

Doseganje optimalnih zalog v skladišču s sledenjem stanja zalog z uporabo simulacije

Hugo ZUPAN, Mihael DEBEVEC, Niko HERAKOVIČ

Izveček: Doseganje optimalnih zalog je eden izmed temeljnih problemov skladiščenja. Vsi načini optimiranja zalog niso učinkoviti. Iz tega razloga je potrebno izbrati preverjen optimizacijski pristop, kot je npr. vnaprejšnja simulacija skladiščenja.

V prispevku je predstavljen simulacijski model, s katerim na enostaven način sledimo zalogam v skladišču in določimo ustrezno vrednost minimalnih zalog. Prikazano je, kako je smiselno popisati obstoječe stanje, predstavljena je analiza gibanja zalog v skladišču in izdelani so predlogi za izboljšanje skladiščnega procesa. Simulacija modela skladišča je narejena na osnovi diskretnih dogodkov v programskem orodju Tecnomatix Plant Simulation.

Obenem članek predstavlja primer dobre prakse med Fakulteto za strojništvo iz Ljubljane in industrijo.

Gljučne besede: simulacija diskretnih dogodkov, optimizacija zalog, sledenje zalog, minimalne zaloge, virtualna skladišča

1 Uvod

Simulacija postaja danes vse bolj uporabno orodje v proizvodnji. Njena bistvena prednost je, da ne porablja materiala, energije in sredstev, ampak samo podatke. Tako lahko variante proizvodnih in skladiščnih procesov preizkušamo vnaprej in iščemo optimalno rešitev ([1]– [8]).

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

Bistveni deli raziskav so sledeči:

Hugo Zupan, mag., dr. Mihael Debevec, univ. dipl. inž., izr. prof. dr. Niko Herakovič, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

- gradnja računalniškega modela virtualnega skladišča,
- spremljanje stanja pretokov kosov v skladišču,
- analiza stanja pretokov in
- optimizacija stanja.

Pri gradnji računalniškega modela upoštevamo lastnosti in omejitve dejanskega skladišča. Z uporabo simulacijskega orodja in modela lahko spremljamo stanje za vsak skladiščeni kos, končni izdelek ali orodje v skladišču s pomočjo tabel in grafov. Analiza pridobljenih rezultatov iz simulacije omogoča lažje razumevanje potekanja transakcij skladiščenih kosov v proizvodnem procesu. Namenjena je predvsem uporabnikom iz prakse, saj lahko predloge implementirajo 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.

2 Model skladišča

V okviru raziskav je bil razvit model, ki temelji na primeru slovenskega podjetja. Na podlagi splošnih zakonitosti so bile postavljene smernice za izdelavo makrosistema in na grobo popisane karakteristike skladišča ([8], [9]). Odločili smo se, da bomo opazovali samo pretok tistih sestavnih delov (SD), ki so stalno na zalogi in so v skladišču delov na zalogi. Premiki SD v skladišču so opredeljeni kot 6 različnih transakcij med posameznimi lokacijami (*slika 1*) in so označeni z naslednjimi šiframi:

- 01: prejem SD v prevzemno skladišče, nato gredo v skladišče,
- 02: reklamacija, zato 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 neposredno v proizvodnjo.

Iz logistične sheme pretoka smo nato izdelali model skladiščenja SD v dveh osnovnih korakih:

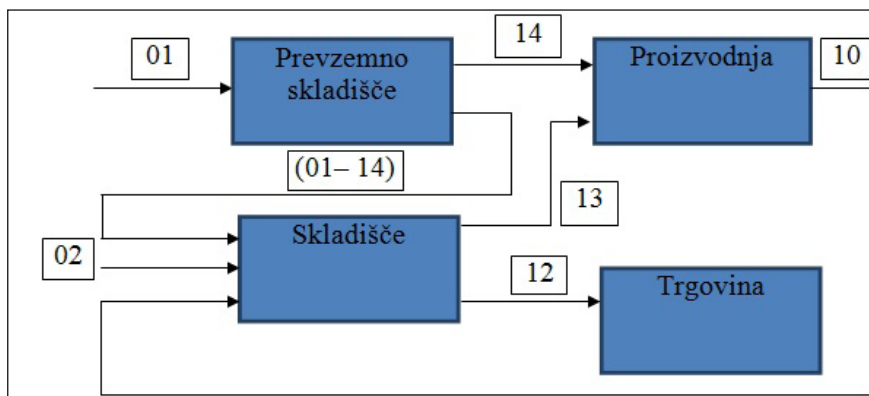
- logična zasnova modela in
- računalniški model.

2.1 Logična zasnova modela

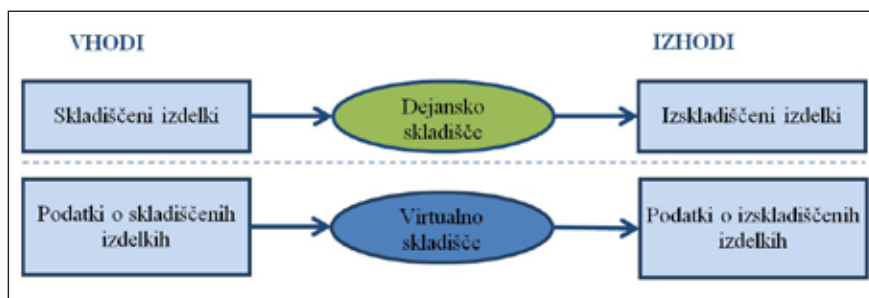
V tem koraku je cilj s pomočjo simulacije pridobiti podatke o gibanju zalog tistih SD, ki so stalno na zalogi. V ta namen smo razvili model virtualnega vhodnega skladišča, ki je postavljen na osnovi dejanskega vhodnega skladišča (slika 2).

Pri gradnji modela skladiščenja SD je sam model zasnovan tako, da je omogočena neposredna uporaba vhodnih podatkov, ki so namenjeni za dejansko skladišče. Model je izdelan parametrično, da omogoča uporabo različnih vhodnih podatkov in obnem zajema 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). Za model skladiščenja veljajo ustrezne relacije med podatkovnimi strukturami, ki smo jih uporabili v modelu. Za spremljanje trenutne zaloge spremljamo razliko med



Slika 1. Logistična shema pretoka materiala v skladišču



Slika 2. Osnovni princip virtualnega skladišča

uskладиščениmi (začetna zaloga, uskladiščeni SD in SD, ki se vračajo iz proizvodnje) in izskladiščениmi količinami. Podatke o stanju v skladišču spremljamo sprotно preko ažurnih izpisov, ki jih da simulacija:

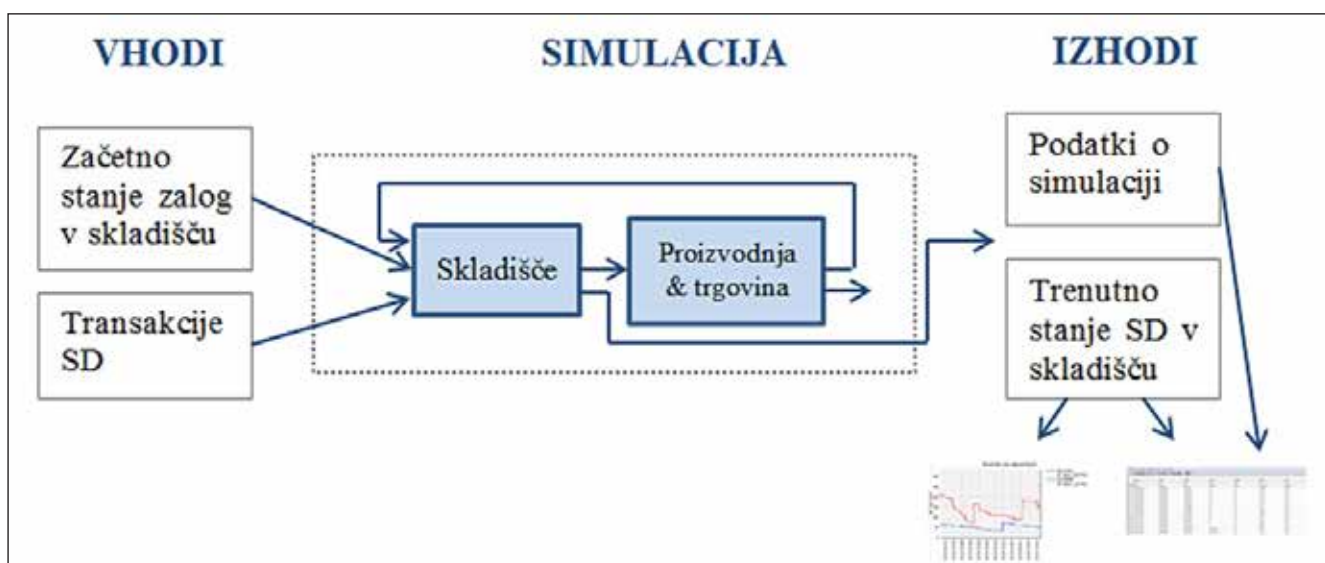
- z grafi (posameznih SD, skupek vseh SD in vrednosti SD) in
- preko tabele tekočih zalog.

2.2 Računalniški model

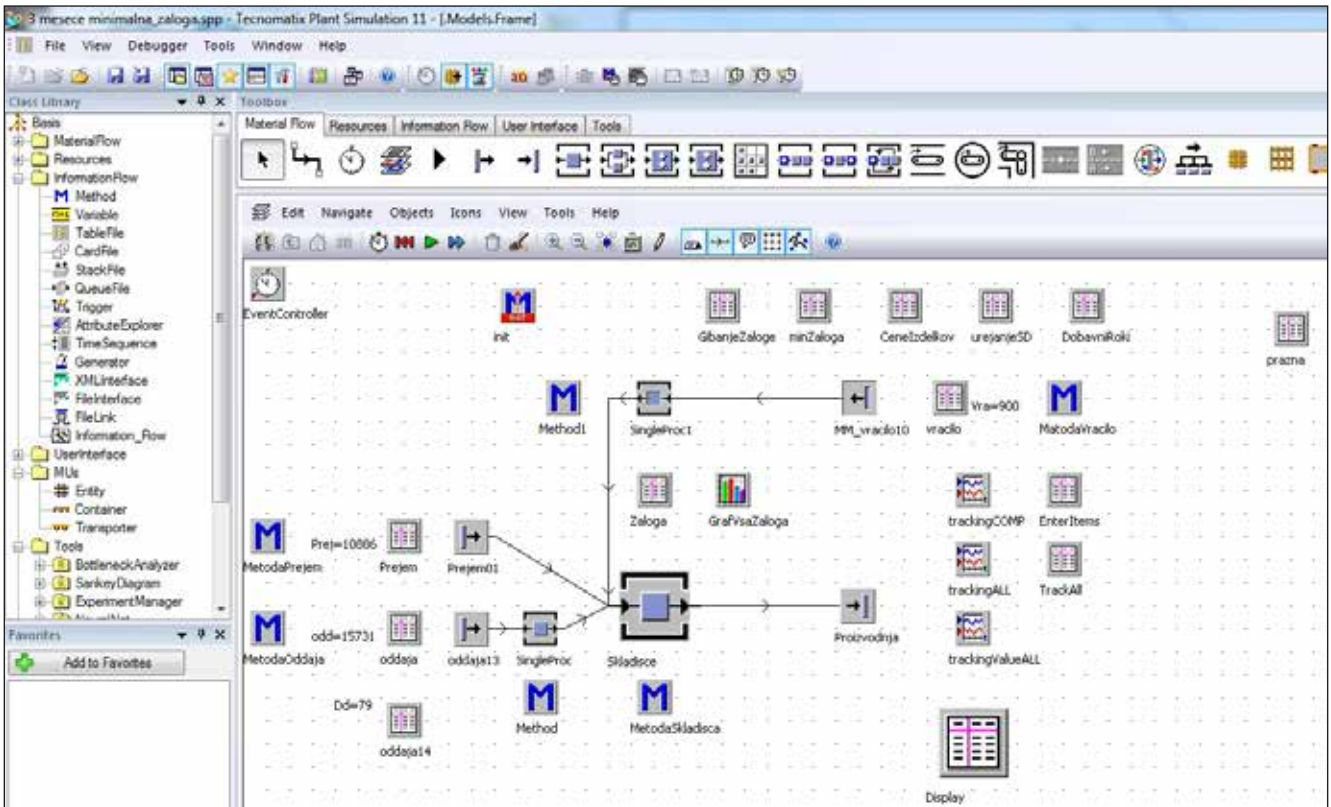
Računalniški model skladišča (slika 4) smo izdelali v programskem

orodju Plant Simulation ([10]–[12]). V modelu so enostavne logične odvisnosti proizvodnega procesa opisane s standardnimi objekti programskega orodja, zahtevnejše logične odvisnosti pa z metodami oziroma podprogrami v programskem jeziku SimTalk. Program obsega 32 standardnih objektov programskega orodja in 320 vrstic logičnih odvisnosti, napisanih v programskem jeziku SimTalk.

Vhodni podatki za simulacijo so pridobljeni direktno iz Excelove tabele,



Slika 3. Logična shema simulacijskega modela skladiščenja



Slika 4. Računalniški – virtualni model skladišča (simulacijski model)

ki jo dobimo kot izpis iz integralnega informacijskega sistema vzorčnega podjetja.

2.3 Vrednotenje modela skladišča sestavnih delov, ki so vedno na zalogi

Izpis iz integralnega informacijskega sistema podjetja podaja, da ima vzorčno podjetje v svojem skladišču okrog 1.900 različnih SD, ki so vedno na zalogi. O teh SD smo dobili vse podatke, ki smo jih potrebovali za izvajanje simulacije.

Iz podatkov o gibanju zalog smo pridobili podatke o transakcijah za časovno obdobje enega leta in pol, v katerem se je zgodilo okrog 125.000 transakcij. Vsaka transakci-

ja 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 preverili stanje zalog SD v dejanskem skladišču na določen dan in to primerjali s podatki, ki smo jih dobili pri izvajanju simulacije. Odstopanje količin smo vrednotili v Excelovi tabeli (slika 5).

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 in je uporaben.

Šifra izdelka	Dejansko stanje	Virtualno stanje	Odstopanje
X	98	98	0
X	22	22	0
X	19	19	0
X	13	13	0
X	22	22	0
VSOTA	245935,6	245935,6	0

Slika 5. Primerjava dejanskega in virtualnega stanja skladišča

3 Analiza modela skladišča sestavnih delov

Pri analizi skladišča smo uporabili različne kazalnike in smernice, ki nazorno pokažejo stanje zalog v skladišču. Analiza pretoka materiala v skladišču je bila izdelana za podatke o materialnem toku za obdobje 3 mesecev umirjene proizvodnje in obdobje leta in pol 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 simulacije in
- grafe za sledenje posameznih sestavnih delov in graf skupne zaloge.

3.1 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

Tabela 1. *Struktura tabele materialnega toka iz simulacije*

Ime stolpca v tabeli	Opis
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

– podatke, ki jih pridobimo z analizo izhodnih podatkov iz simulacije.

smernice, ki so potrebni za uspešno izvedbo analize.

Izhodni podatki iz simulacije

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

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

Podatki, pridobljeni iz analize

V tabeli 2 so naštetih kazalniki in

Analiza testnih podatkov je pokazala, da se v obdobju enega leta in pol za ok. 350 šifer SD zaloga ni spremenila in kosi samo ležijo v skladišču. Analiza je pokazala tudi, da je minimalne zaloge smiselno znižati s skupno 100.000 kosov na okrog 22.000 kosov pri povečanem obsegu proizvodnje oz. na okrog 12.000 kosov pri umirjenem obsegu proizvodnje (slika 6).

3.2 Graf sledenja posameznih in vseh sestavnih delov

Zaloga v skladišču je prikazana z izpisi v obliki grafov in se lahko spremlja za posamezen sestavni del ali pa za vse sestavne dele v skladišču.

Graf sledenja posameznega sestavnega dela

Graf zaloge posameznega sestavnega dela izrisuje, kako se je gibala zaloga sestavnega dela v skladišču

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

Ime stolpca v tabeli	Opis
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
Vrednost trenutne minimalne zaloge [€]	vrednost trenutne minimalne zaloge v €
Vrednost NOVE min zaloge [€]	vrednost NOVE minimalne zaloge v €
Povp poraba iz skl [-]	povprečna dnevna poraba iz skladišča
Min zaloga na povp porabo skl [-]	minimalna zaloga glede na povprečno porabo



Slika 6. Graf trenutne in predlagane minimalne zaloge

v opazovanem obdobju (slika 7). Graf izrisuje stanje zalog za poljubne sestavne dele. Za vsak izbrani SD se sprotno izriše tudi njegova trenutno postavljena meja minimalne zaloge.

Graf sledenja vseh sestavnih delov

Graf izrisuje trenutno število vseh kosov v skladišču, povprečno vrednost zaloge kosov in skupno minimalno zalogo kosov v opazovanem trenutku (slika 8).

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 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.



Slika 7. Graf gibanja zalog SD (trackingCOMP)



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

4 Zaključek

Izdelani model za zasledovanje gibanja zalog v skladišču se je izkazal za uporabnega. Namen izdelave analize podatkov pa je, da želimo razumeti karakteristike obnašanja sistema skladišča. Analiza obenem podaja pomoč pri reševanju problema zalog, saj jasno pokaže, kateri podatki so najbolj kritični in jih najprej rešujemo. Podaja tudi smernice, kako naj postavimo nove vrednosti predvsem za vrednost minimalnih zalog.

Simulacijski model pretoka SD v skladišču ter predstavljeni kazalniki in grafi so bili določeni na podlagi predlogov iz prakse. Model je bil po dogovoru razvit tako, da simulacija omogoča preverjanje materialnega toka za poljubno časovno obdobje, lahko za preteklo ali prihodnje obdobje. Za prihodnje obdobje izvajamo simulacijo ob uporabi napovedanih podatkov o porabi materiala.

Simulacijski model je bil razvit tako, da ga je na podlagi želja vzorčnega podjetja mogoče nadgraditi z železnimi kazalniki ali tabelarnimi 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.

Literatura

- [1] Wenzel, S., Jessen, U., Bernhard, J.: Classification and conventions structure the handling of models within the Digital Factory, *Computers in Industry*, Vol. 56, No. 4 (2005), 334–346.
- [2] Chrystosolouris, G., Mavrikios, D., Papakostas, N., Mourtzis, D., Michalos, G., Georgoulidas, K.: Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 223, No. 5 (2009), 451–462.
- [3] Kocisko, M., Novak-Marcincin, J., Baron, P., Dobransky, J.: Utilization of progressive simulation software for optimization of production systems in the area of small and medium companies, *Technical Gazette*, Vol. 19, No. 4 (2012), 983–986.
- [4] Ayadi, M., Costa Affonso, R., Cheutet, V., Masmoudi, F., Riviere, A., Haddar, M.: Conceptual Model for Management of Digital Factory Simulation Information, *International Journal of Simulation Modelling*, Vol. 12, No. 2 (2013), 107–119.
- [5] Padhi, S. S., Wagner, S. M., Niranjana, T. T., Aggarwal, V.: A simulation-based methodology to analyse production line disruptions, *International Journal of Production Research*, Vol. 51, No. 6 (2013), 1885–1897.
- [6] Rocha, M., Oliveira, J. F., Caravilla, M. A.: Cyclic staff scheduling: optimization models for some real-life problems, *Journal of Scheduling*, Vol. 16, No. 2 (2013), 231–242.
- [7] Mujber, T. S., Szecsi, T., Hashmi, M. S. J.: Virtual reality applications in manufacturing process simulation, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 155–156, (2004), 1834–1838.
- [8] Debevec, M.: Modeliranje strege orodij pri obdelavi v digitalnem okolju, *Doktorska disertacija, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana*, 2010.
- [9] Debevec, M., Črep, G.: Optimiranje zaloga polizdelkov za hladilnike preko računalniškega modela in simulacije diskretnih dogodkov, *Ventil*, letnik 19, številka 1, 2013.
- [10] Savarese, A. B.: *Manufacturing Engineering*; Nova Science Publishers, Inc., New York, ZDA, 2011.
- [11] eM-Plant: Reference Manual; Tecnomatix Technologies GmbH & Co. KG, 1998.
- [12] eM-Plant: Objects Manual; Tecnomatix Technologies GmbH & Co. KG, 1998.

Achieving optimum stock in the warehouse by tracking the stock situation using simulation

Abstract: Achieving optimal inventory is one of the fundamental problems of storage. All inventory optimization approaches are not effective. For this reason, it is necessary to choose a proven optimization approach, such as the advance simulation of storage.

This paper presents a simulation model with which you can easily follow the inventory in the warehouse and determine the appropriate minimum level of stock. The paper shows a reasonable way to do an inventory of the existing situation, presents the analysis of the movement of inventory in the warehouse and makes suggestions for improving the storage process. The simulation model of a warehouse is based on discrete events and built in the software package Tecnomatix Plant Simulation.

At the same time, the article is an example of good practice between the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana and industry.

Keywords: discrete event simulation, optimization of inventory, inventory tracking, minimum stock, virtual warehouses

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2014 - ASM `14

3. decembra 2014