

## **Zaloge v skladišču – spremljanje stanja, analiza in optimiranje s simulacijo**

Hugo Zupan, Mihael Debevec, Niko Herakovič

Laboratorij za strego, montažo in pnevmatiko, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

### **POVZETEK**

*V prispevku je predstavljen primer optimiranja toka materiala in zmanjšanja zalog v vhodnem skladišču. Optimizacija je podprta z modeliranjem in diskretno simulacijo proizvodnega procesa. V ta namen je narejen simulacijski model toka materiala v montažnem in strežnem procesu proizvodnega sistema na osnovi diskretnih dogodkov v programskem paketu Tecnomatix Plant Simulation. Prvi del obsega opredelitev problema in popis obstoječega stanja. Nadalje je narejena analiza izhodnih podatkov simulacije, ki je pokazala, koliko nepotrebnih stroškov in zastojev nastane pri obstoječem načinu skladiščenja. V zaključnem delu članka so na podlagi izvedenih analiz rezultatov simulacije izdelani predlogi in smernice za izboljšanje toka materiala v proizvodnem in skladiščnem procesu.*

### **1. UVOD**

V času naraščajočih stroškov, časovnih pritiskov v proizvodnji in splošne globalizacije je logistika eden ključnih dejavnikov za uspeh podjetja. Če želi podjetje ostati konkurenčno, mora stalno povečevati učinkovitost. V povprečju podjetja v razvitih državah povečujejo učinkovitost 1 - 2 % na leto. Vsi pristopi večanja konkurenčnosti niso učinkoviti. Ker si podjetje ne more privoščiti letne izgube, mora izbirati preverjene pristope, kot je npr. vnaprejšnja simulacija proizvodnih procesov in skladiščenja. Področje računalniške simulacije je dobro raziskano in praksa je pokazala, da se takšen pristop v industriji učinkovito uporablja na področju večanja konkurenčnosti.

Računalniška simulacija nam nudi tudi obsežen izbor orodij za analizo, kot so analiza ozkih grl, statistike in grafi, preko katerih ovrednotimo različne scenarije v skladišču.

V ta namen so bile izvedene raziskave in izdelan model skladiščnega sistema. Pridobljeni simulacijski model nam omogoča vpogled v skladišče, izvajanje poskusov in izvedbo kaj-če scenarijev, ne da s tem motimo in posegamo v dejansko skladišče.

### **2. IZHODIŠČA IN CILJI RAZISKAV**

V začetnem koraku so bile postavljene smernice za izdelavo modela skladiščenja za primere, ko podjetje nima na voljo obsežne baze podatkov o skladiščenih kosih. Končni cilj raziskav je postaviti pravilne minimalne meje zalog in zmanjšati zaloge v skladišču.

Bistveni deli raziskav so sledeči:

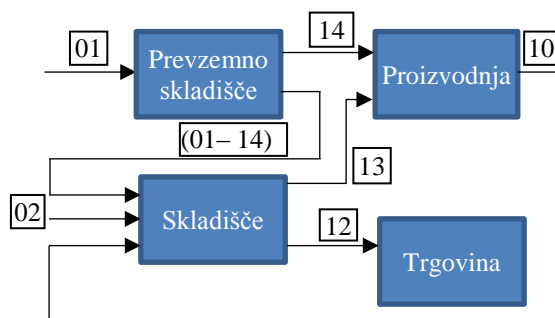
- izgradnja računalniškega modela virtualnega skladišča,
- spremljanje stanja pretokov kosov v skladišču,
- analiza stanja pretokov in
- optimizacija stanja s pomočjo novih metodologij.

Pri gradnji računalniškega modela, upoštevamo lastnosti in omejitve dejanskega skladišča in ko je enkrat model narejen, lahko s pomočjo simulacijskega orodja spremljamo stanje za vsak skladiščeni kos/končni izdelek/orodje v skladišču s pomočjo tabel in grafov. Analiza pridobljenih rezultatov iz simulacije nam omogoča lažje razumevanje odvijanja transakcij skladiščenih kosov v proizvodnem procesu. Namenjena je predvsem naročniku, saj lahko predloge implementira v realni sistem, v našem primeru v skladišče. Po končani analizi pa lahko naredimo tudi

optimizacijo skladišča s pomočjo kazalnikov in predvsem z zmanjšanjem trenutne zaloge s pomočjo nove metodologije.

Simulacijski model realnega skladišča lahko naredimo za katero koli vrsto skladišča. Model je bil testiran tudi na primeru slovenskega podjetja in v začetni fazi so bile postavljene smernice za izdelavo makro sistema in na grobo popisane karakteristike skladišča [1]. Skupaj s podjetjem smo se odločili, da bomo opazovali samo pretok sestavnih delov (SD), ki so stalno na zalogi in se nahajajo v skladišču delov na zalogi. Podjetje premike SD v skladišču opredeljuje kot 6 različnih transakcij med posameznimi lokacijami (Slika 1), ki so označene z naslednjimi šiframi:

- 01: prejem SD v prevzemno skladišče, kateri gredo nato v skladišče,
- 02: reklamacija, ko gredo SD direktno v skladišče,
- 10: vrnitev SD iz proizvodnje nazaj v skladišče,
- 12: prodaja SD iz skladišča preko trgovine,
- 13: oddaja SD iz skladišča v proizvodnjo,
- 14: SD, ki pridejo v prevzemno skladišče na pregled in gredo nato direktno v proizvodnjo.



**Slika 2:** Logistična shema pretoka materiala v skladišču.

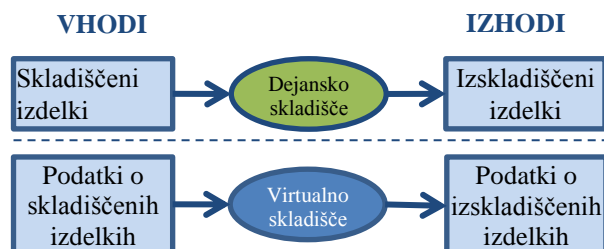
### 3. MODEL SKLADIŠČA

Izdelava modela skladiščenja SD je potekala v dveh osnovnih korakih:

- logična zasnova modela in
- računalniški model.

#### 3.1. Logična zasnova modela

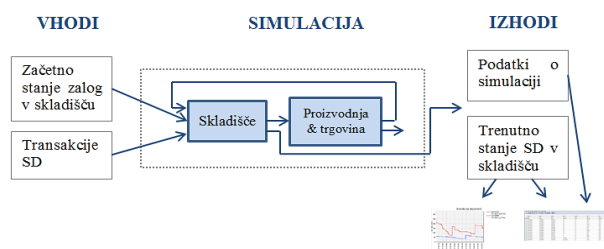
V tem koraku je cilj s pomočjo simulacije pridobiti podatke o zalogah SD, ki so stalno na zalogi. V ta namen smo razvili model virtualnega vhodnega skladišča, ki je postavljen na osnovi dejanskega vhodnega skladišča (Slika 2).



**Slika 1:** Osnovni princip virtualnega skladišča.

Pri gradnji modela skladiščenja SD je sam model zasnovan tako, da je omogočena uporaba vhodnih podatkov, ki so namenjeni za dejansko skladišče. Model omogoča uporabo različnih vhodnih podatkov, zato je parametričen. Model obenem opisuje vse bistvene značilnosti skladišča SD. Izpisi o zalogah SD so izdelani za vsako posamezno šifro SD.

Na podlagi predpostavk virtualnega skladišča in značilnosti dejanskega skladišča smo zasnovali logično shemo modela skladiščenja (Slika 3).

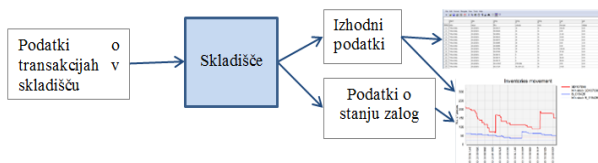


**Slika 3:** Logična shema simulacijskega modela skladiščenja.

Za model skladiščenja veljajo ustrezne relacije med podatkovnimi strukturami, ki smo jih uporabili v modelu. Za spremljanje trenutne zaloge spremljamo razliko med uskladiščenimi (začetna zaloga, uskladiščeni SD in SD, ki se vračajo iz proizvodnje) in izskladiščenimi količinami. Podatke o stanju

v skladišču spremljamo sprotno preko ažurnih izpisov, ki nam jih da simulacija (Slika 4):

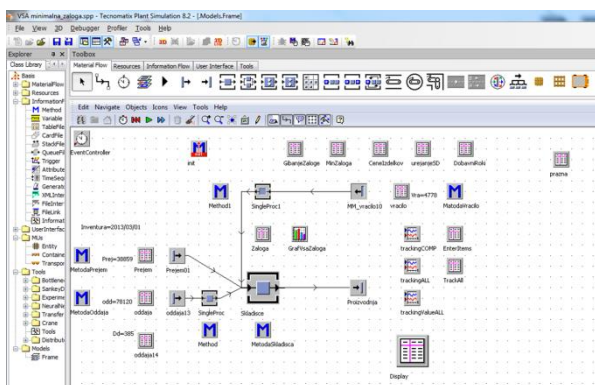
- preko grafov (posameznih SD, skupek vseh SD in vrednosti SD) in
- preko tabele tekočih zalog.



**Slika 4:** Prikaz podatkov o zalogah v vhodnem skladišču.

### 3.2. Računalniški model

Računalniški model skladišča (Slika 5) smo izdelali v programskem paketu Plant Simulation ([2], [3], [4]). V modelu so enostavne logične odvisnosti proizvodnega procesa popisane s standardnimi objekti programskega paketa, zahtevnejše logične odvisnosti pa z metodami oziroma podprogrami v programskem jeziku SimTalk. Program obsega 32 standardnih objektov programskega paketa in 320 vrstic logičnih odvisnosti, napisanih v programskem jeziku SimTalk.



**Slika 5:** Računalniški - virtualni model skladišča (simulacijski model).

Podatke za simulacijo smo pridobili direktno iz Excelove tabele, ki jo dobimo iz integralnega informacijskega sistema podjetja.

### 3.3. Vrednotenje modela skladišča sestavnih delov, ki so vedno na zalogi

Iz integralnega informacijskega sistema podjetja smo dobili podatke, da ima podjetje v svojem skladišču cca. 1900 različnih SD, ki so vedno na zalogi. O teh SD smo dobili vse podatke, ki smo jih potrebovali za izvajanje simulacije.

O gibanju zalog smo dobili podatke za časovno obdobje 1,5 leta, v katerem se je zgodilo cca 125.000 transakcij. Vsaka transakcija zaseda vrstico v Excelovi tabeli in tako vsaka vrstica pomeni transakcijo enega ali skupine enakih SD v določenem časovnem trenutku.

Pravilnost delovanja simulacijskega modela smo preverili tako, da smo po izvajani simulaciji preverjali stanje zalog SD v dejanskem skladišču na dan 04.06.2013 in to primerjali s podatki, ki smo jih dobili pri izvajanju simulacije. Odstopanje količin smo vrednotili v Excelovi tabeli (Slika 6).

1	Sifra izdelka	Dejansko stanje	Virtualno stanje	Odstopanje
1891	X	98	98	0
1892	X	22	22	0
1893	X	19	19	0
1894	X	13	13	0
1895	X	22	22	0
1896	VSOTA	245935,6	245935,6	0

**Slika 6:** Primerjava dejanskega in virtualnega stanja skladišča.

Primerjava je pokazala, da se stanje zalog za vseh 1.900 različnih SD ujema z rezultati simulacije. Iz tega lahko sklepamo, da simulacijski model dovolj dobro popisuje proces skladiščenja.

## 4. ANALIZA MODELA SKLADIŠČA SESTAVNIH DELOV

Pri analizi skladišča lahko uporabimo različne kazalnike in smernice, ki jih določimo skupaj z podjetjem. Analiza pretoka materiala v skladišču je bila izdelana za podatke o materialnem toku za obdobje 3 mesecev umirjene proizvodnje in obdobje 1,5 leta povečanega obsega proizvodnje. Glavni

namen analize je bil dobiti ustrezne smernice, na podlagi katerih bi zmanjšali zaloge v skladišču in s tem vrednost naloženega kapitala v zalogah. Po uspešnem izvajanju simulacije pridobimo sledeče strukture podatkov in izpisov:

- izhodno tabelo in
- grafe za sledenje posameznih sestavnih delov in graf skupne zaloge.

#### 4.1. Izhodna tabela

Izhodna struktura podatkov obsega dve skupini podatkov:

- izhodne podatke iz simulacije, ki obenem vključujejo tudi vhodne podatke v simulacijo, ki so bili pridobljeni iz baze podatkov v podjetju in
- podatke, ki jih pridobimo preko analize izhodnih podatkov iz simulacije.

#### Izhodni podatki iz simulacije

Izhodna tabela materialnega toka iz simulacije obsega sledeče kategorije (Tabela 1):

**Tabela 1:** Struktura tabele materialnega toka iz simulacije.

<i>Ime stolpca v tabeli</i>	<i>Opis</i>
ID	zaporedna številka zapisa
Šifra izdelka	šifra SD
SAP	SAP šifra SD
Naziv	opis SD
Dobavitelj	dobavitelj SD
Trenutno stanje [-]	trenutno stanje zaloge
Trenutna minimalna zaloga [-] (tr.min.zal.)	nastavljena vrednost minimalne zaloge
Poraba [-]	poraba kosov v opazovanem obdobju izvajanja simulacije
Min [-]	minimalno število kosov v skladišču v opazovanem obdobju izvajanja simulacije
Max [-]	maksimalno število kosov v skladišču v opazovanem obdobju izvajanja simulacije
Povprečje [-]	povprečno število kosov v skladišču v opazovanem obdobju izvajanja simulacije

Povprečna vrednost [€]	povprečna vrednost kosov v skladišču v opazovanem obdobju izvajanja simulacije
Max vrednost [€]	maksimalna vrednost kosov v skladišču v opazovanem obdobju izvajanja simulacije
Max - Min [-]	razlika števila kosov med max in min (stolp 11 – stolp 10) v skladišču v opazovanem obdobju izvajanja simulacije
Min – tr.min.zal. [-]	razlika števila kosov med min in tr.min.zal. (stolp 10 – stolp 8) v skladišču v opazovanem obdobju izvajanja simulacije
Dostavni čas [dni]	dostavni čas za kos (v dnevih)
Cena kosa [€]	cena kosa
Poraba iz skladišča [-]	poraba kosov iz skladišča v opazovanem obdobju izvajanja simulacije

Izhodni podatki iz simulacije so dopolnjeni s kategorijami (stolpi), ki so potrebni za izdelavo analize pretoka elementov v skladišču.

#### Podatki za potrebe analize

V Tabeli 2 so naštetih kazalniki in smernice, ki smo jih določili skupaj z podjetjem:

**Tabela 2:** Dopolnjena tabela materialnega toka iz simulacije za potrebe analize.

<i>Ime stolpca v tabeli</i>	<i>Opis</i>
Indicator <i>fz</i>	kazalnik relativne velikosti zaloge v skladišču za izdelek
Indicator <i>fdp</i>	kazalnik vrednosti prevelike zaloge v skladišču za izdelek
NOVA min zaloga [-]	predlagana nova minimalna zaloga
Prilagojena NOVA min zaloga [-]	predlagana nova minimalna zaloga
min_zal - NOVA_min_zal [-]	razlika med trenutno in prilagojeno minimalno zalogo
Vrednost trenutne minimalne zaloge [€]	vrednost v € trenutne minimalne zaloge
Vrednost NOVE min zaloge [€]	vrednost v € NOVE minimalne zaloge
Povp poraba iz skl [-]	povprečna dnevna poraba iz skladišča
Min zaloga na povp porabo skl [-]	minimalna zaloga glede na povprečno porabo

V simulaciji smo tudi uporabili novo nepreverjeno metodologijo računanja nove

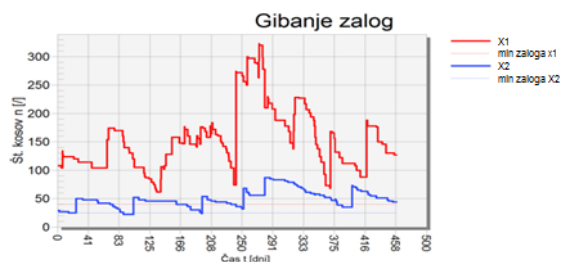
minimalne zaloge, ki je razložena v poglavju 4.3.

#### 4.2. Graf sledenja posameznih in vseh sestavnih delov

Zaloga v skladišču (izpisi v obliki grafov) se lahko spremljajo za posamezni sestavni del ali pa za vse sestavne dele v skladišču.

#### Graf sledenja posameznega sestavnega dela

Graf nam izrisuje, kako se je gibala zaloga sestavnega dela v skladišču (Slika 8). Graf izrisuje stanje zalog samo za tiste sestavne dele, ki jih želimo. Za vsak izbrani SD nam izriše tudi njegovo trenutno postavljeno mejo minimalne zaloge.



**Slika 7:** Graf gibanja zalog SD (trackingCOMP).

#### Graf sledenja vseh sestavnih delov

Graf nam izrisuje vsoto vseh kosov v skladišču, povprečno vrednost zaloge kosov in skupno minimalno zalogo kosov v opazovanem trenutku (Slika 9).



**Slika 8:** Graf gibanja vseh zalog (SD, ki so stalno na zalogi) v skladišču (trackingALL).

#### 4.3. Predlagane nove minimalne zaloge

Rezultati novih minimalnih zalog nam podajo tri različne predlagane vrednosti za vsak sestavni del (SD):

- 1) minimalna zaloga na povprečno porabo izračunamo po enačbi (1) in tako dobimo novo minimalno zalogo iz povprečne porabe:

$$\text{Min zaloga na povp porabo skl [-]} = \text{Povp poraba iz skl [-]} \cdot \text{Dostavni čas [dni]} \quad (1)$$

V enačbi (1) pomeni:  
 Povp poraba iz skl [-] - povprečna poraba sestavnega dela iz skladišča [-]  
 Dostavni čas [dni] – dobavni rok sestavnega dela [-]

- 2) NOVA min zaloga, predstavlja izračun po novi metodologiji, ki jo preko simulacije izračunamo po enačbi (2) in predstavlja priporočeno novo minimalno zalogo za posamezni SD v številu kosov glede na opazovano obdobje. Indikator upošteva povprečje povprečne porabe v časovnem obdobju in dobavni rok:

$$\text{NOVA min zaloga [-]} = \text{povp}_{\text{povp}} [-] \cdot \text{dobavni rok [dni]} \quad (2)$$

$$\text{povp}_{\text{povp}} [-] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{poraba do sedaj [-]}_i}{\text{št. Dd [dni]}_i} \right) \quad (3)$$

V enačbi (2) in (3) pomeni:  
 n – število transakcij elementa v opazovanem obdobju [-]  
 poraba do sedaj [-] – vsota porabljenih kosov do opazovanega trenutka [-]  
 št. Dd [dni] – število delovnih dni do opazovanega trenutka [-]

- 3) prilagojena NOVA minimalna zaloga predstavlja izračun po novi metodologiji, kar popisuje enačba (4). Enačba poda prilagojeno novo minimalno zalogo za posamezni SD glede na opazovano obdobje. Razlika med enačbo (2) in enačbo (4) je v tem, da pri enačbi (4) povprečje povprečja v časovnem

obdobju seštejemo s klasičnim povprečjem in delimo z 2.

$$prilagojena\ NOVA\ min\ zaloga[-] = povp_{povp1}[-] \cdot dobavni\ rok[dni] \quad (4)$$

$$povp_{povp1}[-] = \frac{povp_{povp}[-] + Povp\ poraba\ iz\ skl\ [-]}{2} \quad (5)$$

Predlagana vrednost minimalne zaloge po enačbi (4) nam boljše izravna podatke, ki so imeli velika odstopanja in neenakomerno periodiko transakcij.

Z enačbo (1) izračunamo novo minimalno zalogo iz povprečne vrednosti v opazovanem obdobju. Z enačbo (2) predlagamo popolnoma novo metodologijo za določanje minimalnih zalog. Predlagana metoda po enačbi (2) še ni preverjena oziroma dokazana njena praktična uporabnost, je pa že v fazi preizkušanja v dejanskem podjetju. Do razlik v rezultatih, pridobljenih z izračuni po obeh enačbah pride takrat, kadar ni enakomerne porabe SD. Po enačbi (4) pa izračunamo vmesno vrednost med veličinami, izračunanih po enačbah (1) in (2). S tem dobimo izravnano vrednost tistih SD, ki so imeli velika odstopanja in neenakomerno periodiko.

#### 4.4. Ugotovitve predlaganih novih minimalnih zalog

Rezultati simulacije nam podajo tri različne predlagane nove vrednosti minimalnih zalog za vsak SD. Razlike med vrednostmi izračunov enačb (1) in (2) so minimalne. Vrednost vseh novih zalog za cca. 1.900 različnih SD je po enačbi (2) 22.000, po enačbi (1) pa nekoliko manj. Namen enačbe (2) ni, da bi dobili manjšo vrednost od vrednosti po enačbi (1), ampak da dobimo vrednost, ki bolj natančno zajema lastnost porabe skladišča. Enačba (4) nam izračuna vmesno vrednost med enačbo (1) in (2). S tem dobimo izravnano vrednost tistih SD, ki so imeli velika odstopanja in neenakomerno periodiko dobave in porabe.

V podjetju so za novo vrednost minimalnih zalog SD upoštevali podatke, ki so bili izračunani po enačbi (1). Za nekaj 10 SD pa so začeli preverjati vrednosti podatkov enačb (2) in (4). Če se bodo izkazale za dovolj dobre za uporabo, bodo naknadno vrednosti vseh minimalnih zalog nastavili na vrednosti, ki smo jih pridobili z enačbama (2) oziroma (4).

## 5. UGOTOVITVE

Z analizo podatkov želimo razumeti karakteristike obnašanja sistema skladišča. Analiza nam podaja pomoč pri reševanju problema, saj lahko točno vidimo, kateri podatki so najbolj kritični in jih najprej rešujemo. Podaja nam tudi nasvete, kako naj postavimo nove vrednosti predvsem za vrednost minimalnih zalog. Analiza v podjetju je pokazala, da se v obdobju 1,5 leta za cca. 350 šifer SD zaloga ni spreminjala in kosi samo ležijo v skladišču. Analiza je pokazala tudi, da je minimalne zaloge smiselno znižati iz skupno 100.000 kosov na okrog 22.000 kosov pri povečanem obsegu proizvodnje oz. na okrog 12.000 kosov pri umirjenem obsegu proizvodnje.

Glavni cilj simulacije je bil optimizacija količine zalog in aktivnosti v nabavi. Iz grafov za posamezni SD se lahko vidijo napake, ki so se dogajale v preteklosti pri nabavi in se lahko v bodoče odpravijo. Tudi graf skupne vrednosti zaloge je dober pokazatelj, kakšno je splošno stanje v skladišču. Vrednost v tem grafu mora biti čim nižja, saj to pomeni manj vezanega kapitala v skladišču in posledično manj stroškov. Pridobljeni izsledki analize nam pomagajo pri odločitvah o izboljšanju parametrov za skladiščene kose in sicer o količinah in periodi nabave novih kosov, prav tako pa pri določanju vrednosti ustreznih minimalnih zalog.

Simulacijski model pretoka SD v skladišču ter predstavljeni kazalniki in grafi so bili določeni v sodelovanju z zaposlenimi iz podjetja. Model je bil po dogovoru razvit

tako, da simulacija omogoča preverjanje materialnega toka za poljubno obdobje, lahko za preteklo obdobje ali prihodnje obdobje. Za prihodnje obdobje izvajamo simulacijo ob uporabi napovedanih podatkov o porabi materiala.

Simulacijski model je bil razvit tako, da je na podlagi želja podjetja mogoče model nadgraditi z zelenimi kazalniki ali tabelaričnimi oziroma grafičnimi izpisi. Obenem je model izdelan tako, da ga je mogoče enostavno adaptirati za podjetja z drugačnim tipom proizvodnje in poljubnim številom transakcij v skladišču sestavnih delov, polizdelkov, končnih izdelkov, orodij, itd.

## **6. VIRI**

- [1] Debevec M., Črep G.: Optimiranje zalog polizdelkov za hladilnike preko računalniškega modela in simulacije diskretnih dogodkov, Ventil, Letnik 19, Številka 1, 2013.
- [2] Savarese A. B.: Manufacturing Engineering; Nova Science Publishers, Inc., New York, ZDA, 2011.
- [3] eM-Plant: Reference Manual; Tecnomatix Technologies GmbH & Co. KG, 1998.
- [4] eM-Plant: Objects Manual; Tecnomatix Technologies GmbH & Co. KG, 1998.