tudi poskusi, da bi bili algoritmi za optimizacijo razreza vključeni v odločanje o ostalih delih poslovanja podjetja. To se kaže tudi v Alfieri et al. (2007), kjer so avtorji razvili algoritem za optimizacijo razreza za potrebe uvajanja nove celovite programske rešitve v podjetje, vendar podjetje zaradi previsokih stroškov uvedbe ni izpeljalo. Podoben, a uspešno izpeljan primer najdemo v Rodriguez in Vechietti (2007). V Kallrath et al. (2014) avtorji vključujejo tudi finančni vidik programskih optimizacijskih orodij.

Iz zgornjega opisa problema razreza je razvidno, da gre za široko znanstveno in strokovno področje tako z vidika samih tipov problema razreza kot tudi načinov za njihovo reševanje, zato v naslednjem podpoglavju povzemamo dve pomembni

klasifikaciji problemov razreza, ki podrobneje orišeta področje razreza, hkrati pa navajamo še nekatere predlagane razširitve klasifikacij, ki izhajajo iz specifik posameznih problemov. V naslednjem podpoglavju predstavimo tudi različne pristope k reševanju problema razreza.

1.1 Klasifikacija problemov razreza materiala

Kot smo orisali v prejšnjem poglavju, se z razrezom materiala zaradi njegove pestrosti v smislu aplikacije v različnih gospodarskih panogah in situacijah ukvarja veliko raziskovalcev. Tako imamo na eni strani veliko različnih tipov problema razreza, na drugi strani pa raziskovalci uporabljajo različne pristope k reševanju problemov razreza materiala. Da bi se izognili zmedi, ki bi lahko nastala zaradi različnih problemov in načinov reševanja, se je pojavila potreba po opredelitvi klasifikacij problemov razreza materiala. V nadaljevanju tega poglavja bomo najprej predstavili dve klasifikaciji problemov razreza materiala, nato pa še različne načine reševanja problemov razreza.

Pomembno klasifikacijo problemov razreza materiala in pristopov k reševanju je predlagal Dyckhoff (1990). Avtor v klasifikacijo vključuje tudi probleme, ki so sorodni problemu razreza materiala: problemi pakiranja in abstraktni problemi (problemi nalaganja, časovni problemi, finančni problemi). Za probleme razreza materiala predstavi devet različnih značilnosti problemov razreza, ki jih nato skrči v štiri kriterije, na podlagi katerih je možna klasifikacija problemov razreza.

1. Dimenzionalnost (avtor ugotavlja, da gre za najpomembnejši kriterij):

- a) problemi enodimenzionalnega razreza,
- b) problemi dvodimenzionalnega razreza,
- c) problemi tridimenzionalnega razreza,
- d) problemi n -dimenzionalnega razreza ($n > 3$).

2. Tip problema glede na uporabo števila enot zaloge in naročila:

- a) vse enote na zalogi in izbor enot iz naročila³,
- b) izbrane enote na zalogi in vse enote iz naročila⁴.

³ V praksi lahko do take situacije pride, če je zaloga materiala prenizka in naročila v celoti ne moremo izpolniti.

3. Število enot na zalogi:

- a) ena enota,
- b) več identičnih enot,
- c) več različnih enot.

4. Število enot v naročilu:

- a) nekaj enot različnih velikosti,
- b) veliko enot veliko različnih velikosti,
- c) veliko enot malo različnih velikosti,
- d) enote ene oblike.

Kasneje so različni avtorji predlagali razširitev zgornje klasifikacije. Prvi izmed predlogov (Gradišar, Resinovič & Kljajić, 2002) je vključitev dodatne kategorije pod kriterij številka tri (število enot na zalogi). Gre za kategorijo, ko je na zalogi nekaj skupin enot, ki so znotraj skupin med seboj enakih dimenzij.

Drugi predlog razširitve klasifikacije zasledimo v Trkman in Gradišar (2007). Avtorja predlagata razširitev klasifikacije še z drugimi kriteriji.

Obdobje optimizacije:

- a) eno obdobje,
- b) več obdobj z vnaprej znanimi potrebami po razrezu,
- c) več obdobj z vnaprej neznanimi potrebami po razrezu.

Razširitev je pomembna z dveh vidikov. Prvi vidik je število obravnavanih obdobj. Tradicionalno je pri problemu razreza obravnavano zgolj eno obdobje, šele v zadnjem času pa so nekateri avtorji (Cherri et al., 2013; Trkman & Gradišar, 2007) začeli razrez obravnavati v več obdobjih, kar pripelje do nekoliko drugačnih pogledov na obravnavanje problema razreza, predvsem z vidika vračanja materiala na zalogo. Natančnejše problematiko na primeru enodimenzionalnega razreza predstavljamo v poglavju 1.2.1.

Drugi vidik je obravnavanje problema optimizacije razreza materiala ob predpostavki, da so vse informacije v modelih natančne in znane vnaprej. V praksi se

⁴ Število enot na zalogi zadošča za izpolnitev celotnega naročila.

podjetja seveda soočajo z nepopolnimi informacijami. V literaturi je mogoče najti zelo redke avtorje, ki k reševanju problema pristopajo ob predpostavkah nekaterih naključnih spremenljivk, kot so dimenzije materiala na zalogi zaradi poškodb ali okvar (Sculli, 1981), povpraševanje po končnih proizvodih pri proizvodnji na zalogo (Alem, Munari, Arenales & Ferreira, 2008; Kirchagina, Rubio, Taksar & Wein, 1998) ali pa neznano povpraševanje v prihodnjih obdobjih (Trkman & Gradišar, 2007). Obstajajo tudi primeri, ko avtorji problema nepopolnih informacij neposredno ne vključijo v sam problem razreza, temveč posredno, kot denimo z uporabo varnostnih zalog (Chauhan et al., 2008).

Za prvotno tipologijo (Dyckhoff, 1990) so bile ugotovljene določene pomanjkljivosti (Wascher et al., 2007). Ni nujno, da vsi problemi razreza in pakiranja lahko enoznačno pripadajo zgolj eni izmed kategorij po Dyckhoffu. Druga ugotovljena pomanjkljivost je, da lahko Dyckhoffova tipologija en problem razreza ali pakiranja razvrsti v več različnih kategorij znotraj posameznih kriterijev, kot tretja pomanjkljivost pa se smatra nezmožnost zagotavljanja homogenih kategorij problemov, zato so Wascher et al. (2007) predlagali posodobitev Dyckhoffove klasifikacije, ki bi omogočila nedvoumno razporejanje posameznih problemov razreza v posamezne kategorije.

1. Dimenzionalnost:

- a) problemi enodimenzionalnega razreza,
- b) problemi dvodimenzionalnega razreza,
- c) problemi n-dimenzionalnega razreza ($n \geq 3$).

2. Tip problema:

- a) maksimiranje izločkov (velikih predmetov je premalo, da bi zadostili povpraševanju po vseh majhnih predmetih),
- b) minimiziranje vložkov (velikih predmetov je dovolj, da zadostijo povpraševanju po vseh majhnih predmetih).

3. Enote v naročilu:

- a) vse enote so identične,
- b) šibka heterogenost⁵ med enotami v naročilu,

⁵ Malo različnih dimenzij.

c) močna heterogenost⁶ med enotami v naročilu.

4. Enote na zalogi:

- a) ena velika enota z bodisi fiksnimi bodisi variabilnimi dimenzijami,
- b) več velikih enot z bodisi šibko bodisi močno heterogenostjo med enotami.

5. Oblika enot v naročilu: uporablja se pri dvo- in n-dimenzionalnem razrezu. Enote v naročilu deli na običajne (denimo kvadrati, krogi, kocke, cilindri, krogle) in neobičajne oblike.

Zgornja klasifikacija omogoča enoznačno razvrščanje večine problemov razreza, kljub temu pa ne obravnava problemov razreza z vidika časovne komponente ter stohastičnosti povpraševanja, kar smo omenili že zgoraj in na kar opozarjata Trkman in Gradišar (2007), zato je njun predlog razširitve klasifikacije aktualen tudi v primeru druge opisane klasifikacije.

Zaradi raznolikosti problemov razreza se je v praksi razvilo tudi veliko različnih pristopov k njihovem reševanju. V nadaljevanju podajamo kratek povzetek različnih pristopov in njihovo delitev glede na kompleksnost reševanja problema, ki je za potrebe te monografije najbolj relevantna. Dodatne in obširnejše klasifikacije ter razlago metod za reševanje problema razreza lahko bralec najde denimo v Trkman (2008).

Pri reševanju problema razreza je pomemben čas, ki ga algoritem potrebuje za pripravo načrta razreza. Pri tem je pomembna časovna kompleksnost algoritma za reševanje, torej količina časa, ki ga algoritem potrebuje za iskanje rešitve problema, odvisna pa je od števila vhodnih podatkov. Večina problemov razreza je zaradi svoje kompleksnosti NP-polna⁷ (angl. *NP-complete*) (Bischoff & Wascher, 1995), kar pomeni, da dolžina njihovega reševanja z obstoječimi algoritmi raste eksponentno glede na velikost problema. Razvoj računalnikov, ki še vedno sledi Moorovemu zakonu (Moore, 1965) ter omogoča vedno večje računske moči oziroma hitrejša procesorje, sicer omogoča hitrejša reševanje kompleksnejših problemov, vendar v primeru NP-polnih problemov ne pripomore bistveno k

⁶ Veliko različnih dimenzij.

⁷ Podrobna razlaga NP-polnosti z dodatnimi primeri je v Garey in Johnson (1979).

hitrejšemu reševanju algoritmov z eksponentno rastjo časa reševanja, kar sta ugotovila že Garey in Johnson (1979).

Zaradi navedenega je v znanstveni literaturi mogoče najti dva različna pristopa k reševanju problema razreza:

- uporaba eksaktnih metod, ki privedejo do najboljše možne rešitve, vendar so zaradi eksponentne rasti časa reševanja omejene zgolj na manjše (pod)probleme,
- uporaba hevrističnih metod, ki iščejo približke optimalnih rešitev na račun sprejemljivega⁸ časa reševanja.

Če bi bila računska moč za reševanje problema razreza neomejena, bi seveda lahko kateri koli problem rešili z eksaktnimi metodami.

Ker se v praksi pogosto pojavljajo kompleksni problemi razreza, jih večina sodobnih avtorjev rešuje z uporabo hevrističnih metod, eksaktne pa se redkeje uporabljajo. Najpogostejše zastopana metoda pri eksaktnih rešitvah je metoda razveji in omeji (angl. *branch and bound*). Najdemo pa tudi primere (Gradišar & Trkman, 2005), kjer avtorji kombinirajo eksaktno in hevristično metodo: z uporabo hevrističnih metod rešijo večji del problema, potem pa z uporabo eksaktnih metod rešijo manjši del problema, kar skupaj vodi do boljših rezultatov kot zgolj z uporabo hevrističnih metod.

V literaturi je možno najti vsaj tri različne skupine hevrističnih pristopov (Beraldi, Bruni & Conforti, 2009):

- sekvenčne hevristične procedure,
- metode, ki temeljijo na linearnem programiranju,
- metahevristične metode, med katerimi so za reševanje problema razreza zastopane tabu iskanje, genetski algoritmi, evolucijski algoritmi, algoritmi kolonije mravelj itd.

Kot je bilo že omenjeno, je glavna slabost hevrističnih metod ta, da na račun hitrejšega reševanja ne najdejo optimalnih rešitev razreza, v praksi pa je iskanje

⁸ Sprejemljivi čas reševanja je arbitrarno določen za vsak primer. V poslovnem svetu je to lahko delček sekunde ali pa tudi nekaj ur.

rešitev v kratkem času pogosto bistvenega pomena za uspešno poslovanje. Želena hitrost načrtovanja razreza je tako lahko odvisna od različnih dejavnikov, kot so na primer sklenjen rok dobave, zasedenost rezalnih strojev, število naročil. Podjetja so zaradi zniževanja stroškov pripravljena sprejeti kompromis ter se zadovoljiti z večjim neuporabnim ostankom od optimalnega, vendar hkrati priti do načrta razreza v želenem času.

1.2 Enodimenzionalni razrez

V prejšnjih poglavjih smo povzeli stanje na raziskovalnem področju razreza, iz katerega je razvidno, da je enodimenzionalni razrez pogosto zastopan tip razreza tako na raziskovalnem področju kot tudi v praksi. Hkrati so algoritmi za reševanje enodimenzionalnega razreza tudi najbolj napredni, saj dosegajo najmanjše relativne vrednosti neuporabnih ostankov. V nadaljevanju bomo uporabljali enodimenzionalni razrez, saj zaradi zgoraj navedenih dejstev ocenjujemo, da je najprimernejši.

Pri enodimenzionalnem razrezu je z vidika problema pomembna zgolj ena dimenzija, ostale dimenzije so fiksne, nepomembne za reševanje ali pa sploh ne obstajajo. Hinxman (1980) omenja tudi enoinpoldimenzionalni razrez, kjer sta pomembni dve dimenziji, vendar je ena izmed njiju fiksna. Poznejši avtorji so tovrstne probleme obravnavali kot enodimenzionalni (v primeru, da fiksna dimenzija ne vpliva na rezane elemente) ali dvodimenzionalni (v primeru, da fiksna dimenzija vpliva na rezane elemente) razrez.

Kot je razvidno tudi iz dosedanje vsebine, se enodimenzionalni razrez uporablja v številnih različnih situacijah. To pomeni tudi uporabo različnih tipov materiala ali abstraktnih pojmov, kar denimo vključuje hlode, navitke blaga, navitke papirja, jeklene profile, razpoložljiv čas, razpoložljiva finančna sredstva itd. Da bi se izognili nejasnostim, bomo za vse omenjene tipe v nadaljevanju v primeru enodimenzionalnega razreza uporabljali izraz »palica«.

Opredelitev problema enodimenzionalnega razreza je sorodna splošni opredelitvi razreza. Na zalogi imamo omejeno število daljših palic, iz katerih moramo narezati krajše palice, ki so predmet naročila. Na zalogi imamo lahko dovolj materiala

za izpolnitev celotnega naročila ali pa je materiala premalo in naročilo ne bo v celoti izpolnjeno.

Metode za enodimenzionalni razrez so računsko manj zahtevne kot metode za večdimenzionalni razrez, zato je uporaba eksaktnih metod možna tudi pri relativno večjih problemih, kljub temu pa zaradi velikosti problemov v praksi v večini primerov prevladujejo hevristične metode. V zadnjih letih so različni avtorji razvili različne hevristične ali kombinirane⁹ metode, s katerimi v kratkem času dosegajo zelo nizke neuporabne ostanke, ki znašajo manj kot 0,1 % tako v primeru enodimenzionalnega razreza z enim uporabnim ostankom (Gradišar & Trkman, 2005) kot z več uporabnimi ostanki (Cui & Yang, 2010).

1.2.1 Predstavitev sekvenčne hevristične procedure za enodimenzionalni razrez

V nadaljevanju bomo v predlaganem modelu za reševanje problema razreza materiala uporabljali sekvenčno hevristično proceduro za enodimenzionalni razrez (krajše CUT) (Gradišar et al., 1999), zato v tem podpoglavju podajamo razloge za njeno izbiro in vključitev v model ter povzemamo pristop, ki so ga avtorji vključili v metodo. Na koncu podpoglavja podajamo tudi matematični zapis metode.

Avtorji z metodo CUT problem optimizacije načrta enodimenzionalnega razreza rešujejo z algoritmom v treh korakih.

1. Izbira dolžin v naročilu.
2. Izbira dolžin iz zaloge in razrez na izbrane naročene dolžine.
3. Če vse enote na zalogi še niso porabljene in naročilo ni v celoti izpolnjeno, se algoritem vrne na prvi korak, sicer je konec.

Neuporabni ostanek z uporabo metode CUT dosega v večini primerov manj kot 0,1 %, kar je primerljivo tudi s sodobnejšimi algoritmi. Vendar pa to ni glavni razlog za izbiro metode. Spodaj navajamo, zaradi katerih ključnih lastnosti

⁹ Kombinirana metoda v tem primeru pomeni kombinacijo hevristične in eksaktne. Večji del problema se reši s hevristično metodo, manjši oziroma računsko manj zahtevni del pa eksaktno.

ocenjujemo metodo CUT, kot primerno za uporabo v modelu, razvitem v tej monografiji:

- **Možnost aplikacije na različne praktične situacije.** Metoda CUT je primerna za uporabo v podjetjih, ki delujejo v različnih panogah in se srečujejo z različnimi pojavnimi oblikami problema razreza, saj upošteva veliko različnih možnih praktičnih situacij. Ker lahko tudi model, ki ga razvijamo, apliciramo na številne praktične situacije, je izbira metode s tega vidika primerna.
- **Heterogenost palic na zalogi.** Metoda CUT je razvita za primere, ko imamo na zalogi heterogene dolžine palic. V skrajnem primeru so vse palice različnih dolžin, vendar pa metoda dovoljuje tudi enake dolžine palic znotraj posameznih skupin na zalogi, zato je ustrezna v primerih, ko se metoda uporablja v več obdobjih, ter v primerih, ko se palice vračajo na zalogo in sprejemamo nove dobave.
- **Scenariji za minimiziranje vložkov in maksimiranje izločkov.** Metoda predvideva dva osnovna scenarija:
 1. Materiala na zalogi je dovolj za izpolnitev celotnega naročila. V tem primeru metoda zasleduje kriterij minimiziranja vložkov.
 2. Materiala na zalogi ni dovolj za izpolnitev celotnega naročila. V tem primeru metoda zasleduje kriterij maksimiranja izločkov, saj omogoča različno obravnavanje posameznih palic glede na prioriteto izpolnjevanja naročila.

Z vidika podjetja, ki želi minimizirati zaloge tudi na račun morebitnih neizpolnitev naročil, je metoda primerna, saj upošteva tako situacije s presežkom materiala kot situacije, kjer je materiala za celotno izpolnitev naročila premalo.

- **Vračanje ostanka na zalogo.** Metoda predvideva vračanje ostanka na zalogo, kar sovpada z razrezom v več zaporednih obdobjih, saj je v tem primeru pomembno tudi stanje končne zaloge in ne samo neuporabnega ostanka. Na zalogo se vrača največ ena palica, za ostale se išče optimalni razrez tako, da ostane zgolj neuporabni ostanek. Meja, ko je palica še uporabna in se vrne na zalogo, se določi arbitrarno, vendar mora biti med

nič in dolžino najdaljše palice v naročilu. V praksi se kot meja najpogosteje uporablja dolžina najkrajše palice v naročilu.

Na kratko povzemamo tudi matematični zapis metode, pri čemer uporabljamo naslednjo notacijo:

s_j	dolžina palic na zalogi, kjer je $j = 1, \dots, m$
d_i	dolžina palic v naročilu, kjer je $i = 1, \dots, n$
b_i	povpraševanje za dolžino d_i , izraženo v številu palic
UB	zgornja meja za neuporabni ostanek
δ_j	ostanek dolžine palic na zalogi s_j
t_j	neuporabni ostanek, vezan na dolžino palic na zalogi s_j
x_{ij}	število palic dolžine v naročilu d_i , ki so bile narezane iz dolžine palic na zalogi s_j
y_j	indicira, če je dolžina palic na zalogi s_j uporabljena v načrtu razreza ($y_j = 0$, če je s_j uporabljena v načrtu razreza)
u_j	indicira, če ostanek dolžine palic na zalogi s_j šteje kot neuporabni ostanek ($u_j = 1$, če je ostanek višji od UB in ne šteje kot neuporabni ostanek)

Metoda predpostavlja dve možnosti:

- materiala na zalogi je dovolj za izpolnitev celotnega naročila,
- materiala na zalogi ni dovolj za izpolnitev celotnega naročila.

Prva možnost je torej definirana kot:

$$\min \sum_{j=1}^m t_j \quad (\text{minimiziranje neuporabnega ostanka})$$

ob naslednjih omejitvah:

$$\sum_{i=1}^n (d_i \times x_{ij}) + \delta_j = s_j (1 - y_j) \quad \forall j \quad (\text{omejitev nahrbtnika})$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = b_i \quad \forall i \quad (\text{omejitev povpraševanja})$$

$$\delta_j - UB \times u_j \geq 0 \quad \forall j \quad (u_j \text{ je lahko } 1, \text{ zgolj če je } s_j \text{ daljša od } UB)$$

$$\sum_{j=1}^m u_j \leq 1 \quad (\text{največje število palic, ki jih lahko vrne na zalogo})$$

$$t_j = \begin{cases} \delta_j & \text{če } y_j = 1 \wedge u_j = 0 \\ 0 & \text{drugace} \end{cases}$$

$$UB \leq \max d_i$$

$$x_{ij} \geq 0, \text{ celo število} \quad \forall i, j$$

$$t_j \geq 0 \quad \forall j$$

$$\delta_j \geq 0 \quad \forall j$$

$$u_j \in \{0,1\}$$

$$y_j \in \{0,1\}$$

Druga možnost pa je definirana kot:

$$\min \sum_{i=1}^n \delta_j \quad (\text{minimiziranje vsote ostankov})$$

ob naslednjih omejitvah:

$$\sum_{i=1}^n (d_i \times x_{ij}) + \delta_j = s_j \quad \forall j \quad (\text{omejitev nahrbtnika})$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq b_i \quad \forall i \quad (\text{omejitev povpraševanja})$$

$$x_{ij} \geq 0, \text{ celo število} \quad \forall i, j$$

$$\delta_j \geq 0 \quad \forall j$$

Navedeni možnosti bomo uporabljali za reševanje različnih problemov optimizacije načrta razreza v nadaljevanju te monografije.

1.2.2 Kontinuiran¹⁰ enodimenzionalni razrez

V znanstveni literaturi je razrez tradicionalno obravnavan zgolj v enem obdobju. To pomeni, da so pri reševanju problema razreza dani podatki o zalogi in povpraševanju, zanima pa nas, kako bomo povpraševanje izpolnili s čim manj neuporabnega ostanka. Ko je naročilo enkrat izpolnjeno, se smatra, da je problem rešen. Z ostankom zaloge (uporabnim in neuporabnim ostankom) se v nadaljevanju avtorji ne ukvarjajo. Na ta način je razrez obravnavan kot izolirana aktivnost oziroma podproces, na katerega ostali procesi v podjetju nimajo vpliva in obratno.

V praksi pa se podjetja soočajo z vedno novimi naročili ter potrebami po obnavljanju zalog materiala, namenjenega za razrez, zato je treba pripravljati več načrtov za razrez, katerih frekvenca je odvisna od panoge, v kateri podjetje posluje, oziroma od poslovne politike podjetja. Tako lahko denimo v podjetju pripravijo več različnih načrtov za razrez na dnevni, tedenski, mesečni, četrtni ali letni ravni.

Na podlagi zgornjega je pri obravnavi razreza v teoriji in praksi nastala vrzel. Trkman (2008) predvideva, da je večina sodobnih metod za optimizacijo enodimenzionalnega razreza, ki predpostavljajo eno obdobje, neprimerna za uporabo v več obdobjih, zato bi jih bilo treba testirati in ustrezno prilagoditi.

Pojavlja se torej potreba po raziskovanju problema enodimenzionalnega razreza v več obdobjih, saj je tak pristop bližje realnim situacijam v podjetjih. Enega izmed prvih tovrstnih pristopov najdemo v Trkman in Gradišar (2007). Avtorja predvidevata devet zaporednih obdobji, v katerih prihajajo različna naročila, za katera je treba v vsakem obdobju posebej narediti načrt razreza. Hkrati predvidevata ponovno uporabo uporabnih ostankov v vseh naslednjih obdobjih. Zaloge se v tem primeru obnavljajo na koncu vsakega zaporednega obdobja. Pristop optimizira skupni neuporabni ostanek v vseh obdobjih.

¹⁰ Poimenovanje povzemamo po Trkman (2008).

Avtorja ugotavljata, da je učinkovitost algoritma odvisna tudi od števila palic, ki se smatrajo kot uporabne in se vrnejo na zalogo. Če se lahko na zalogo v vsakem obdobju vrne poljubno število palic, vodi to do zelo nizkih oziroma ničelnih izgub v zgodnjih obdobjih, vendar se na zalogi nabirajo palice, ki ravno še ustrezajo kriteriju uporabnega ostanka. Take palice imajo v vseh nadaljnjih obdobjih omejeno uporabnost, zato je treba zalogo obnavljati z novimi, daljšimi palicami. Rezultat se kaže v rastočih zalogah, kar avtorja rešujeta z razširitvijo modela s stroški skladiščenja. Razširjeni model tako upošteva tudi stroške naraščajočih zalog, kar privede do načrtov razreza, ki v skladišče vrnejo manj palic, ki so označene kot uporabni ostanek, vendar pa se na račun tega nekoliko poviša tudi neuporabni ostanek za posamezno obdobje. Algoritem torej uravnoteži stroške neuporabnega ostanka in stroške skladiščenja.

Pri kontinuiranem razrezu (angl. *continuous cutting*) je torej pomemben dejavnik obvladovanje velikosti zalog, na kar vpliva tudi število palic, ki se vrnejo na zalogo. Število naj bi bilo čim manjše. Tudi zaradi tega smo za uporabo v svojem modelu izbrali metodo CUT, saj predvideva vračanje največ ene palice.

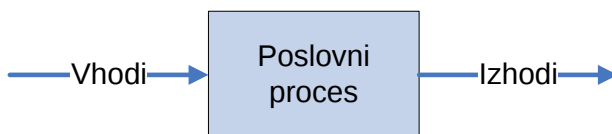
Obravnavanje razreza kot kontinuiranega (pod)procesa sovпада s sodobnimi pogledi na organizacijo podjetij, ki naj bi bila procesno naravnana, zato v naslednjem poglavju z uporabo študije primera predstavljamo in analiziramo enodimenzionalni razrez materiala kot poslovni proces.

2 RAZREZ MATERIALA KOT POSLOVNI PROCES

V tem poglavju predstavljamo pristop k obravnavanju razreza kot enega izmed procesov, ki se odvijajo v procesno organiziranem podjetju. V uvodnem delu podajamo nekaj osnovnih opredelitev, povezanih s poslovnimi procesi ter procesno organiziranim podjetjem, nato pa v prvem delu predstavljamo bistvene značilnosti razvoja procesno organiziranih podjetij, koncepta managementa poslovnih procesov in sodobnih pristopov k managementu poslovnih procesov. V drugem delu sledi opredelitev razreza materiala kot poslovnega procesa s prikazom pristopov nekaterih avtorjev, ki so ga v tej smeri že obravnavali. V zadnjem delu tega poglavja pa predstavljamo študijo primera, s katero preverjamo hipotezo, da lahko *»optimizacija procesa razreza vključno z mejnimi procesi prinese nižje stroške kot samo optimizacija algoritmov za izdelavo načrta razreza«*. Hkrati želimo preučiti tudi obstoječe stanje na področju algoritmov za reševanje problema razreza v povezavi s področjem poslovnih procesov in teorije zalog.

V splošnem lahko poslovni proces opišemo kot sestav med seboj povezanih izvajalskih in nadzornih aktivnosti, ki vhode pretvarjajo v načrtovane izhode (Kovačič & Bosilj Vukšič, 2005). Diagram poslovnega procesa je razviden s Slike 3.

Slika 3: Poslovni proces



Vir: Kovačič in Bosilj Vukšič (2005).

Splošna opredelitev, ki jo navajamo zgoraj, pa izhaja iz različnih opredelitev, ki so jih z razvojem področja definirali posamezni avtorji. Na tem mestu naštevamo nekaj najpomembnejših:

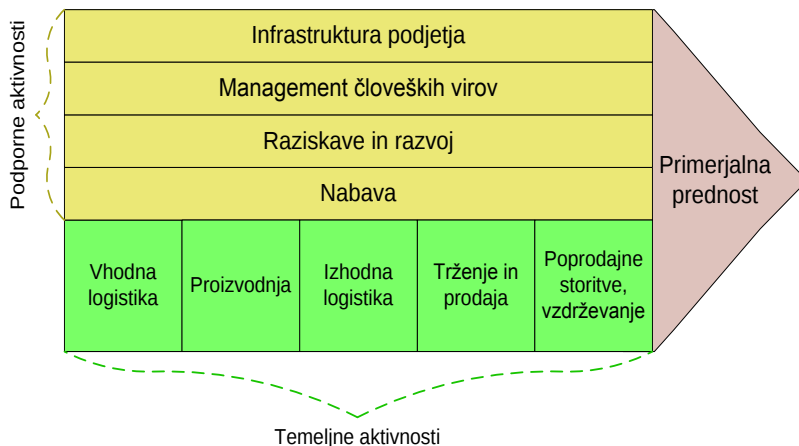
- *»strukturiran, merjen nabor aktivnosti, ki so oblikovane za produkcijo specifičnega rezultata za znanega kupca ali za trg [...] Proces je torej specifično zaporedje delovnih aktivnosti v danem času in prostoru, z*

začetkom in koncem ter jasno definiranimi vhodi in izhodi» (Davenport, 1992),

- »zbirka aktivnosti, ki enega ali več vhodov pretvori v izhod, ki ima vrednost za kupca« (Hammer & Champy, 1993),
- »nabor povezanih aktivnosti, ki vhode pretvorijo v izhode. Transformacija, ki se zgodi v procesu, naj bi dodala vrednost vhom ter tako ustvarila izhode, ki so bolj uporabni in učinkoviti za prejemnike« (Johansson, McHugh, Pendlebury & Wheeler, 1993),
- »poslovni proces je zaporedje korakov, katerih cilj je izdelava novega proizvoda ali storitve. Večina procesov [...] je medfunkcijskih. Rezultat nekaterih procesov so proizvodi ali storitve, ki so namenjene zunanjim kupcem. Ti procesi so primarni procesi. Rezultati drugih procesov so proizvodi (ali storitve), ki niso vidni zunanjim kupcem, vendar so pomembni za učinkovit management podjetja. Ti procesi so podporni procesi« (Rummler & Brache, 1995).

Iz definicij je razvidno, da je na procesni vidik organizacije močno vplival tudi Porter (1985), ki je s svojim modelom verige vrednosti postavil enega izmed temeljev procesnega vidika organizacije. Model verige vrednosti je prikazan na Sliki 4.

Slika 4: Porterjeva veriga vrednosti



Vir: Porter (1985).

Veriga vrednosti predstavlja zaporedje aktivnosti v podjetju. Veriga izdelkom doda več dodane vrednosti kot vsota dodanih vrednosti posameznih aktivnosti. Razdeljena je na temeljne in podporne aktivnosti.

Čeprav je koncept verige vrednosti Porter prvotno apliciral na poslovne enote znotraj podjetja, ki se diferencirajo po panogi oziroma proizvodni (Porter, 1985), se je kasneje koncept verige vrednosti uveljavil tudi na področju celotnih oskrbovalnih verig (Harland, 1996).

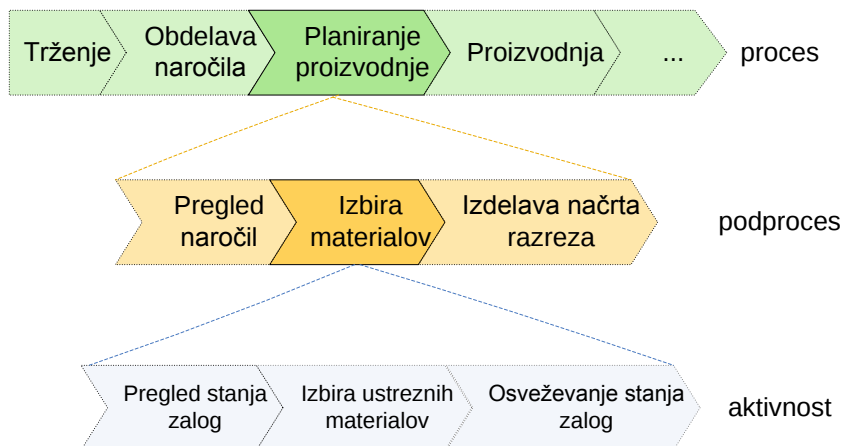
Poslovne procese delimo na (Smith & Fingar, 2003):

1. **managerske**, ki zagotavljajo nemoteno upravljanje podjetja (primer managerskega procesa je strateško načrtovanje);
2. **temeljne**, ki tvorijo jedro poslovanja in ustvarjajo dodano vrednost (primeri temeljnih procesov so proizvodnja, prodaja in nabava);
3. **podporne**, ki služijo kot podpora temeljnim procesom (primer podporne procesa je kadrovanje).

Poslovni proces tvori več različnih aktivnosti. Posamezna aktivnost obravnava poslovanje na elementarni ravni, kar pomeni, da je logično zaključena enota opravil ali delovnih operacij in da ni potrebno nadaljnje členjenje na več aktivnosti. Izvedba posamezne aktivnosti v poslovnem procesu je odvisna od ostalih aktivnosti, ki lahko prožijo izvajanje aktivnosti oziroma kreirajo potrebne vhode za njeno izvajanje ali pa so prejemnik izhodov določene aktivnosti.

Poslovni proces je razdeljen na posamezne ravni. Na najvišji obravnavamo poslovni proces kot celoto, potem pa se lahko členi na posamezne podprocese, dokler ne pridemo do členjenja na posamezne aktivnosti. Tovrstno členjenje poimenujemo funkcionalna dekompozicija poslovnega procesa. Denimo, da poslovni proces obravnavamo v proizvodnem podjetju, kjer se ukvarjajo z razrezom po naročilu. V podjetju najprej z različnimi trženjskimi pristopi stranke seznanijo s ponudbo, nato dobijo naročilo, ki ga je treba obdelati. Sledi načrtovanje proizvodnje, katerega rezultat je načrt razreza. Na podlagi načrta razreza se opravi razrez, nato pa proces teče dalje.

Slika 5: Primer funkcionalne dekompozicije poslovnega procesa



Poenostavljen začetni del poslovnega procesa, ki je dekomponiran na posamezne podprocese, je predstavljen na Sliki 5. Podprocesi so nadalje členjeni na posamezne aktivnosti. Število ravni podprocesov je odvisno od kompleksnosti celotnega poslovnega procesa in posameznih podprocesov, pri modeliranju pa so pomembni tudi stroški modeliranja (Soliman, 1998).

Funkcionalna dekompozicija je pomembna tudi pri modeliranju poslovnih procesov, ki ga opisujemo v poglavju 2.3.

2.1 Procesno organizirano podjetje

Tradicionalni pogled na organiziranost podjetja je pogled skozi posamezne poslovne funkcije (proizvodnja, nabava, finance, trženje itd.) (Harmon, 2003). V tovrstno organiziranih podjetjih prihaja do t. i. funkcijskih silosov, ki se pojavijo zaradi samostojnosti posameznih funkcijskih enot ter ločenega merjenja njihovih učinkovitosti in uspešnosti.

Pretekla raziskava (Kovačič, 2001) je pokazala, da v Sloveniji podjetja prehajajo iz funkcionalne v procesno organiziranost, kar pomeni tudi zmanjševanje učinka funkcionalnih silosov. V podobni situaciji je bilo tudi podjetje, ki ga obravnavamo v študiji primera.

Ker so z višjo učinkovitostjo in uspešnostjo povezane tudi nagrade, denimo managerjem, se posamezne funkcijske enote začnejo obnašati kot podjetja znotraj podjetja ter poskušajo maksimirati lastno učinkovitost in uspešnost. Namesto globalnega optimuma, kar sta v tem primeru uspešnost in učinkovitost celotnega podjetja, se iščejo lokalni optimumi znotraj posameznih poslovnih funkcij, kar pomeni slabši pretok informacij med posameznimi funkcijami, to pa je eden izmed ključnih dejavnikov za uspešnost podjetja kot celote in kot dela oskrbovalne verige (Carr & Kaynak, 2007; Chen & Paulraj, 2004). Problematično postane tudi izvajanje temeljnih procesov, kot so nabavni, prodajni in proizvodni proces, saj ti procesi tečejo skozi več poslovnih funkcij, ki pa zaradi omejenega medsebojnega sodelovanja procesov ne izvajajo tako učinkovito in uspešno, kot bi jih lahko v primeru poglobljenega sodelovanja med posameznimi funkcijami (Harmon, 2003). Razlog je pogosto tudi samo nerazumevanje procesov v celoti, saj se v posameznem funkcijskem oddelku v podjetju srečajo samo z delom celotnega procesa.

V začetku 90. let prejšnjega stoletja so tako podjetja začela uvajati koncepte procesne organiziranosti, ki so na prvo mesto postavili uspešnost in učinkovitost procesov v podjetjih, ki lahko tečejo čez več različnih poslovnih funkcij. Z osredotočanjem na procese namesto na poslovne funkcije se lahko povišajo tudi povezanost in skupni cilji funkcionalno ločenih poslovnih enot (Hammer, 2007a). V povezavi s temi koncepti se je kasneje v začetku tretjega tisočletja razvil koncept procesno usmerjene organizacije, ki se namesto na funkcijske in hierarhične strukture v podjetjih osredotoča na poslovne procese med posameznimi udeleženci (Reijers, 2006).

Čeprav je o pomembnosti poslovnih procesov razpravljal že Levitt (1960), je bilo potrebno nekaj desetletij, da so v podjetjih začeli razmišljati o procesni organiziranosti. Eden izmed katalizatorjev je bil bliskovit razvoj različnih tehnologij, med njimi tudi informacijske, ki so omogočile visoko stopnjo avtomatizacije in racionalizacije aktivnosti v podjetjih. Vendar so podjetja v večini primerov delala napake, saj načina poslovanja in organiziranosti niso spreminjala ter prilagajala novim smernicam v poslovnem okolju, temveč so nove tehnologije zgolj uporabljala za pospeševanje obstoječih procesov. Ti procesi pa so imeli bistveno pomanjkljivost, bili so namreč zasnovani pred vzponom računalnikov in so

zasledovali čim višjo učinkovitost in nadzor. Okolje v 90. letih pa je od podjetij zahtevalo inovativnost, hitrost in kakovost (Hammer, 1990), kar je bila posledica segmentiranja in visoke diverzifikacije kupcev, intenzivne konkurence v vseh tržnih nišah in hitrih sprememb na vseh področjih poslovanja (Hammer & Champy, 1993).

Na potrebo po korenitih spremembah so na začetku 90. let opozarjali različni avtorji (Davenport, 1992; Hammer, 1990; Harrington, 1991), ki so govorili o reinženiringu poslovnih procesov (angl. *business process reengineering*), kar pomeni korenite spremembe v načrtovanju in izvajanju procesov v podjetjih, da bi dosegli izboljšave na področjih učinkovitosti stroškov, kakovosti, storitev in hitrosti, na kar kaže tudi naslov enega izmed omenjenih prispevkov: »*Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate*«¹¹ (Hammer, 1990).

Management v začetku 90. let se je v številnih podjetjih (predvsem v ZDA in tudi po Evropi) odločal za reinženirung poslovnih procesov ali pa ga je načrtoval v bližnji prihodnosti. Pričakovani rezultati so vključevali do 70 % skrajšanja poslovnih ciklov, do 40 % nižje stroške, do 40 % višje zadovoljstvo kupcev, kakovost in obseg prodaje. Vendar pa so bili rezultati redko doseženi, odstopanja pa so bila tudi do 30 % (Champy, 1995). Management je bil pogosto naklonjen spremembam predvsem zaradi obljubljenih boljših rezultatov, vendar pa se je zapletlo, ko bi morali managerji posameznih funkcijskih enot podjetja med seboj bolj poglobljeno sodelovati in v nekaterih primerih tudi prenesti del svojih pooblastil na druge zaposlene (O'Neill & Sohal, 1999). Nekateri kritiki koncepta reinženiranja poslovnih procesov so opozarjali tudi na dehumanizacijo delovnih pogojev, večjo kontrolo managementa nad zaposlenimi in uporabo koncepta reinženiranja poslovnih procesov kot razloga za odpuščanje ljudi (Pruijt, 1998).

Konec 90. let so tako tudi avtorji, ki so sprva promovirali koncept reinženiranja poslovnih procesov, začeli ugotavljati, da je kljub povišani učinkovitosti in višjemu zadovoljstvu kupcev (Chan & Peel, 1998) pri vpeljavi koncepta prišlo do nekaterih zmot in potencialnih zlorab s strani vpeljevalcev, najpogostejše managementa. Nekatere najpogostejše zmote so bile (Hammer & Stanton, 1999):

¹¹ »Delo reinženiranja: ne avtomatizirajte, odpravite.«

- privzeto je bilo mišljenje, da je treba poslovne procese v vsakem primeru korenito prenoviti ter da obstoječi nikakor niso dobri,
- zastareli poslovni procesi naj bi bili v vsakem primeru razlog, da organizacija ne posluje optimalno, česar pa se s konceptom reinženiranja poslovnih procesov ne da preveriti,
- previsoka pričakovanja glede potencialnih koristi reinženiranja poslovnih procesov,
- previsoko zaupanje v tehnološke rešitve,
- podcenjevanje upiranja proti spremembam znotraj organizacij.

Zaradi zgornjih navedb so podjetja proti koncu 90. let začela opuščati uporabo koncepta reinženiranja poslovnih procesov, ki je predvideval temeljito reorganizacijo in redefiniranje poslovnih procesov, kar je opazno tudi pri upadu števila prispevkov s področja reinženiranja poslovnih procesov v znanstvenih revijah (Siha & Saad, 2008). Še vedno pa so poslovni procesi osnova za nadaljnjo optimizacijo poslovanja organizacij. Tako denimo nekateri avtorji (Groznič, Kovačič & Trkman, 2008; Kovačič, 2001; Trkman, Indihar Štemberger, Jaklič & Groznič, 2007) govorijo tudi o prenovi poslovnih procesov (angl. *business process renovation, business process redesign*), ki je strategija reinženiranja, ki kritično in temeljito preuči trenutno poslovno politiko, prakso in procedure ter postopoma na novo oblikuje ključne produkte, procese in storitve (Prasad, 1999).

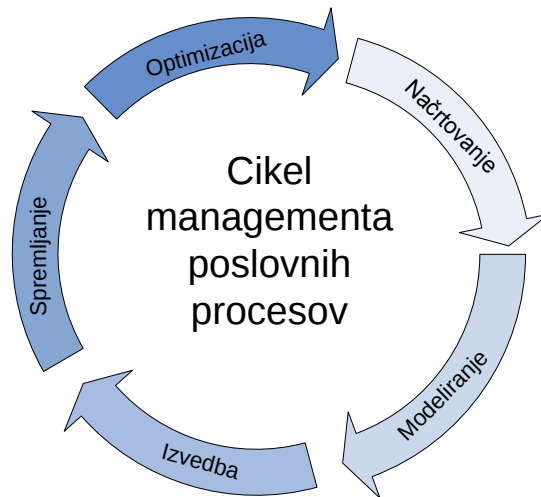
Konec prejšnjega tisočletja pa sta se pojavila tudi nova oblika organiziranosti in sodoben poslovni pristop k upravljanju s spremembami pri prenavljanju in informatizaciji poslovanja, ki med drugim temelji tudi na reinženiranju poslovnih procesov. Imenuje se management poslovnih procesov (angl. *business process management – BPM*) in ostaja ena izmed glavnih prioritet managementa v sodobnih organizacijah (Gartner, 2009). Eden izmed ciljev neprestanega izboljševanja poslovnih procesov je tudi krajšanje poslovnega cikla (Kovačič & Bosilj Vukšič, 2005).

Bistvo BPM je osredotočanje na prilagajanje celotne organizacije potrebam in željam poslovnih partnerjev in strank, kar se dosega s cikličnim pristopom, sestavljenim iz več faz. Različni avtorji (Havey, 2005; Hill, Sinur, Flint & Melenovsky, 2006; van der Aalst, Hofstede & Weske, 2003) in različni

ponudniki programske opreme za BPM navajajo različno število faz, ki je odvisno od želene stopnje prikazane granularnosti (Weske, van der Aalst & Verbeek, 2004), vendar pa gre v osnovi pri vseh za enak pristop, ki temelji na pristopu, znanem kot Demingov krog (Deming, 2000). Na Sliki 6 predstavljamo enega izmed pristopov, ki je povzet po Weske (2007).

V fazi načrtovanja poslovnih procesov so v podjetju identificirani in analizirani obstoječi poslovni procesi. Na podlagi analize se načrtujejo tudi spremembe v procesih, ki naj bi prinesle izboljšave procesov. V fazi modeliranja poslovnih procesov se načrtovane spremembe poslovnih procesov modelirajo, nato pa se na modelih izvedejo različne analize, s katerimi načrtovalci preverijo, ali bodo spremembe pomenile izboljšanje poslovnih procesov (nižji stroški, krajši pretočni časi, manj ozkih grl itd.). Sledi faza izvedbe, v kateri se načrtovane spremembe vpeljejo v dejanske poslovne procese in testirajo, s spremljanjem vseh poslovnih procesov pa se nato ponovno identificirajo področja potencialne optimizacije procesov (Weske, 2007).

Slika 6: *Cikel managementa poslovnih procesov*



Vir: Weske (2007).

Podjetja naj bi tako z vpeljavo koncepta BPM dosegla pomembne izboljšave v poslovanju na področjih stroškov, kakovosti, hitrosti, dobičkonosnosti in na drugih ključnih področjih, kar so dosegla z osredotočanjem na lastne procese, z njihovim merjenjem ter s prenovo (Hammer, 2007b).

Nedavno opravljena študija (Kohlbacher, 2010) je analizirala 26 različnih znanstvenih in strokovnih prispevkov, ki se ukvarjajo z iskanjem učinkov procesne orientiranosti organizacij ter posledično z uvajanjem koncepta BPM v podjetja. Med preučevanimi članki so bili vključeni tako članki, katerih avtorji so svoje ugotovitve podkrepili z empiričnimi rezultati (s kvantitativnimi metodami in s študijami primera), kot tudi članki, katerih avtorji svojih ugotovitev niso utemeljili z ustreznimi metodološkimi pristopi. V študiji avtor ugotavlja, da so najpogostejši učinki procesno orientiranega pristopa k organiziranosti podjetja naslednji (Kohlbacher, 2010):

- izboljšave v hitrosti (najpogosteje s skrajšanjem procesnih ciklov),
- zvišanje zadovoljstva kupcev,
- izboljšanje kakovosti (najpogosteje z vidika kakovosti proizvodov),
- znižanje stroškov,
- izboljšanje finančne uspešnosti z vidika prodaje, dobička ali dobičkonosnosti.

Avtor omenjene študije še ugotavlja, da je bilo opravljenih premalo analiz oziroma da so analize, ki so opravljene, lahko pristranske tako, da poročajo zgolj o primerih vpeljave koncepta BPM s pozitivnimi rezultati, s primeri, kjer pa uvedba koncepta BPM vodi do negativnih rezultatov, pa se ne ukvarjajo.

Vendar pa se uvajanje koncepta BPM sooča tudi s težavami, kot so nezadostna podpora vrhnjega managementa, pomanjkanje podpore vizualizaciji procesov in pomanjkanje povezanosti med načrtovanjem procesov in njihovo izvedbo (Bandara, Indulska, Chong & Sadiq, 2007). Management v podjetjih ne sme zmotno meniti, da sama uporaba BPM doprinese k operativnim ali strateškim ciljem podjetja, vendar pa BPM lahko pomaga pri izvedbi strateškega programa z zagotavljanjem boljše povezave med organizacijsko strategijo in njenimi poslovnimi procesi (Trkman, 2010).

2.2 Opredelitev razreza materiala kot poslovnega procesa¹²

V prvem poglavju podrobneje predstavljamo problem razreza in ugotavljamo, da je ta problem široko zastopan v znanstveni literaturi. Kljub zrelosti področja pa praktično ni mogoče najti pristopov, ki bi razrez obravnavali kot del poslovnega oziroma proizvodnega procesa. Poleg tega imajo koncepti managementa oskrbovalne verige minimalen vpliv na teorijo zalog (Buxey, 2006), za problem optimizacije razreza pa vpliva praktično ni mogoče najti.

Tako večina sodobnih metod za reševanje problema razreza še vedno kaže glavne pomanjkljivosti kvantitativnih metod, ki so bile identificirane že pred več kot petnajstimi leti (Fowler, 1998). Metode so še vedno preveč abstraktne in zato tuje managerjem, po drugi strani pa so modeli preveč preprosti. Kot smo prikazali že v prvem poglavju, metode za optimizacijo procesa razreza najpogosteje predpostavljajo popolne informacije, kar pa v praksi pogosto ne velja, saj so informacijski tokovi v podjetju ali oskrbovalni verigi lahko počasni in nepopolni (Trkman, Indihar Štemberger & Jaklič, 2005). Tako kot pri veliko drugih problemih v operacijskih raziskavah tudi pri problemu optimizacije razreza raziskovalci ne oblikujejo modelov, ki bi bili bližje praktičnim situacijam v podjetjih ali pa bi odgovarjali na vprašanja odločevalcev. Uporabnost rezultatov v praksi ni pogosto testirana (Bertrand & Fransoo, 2002).

Kot smo nakazali že v prvem poglavju, je treba zaradi zrelosti področja obravnavanja problematike razreza in zaradi zgornjih razlogov razrez obravnavati širše. Eden izmed možnih pristopov je obravnavanje razreza kot enega izmed procesov v podjetju, ki skozi koncept faz cikla managementa poslovnih procesov omogoča njegovo stalno izboljševanje, kar je v skladu z ugotovitvami, da lahko organizacije izboljšajo svojo uspešnost z vpeljavo koncepta procesno organiziranega podjetja. Podjetja z višjo stopnjo procesne zrelosti tako poslujejo bolje od svojih konkurentov (Lockamy & McCormack, 2004).

Nekateri raziskovalci so v zadnjih nekaj letih že predstavili pristope k reševanju problema razreza ali pakiranja, ki vključujejo elemente procesnega vidika organizacije, vendar pa ni avtorja, ki bi se problematike lotil celostno. Na tem mestu

¹² Povzeto in razširjeno po Erjavec et al. (2009) in Trkman (2008).

predstavljamo nekaj najzanimivejših poskusov vključevanja elementov procesnega vidika organizacije v probleme razreza in pakiranja.

Študija, ki sta jo na primeru proizvajalcev elektronskih naprav izvedla Cochran in Ramanujan (2006), predstavlja povezanost različnih odločitev v celotni oskrbovalni verigi, kar vključuje tudi odločitve glede pakiranja. Weng in Sung (2008) ugotavljata, da samo optimizacija razreza ni dovolj ter da je treba optimizirati tudi druge dele procesa, kot denimo razporeditev zalog, razporeditev naročil in delo. Model, ki ga razvijeta, poleg minimiziranja neuporabnega ostanka optimizira tudi delovno učinkovitost. Keskinocak et al. (2002) obravnavajo problem razreza v papirni industriji zgolj kot eno izmed mnogih odločitev v načrtovanju proizvodnje.

Ko se v podjetjih soočajo s problemom razreza, imajo pri optimizaciji izdelave načrta razreza več možnosti:

- »ročna« optimizacija, kjer planer proizvodnje z uporabo računalniških aplikacij (denimo MS Excel) ter na podlagi lastnih izkušenj naredi načrt razreza, ki ima čim manjši neuporabni ostanek;
- optimizacija s pomočjo algoritma;
- kombinacija obeh, pri čemer planer proizvodnje uporablja algoritme za optimizacijo kot pomoč pri izdelavi načrta razreza.

Pri uporabi optimizacijskih algoritmov ima podjetje dve možnosti. Prva možnost je, da so optimizacijski algoritmi namensko razviti za specifično podjetje in so vključeni v informacijski sistem podjetja, kot je prikazano denimo v Čižman in Černetič (2004), nekaj primerov pa smo navedi tudi že v prvem poglavju (Alfieri et al., 2007; Rodriguez & Vecchietti, 2007). Prednost te možnosti je algoritem, ki je popolnoma prilagojen potrebam podjetja in ima v kriterijski funkciji vse spremenljivke, ki so za podjetje pomembne. V tem primeru je naknadno spreminjanje algoritmov zaradi sprememb v poslovanju lahko zahteven in dolgotrajen proces, ki se mu podjetja poskušajo izogniti.

Podjetja tako pogosto raje uporabljajo drugo možnost, to je uporaba algoritmov za optimizacijo izdelave načrta razreza po principu t. i. »črne škatle«. To pomeni, da podjetje na trgu poišče ustrezen algoritem, ki je lahko razvit tudi posebej za

specifično podjetje, vendar kriterijska funkcija vsebuje zgolj najosnovnejše spremenljivke, kot je neuporabni ostanek. Tovrstni algoritmi so pogosto na voljo tudi v obliki programskih paketov za optimizacijo razreza, ki jih je na trgu veliko.

V nadaljevanju želimo pokazati, da je obravnava razreza kot dela poslovnega procesa legitimna in učinkovita možnost pri stroškovni optimizaciji v primerjavi z algoritmi za optimizacijo razreza. Razrez obravnavamo kot »črne škatle«, saj je tovrstna uporaba v praksi pogosta. V naslednjem podpoglavju predstavljamo študijo primera, s katero želimo dokazati zgornjo trditev.

2.3 Študija primera prenove procesa razreza

V tem podpoglavju predstavljamo študijo primera procesa razreza, ki je povzeta in razširjena po Erjavec et al. (2009), z njeno uporabo pa testiramo hipotezo, da *»optimizacija procesa razreza vključno z mejnimi procesi lahko prinese nižje stroške kot samo optimizacija algoritmov za izdelavo načrta razreza«*. Med pregledom znanstvene literature nismo zasledili raziskovalnih pristopov, ki bi definirali proces razreza, ki bi omogočal medsebojno primerjavo morebitnih pristopov, razvitih v prihodnje z vključevanjem koncepta procesne organizacije. Zato v okviru raziskav, opravljenih v predstavljeni študiji primera, podamo tudi opredelitev vloge razreza kot enega od poslovnih (pod)procesov. Hkrati pa s študijo uvrstimo algoritme za izdelavo načrta razreza v proces razreza, stroškovno analiziramo proces razreza ter njegove mejne procese in primerjamo stroške posameznih aktivnosti.

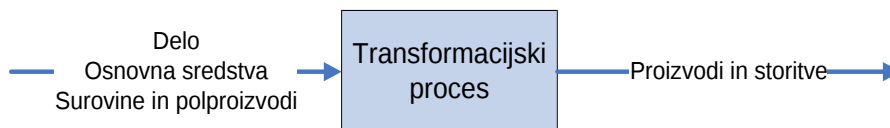
Predstavljen pristop omogoča ločevanje in merjenje stroškov neuporabnega ostanka, opreme za rezanje in stroškov dela. Zadnja dva tipa stroškov sta lahko prikazana glede na aktivnost, skupino aktivnosti, transakcijo ali oddelek. Poleg tega s prikazanim pristopom lahko merimo tudi pretočne čase in njihovo variabilnost. Čeprav je pristop uporabljen na specifičnem primeru kovinske industrije, ga lahko apliciramo tudi na druge panoge, kjer se srečujejo s problemom razreza.

2.3.1 Proizvodni procesi

Ker gre pri razrezu za proizvodni proces ali pa del proizvodnega procesa, v tem podpoglavju orišemo osnovna izhodišča, povezana s proizvodnimi procesi v podjetju, ki so pomembna v povezavi s študijo primera, obravnavano v okviru tega poglavja.

Proizvodni proces je v splošnem definiran kot vsak drug poslovni proces, kjer se vhodi v proces med izvajanjem procesa spremenijo v izhode. Kot je razvidno iz Slike 7, so vhodi v proizvodni proces delo, osnovna sredstva (stavbe, stroji, zemlja) ter surovine in polproizvodi, izhodi iz proizvodnega procesa pa so proizvodi in storitve (Herrmann, 2006).

Slika 7: Shema proizvodnega procesa



Vir: Herrmann (2006).

Podjetje mora nabaviti vse ustrezne vhode in jih spremeniti v izhode, ki jih želi prodajati. Uspešnost procesa je odvisna od organizacije tovrstnega proizvodnega procesa, ki si mora prizadevati za čim višjo proizvodno učinkovitost – s čim manj vhodi proizvesti čim več izhodov, kar zmanjša stroške na enoto izhoda in pomeni, da lahko podjetje prodaja izdelke po nižjih cenah ali pa zanje iztrži višji dobiček. Cilj proizvodnega procesa je zagotavljati proizvode in storitve, ki jih kupci želijo in potrebujejo, in sicer v ustreznem številu, najboljši možni kakovosti, po konkurenčni ceni in v najkrajšem možnem času (Pinedo, 2009).

Pomemben del proizvodnje pa je tudi oskrbovalna veriga. Pri procesnem pogledu na oskrbovalno verigo govorimo o proizvodnem ciklu kot enem izmed štirih osnovnih ciklov oskrbovalne verige (ostali trije so še cikel naročanja, cikel nabave in cikel obnavljanja zalog). Glede na to, na kateri stopnji oskrbovalne verige pride do izvajanja procesov, ki jih sproži končno povpraševanje, govorimo o situaciji »potisni« (angl. *push*) ali »potegni« (angl. *pull*). Proces »potisni« se

izvajajo glede na pričakovano povpraševanje, v tem primeru načrtujemo glede na pričakovano povpraševanje, procesi »potegni« pa se izvajajo glede na dano povpraševanje, torej je proizvodnja načrtovana, ko je povpraševanje že znano (Chopra & Meindl, 2007).

Iz analize metod za optimizacijo načrta razreza, opravljene v prvem poglavju, je razvidno, da avtorji v večini primerov ob izdelavi načrta razreza predvidevajo znana naročila, torej gre za procese »potisni«. Z vidika optimizacije načrta razreza in izrabe razpoložljivih materialov je tako obnašanje racionalno, saj morajo za take procese managerji načrtovati aktivnosti (Chopra & Meindl, 2007).

Težava nastane predvsem z vidika načrtovanja zalog. Večina obstoječih pristopov k optimizaciji načrta razreza namreč predvideva dano zalogo ob danem povpraševanju, kar implicira proces »potisni«. Vendar pa se v praksi podjetja soočajo z negotovostjo, kar pomeni, da morajo glede na vnaprejšnje predvidevanje povpraševanja načrtovati zaloge, kar pa definira proces »potegni« (Chopra & Meindl, 2007).

Z vidika načrtovanja zalog v podjetju, kjer se bo razrez odvijal, je torej to proces »potisni«, z vidika načrtovanja proizvodnje oziroma izdelave načrta razreza pa gre za proces »potegni«.

2.3.2 Metodologija

Pri potrjevanju hipoteze, da *»optimizacija procesa razreza vključno z mejnimi procesi lahko prinese nižje stroške kot samo optimizacija algoritmov za izdelavo načrta razreza«*, pri opredeljevanju vloge razreza kot enega od poslovnih (pod)procesov, pri uvrščanju algoritmov za izdelavo načrta razreza v proces razreza in stroškovno analizo procesa razreza in njegovih mejnih procesov ter pri primerjavi stroškov posameznih aktivnosti uporabljamo metodo študije primera. Študija primera ima kot raziskovalna strategija prednosti pred ostalimi, ko je za dogodke, na katere raziskovalec nima vpliva, treba odgovoriti na vprašanja tipa »kako« in »zakaj« (Yin, 2003b). Študije primera so med drugim primerne za področja, ki so še vedno v fazah spoznavanja, razumevanja in opisovanja (Stuart, McCutcheon, Handfield, R. & Samson, 2002), kar velja za vidik razreza kot dela

poslovnega procesa. Običajno pri študijah primerov raziskovalec pridobi podatke na različne načine, denimo s pomočjo intervjujev, vprašalnikov, z opazovanjem itd. (Eisenhardt, 1989), kar sem uporabljal tudi sam. Študije primera so primerne za zajemanje pomembnih dejstev, ki pripomorejo k razumevanju kompleksnih odločitvenih procesov (Buxey, 2006). Na podlagi opisanega menimo, da je izbira metode študije primera v okviru modela, predstavljenega v tem poglavju, primerna.

V raziskavi (Bartunek, Rynes & Ireland, 2006), ki so jo avtorji izvedli na najzanimivejših člankih s področja managementa v zadnjih sto letih, so ugotovili, da so kvalitativne metode pogostejše uporabljene kot kvantitativne. Študija primera se v operacijskih raziskavah pojavlja redkeje, vendar pa so nekateri avtorji (Voss, Tsikriktsis & Frohlich, 2002) mnenja, da lahko izbira te metodologije pri operacijskih raziskavah vodi do priprave raziskovalca za reševanje bolj zapletenih problemov. Študija primera se pogosto uporablja tudi v raziskovanju managementa oskrbovalne verige, kjer prevladujejo študije z eno preučevano enoto (Hilmola, Hejazi & Ojala, 2005), avtorji pa pogosto ne namenijo dovolj pozornosti predstavitvi raziskovalnega procesa (Seuring, 2008), kar je eden izmed razlogov za kritike študij primerov.

Kritiki uporabe študij primera v raziskovalne namene navajajo pet najpogostejših kritik oziroma zmot (Flyvbjerg, 2006):

- teoretično znanje je pomembnejše kot praktično znanje;
- posploševanje na podlagi ene enote ni mogoče, zato študije primera z eno enoto ne morejo doprinesti k razvoju znanosti;
- študija primera je najkoristnejša za generiranje hipotez in gradnjo teorij; pristranskost raziskovalcev pri oblikovanju raziskovalnih vprašanj;
- pogosto je študije primera težko povzeti.

Podrobno razpravo ter argumente proti kritikam lahko najdemo v Flyvberg (2006).

Raziskovalni proces je pri študijah primera enak kot pri ostalih empiričnih raziskavah. Stuart et al. (2002) navajajo pet korakov pri študijah primerov v operacijskih raziskavah, ki pa so v skladu s splošnimi opredelitvami nekaterih

drugih avtorjev (Capeda & Martin, 2005; Eisenhardt, 1989; Voss et al., 2002) in smo jim sledili tudi sami.

1. **Definiranje raziskovalnega vprašanja**, kjer smo definirali hipotezo in cilje študije primera.
2. **Razvoj raziskovalnega inštrumentarija**, kjer smo definirali vire podatkov, način pridobivanja podatkov in izbiro tehnik za analizo podatkov.
3. **Zbiranje podatkov**, kar natančneje opisujemo v nadaljevanju poglavja.
4. **Analiza podatkov**, kar opisujemo v poglavjih 2.3.3 in 2.3.4.
5. **Diseminacija rezultatov**.

Študije primerov ločimo po dveh dimenzijah (Yin, 2003a):

- **število preučevanih enot**, kjer ločimo med študijami primerov z eno enoto in študijami primerov z več enotami,
- **tip študije**, kjer ločimo med opisno (angl. *descriptive*), raziskovalno (angl. *exploratory*) in pojasnjevalno (angl. *explanatory*) študijo primera.

Za potrjevanje hipoteze uporabljamo pojasnjevalno študijo primera z eno preučevano enoto. Študije z eno preučevano enoto so primerne, ko želimo prikazati reprezentativno enoto (v našem primeru proizvodno podjetje), ki je tipični predstavnik populacije (Yin, 2003b). Hkrati je študija tudi longitudinalne narave (Yin, 2003b), saj gre za primerjavo dveh stanj v različnih časovnih obdobjih. Tradicionalno so študije primerov uporabljene kot raziskovalno ali opisno orodje, vendar pa jih lahko uporabimo tudi kot pojasnjevalno orodje, ko je treba preverjati enoznačno zastavljene hipoteze (Yin, 2003b).

Ugotovitve, ki izhajajo iz študij primerov, ko je preučevana ena enota in analiza longitudinalna, so informativne narave in se smatrajo kot stanje v povprečni enoti v populaciji. Ranljivost študije primera z eno preučevano enoto pa povzroča ravno ena enota, za katero lahko raziskovalci narobe ocenijo njene lastnosti in izbira ni dobra, zato je treba biti pri izbiri enote izredno previden. Ranljivost študije se zmanjša, če je analiza opravljena longitudinalno, saj primerjava v več časovnih obdobjih znižuje verjetnost napačnih izhodiščnih ocen (Yin, 2003b). Pojasnjevalna študija primera ne pojasnjuje pojavov z enako gotovostjo kot drugi eksperimenti, vendar pa njena uporaba lahko vodi do pomembnih spoznanj, ki utrejo pot drugim raziskovalnim metodam (Yin, 2003a). Spoznanja, do katerih

pridemo v nadaljevanju poglavja, torej ne morejo biti aplicirana na celotno populacijo, vendar pa so pomembna osnova za formuliranje prihodnjih raziskovalnih vprašanj na tem raziskovalnem področju.

Pri zbiranju podatkov za študijo primera smo upoštevali načelo triangulacije virov podatkov (Yin, 2003b), po katerem je treba pri študijah primera podatke pridobivati iz več različnih virov, da bi s tem zagotovili njihovo točnost in objektivnost. Avtor navaja šest različnih virov informacij (Yin, 2003b), izmed katerih smo uporabili štiri, ki so nam bili dostopni. Vsak izmed virov ima svoje prednosti in slabosti, ki se med seboj dopolnjujejo in omogočajo ustvarjanje slike, ki je najbližje realnemu stanju, zato poleg vsakega vira navajamo tudi njegove bistvene prednosti in slabosti. Podatki so bili pridobljeni iz naslednjih virov:

- **Dokumentni viri in arhivski viri** v obliki projektne dokumentacije o prenovi proizvodnih procesov, diagramov poteka proizvodnih procesov, informacij iz proizvodnega informacijskega sistema, naročil in načrtov razreza. Prednosti dokumentnih virov so v stabilnosti virov, nepristranskosti izvajalca študije pri njihovem zbiranju, natančnosti in široki časovni ter dogodkovni pokritosti, zato so ti viri najprimernejši za ustvarjanje osnovne slike, ki jo raziskovalec potrebuje pri študiju primera. Glavna slabost teh dveh virov pa je možnost vplivanja na zapise s strani njihovih ustvarjalcev ob nastajanju zapisov, zato moramo preveriti verodostojnost pisnih virov še z drugimi metodami.
- **Intervjuji** z vodjo proizvodnje in posameznimi planerji. Prednost intervjujev je targetiranost, saj se lahko z njimi osredotočimo neposredno na vsebino študije primera, hkrati pa lahko preverimo tudi verodostojnost dokumentnih in arhivskih virov. Po drugi strani pa na podlagi intervjujev pridemo do netočnih podatkov zaradi slabega spomina intervjuvancev, ko odgovarjajo na vprašanja, pri katerih se morajo zanašati zgolj na lasten spomin.
- **Neposredno opazovanje** procesa razreza v proizvodnih prostorih brez lastnega vključevanja v izvajanje. Prednost tega vira je kontekstualnost in pokrivanje dogodkov v realnem času. Hkrati je tovrstno pridobivanje podatkov lahko časovno zelo potratno, zato smo temu tipu vira izmed vseh štirih namenili najmanj pozornosti.

Študija primera je bila opravljena v sodelovanju s podjetjem, ki se ukvarja s prodajo širokega spektra tehničnih proizvodov in je vodilno na trgih jugovzhodne Evrope. Ena izmed divizij v podjetju se ukvarja tudi s prodajo kovinskih proizvodov. Večino teh proizvodov je treba predhodno narezati (različni jekleni profili), zato imajo v podjetju tudi proizvodni oddelek, kjer se ukvarjajo z razrezom materiala. Razrez obsega vse možne tipe po dimenziji od eno- do tridimenzionalnega razreza. Večina razreza je opravljenega po naročilu, kar od podjetja zahteva visoko stopnjo prilagodljivosti in hitro odzivnost (Gunasekaran & Ngai, 2005).

2.3.3 Modeliranje poslovnih procesov

V podjetju so izvedli prenovo proizvodnega procesa, kar vključuje proces razreza skupaj z nekaterimi mejnimi procesi. Glavni cilji prenove procesov so bili:

- učinkovitejše načrtovanje resursov,
- lažje sledenje materialom v proizvodnji,
- dviganje procesne zavesti med zaposlenimi.

Vendar pa v podjetju niso temeljito modelirali poslovnih procesov, zato tudi niso mogli izmeriti rezultatov prenove procesov. Tako niso imeli informacij o tem, ali je prenova procesov pomenila dvig učinkovitosti ter višjo uspešnost poslovanja oziroma koliko so bili procesi izboljšani. Hkrati so si v podjetju želeli tudi analizo trenutnega stanja, da bi tako lahko ugotovili, kje so še možne izboljšave.

Da bi odgovorili na zgornja vprašanja, smo opravili analizo prejšnjega in sedanjega stanja poslovnih procesov ter ju primerjali. Hkrati je bila opravljena tudi primerjava posameznih stroškov procesa s stroški neuporabnega ostanka.

Da bi lahko natančno preučili poslovne procese pred prenovno in po njej, jih je bilo treba modelirati. Model je slika realnega sveta, ki odraža predstavo ali neki pogled na stvarnost. V podjetju so modeli posameznih delov procesa razreza in mejnih procesov že obstajali, vendar niso bili vključeni v enoten model, s katerim bi lahko poiskali odgovore na zastavljena vprašanja. Zato je bil prvi korak pri študiji primera povezava internih procesnih modelov.

Razlogi za izdelavo modela poslovnih procesov so štirje (Sedera, Gable, Rosemann & Smyth, 2004):

- identifikacija slabosti v poslovnem procesu,
- posvajanje najboljših poslovnih praks,
- načrtovanje novih procesov,
- usposabljanje zaposlenih, ki so v stiku z modeliranimi poslovnimi procesi.

Modeliranja poslovnih procesov ne gre enačiti s poslovnim modeliranjem, vendar pa ugotovitve o razlogih za poslovno modeliranje, ki jih podajata denimo Eriksson in Penker (2000), veljajo tudi pri modeliranju poslovnih procesov (Gordijn, Akkermans & van Vliet, 2000).

Pomemben element modelov poslovnih procesov je tudi njihova razumljivost, ki je odvisna od posameznih opazovalcev modela in njihovih teoretičnih znanj s področja poslovnih procesov (Mendling, Reijers & Cardoso, 2007), zato je pomembno, da se natančno določi namen modeliranja, s katerim so povezane tudi tehnike modeliranja, ki jih predstavljamo v nadaljevanju.

Pri modeliranju poslovnih procesov je treba identificirati namen modeliranja, od katerega je odvisna uporaba posameznih tehnik modeliranja, saj so za različne namene primerne različne tehnike. Ločimo med dvema širšima uporabama modeliranja poslovnih procesov. Prva je namenjena razvoju programske opreme, druga pa prestrukturiranju poslovnih procesov (Phalp & Shepperd, 2000). Skozi zgodovino so se razvili različni pristopi za modeliranje poslovnih procesov (Aguilar-Saven, 2004).

- **Tehnika diagramov poteka** (angl. *flow chart technique*) je eden izmed prvih in najpogostejše uporabljenih pristopov za modeliranje poslovnih procesov. Gre za formalizirano grafično predstavitev poslovnega procesa z uporabo različnih simbolov za posamezne aktivnosti, podatke in smer tokov aktivnosti z namenom definicije, analize ali rešitve problema. Glavna značilnost te tehnike je njena prilagodljivost, ki uporabniku omogoča poljubne kombinacije uporabe posameznih gradnikov. Slabosti tehnike so v nezmožnosti enoznačne določitve mej procesov in v nezmožnosti prikaza različnih ravni (pod)procesov do ravni posameznih

aktivnosti. Uporaba te tehnike je najprimernejša za podrobno vizualizacijo procesov, s katero lažje identificiramo ozka grla ali neučinkovite dele procesov, ki bi bili lahko izboljšani.

- **Diagrami toka podatkov** (angl. *data flow diagrams*) so namenjeni modeliranju tokov podatkov ali informacij ter prikazovanju, kako se procesi povezujejo na podlagi podatkovnih skladišč ter kakšno interakcijo imajo z uporabniki. Uporabljeni so za pojasnjevanje tega, kaj bo proces naredil, in ne pojasnjujejo, kako se v procesu neka stvar zgodi. Dekompozicija procesov je možna.
- **Diagrami vlog aktivnosti** (angl. *role activity diagrams*) omogočajo grafični prikaz procesa na podlagi individualnih vlog, ki so lahko v obliki organizacijskih funkcij, informacijskih sistemov, strank ali dobaviteljev.
- **Ganttov diagram** (angl. *gantt chart*). Tehnika z uporabo matrik ponazori poslovne procese. Na vertikalni osi matrike se nahajajo posamezne aktivnosti, na horizontalni osi pa so podatki o trajanju aktivnosti, potrebnih veščinah za izvajanje aktivnosti in o delovnem mestu, ki aktivnost izvaja. Njihova glavna slabost je, da ne pokažejo jasno odvisnosti med posameznimi aktivnostmi.
- **Diagrami IDEF** (angl. *integrated definition for functional modelling*) so del širše metodologije SADT (angl. *Structured Analysis and Design Technique*), ki jo je razvilo ameriško letalstvo. Le dve izmed mnogih tehnik sta aplicirani tudi na modeliranje poslovnih procesov.
- **Petrijeve mreže** (angl. *petri net*) so namenjene grafičnemu opisovanju in analizi sinhronizacije, komunikacije in deljenja virov med posameznimi procesi. V praksi se redkeje uporabljajo, saj so modeli izjemno veliki in nimajo vgrajenega hierarhičnega koncepta. Tehnika je bila kasneje razširjena, tako da sta bili obe pomanjkljivosti odpravljeni.
- **Poenoteni jezik modeliranja** (angl. *unified modelling language – UML*). Gre za eno izmed najpogostejše uporabljenih tehnik modeliranja za objektno orientirane pristope k modeliranju poslovnih procesov. UML omogoča specifikacijo, vizualizacijo, izgradnjo in dokumentacijo poslovnih modelov, poleg tega pa se uporablja tudi za načrtovanje aplikacij in drugih sistemov. Uporablja devet različnih tipov diagramov.

Natančnejšo primerjavo različnih tehnik za modeliranje poslovnih procesov lahko najdemo denimo v Ami in Sommer (2007).

V zadnjih nekaj letih se pojavlja vedno večje zanimanje za standardizacijo tehnik za modeliranje poslovnih procesov. V raziskavi (Indulska, Recker, Rosemann & Green, 2009), ki je vključevala predstavnike uporabnikov orodij za modeliranje poslovnih procesov, proizvajalce teh orodij in akademike, je bilo ugotovljeno, da je trenutno ena izmed največjih problematik, povezanih z modeliranjem poslovnih procesov, standardizacija pristopov k modeliranju, saj so jo udeleženci raziskave uvrstili na prvo mesto seznama trenutnih problemov, povezanih z modeliranjem poslovnih procesov, ter na tretje mesto seznama izzivov modeliranja poslovnih procesov v prihodnjih petih letih.

Eden izmed vidnejših poskusov standardizacije je pobuda skupine za iniciativo managementa poslovnih procesov (angl. *business process management initiative* – *BPMI*), leta 2005 združenega s skupino Object management group, ki se med drugim ukvarja z uvajanjem nove notacije za modeliranje poslovnih procesov (angl. *business process model and notation* – *BPMN*). BPMN temelji na konceptu BPM, ki je podrobneje predstavljen v poglavju 2.1. Celotna BPMN za namene modeliranja poslovnih procesov uporablja zgolj en standardiziran tip diagrama, ki se imenuje diagram poslovnega procesa (angl. *business process diagram* – *BPD*).

Osnovni cilj BPMI pri izdelavi nove notacije je bil razviti notacijo, ki bi bila dobro razumljiva trem tipom poslovnih uporabnikov, ki se srečujejo z njo (White, 2004):

- **poslovnim analitikom**, ki ustvarjajo osnovne modele procesov – prenova procesov;
- **razvijalcem**, ki so odgovorni za implementacijo tehnologije, ki bo izvajala definirane procese – informatizacija procesov, in
- **managementu**, ki upravlja in nadzira procese – spremljanje procesov.

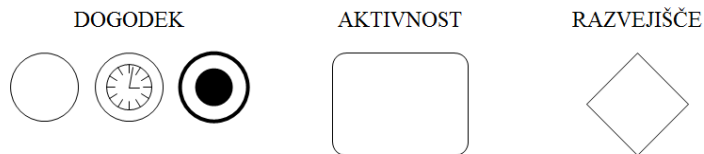
Hkrati BPMN zapolnjuje vrzel, ki nastaja med načrtovanjem poslovnih procesov in njihovo implementacijo (White, 2004). BPD, ki ga definira BPMN, je tehnika, ki temelji na diagramih poteka, kar je ena izmed njenih glavnih prednosti, saj omogoča izkoriščanje vseh prednosti diagramov poteka, hkrati pa odpravlja

večino njihovih slabosti. Tehnika omogoča zelo natančno modeliranje v več hierarhičnih ravneh, kjer sledi konceptu funkcionalne dekompozicije. Omogoča tudi preprosto pretvorbo v druge tipe notacij, denimo v UML. Za modeliranje poslovnih procesov smo zaradi omenjenih pozitivnih lastnosti izbrali notacijo BPMN oziroma tehniko BPD, zato podajamo kratek opis simbolov, uporabljenih v notaciji.

BPD uporablja štiri osnovne skupine simbolov (White, 2004):

- **koraki procesa**, prikazani na Sliki 8:
 - dogodek – uporabljajo se trije osnovni tipi simbolov za dogodke: začetni, vmesni in končni (poleg teh poznamo še simbole za posebne dogodke),
 - aktivnost – uporabljata se dva tipa simbolov za aktivnosti: naloga, ki je osnovni element procesa, ali pa podproces, ki je od naloge ločen z oznako +,
 - razvejišče – služi kot razvejišče ali stičišče poteka procesa;

Slika 8: *Koraki procesa*



Vir: White (2004).

- **povezovalni simboli**, prikazani na Sliki 9:
 - potek izvajanja – označuje zaporedje poteka aktivnosti,
 - tok sporočil – označuje potek podatkov med dvema posameznima poslovnima entitetama ali poslovnima vlogama,
 - asociacija – uporablja se za povezavo artefaktov s koraki procesa;

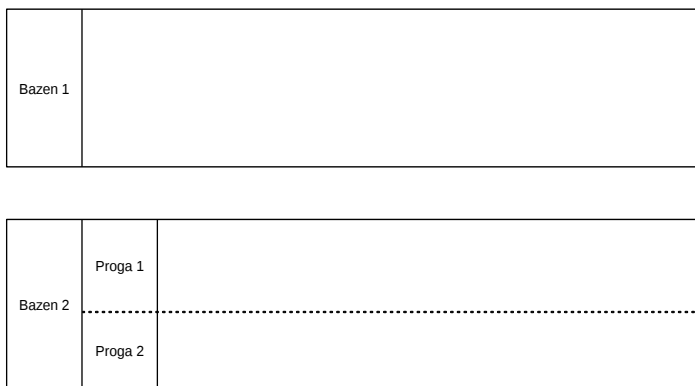
Slika 9: Povezovalni simboli



Vir: White (2004).

- **proge**, prikazane na Sliki 10:
 - bazen – označuje medsebojno ločene udeležence v procesu, med katerimi tok izvajanja procesa ne more prehajati,
 - proga – označuje udeležence v procesu, med katerimi tok izvajanja procesa lahko prehaja;

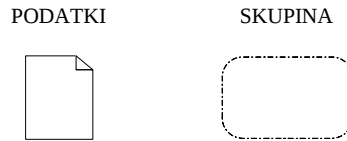
Slika 10: Bazeni in proge



Vir: White (2004).

- **artefakti**, prikazani na Sliki 11:
 - podatki – namenjeni prikazu uporabe ali kreiranja podatkov s strani posameznih aktivnosti,
 - skupina – kreiranje skupin je namenjeno za potrebe analize in dokumentiranja, vendar pa ne vpliva na potek procesa.

Slika 11: Artefakti



Vir: White (2004).

Za modeliranje poslovnih procesov je na trgu dostopnih veliko različnih orodij, kot so iGrafx, Visio, ARIS, Bizagi, WebSphere, System Architect, ADONIS, Casewise, Ultimus itd. Posamezna orodja podpirajo različne tehnike modeliranja poslovnih procesov, nekatera orodja (kot denimo ARIS) pa imajo razvite tudi lastne tehnike modeliranja poslovnih procesov. Pri modeliranju smo uporabljali orodje iGrafx Process, ki podpira več različnih tehnik modeliranja, med drugim tudi tehniko BPD.

Za iGrafx smo se odločili tudi zaradi podpore orodja simulacijam poslovnih procesov, saj uporablja tehniko simulacije diskretnih dogodkov, ki jih uporabljamo za analizo stanj procesov pred prenovo in po njej kasneje v tem poglavju. Tehnika simulacije diskretnih dogodkov je najbolj razširjena tehnika pri simuliranju proizvodnih procesov, saj je več kot 40 % vseh simulacij izvedenih prav s to tehniko (Jahangirian, Eldabi, Naseer, Stergioulas & Young, 2010). Več o simulacijah kot o metodologiji lahko bralec najde v poglavju 4.1.

2.3.4 Prenova procesa razreza skupaj z mejnimi procesi

V tem podpoglavju sledita opisa procesa razreza z mejnimi procesi v stanju pred prenovo in po prenovi poslovnih procesov. Stanje pred prenovo označujemo z **M-Prej**, stanje po prenovi pa z **M-Potem**. Poleg opisov predstavljamo tudi procesna diagrama, ki grafično ponazorita proces, poleg tega pa še ključne dejavnike, ki so sprožili prenovu, cilje prenove ter najpomembnejše spremembe po prenovi. Vsi izračunani indeksi se nanašajo na obdobji M-Prej in M-Potem.

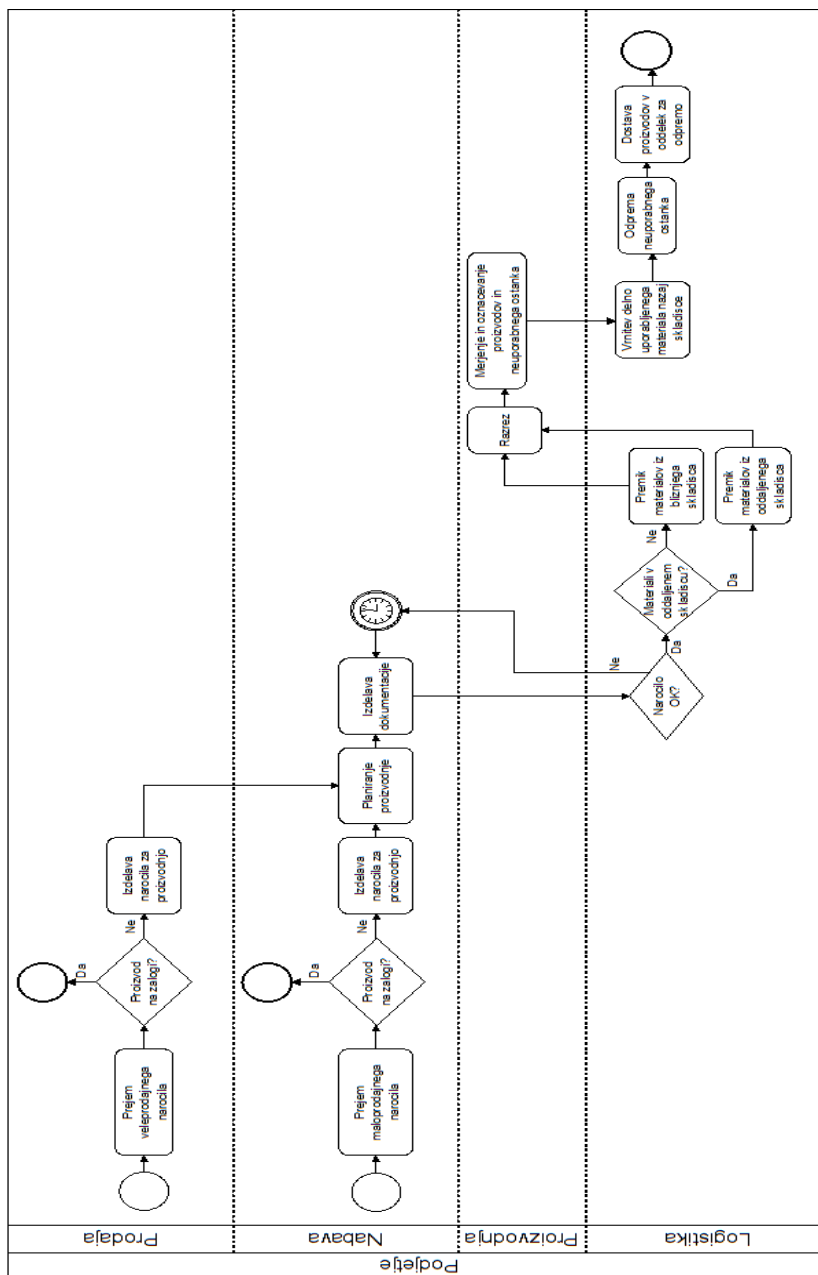
Stanje pred prenovo procesov (M-Prej)

Proces se je začel s prejemom veleprodajnih naročil v oddelku prodaje, ki jih je sprejel prodajni referent. Maloprodajna naročila so bila sprejeta v nabavnem oddelku, sprejel jih je nabavni referent oziroma planer. Če naročenega izdelka ni bilo na zalogi, ga je bilo treba narezati. V ta namen je bil izdano naročilo za proizvodnjo. Naročilo sta izdala prodajni referent za veleprodajo ter nabavni referent za maloprodajo. Če je naročilo izdal prodajni referent, ga je poslal nabavnemu referentu oziroma planerju. Naročila za proizvodnjo, ki so nastala kot posledica maloprodajnih naročil, pa je izdelal nabavni referent oziroma planer. Vsi zahtevki so bili natisnjeni na papir in šele nato dostavljeni nabavnemu referentu oziroma planerju. Ob prejemu zahtevkov je moral nabavni referent oziroma planer ponovno vnesti podatke v informacijski sistem.

Načrtovanje proizvodnje se je začelo, ko je planer sprejel naročilo za proizvodnjo. Planer je najprej preveril razpoložljivost resursov: material na zalogi, rezalni stroji, delavci pri razrezu. Ker različni deli informacijskega sistema v podjetju med seboj niso bili povezani, popolne informacije o razpoložljivosti posameznih resursov niso bile vedno na voljo v realnem času. Planer je imel zgolj pregled nad delovnimi nalogi, ne pa nad dejanskim stanjem v proizvodnji. Načrtovanje se je izvajalo za vsako naročilo posebej, posamezna naročila se med seboj niso povezovala. Planer je nato pripravil načrt proizvodnje, ki je vključeval zgolj podatke o narezanem materialu, ne pa podatkov o uporabnem in neuporabnem ostanku, zato so bile zaloge materiala vedno prikazane večje, kot so dejansko bile. To je vodilo do uporabe istega materiala iz zaloge na več različnih načrtih razreza. Ena palica se je denimo uporabila pri izpolnjevanju dveh različnih načrtov razreza, ker pa planer ni imel pregleda nad dogajanjem v proizvodnji, se je lahko zgodilo, da naj bi se oba načrta razreza izvajala hkrati. To pa je pomenilo zamude v okoli 15 % od vseh načrtov razreza. Te načrte razreza je bilo treba nato popraviti ali pa uvrstiti na čakalno listo za razrez, da se je razpoložljivi material sprostil.

Proces M-Prej je prikazan na Sliki 12.

Slika 12: Proces M-Prej



Vir: Erjavec et al. (2009).

Oddelek za logistiko je bil odgovoren za premik materiala iz enega izmed dveh skladišč (bližnje in oddaljeno), ki ju podjetje ima, do proizvodnega oddelka oziroma lokacije rezalnih strojev. Nato je bil načrt razreza izvršen oziroma material razrezan. Po opravljenem razrezu so v proizvodnji ugotovili stanje izpolnitve naročila ter preverili količino uporabnega in neuporabnega ostanka. Sledil je transport uporabnega ostanka nazaj v skladišče, neuporabnega ostanka pa na začasno deponijo v podjetju, kjer je čakal na odvoz. Končne proizvode so odpeljali v oddelek za odpremo, neuporabni ostanek pa je z deponije periodično odvažalo podjetje za ravnanje z odpadki.

Pred prenovo procesa razreza so se v podjetju spopadali z različnimi dejavniki, ki so povzročali neučinkovitost procesa. Ob prvotni analizi so bili identificirani naslednji kritični problemi v procesu razreza:

1. Vsako naročilo je bilo obravnavano ločeno od ostalih naročil, kar je vodilo do neučinkovitega načrtovanja virov in po mnenju zaposlenih k večjemu neuporabnemu ostanku.
2. Natančnih podatkov o trenutnem stanju zalog podjetje ni imelo, ker so načrti razreza vsebovali zgolj naročene količine, ne pa tudi neuporabnega in uporabnega ostanka. Pomanjkanje podatkov o trenutnem stanju zalog je pomenilo hkratno uporabo istih materialov iz zaloge na različnih načrtih razreza, zato je bilo treba nekatere načrte razreza spreminjati, kar je povzročalo zamude.
3. Proizvodni informacijski sistem je bil ločen od sistema ERP, kar je pomenilo ročno vnašanje istih podatkov v različne sisteme.
4. Podjetje ni imelo združenih informacij o neuporabnem ostanku, zato je bilo nemogoče slediti količinam neuporabnega ostanka, kar je onemogočalo primerjavo stroškov neuporabnega ostanka z ostalimi stroški.

Hkrati je informacijski sistem povzročal veliko težav nekaterim mejnim procesom. V prodajnem oddelku niso imeli ločenih podatkov o proizvodnih stroških in stroških materiala. Ker so bili v prodajnem oddelku odgovorni za oblikovanje cen, je nedostopnost podatkov pomenila omejitve za prodajne referente, ko so se s strankami pogajali o cenah.

Po končani analizi so bili postavljeni naslednji cilji, ki so bili omenjeni pri prenovi procesov:

- učinkovitejše načrtovanje resursov, ki naj bi ga dosegli z združevanjem načrtov razreza in logističnih nalogov, s tem pa naj bi znižali manipulativne stroške materiala in zmanjšali neuporabni ostanek;
- sledenje proizvodom, materialu in ostanku (tako uporabnemu kot neuporabnemu) ter hkratno zagotavljanje enkratnega vnosa posameznih podatkov v sistem.

Glede na opisane probleme in zastavljene cilje so v podjetju prenovili proces proizvodnje oziroma razreza in nekatere mejne procese. Prenova je vključevala procese in podprocese v vseh delih podjetja, ki so kakor koli povezani s procesom razreza.

Stanje po prenovi procesov (M-Potem)

Maloprodajna in veleprodajna naročila sprejmejo in procesirajo v prodajnem oddelku. Če naročenega izdelka ni na zalogi in mora biti narezan, kreirajo naročilo za proizvodnjo, ki ga pošljejo tehnologu v proizvodnji, ki se nahaja v proizvodnem oddelku. Zaradi povezanega informacijskega sistema je treba naročilo vnesti zgolj enkrat, in sicer ga v prodajnem oddelku vnese prodajni referent. Ostali udeleženci v procesu lahko kasneje glede na svojo vlogo dostopajo do naročila in/ali v zvezi z njim spreminjajo podatke.

Načrtovanje proizvodnje oziroma kreiranje načrta razreza poteka v proizvodnem oddelku. Za njegovo pripravo je zadolžen tehnolog v proizvodnji, ki z uporabo povezanega informacijskega sistema lahko optimizira izbiro materialov, ki je glede kakovosti materiala, velikosti naročila in roka dobave najprimernejša za posamezen načrt razreza.

Med kreiranjem načrta proizvodnje lahko tehnolog v proizvodnji preveri vse načrte, ki so v fazi čakanja na razrez, in jih po potrebi prilagodi ali združi z dodatnimi zahtevki za razrez. Ta dodatna prilagodljivost omogoča tehnologu v proizvodnji neprestano prilagajanje načrtov razreza, kar omogoča boljšo odzivnost in niža neuporabni ostanek.

Pri združevanju posameznih zahtevkov za razrez tehnolog v proizvodnji lahko glede na poslovno politiko podjetja čaka do pet delovnih dni, kar pomeni, da lahko ta čas poljubno kombinira posamezne zahtevke za razrez ter s tem poskuša doseči minimalne izgube materiala. Edina izjema v petdnevnom pravilu so naročila s prioriteto ali naročila, ki so prevelika, da bi bila lahko izpolnjena v tem obdobju. Zaradi tega je lahko hkrati izdanih več načrtov razreza.

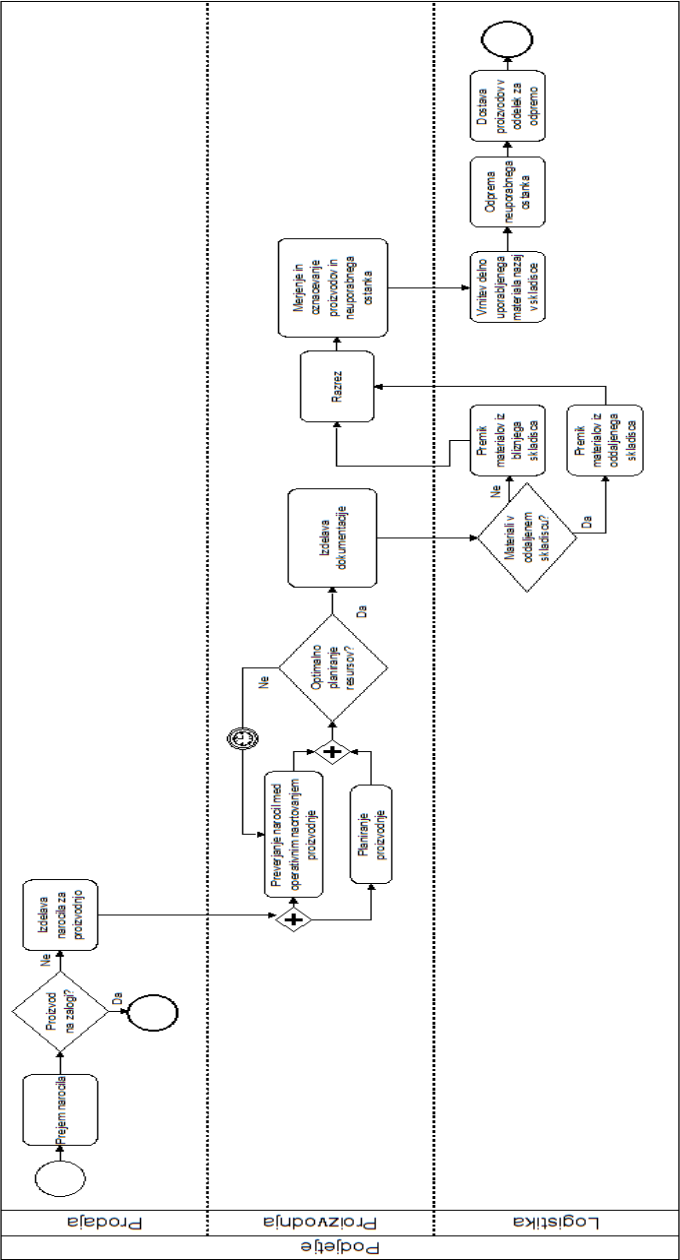
Ko je načrt proizvodnje izdelan, sledi izdelava dokumentacije za proizvodnjo (delovni nalogi) in logistiko. Sledi interna manipulacija z materiali, ki jih je treba iz enega izmed skladišč (bližnje ali oddaljeno) dostaviti v proizvodno halo, kjer bodo razrezani. Nato se izpolnijo posamezni delovni nalogi, po razrezu v proizvodnji izmeri uporabni in neuporabni ostanek ter označijo narezani proizvodi. Temu sledi vračilo uporabnega ostanka v skladišče, odvoz neuporabnega ostanka na začasno deponijo v podjetju, kjer čaka na odvoz, ter transport končnih proizvodov na oddelek za odpremo. Neuporabni ostanek z deponije periodično odvažajo podjetje za ravnanje z odpadki.

Proces M-Potem je prikazan na Sliki 13.

Najpomembnejše spremembe, dosežene s prenovo procesa:

- združevanje maloprodajnih in veleprodajnih naročil, ki so jih odslej sprejemali v enem oddelku;
- centralizacija načrtovanja ter njegov premik bližje produkcijskemu delu procesa;
- združevanje naročil na ravni načrtovanja oziroma priprave načrta razreza;
- povezovanje različnih delov informacijskega sistema znotraj podjetja, kar je omogočilo lažje sledenje materialov v realnem času ter zgolj enkratni vnos podatkov. Informacijska tehnologija je tudi v tem primeru igrala vitalno vlogo pri uspešnosti celotne iniciative prenove procesov. Na ta način se lahko omogoči tudi združevanje posameznih funkcijskih enot (Gunasekaran & Kobu, 2002).

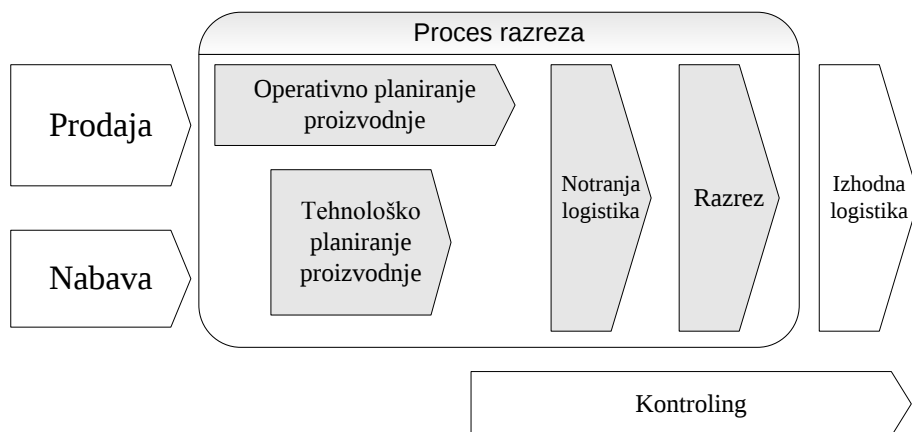
Slika 13: *Proces M-Potem*



Vir: Erjavec et al. (2009).

Hkrati s prenovno procesa razreza so bili jasno opredeljeni tudi mejni procesi ter identificirani njihovi stiki s procesom razreza. V tem primeru lahko proces razreza enačimo s proizvodnim procesom, saj je glavna dejavnost divizije podjetja razrez, posamezni proizvodi pa niso nadalje obdelani, temveč so namenjeni kupcem. Tako smo lahko na podlagi analize stanja pred prenovno in po njej definirali tudi proces razreza v primeru proizvodnje po naročilu. Kot je razvidno iz Slike 14, je proces razreza sestavljen iz dveh ločenih procesov načrtovanja: interne logistike in razreza samega.

Slika 14: *Proces razreza z mejnimi procesi za razrez po naročilu*



Vir: Erjavec et al. (2009).

Pomembna identificirana mejna procesa sta poleg **izhodne logistike** in **kontrolinga** tudi:

- **prodaja**, ki mora zagotavljati ažurne podatke o naročilih, hkrati pa na podlagi analize stroškovne učinkovitosti, predstavljene v nadaljevanju, pridobiva informacije o stroških proizvodnje, ki so pomembni pri oblikovanju prodajnih cen;
- **nabava**, kjer skrbijo za ustrezno velikost zalog.

Brez identifikacije mejnih procesov sistem za načrtovanje razreza ne bi mogel biti vključen v ERP podjetja. Najpomembnejša posledica vključitve sistema za

načrtovanje razreza v sistem ERP je optimizacija načrtovanja resursov (materiali, stroji, zaposleni).

Prenova procesa razreza z mejnimi procesi je omogočila tudi optimizacijo urejanja podatkov. Pred prenovo je bilo treba iste podatke dvakrat vnašati v sistem: prvič so bili vneseni na podlagi naročila kupca, drugič pa zaradi potrebe izdelave načrta razreza. Med analizo procesa in med njegovo prenovo pa je bil proces optimiziran ter informatiziran tako, da se podatki po prenovi v sistem vnašajo samo enkrat, kar pozitivno vpliva na skrajšanje pretočnih časov procesa.

2.3.5 Izvedba in analiza simulacij

Da bi lahko ustrezno preverili hipotezo, da *»optimizacija procesa razreza vključno z mejnimi procesi lahko prinese nižje stroške kot samo optimizacija algoritmov za izdelavo načrta razreza«*, ter primerjali oba modela med seboj, smo na obeh modelih procesa razreza opravili simulacije, ki smo jih izvedli s programom iGrafx Process. Simulacije so uporabne za merjenje izboljšav prenove procesov v podjetjih (Bosilj Vukšič, Indihar Štemberger, Jaklič & Kovačič, 2002) ali oskrbovalnih verigah (Trkman et al., 2007). Simulacije so pomembno orodje v procesu organizacijskega učenja in managementa sprememb z osredotočenjem tako na strateški kot na operativni ravni (Fowler, 1998). Podrobnejši opis metodologije simulacij pri uporabi v poslovnem odločanju bralec lahko najde v poglavju 4.1, na tem mestu pa navajamo ključne lastnosti izvedenih simulacij z vidika vrste simulacij, morebitnih posebnosti glede na metodološke korake izvedbe simulacij in uporabljene tehnike pri vrednotenju modela.

Simulacije, opisane v tem poglavju, so dinamične, saj se izvajajo v več časovnih obdobjih, ki skupaj tvorijo obdobje enega leta. Simulacije so v tem primeru diskretne, saj se odvisne spremenljivke spreminjajo v določenih časovnih obdobjih. Simulacije za modela M-Prej in M-Potem realiziramo enkratno.

Simulacije smo izvajali v skladu s koraki, opisanimi v poglavju 4.1, ki so potrebni pri korektni izvedbi simulacij kot raziskovalne metodologije.

Tako smo v prvem koraku definirali cilje, vsebine in potrebe. Pojav smo preučevali z namenom preverjanja hipoteze, da *»optimizacija procesa razreza vključno z mejnimi procesi lahko prinese nižje stroške kot samo optimizacija algoritmov za izdelavo načrta razreza«*. Vire podatkov smo si zagotovili pri slovenskem trgovskem in proizvodnem podjetju, ki je vodilno na trgih s tehničnim blagom na področju jugovzhodne Evrope in kjer se ena izmed divizij podjetja ukvarja tudi z razrezom kovinskih materialov.

V drugem koraku smo se lotili identifikacije in zbiranja potrebnih vhodnih podatkov, kar je natančneje opisano v podpoglavju 2.3.2.

V tretjem koraku smo gradili model in določali meje in omejitve sistema, kar je opisano v prejšnjem podpoglavju 2.3.4.

V četrtem koraku smo simulacijski model ovrednotili z uporabo grafičnega prikaza modela, ki je prikazan na Slikah 12 in 13. Tega so ovrednotili poznavalci realnega sistema, ki so ocenili, da je model sistema in njegovo obnašanje v skladu z delovanjem realnega sistema. V tem primeru so bili kot poznavalci realnega sistema vključeni zaposleni v preučevanem podjetju, natančneje vodja proizvodnje in planerji, ki so med drugim zadolženi za izdelavo načrta razreza. Nadalje smo model ovrednotili s pomočjo sledenja entitetam v modelu, s katerimi smo preverili ustreznost logike modela. Vse opisane tehnike vrednotenja smo opravili na obeh modelih, tako na modelu M-Prej kot na modelu M-Potem.

V petem in šestem koraku smo izvedli simulacije in opravili analizo in interpretacijo rezultatov, kar opisujemo v tem poglavju.

Na podlagi primerjave rezultatov simulacij obeh procesov je bila opravljena analiza učinkovitosti prenove procesa. Z analizo procesa M-Potem smo kvantificirali različne tipe stroškov, ki nastanejo z izvajanjem procesa, da bi jih lahko primerjali s stroški neuporabnega ostanka.

Pri izvajanju simulacij smo za uporabljeno opremo predpostavili linearno stopnjo amortizacije z dobo amortizacije deset let. Število zaposlenih se je v oddelkih logistike in proizvodnje povečalo zaradi prenove procesov in povečanega povpraševanja. Tako je bilo v obdobju simulacije M-Prej na različnih delih procesa

vključenih 41 zaposlencev, v obdobju simulacije M-Potem pa 56 zaposlencev. Obdobje simulacij je bilo v obeh primerih eno leto. Pri porazdelitvi časov aktivnosti v proizvodnji smo uporabil lognormalno porazdelitev, saj je dovolj prilagodljiva verjetnostna porazdelitev za modeliranje proizvodnih časov (Graham, Smith & Dunlop, 2005). Število ponovitev procesa v simulacijah je bilo določeno na podlagi mesečnega prometa, ki sem ga dobil od preučevanega podjetja.

Tabela 2: *Rezultati simulacije*

Podatek	M-Prej (2004)	M-Potem (2006)	Indeks rasti 04/06
Število naročil	7.638	25.302	331
Naročila na zaposlenega	196	452	231
Stroški dela	429.016 EUR	762.883 EUR	178
Oprema za razrez (letni stroški)	317.436 EUR	505.253 EUR	159
Oprema pri logistiki (letni stroški)	44.271 EUR	73.331 EUR	166

Vir: *Erjavec et al. (2009).*

V Tabeli 2 so prikazani osnovni rezultati simulacije za modela M-Prej in M-Potem ter njihova primerjava, ki je prikazana z indeksi rasti. Kot je razvidno, se je število naročil med obema obdobjema zvišalo kar za 231 %. Te rasti seveda ni mogoče pripisati zgolj prenovi procesa razreza, temveč tudi drugim dejavnikom (denimo učinkovitejšemu trženju). Po drugi strani pa so se skupni stroški dela zvišali zgolj za 78 %, skupni stroški opreme pa za 59 % (razrez) oziroma 66 % (logistika). Hkrati se je število obdelanih naročil na zaposlenega zvišalo za 131 %.

Rezultati v Tabeli 2 torej kažejo na to, da je prenova procesa razreza vključno z mejnimi procesi bistveno pripomogla k višji učinkovitosti procesa razreza. Hkrati s prenovo procesa so bile identificirane tudi informacijske potrebe, kar je vodilo do združevanja informacijskih sistemov. Zaradi boljše pretočnosti procesa na ostalih delih je bilo treba v proizvodnji dokupiti ter modernizirati opremo ter na posameznih delih procesa zaposliti nove delavce.

Tabela 3: Primerjava transakcijskih statistik (v urah) med modeloma M-Prej in M-Potem

	Povp. čas procesa	Std. odklon: proces	Povp. čas dela	Std. odklon: delo	Povp. čas čakanja	Std. odklon: čakanje
M-Prej	5,11	1,29	4,27	1,00	0,84	0,77
M-Potem	2,78	0,86	2,59	0,52	0,19	0,67
M-Prej logistika	2,13	0,95	1,54	0,71	0,59	0,62
M-Potem logistika	0,83	0,36	0,77	0,36	0,05	0,06
M-Prej proizvodnja	2,22	0,60	2,06	0,55	0,17	0,25
M-Potem proizvodnja	1,78	0,73	1,64	0,28	0,14	0,67
M-Prej prodaja	0,20	0,04	0,20	0,04	0,00	0,00
M-Potem prodaja	0,20	0,04	0,20	0,04	0,00	0,00
M-Prej nabava	0,63	0,23	0,54	0,10	0,09	0,20

Vir: Erjavec et al. (2009).

Primerjava transakcijskih statistik simulacij obeh modelov potrjuje uvodno trditev v prejšnjem odstavku. V Tabeli 3 so prikazani povprečni čas trajanja procesa, povprečni čas dela v posameznem procesu ter povprečni čas čakanja posameznega procesa. Poleg so navedeni tudi standardni odkloni za vsako izmed treh kategorij. Povprečni čas trajanja procesa je čas, ki je potreben za procesiranje ene transakcije (naročila) od začetka do konca procesa, vendar ne vključuje neaktivnega časa¹³. Povprečni čas dela je čas, v katerem je posamezna transakcija aktivno vključena v proces, medtem ko je povprečni čas čakanja čas, ko transakcija znotraj procesa čaka na razpoložljive vire. Po prenovi procesov so se vse aktivnosti, povezane s procesom razreza, z nabavnega oddelka preselile na proizvodni oddelok, zato transakcijskih statistik za nabavni oddelok v modelu M-Potem nisem izračunal in jih ni v tabeli.

Kot je razvidno iz rezultatov v Tabeli 3, se je trajanje celotnega procesa skoraj prepolovilo. Nižje so tudi variabilnosti povprečnega časa procesa, povprečnega časa dela in povprečnega časa čakanja na ravni celotnega procesa (pri povprečnem času dela se je variabilnost celo prepolovila). Boljše delovanje oddelka

¹³ Neaktivni čas je čas, ko posamezna transakcija v procesu čaka, ker se proces ne izvaja. To se dogaja denimo izven delovnega časa podjetja.

za logistiko (prepolovitev povprečnega časa dela in variabilnosti dela) je eden izmed glavnih dejavnikov pri doseganju tega rezultata. Rezultat na ravni celotnega procesa je zelo pomemben z vidika izboljševanja storitev do strank, kjer sta dva pomembna dejavnika trajanje in zanesljivost dobave (Denton, Diwakar & Jawahir, 2003).

Po posameznih oddelkih je najopaznejši rezultat že omenjeno bistveno skrajšanje povprečnega časa procesa ter njegove variabilnost v oddelku logistike. Zanimivo je tudi zvišanje variabilnosti čakanja v oddelku proizvodnje, kar lahko pojasnimo z bistvenim povišanjem števila naročil v primerjavi z razpoložljivo opremo in številom zaposlenih (glej Tabelo 2). Kljub višji variabilnosti na tem oddelku pa je skupna variabilnost procesa še vedno nižja, kar omogoča hitrejšo in zanesljivejšo storitev, znižanje variabilnosti pa je ključno za finančno uspešnost poslovanja (Christensen, Germain & Birou, 2007).

Najbolj je torej k izboljšanju učinkovitosti procesa pripomogla optimizacija procesov v logistiki, vendar gre rezultate bolje optimizirane logistike iskati drugje in ne na oddelku logistike. Na podlagi učinkovitejšega načrtovanja razreza in obdelave naročil je bilo namreč potrebnih manj premikov materiala, hkrati pa so se povečale tudi količine hkrati premaknjene materiala.

Zaradi optimizacije procesa se je poleg časovne učinkovitosti izboljšala tudi stroškovna učinkovitost, kar je razvidno iz Tabele 4. Povprečni stroški na razrez so se tako skoraj prepolovili. K temu so prispevali tako stroški dela, ki so se znižali za 43 %, kot stroški opreme, ki so se znižali za 51 %.

Tabela 4: *Primerjava povprečnih stroškov na razrez med modeloma M-Prej in M-Potem*

Tip resursa	Povprečni stroški na razrez v modelu M-Prej (v EUR)	Povprečni stroški na razrez v modelu M-Potem (v EUR)
Delo	52,4	30,1
Oprema	47,0	22,9
Skupaj	99,4	53,0

Vir: Erjavec et al. (2009).

Na podlagi tega dela analize lahko zaključimo, da so v podjetju s prenovo procesov dosegli bistveno večjo učinkovitost procesa razreza, ki se kaže v bistveno krajših pretočnih časih in skoraj prepolovljenih stroških enega razreza, kljub dodatni opremi in novim zaposlenim v procesu. Uporabljeni pristop pa omogoča tudi oceno stroškov po posamezni aktivnosti oziroma po posameznem delu procesa, kar prikazujem v Tabeli 5.

Tabela 5: *Rezultati simulacij za model M-Potem*

Tip stroška	Povprečni stroški opreme (v EUR)	Povprečni stroški dela (v EUR)	Povprečni skupni stroški (v EUR)
Proizvodnja – Razrez	20,80	16,71	37,51
Logistika – Premik materialov iz oddaljenega skladišča	3,57	7,09	10,67
Proizvodnja – Načrtovanje proizvodnje	0,00	5,07	5,07
Logistika – Premik materialov iz bližnjega skladišča	0,97	1,92	2,89
Prodaja – Izdelava naročila za proizvodnjo	0,00	1,78	1,78
Logistika – Vrnitev delno uporabljenega materiala v skladišče	0,29	0,58	0,87
Logistika – Dostava proizvodov v oddelek za odpremo	0,26	0,52	0,78
Logistika – Odprema neuporabnega ostanka	0,19	0,39	0,58
Proizvodnja – Merjenje in označevanje proizvodov in neuporabnega ostanka	0,00	0,56	0,56
Proizvodnja – Preverjanje naročil med operativnim načrtovanjem proizvodnje	0,00	0,51	0,51
Prodaja – Proizvod na zalogi?	0,00	0,18	0,18
Prodaja – Prejem naročila	0,00	0,18	0,18
Proizvodnja – Izdelava dokumentacije	0,00	0,17	0,17

Vir: *Erjavec et al. (2009).*

Prikazane stroške je mogoče neposredno primerjati s povprečnimi stroški neuporabnega ostanka, ki nastanejo ob enem razrezu. Vsota stroškov po posameznih

aktivnostih se nekoliko razlikuje od povprečnih stroškov na razrez, prikazanih v Tabeli 4. Razlog za to je, da so bila nekatera naročila na določenih mestih v procesih združena ali pa niso sledila istemu poteku skozi proces.

Da bi lahko primerjali stroške posameznih aktivnosti procesa s stroški neuporabnega ostanka, je bilo treba slednje oceniti. Ker v podjetju neuporabnega ostanka v obdobju pred prenovo niso evidentirali, ocena za to obdobje ni bila možna, zato tudi ne vključujemo stroškov po aktivnostih za obdobje pred prenovo. Za obdobje po prenovi pa so bili stroški neuporabnega ostanka kumulativno evidentirani na letni ravni, zato smo stroške povprečnega neuporabnega ostanka izračunali kot količnik letnih stroškov neuporabnega ostanka in števila razrezov oziroma naročil. Izračunani povprečni stroški neuporabnega ostanka znašajo v obdobju po prenovi procesa razreza 90,3 EUR. Na podlagi izračuna je možna primerjava s posameznimi aktivnostmi in povprečnimi stroški procesa.

Povprečni stroški procesa na razrez so se po prenovi skoraj prepolovili (z 99,4 EUR na 53,0 EUR), kar pomeni, da bi morali trenutne stroške neuporabnega ostanka na razrez, ki znašajo 90,3 EUR, znižati za okoli 50 %, če bi želeli doseči podobne učinke.

Prav tako moramo poudariti, da je predlagan pristop uporaben v kateri koli panogi ne glede na tip obravnavanega materiala, vendar pa je od vrednosti materiala odvisno, ali je pristop stroškovno učinkovit v primerjavi z optimizacijo stroškov neuporabnega ostanka. Nižja kot je vrednost materiala na enoto (ob predpostavki enakega odstotka neuporabnega ostanka), večja je primernost v tem poglavju predstavljenega pristopa.

Na podlagi zgornjega zaključujemo, da je predstavljeni pristop primeren za ocenjevanje prihrankov na podlagi prenove procesa razreza v primerjavi z stroški neuporabnega ostanka. V predstavljenem primeru so stroški dela in stroški opreme, uporabljeni v procesu razreza, enakega velikostnega reda kot stroški neuporabnega ostanka, kar potrjuje pomembnost njihove optimizacije v primerjavi z optimizacijo neuporabnega ostanka. Z opravljeno analizo lahko potrdimo hipotezo, da *»optimizacija procesa razreza vključno z mejnimi procesi lahko prinese nižje stroške kot samo optimizacija algoritmov za izdelavo načrta razreza.«*

Prenova procesa razreza ter posledično združitev informacijskega sistema torej vodita do pomembnih izboljšav:

- **nižji stroški na razrez**, katerih znižanje je znatno v primerjavi z morebitnimi prihranki zaradi optimizacije algoritmov za razrez,
- **krajši pretočni časi**, kar zagotavlja hitrejšo odzivnost podjetja ter višjo stopnjo prilagodljivosti,
- **nižja variabilnost procesa**, kar pripomore k lažjemu načrtovanju in boljši odzivnosti celotnega procesa,
- **analiza procesa ter merjenje stroškov po aktivnostih**, ki omogočata nadaljnje izboljšave in optimizacijo skladno s konceptom BPM.

Rezultati simulacij prav tako omogočajo oceno stroškov priprave proizvodnje in stroškov ponovne uporabe materiala. Ti podatki so ključni kot vhodni podatki za nekatere optimizacijske metode (Trkman & Gradišar, 2007) in vključujejo ponovno uporabo materiala kot pristop k nižanju stroškov neuporabnega ostanka. Tak pristop omogoča tudi boljšo izbiro spodnje meje, kjer se material še obravnava kot uporabni ostanek.

Pomemben prispevek pristopa pa je tudi organiziranost postavitve proizvodnih zmogljivosti in skladišč pri ocenjevanju stroškov. V predstavljenem primeru je material v dveh različnih skladiščih. Stroški premika materiala iz oddaljenega skladišča (10,67 EUR) vidno presegajo stroške premika materiala iz bližnjega skladišča (2,89 EUR). To odpira nove raziskovalne možnosti med povezanostjo stroškov neuporabnega ostanka in stroškov skladiščenja, o čemer bo beseda v nadaljevanju.

S študijo primera smo utemeljili primernost pogleda na razrez kot del poslovnega procesa, saj je v študiji primera dokazano, da obravnavanje razreza kot poslovnega procesa ter njegova prenova znatno znižata stroške procesa in skrajšata pretočne čase. Ti prihranki so lahko znatno višji od prihrankov, ki jih lahko dosežemo z iskanjem algoritmov za optimalen razrez. Krajši pretočni časi pomenijo hitrejši obrat zalog, kar pomeni, da so zaloge lahko nižje. V primeru nižjih zalog se znižajo tudi stroški skladiščenja, povečajo pa se stroški naročil, saj so ta pogostejša (Waters, 2003).

V naslednjem poglavju prikazujemo, kako obravnavanje razreza kot poslovnega procesa v delu oskrbovalne verige (in posledično obravnava stroškov neuporabnega ostanka) vpliva na poslovanje podjetja, natančneje na optimizacijo zalog.

3 VPLIV ZALOG NA RAZREZ MATERIALA

V uvodnem poglavju je predstavljeno področje razreza materiala ter možne razširitve konteksta obravnavane tematike. Tako smo v drugem poglavju pogled na razrez materiala razširili na procesni vidik, ga preučevali kot del poslovnega procesa in z uporabo študije primera analizirali ter podali izhodišča za nadaljnje raziskovalno delo. V tem poglavju pa bom pokazali, kako procesni vidik razreza odpre nova raziskovalna vprašanja, povezana z managementom oskrbovalne verige, natančneje z managementom zalog. S tem bomo preučili tudi obstoječe stanje na področju algoritmov za reševanje problema razreza v povezavi s področjem teorije zalog.

Management oskrbovalne verige je bil prvič definiran v 80. letih prejšnjega stoletja, ko se je koordinacija posameznih tokov (sprva zgolj materialnih, kasneje pa tudi finančnih, informacijskih) med posameznimi funkcijami v podjetjih in med podjetji samimi zaradi svoje kompleksnosti začejala smatrati kot izziv vrhnjega managementa (Oliver & Webber, 1982). Pred tem so se različni avtorji ukvarjali s preučevanjem koordinacije aktivnosti med posameznimi podjetji in njihovimi funkcijskimi enotami, vendar nikoli celovito, kot sta to pričela zgornja avtorja. V raziskovanje so bila vključena področja, kot so logistika, marketing, teorija organizacije, operacijski management in operacijske raziskave (Ganeshan, Jack, Magazine & Stephens, 1998).

Za management oskrbovalne verige je bilo v njegovem razvoju podanih veliko definicij. V nedavni raziskavi (Stock, Boyer & Harmon, 2010) so avtorji na podlagi analize različnih prispevkov s področja managementa oskrbovalne verige identificirali 166 različnih definicij, kot najširše uporabljeno pa navajajo definicijo združenja Council of Supply Chain Management Professionals, ki se glasi: *»Management oskrbovalne verige obsega planiranje in management vseh aktivnosti, povezanih z dobavo, nabavo, pretvorbo in logistiko. Pomembneje, vključuje tudi koordinacijo in sodelovanje partnerjev v dobavnem kanalu, ki so lahko dobavitelji, posredniki, specializirani ponudniki logističnih storitev in stranke. V osnovi management oskrbovalne verige integrira management ponudbe in povpraševanja znotraj podjetij in med podjetji« ... »Vključuje management vseh omenjenih logističnih aktivnosti kot tudi proizvodnih aktivnosti. Skrbi za*

koordinacijo procesov in aktivnosti med marketingom, prodajo, načrtovanjem proizvodov, financami in informacijsko tehnologijo».

Iz zgornje definicije je razvidno, da management oskrbovalne verige obsega veliko različnih področij ter vključuje različne poslovne funkcije v podjetjih. Osnovo managementa oskrbovalne verige tvorijo logistika, marketing, operacijske raziskave, teorija organizacije, nabava in dobava. Hkrati management oskrbovalne verige zagotavlja integracijo in koordinacijo informacijskih, materialnih in finančnih tokov, kar zagotavlja boljše storitve, zadovoljnejše kupce in večjo konkurenčnost ne samo posameznih podjetij, temveč celotnih oskrbovalnih verig (Stadtler, 2008). Heterogenost področij, ki jih management oskrbovalne verige obsega, povzroča fragmentacijo ter onemogoča enotno opredelitev raziskovalnega področja (Storey, Emberson, Godsell & Harrison, 2006).

Zaradi hitrega razvoja ter aktualnosti področja so različni avtorji (Burgess, Singh & Koroglu, 2006; Groznik & Trkman, 2009; Stock et al., 2010; van Donk, 2008) mnenja, da je nabor raziskovalnih vprašanj na področju managementa oskrbovalne verige, kar vključuje tudi management zalog, vedno širši. Tako je zmanjševanje stroškov zalog kot dela managementa zalog ena izmed desetih glavnih prednosti, ki jih prinese strateški management oskrbovalne verige, zato je to pomembno pri nadaljnjih raziskovalnih naporih (Fawcett, Magnan & McCarter, 2008). Kljub temu da je zmanjševanje stroškov glavni motivator sodelovanja med udeleženci oskrbovalne verige, pa si managerji s strateškega vidika prizadevajo za višje zadovoljstvo kupcev in boljšo kakovost storitev, kar je omogočeno tudi na podlagi boljšega managementa zalog (Fawcett et al., 2008). Ravno tako se morajo raziskave v okviru managementa oskrbovalne verige v prihodnosti med drugim osredotočati tudi na materialne tokove in minimiziranje stroškov ter njihovo optimizacijo (Stock et al., 2010).

Na podlagi zgornjih smernic, ki jih podajajo različni avtorji, ugotavljamo, da raziskovanje razreza materiala v okviru področja managementa oskrbovalne verige oziroma natančneje managementa zalog lahko pomembno pripomore k razreševanju aktualnih raziskovalnih vprašanj na omenjenih področjih. V naslednjem poglavju predstavljamo osnovne predpostavke managementa zalog.

3.1 Osnovni pojmi in predpostavke, povezane z managementom zalog

Zaloga je »določena količina česa, ki se hrani, da je na razpolago za uporabo v daljšem časovnem obdobju«, oziroma je zaloga »količina, množina določene vrste blaga, materiala v skladišču, prodajalni, namenjena, pripravljena za prodajo, proizvodnjo« (Slovar slovenskega knjižnega jezika, 2008).

Iz zgornje definicije, ki je za potrebe te monografije nekoliko skopa, je razviden osnovni namen zalog, zato v nadaljevanju pojem zalog najprej pojasnjujemo nekoliko podrobneje.

S pojmom zalog v podjetjih lahko označimo različne elemente, uporabljene pri oblikovanju končnih izdelkov. Tako poznamo več tipov zalog. Prvi tip so zaloge surovin in materialov, namenjenih za nadaljnjo predelavo. Drugi tip so zaloge polizdelkov, ki so namenjene nadaljnji obdelavi ali pa služijo kot deli pri sestavljanju kompleksnejših proizvodov. Tretji tip zalog so dokončani proizvodi, ki so namenjeni prodaji, četrti tip zalog pa proizvodi, ki so jih kupci vrnili, vendar so kljub temu primerni za nadaljnjo prodajo (Waters, 2003). V povezavi s problemom razreza pa je treba izpostaviti tudi morebitne zaloge odpadnih materialov, ki so pomembne pri razrezu in nastajajo v primeru, da se neuporabni ostanki v podjetju za določen čas skladiščijo. V skladu z različnimi tipi zalog so lahko zaloge v različnih delih podjetja: v skladiščih, v proizvodnji, v prodajalnah ali pa v tranzitu.

Pojem zalog se lahko uporablja tudi za zaloge različnih znanj v podjetjih (Miller, 2002), ki pa niso povezane z vsebino te monografije, zato se bomo v nadaljevanju omejili zgolj na fizične zaloge v podjetjih, izvzemamo pa zaloge znanj.

Zaloge v podjetjih so smiselne, saj se z njimi blažijo razlike med ponudbo in povpraševanjem, ki nastajajo zaradi različnih vzrokov, med katerimi sta najpomembnejša nepopolnost informacij ter ekonomije obsega (Waters, 2003). Nepopolne informacije v praksi pomenijo negotovo povpraševanje in negotovo dobavo. V povezavi z nepopolnostjo informacij se podjetja soočajo z negotovostjo povpraševanja in dobav, kar v praksi pomeni, da morajo imeti zaloge na eni strani zaradi morebitnih presežkov načrtovanega povpraševanja, na drugi strani pa

zaradi negotovosti dobav svojih dobaviteljev, kar lahko povzroči nezmožnost ustvarjanja lastnih izdelkov.

Eden ključnih kriterijev pri določanju višine zalog je torej negotovo povpraševanje. Poznamo različne načine napovedovanja povpraševanja (kvalitativni ali kvantitativni; Chopra & Meindl, 2007), ki podajo verjetnostno razporeditev prihodnjega povpraševanja. V okviru te monografije se zaradi obsežnosti tematike z izdelavo modela napovedovanja povpraševanja ne ukvarjamo, temveč bo v modelu podana predpostavka o verjetnostni razporeditvi prihodnjega povpraševanja.

Ko se v podjetjih odločajo, kakšno višino zalog posameznega blaga bodo imeli, se odločajo na podlagi različnih kriterijev. Pri tem morajo odgovoriti na tri pomembna vprašanja (Waters, 2003).

1. Kaj in koliko imeti na zalogi?
2. Kdaj naročiti?
3. Koliko naročiti?

Poleg zgornjih vprašanj so seveda pomembna tudi druga, kot na primer kolikšna naj bo povprečna zaloga, koliko je še sprejemljiva višina stroška financiranja zalog, kako pogosto se bodo pojavili primanjkljaji zalog itd., vendar pa v praksi odgovori na vsa dodatna vprašanja izhajajo iz prvih treh. Eden izmed najbolj razširjenih modelov za odgovor na zgornja tri vprašanja je model optimalnega obsega naročila (angl. *economic order quantity – EOQ*) (Schwarz, 2008), ki ga predstavljamo v poglavju 3.3.

Zaloge v podjetjih so zaradi omenjenih razlogov pomemben element poslovanja, ki se mu v večini primerov ni mogoče izogniti. Z njimi pa so povezani različni stroški, ki jih podjetja poskušajo na različne načine minimizirati oziroma se jim izogniti. Različne tipe stroškov, povezanih z zalogami, predstavljamo v naslednjem podpoglavju.

3.1.1 Stroški, povezani z zalogami

Pod stroške zalog tradicionalno štejemo (Waters, 2003):

- stroške nakupa zalog,
- stroške naročanja,
- stroške držanja zaloge oziroma stroške skladiščenja,
- stroške neizpolnitve naročila zaradi prenizkih zalog.

Ta razširjena opredelitev stroškov izhaja iz modela optimalnega obsega naročila blaga (Harris, 1913; Wilson, 1934), ki je vseboval prve tri tipe stroškov in bil kasneje razširjen še s stroški neizpolnitve naročila.

Stroški nakupa zalog so povezani z nakupom zalog in vključujejo ceno enot na zalogi. Cene se lahko v času spreminjajo, zato ima lahko podjetje na zalogi več enakih enot, ki pa so bile kupljene po različnih cenah. Stroške nakupa lahko podjetje oceni tudi za enote, ki jih je proizvedlo samo. Stroški nakupa zalog vplivajo predvsem na vrednotenje zalog, s čimer pa se v monografiji neposredno ne ukvarjamo, zato jih v nadaljevanju ne upoštevamo.

Stroški naročanja so povezani z naročilom določene količine materiala ali izdelkov, ki ga bo podjetje imelo na zalogi. Med drugim gre za stroške administracije naročila, prejema naročila, transporta, nadzora, sortiranja ipd. Odvisni so lahko od izbranega modela naročanja, različnih količinskih popustov, ki se pojavljajo z rastjo naročil (Matsuyama, 2001), ali začasnih popustov, ki jih dobavitelj uvede zaradi različnih razlogov, povezanih z lastnim poslovanjem (Sarker & Al Kindi, 2006).

Stroški držanja zaloge oziroma stroški skladiščenja se izračunavajo za določeno obdobje, vključujejo pa lahko stroške skladiščenja, financiranja zalog, zavarovanja, interne manipulacije (Holsenback & McGill, 2007). Najpogosteje se računajo na letni ravni, in sicer v odstotkih vrednosti zaloge (Murphy & Wood, 2008). Višja kot je torej vrednost enote na zalogi, višji bodo absolutni stroški držanja te enote na zalogi. Stroški držanja enote na zalogi so lahko v času konstantni ali pa variabilni (Alfares, 2007; Muhlemann & Valtis-Spanopoulos, 1980). V preteklosti je že veliko različnih avtorjev ocenjevalo odstotno stopnjo za računanje stroškov držanja zaloge, za katero so ugotovili, da se lahko giblje med 12 % in

34 % (Stock & Lambert, 2000). Empirične raziskave so pokazale, da se lahko odstotna stopnja povzpne tudi do 55 %, eden izmed glavnih razlogov pa je trajnost dobrin na zalogi (Richardson, 1995). Če imajo zaloge časovno omejeno trajanje (nekaj dni ali nekaj tednov), se lahko stroški držanja zalog povzpnejo tudi nad 50 %, vendar pa večina podjetij ne spremlja stroškov zalog. V praksi namreč zgolj dobra polovica podjetij ocenjuje stroške držanja zalog, hkrati pa v okoli 20 % podjetja stroškov držanja zalog sploh niso sposobna oceniti (Harding, 2005).

Stroški neizpolnitve naročila pa nastanejo, ko zaradi premajhnih zalog podjetje ni sposobno zadostiti povpraševanju po svojih izdelkih. V tem primeru govorimo o oportunitetnih stroških morebitne izgube sedanje in prihodnje prodaje. Lahko gre za premajhne zaloge v katerem koli delu proizvodnega ali storitvenega procesa. Zmanjka lahko zalog končnih proizvodov, vmesnih proizvodov ali pa osnovnih surovin, potrebnih za izdelavo končnega proizvoda. Stroške neizpolnitve naročila je zelo težko oceniti, saj so odvisni od obnašanja kupcev, pri katerih je treba oceniti, kako bo neizpolnitev naročila vplivala na njihovo nakupno obnašanje v prihodnosti. Pri izračunu teh stroškov se je torej treba nasloniti na ocene verjetnosti različnih možnih odzivov kupcev (Walter & Grabner, 1975). Ločimo med različnimi odzivi kupcev, ki lahko naročilo odložijo, prekličejo, se odločijo za nakup nadomestka pri istem podjetju ali pa odidejo h konkurentom (Fitzsimons, 2000). Pomembna dimenzija pa je tudi časovna komponenta oziroma vedenje kupcev pri nakupih v prihodnosti. Zaradi neizpolnitve naročila lahko kupci v prihodnje del ali pa celotne nakupe opravijo pri konkurenci (Anderson, Fitzsimons & Simester, 2006). Zaradi neizpolnitve naročila lahko proizvajalci v dobavni verigi izgubijo tudi več kot polovico nadaljnjega povpraševanja (Dion, Hasey, Dorin & Lundin, 1991), pri prodajalcih izdelkov za končno potrošnjo pa ta vrednost dosega do 14 % (Emmelhainz, Emmelhainz & Stock, 1991). Te izgube pa se ne nanašajo samo na konkretno naročilo, temveč tudi na prihodnja naročila, neodvisno od tipa naročenega proizvoda.

Vendar pa prihaja v zadnjem desetletju do sprememb pri pogledu na obravnavanje stroškov neizpolnitve in vzrokov za njihov nastanek med podjetji v oskrbovalnih verigah. To se dogaja zaradi rasti pomena oskrbovalnih verig in potrebe po sodelovanju podjetij znotraj verig (Fynes, Voss & Burca, 2005). S tem se

ustvarjajo konkurenčne prednosti na ravni celotne oskrbovalne verige ter prenos konkurence med podjetji na konkurenco med oskrbovalnimi verigami (Trkman et al., 2007). Za uspešno in konkurenčno delovanje oskrbovalne verige je ključna izmenjava informacij med posameznimi členi verige (Ha & Tong, 2008), kar potrjujejo različni avtorji (Trkman, Indihar Štemberger & Jaklič, 2005). Da pa do tega lahko pride, so potrebne investicije v sisteme za izmenjavo informacij (Zhou & Benton, 2007), kar med podjetji učvrsti sodelovanje, zato redkeje prihaja do menjav dobaviteljev. Nekatera podjetja pa poskušajo tveganje neizpolnitve naročil zmanjšati tako, da sodelujejo z različnimi dobavitelji (Kelle & Miller, 2001). Zanesljivost dobave in z njo povezana neizpolnjena naročila so eno izmed pomembnejših meril pri ocenjevanju dobaviteljev (Simpson, Siguaw & White, 2002), kar potrjuje tudi pregled relevantne literature v zadnjem desetletju (Ho, Xu & Dey, 2010). Raziskava (Primo, Dooley & Rungtusanatham, 2007) je pokazala, da neizpolnitev naročila zmanjša zadovoljstvo podjetja z dobavitelji ter negativno vpliva na boniteto podjetja, hkrati pa pravočasno obveščanje in iskanje rešitev ob neizpolnitvi večja zadovoljstvo podjetja z dobavitelji oziroma pozitivno vpliva na boniteto podjetja.

3.1.2 Zaloge v povezavi z načinom izpolnjevanja naročila

Pri določanju višine zalog je pomemben tudi način izpolnjevanja naročila. Ena izmed petih konfiguracijskih komponent strateškega managementa oskrbovalne verige je tudi operativna strategija, ki določa tip proizvodnje v podjetju z vidika, kdaj proizvajati glede na prejem naročila (S. Cohen & Roussel, 2004). Poznamo štiri tipe proizvodnje glede na način izpolnjevanja naročila (S. Cohen & Roussel, 2004):

- proizvodnja po naročilu,
- proizvodnja na zalogo,
- razvoj po naročilu,
- prilagoditev po naročilu.

Zgornji tipi proizvodnje se uporabljajo skladno s strategijama potiska ali potega, ki sta podrobneje opisani v poglavju 2.3.1. Tako se pri strategiji potiska uporablja proizvodnja na zalogo, ostali trije tipi pa se uporabljajo pri strategiji potega.

Od tipa proizvodnje je odvisen tudi management zalog. Ker se razrez uporablja v številnih industrijskih panogah, ni mogoče enoznačno opredeliti, za kakšen tip proizvodnje gre pri razrezu na splošno. Iz pregleda literature v prvem poglavju je razvidno, da se predvsem pri enodimenzionalnem razrezu najpogosteje uporablja proizvodnja po naročilu, saj večina avtorjev predpostavlja dano zalogo ob prispelih naročilih, kar pomeni, da podjetja režejo material šele takrat, ko dobijo naročilo. Na drugi strani lahko redke primer proizvodnje na zalogo v proizvodnih procesih, kjer se uporablja razrez materiala, najdemo denimo v Alem et al. (2008). Tip proizvodnje po naročilu je uporabljen tudi v prikazani študiji primera v drugem poglavju, hkrati pa ga uporabljamo tudi v modelu kontinuiranega procesa razreza, ki ga predstavljamo v četrtem poglavju, zato v nadaljevanju nekoliko podrobneje predstavljamo proizvodnjo po naročilu.

Proizvodnja po naročilu na splošno pomeni proizvodnjo takrat, ko se podjetje na podlagi znanega naročila odloči za proizvodnjo oziroma sestavljanje končnih proizvodov. Poznamo različne variante proizvodnje po naročilu, in sicer poleg osnovnih še sestavljanje po naročilu (angl. *assemble-to-order*), kjer iz zaloge osnovnih elementov podjetje ob prejemu naročila sestavi končni proizvod (Song & Zipkin, 2003), in izgradnjo po naročilu (angl. *build-to-order*) (Gunasekaran & Ngai, 2005). Proizvodnja po naročilu pomeni uravnoteženje nižjih zalog proizvodov na eni strani in višjih stroškov fleksibilnosti in proizvodnje na drugi strani (Reichhart & Holweg, 2008). Proizvodnja po naročilu torej ne pomeni, da podjetje v nobenem primeru nima zalog končnih proizvodov, temveč da so te zaloge tako nizke, da samo z njimi ne morejo zadostiti prihodnjemu povpraševanju, oziroma so to zgolj zaloge, ki nastajajo ob izpolnjevanju že znanega naročila. Cilj mnogih uspešnih podjetij je masovno prilagodljiva proizvodnja, zato si podjetja prizadevajo za fleksibilne in odzivne oskrbovalne verige, kjer proizvajajo po naročilu (Gunasekaran & Ngai, 2005). V zadnjih letih je zaznati trend rasti proizvodnje po naročilu v primerjavi s proizvodnjo na zalogo, saj je vedno več izdelkov proizvedenih v oskrbovalnih verigah, kjer posamezni dobavitelji proizvajajo po naročilu (Krajewski, Wei & Tang, 2005). Do enakega zaključka so prišli tudi v nedavni raziskavi (Gunasekaran & Ngai, 2009), v kateri prav tako ugotavljajo, da je eden izmed prihodnjih raziskovalnih izzivov optimizacija materialnih tokov v oskrbovalnih verigah, kjer podjetja proizvajajo po naročilu.

3.2 Pomen obravnavanja razreza materiala v okviru oskrbovalne verige

Na podlagi prenove procesa razreza z mejnimi procesi, obravnavane v drugem poglavju, je eden izmed rezultatov tudi krajšanje pretočnih časov, kar pomeni hitrejši obrat zalog in s tem v zvezi tudi njihovo nižanje.

Ob nižanju zalog pa se pojavi problem učinkovitosti algoritmov za optimizacijo razreza. Gradišar et al. (1999) podajajo za problem enodimenzionalnega razreza dve pomembni ugotovitvi:

- neuporabni ostanek pri razrezu se niža z višanjem razmerja števila palic na zalogi in številom palic v naročilu,
- neuporabni ostanek pri razrezu se niža z višanjem razmerja med dolžinami palic na zalogi in dolžinami palic v naročilu.

Prvo ugotovitev gre pripisati dejstvu, da večja izbira palic na zalogi pomeni več možnih kombinacij za razrez, kar pripomore k izdelavi načrta razreza s čim manjšim neuporabnim ostankom. Potrebna predpostavka je, da se z večanjem števila palic na zalogi veča tudi število njihovih različnih dolžin. Če bi bila na zalogi zgolj ena dolžina palic, se večanje števila palic na zalogi pri manjšanju neuporabnega ostanka ne bi poznalo. V tem primeru bi bila z vidika razreza idealna situacija neskončno velika zaloga različno dolgih palic, saj bi lahko za izpolnitev naročila naredili tak načrt razreza, kjer neuporabnega ostanka ne bi bilo.

Za drugo ugotovitev pa velja, da daljše palice na zalogi lahko razrežemo na več različnih načinov, več možnih kombinacij razreza pa pomeni višjo verjetnost za kombinacijo, ki ima nižji neuporabni ostanek kot v primeru, da so palice na zalogi krajše. Hkrati več kombinacij pomeni tudi večjo verjetnost, da je med kombinacijami tudi taka, ki nima neuporabnega ostanka. Idealna situacija za potrebe izdelave načrta razreza bi v tem primeru bila, če bi na zalogi lahko imeli neskončno dolgo palico.

Oba zgoraj navedena idealna primera (neskončna količina palic na zalogi in neskončno dolga palica na zalogi) v praksi seveda nista mogoča. Tako pri številu palic na zalogi kot pri dolžini palic je podjetje omejeno zaradi različnih dejavnikov,

ki jih navajam v naslednjem podpoglavju. Na tem mestu je pomembno zgolj dejstvo, da je velikost zaloge omejena.

Pri optimizaciji procesov nabave, skladiščenja in proizvodnje na eni strani si torej prizadevamo za krajše pretočne čase in nižje zaloge ter večjo prožnost pri izpolnjevanju naročil, na drugi strani pa z nižjimi zalogami ustvarjamo več neuporabnih ostankov.

Prenova poslovnih procesov posredno vodi do potencialno več neuporabnih ostankov pri razrezu. Na eni strani imamo torej stroške zalog, ki se z nižanjem zalog lahko manjšajo, na drugi strani pa ravno zaradi teh nižjih zalog rastejo stroški neuporabnega ostanka pri razrezu.

V primerih, ko so neuporabni ostanki pomemben strošek, je treba te stroške upoštevati pri minimiziranju celotnih stroškov zalog. Pri tem je treba iskati globalne in ne lokalnih minimumov (Kobayashi, Tamaki & Komoda, 2005), kar v tem primeru pomeni, da ni dovolj, da se minimizirajo le stroški neuporabnega ostanka, temveč mora optimiziranje stroškov neuporabnega ostanka privedi do minimiziranja celotnih stroškov zalog. Nižanje zalog je eden izmed osnovnih ciljev pri managementu oskrbovalne verige, vendar to nižanje ne sme biti na račun višjih skupnih stroškov proizvodnje ali daljših odzivnih časov (Chopra & Meindl, 2007).

3.3 Predlog razširitve modela optimalnega obsega naročila z vključitvijo stroškov neuporabnega ostanka

V povezavi z nekaterimi stroški, povezanimi z zalogami in predstavljenimi v poglavju 3.1.1, je bil že v začetku prejšnjega stoletja razvit model optimalnega obsega naročila (Harris, 1913; Wilson, 1934), ki se v mnogih različicah in razširitvah uporablja še danes. Model je primeren za odgovor na vprašanje optimalnega naročila za en proizvod (Drezner, Gurnani & Pasternack, 1995), kar je še zlasti primerno pri problemu enodimenzionalnega razreza, ko podjetja naročajo en tip palic. Omejitev obstaja pri podjetjih, ki naročajo isti tip palic, vendar različnih dolžin. Težavo lahko zaobidemo tako, da za potrebe uporabe modela EOQ povprečimo dolžine palic ter jih tako pretvorimo v enoten proizvod.

V tem poglavju najprej predstavljamo osnovni model optimalnega obsega naročila z nekaterimi najpogostejšimi razširitvami, nato pa podajamo predlog razširitve osnovnega modela s stroški neuporabnega ostanka.

3.3.1 Model optimalnega obsega naročila

Model optimalnega obsega naročila odgovarja na vprašanje, kdaj in koliko naročiti, da bodo celotni stroški zalog čim nižji. Kot je bilo že navedeno, je bil osnovni model razvit v začetku 20. stoletja, še vedno pa se v mnogih različicah uporablja za reševanje sodobnih problemov. Opis osnovnega modela optimalnega obsega naročila povzemamo po Waters (2003), Chopra & Meindl (2007) in Schwarz (2008).

Stroški, vključeni v osnovni model, so stroški skladiščenja, stroški naročanja in stroški enote na zalogi, ki so podrobneje predstavljeni v poglavju 3.1.1. V idealnem primeru bi ob stroških skladiščenja nič podjetje lahko imelo neskončne zaloge, ob stroških naročila nič pa bi podjetje lahko naročalo minimalne količine v minimalnih intervalih. Ker take situacije v praksi niso mogoče, je treba ugotoviti, pri kateri velikosti naročila bodo skupni stroški minimalni. Ta problem ob določenih omejitvah oziroma predpostavkah rešuje model optimalnega obsega naročila.

Predpostavke osnovnega modela optimalnega obsega naročila so:

- znano povpraševanje, ki je v času konstantno,
- znani stroški, ki so v času konstantni,
- dobavni čas je nič,
- primanjkljaji zalog niso dovoljeni,
- vsako naročilo je dostavljeno z eno dobavo,
- nabavna cena je konstantna ne glede na naročeno količino.

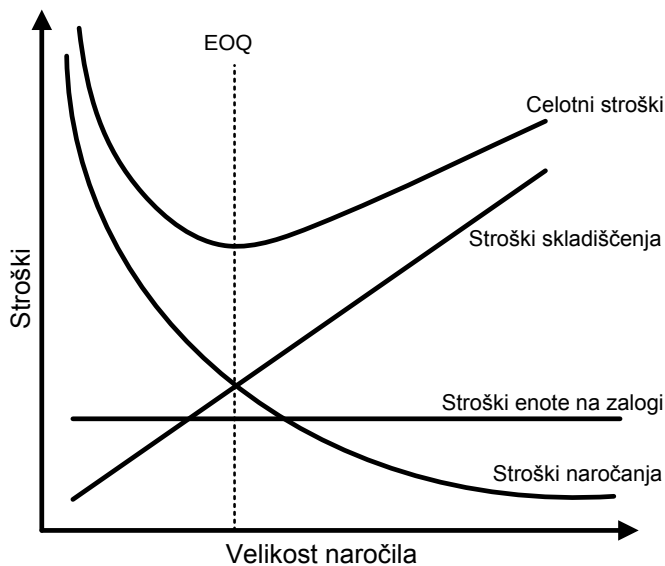
Stroški enote na zalogi so v osnovnem modelu konstantni, saj podjetje plača enako ceno za vse enote, ki jih nabavi. Kasneje bomo ob razlagi razširjenih modelov optimalnega obsega naročila utemeljili smiselnost vključitve stroškov enot na zalogi, ki v osnovnem modelu ne vplivajo na končni rezultat.

Stroški skladiščenja se povečujejo z rastjo obsega posameznega naročila. Če so naročila večja, bodo daljši tudi intervali med posameznimi naročili, kar pomeni, da bodo imela podjetja višje povprečne zaloge, kar pa privede do višjih stroškov skladiščenja. V osnovnem modelu optimalnega obsega naročila je predpostavljena konstantna rast stroškov skladiščenja.

Stroški naročanja z velikostjo naročila padajo. Večje kot je naročilo, redkeje bo moralo podjetje naročiti nove dobave. Ker določeni stroški naročanja niso odvisni od velikosti naročila (denimo stroški administracije naročila), določeni stroški naročanja pa ne rastejo linearno z velikostjo naročila (denimo stroški uporabe opreme, transporta, kontrole kvalitete), se s tem nižajo tudi celotni stroški naročanja. Zaradi opisanih komponent stroškov naročanja pa ti ne padajo linearno, temveč je njihova krivulja odvisna od posameznega primera.

Vsi trije tipi stroškov so prikazani na Sliki 15, s katere vidimo, da stroški enote na zalogi ne vplivajo na optimalno velikost naročila, ki je tam, kjer so skupni stroški skladiščenja, naročanja in enot na zalogi minimalni.

Slika 15: Osnovni model optimalnega obsega naročila



Vir: Waters (2003).

Osnovni model optimalnega obsega naročila lahko ponudi informacijo o velikosti optimalnega naročila bodisi v številu enot, ki jih je treba naročiti, bodisi v vrednosti naročila. S spodnjo enačbo pridemo do odgovora na vprašanje o optimalnem številu enot v naročilu, enaki logiki pa sledi tudi enačba za vrednost naročila:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 * N * D}{S}}$$

kjer N predstavlja stroške naročanja, D povpraševanje, S pa stroške skladiščenja.

Osnovni model optimalnega obsega naročila tako ponuja rezultat, ki pomeni optimalno naročilo, vendar pa rezultat ni nujno vedno celo število, kar lahko vodi do njegove neuporabnosti. Določene vrste blaga se namreč lahko dobavljajo zgolj v diskretnih količinah, primerov v praksi je veliko. Podjetje denimo ne more naročiti 3,71 računalnika ali pa 18,9 tovarnjaka, zato je potrebno zaokroževanje navzdol ali navzgor ter analiza občutljivosti, ki privede do optimalnega rezultata (Borgonovo, 2010). Druga omejitev rezultata pa izhaja iz pakiranja ali transporta. Če lahko na primer v en zabojnik naložimo za 13 ton razsutega tovora, na podlagi izračunov pa smo ugotovili, da je optimalen obseg naročila 14 ton, to pomeni, da bo drugi zabojnik skoraj v celoti prazen, hkrati pa se bodo zvišali stroški prevoza. V tem primeru moramo upoštevati še druge dejavnike, ki vplivajo na stroške.

Zaradi rezultatskih omejitev, prikazanih v prejšnjem odstavku, in zaradi omejitev osnovnega modela EOQ, ki izhajajo iz osnovnih predpostavk, ter zaradi omejenosti uporabnosti modela v praksi so bile razvite mnoge razširitve modela. Nekatere najpomembnejše oziroma sodobnejše predstavljamo v nadaljevanju.

Pomembna razširitev osnovnega modela optimalnega obsega naročila je upoštevanje količinskih popustov s strani dobaviteljev (Abad, 1988; Benton & Park, 1996; Hwang, Moon & Shinn, 1990). Ob večjih naročilih dobavitelji ponujajo količinske popuste, kar pomeni, da povprečni stroški enote na zalogi padajo. Krivulja stroškov enote na zalogi, ki je na Sliki 15 vodoravna, postane padajoča. Najpogostejša situacija so stopničasti padci krivulje, ki privedejo tudi do stopničastih padcev krivulje celotnih stroškov. Vzrok za stopničaste padce so

stopničasti količinski popusti, pri katerih se pri določeni naročeni količini popust prizna za vse enote. Aktualnost razširitve se kaže tudi v njeni obravnavi s strani sodobnih avtorjev (Sana & Chaudhuri, 2008).

V praksi se plačila ne izvedejo takoj, temveč so zaradi različnih vzrokov zamaknjena. Razširitev osnovnega modela optimalnega obsega naročila z upoštevanim zamikom plačil je prvi predstavil Goyal (1985), kasneje pa so bili vključeni tudi oportunitetni stroški obresti (Mondal & Phaujdar, 1989). Tudi ta razširitev je aktualna v sodobnih razširitvah modela (De & Goswami, 2009; C. K. Huang, Tsai, Wu & Chung, 2010; Y. F. Huang, 2007; Min & Zhou, 2009).

Ob odstranitvi predpostavke o vnaprej znanih časih dobav ter z uvedbo negotovosti pa je pomemben dejavnik modela tudi situacija, če zaloge zmanjka. Stroške zaradi nezmožnosti pokrivanja povpraševanja zaradi nezadostnih zalog sta v model optimalnega obsega naročila prva vpeljala Deb & Chaudhuri (1987), sledilo pa jima je mnogo drugih avtorjev (Pasandideh, Niaki & Nia, 2010; San-Jose, Sicilia & Garcia-Laguna, 2009; Wee, Yu & Chen, 2007).

V literaturi ni nobenih razširitev modela optimalnega obsega naročila, ki bi vključevali tudi stroške neuporabnega ostanka razreza, zato v naslednjem podpoglavju predstavljamo predlog razširitve osnovnega modela optimalnega obsega naročila s stroški neuporabnega ostanka, ki nastanejo pri razrezu materiala.

3.3.2 Predlog razširitve

Predlog razširitve osnovnega modela optimalne količine naročila, ki ga predstavljamo v tej monografiji, je uvedba stroškov neuporabnega ostanka ob predpostavki, da so stroški neuporabnega ostanka podobnega velikostnega reda kot stroški držanja enote na zalogi in stroški naročil. Če je velikostni red manjši, stroški neuporabnega ostanka ne bodo bistveno vplivali na skupne stroške zalog in je njihova vključitev v model smiselna zgolj za namene teoretične obravnave, v praksi pa ni uporabna. Predlog razširitve je povzet in razširjen po Erjavec, Tomat in Gradišar (2011a).

Kot ugotavljamo z analizo v poglavju 4.2, na stroške neuporabnega ostanka pomembno vpliva razmerje med velikostjo zaloge palic ter velikostjo naročila, zato je treba pri predlogu razširjenega osnovnega modela upoštevati tudi to razmerje. Z naraščanjem velikosti posameznega naročila dobaviteljem v primerjavi s posameznim naročilom kupcev se namreč večja povprečna zaloga v primerjavi s povprečnim naročilom kupcev. Na podlagi rezultatov simulacij, prikazanih na Sliki 21, torej lahko predpostavimo, da bodo stroški neuporabnega ostanka nižji ob naraščajoči povprečni zalogi (ob nespremenjenem obsegu naročil). Do tega pojava pride zaradi večje izbire palic na zalogi, iz katerih lahko v podjetju narežejo izdelke glede na prejeta naročila svojih kupcev. Da bi lahko model ustrezno razširili, je torej treba ustrezno prirediti horizontalno os na grafu osnovnega modela optimalnega obsega naročila.

Na horizontalni osi razširjenega modela se torej ne nahaja absolutna velikost naročila dobaviteljem, temveč relativna velikost povprečne zaloge, ki predstavlja polovico velikosti posameznega naročila dobaviteljem glede na velikost posameznih naročil strank. S pretvorbo vrednosti na horizontalni osi se izhodiščna oblika krivulj posameznih stroškov v osnovnem modelu ne spremeni.

Zgornjo razlago poenotenja vrednosti na horizontalnih oseh prikazanih stroškov pa lahko zapišemo tudi z uporabo enačb. Velikost naročila dobaviteljem na Sliki 15 lahko zapišemo kot:

$$\text{velikost naročila dobaviteljem} = 2 * \text{velikost povprečne zaloge}$$

Razmerje, uporabljeno na Sliki 21, pa lahko zapišemo kot:

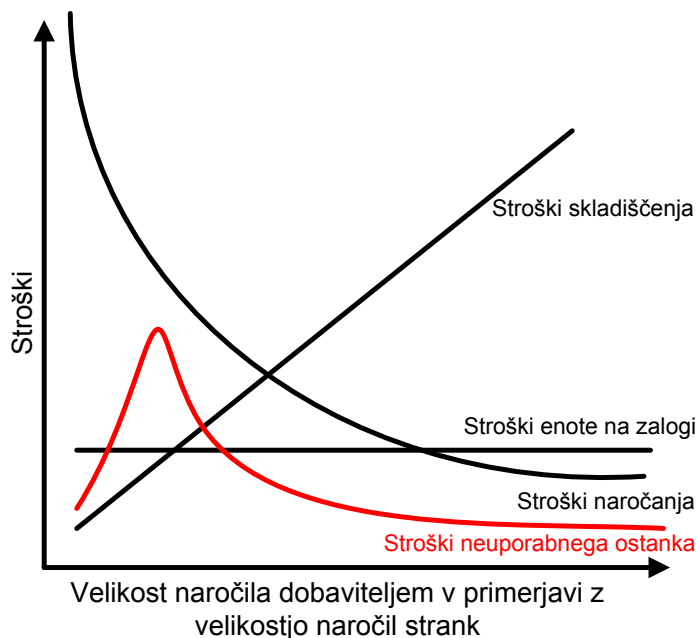
$$\frac{\text{velikost povprečne zaloge}}{\text{velikost povprečnega naročila kupcev}}$$

Za potrebe razširitve osnovnega modela optimalnega obsega naročila lahko predpostavimo, da so povprečna naročila kupcev konstantna, tako da dobimo naslednjo zvezo:

$$\text{velikost naročila dobaviteljem} = \frac{2}{\text{konst.}} * \text{velikost povprečne zaloge}$$

Grafikon predlaganega razširjenega osnovnega modela optimalnega obsega naročila je prikazan na Sliki 16.

Slika 16: *Grafični prikaz predloga razširjenega modela optimalnega obsega naročila*



Vir: Erjavec et al. (2011a).

Osnovna oblika krivulje stroškov neuporabnega ostanka je predpostavljena glede na simulacije, izvedene v okviru poglavja 4.2. Položaj krivulje stroškov neuporabnega ostanka glede na ostale krivulje stroškov je na Sliki 15 prikazan zgolj simbolično in je odvisen od relativne vrednosti materiala glede na ostale stroške. Višja kot je vrednost rezanega materiala ob enakih ostalih stroških, višje bo krivulja stroškov neuporabnega ostanka in večji vpliv bo imela na krivuljo skupnih stroškov. Bližje kot je globalni maksimum krivulje stroškov neuporabnega ostanka optimalnemu obsegu naročila po osnovnem modelu (kar pomeni, da je optimalni obseg naročila po osnovnem modelu blizu vrednosti razmerja med velikostjo zaloge in velikostjo naročila 1), večji vpliv bodo imeli stroški neuporabnega ostanka na minimum skupnih stroškov v predlaganem razširjenem modelu.

Pri predlogu razširitve modela izhajamo iz ugotovitev o optimalnem razmerju med velikostjo zaloge palic ter velikostjo naročila palic, ki je podrobno opisano in utemeljeno v poglavju 4.2. Ker je sam problem razreza NP-poln, vključitev problema razreza v problem optimalnega obsega naročila pa še poveča matematično zahtevnost problema, predlagamo, da se za iskanje optimalnega obsega naročila v predlagani razširitvi modela uporabijo simulacije.

4 MODEL KONTINUIRANEGA PROCESA RAZREZA

V okviru prvega poglavja smo prikazali pomembnost obravnavanja problema razreza v več zaporednih obdobjih ter razložili, zakaj je tak pogled na optimizacijo razreza pomemben za poslovanje podjetij. Nato smo v drugem poglavju analizirali povezanost problema razreza s procesnim vidikom poslovanja podjetja in ugotovili, da so poleg optimizacije načrta razreza pomembne tudi ostale aktivnosti v procesu razreza, vključno z mejnimi aktivnostmi. V tretjem poglavju pa smo opisali pomembnost vpliva optimizacije načrta razreza na stroške zalog.

Na podlagi ugotovitev iz omenjenih treh poglavij smo konstruirali model kontinuiranega procesa razreza, ki ga predstavljamo v tem poglavju. Z modelom predstavljamo splošni proces razreza ter analiziramo možnosti optimizacije procesa razreza z vidika velikosti zalog ter dolžin materiala na zalogi. Modelu dodajamo tudi časovno komponento, saj končne simulacije izvajamo v več zaporednih časovnih obdobjih.

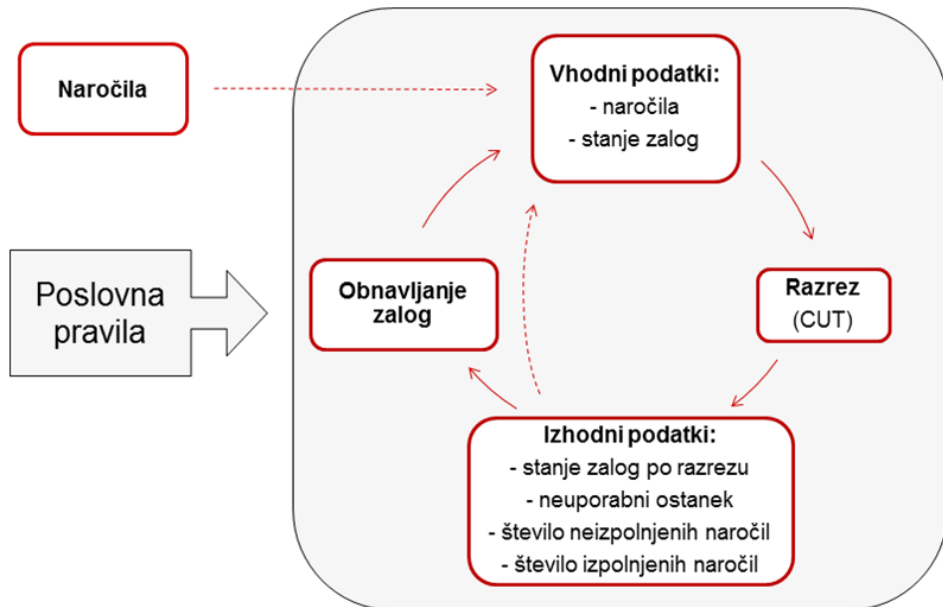
Med postopkom izgradnje modela ter definiranjem njegovih vhodnih podatkov bomo v okviru naslednjega poglavja testirali hipotezi, da so *»od velikosti zaloge materiala odvisni celotni stroški procesa razreza, ki vključujejo stroške neuporabnega ostanka razreza, stroške skladiščenja in stroške neizpolnitve naročil«*, ter da *»razmerje med dolžinami palic na zalogi in dolžinami palic v pričakovanih naročilih vpliva na skupne stroške procesa proizvodnje«*. Hkrati pa razvijemo model za napovedovanje optimalne velikosti in sestave zalog v zaporednih časovnih obdobjih ob negotovih prihodnjih naročilih in danem algoritmu za izdelavo načrta razreza.

V nadaljevanju poglavja najprej predstavimo konstruirani model, sledi predstavitev uporabljene metodologije, kjer gre v tem primeru za simulacije, nato pa z uporabo različnih simulacijskih pristopov simuliramo posamezne dele modela ter na koncu tudi model v celoti, s čimer testiramo delovanje modela.

Predlog modela je prikazan na Sliki 17. Model je sestavljen iz proizvodne zanke, na katero vplivajo poslovna pravila v podjetju, sprožijo pa jo naročila, za katera predpostavljamo, da so negotova.

Proces razreza se v podjetju začne s prejemom naročila. Poleg podatkov o naročilih so vhodni podatki pri pripravi načrta razreza tudi podatki o stanju zalog, katerih velikost je posledica izvajanja procesa v preteklosti. Načrt razreza se pripravi s pomočjo algoritma za optimizacijo razreza. Po pripravljenem načrtu razreza in dejanskem rezanju so ustvarjeni izhodni podatki načrta za razrez, ki obsegajo stanje zalog po razrezu, količino neuporabnega ostanka, število neizpolnjenih naročil in število izpolnjenih naročil. Na podlagi teh podatkov mora podjetje sprejeti odločitev, ali je treba zaloge pred sprejemom naslednjih naročil obnoviti ali pa bodo obstoječe zaloge zadostovale za izpolnitev prihodnjih naročil.

Slika 17: *Model kontinuiranega procesa razreza*



Edini zunanji vhodni podatek v model so pričakovana naročila. Možna sta dva načina obravnavanja naročil: deterministični in stohastični. V primeru vnaprej znanih naročil lahko v podjetju zaloge prilagodijo tako, da bo ostanek pri optimizaciji načrta razreza minimalen, pri čemer so omejeni z dolžinami palic, ki jih lahko dobavijo njihovi dobavitelji, kar ne zagotavlja vedno ostanka nič, temveč zgolj minimalen ostanek. V primeru negotovega povpraševanja pa podjetje lahko

z različnimi oblikami napovedovanja povpraševanja oceni količino in verjetnost prihodnjih povpraševanj. Tematiko napovedovanja povpraševanja na kratko obravnavamo v poglavju 3.1. Z vidika predstavljenega predloga modela so tako zanimivi primeri tisti, kjer je povpraševanje negotovo.

Na model pa vplivajo tudi poslovna pravila (denimo najvišje dovoljeno število neizpolnjenih naročil) in omejitve v povezavi z velikostjo zaloge (denimo zaradi omejenih skladiščnih zmogljivosti) ter dolžinami palic na zalogi. Tako ima na primer podjetje lahko na voljo pri dobaviteljih zgolj omejeno število različnih dolžin palic, s katerimi bo napolnilo svojo zalogo, v zvezi z zadovoljstvom strank pa imajo lahko različna podjetja različne politike deleža izpolnjenih naročil.

Za vsako časovno obdobje so pri načrtu razreza potrebni vhodni podatki o naročilu in stanju zaloge, ki bi jih potrebovali tudi v primeru, ko bi model preučevali samo v enem obdobju.

V zvezi s pričakovanimi naročili predpostavljamo negotovo povpraševanje, pri čemer kot merilo uporabljamo celotno skupno dolžino naročila. Predpostavljamo, da je poznana verjetnostna porazdelitev skupne dolžine naročila, ki je določena na podlagi ene izmed metod za napovedovanje povpraševanja. Za verjetnostno porazdelitev predpostavljamo, da je enakomerno porazdeljena na določenem intervalu. Ker pa je treba za potrebe izdelave načrta razreza poznati natančno število kosov naročila in njihove dolžine, je skupna dolžina naročila zgolj posredno določena na podlagi posameznih dolžin v naročilu in številom kosov posameznih dolžin. Predpostavljamo, da so znane spodnje in zgornje meje dolžin palic, ki se lahko pojavijo v prihodnjih naročilih.

Zalogo je treba načrtovati v skladu z negotovim povpraševanjem, kar pomeni, da se morajo podjetja na podlagi ocene povpraševanja odločiti o velikosti zaloge. V primeru razreza predpostavljamo, da se podjetje odloča o skupni velikosti zaloge, kar pomeni seštevek dolžin vseh palic na zalogi. Poleg tega so za razrez pomembne tudi dolžine palic na zalogi, za katere velja, da vplivajo na neuporabni ostanek pri načrtovanju razreza tako, da pri večjih dolžinah nastane manj neuporabnega ostanka.

Z eksperimentalno uporabo modela torej z vidika optimizacije stroškov v zvezi z zalogo lahko odgovorimo na dve pomembni vprašanji:

1. Kakšna je optimalna velikost zaloge glede na pričakovana prihodnja naročila?
2. Kakšno je optimalno razmerje med dolžinami palic na zalogi in dolžinami palic v naročilu?

Pri eksperimentalni uporabi modela kot algoritem za optimizacijo načrta razreza uporabljamo algoritem CUT. Razlogi za izbiro algoritma so navedeni v poglavju 1.2.1, mogoča pa je uporaba tudi katerega drugega algoritma za optimizacijo načrta enodimenzionalnega razreza.

V nadaljevanju poglavja najprej predstavimo simulacije kot uporabljeno metodologijo, nato pa odgovorimo na zgoraj zastavljeni vprašanji in rezultate odgovorov uporabimo pri eksperimentalni uporabi modela skupaj z zgoraj definiranimi predpostavkami.

4.1 Simulacije v poslovnem odločanju

Ker simulacije kot raziskovalno metodologijo uporabljamo na več delih monografije, predvsem pa v nadaljevanju tega poglavja, bomo v sklopu tega poglavja širše predstavili metodologijo, nato pa se bomo na posameznih delih sklicevali na izhodišča, predstavljena v tem poglavju.

Simulacijske metode so od 60. let prejšnjega stoletja dalje ena izmed najpogostejše uporabljenih raziskovalnih metod v družboslovnih vedah (Pidd, 2004). Simulacije so eno izmed najmočnejših orodij, ki so na voljo odločevalcem pri načrtovanju in analizi delovanja kompleksnih procesov in sistemov (Shannon, 1998). Simulacije na področjih proizvodnje in poslovanja se uporabljajo za veliko različnih namenov, kot so oblikovanje, načrtovanje, kontroling, oblikovanje strategij, alokacija virov (Jahangirian et al., 2010). Odločevalci v podjetjih so motivirani za uporabo simulacij zaradi možnosti interaktivnega modeliranja in animacije simuliranih proizvodnih problemov, kar omogoča večjo preglednost in razumljivost modelov (Kljajić, Bernik & Škraba, 2000).

Razrez materiala kot del proizvodnje je eno izmed področij, pri preučevanju katerih se lahko uporabljajo simulacije. Tehnika simulacij omogoča ocenjevanje investicij v opremo in stavbe (denimo tovarne, skladišča, distribucijske centre). Simulacije so lahko v tem primeru uporabljene za napovedovanje delovanja obstoječih ali načrtovanih sistemov in za primerjavo alternativnih rešitev pri posameznih načrtovalskih dilemah (Benedettini & Tjahjono, 2009). Simulacijski pristopi pa so primerni tudi za optimizacijo zalog ob negotovem povpraševanju (Kofjač, Kljajić & Rejec, 2009).

Shannon (1998) navaja, da gre pri simulacijah za proces načrtovanja modela realnega sistema in opravljanje eksperimentov, s pomočjo katerih se dosega boljše razumevanje obnašanja sistema in na podlagi katerih se lahko ocenijo različne strategije upravljanja s sistemom. Seila, Cerić in Tadikamalla (2003) navajajo, da gre pri simulacijah za skupek tehnik, ki omogočajo prikaz operativnih vidikov in povezav v modelih, kar se doseže z vzorčenjem in s pomočjo uporabe metode opazovanja za ocenjevanje enega ali več parametrov, ki jih želimo spremljati. Pidd (2004) pravi, da gre pri simulacijah za izgradnjo modela preučevanega sistema, s pomočjo katerega je mogoče posnemati obnašanje sistema v različnih situacijah. Simulacije so tip modeliranja sistemov, ki imajo s strani raziskovalca določene vhode ter izhode, ki so opazovani, ko se simulacija izvaja (Gilbert & Troitzsch, 2005). Pri simulacijah gre za posnemanje posameznih operacij procesov iz realnosti glede na časovno komponento (Banks, Carson, Nelson & Nicol, 2010).

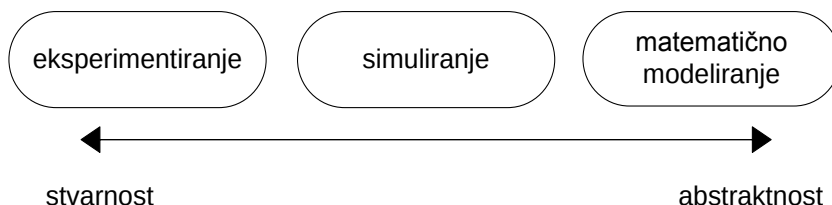
Simulacije so bile kot metodologija uporabljene že pred razvojem računalnikov, vendar pa s pomočjo sodobnih računalnikov postajajo vedno lažje dostopna metodologija v družboslovnih vedah, saj naraščajoča računska moč sodobnih računalnikov omogoča razvoj in uporabo kompleksnih simulacijskih modelov, na katerih je lahko izvedenih veliko ponovitev (Pidd, 2004). Tako vidimo, da je vloga računalnikov pri izdelavi simulacijskih modelov pomembna, kar s svojo definicijo simulacij potrjujejo tudi Harrel, Ghosh in Royce (2003).

Tako se sodobno izvajanje simulacij opravlja primarno na računalnikih, ročno pa se simulacije praktično ne izvajajo več. Pomembnost simulacij kot metodologije se kaže tudi v ponudbi različnih programskih paketov za izvajanje računalniških

simulacij, seveda pa je možno simulacije izvajati tudi brez uporabe specializiranih programskih paketov. V okviru te monografije uporabljamo za izvajanje simulacij različna programska orodja. Posamezna programska orodja navajamo v razdelkih, kjer predstavljamo konkretno uporabo simulacij.

Simulacije kot pristop k reševanju problemov so vmesna pot med neposrednim eksperimentiranjem in matematičnim modeliranjem, kar je prikazano na Sliki 18.

Slika 18: *Umestitev simulacij med pristope k reševanju problemov*



Vir: Schriber (1991).

Iz zgornje slike je razvidno, da so simulacije vmesni člen med neposrednim eksperimentiranjem in matematičnim modeliranjem. Simulacije so stroškovno učinkovitejše od neposrednega eksperimentiranja, v nekaj sekundah je možno simulirati mesece ali leta delovanja sistema, omogočajo ponovitve, so varne in legalne (Pidd, 2004). Na drugi strani pa so simulacije uporabljene kot nadomestek za matematično modeliranje, ko so simulirani sistemi prezapleteni, da bi omogočali definiranje s pomočjo matematičnega modela, kar je v družboslovnih znanostih pogost pojav (Pidd, 2004).

Simulacije se uporabljajo za različne namene. Pregled namenov uporabe simulacij bralec lahko najde denimo v Banks et al. (2010), v nadaljevanju pa podajamo kratek povzetek razlogov, ki jih različni avtorji navajajo za uporabo simulacij (Banks et al., 2010; Pidd, 2004; Shannon, 1998):

- simulacije omogočajo preučevanje interakcij znotraj kompleksnih sistemov ali med posameznimi podsistemi;
- z uporabo simulacij je mogoče spreminjati vhodne podatke v model ter na podlagi analize izhodov ugotoviti, katere spremenljivke so za sistem najpomembnejše;

- animiranje sistema, ki ga simuliramo, omogoča vizualizacijo in lažje razumevanje preučevanega sistema;
- osnovni koncepti simulacij so lažje razumljivi od analitičnih modelov, zato jih je lažje predstaviti managementu ali strankam;
- simulacije omogočajo identifikacijo materialnih, informacijskih in produkcijskih ozkih grl;
- simulacije omogočajo testiranje hipotez o tem, kako ali zakaj prihaja do določenih pojavov znotraj sistemov.

Uporaba simulacij pa ni primerna (Banks & Gibson, 1997):

- če problem lahko rešimo z uporabo »zdrave kmečke pameti« (angl. *common sense*);
- če problem lahko rešimo analitično;
- v primeru, da je uporaba neposrednih eksperimentov cenejša;
- če cena simulacij presega potencialne prihranke zaradi rezultatov simulacij, kar pomeni, da je treba pred izvajanjem simulacij upoštevati različne dejavnike, kot so na primer definiranje problema, razvoj modela, testiranje modela, zbiranje podatkov;
- če za simuliranje ni na voljo dovolj sredstev ali časa. Če denimo potrebujemo rezultate simulacij v dveh tednih, za simulacije pa bi porabili dlje, izvajanje simulacij ni smiselno. Isto velja za potrebna razpoložljiva sredstva, denimo ljudi, opremo in denar;
- ko za potrebe simulacij ni na voljo ustreznih podatkov bodisi zaradi težavnosti njihove pridobitve bodisi zaradi njihovega neobstoja;
- ko modela ne moremo ovrednotiti in potrditi;
- ko z uporabo simulacij ni mogoče priti do ustreznih rezultatov, ki bi služili kot podlaga za nadaljnje delo oziroma odločanje;
- če je obnašanje sistema prekompleksno oziroma ne more biti definirano.

Melao in Pidd (2003) ugotavljata tudi, da je uporaba simulacij, konkretno govorita o simulacijah poslovnih procesov, v praksi precej redka. Avtorja navajata različne razloge za tako situacijo. Simulacijske modele je zahtevno modelirati, če modeliramo nestrukturirane situacije. Nadalje pravita, da je zaradi nepredvidljivosti zelo težko modelirati in simulirati človeško obnašanje. Kot tretji razlog pa

navajata, da so orodja za simuliranje preveč preprosta ter da je z njimi nemogoče simulirati kompleksne odnose med ljudmi.

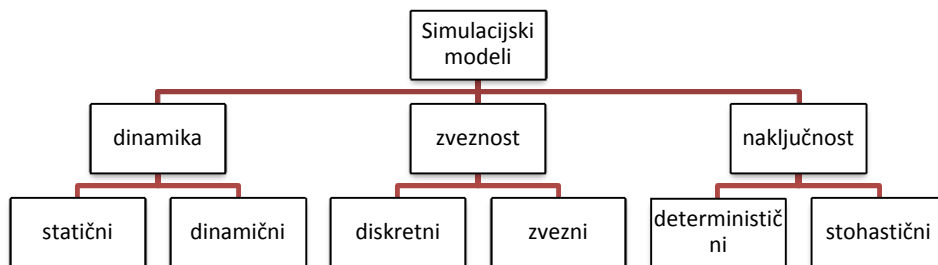
Simulacije lahko delimo na statične in dinamične. Pri statičnih simulacijah (t. i. simulacije Monte Carlo) gre za vzorčna opazovanja ter njihova pretvarjanja v formule ali pravila, medtem ko gre pri dinamičnih simulacijah za preučevanje obnašanja sistema v časovnih obdobjih (Banks et al., 2010). V monografiji uporabljamo tako statične kot dinamične simulacije, kar opredeljujemo posebej pri posameznih simulacijah.

Nadalje je treba ločevati med diskretnimi in zveznimi modeli, pri katerih je v večini primerov neodvisna spremenljivka čas. V primeru diskretnih modelov se odvisne spremenljivke spreminjajo v določenih obdobjih, pri zveznih modelih pa so stanja sistema podana v obliki funkcijske povezanosti s časovno spremenljivko (Gilbert & Troitzsch, 2005). V tej monografiji za potrebe simulacij uporabljamo diskretne modele.

Zadnja delitev, ki jo omenjamo, pa je delitev simulacij na deterministične simulacijske modele in stohastične simulacijske modele. Pri determinističnih simulacijskih modelih obnašanje sistema lahko vnaprej predvidimo s popolno gotovostjo, medtem ko pri stohastičnih simulacijskih modelih posamezne dogodke lahko predvidimo z določeno verjetnostjo (Banks et al., 2010). Načelno deterministični simulacijski model ne vsebuje stohastičnih elementov (Pidd, 2004). Uporabljamo stohastične simulacijske modele, ko gre izvajanje simulacij skozi več obdobj (dinamični simulacijski modeli), ter deterministične simulacijske modele, ko gre za izvajanje statičnih simulacij.

Delitev simulacijskih modelov po posameznih zgoraj omenjenih atributih je prikazana na Sliki 19.

Slika 19: Delitev simulacijskih modelov po posameznih atributih



Vir: Banks et al. (2010).

Pri uporabi simulacij kot raziskovalne metodologije je treba upoštevati korake izdelave in izvedbe simulacijskega modela. Različni avtorji predlagajo različno število korakov, vsem pa je skupno, da lahko njihove korake v grobem razdelimo v tri faze: načrtovalna, razvojna in izvedbena. Law in McComas (1991) tako navajata deset korakov pri simulacijskem modeliranju, Shannon (1998) navaja dvanajst korakov, Harrel et al. (2003) navajajo šest korakov, sodobnejši prispevki (Banks et al., 2010; Law, 2007) pa prav tako navajajo dvanajst korakov. Pri metodologijah v več korakih gre zgolj za podrobnejšo členitev posameznih korakov. Tako lahko glede na zgoraj omenjene pristope povzamemo ključne korake pri uporabi simulacij kot raziskovalne metodologije.

1. **Definiranje ciljev, vsebine in potreb** (odgovor na vprašanje, zakaj preučujemo določen pojav in na katera vprašanja bomo z uporabo simulacij odgovorili; zagotavljanje virov za pridobivanje podatkov in izvajanje simulacij; določitev, kakšne podatke bo simulacijski model zagotavljal, v kakšnem obsegu in kako).
2. **Zbiranje in analiziranje podatkov** (identifikacija in zbiranje potrebnih vhodnih podatkov).
3. **Gradnja modela** (določanje mej in omejitev sistema in preučevanje delovanja simuliranega sistema).
4. **Validacija modela** (preverjanje, ali model deluje po pričakovanih analitika in v skladu z realnim stanjem ter ali so izhodi modela reprezentativni).

5. **Izvajanje simulacij** z namenom generiranja podatkov in izvajanje analize občutljivosti.
6. **Analiza in interpretacija rezultatov** na podlagi podatkov, zbranih s simulacijami.

Pri simulacijah, izvedenih v okviru te monografije, smo se orientirali po zgoraj opisanih korakih, kar je razvidno tudi iz opisov izvedbe simulacij na posameznih delih monografije. Pri zbiranju podatkov smo vhodne podatke dobili pri slovenskem podjetju, ki se ukvarja z razrezom različnih kovinskih profilov. Ti podatki so nato služili kot mejne vrednosti pri izvajanju simulacij. Natančneje je zbiranje podatkov opisano v ustreznih poglavjih.

Pri izdelavi simulacijskih modelov je pomemben korak njihova validacija oziroma vrednotenje. Vrednotenje modela odgovarja na vprašanja o pravilnosti in natančnosti modela ter pomaga definirati tehnike, s katerimi lahko preverimo natančnost in korektnost modela (Banks et al., 2010).

Za vrednotenje simulacijskih modelov se lahko uporabljajo različne tehnike. Nekatere izmed pogostejše uporabljenih tehnik vrednotenja simulacijskih modelov so (Sargent, 2005):

- **grafični prikaz modela v času**, denimo premiki sestavnih delov skozi tovarno;
- **primerjava z drugimi modeli**, bodisi z analitičnimi pri preprostih simulacijah bodisi z drugimi simulacijskimi modeli, ki so že bili ovrednoteni;
- **testi degenerativnosti modela**, s katerimi se testira obnašanje modela na podlagi izbire določenih vložkov;
- vrednotenje dogodkov simulacijskega modela na podlagi **primerjave z realnim stanjem**;
- **test ekstremnih pogojev**, s katerim se testira smiselnost rezultatov modela;
- **vrednotenje s pomočjo poznavalcev realnega sistema**, kjer poznavalci sistema, ki ga simuliramo, ocenijo, ali je obnašanje simulacijskega modela v skladu z delovanjem realnega sistema;
- **test s konstantami**, kar pomeni, da so vhodi v model konstantni, na drugi strani pa lahko izhode izračunamo in preverimo;

- **vrednotenje s pomočjo uporabe zgodovinskih podatkov**, kjer z uporabo obstoječih preteklih podatkov kot vložkov v model lahko preverimo, ali simulacijski model privede do pričakovanih rezultatov, ki so prav tako na voljo;
- **interno vrednotenje**, ki pomeni več ponovitev simulacij, pri katerih se ocenjuje variabilnost (višja variabilnost v tem primeru pomeni višjo negotovost rezultatov);
- **grafični prikaz** gibanja različnih spremenljivk v času;
- **prediktivno vrednotenje**, s katerim razvijemo model, ki se uporabi za napoved obnašanja sistema, kar omogoča primerjavo med obnašanjem sistema med izvajanjem simulacij in napovedanim obnašanjem;
- **sledenje**, s katerim sledimo entitetam v modelu ter preverjamo, ali je logika modela ustrezna;
- **turingov test** na poznavalcih sistema in njegovega delovanja.

Vrednotenje modela skoraj nikoli ne more biti popolno (Sargent, 2005), vendar pa lahko s kombinacijo uporabe različnih izmed zgoraj navedenih tehnik model približamo realnemu stanju.

Pri vrednotenju modelov uporabljamo nekatere izmed zgoraj navedenih metod. Pri vsakem simulacijskem modelu tudi navajamo, s pomočjo katerih metod vrednotenja smo model ovrednotili.

Ker del simulacij izvajamo tudi na primeru procesa razreza, kjer gre za proizvodni proces, v nadaljevanju navajamo tudi merila za merjenje učinkovitosti delovanja sistema. Pomemben cilj simulacij v proizvodnji je namreč kvantifikacija učinkovitosti delovanja sistema. Običajna merila za merjenje učinkovitosti delovanja simulacijskega sistema so naslednja (Banks et al., 2010):

- prepustnost med povprečno in najvišjo obremenitvijo,
- dolžina systemskega cikla (proizvodni čas enega izdelka),
- izkoriščenost surovin, dela in opreme,
- ozka grla,
- zastoji,
- potrebe po zaposlenih,
- učinkovitost sistemov za razporejanje časa,
- učinkovitost kontrolnih sistemov.

4.2 Optimalna velikost zaloge

Da bi predlagani model, predstavljen v uvodnem delu tega poglavja, eksperimentalno ustrezno uporabili, je treba ugotoviti, kakšna je optimalna velikost zaloge materiala, preden podjetje prejme naročilo. Za ugotavljanje optimalne velikosti zaloge uporabljamo metodo optimizacije stroškov, kar pomeni, da bo optimalna velikost zaloge tista, pri kateri bodo celotni stroški zaloge čim nižji. Poglavje je povzeto in razširjeno po Erjavec, Gradišar in Trkman (2012).

Pristop predstavljamo v podpoglavjih 4.2.1 do 4.2.4. Poleg optimalne velikosti zaloge pa lahko na stroške pomembno vplivajo tudi dolžine palic na zalogi v primerjavi z dolžinami palic v naročilu. Tovrstno problematiko orišemo v podpoglavju 4.2.5, kjer tudi navajamo potencialne omejitve pri vključevanju dolžin palic na zalogi kot stroškovnega kriterija pri optimizaciji stroškov. V podpoglavju 4.2.6 povzemamo ugotovitve, ki so pomembne za uporabo zgornjega modela v praksi.

V okviru analize v tem podpoglavju bomo torej testirali hipotezi *»Od velikosti zaloge materiala so odvisni celotni stroški procesa razreza, ki vključujejo stroške neuporabnega ostanka razreza, stroške skladiščenja in stroške neizpolnitve naročil.«* in *»Razmerje med dolžinami palic na zalogi in dolžinami palic v pričakovanih naročilih vpliva na skupne stroške procesa proizvodnje.«*

Za raziskavo je pomembna ugotovitev, da je rešitev s čim manjšim neuporabnim ostankom pri razrezu lažje najti, če je na voljo več možnih rešitev. Rešitev je več, če (Gradišar et al., 1999)

- je število enot na zalogi čim višje in če
- je število neizpolnjenih naročil čim višje.

S številom enot na zalogi rastejo stroški držanja zalog, z rastjo števila neizpolnjenih naročil pa raste tudi višina stroškov, povezanih z neizpolnjenimi naročili. Treba je torej ugotoviti, pri katerem razmerju velikosti zalog in pričakovanih naročil je vsota naslednjih stroškov najnižja:

- stroški skladiščenja,
- stroški neizpolnjenih naročil,
- stroški neuporabnega ostanka.

Nižanje proizvodnih stroškov je namreč eden ključnih dejavnikov za višjo konkurenčnost podjetij (Demeter, 2003). Večina obstoječih metod za razrez se ukvarja z rešitvami problemov ex-post, kjer je velikost zaloge ob znanem naročilu dana, predlagana metoda pa se ukvarja z rešitvijo ex-ante, saj z njo ugotavljamo, katera velikost zaloge bo najverjetneje vodila do najnižjih skupnih stroškov.

S predlagano metodo torej iščemo tako razmerje med velikostjo zaloge in velikostjo naročila, pri katerem so zgornji stroški minimalni. Ob tem veljata naslednji predpostavki:

- velikost zaloge je vsota dolžin vseh palic na zalogi,
- velikost naročila je vsota dolžin vseh palic v naročilu.

Treba je torej poiskati optimalno razmerje med velikostjo zaloge in velikostjo pričakovanih naročil v določenem obdobju, da bodo stroški zalog, stroški neuporabnega ostanka in stroški neizpolnitve naročila najnižji. V dosedanjem pregledu literature obravnavanja omenjene problematike nismo zasledili, vendar je moč najti pristope, ki obravnavajo alternativne poglede na obravnavanje zalog (Zomerdijsk & De Vries, 2003).

Skupna velikost zaloge je v tem primeru definirana kot vsota vseh palic, ki so na zalogi, na drugi strani pa je skupna velikost naročil enaka vsoti vseh palic, ki jih podjetje dobi v naročilu.

V obstoječi znanstveni literaturi s področja enodimenzionalnega razreza avtorji učinkovitost razvitih algoritmov preverjajo z eksperimentalnimi primeri. Primere generirajo s pomočjo generatorjev naključnih števil ali pa jih pridobijo iz prakse. Generirati je treba tako naročila kot tudi zalogo. Ob tem avtorji uporabljajo različna razmerja med skupno velikostjo zaloge in skupno velikostjo naročila. Nekateri avtorji (Aktin & Ozdemir, 2009; Belov & Scheithauer, 2002; Poldi & Arenales, 2009) se z velikostjo zaloge sploh ne ukvarjajo oziroma ob predpostavkah standardnih dolžin palic na zalogi predpostavijo, da je na zalogi vedno dovolj palic za izpolnitev naročila, kar bi lahko razumeli tudi kot predpostavko, da je zaloga neskončna. To v praksi seveda ni mogoče, pa tudi zgoraj omenjeni avtorji problem obravnavajo tako, ker je povpraševanje v njihovih primerih znano vnaprej in lahko ustrezno prilagodijo zalogo.

Z analizo nekaterih drugih znanstvenih člankov smo prišli do podatkov o povprečnih razmerjih, ki se uporabljajo pri eksperimentalnih testih, med celotno zalogo in celotnim naročilom. Tako je v literaturi mogoče zaslediti različna razmerja:

- 1 : 1 (Gradišar et al., 2002),
- 0,2 : 1 do 6,0 : 1 (Trkman & Gradišar, 2003),
- Umetani, Yagiura in Ibaraki (2003) pri testiranju svojega algoritma navajajo, da je na zalogi dovolj palic,
- 2 : 1 (Gradišar & Trkman, 2005),
- 1,67 : 1 do 1,95 : 1 (Cui & Yang, 2010).

Ugotavljamo, da avtorji različno postavljajo razmerja med celotno količino zaloge in celotno količino naročila, zato menimo, da je tudi za potrebe znanstvenega raziskovanja smiselno, da se razvije standardizirana metoda za ugotavljanje optimalnega razmerja med celotno količino zaloge in celotno količino naročila, saj bo to pripomoglo k lažji medsebojni primerljivosti različnih algoritmov.

V nadaljevanju najprej opredelimo problem, nato predstavimo predlog za njegovo reševanje ter na koncu podamo še analizo rezultatov, ki pripeljejo do končnega odgovora na vprašanje o optimalnem razmerju med zalogo in naročilom.

4.2.1 Opredelitev problema

Naročilo je sestavljeno iz različnih dolžin, vsaka izmed dolžin ima svojo količino povpraševanja. Naročila so lahko poljubnih dolžin in povpraševanje po posamezni dolžini je prav tako lahko poljubno. Na zalogi so standardne in nestandardne dolžine palic. Nestandardne dolžine na zalogi so lahko posledica predhodnih razrezov, kjer so bile posamezne palice obravnavane kot uporabni ostanek in zato vrnjene na zalogo. Druga možnost, ki predpostavlja različne dolžine palic na zalogi, pa so primeri, ko ima material, ki se reže, specifične lastnosti, katerih posledica so različne dolžine palic. Tak primer najdemo denimo v lesni industriji, kjer imajo lahko posamezne deske pomanjkljivosti (grče), ki deske za potrebe razreza efektivno razdelijo na več manjših desk z nestandardnimi dolžinami (Carnieri, Mendoza & Luppold, 1993).

Uporabljeni so trije stroškovni parametri:

- **stroški skladiščenja (WHC)** so stroški skladiščenja ene dolžinske enote materiala,
- **stroški neuporabnega ostanka (TLC)** so stroški ene dolžinske enote neuporabnega ostanka,
- **stroški neizpolnitve naročila (CON)** so stroški ene dolžinske enote neizpolnitve naročila v primeru prenizkih zalog, ki so lahko oportunitetni stroški, stroški izgube stranke in podobno. Podrobneje so ti stroški opisani tudi v poglavju 3.1.1.

Vsi trije parametri se nanašajo na dolžinsko enoto materiala, ki je lahko poljubno izbrana glede na konkreten primer uporabe modela. Stroški neuporabnega ostanka in stroški neizpolnitve naročila se računajo za vsako dolžinsko enoto tekočega naročila, stroški skladiščenja pa se računajo za vsako dolžinsko enoto materiala na zalogi.

Pri opredeljevanju problema uporabljamo notacijo, ki je predstavljena že v podpoglavju 1.2.1, hkrati pa jo razširimo z naslednjima spremenljivkama:

nf_i	število neizpolnjenih naročil za dolžino d_i
r	skupna vsota neuporabnega ostanka

Podjetje prejme povpraševanje za več različnih dolžin (d_i) hkrati, kjer ima vsako povpraševanje b_i kosov. Za vsako dolžino v naročilu d_i je možno, da določeno število med 0 in b_i ne bo izpolnjeno zaradi prenizkih zalog. Število teh neizpolnjenih naročil je označeno z nf_i . Presežek neuporabnega ostanka t_j je enak δ_j za vse uporabljene dolžine iz zaloge razen tiste, kje je daljša od UB in se lahko vrne na zalogo ter se nameni za kasnejšo uporabo. UB je lahko določena opcijsko, in sicer med vrednostjo nič ter največjo d_i . V praksi je UB najpogosteje enaka najmanjši d_i (Gradišar et al., 1997), vsota neuporabnega ostanka (r) pa je definirana kot vsota vseh t_j .

Na podlagi zgornjega lahko zapišemo naslednje:

Velikost celotne zaloge je

$$SL = \sum_{j=1}^m s_j$$

Velikost celotnega naročila je

$$OL = \sum_{i=1}^n d_i \times b_i$$

Razmerje med njima pa je

$$RA = \frac{SL}{OL}.$$

Izračunati je treba tudi skupne stroške skladiščenja (T_{WHC})

$$T_{WHC} = WHC \times SL$$

skupne stroške neuporabnega ostanka (T_{TLC}) in

$$T_{TLC} = TLC \times r$$

skupne stroške neizpolnitve naročila (T_{CON})

$$T_{CON} = CON \times \sum_{i=1}^n (d_i \times nf_i)$$

Predpostavljamo, da T_{WHC} naraščajo linearno z vsako dodatno dolžinsko enoto zaloge in da T_{TLC} naraščajo linearno z vsako dodatno dolžinsko enoto neuporabnega ostanka. Skupni stroški (TCC) so torej izračunani tako:

$$TCC = T_{WHC} + T_{TLC} + T_{CON}$$

Da bi lahko minimizirali skupne stroške, moramo minimizirati vsoto vseh posameznih stroškov. Na podlagi predhodnih ugotovitev v literaturi predpostavljamo, da v splošnem vsako povišanje RA pomeni višje T_{WHC} in nižjo možnost neizpolnitve naročila in s tem nižje (T_{CON}) (Axsater, 2006), medtem ko so stroški neuporabnega ostanka najvišji, ko je RA blizu vrednosti 1 (Gradišar et al., 1999; Trkman & Gradišar, 2003).

4.2.2 Reševanje problema optimalnega razmerja s pomočjo simulacij

Zaradi NP-polnosti problema razreza in dodatne zahtevnosti z razširitvijo problema še na ostale stroške smo se pri izbiri načina reševanja problema optimalnega razmerja med velikostjo zaloge in velikostjo naročila odločili za uporabo metode simulacij. Uporaba simulacij v poslovnem odločanju je podrobneje predstavljena v poglavju 4.1, na tem mestu pa navajamo ključne lastnosti izvedenih simulacij z vidika vrste simulacij, morebitnih posebnosti glede na metodološke korake izvedbe simulacij in uporabljene tehnike pri vrednotenju modela.

Pri simulacijah, opisanih v tem poglavju, gre za statične simulacije, saj gre za vzorčna opazovanja ter njihova pretvarjanja v formule ali pravila. Simulacije so v tem primeru diskretne.

Simulacije smo izvajali v skladu s koraki, opisanimi v poglavju 4.1, ki so potrebni pri korektni izvedbi simulacij kot raziskovalne metodologije.

Tako smo v prvem koraku definirali cilje, vsebine in potrebe. Pojav smo preučevali, da bi preverili hipotezo, da so *»od velikosti zaloge materiala odvisni celotni stroški procesa razreza, ki vključujejo stroške neuporabnega ostanka razreza, skladiščenja in neizpolnitve naročil«*. Vire podatkov smo si zagotovili pri slovenskem trgovskem in proizvodnem podjetju, ki je vodilno na trgih s tehničnim blagom na področju jugovzhodne Evrope in kjer se ena izmed divizij podjetja ukvarja tudi z razrezom kovinskih materialov.

V drugem koraku smo se lotili identifikacije in zbiranja potrebnih vhodnih podatkov, kar je natančneje opisano že v podpoglavju 2.3.2, saj smo podatke za izvedbo simulacij v tem poglavju zbirali hkrati s podatki za izvedbo dinamičnih

simulacij v okviru drugega poglavja. Na podlagi zbranih podatkov smo določili mejne vrednosti za generacijo naključnih podatkov, kar podrobneje opisujemo v nadaljevanju tega poglavja.

V tretjem koraku smo gradili model in določali meje in omejitve sistema, kar je opisano v prejšnjem podpoglavju 4.2.1.

V četrtem koraku smo simulacijski model ovrednotili z ex-post grafičnim prikazom različnih spremenljivk. Hkrati smo uporabili tudi vrednotenje s pomočjo testa konstant, kjer smo s konstantnimi vhodi v model lahko preverili njegovo pravilno delovanje. Uporabili smo tudi prediktivno vrednotenje, pri katerem sicer nismo razvili prediktivnega modela, temveč smo uporabili pretekla spoznanja različnih avtorjev, na podlagi katerih smo lahko ocenili delovanje modela in rezultate simulacij.

V petem in šestem koraku pa smo izvedli simulacije in opravili analizo in interpretacijo rezultatov, kar opisujemo v tem poglavju.

Pri reševanju problema izdelave optimalnega načrta razreza uporabljamo algoritem CUT, ki je podrobno opisan v poglavju 1.2.1. S predlaganim pristopom je mogoča uporaba tudi drugih algoritmov za enodimenzionalni razrez, medtem ko bi morali za potrebe večdimenzionalnega razreza problem definirati drugače. Značilnosti posameznega algoritma za enodimenzionalni razrez lahko vplivajo na končne rezultate, ki so odvisni predvsem od učinkovitosti algoritma. Če je denimo izbrani algoritem manj učinkovit pri nizkih razmerjih med velikostjo zaloge in velikostjo naročila, to pomeni, da bo končni optimalni rezultat dosežen pri višjem razmerju.

Izbrani pristop in izbrani algoritem omogočata obravnavo problemov, pri katerih je materiala na zalogi dovolj, in tudi v primerih, ko je materiala na zalogi premalo za izpolnitev celotnega naročila. Pristop predvideva možnost različnih dolžin na zalogi, kar pomeni, da so lahko na zalogi tako standardne kot nestandardne dolžine.

Za potrebe izdelave simulacij je bilo treba določiti izhodiščne vrednosti nekaterih parametrov. Kot izhodiščne vrednosti smo uporabili podatke, ki so nam jih

posredovali v podjetju, ki se ukvarja s prodajo širokega spektra tehničnih proizvodov in je vodilno na trgih jugovzhodne Evrope. Ena izmed divizij v podjetju se ukvarja tudi s prodajo kovinskih proizvodov. Večino izmed kovinskih proizvodov je treba predhodno narezati (denimo različni jekleni profili), zato imajo v podjetju tudi proizvodni oddelek, kjer se ukvarjajo z razrezom materiala. Na podlagi podatkov podjetja o dolžinah in številu palic v naročilu ter dolžinah in številu palic na zalogi smo lahko določili mejne vrednosti za potrebe simulacij: spodnja meja dolžine palic na zalogi, zgornja meja dolžine palic na zalogi, spodnja meja dolžine palic v naročilu, zgornja meja dolžine palic v naročilu, število posamezne dolžine palic v naročilu.

Na podlagi podatkov je bilo generiranih 326 različnih primerov. Primeri vsebujejo kombinacije različnih velikosti zalog in različnih naročil. Primeri so bili generirani s pomočjo generatorja PGEN (Gradišar et al., 2002), ki je razširjena in izboljšana različica generatorja CUTGEN1 (Gau & Wascher, 1995). Uporabljeno seme pri generiranju podatkov je bilo 2007121799. Procedura uporablja pri generiranju enakomerno porazdelitev, kar pomeni, da obstaja enaka verjetnost za generiranje katere koli izmed vrednosti, ki se nahajajo med mejnima vrednostma. Razširjena procedura omogoča generiranje problemov enodimenzionalnega razreza na podlagi vhodnih parametrov, s katerimi določimo:

- število različnih dolžin palic v naročilu,
- povprečno število palic posamezne dolžine v naročilu,
- spodnjo in zgornjo mejo za dolžino palic v naročilu,
- število različnih standardnih dolžin palic na zalogi,
- spodnjo in zgornjo mejo za posamezno standardno dolžino palic na zalogi,
- povprečno število palic posameznih standardnih dolžin na zalogi,
- število različnih nestandardnih dolžin palic na zalogi,
- spodnjo in zgornjo mejo za posamezno nestandardno dolžino palic na zalogi.

Na podlagi realnih podatkov, ki smo jih pridobili v omenjenem podjetju, smo pri generiranju primerov postavili naslednje omejitve:

- razmerje med dolžino palic na zalogi in dolžinami palic v naročilu je 2 : 1,
- dolžine palic na zalogi so med 200 in 400 dolžinskimi enotami,

- dolžine palic v naročilu so med 100 in 200 dolžinskimi enotami,
- vsako naročilo vsebuje 5 skupin različnih dolžin palic,
- število enot v vsaki skupini v naročilu je lahko med 1 in 39.

Eden izmed 326 primerov je za potrebe prikaza v Prilogi 1. Pregled generiranih primerov pokaže, da število kosov v posameznih naročilih variira med 24 in 76, število kosov na zalogi pa variira precej bolj, saj je bilo treba s simulacijami zajeti tako zaloge, ki so manjše od naročil, kot zaloge, ki so tudi do desetkrat večje od naročila.

Naslednji pomemben korak je določitev višine vseh treh tipov stroškov (*WHC*, *TLC*, *CON*). Ker gre za model, ki ga je mogoče aplicirati na različne primere v industriji, absolutnih stroškov ni treba določati. Dovolj je, če za vse tri tipe stroškov opredelimo razmerje med njimi, s čimer dosežemo relativno primerjavo med posameznimi stroški, kar je za potrebe modela povsem dovolj. Za določanje razmerij smo uporabili realne podatke podjetja, ki smo jih pridobili na podlagi posredovanih dokumentov ter na podlagi ocen zaposlenih. Tako za razmerje med *WHC* in *TLC* uporabljamo razmerje 1 : 4, razmerje med *WHC* in *CON* pa je ocenjeno na 1 : 10. Celotno razmerje med posameznimi stroški (*WHC* : *TLC* : *CON*) je torej 1 : 4 : 10, zato smo za potrebe izvajanja simulacij in njihove analize za posamezne stroške določili vrednosti *WHC* = 1, *TLC* = 4 in *CON* = 10.

Na tem mestu velja poudariti še dejstvo, da je zgornje razmerje odvisno od preučevanega podjetja in panoge, v kateri se podjetje nahaja, in se lahko med posameznimi primeri občutno razlikuje, kar vpliva tudi na končne rezultate simulacij in na optimalno razmerje *RA*. Vendar pa je mogoče predlagani pristop uporabiti tudi za druga razmerja, kar podrobneje predstavljamo v podpoglavju 4.2.4.

Izračun končnih stroškov za posameznega izmed 326 primerov je potekalo v dveh korakih.

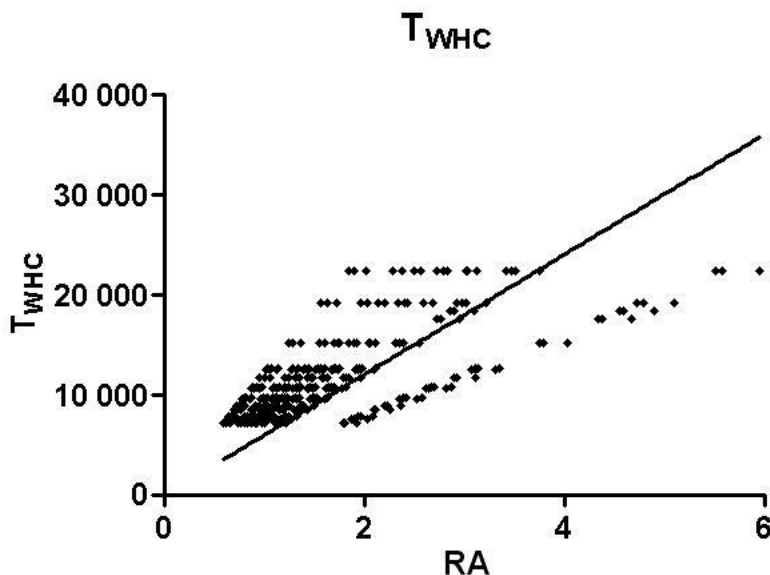
1. Izbrani algoritem za razrez je bil uporabljen za izdelavo načrta razreza.
2. Izračunani so bili količina neuporabnega ostanka, število neizpolnjenih naročil, T_{WHC} , T_{TLC} , T_{CON} in TCC .

4.2.3 Analiza rezultatov

Po uspešno izvedenih simulacijah razreza in izračuna stroškov neuporabnega ostanka, neizpolnjenih naročil in skladiščenja vseh 326 primerov smo opravili analizo rezultatov. Z analizo odgovarjamo na vprašanje o optimalni skupni velikosti zaloge v razmerju glede na skupno velikost naročila.

Najprej sledi analiza posameznih izmed treh skupin stroškov. Glede na posamezne rezultate smo za vsako izmed skupin stroškov izdelali razsevni diagram (angl. *scatter plot*) ter glede na rezultate poiskali ustrezno regresijsko krivuljo, ki ponazarja gibanje stroškov glede na razmerje med skupno velikostjo zaloge in skupno velikostjo naročila. Na vodoravni osi posameznega diagrama so vrednosti razmerja RA , na navpični osi pa posamezni tipi stroškov. Medtem ko je na vodoravni osi merilo vedno enako, je treba opozoriti, da se na navpični osi merilo spreminja, tako da posamezni grafikoni med seboj niso neposredno primerljivi, ko gre za velikostni red stroškov.

Slika 20: T_{WHC}



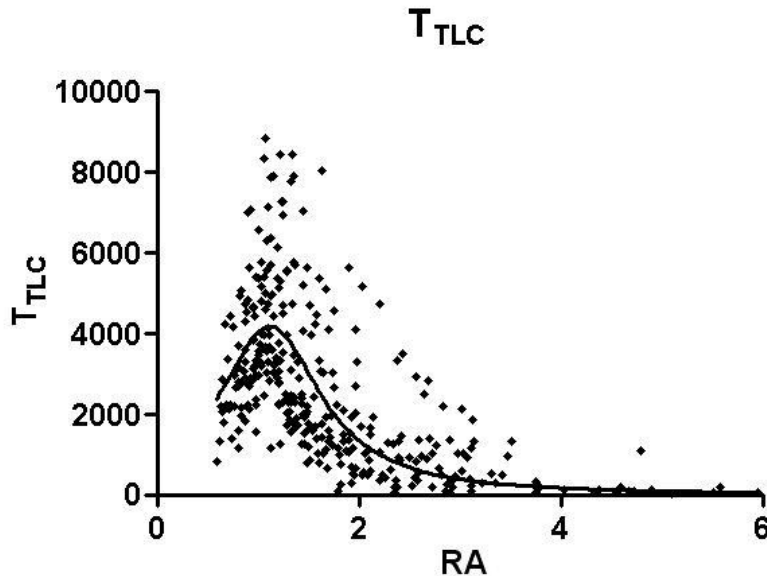
Vir: Erjavec et al. (2012).

Na Sliki 20 je razvidna krivulja skupnih stroškov skladiščenja v odvisnosti od razmerja med velikostjo zaloge in velikostjo naročila. Po pričakovanjih T_{WHC} naraščajo linearno z rastjo razmerja. Pri razmerju nič bi bili skupni stroški skladiščenja enaki nič, saj podjetje zalog ne bi imelo.

Na Sliki 21 so prikazani izračunani skupni stroški neuporabnega ostanka. Kot je razvidno s slike, so ti najvišji okoli razmerja $RA = 1$. Razlog tiči v dejstvu, da je pri relativno enaki velikosti zaloge (v primerjavi z velikostjo naročila) težko izdelati načrt razreza, ki bi imel relativno nizek neuporaben ostanek, saj ni mogočih veliko različnih kombinacij. Ugotovitev s Slike 21 torej potrjuje trditev, da neuporabni ostanek pada bodisi z večanjem zaloge bodisi z višanjem števila neizpolnjenih naročil (Gradišar et al., 1999; Gradišar & Trkman, 2005).

Iz merila na navpični osi na obeh prikazanih slikah je razvidno, da je velikostni red stroškov skladiščenja višji od stroškov neuporabnega ostanka. Velikostni red je odvisen od prvotnega razmerja med posameznimi stroški in je v posameznih primerih različen.

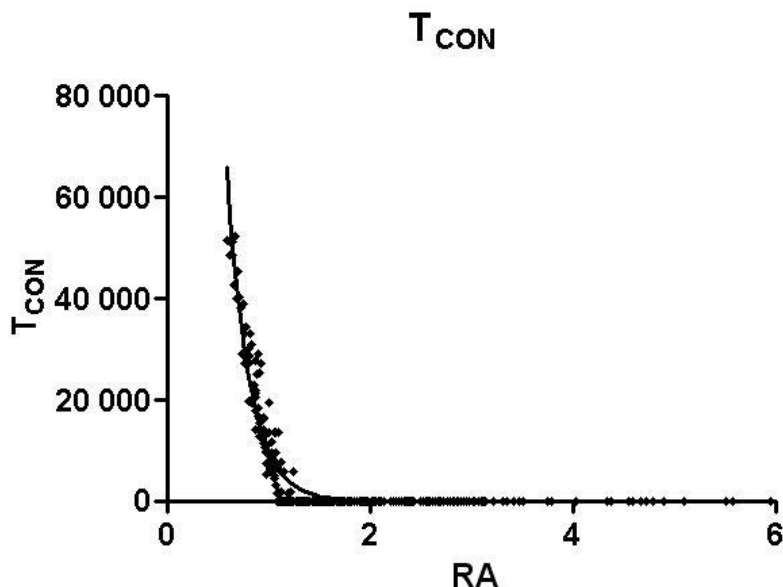
Slika 21: T_{TLC}



Vir: Erjavec et al. (2012).

Če primerjamo velikost stroškov na Sliki 20 in Sliki 21, opazimo, da so skupni stroški skladiščenja višjega velikostnega reda kot skupni stroški neuporabnega ostanka. Vpliv T_{WHC} na skupne stroške (TCC) je torej v tem primeru višji od vpliva T_{TLC} , kar pomeni, da izbira samega algoritma za optimizacijo načrta razreza manj vpliva na skupne stroške kot optimizacija stroškov skladiščenja. Velikostni red je odvisen od prvotnega razmerja med WHC in TLC , ki je v analiziranem primeru 1 : 4.

Slika 22: T_{CON}



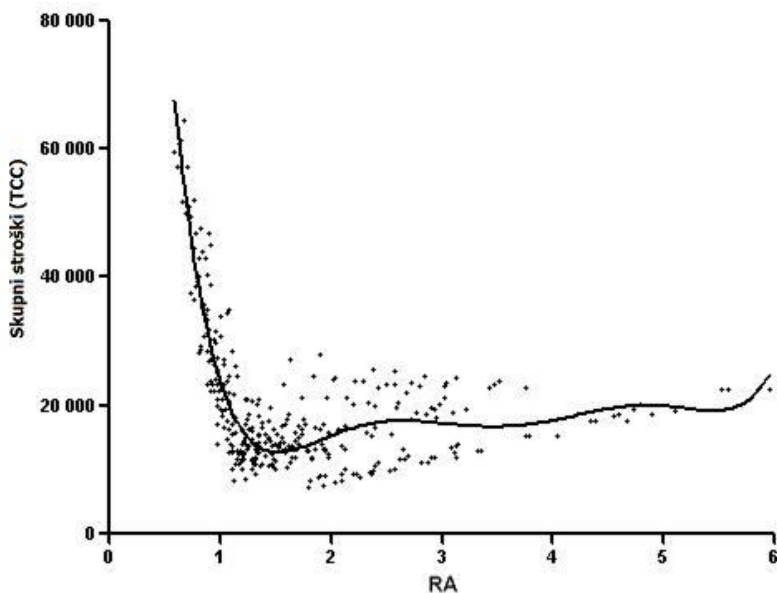
Vir: Erjavec et al. (2012).

Gibanje zadnjih izmed treh stroškov pa je prikazano na Sliki 22, ki prikazuje skupne stroške neizpolnjenih naročil. Kot je razvidno s slike, so ti stroški enaki nič približno od razmerja $RA = 1,5$ navzgor, počasi naraščajo z nižanjem razmerja od vrednosti $RA = 1,5$ do vrednosti $RA = 1,0$, nato pa pod vrednostjo $RA = 1,0$ začnejo strmo naraščati. Tudi to obnašanje je pričakovano, saj obstaja večja verjetnost za popolno izpolnitev naročila v primeru, da je materiala na zalogi relativno več od naročenega materiala. Ko je materiala na zalogi približno enako kot v naročilu, lahko pride do manjših neizpolnitev naročila, pri manj materiala na zalogi v primerjavi z materialom v naročilu pa delež neizpolnjenega dela naročila

skokovito raste. Na tej sliki je velikostni red stroškov višji od prejšnjih dveh, kar je prav tako odvisno od prvotnega razmerja med posameznimi skupinami stroškov.

Da bi poiskali najnižji RA, smo uporabili razsevni diagram, na katerem so skupni stroški v odvisnosti od RA za vseh 326 primerov. Razsevni diagram je prikazan na Sliki 23. Krivulja TCC je na intervalu od 0,4 do 1,2 hitro padajoča predvsem zaradi vpliva T_{CON} . Na tem intervalu so najvišji tudi T_{TLC} , vendar pa zaradi njihove relativne velikosti občutno ne vplivajo na krivuljo TCC , T_{WHC} pa so na tem delu zanemarljivi. Na intervalu od $RA = 4$ navzgor pa se krivulja TCC počasi vzpenja, kar je predvsem posledica naraščajočih T_{WHC} , medtem ko ostala dva tipa stroškov s približevanjem osi x počasi izgubljata vpliv na obliko krivulje skupnih stroškov. Minimum krivulje je smiselno iskati nekje na intervalu med vrednostma RA 1 in 4.

Slika 23: Skupni stroški (TCC) v odvisnosti od razmerja med celotno zalogo in celotnim naročilom (RA)



Vir: Erjavec et al. (2012).

Krivuljo smo določili s pomočjo nelinearne regresije. Metodo nelinearne regresije smo izbrali, ker omogoča ocenjevanje naklona krivulje za vsako točko na krivulji,

kar daje podjetjem boljše podatke o tem, kako se stroški obnašajo zunaj optimuma. Tako se management v podjetjih lažje odloča o tem, kje na krivulji se je najbolje nahajati, če podjetje ne more doseči optimuma, torej globalnega minimuma. Pomembna pa je tudi informacija o obnašanju krivulje v območjih levo in desno od točke, v kateri se podjetje nahaja, saj podjetje na ta način lažje oceni tveganje položaja v določeni točki.

Pri iskanju ustrezne regresijske krivulje smo kot merilo uporabili determinacijski koeficient (R^2), ki je kvadrat korelacijskega koeficienta (R). Če R^2 presega vrednost 0,5, je to že zadosten pogoj za zadovoljivo prilaganje regresijske krivulje (J. Cohen, Cohen, West & Aiken, 2003).

Testirali smo različne regresijske krivulje, na podlagi testov pa se je najbolje prilagala polinomska krivulja šeste stopnje z determinacijskim koeficientom 0,792. Krivulja je:

$$TCC = 256.1RA^6 - 5504RA^5 + 47319RA^4 - 207000RA^3 + 482528RA^2 - 562200RA + 268401$$

Z definiranjem regresijske krivulje pa je preprosto poiskati točko, kjer so skupni stroški najnižji – ta bo v globalnem minimumu krivulje. Izračunani globalni minimum krivulje TCC je tako pri razmerju $RA = 1,516$ oziroma tam, kjer so skupni stroški enaki 12.832 enot. To pomeni, da je optimalna velikost zaloge približno 50 % višja od pričakovanega naročila.

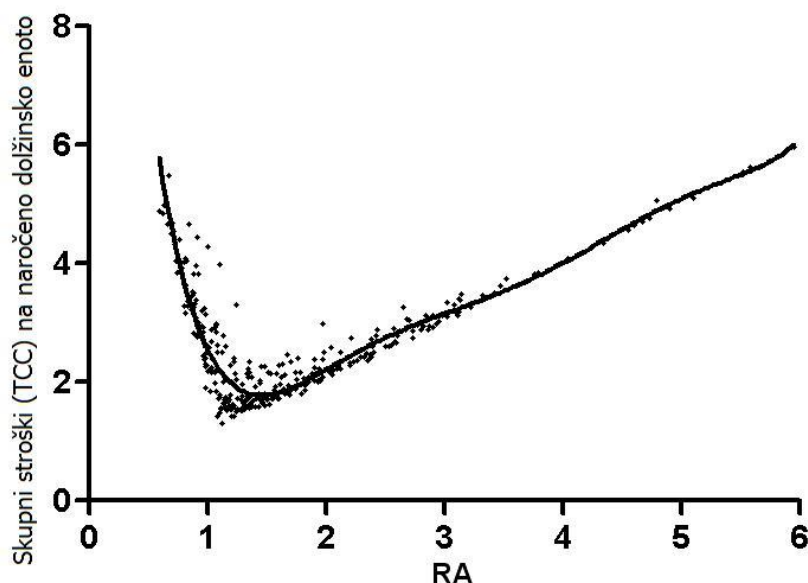
Ker je razmerje na podlagi simulacij statistično določeno zgolj za specifičen primer, rezultata ne moremo posplošiti, vendar pa je uporabljena metoda primerna tudi za druga razmerja posameznih stroškov in druge algoritme za optimizacijo načrta razreza, tako da je pot do rezultata znana.

Na podlagi opisanega pristopa podjetje lahko poleg iskanja optimalnega RA analizira tudi svoj položaj na krivulji in na podlagi tega sprejme odločitve o morebitnih spremembah politike zalog. Podjetja namreč ne morejo vedno doseči optimuma.

Razlogi za to so različni, najpogostejši med njimi so velikost skladišč, politika naročanja, velikost naročil, časi dobav, negotovost prihodnjega povpraševanja (Waters, 2003), zato je za podjetja pomembno, da ocenijo vpliv na stroške, če niso v območju optimalnega razmerja RA . Podjetja bodo v različnih točkah na krivulji drugače reagirala. Preprost primer je, če je podjetje trenutno na točki, kjer je $RA = 2,5$. Sprememba razmerja bližje optimumu ($RA = 1,5$) bi pomenila zgolj manjše znižanje skupnih stroškov. V nasprotnem primeru pa bi bilo znižanje skupnih stroškov relativno visoko, če bi bilo podjetje v točki $RA = 0,5$ in bi želelo preiti v točko $RA = 1,5$.

V konkretnem simuliranem primeru zaradi naklona regresijske krivulje vsaka sprememba višine zalog levo od optimuma prinese višje spremembe stroškov kot pa spremembe desno od optimuma. Zopet gre zgolj za analizo konkretnega primera, kjer posploševanje ni mogoče.

Slika 24: *Skupni stroški (TCC) na naročeno enoto dolžine*



Vir: Erjavec et al. (2012).

Prav tako smo uporabili nelinearno regresijo s polinomske krivuljo šeste stopnje, ki ima v tem primeru naslednjo enačbo:

$$TCCu = 0.015RA^6 - 0.328RA^5 + 2.935RA^4 - 13.4RA^3 + 32.76RA^2 - 39.62RA + 20.18$$

$TCCu$ so v tem primeru skupni stroški na naročeno enoto dolžine, globalni minimum regresijske krivulje je pri 1,454, kjer so $TCCu = 1,769$ denarne enote. To potrjuje prejšnjo ugotovitev, da je optimalna velikost zaloge približno 50 % višja od pričakovanega naročila. Determinacijski koeficient je v tem primeru znašal 0,867, kar je višje od regresijske krivulje na razsevnem diagramu celotnih skupnih stroškov. Ocenjujemo, da je predlagani pristop z normaliziranimi skupnimi stroški natančnejši in zato ustreznejši, čeprav privede do podobnih rezultatov.

4.2.4 Uporabnost pristopa

Rezultati, predstavljeni v prejšnjem poglavju, temeljijo na razmerju med posameznimi tipi stroškov, ki je bilo določeno na podlagi podatkov, pridobljenih na konkretnem primeru, zato lahko tudi rezultate, pridobljene v prejšnjem poglavju, apliciramo zgolj na konkretni primer. Da bi preizkusili tudi širšo uporabnost predstavljenega pristopa, se v tem poglavju osredotočamo na analizo pristopa ob drugačnih razmerjih med posameznimi tipi stroškov.

Razlogi za drugačna razmerja med posameznimi tipi stroškov so lahko različni in lahko vključujejo

- vrednost materiala,
- tip materiala,
- skladiščno politiko in
- panogo poslovanja podjetja.

Vrednost materiala lahko vpliva na višino stroškov neuporabnega ostanka. Višja kot je vrednost materiala, višja bo vrednost neuporabnega ostanka na enako dolžinsko enoto. Ob tem je treba upoštevati, da se pri razrezih materialov različnih vrednosti lahko uporabljajo različne dolžinske enote, kar ne privede nujno do enoznačne relacije, da je v primeru višje vrednosti materiala višja tudi absolutna vrednost neuporabnega ostanka. Prav tako lahko vrednost materiala vpliva na

stroške skladiščenja. Primer so stroški zavarovanja, ki so za materiale višjih vrednosti praviloma višji.

Od **tipa materiala**, ki posledično določa tudi dimenzije materiala, so lahko odvisni predvsem stroški skladiščenja. Nekateri materiali, uporabljeni pri razrezu, se namreč lahko skladiščijo na prostem oziroma v nezahtevnih skladiščih (denimo les, jekleni profili), kar močno zniža stroške izgradnje skladišč.

Skladiščna politika vpliva predvsem na stroške skladiščenja. Organiziranost skladišča lahko privede do odstopanj stroškov notranje logistike, stroškov nezgod, stroškov managementa ipd. med posameznimi podjetji iste panoge, kar privede do vpliva na razmerje z ostalimi tipi stroškov.

Panoga poslovanja podjetja vpliva predvsem na stroške neizpolnitve naročila. Če je panoga nizko konkurenčna, ima proizvodno podjetje visoko pogajalsko moč, kar privede do manjše možnosti in tudi verjetnostičasne ali trajne menjave dobaviteljev v primeru neizpolnitve naročila. V tem primeru bodo stroški neizpolnitve naročila nižji kot v visoko konkurenčnih panogah, kjer je dobaviteljev veliko in je možnostčasne ali trajne menjave dobaviteljev večja.

V večini panog, predvsem v relativno visoko konkurenčnih, velja $WHC < TLC < CON$, medtem ko so v nizko konkurenčnih panogah stroški neizpolnitve naročil nižji (Blazenko & Vandezande, 2003). Raven WHC je odvisna od načrtovanja skladišč (Baker & Canessa, 2009) in običajno predstavlja enomestni odstotek vrednosti materiala, medtem ko so TLC nekoliko višji od materialnih stroškov (kar vključuje stroške odstranjevanja neuporabnega ostanka). Najtežje je oceniti CON , vendar so običajno najvišji v primerjavi z ostalima dvema tipoma stroškov, predvsem na račun morebitnih izgub naročil v prihodnjih obdobjih (Axsater, 2006).

V primeru nizko konkurenčnih panog pa je situacija drugačna, saj zaradi majhnega števila alternativnih ponudnikov kratkoročna in tudi dolgoročna menjava dobaviteljev nista vedno mogoči in sta hkrati tudi težje izvedljivi (Blazenko & Vandezande, 2003). V tem primeru se lahko raven CON približa ravni ostalih dveh tipov stroškov ali celo pade pod njuno raven.

Pomemben dejavnik pri ocenjevanju ravni *CON* je tudi kategorija proizvoda, za katerega iščemo optimalno velikost zaloge materiala. Proizvod je lahko za kupce strateškega pomena, lahko jim predstavlja ozko grlo, lahko gre za proizvod, ki zagotavlja vzvod v podjetju, ali pa za nekritičen proizvod v poslovanju kupcev (Kraljič, 1983). Na podlagi klasifikacije proizvoda tako podjetje lahko oceni oziroma izračuna višino *CON*. V primeru nekritičnih proizvodov bodo *CON* najnižji, pri ostalih tipih pa razvrstitev brez poznavanja dodatnih dejavnikov ni enoznačno mogoča.

Tabela 6: *Optimalna razmerja med celotno zalogo in celotnim naročilom (RA) za različna razmerja WHC : TLC : CON*

Zap. št.	Razmerja stroškov			Optimalno razmerje (RA) z minimalnimi stroški	Minimalni skupni stroški (TCC)	Determinacijski koeficient (R^2)
	WHC	TLC	CON			
1	1	2	10	1,478	11.336	0,820
2	1	5	10	1,545	13.376	0,777
3	1	8	10	1,609	15.755	0,730
4	2	1	10	1,396	21.327	0,632
5	5	1	10	1,251	52.874	0,410
6	8	1	10	1,151	82.886	0,420
7	1	1	1	1,112	11.124	0,363
8	1	10	10	1,671	17.003	0,699
9	10	1	10	1,099	102.077	0,435
10	10	1	1	0	-	-

Vir: Erjavec et al. (2009).

V Tabeli 6 so predstavljeni izračuni za različna razmerja med posameznimi tipi stroškov (*WHC : TLC : CON*). Osnova za vse izračune so primeri, ki so bili uporabljeni tudi pri analizi rezultatov v prejšnjem poglavju. Regresijska krivulja je bila v vseh primerih, prikazanih v Tabeli 6, polinom šeste stopnje. V tabeli so prikazani optimalna razmerja (RA), kjer dosežemo minimalne skupne stroške, višina minimalnih skupnih stroškov (TCC) ter determinacijski koeficient (R^2).

Primeri od ena do tri v tabeli imajo spremenjeno razmerje *TLC* glede na ostala dva tipa stroškov ter omogočajo analizo obnašanja modela pri spremenjenih razmerjih. Kot je razvidno iz vrednosti determinacijskih koeficientov, je model primeren kljub spremembam v razmerju, saj so vse tri vrednosti višje od 0,7, kar pomeni, da se regresijska krivulja dobro prilega točkam v razsevnem diagramu. Razvidno je tudi, da velikost optimalnega razmerja *RA* narašča z naraščanjem vrednosti *TLC* v primerjavi z ostalima dvema tipoma stroškov. Iz tabele je razvidno, da vrednost *RA* narašča od 1,478 do 1,609. Od prvega do tretjega primera naraščajo tudi minimalni skupni stroški, kar je zaradi večanja vrednost *TLC* pričakovano.

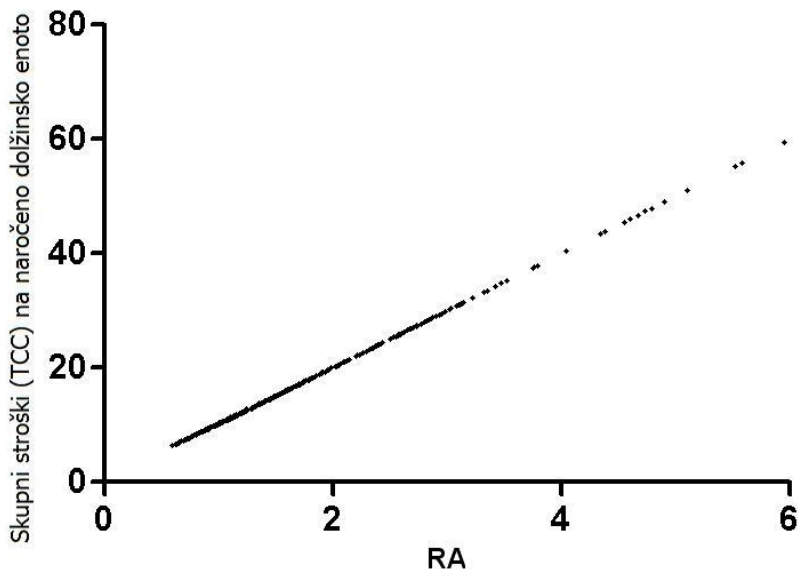
V primerih štiri do šest je uporabljeno razmerje $TLC < WHC < CON$. Gre torej za zamenjani vlogi stroškov neuporabnega ostanka in stroškov skladiščenja, kjer so stroški neuporabnega ostanka v primerjavi z ostalima dvema tipoma stroškov najnižji. Nižji stroški neuporabnega ostanka pomenijo relativno nizko vrednost materiala. Medtem ko je rešitev primera štiri še dovolj natančna, saj je determinacijski koeficient nad 0,5, pa je v primerih pet in šest determinacijski koeficient nekoliko nižji od 0,5, kar že pomeni potencialno nezadostno natančnost. Za potrebe analize kljub temu lahko opazujemo gibanje *RA* in minimalnih skupnih stroškov glede na gibanje *WHC* v primerjavi z ostalima dvema tipoma stroškov. Ob nespremenjenih ostalih stroških in rasti *WHC* se optimalno razmerje postopoma znižuje, in sicer z 1,396 v primeru številka štiri na 1,151 v primer številka šest, hkrati pa naraščajo minimalni skupni stroški.

Na primeru sedem smo preverjali natančnost pristopa, ko je višina vseh stroškov enaka in je razmerje med posameznimi stroški 1 : 1 : 1. Glede na determinacijski koeficient pristop v tem primeru ni natančen, saj je koeficient krepko pod 0,5.

Preverjali smo tudi uporabnost pristopa, ko je eden izmed treh stroškov neproporcionalen glede na ostala dva, kar je prikazano v primerih osem in devet. Če so *WHC* bistveno nižji od ostalih dveh tipov stroškov, je dovolj natančno rešitev mogoče najti (determinacijski koeficient je v primeru osem 0,699). V primeru bistvenega odstopanja navzdol s strani *TLC* pa rešitev zopet ni zadovoljivo natančna, saj je determinacijski koeficient pod 0,5. Zadnje je razvidno iz primera devet.

Opravili smo tudi izračune za različna razmerja, kjer je $TLC > WHC > CON$. Pri nobenem izmed testiranih razmerij pa ni bilo možno določiti regresijske krivulje, ki bi pokazala statistično značilno korelacijo. Determinacijski koeficienti so bili v vseh primerih pod 0,1.

Slika 25: *Skupni stroški na naročeno dolžinsko enoto v primeru razmerja stroškov $WHC : TLC : CON$ 10 : 1 : 1*



Vir: Erjavec et al. (2012).

Primer, kjer so stroški neizpolnitve naročila ene dolžinske enote naročila nižji od stroškov skladiščenja ene dolžinske enote, je specifičen in v praksi nerealen, tako da so tudi rezultati pričakovani. Če bi bili v praksi CON nižji od WHC , bi to pomenilo, da se podjetju ne splača imeti zalog, saj bi podjetje vsaka enota na zalogi stala več kot pa oportunitetni strošek izgube, ki bi nastal zaradi nezmožnosti prodaje te enote. V tem primeru v podjetju ne bi izpolnili nobenih naročil in bi kljub temu imeli nižje skupne stroške, kot če bi naročila izpolnjevali. Opisani primer, kjer je $WHC > CON$, je prikazan na Sliki 25, s katere je razvidno, da je optimalno razmerje v tem primeru $RA = 0$.

Na podlagi opravljene analize zaključujemo, da lahko potrdimo hipotezo, da so »celotni stroški procesa razreza, ki vključujejo stroške neuporabnega ostanka razreza, stroške skladiščenja in stroške neizpolnitve naročil, odvisni od velikosti zaloge materiala«.

4.2.5 Razmerje med povprečno dolžino palic na zalogi in povprečno dolžino palic v pričakovanih naročilih

Pomemben dejavnik pri pristopu, opisanem v okviru tega poglavja, je tudi razmerje med dolžino palic na zalogi in povprečno dolžino palic v pričakovanih naročilih. Ker je v naročilu in na zalogi običajno več različnih dolžin palic, obstaja več možnosti za določanje razmerja med dolžinami palic. Možno je računati razmerje med najdaljšo palico oziroma najkrajšo palico na zalogi in najdaljšo oziroma najkrajšo palico v naročilu. Vsaka izmed možnih kombinacij pomeni določene omejitve. Pri velikem številu kosov na zalogi ali pri velikem številu naročil denimo najkrajša ali najdaljša palica predstavlja relativno majhen delež zaloge ali naročila, zato ni nujno, da pomembno vpliva na končni rezultat. Pri določanju razmerja smo se odločili za uporabo povprečnih vrednosti. Vsebina podpoglavja je povzeta in razširjena po Erjavec, Tomat, Gradišar (2011b).

Uporabljamo razmerje med povprečno dolžino palic na zalogi in povprečno dolžino palic v pričakovanih naročilih (RD). Povprečno dolžino palic na zalogi v tem primeru izračunamo kot utežno povprečje vseh dolžin, pri čemer je utež število palic posamezne dolžine. Ravno tako izračunamo povprečno dolžino palic v naročilu, pri čemer je utež število kosov posamezne naročene dolžine.

Pri iskanju odgovora na zgornje vprašanje smo se odločili za uporabo simulacij. Uporaba simulacij v poslovnem odločanju je podrobneje predstavljena v poglavju 4.1, na tem mestu pa navajamo ključne lastnosti izvedenih simulacij z vidika vrste simulacij, morebitnih posebnosti glede na metodološke korake izvedbe simulacij in uporabljene tehnike pri vrednotenju modela.

Pri simulacijah, opisanih v tem poglavju, gre za statične simulacije, saj gre za vzorčna opazovanja ter njihova pretvarjanja v formule ali pravila. Simulacije so v tem primeru diskretne.

Simulacije smo izvajali v skladu s koraki, opisanimi v poglavju 4.1, ki so potrebni pri korektni izvedbi simulacij kot raziskovalne metodologije.

Tako smo v prvem koraku definirali cilje, vsebine in potrebe. Pojav smo preučevali, da bi preverili hipoteze, da *»razmerje med dolžinami palic na zalogi in dolžinami palic v pričakovanih naročilih vpliva na skupne stroške procesa proizvodnje«*. Vire podatkov smo si zagotovili pri slovenskem trgovskem in proizvodnem podjetju, ki je vodilno na trgih s tehničnim blagom na področju jugovzhodne Evrope in kjer se ena izmed divizij podjetja ukvarja tudi z razrezom kovinskih materialov.

V drugem koraku smo se lotili identifikacije in zbiranja potrebnih vhodnih podatkov, kar je natančneje opisano že v podpoglavju 2.3.2, saj smo podatke za izvedbo simulacij v tem poglavju zbirali hkrati s podatki za izvedbo dinamičnih simulacij v okviru poglavja 2. Na podlagi zbranih podatkov smo določili mejne vrednosti za generacijo naključnih podatkov, kar podrobneje opisujemo v nadaljevanju tega poglavja.

V tretjem koraku smo gradili model in določali meje in omejitve sistema, kar je opisano v prejšnjem podpoglavju 4.2.1.

V četrtem koraku smo simulacijski model ovrednotili z ex-post grafičnim prikazom odvisnih spremenljivk. Hkrati smo uporabili tudi vrednotenje s pomočjo testa konstant, kjer smo s konstantnimi vhodi v model lahko preverili njegovo pravilno delovanje. Uporabili smo tudi prediktivno vrednotenje, kjer sicer nismo razvili prediktivnega modela, temveč smo uporabili pretekla spoznanja različnih avtorjev, na podlagi katerih smo lahko ocenili delovanje modela in rezultate simulacij.

V petem in šestem koraku smo izvedli simulacije in opravili analizo in interpretacijo rezultatov, kar opisujemo v tem poglavju.

V simulacijah v prejšnjem podpoglavju smo uporabili dejanske podatke iz podjetja, kjer je bilo razmerje $RD = 2 : 1$. V praksi se lahko pojavijo tudi druga razmerja RD , ki ob predpostavki ostalih nespremenjenih dejavnikov lahko pomembno vplivajo na končni rezultat simulacij, zato je naslednji korak pri izvajanju

zgornjih simulacij še vključevanje različnih razmerij dolžin palic na zalogi in palic v naročilu.

V nadaljevanju podpoglavja s pregledom literature, prikazanim v Tabeli 7, predstavljamo razmerja med dolžinami palic na zalogi in dolžinami palic v naročilu, ki jih različni avtorji uporabljajo za reševanje različnih problemov enodimenzionalnega razreza, pri čemer se omejujemo na sodobne metode, razvite v zadnjem desetletju.

Tabela 7: *Razmerja med povprečno dolžino palice na zalogi in povprečno dolžino palice v naročilu*

Razmerje med povprečno dolžino palice na zalogi in povprečno dolžino palice v naročilu	Vir
5,3 : 1	(Harjunkoski, Westerlund, Porn & Skrifvars, 1998)
50 : 1	(Gradišar et al., 1999)
7,1 : 1	(Giannelos & Georgiadis, 2001)
5 : 1	(Gradišar et al., 2002)
od 9,5 : 1 do 2 : 1	(Umetani et al., 2003)
od 3,3 : 1 do 10 : 1	(Trkman & Gradišar, 2003)
10 : 1	(Gradišar & Trkman, 2005)
98,7 : 1	(Aktin & Ozdemir, 2009)
3,5 : 1	(Poldi & Arenales, 2009)
od 5 : 1 do 40 : 1	(Cui & Yang, 2010)

Vir: Erjavec et al. (2011b).

Različna uporabljena razmerja so prikazana v Tabeli 7. Izračunali smo jih na podlagi podatkov, ki so bili dostopni v posameznih znanstvenih člankih. Ker nekateri avtorji pri objavi svojih algoritmov ne vključujejo eksperimentalnih rezultatov, smo bili omejeni na znanstvene prispevke, kjer so bili algoritmi eksperimentalno preizkušeni.

Kot je razvidno iz Tabele 7, so lahko razmerja med povprečnimi dolžinami palic na zalogi in v naročilu v posameznih primerih bistveno različna. Tako variirajo od 2 : 1 do skoraj 100 : 1. Take razlike so posledica različnih primerov v praksi

ter različnih izhodišč avtorjev pri izbiri eksperimentalnih testov. Najvišje razmerje je tako denimo v proizvodnji kovinskih žičnih mrežic, ki omogočajo normalen pretok krvi skozi koronarne arterije (Aktin & Ozdemir, 2009), relativno visoka razmerja pa so tudi pri eksperimentalni uporabi algoritmov za optimizacijo načrta razreza v tekstilni industriji (Gradišar et al., 1999).

Ugotavljamo tudi, da se najpogosteje uporabljena razmerja RD gibljejo med približno 5 : 1 in 10 : 1, saj kar osem izmed desetih znanstvenih člankov vsaj v delu eksperimentalnih testov uporablja razmerje med tema dvema vrednostma.

V nobenem izmed znanstvenih člankov, ki so navedeni v Tabeli 7, kjer so avtorji sami generirali eksperimentalne teste, pa avtorji eksplicitno ne omenjajo, zakaj so izbrali uporabljena razmerja. Razlogi za izbrana razmerja so lahko različni. Eden izmed njih je, da dolžine palic na zalogi ni mogoče neomejeno daljšati zaradi naravnih ali tehničnih omejitev. Tako denimo deske ne morejo biti daljše kot hlodi, ki so pogojeni z višino dreves, čeprav bi si mizarji želeli daljših desk, da bi lažje optimizirali razrez. Primer tehnične omejitve je denimo najvišja teža navitka materiala, ki ga je še mogoče transportirati s podjetju dostopnimi prevoznimi sredstvi.

Lahko pa bi tudi špekulirali, da avtorji razmerja med dolžinami palic prilagodijo tako, da z njim dosežejo najboljše rezultate z uporabo lastnih razvitih algoritmov ter si s tem povečajo možnosti za razvoj uspešnejših algoritmov od predhodnih ter hkrati boljše možnosti za objavo v znanstvenih revijah. Tovrstne špekulacije bi bile mogoče še zlasti za primere, v katerih avtorji ne uporabljajo podatkov, vezanih na konkretne primere iz prakse. Tovrstne špekulacije že v osnovi zavračamo in se osredotočamo samo na dostopne podatke in preverjena ter znanstveno potrjena dejstva.

Nižje razmerje RD pa pomeni tudi zmanjšano število možnosti pri optimizaciji načrta razreza, kar vodi do višjih neuporabnih ostankov (Gradišar et al., 1999). Tako lahko denimo pri vrednosti RD med 1 in 2 iz posamezne palice na zalogi odrežemo največ dve palici iz naročila, kar pomeni potencialni višji neuporabni ostanek.

Na podlagi analize zgornjih člankov ugotavljamo, da avtorji pri razvijanju algoritmov za optimizacijo načrta razreza ne posvečajo posebne pozornosti razmerjem dolžin palic v naročilu in dolžin palic na zalogi. Ključno vprašanje, na katero želimo v okviru tega podpoglavja odgovoriti, je torej naslednje: »Katera je z vidika posameznega algoritma za optimizacijo izdelave načrta razreza vrednost razmerja med povprečno dolžino palic na zalogi in povprečno dolžino palic v pričakovanem naročilu, pri kateri podjetje postane indiferentno glede stroškov neuporabnega ostanka, ki nastanejo zaradi omenjenega razmerja?«

V okviru iskanja odgovora na zgornje vprašanje testiramo hipotezo, da »razmerje med dolžinami palic na zalogi in dolžinami palic v pričakovanih naročilih vpliva na skupne stroške procesa proizvodnje«.

Predlagamo torej iskanje za podjetje stroškovno najugodnejšega optimalnega razmerja med povprečno dolžino palic na zalogi in povprečno dolžino palic v naročilu za dani algoritem za optimizacijo načrta razreza.

Ob tem je treba upoštevati dva dejavnika.

1. Z rastjo razmerja med povprečno dolžino palic na zalogi in povprečno dolžino palic v naročilu narašča možnost dobre rešitve in se hkrati znižuje neuporabni ostanek (Gradišar et al., 1999). S tega vidika bi bila najboljša neskončno dolga palica, kar pa seveda ni mogoče.
2. Velikost zaloge v primerjavi z velikostjo celotnega naročila. S Slike 21 je razvidno, da pri razmerju med skupno količino zaloge in skupno količino naročila pri $RA > 5$ stroški neuporabnega ostanka padejo praktično na nič, kar je posledica velikega izbora različnih dolžin palic na zalogi.

Na podlagi prvega izmed zgornjih dveh dejavnikov je mogoče zaključiti, da naj imajo podjetja na zalogi najdaljše možne dostopne palice, ki jih lahko nabavijo. Vendar pa nastane problem z upoštevanjem dodatnih kriterijev, saj so pomembne predvsem različne višine določenih stroškov, ki se pojavijo z različnimi dolžinami palic. Z različnimi dimenzijami materiala oziroma v primeru enodimenzionalnega razreza dolžin palic, ki jih ima podjetje na zalogi, je torej povezana višina različnih stroškov.

- **Dolžina naročenih palic vpliva na nabavno vrednost materiala na dolžinsko enoto.** Dobavitelji posameznega podjetja denimo lahko dobavljajo standardne dolžine palic oziroma dolžine palic na določenih dolžinskih intervalih. Cene na enoto posamezne dolžine se lahko pri različnih dolžinah palic med seboj razlikujejo. Tako je lahko denimo v lesni industriji največja dolžina hloda odvisna od največje dolžine razpoložljivih dreves. Ker višja drevesa rastejo dalj časa, bo cena daljših hlodov višja od cene krajših.
- **Dolžina naročenih palic vpliva na stroške transporta.** Stroški transporta so denimo lahko nižji, ko gre za dolžine palic, ki pri transportu ne zahtevajo posebnih obravnav v smislu potrebnega prilagajanja transportnih sredstev, embalaže, velikosti palet, zabojnikov in podobno.
- **Dolžina naročenih palic vpliva tudi na stroške skladiščenja in interne logistike.** Stroški se razlikujejo, če se denimo uporabljajo daljši ali krajši navitki kovin, saj je pri različnih dolžinah navitkov istega materiala potrebna različna oprema za transport glede na težo posameznega navitka.

Ker se zgoraj navedeni stroški med posameznimi primeri razlikujejo, bi opredelitev vseobsegajočega modela ter njegova uporaba presegli okvire te monografije, zato se pri raziskavi omejujemo zgolj na vpliv, ki ga ima razmerje RD na neuporabni ostanek pri razrezu, vidika ostalih stroškov pa se ne dotikamo. To je vsekakor omejitev, hkrati pa nakazuje izhodišča za nadaljnje raziskovanje na tem področju.

Vpliv RD na neuporabni ostanek v nadaljevanju preučujem s pomočjo simulacij. Na tem mestu velja izpostaviti predvsem to, da pristop z uporabo simulacij v tem primeru omogoča preučevanje vpliva RD na neuporabni ostanek pri katerem koli algoritmu. V tej monografiji preučujemo algoritem CUT, ki ga bomo v nadaljevanju tudi uporabili pri modelu procesa razreza v več zaporednih obdobjih.

V poglavjih 4.2.3 in 4.2.4 smo z analizo simulacij pokazali, da je optimalno razmerje skupne dolžine zaloge in skupne dolžine naročila (RA) v primeru algoritma CUT na intervalu med 1,3 in 1,8. Dolžina intervala je pogojena z različnimi razmerji med preučevanimi stroški, zato pri simulacijah, s katerimi bomo merili

vpliv *RD* na neuporabni ostanek, uporabljamo take primere, ki so glede na *RA* na omenjenem intervalu.

Za potrebe simulacij je bilo generiranih 71 primerov. Primeri so bili generirani s pomočjo generatorja PGEN (Gradišar et al., 2002), ki je razširjena in izboljšana različica generatorja CUTGEN1 (Gau & Wascher, 1995). Procedura uporablja pri generiranju enakomerno porazdelitev, kar pomeni, da obstaja enaka verjetnost za generiranje katere koli izmed vrednosti, ki se nahajajo med mejnima vrednostma. Razširjena procedura omogoča generiranje problemov enodimenzionalnega razreza na podlagi vhodnih parametrov, s katerimi določimo:

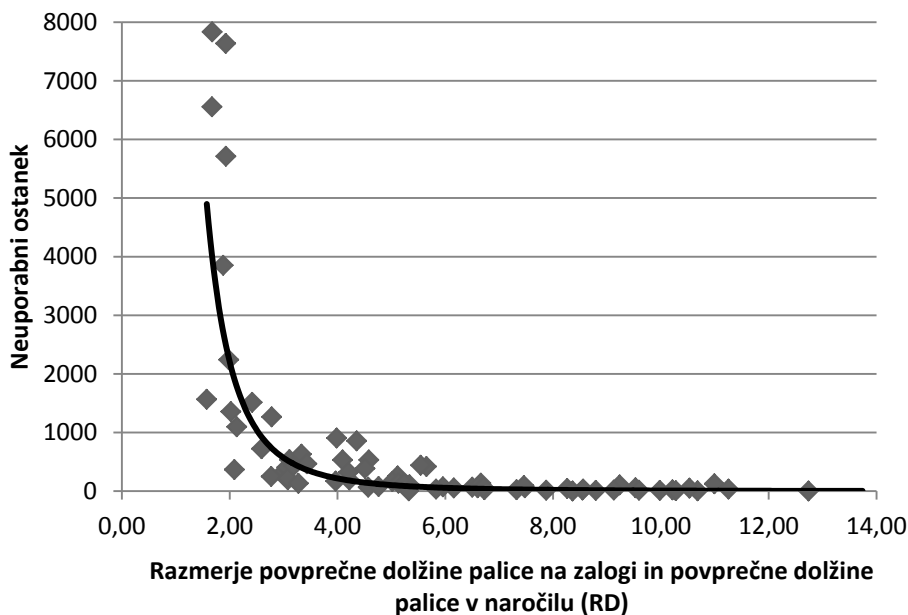
- število različnih dolžin palic v naročilu,
- povprečno število palic posamezne dolžine v naročilu,
- spodnjo in zgornjo mejo za dolžino palic v naročilu,
- število različnih standardnih dolžin palic na zalogi,
- spodnjo in zgornjo mejo za posamezno standardno dolžino palic na zalogi,
- povprečno število palic posameznih standardnih dolžin na zalogi,
- število različnih nestandardnih dolžin palic na zalogi,
- spodnjo in zgornjo mejo za posamezno nestandardno dolžino palic na zalogi.

V vseh primerih je bila dolžina palic v naročilih med 100 in 200 enot. V vsakem naročilu je bilo 5 različnih dolžin palic s povprečnim številom 30 kosov na posamezno dolžino. Dolžine palic na zalogi so v posameznih primerih variirale med 200 in 2000, odvisno od posameznega primera. Zaloge so bile sestavljene iz palic standardnih ter palic nestandardnih dolžin. Število različnih standardnih dolžin je v posameznih primerih variiralo med 1 in 5. Število kosov posamezne standardne dolžine je bilo od primera do primera različno in je znašalo od 4 do 147 kosov. Pri vsakem primeru so bile na zalogi tudi 3 palice nestandardnih dolžin od 200 do 2000 enot, ki so predstavljale palice, ki so bile na zalogo vrnjene kot uporabni ostanek prejšnjih razrezov. Vhodni podatki za posamezne primere (skupaj z uporabljenimi semeni za proceduro CUTGEN1) se nahajajo v Prilogi 2.

Rezultati simulacij so prikazani v razsevnem diagramu na Sliki 26. Rezultati se nanašajo na algoritem *CUT*, vendar pa je uporabljen pristop primeren za analizo

vpliva RA na neuporabni ostanek tudi za druge algoritme za optimizacijo načrta razreza.

Slika 26: *Neuporabni ostanek v odvisnosti od razmerja povprečne dolžine palice na zalogi in povprečne dolžine palice v naročilu (RD)*



Vir: Erjavec et al. (2011b).

Iz razsevnega diagrama je razvidno, da neuporabni ostanek pada z naraščanjem razmerja RD , kar je bilo v znanstvenih prispevkih že omenjeno in potrjeno (Gradišar et al., 1999). Iz diagrama je prav tako razvidno, da neuporabni ostanek pri določenih višinah RD pade skoraj na 0, kar nakazuje tudi regresijska krivulja, ki ima determinacijski koeficient 0,369. Zapis regresijske krivulje v obliki funkcije je $y = 22440x^{-3,348}$.

V tem primeru je pomembna ugotovitev torej ta, da je nizke neuporabne ostanke sicer mogoče doseči z zviševanjem razmerja RD , vendar pa je to zviševanje relativno učinkovito samo do določene mejne vrednosti razmerja RD , desno od te vrednosti pa je vpliv razmerja RD na neuporabni ostanek zelo majhen oziroma

praktično zanemarljiv. Mejno vrednost posamezno podjetje določi arbitrarno glede na svojo poslovno politiko.

V primeru algoritma CUT, kjer so razmerja celotne velikosti zaloge in celotne velikosti naročila (RA) med 1,3 in 1,8, se interval, kjer RD opazno vpliva na višino neuporabnega ostanka, nahaja pri vrednosti RD med 0 in 6, pri vrednosti RD nad 6 pa RD nima več opaznega vpliva na višino neuporabnega ostanka. Na podlagi analize lahko podjetje, ki uporablja izbrani algoritem za optimizacijo načrta razreza, postavi mejno vrednost na intervalu, kjer RD opazno vpliva na višino neuporabnega ostanka.

Pri iskanju optimalnega RA v prejšnjih poglavjih smo uporabili razmerje $RD = 2$. Pri tem razmerju vidimo, da je neuporabni ostanek relativno visok in kot tak lahko pomembno vpliva na stroške v podjetju. Podobno je v primerih, ko je $RD < 6$.

Z vidika podjetij, kjer je razrez materiala del proizvodnega procesa, je torej pomembno, kje na osi x na grafikonu s Slike 26 je podjetje. Lahko je levo ali desno od arbitrarno določene mejne vrednosti RD .

- Če podjetje za svojo zalogo nabavlja palice, ki so v primerjavi z dolžinami palic v naročilih dovolj dolge, da se nahaja **desno od arbitrarno določene mejne vrednosti RD** , dolžina teh palic na razrez ne vpliva dovolj, da bi bila optimizacija z vidika dolžine nabavljenih palic smiselna ali ekonomsko upravičena. V tem primeru na odločitve o dolžini palic vplivajo zgolj ostali stroški, ki sem jih omenil v začetku tega podpoglavja, strošek neuporabnega ostanka pa je zanemarljiv. Strošek neuporabnega ostanka postane pomemben dejavnik le v primeru, če bi se podjetje na podlagi ostalih dejavnikov odločilo za palice, ki bi podjetje premaknile levo od arbitrarno določene mejne vrednosti RD .
- Druga možnost pa je, da je podjetje **levo od arbitrarno določene mejne vrednosti RD** , kar pomeni, da nabavlja relativno kratke palice, ki dovolj vplivajo na neuporabni ostanek pri razrezu, da je optimizacija s tega vidika potencialno potrebna. V tem primeru bi morale podjetje pri izbiri dolžin palic, ki jih bo nabavljalo, poleg ostalih stroškov upoštevati tudi strošek razreza oziroma natančneje strošek neuporabnega ostanka.

Da bi bila zgornja primera lahko uporabna, mora imeti podjetje seveda možnost izbire nabave različnih dolžin palic, s katerimi bo polnilo lastno zalogo. Če ta izbira ni mogoča, navedeni pristop ni uporaben, saj podjetje nima možnosti izbire različnih dolžin palic in tako vpliva na vrednosti razmerja RD .

Na podlagi zgornjih ugotovitev lahko odgovorimo na vprašanje, zastavljeno na začetku podpoglavja. Z vidika posameznega algoritma za optimizacijo načrta razreza ne moremo govoriti o optimalnem razmerju RD , temveč lahko govorimo o ustreznem intervalu RD , ki bo desno od arbitrarno določene vrednosti, ki jo določi podjetje samo, kjer se regresijska krivulja toliko približa osi x , da je neuporabni ostanek z vidika podjetja zanemarljiv. Če je podjetje levo od te vrednosti, potem je zanj priporočljivo, da pri stroškovni optimizaciji upošteva tudi relativno višje stroške neuporabnega ostanka.

Na podlagi navedenega lahko potrdimo tudi, da razmerje med dolžinami palic na zalogi in dolžinami palic v pričakovanih naročilih vpliva na skupne stroške razreza. Ta vpliv se v kontekstu optimizacije načrta razreza kaže skozi neuporabni ostanek, ki pomembno vpliva na skupne stroške proizvodnega procesa, če je podjetje levo od arbitrarno določene mejne vrednosti RD .

4.2.6 Spoznanja glede optimalne velikosti zaloge ter dimenzij materiala

V predhodnih podpoglavjih v okviru poglavja 4.2 smo s pomočjo simulacij poiskali odgovore v zvezi z dvema pomembnima elementoma, ki sta povezana z uporabo modela kontinuiranega procesa razreza, in sicer:

- optimalna velikost zaloge v primerjavi s pričakovanimi naročili, da bodo stroški zalog, stroški neuporabnega ostanka in stroški neizpolnjenih naročil najnižji,
- vpliv razmerja med dolžinami palic na zalogi in dolžinami palic v naročilu na skupne stroške proizvodnega procesa.

Rezultati simulacij so pokazali, da optimizacija načrta enodimenzionalnega razreza prek stroškov neuporabnega ostanka lahko pomembno vpliva na velikost zaloge v primerjavi z velikostjo pričakovanih naročil ter tako lahko vpliva na izbiro optimalne velikosti zalog. Odločitve o velikosti zalog pa so pomembne s

strateškega vidika poslovanja v primeru odločitev o prihodnjih investicijah v skladiščne zmogljivosti ali dolgoročnih najemih skladiščnih zmogljivosti (Cormier & Gunn, 1996).

Glede vpliva dolžin palic na skupne stroške proizvodnega procesa ugotavljamo, da dolžine palic vplivajo na stroške proizvodnega procesa, vendar pa je njihov vpliv odvisen od različnih drugih dejavnikov, ki zaradi svojih specifičnih lastnosti definirajo intenziteto stroškovnega vpliva neuporabnega ostanka materiala na skupne stroške proizvodnega procesa. Management v podjetju mora oceniti, ali stroški neuporabnega ostanka, ki nastanejo zaradi neustreznih dolžin palic na zalogi, dovolj vplivajo na skupne stroške proizvodnega procesa, da jih je smiselno vključiti v stroškovne optimizacijske modele. Razvit simulacijski pristop tovrstno oceno omogoča.

Ker smo simulacije izvajali za načrte razreza, optimizirane z algoritmom CUT, lahko eksperimentalne rezultate uporabimo zgolj v kontekstu danega algoritma za optimizacijo načrta enodimenzionalnega razreza, kar v primeru predstavljenega modela zadošča, saj je v modelu predvidena uporaba algoritma CUT.

Prikazani simulacijski pristopi za iskanje optimalne velikosti zaloge in intervala optimalnega razmerja med povprečno dolžino palic na zalogi in povprečno dolžino palic v naročilu se lahko uporabijo tudi v povezavi z drugimi algoritmi za optimizacijo načrta enodimenzionalnega razreza oziroma tudi v podjetjih, kjer načrte razreza izdelujejo brez pomoči optimizacijskih algoritmov.

Pri simulacijah kontinuiranega stroškovnega modela razreza smo torej vhodne podatke definirali na podlagi rezultatov eksperimentalne analize, kjer sem uporabil algoritem CUT.

Tako smo uporabili naslednji izhodišči pri generiranju vhodnih podatkov:

- razmerje RA je v vhodnih podatkih na intervalu med 1,4 in 1,6,
- razmerje RD je v vhodnih podatkih na intervalu med 2 in 4.¹⁴

¹⁴ Interval se začne pri 2, ker pri manjših razmerjih lahko v povprečju iz ene palice na zalogi narežemo samo eno palico iz naročila in tako problem optimizacije načrta razreza trivializiramo.

V naslednjem podpoglavju tako predstavljamo izvedbo in analizo simulacij kontinuiranega stroškovnega modela procesa razreza, ki smo ga predstavili v četrtem poglavju.

4.3 Izvedba in analiza simulacij kontinuiranega modela procesa razreza

V tem podpoglavju predstavljamo simulacije, izvedene na modelu, prikazanem na Sliki 17 na začetku poglavja. S simulacijami smo želeli preveriti delovanje in obnašanje modela v več zaporednih obdobjih. Pri izvajanju simulacij kot izhodišče za ciljne vrednosti velikosti zaloge uporabljamo optimalno razmerje RA , ki ga s pomočjo simulacij ocenjujemo v poglavju 4.2.3. Za dimenzije palic na zalogi pa uporabljamo interval, kjer je RD še dovolj visok, da je neuporabni ostanek še relativno visok, da lahko predstavlja relativno visoke stroške, ki lahko vplivajo na odločitve podjetja o sestavi zaloge.

Za potrebe izvajanj simulacij smo vhodne podatke generirali s pomočjo generatorja PGEN, ki je natančneje opisan že v poglavju 4.2.2. Pri generiranju podatkov so podane naslednje omejitve:

- število različnih dolžin v naročilu je 5,
- spodnja meja dolžin v naročilu je 100,
- zgornja meja dolžin v naročilu je 200,
- število kosov v naročilu je enakomerno porazdeljeno in se nahaja med 1 in 19,
- število različnih dolžin na zalogi je 5,
- spodnja meja dolžin na zalogi je 200,
- zgornja meja dolžin na zalogi je 800,
- število kosov posamezne dolžine na zalogi je od 4 do 5,
- semena imajo vrednosti od 100000001 do 100000120.

Navedene omejitve omogočajo generiranje podatkov v okviru zelenih vrednosti RD in RA , in sicer interval 1,4 do 1,6 za RA in interval 2 do 4 za RD . Tako je teoretična skupna dolžina naročila normalno porazdeljena na intervalu med 5.000 in 10.000 enot, s povprečjem 7.500 enot. Teoretična skupna dolžina zaloge pa v

povprečju znaša 11.250 enot, kar je 1,5-krat večje od povprečne vrednosti velikosti naročila.

Posamezno simulacijo smo izvedli za šest zaporednih obdobj, in sicer v naslednjih korakih:

1. V prvem koraku je glede na pričakovano povpraševanje generirana začetna zaloga v prvem obdobju, ki je v povprečju velikostnega reda od 1,4 do 1,6 velikosti povprečnega pričakovanega naročila. Palice na zalogi so v povprečju dva- do štirikrat daljše od pričakovanih dolžin palic v naročilu. Pri zalogi velja predpostavka, da podjetje nabavlja pet različnih dolžin palic, pri vsaki dolžini pa nabavi enako število kosov.
2. V drugem koraku je generirano naročilo, na podlagi katerega je izdelan načrt razreza. Na podlagi načrta razreza se zagotovijo podatki o neizpolnjenih naročilih, stanju zaloge po razrezu, neuporabnem ostanku in uporabnem ostanku, ki se vrne na zalogo in ga je možno uporabiti v kasnejših obdobjih.
3. V tretjem koraku se na podlagi stanja zaloge, ki vključuje standardne dolžine in morebitne nestandardne dolžine (uporabni ostanki morebitnih prejšnjih obdobj), zaloge obnovijo. Pri obnavljanju zalog velja predpostavka, da so pri dobaviteljih na voljo zgolj palice istih dolžin, kot so bile na voljo pri kreiranju začetne zaloge. Zaloga se obnovi do višine, ki ustreza velikosti 1,4 do 1,6 povprečnega pričakovanega naročila, in sicer tako, da je število palic posameznih standardnih dolžin na zalogi enako.
4. Ponovimo od koraka 2 dalje oziroma končamo s simulacijo, če gre za šesto zaporedno obdobje.

Skupaj smo izvedli dvajset simulacij. Vsako simulacijo smo izvajali za šest zaporednih obdobj, kar pomeni, da je bilo skupno simuliranih 120 različnih obdobj. Povprečne vrednosti rezultatov simulacij so prikazane v Tabeli 8.

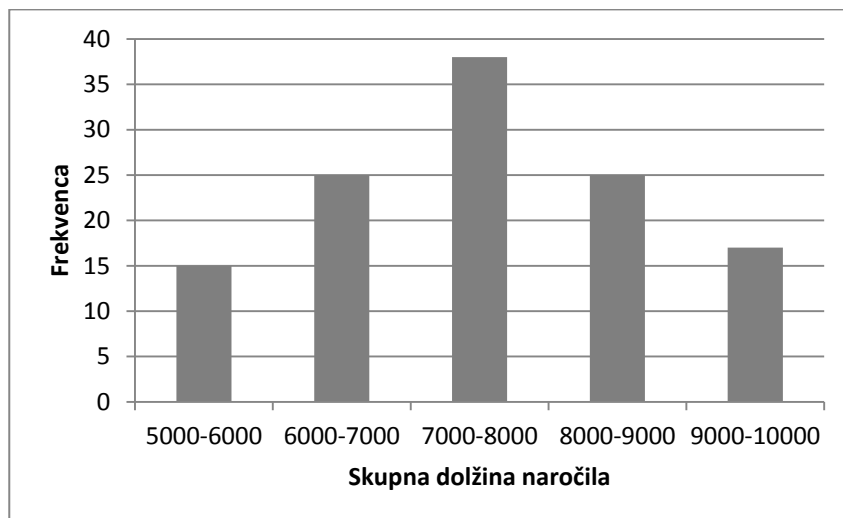
Tabela 8: Rezultati simulacij

Obdobje	1	2	3	4	5	6
Povprečna skupna dolžina naročila	7.666	8.232	7.047	7.546	8.052	6.789
Povprečna skupna dolžina zaloge	12.164	12.487	12.811	12.553	12.629	12.657
Povprečno dejansko razmerje RA	1,59	1,52	1,82	1,66	1,57	1,86
Povprečno dejansko razmerje RD	3,24	2,95	3,65	3,25	3,01	3,53
Povprečni neuporabni ostanek	348	418	385	315	356	363
Povprečno neizpolnjeno naročilo	0	0	0	0	0	0
Povprečno število palic nestandardnih dolžin na zalogi	0	1,00	1,58	1,58	1,42	1,58

Povprečna vrednost skupnih dolžin naročila za posamezno obdobje je povprečna skupna dolžina naročil v posameznem obdobju za vseh 20 simulacij. Povprečna velikost naročil za vseh 120 naročil znaša 7.555 enot, kar zgolj za malenkost odstopa od teoretičnega povprečja, ki znaša 7.500 enot. Najmanjše izmed vseh naročil je bilo v velikosti 5.006 enot, največje pa v velikosti 9.987 enot. Frekvenčna porazdelitev naročil glede na skupno dolžino naročila je prikazana v histogramu na Sliki 27. Iz histograma je razvidno, da gre res za normalno porazdelitev naročil.

Povprečna skupna dolžina zaloge za posamezno obdobje je povprečna skupna dolžina zalog v posameznem obdobju za vseh 20 simulacij. Povprečna velikost zaloge za vseh 120 obdobjev znaša 12.550 enot, kar je nekoliko nad teoretičnim povprečjem glede na vhodne podatke. Najnižja vrednost zaloge je znašala 9.810 enot, najvišja pa 15.978 enot.

Slika 27: *Frekvenčna porazdelitev naročil glede na dolžino naročila*



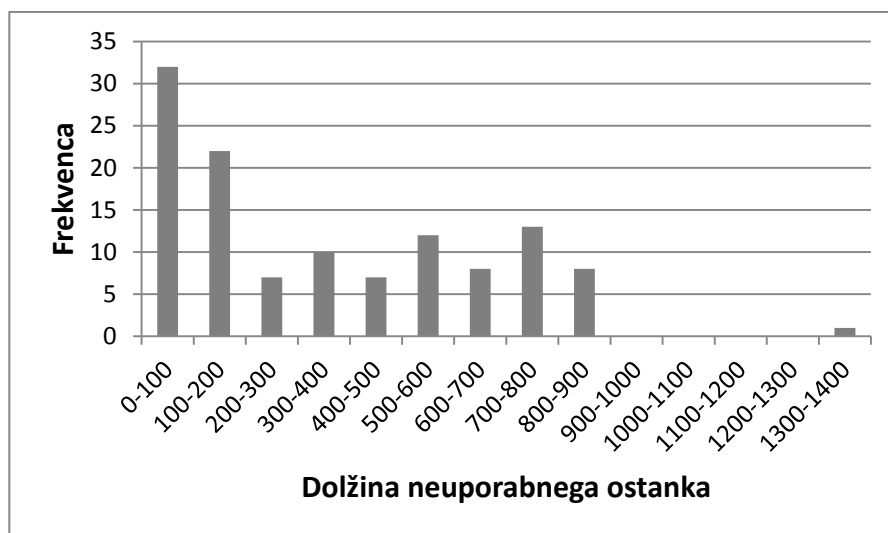
Povprečno dejansko razmerje *RA* prikazuje povprečne vrednosti *RA* v posameznih zaporednih obdobjih. Povprečna vrednost *RA* v vseh 120 obdobjih je normalno porazdeljena in znaša 1,67, s standardnim odklonom 0,39. Ciljna vrednost *RA* pred začetkom simulacij je znašala med 1,4 in 1,6, kar pomeni, da je simulirana vrednost nekoliko previsoka, vendar je vzrok lahko določljiv. Simulirana povprečna skupna dolžina zaloge je namreč nekoliko previsoka, saj za 11 % presega načrtovano povprečno vrednost. Odstopanje velikosti zaloge navzgor je nastalo zaradi zaokroževanja navzgor pri številu posameznih dolžinskih enot na zalogi, tako da je bilo odstopanje pričakovano. Relativno konstantno gibanje *RA* pokaže, da uporaba optimalnih vrednosti *RA*, do katerih smo prišli na podlagi analize simulacij, izvedene v poglavju 4.2.3, velja tudi za obnašanje modela v več zaporednih obdobjih.

Povprečno dejansko razmerje *RD* prikazuje povprečne vrednosti *RD* v posameznih zaporednih obdobjih. Povprečna vrednost *RD* v vseh 120 obdobjih znaša 3,27. Vrednosti *RD* se tudi v več zaporednih obdobjih gibljejo v okvirih ciljnih vrednosti, in sicer na intervalu med 2,0 in 4,0.

Povprečno neizpolnjeno naročilo je v vseh obdobjih enako in znaša nič. V vseh 120 primerih je bilo naročilo izpolnjeno v celoti, kar pomeni, daje bilo materiala

na voljo dovolj. To je tudi pričakovano, saj je bila teoretično zaloga vedno višja (11.250) od najvišjega pričakovanega naročila (10.000). To razmerje izhaja iz osnovnega razmerja RA , ki znaša 1,5 in je posledica razmerij med stroški skladiščenja na enoto, stroški neuporabnega ostanka na enoto ter stroški neizpolnitve naročila na enoto $WHC : TLC : CON = 1 : 4 : 10$. V primeru drugačnih razmerij med stroški WHC , TLC in CON kot v osnovnem primeru pa bi bili tudi vhodni podatki v model drugačni in bi možnost neizpolnitve naročila obstajala. Do take situacije bi lahko prišlo predvsem v primerih, ko bi bili stroški neizpolnitve naročila po višini bližje stroškom neuporabnega ostanka in skladiščenja.

Slika 28: *Frekvenčna porazdelitev dolžine neuporabnega ostanka*



Z vidika uporabe modela v več zaporednih obdobjih pa je pomembno preučiti tudi neuporabni ostanek in gibanje števila nestandardnih dolžin palic, ki ostanejo na koncu vsakega obdobja. Tudi ti podatki so razvidni iz Tabele 8. Povprečni neuporabni ostanek se po posameznih obdobjih giblje relativno konstantno. Povprečna vrednost za vseh 120 simuliranih primerov znaša 364. Na Sliki 28 je prikazana frekvenčna porazdelitev dolžine neuporabnega ostanka za vseh 120 izračunanih obdobj. Iz porazdelitve je razvidno, da je v največ primerih ostanek manjši od 200 enot. Takih primerov je 54 oziroma skoraj polovica, od tega jih je šest v prvem obdobju, sedem pa v zadnjem, šestem obdobju.

Število nestandardnih palic na zalogi pa se v vseh obdobjih¹⁵ giblje med 0 in 2. Na podlagi stabilnega gibanja neuporabnega ostanka in števila palic nestandardnih dolžin lahko sklepamo, da uporaba predlaganega pristopa za določanje optimalne vrednosti RA in intervala RD v več zaporednih obdobjih ne vpliva na sestavo zalog in višino neuporabnega ostanka. Pri razrezu v več zaporednih obdobjih namreč obstaja nevarnost kopičenja nestandardnih dolžin palic na zalogi (Trkman & Gradišar, 2007), kar v skrajnosti lahko privede do kopičenja nestandardnih dolžin in rasti velikosti zalog.

Na podlagi analize zgornjih podatkov ugotavljamo, da so pristopi, predstavljeni v sklopu tega poglavja, primerni tudi za uporabo v predlaganem modelu kontinuiranega procesa razreza, saj se model ob uporabi v več zaporednih obdobjih obnaša podobno kot pri uporabi v zgolj enem obdobju. Spoznanja so pomembna pri možnih razširitvah uporabe modela, ki so vezane na več zaporednih obdobjih. Možne razširitve modela navajamo v nadaljevanju podpoglavja.

Poleg izvedenih simulacij se uporaba modela lahko tudi razširi. Možne razširitve so denimo lahko:

- **Obnavljanje zalog na dve ali več obdobj, namesto v vsakem obdobju.** V tem primeru je treba zalogo ustrezno prilagoditi (povečati), da zadošča za več zaporednih obdobj. Zvišajo se stroški skladiščenja, po drugi strani pa so potencialno nižji stroški neuporabnega ostanka, saj je zaradi večje zaloge na izbiro več različnih palic.
- **Vključitev stroškov naročanja in dobave materiala.** Ti stroški na sam model, kot je predstavljen v tej monografiji, ne vplivajo, vplivajo zgolj na odločanje o tem, na koliko obdobj obnavljati zaloge. Na eni strani so namreč stroški naročanja, ki padajo z manj pogostimi naročili, ter stroški neuporabnega ostanka, ki so potencialno nižji zaradi manj pogostih naročil, na drugi strani pa so naraščajoči stroški skladiščenja. Z uporabo predstavljenega modela je mogoče oceniti, pri kateri kombinaciji naročanja so skupni stroški najnižji.

¹⁵ Povprečna vrednost v prvem obdobju je 0, saj zaloge v prvem obdobju vsebujejo zgolj standardne dolžine, nestandardnih dolžin iz prejšnjih obdobj pa ni predvidenih, saj predpostavljam, da prejšnjih obdobj ni bilo.

- **Vključitev različnih načinov napovedovanja povpraševanja.** V prikazanem primeru smo predpostavili normalno porazdelitev velikosti naročila, pri čemer se s tipom napovedovanja povpraševanja nisem ukvarjal. S tega vidika bi bila denimo zanimiva vključitev napovedovanja povpraševanja na podlagi časovnih vrst, saj bi lahko z uporabo predstavljenega modela v več obdobjih za vsako nadaljnje obdobje povpraševanje napovedali na podlagi preteklih obdobj.

Predstavljeni model pa z razširitvijo s stroški naročanja lahko služi tudi kot podlaga za simuliranje razširjenega modela optimalnega obsega naročila, ki sem ga predstavil v poglavju 3.3.2. Razširjeni model optimalnega obsega naročila predpostavlja vključevanje stroškov neuporabnega ostanka v osnovni model optimalnega obsega naročila, vendar zaradi NP-polnosti problema razreza povečuje matematično zahtevnost problema, zato je za iskanje optimuma primernejši simulacijski pristop.

Predstavljeni model in njegove razširitve pa so uporabni tudi v praksi, saj lahko podjetja namesto algoritma CUT v modelu uporabijo algoritme za optimizacijo izdelave načrta razreza, ki jih uporabljajo tudi sami. Vsi ostali elementi modela so splošni in kot taki primerljivi s situacijami v podjetjih. V praksi je model zanimiv predvsem z vidika uporabe v več zaporednih obdobjih, zato rezultati analize modela v več obdobjih, ki je opravljena v tem podpoglavju, ponujajo pomembno potrditev uporabnosti modela v več zaporednih obdobjih.

SKLEP

V tej monografiji obravnavamo problem razreza v kontekstih procesnega pogleda na poslovanje podjetij in managementa oskrbovalnih verig. Širši kontekst obravnavanja omogoča kritičen pogled na algoritme za optimizacijo načrta razreza. Ugotavljamo, da je s stroškovnega vidika širši pogled na algoritme za optimizacijo načrta razreza smiseln, saj lahko privede do relativno visokih stroškovnih prihrankov. To še zlasti velja za podjetja, kjer razrez predstavlja enega izmed pomembnejših poslovnih procesov, s katerim je povezan tudi relativno visok delež skupnih stroškov proizvodnje. Predlagani pristopi so prav tako uporabni v kateri koli panogi, kjer je enodimenzionalni razrez materiala pomemben ne glede na tip obravnavanega materiala. Pri predlaganih pristopih igra pomembno vlogo vrednost materiala na dolžinsko enoto, saj z višjo relativno vrednostjo materiala v primerjavi z ostalimi stroški v podjetju raste tudi pomembnost in primernost uporabe predlaganih pristopov v konkretnih podjetjih. Prav tako je celovit pristop pomemben z znanstvenega vidika, saj omogoča interdisciplinarno obravnavanje problema razreza, ki vodi do novih raziskovalnih vprašanj.

V monografiji ugotavljamo, da optimizacija procesa razreza, vključno z mejnimi procesi, lahko prinese nižje stroške kot samo optimizacija algoritmov za izdelavo načrta razreza. To spoznanje je ključno za podjetja, kjer za izdelavo načrta razreza uporabljajo preproste algoritme ali pa načrt izdelujejo ročno in se odločajo o vpeljavi uporabe kompleksnejših algoritmov za optimizacijo načrta razreza, ki bi pomenili dodatne stroške. S študijo primera pokažemo, da je možna alternativa, in sicer optimizacija poslovnih procesov.

Nadalje ugotavljamo, da so od velikosti zaloge materiala odvisni celotni stroški procesa razreza. Ti stroški vključujejo stroške neuporabnega ostanka, stroške skladiščenja in stroške neizpolnitve naročil. Z uporabo v tej monografiji razvitega pristopa za ocenjevanje optimalne velikosti zaloge podjetja lahko ocenijo, kje se glede na optimum nahajajo, kar je pomembna informacija pri odločanju glede vprašanj, povezanih z managementom zalog. Pristop je primeren za podjetja, kjer so stroški neuporabnega ostanka primerljivega velikostnega reda z ostalimi vrstami stroškov.

Pomembna ugotovitev je tudi, da razmerje med dolžinami palic na zalogi in dolžinami palic v pričakovanih naročilih vpliva na skupne stroške proizvodnje. Vpliv raziskujemo s pomočjo simulacij. V tem primeru optimalne vrednosti ni mogoče določiti, saj je v teoriji znana: na zalogi je treba imeti neskončno dolgo palico. Vendar pa se lahko s pristopom, ki smo ga predstavili, oceni, pri kateri dolžini palic na zalogi podjetje postane indiferentno glede dolžine. Krajše kot so palice na zalogi, večja je verjetnost, da bodo posredno prek višjega neuporabnega ostanka vplivale na skupne stroške procesa razreza. Če so ti stroški primerljivega velikostnega reda kot ostali stroški procesa razreza, je uporaba pristopa smiselna. Pristop je omejen na podjetja, ki imajo pri dobaviteljih na izbiro več različnih dolžin palic, saj se le tako lahko odločajo o nabavi različnih dolžin.

Na podlagi zgornjih spoznanj potrjujemo tezo, da »z razširitvijo optimizacije od zgolj izdelave načrta razreza na celoten proces enodimenzionalnega razreza lahko znižamo skupne stroške procesa razreza.«

S potrditvijo teze ugotavljamo, da interdisciplinarno obravnavanje problema razreza pomeni pomemben raziskovalni korak tako v znanosti kot v stroki. Takšen pristop je novost in pomeni pomemben prispevek k znanosti. Tovrstno obravnavanje problema razreza pa odpira tudi nove teme, primerne za nadaljnje delo. Nekatera izhodišča za nadaljnje delo podajamo v nadaljevanju.

Glede na interdisciplinarni pristop k obravnavanju razreza, ki ga predstavljamo v tej monografiji, menimo, da je področje razreza še dovolj aktualno in raziskovalno zanimivo, da bo omogočalo nadaljnje raziskovalne napore predvsem na področju razreza v povezavi s procesnim vidikom oskrbovalne verige.

Možnost za nadaljnje raziskovanje na zastavljenem področju predstavlja izgradnja simulacijskega modela optimalnega obsega naročila, ki bi poleg stroškov, predstavljenih v tej monografiji, vključeval tudi stroške naročanja. Tovrsten problem je preveč kompleksen, da bi bila možna matematična formulacija modela. Kompleksnost gre predvsem na račun NP-polnosti problema razreza. V povezavi s stroški naročanja je smiselna uporaba modela v več zaporednih obdobjih, kar nakazujem tudi v podpoglavju 4.3.

V tej monografiji se ukvarjamo predvsem z vidikom zalog v povezavi s problemom razreza. Za naročila predpostavljamo, da so dana in da se jim podjetje s svojimi poslovnimi odločitvami o velikostih zalog prilagaja. Možen pa je tudi obraten pristop.

Nadaljnji raziskovalni naporji so tako možni v obravnavanju problema razreza v zvezi z naročanjem. Odprta vprašanja, ki se pojavljajo, so predvsem glede velikosti naročil in njihovega procesiranja. Tako so lahko posamezna naročila prevelika za enkratno obdelavo (denimo zaradi omejitev interne logistike ali zmogljivosti rezalnih strojev) in je tako potreben razrez po ločenih skupinah, ki vsebujejo posamezne dele naročila. S tega vidika se pojavijo problemi, povezani s tipom palic v posameznih delih procesiranega naročila ter z minimiziranjem skupnega neuporabnega ostanka na podlagi optimizacije posameznih načrtov razreza celotnega naročila.

LITERATURA IN VIRI

- Abad, P. L. (1988). Joint price and lot-size determination when supplier offers incremental quantity discounts. *Journal of Operational Research Society*, 39(1), 603–607.
- Aguilar-Saven, R. S. (2004). Business process modelling: Review and framework. *International Journal of Production Economics*, 90(2), 129–149.
- Aktin, T., & Ozdemir, R. (2009). An integrated approach to the one-dimensional cutting stock problem in coronary stent manufacturing. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 737–743.
- Alem, D., Munari, P., Arenales, M., & Ferreira, P. (2008). On the cutting stock problem under stochastic demand. *Annals of Operations Research*.
- Alfares, H. (2007). Inventory model with stock-level dependent demand rate and variable holding cost. *International Journal of Production Economics*, 108(1/2), 259–265.
- Alfieri, A., van de Velde, S., & Woeginger, G. (2007). Roll cutting in the curtain industry, or: A well-solvable allocation problem. *European Journal of Operational Research*, 183(3), 1397–1404.
- Ami, T., & Sommer, R. (2007). Comparison and Evaluation of Business Process Modelling and Management Tools. *International Journal of Services and Standards*, 3(2), 249–261.
- Anderson, E. T., Fittsimons, G. J., & Simester, D. (2006). Measuring and mitigating the costs of stockouts. *Management science*, 52(11), 1751–1763.
- Axsater, S. (2006). *Inventory control*. New York: Springer Science+Business Media.
- Baker, P., & Canessa, M. (2009). Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193(2), 425–436.
- Bandara, W., Indulska, M., Chong, S., & Sadiq, S. (2007). *Major Issues in Business Process Management: An Expert Perspective*. Paper presented at the 15th European Conference on Information Systems, St. Gallen.
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-Event System Simulation* (5th ed.). New Jersey: Pearson Education.
- Banks, J., & Gibson, R. (1997). Don't Simulate When ... *IIE Solutions*, 9, 30–32.

- Bartunek, J. M., Rynes, S. L., & Ireland, R. D. (2006). What makes management research interesting, and why does it matter? *Academy of Management Journal*, 49(1), 9–15.
- Belov, G., & Scheithauer, G. (2002). A cutting plane algorithm for the one-dimensional cutting stock problem with multiple stock lengths. *European Journal of Operational Research*, 141(2).
- Benedettini, O., & Tjahjono, B. (2009). Towards an improved tool to facilitate simulation modelling of complex manufacturing systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(1), 191–199.
- Benton, W. C., & Park, S. (1996). A classification of literature on determining the lot size under quantity discounts. *European Journal of Operational Research*, 92(2), 219–238.
- Beraldi, P., Bruni, M. E., & Conforti, D. (2009). The stochastic trim-loss problem. *European Journal of Operational Research*, 197(1), 42–49.
- Bertrand, W., & Fransoo, J. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modelling. *International journal of operations & production management*, 22(2), 241–264.
- Bischoff, E. E., & Wascher, G. (1995). Cutting and packing. *European Journal of Operational Research*, 84(3), 503–505.
- Blazenko, G. W., & Vandezande, K. (2003). Corporate holding of finished goods inventories. *Journal of Economics and Business*, 55(3), 255–266.
- Borgonovo, E. (2010). Sensitivity analysis with finite changes: An application to modified EOQ models. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 127–138.
- Bosilj Vukšić, V., Indihar Štemberger, M., Jaklič, J., & Kovačič, A. (2002). Assessment of E-business transformation using simulation modelling. *Simulation*, 78(2), 731–744.
- Brooks, R. L., Smith, C. A. B., Stone, A. H., & Tutte, W. T. (1940). The dissection of rectangles into squares. *Duke Mathematical Journal*, 7(1), 312–340.
- Burgess, K., Singh, P. J., & Koroglu, R. (2006). Supply chain management: A structured literature review and implications for future research. *International journal of operations & production management*, 26(7), 703–729.
- Buxey, G. (2006). Reconstructing inventory management theory. *International journal of operations & production management*, 26(9), 996–1012.

- Capeda, G., & Martin, G. (2005). A review of case studies publishing in Management decision 2003–2004: Guides and criteria for achieving quality in qualitative research. *Management Decision*, 43(6), 851–876.
- Carnieri, C., Mendoza, G., & Luppold, W. (1993). Optimal cutting of dimension parts from lumber with a defect: A heuristic solution procedure. *Forrest Products Journal*, 43(9), 66–75.
- Carr, A., & Kaynak, H. (2007). Communication methods, information sharing, supplier development and performance. *International journal of operations & production management*, 27(4), 346–370.
- Champy, J. (1995). *Reengineering Management*. London: Harper Collins.
- Chan, P. S., & Peel, D. (1998). Causes and impact of reengineering. *Business Process Management Journal*, 4(1), 44–55.
- Chauhan, S. S., Martel, A., & D'amour, S. (2008). Roll assortment optimization in a paper mill: An integer programming approach. *Computers & Operations Research*, 35(2), 614–627.
- Chen, J. J., & Paulraj, A. (2004). Towards a theory of supply chain management: The constructs and measurements. *Journal of Operations Management*, 22(2), 119–150.
- Cherri, A., Arenales, M., & Yanasse, H. (2009). The one-dimensional cutting stock problem with usable leftover – A heuristic approach. *European Journal of Operational Research*, 196(3), 897–908.
- Cherri, A., Arenales, M., & Yanasse, H. (2013). The usable leftover onedimensional cutting stock problem-a-priority-in-use heuristic. *International Transactions in Operational Research*, 20, 189–199.
- Chopra, S., & Meindl, P. (Eds.). (2007). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (3rd ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Christiansen, W. J., Germain, R. N., & Birou, L. (2007). Variance vs average: Supply chain lead-time as a predictor of financial performance. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(5), 349–357.
- Cochran, J., & Ramanujan, B. (2006). Carrier-mode logistics optimization of inbound supply chains for electronics manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 826–840.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2003). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences* (3rd ed.). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

- Cohen, S., & Roussel, J. (2004). *Strategic supply chain management: The five disciplines for top performance*. New York: McGraw-Hill.
- Cormier, G., & Gunn, E. A. (1996). Simple Models and Insights for Warehouse Sizing. *Journal of the Operational Research Society*, 47(5), 690–696.
- Cui, Y., Gu, T., & Hu, W. (2009). A cutting-and-inventory control problem in the manufacturing industry of stainless steel wares. *Omega*, 37(4), 864–875.
- Cui, Y., & Yang, Y. (2010). A heuristic for the one-dimensional cutting stock problem with usable leftover. *European Journal of Operational Research*, 204(2), 245–250.
- Čižman, A., & Černetič, J. (2004). Improving competitiveness in veneers production by a simple-to-use DSS. *European Journal of Operational Research*, 156(1), 241–260.
- Davenport, T. H. (1992). *Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology*. Boston: Harvard Business Press.
- De, L. N., & Goswami, A. (2009). Probabilistic EOQ model for deteriorating items under trade credit financing. *International Journal of Systems Science*, 40(4), 335–346.
- Deb, M., & Chaudhuri, K. S. (1987). A note on the heuristic for replenishment of trended inventories considering shortages. *Journal of the Operational Research Society*, 38(5), 459–463.
- Demeter, K. (2003). Manufacturing strategy and competitiveness. *International Journal of Production Economics*, 81–82(1), 205–213.
- Deming, W. E. (2000). *Out of the crisis*. Boston: MIT Press.
- Denton, B., Diwakar, G., & Jawahir, K. (2003). Managing increasing product variety at integrated steel mills. *Interfaces*, 33(2), 41–53.
- Dimitriadis, S., & Kehris, E. (2009). Cutting stock process optimisation in custom door and window manufacturing industry. *International Journal of Decision Sciences, Risk and Management*, 1(1–2), 66–80.
- Dion, P. A., Hasey, L. M., Dorin, P. C., & Lundin, J. (1991). Consequences of inventory stockouts. *Industrial Marketing Management*, 20(1), 23–27.
- Drezner, Z., Gurnani, H., & Pasternack, B. A. (1995). An EOQ model with substitutions between products. *Journal of Operational Research Society*, 46(7), 887–891.
- Dyckhoff, H. (1990). A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 44(2), 145–159.

- Eisemann, K. (1957). The trim problem. *Management Science*, 3(3), 279–284.
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *The Academy of Management Review*, 14(4), 532–550.
- Emmelhainz, M., Emmelhainz, L., & Stock, J. R. (1991). Consumer responses to retail stock-outs. *Journal of Retailing*, 67(2), 138–147.
- Eriksson, H. E., & Penker, M. (2000). *Business modeling with UML: Business patterns at work*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Erjavec, J., Gradišar, M., & Trkman, P. (2009). Renovation of the cutting stock process. *International Journal of Production Research*, 47(14), 3979–3996.
- Erjavec, J., Gradisar, M., & Trkman, P. (2012). Assessment of stock size to minimize cutting stock production costs. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 170–176.
- Erjavec, J., Tomat, L., Gradišar, M. (2011a). *Expansion of the basic EOQ model with inclusion of trim-loss costs*. Paper presented at the 5th International Conference on Applied Mathematics, Simulation, Modelling.
- Erjavec, J., Tomat, L., Gradišar, M. (2011b). *Influence of stock-to order-length ratio on one-dimensional cutting stock costs: A simulation approach*. Paper presented at the 23rd Conference on System Research, Informatics and Cybernetics.
- Fawcett, S. E., Magnan, G. M., & McCarter, M. W. (2008). Benefits, barriers, and bridges to effective supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(1), 35–48.
- Fitzsimons, G. J. (2000). Consumer response to stockouts. *The Journal of Consumer Research*, 27(2), 249–266.
- Flyvbjerg, B. (2006). Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative Inquiry*, 12(2), 219–245.
- Fowler, A. (1998). Operations management and systemic modelling as frameworks for BPR. *International Journal of Operations & Production Management*, 18(9–10), 1028–1056.
- Fynes, B., Voss, C., & Burca, S. (2005). The impact of supply chain relationship dynamics on manufacturing performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(1), 6–21.
- Ganeshan, R., Jack, E., Magazine, M., & Stephens, P. (1998). A taxonomic review of supply chain management research. In S. Tayur, R. Ganeshan & M.

Magazine (Eds.), *Quantitative models for supply chain management* (str. 839–879). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). *Computers and Intractability: A guide to the theory of NP-completeness*. New York: W. H. Freeman.

Gartner. (2009). *Meeting the Challenge: The 2009 CIO Agenda*. Stamford: Gartner Group.

Gass, S. (1985). *Linear programming methods and applications*. New York: McGraw-Hill.

Gau, T., & Wascher, G. (1995). CUTGEN1: A problem generator for the one-dimensional cutting stock problem. *European Journal of Operational Research*, 84(3), 572–579.

Giannelos, N. F., & Georgiadis, M. C. (2001). A model for scheduling cutting operations in paper converting processes. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 40(24), 5752–5757.

Gilbert, N., & Troitzsch, K. G. (2005). *Simulation for the social scientist*. Maidenhead: Open University Press.

Gilmore, P. C., & Gomory, R. E. (1961). A linear programming approach to the cutting stock-problem. *Operations Research*, 9(4), 849–859.

Gilmore, P. C., & Gomory, R. E. (1963). A linear programming approach to the cutting stock problem – Part II. *Operations Research*, 11(6), 863–888.

Gilmore, P. C., & Gomory, R. E. (1965). Multistage cutting stock problems of two and more dimensions. *Operations Research*, 13(1), 94–120.

Gordijn, J., Akkermans, H., & van Vliet, H. (2000). Business Modelling Is Not Process Modelling. In S. Liddle, H. Mayr & B. Thalheim (Eds.), *Conceptual Modeling for E-Business and the Web*. Berlin: Springer.

Goyal, S. K. (1985). Economic order quantity under conditions of permissible delay in payments. *Journal of Operational Research Society*, 36(4), 35–38.

Gradišar, M., Jesenko, J., & Resinovič, G. (1997). Optimization of roll cutting in clothing industry. *Computers & Operations Research*, 24(10), 945–953.

Gradišar, M., Kljajić, M., Resinovič, G., & Jesenko, J. (1999). A sequential heuristic procedure for one-dimensional cutting. *European Journal of Operational Research*, 114(3), 557–568.

Gradišar, M., Resinovič, G., & Kljajić, M. (2002). Evaluation of algorithms for one-dimensional cutting. *Computers & Operations Research*, 29(9), 1207–1220.

- Gradišar, M., & Trkman, P. (2005). A combined approach to the solution to the general one-dimensional cutting stock problem. *Computers & Operations Research*, 32(7), 1793–1807.
- Graham, D., Smith, S., & Dunlop, P. (2005). Lognormal distribution provides an optimum representation of the concrete delivery and placement process. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(2), 230–238.
- Groznik, A., Kovačič, A., & Trkman, P. (2008). The role of business renovation and information in e-government. *Journal of Computer Information Systems*, 49(1), 80–88.
- Groznik, A., & Trkman, P. (2009). *Current issues and challenges of supply chain management*. Paper presented at the 10th WSEAS International Conference on Automation & Information.
- Gunasekaran, A., & Kobu, B. (2002). Modelling and analysis of business process reengineering. *International Journal of Production Research*, 40(11), 2521–2546.
- Gunasekaran, A., & Ngai, E. (2005). Build-to-order supply chain management: A literature review and framework for development. *Journal of Operations Management*, 23(5), 423–451.
- Gunasekaran, A., & Ngai, E. (2009). Modeling and analysis of build-to-order supply chains. *European Journal of Operational Research*, 195(2), 319–334.
- Ha, A. Y., & Tong, S. (2008). Contracting and information sharing under supply chain competition. *Management Science*, 54(4), 701–715.
- Hammer, M. (1990). Reengineering work: Don't automate, obliterate. *Harvard Business Review*, 104–112.
- Hammer, M. (2007a). The 7 deadly sins of performance measurement. *MIT Sloan Management Review*, 48, 19–28.
- Hammer, M. (2007b). The process audit. *Harvard Business Review*, 85(4), 111–123.
- Hammer, M., & Champy, J. (1993). *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*: Harper Business.
- Hammer, M., & Stanton, S. (1999). How process enterprises really work. *Harvard Business Review*.
- Harding, M. L. (2005). *What's your inventory carrying cost, and why don't you know it*.

- Harjunkoski, I., Westerlund, T., Porn, R., & Skrifvars, H. (1998). Different transformations for solving non-convex trim-loss problems by MINLP. *European Journal of Operational Research*, 105(3), 594–603.
- Harland, C. M. (1996). Supply chain management: Relationships, chains and networks. *British Journal of Management*, 7(1), 63–80.
- Harmon, P. (2003). *Business process change: A manager's guide to improving, redesigning, and automating processes*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Harrel, C. R., Ghosh, B. K., & Royce, O. B. (2003). *Simulation Using Promodel*: McGraw-Hill.
- Harrington, J. (1991). *Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity and Competitiveness*. New York: McGraw Hill.
- Harris, F. (1913). How many parts to make at once. *Factory, The Magazine of Management*, 10(2), 135–136, 152.
- Havey, M. (2005). *Essential Business Process Modeling*. Sebastopol: O'Reilly Media.
- Herrmann, J. W. (Ed.) (2006). *Handbook of Production Scheduling*. New York: Springer.
- Hill, J. B., Sinur, J., Flint, D., & Melenovsky, M. J. (2006). *Gartner's position on business process management*. Stamford: Gartner.
- Hilmola, O. P., Hejazi, A., & Ojala, L. (2005). Supply chain management research using cases studies: A literature analysis. *International Journal of Integrated Supply Management*, 1(3), 294–311.
- Hinxman, A. (1980). The trim-loss and assortment problems: A survey. *European Journal of Operational Research*, 5(1), 8–18.
- Ho, W., Xu, X., & Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 16–24.
- Holsenback, J. E., & McGill, H. J. (2007). A survey of inventory holding cost assessment and safety stock allocation. *Academy of Accounting and Financial Studies Journal*, 11(1), 111–120.
- Huang, C. K., Tsai, D. M., Wu, J. C., & Chung, K. J. (2010). An integrated vendor-buyer inventory model with order-processing cost reduction and permissible delay in payments. *European Journal of Operational Research*, 202(2), 472–478.

- Huang, Y. F. (2007). Economic order quantity under conditionally permissible delay in payments. *European Journal of Operational Research*, 176(2), 911–924.
- Hwang, H., Moon, D. H., & Shinn, S. W. (1990). An EOQ model with quantity discounts for both purchasing price and freight cost. *Computers & Operations Research*, 17(1), 73–78.
- Indulska, M., Recker, J., Rosemann, M., & Green, P. (2009). *Business process modeling: Current issues and future challenges*. Paper presented at the 21st International Conference on Advanced Information Systems Engineering.
- Jahangirian, M., Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L. K., & Young, T. (2010). Simulation in manufacturing and business: A review. *European Journal of Operational Research*, 203(1), 1–13.
- Jeston, J., & Nelis, J. (2008). *Business process management: Practical guidelines to successful implementations* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Johansson, H. J., McHugh, P., Pendlebury, A. J., & Wheeler, W. A. (1993). *Business process reengineering: Breakpoint strategies for market dominance*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Kallrath, J., Rebennack, S., Kallrath, J., & Kutsche, R. (2014). Solving real-world cutting stock-problems in the paper industry: Mathematical approaches, experience and challenges. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 374–389.
- Kantorovich, L. V. (1960). Mathematical methods of organizing and planning production. *Management science*, 6(4), 366–422.
- Kelle, P., & Miller, P. A. (2001). Stockout risk and order splitting. *International Journal of Production Economics*, 71(1–3), 407–415.
- Keskinocak, P., Wu, F., Goodwin, R., Murthy, S., Akkiraju, R., Kumaran, S., et al. (2002). Scheduling solutions for the paper industry. *Operations Research*, 50(2), 249–259.
- Kirchagina, E., Rubio, R., Taksar, M., & Wein, L. (1998). A dynamic stochastic stock-cutting problem. *Operations Research*, 46(5), 690–701.
- Kljajić, M., Bernik, I., & Škraba, A. (2000). Simulation approach to decision assessment in enterprises. *Simulation*, 75(4), 199–210.
- Kobayashi, T., Tamaki, M., & Komoda, N. (2005). Business process integration as a solution to the implementation of supply chain management systems. *Information & Management*, 40(8), 769–780.

- Kofjač, D., Kljajić, M., & Rejec, V. (2009). The anticipative concept in warehouse optimization using simulation in an uncertain environment. *European Journal of Operational Research*, 193(3), 660–669.
- Kohlbacher, M. (2010). The effects of process orientation: A literature review. *Business Process Management Journal*, 16(1), 135–152.
- Kovačič, A. (2001). Business renovation projects in Slovenia. *Business Process Management Journal*, 7(5), 409–419.
- Kovačič, A., & Bosilj Vukšič, V. (2005). *Management poslovnih procesov: Prenova in informatizacija poslovanja*. Ljubljana: GV Založba.
- Krajewski, L., Wei, J. C., & Tang, L. L. (2005). Responding to schedule changes in build-to-order supply chains. *Journal of Operations Management*, 23(5), 452–469.
- Kraljič, P. (1983). Purchasing must become supply management. *Harvard Business Review*, 61(5), 109–117.
- Law, A. M. (2007). *Simulation Modeling and Analysis* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Law, A. M., & McComas, M. G. (1991). *Secrets of successful simulation studies*. Paper presented at the Winter Simulation Conference, Phoenix.
- Levitt, J. (1960). Marketing myopia. *Harvard Business Review*, 45–56.
- Lockamy, A., & McCormack, K. (2004). The development of a supply chain management process maturity model using the concepts of business process orientation. *Supply Chain Management: An International Journal*, 9(4), 272–278.
- Matsuyama, K. (2001). The EOQ-Models modified by introducing discount or purchase price or increase of setup cost. *International Journal of Production Economics*, 73(1), 83–99.
- Melao, N., & Pidd, M. (2003). Use of business process simulation: A survey of practitioners. *Journal of Operational Research Society*, 54(1), 2–10.
- Mendling, J., Reijers, H. A., & Cardoso, J. (2007). *What makes process models understandable?* Paper presented at the International conference on Business process management, Brisbane.
- Miller, K. D. (2002). Knowledge inventories and managerial myopia. *Strategic Management Journal*, 23(8), 689–706.

- Min, J., & Zhou, Y. W. (2009). A perishable inventory model under stock-dependent selling rate and shortage-dependent partial backlogging with capacity constraint. *International Journal of Systems Science*, 40(1), 33–44.
- Mondal, B. N., & Phaujdar. (1989). Some EOQ models under permissible delay in payments. *International Journal of Management Science*, 5(1), 99–108.
- Moore, G. E. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, 38(8), 114–117.
- Morgan, L. O., Morton, A. R., & Daniels, R. L. (2006). Simultaneously determining the mix of space launch vehicles and the assignment of satellites to rockets. *European Journal of Operational Research*, 172(3), 747–760.
- Muhlemann, A., & Valtis-Spanopoulos, N. (1980). A variable holding cost rate EOQ model. *European Journal of Operational Research*, 4(2), 132–135.
- Murphy, P. R., & Wood, D. F. (2008). *Contemporary logistics* (9th ed.). New Jersey: Pearson Education.
- O'Neill, P., & Sohal, A. S. (1999). Business process reengineering: A review of recent literature. *Technovation*, 19, 571–581.
- Oliver, R. K., & Webber, M. D. (1982). *Supply-chain management: Logistics catches up with strategy*. London: Chapman and Hall.
- Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Nia, A. R. (2010). An investigation of vendor-managed inventory application in supply chain: The EOQ model with shortage. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(1–4), 329–339.
- Phalp, K., & Shepperd, M. (2000). Quantitative analysis of static models of processes. *Journal of Systems and Software*, 52(2–3), 105–112.
- Pidd, M. (2004). *Computer Simulation in Management Science* (5th ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
- Pinedo, M. L. (2009). *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services* (2nd ed.). New York: Springer.
- Poldi, K. C., & Arenales, M. (2009). Heuristics for the one-dimensional cutting stock problem with limited multiple stock lengths. *Computers & Operations Research*, 36(6), 2074–2081.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*.
- Prasad, B. (1999). Hybrid re-engineering strategies for process improvement. *Business Process Management Journal*, 5(2), 178–197.

- Primo, M. A. M., Dooley, K., & Rungtusanatham, M. J. (2007). Manufacturing firm reaction to supplier failure and recovery. *International Journal of Operations & Production Management*, 27(3), 323–341.
- Pruijt, H. (1998). Multiple personalities: the case of business process reengineering. *Journal of Organizational Change Management*, 11(3), 260–268.
- Recker, J., Indulska, M., Rosemann, M., & Green, P. (2009). Business process modeling – A comparative analysis. *Journal of the Association for Information Systems*, 10(4), 333–363.
- Reichhart, A., & Holweg, M. (2008). Build-to-order: Impacts, trends and open issues. In G. Parry & A. Graves (Eds.), *Build to order: The road to the 5-day car*. London: Springer.
- Reijers, H. A. (2006). Implementing BPM systems: the role of process orientation. *Business Process Management Journal*, 12(4), 389–409.
- Richardson, H. (1995). Control your costs – Then cut them. *Transportation & Distribution*, 36(12), 94–94.
- Rodriguez, M., & Vecchiotti, A. (2007). Enterprise optimization for solving an assignment and trim-loss non-convex problem. *Computers and Chemical Engineering*, 32(11), 2812–2822.
- Rummler, G. A., & Brache, A. P. (1995). *Improving performance: How to manage the white space in the organization chart*. San Francisco: Jossey-Bass.
- San-Jose, L. A., Sicilia, J., & Garcia-Laguna, J. (2009). A general model for EOQ inventory systems with partial backlogging and linear shortage costs. *International Journal of Systems Science*, 40(1), 59–71.
- Sana, S. S., & Chaudhuri, K. S. (2008). A deterministic EOQ model with delays in payments and price-discount offers. *European Journal of Operational Research*, 184(2), 509–533.
- Sargent, R. G. (2005). *Verification and validation of simulation models*. Paper presented at the Winter Simulation Conference, Orlando.
- Sarker, B., & Al Kindi, M. (2006). Optimal ordering policies in response to a discount offer. *International Journal of Production Economics*, 100(2), 195–211.
- Schriber, T. J. (1991). *An Introduction to Simulation Using GPSS/H*: Wiley.
- Schwarz, L. B. (2008). The economic order-quantity (EOQ) model. In D. Chhajed & T. J. Lowe (Eds.), *Building intuition: Insights from basic operations management models and principles*: Springer Science.

Sculli, D. (1981). A stochastic cutting stock procedure: Cutting rolls of insulating tape. *Management science*, 27(8), 946–952.

Sedera, W., Gable, G., Rosemann, M., & Smyth, R. (2004). *A success model for business process modeling: findings from a multiple case study*. Paper presented at the Pacific Asia Conference on Information Systems, Shanghai.

Seila, A., Ceric, V., & Tadikamalla, P. (2003). *Applied Simulation Modeling*. Southbank: Thomson.

Seuring, S. A. (2008). Assessing the rigor of case study research in supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(2), 128–137.

Shannon, R. E. (1998). *Introduction to the art and science of simulation*. Paper presented at the Winter Simulation Conference, Washington.

Siha, S. M., & Saad, G. H. (2008). Business process improvement: Empirical assessment and extension. *Business Process Management Journal*, 14(6), 778–802.

Simpson, P. M., Siguaw, J. A., & White, S. C. (2002). Measuring the performance of suppliers: An analysis of evaluation processes. *Journal of Supply Chain Management*, 38(1), 29–41.

Slovar slovenskega knjižnega jezika. (2008). 13.11.2010:
<http://bos.zrc-sazu.si/sskj.html>

Smith, H., & Fingar, P. (2003). *Business process management – The third wave*. Tampa: Meghan Kiffer Press.

Soliman, F. (1998). Optimum level of process mapping and least cost business process re-engineering. *International journal of operations & production management*, 18(9/10), 810–816.

Song, J. S., & Zipkin, P. (2003). Supply chain operations: Assemble-to-order systems. In A. G. de Kok & S. C. Graves (Eds.), *Handbooks in OR & MS* (Vol. 11): Elsevier.

Stadtler, H. (2008). Supply Chain Management – An Overview. In *Supply Chain Management and Advanced Planning* (str. 9–36): Springer.

Stock, J. R., Boyer, S. L., & Harmon, T. (2010). Research opportunities in supply chain management. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 38(1), 32–41.

Stock, J. R., & Lambert, D. M. (2000). *Strategic Logistics Management* (4th ed.). Irwin: McGraw-Hill.

- Storey, J., Emberson, C., Godsell, J., & Harrison, A. (2006). Supply chain management: theory, practice and future challenges. *International journal of operations & production management*, 26(7), 754–774.
- Stuart, I., McCutcheon, D., Handfield, R., R., M., & Samson, D. (2002). Effective case research in operations management: a process perspective. *Journal of Operations Management*, 20(5), 419–433.
- Sweeney, P. E., & Paternoster, E. R. (1992). Cutting and packing problems: A categorized, application-oriented research bibliography. *The Journal of the Operational Research Society*, 43(7), 691–706.
- Trkman, P. (2008). *Optimizacija procesa enodimenzionalnega razreza v zaporednih časovnih obdobjih*. Ekonomska fakulteta, Ljubljana.
- Trkman, P. (2010). The critical success factors of business process management. *International Journal of Information Management*, 30(2), 125–134.
- Trkman, P., & Gradišar, M. (2003). A comparison between exact and approximate method for solution of general one-dimensional cutting stock problem. *Informatica*, 27(3), 495–501.
- Trkman, P., & Gradišar, M. (2007). One-dimensional cutting stock optimization in consecutive time periods. *European Journal of Operational Research*, 179(2), 291–301.
- Trkman, P., Indihar Štemberger, M., & Jaklič, J. (2005). Information transfer in supply chain management. *Issues in Informing Science and Information Technology Education*, 2, 559–573.
- Trkman, P., Indihar Štemberger, M., Jaklič, J., & Groznik, A. (2007). Process approach to supply chain integration. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(2), 116–128.
- Tsai, J., Hsieh, P., & Huang, Y. (2009). An optimization algorithm for cutting stock problems in the TFT-LCD industry. *Computers & Operations Research*, 57(3), 913–919.
- Umetani, S., Yagiura, M., & Ibaraki, T. (2003). One-dimensional cutting stock problem to minimize the number of different patterns. *European Journal of Operational Research*, 146(2), 388–402.
- van der Aalst, W. M. P., Hofstede, A. H. M., & Weske, M. (2003). *Business process management: a survey*. Paper presented at the Proceedings of the International Conference of Business Process Management, Eindhoven.

- van Donk, D. (2008). Challenges in relating supply chain management and information and communication technology. *International journal of operations & production management*, 28(4), 308–312.
- Voss, C., Tsikriktsis, N., & Frohlich, M. (2002). Case research in operations management. *International journal of operations & production management*, 22(2), 195–219.
- Walter, C. K., & Grabner, J. (1975). Stockout cost models: Empirical tests in a retail situation. *The Journal of Marketing*, 39(3), 56–60.
- Wascher, G., Haussner, H., & Schumann, H. (2007). An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 183(3), 1109–1130.
- Waters, D. (2003). *Inventory control and management* (2nd ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
- Wee, H. M., Yu, J., & Chen, M. C. (2007). Optimal inventory model for items with imperfect quality and shortage backordering. *Omega*, 35(1), 7–11.
- Weng, W., & Sung, T. (2008). Optimization of line cutting procedure for ship hull construction by an effective tabu search. *International Journal of Production Economics*, 46(21), 5935–5949.
- Weske, M. (2007). *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Berlin: Springer.
- Weske, M., van der Aalst, W. M. P., & Verbeek, H. M. W. (2004). Advances in business process management. *Data & Knowledge Engineering*, 50(1), 1–8.
- White, S. A. (2004). Introduction to BPMN. *BP Trends*.
- Wilson, R. H. (1934). A scientific routine for stock control. *Harvard Business Review*, 13, 116–128.
- Yin, R. K. (2003a). *Applications of case study research* (2nd ed.). Thousand Oaks: Sage Publications.
- Yin, R. K. (2003b). *Case study research: design and methods* (3rd ed.): Thousand Oaks: Sage Publications.
- Zhou, H., & Benton, W. C. (2007). Supply chain practice and information sharing. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1348–1365.
- Zomerdijk, L., & De Vries, J. (2003). An organizational perspective on inventory control: Theory and a case study. *International Journal of Production Economics*, 81–82, 173–183.

PRILOGI

Priloga 1: Primer vhodnih podatkov za simulacije modela za ugotavljanje optimalnega razmerja RA

Oznaka primera: *Primer 02_3*

Podatki o dolžinah palic v naročilu in številu kosov posamezne palice:

Dolžina palice	Število kosov v naročilu
198	14
190	11
162	12
148	2
100	11

Podatki o dolžinah palic na zalogi:

393	389	388	382	379	378	373	372	370	362
360	356	348	346	338	337	333	330	324	323
318	317	315	299	298	282	279	277	273	270
268	264	262	261	260	256	255	252	251	247
244	243	235	234	233	226	220	214	212	211

Priloga 2: Vhodni podatki za generator števil PGEN za potrebe simulacije modela za ugotavljanje optimalnega razmerja RD

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	100	200	30	230010092	1	300	600	72	3	200	600
5	100	200	30	230000235	4	800	1600	4	3	200	1600
5	100	200	30	230100172	3	500	1000	14	3	200	1000
5	100	200	30	230000305	2	1000	2000	6	3	200	2000
5	100	200	30	230000227	1	800	1600	17	3	200	1600
5	100	200	30	230000151	1	500	1000	28	3	200	1000
5	100	200	30	230000255	5	800	1600	5	3	200	1600
5	100	200	30	230000173	3	500	1000	14	3	200	1000
5	100	200	30	231000171	2	500	1000	21	3	200	1000
5	100	200	30	230100250	4	800	1600	7	3	200	1600
5	100	200	30	230000003	1	200	400	72	3	200	400
5	100	200	30	230000252	4	800	1600	7	3	200	1600
5	100	200	30	230000089	5	300	600	10	3	200	600
5	100	200	30	230000024	3	200	400	36	3	200	400
5	100	200	30	230000019	2	200	400	55	3	200	400
5	100	200	30	230000244	2	800	1600	13	3	200	1600
5	100	200	30	230000105	5	300	600	14	3	200	600
5	100	200	30	230000332	1	1000	2000	28	3	200	2000
5	100	200	30	230000321	2	1000	2000	10	3	200	2000
5	100	200	30	230000017	1	200	400	110	3	200	400
5	100	200	30	230000078	1	300	600	48	3	200	600
5	100	200	30	230000323	3	1000	2000	7	3	200	2000
5	100	200	30	230000254	5	800	1600	5	3	200	1600
5	100	200	30	230000022	3	200	400	36	3	200	400
5	100	200	30	230000104	5	300	600	14	3	200	600
5	100	200	30	230000028	5	200	400	22	3	200	400
5	100	200	30	230010119	5	300	600	19	3	200	600
5	100	200	30	230000327	4	1000	2000	5	3	200	2000
5	100	200	30	230000096	2	300	600	36	3	200	600
5	100	200	30	230000324	3	1000	2000	7	3	200	2000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	100	200	30	230000101	4	300	600	18	3	200	600
5	100	200	30	230000251	4	800	1600	7	3	200	1600
5	100	200	30	230000023	3	200	400	36	3	200	400
5	100	200	30	230100044	5	200	400	29	3	200	400
5	100	200	30	230000100	4	300	600	18	3	200	600
5	100	200	30	230000168	1	500	1000	43	3	200	1000
5	100	200	30	230000328	5	1000	2000	4	3	200	2000
5	100	200	30	230000098	3	300	600	24	3	200	600
5	100	200	30	230000259	2	800	1600	18	3	200	1600
5	100	200	30	230100178	5	500	1000	9	3	200	1000
5	100	200	30	230000030	5	200	400	22	3	200	400
5	100	200	30	230000177	4	500	1000	11	3	200	1000
5	100	200	30	230000076	1	300	600	48	3	200	600
5	100	200	30	230000183	1	500	1000	58	3	200	1000
5	100	200	30	230000108	1	300	600	98	3	200	600
5	100	200	30	230000095	2	300	600	36	3	200	600
5	100	200	30	230000344	5	1000	2000	5	3	200	2000
5	100	200	30	230000337	3	1000	2000	9	3	200	2000
5	100	200	30	230000242	1	800	1600	26	3	200	1600
5	100	200	30	230000192	4	500	1000	14	3	200	1000
5	100	200	30	230000093	1	300	600	72	3	200	600
5	100	200	30	230000175	4	500	1000	11	3	200	1000
5	100	200	30	230000032	1	200	400	147	3	200	400
5	100	200	30	230000038	3	200	400	49	3	200	400
5	100	200	30	230000180	5	500	1000	9	3	200	1000
5	100	200	30	230000322	3	1000	2000	7	3	200	2000
5	100	200	30	230000320	2	1000	2000	10	3	200	2000
5	100	200	30	230000170	2	500	1000	21	3	200	1000
5	100	200	30	230000359	5	1000	2000	9	3	200	2000
5	100	200	30	230000345	5	1000	2000	5	3	200	2000
5	100	200	30	230000097	3	300	600	24	3	200	600
5	100	200	30	230000329	5	1000	2000	4	3	200	2000
5	100	200	30	230000336	2	1000	2000	14	3	200	2000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	100	200	30	230000263	3	800	1600	12	3	200	1600
5	100	200	30	230000194	5	500	1000	12	3	200	1000
5	100	200	30	230000340	4	1000	2000	7	3	200	2000
5	100	200	30	230000184	2	500	1000	29	3	200	1000
5	100	200	30	230000191	4	500	1000	14	3	200	1000
5	100	200	30	230000179	5	500	1000	9	3	200	1000
5	100	200	30	230000174	3	500	1000	14	3	200	1000
5	100	200	30	230000166	1	500	1000	43	3	200	1000

Legenda:

- 1 – število različnih dolžin v naročilu
- 2 – spodnja meja dolžin v naročilu
- 3 – zgornja meja dolžin v naročilu
- 4 – povprečno število kosov posamezne dolžine v naročilu
- 5 – seme
- 6 – število različnih standardnih dolžin na zalogi
- 7 – spodnja meja dolžine standardnih dolžin na zalogi
- 8 – zgornja meja dolžine standardnih dolžin na zalogi
- 9 – število kosov posamezne standardne dolžine na zalogi
- 10 – število kosov nestandardnih dolžin na zalogi
- 11 – spodnja meja dolžine nestandardnih dolžin na zalogi