

## Ugotavljanje in izkoriščanje skritih logističnih zmožnosti podjetja

### Finding and Exploiting the Hidden Logistic Potentials in a Company

Janez Kušar - Tomaž Berlec - Jože Duhovnik - Janez Grum - Marko Starbek

*Podjetja se dandanes soočajo z novimi izzivi. Hkrati imajo opravka z globalizacijo poslovanja in lokalizacijo delovanja, standardizacijo in individualizacijo izdelkov "razvajenim" kupcem in povečano konkurenco.*

*V tem položaju se izkažejo za uspešna le tista podjetja, ki so v stanju čim hitreje se odzvati na spremembe trga oziroma izkazujejo najkrajši reakcijski čas izpolnjevanja zahtev kupcev (cena in kakovost izdelka ter kratek čas in zanesljivost dobave).*

*Dosledna redukcija srednjega stanja, založenosti in pretočnega časa delovnih sistemov podjetja je vedno bolj razširjena strategija, ki zagotavlja zadovoljstvo kupca ter povečanje rasti in dobička podjetja.*

*V prispevku je prikazano, kako je mogoče z orodji za modeliranje pretoka naročil preko delovnih sistemov ugotoviti in izkoristiti skrite logistične zmožnosti delovnih sistemov podjetja.*

*Prikazani so rezultati ugotavljanja in izkoriščanja skritih logističnih zmožnosti delovnih sistemov podjetja ETI d.d. Izlake – enota ORODJARNA.*

© 2005 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

**(Ključne besede: sistemi delovni, časi pretočni, stanja, učinki, zmožnosti logistične)**

*Companies are nowadays confronted with new challenges: simultaneously they are dealing with the globalization of business and acting on local markets, the standardization and customization of products for fastidious customers and increased competition.*

*In these circumstances the only successful companies are those which can respond quickly to market changes, i.e., they have a short response time for the fulfilment of customer requirements (a short delivery time and reliable delivery in addition to a competitive price and high quality).*

*Consequently, a reduction of the mean inventory, the range and the lead time of the working systems in the company is an ever increasing strategy that ensures the customer's satisfaction and an increase in growth and profit for the company.*

*The article shows how the tools for modelling the flow of orders through working systems can be used to find and exploit the hidden logistic potentials of working systems in a company.*

*Here we present the results of finding and exploiting the hidden logistic potentials of working systems in the tool-production department of the "ETI Ltd." company from Izlake, Slovenia.*

© 2005 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

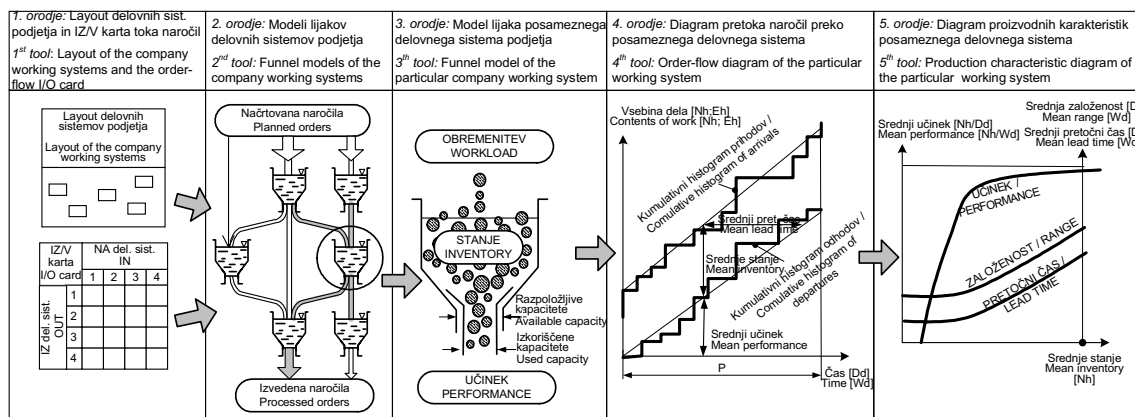
**(Keywords: working systems, lead times, inventory systems, performance, logistic potentials)**

#### 0 UVOD

Da bi lahko ugotovili in izkoristili skrite logistične zmožnosti delovnih sistemov podjetja, kamor štejemo skrite logistične zmožnosti srednjega stanja naročil, srednje založenosti z naročili in srednjega pretočnega časa delovnih sistemov, moramo predhodno zajeti pretok naročil prek delovnih sistemov podjetja v izbranem časovnem obdobju.

#### 0 INTRODUCTION

In order to find and exploit hidden logistic potentials (hidden logistic potentials of mean inventory of orders, mean range and mean lead time of working systems) of working systems in a company, we have to obtain the data on the order-flow through working systems in the selected time interval.



Sl. 1. Orodja za modeliranje pretoka naročil prek delovnih sistemov  
Fig. 1. Tools for modelling the flow of orders through working systems

Analiza rezultatov predhodnih raziskav stanja naročil, učinka, založenosti in pretočnih časov delovnih sistemov ([1] do [5]) je pokazala, da so za zbiranje pretoka naročil prek delovnih sistemov podjetja potrebna orodja, prikazana na sliki 1.

Načrt delovnih sistemov podjetja da informacijo o lokaciji delovnih sistemov v podjetju, izstopno/vstopna (IZ/V) karta pa o jakosti toka naročil med delovnimi sistemi.

Na podlagi znanega načrta delovnih sistemov in IZ/V karte toka naročil med delovnimi sistemi je mogoče načrtati modele lijakov delovnih sistemov in vrisati jakost toka naročil med delovnimi sistemi podjetja.

Na vsakem delovnem sistemu oziroma modelu lijaka je mogoče v opazovanem časovnem obdobju  $P$  zbrati podatke o rokih prihoda oziroma odhoda naročil na/z delovnega sistema in vsebinah dela naročil.

Zbrani podatki o pretoku naročil prek posameznega delovnega sistema omogočajo konstruiranje diagrama pretoka naročil, ki pokaže, kakšni so, v dejanski točki obratovanja delovnega sistema, dejansko srednje stanje naročil, dejanski srednji učinek, dejanska srednja založenost in dejanski srednji pretočni čas delovnega sistema. Diagram pretoka opisuje dinamično obnašanje delovnega sistema, kar kažeta kumulativna histograma prihoda in odhoda naročil na delovni sistem in iz njega.

Nazadnje se za vsak delovni sistem podjetja nariše diagram proizvodnih karakteristik, katerega cilj je pokazati, kako sprememba srednjega stanja naročil na delovnem sistemu vpliva na spremembo srednjega učinka, založenosti in pretočnega časa

An analysis of research results regarding the inventory of orders, performance, range and lead time of working systems ([1] to [5]) has shown that the tools presented in Figure 1 should be used to model the flow of orders through the company working systems.

The layout of company working systems provides information on the company working system locations, while the I/O card provides information on the order-flow intensity between the working systems.

On the basis of the known layout of the working systems and the order-flow I/O card between working systems it is possible to design funnel models of the working systems and to graphically present the order-flow intensity between the working systems in the company.

In every working system (funnel model) it is possible to obtain dates of order arrivals to a working system (and dates of order departures from a working system) and the data on the contents of the work in each reference period,  $P$ .

The data obtained on the flow of orders through a particular working system make it possible to design a diagram of order flow that shows the actual mean inventory of orders, the actual mean performance, the actual mean range and the actual mean lead time of a working system at a particular operating point of a working system. The flow diagram describes the dynamic response of a working system (shown by the cumulative histograms of arrival at and departure from the working system).

Finally, for each working system in the company a diagram of production characteristics is drawn. The purpose of drawing a diagram is to reveal how a change in the mean inventory of orders in a working system influences the change of the mean performance,

delovnega sistema in kakšne so skrite logistične zmožnosti delovnega sistema.

## 1 PREGLEDOBJAV

Srednje stanje naročil in srednji pretočni časi ter srednja založenost in srednji učinek delovnih sistemov so osnovni podatki (logistične zmožnosti) za ocenjevanje zmožnosti podjetij za pojavljanje na svetovnem trgu. Skrite zmožnosti je treba odkriti, jih analizirati in z ustreznimi ukrepi izkoristiti.

Raziskave na področju ugotavljanja pretočnih časov naročil [1] so pokazale, da pretočnih časov ni mogoče računati, temveč le meriti. Kasnejše raziskave ([2] do [4]) so pokazale, da je s stalnim beleženjem pretoka naročil prek delovnih sistemov mogoče natančno ugotavljati vrednosti pretočnih časov in stanja naročil v izbranem časovnem obdobju, ki se spreminjajo v odvisnosti od spremembe vrste naročil in uporabljenih tehnoloških postopkov. Rezultati raziskav so pokazali, da je pri delovanju delovnih sistemov še veliko neodkritih in neizkoriščenih logističnih zmožnosti. Nyhuis in Wiendahl [5] sta proizvodne karakteristike delovnega sistema opisala z matematičnimi enačbami, ki smo jih tudi mi uporabili pri določanju dejanske in ciljne točke obratovanja delovnih sistemov.

Problem srednjega stanja in srednjega pretočnega časa naročil je močno povezan z optimizacijo toka materiala prek delovnih sistemov [6] še posebno so dejanski pretočni časi pomembni pri razporejanju naročil oziroma opravil na delovne sisteme ([7] do [9]).

## 2 UGOTAVLJANJE SKRITIH LOGISTIČNIH ZMOŽNOSTI DELOVNIH SISTEMOV

Z meritvami pretoka naročil prek poljubnega  $j$ -tega delovnega sistema  $WC_j$  ( $1 \leq j \leq m$ ) v opazovanem časovnem obdobju  $P$  in risanjem diagrama pretoka ugotovimo "dejansko točko obratovanja  $j$ -tega delovnega sistema" ([1] in [5]), ki pove, kakšno je dejansko srednje stanje naročil ter dejanski srednji učinek, srednja založenost in srednji pretočni čas delovnega sistema.

Na  $j$ -tem delovnem sistemu pa lahko pride do:

- podobremenitve delovnega sistema (majhno srednje stanje naročil),
- običajne obremenitve delovnega sistema (srednje veliko srednje stanje naročil) ali
- nadobremenitve delovnega sistema (veliko srednje stanje naročil), kar ponazarjajo diagrami pretoka, prikazani na sliki 2.

range and lead time of a working system and what are the hidden logistic potentials of the working system.

## 1 LITERATURE REVIEW

The mean inventory of orders, the mean lead time, the mean range and the mean performance of working systems are the basic data (logistic potentials) for an assessment of a company's ability to be competitive on the global market. Hidden potentials need to be found, analysed and exploited with appropriate measures.

Research on the lead time of orders [1] has established that lead times can not be calculated - they can only be measured. Further investigations ([2] to [4]) established the possibility of finding the exact values of lead times and the inventory of the orders in a selected time interval by continuous monitoring of order-flow through working systems. The data changes with the order type and the used technology. Research results have shown a lot of hidden and unexploited logistic potentials. Nyhuis and Wiendahl [5] have circumscribed the production characteristics with mathematical equations, which we used for finding the actual and target operating points of working systems.

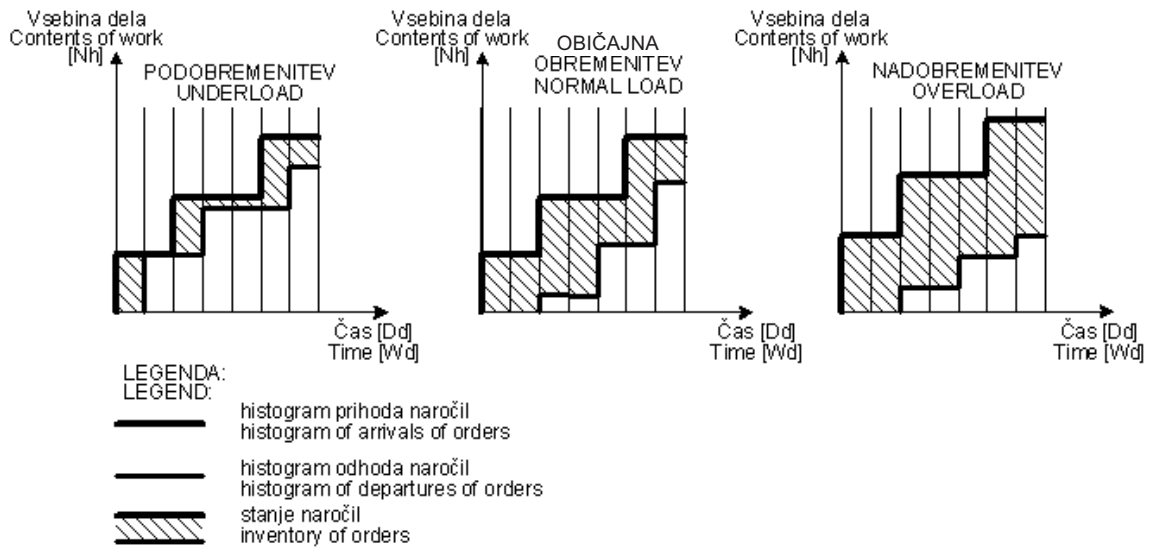
The issue of the mean inventory and the mean lead time of orders is closely linked with material flow optimization [6]. The data of real lead times is important for the feasible scheduling of orders (operations) in working systems ([7] to [9]).

## 2 FINDING THE HIDDEN LOGISTIC POTENTIALS OF WORKING SYSTEMS

By measuring the flow of orders through the  $j$ -th working system  $WC_j$  ( $1 \leq j \leq m$ ) in the interval  $P$  and by drawing a flow diagram, the "actual operating point of the  $j$ -th working system" is found ([1] and [5]); it shows the actual mean inventory of orders, the actual mean performance, the mean range and the mean lead time of a working system.

The following events are possible in the  $j$ -th working system:

- underload of a working system (small mean inventory of orders),
- normal load of a working system (average mean inventory of orders) or
- overload of a working system (high mean inventory of orders), as shown in the flow diagrams in Figure 2.



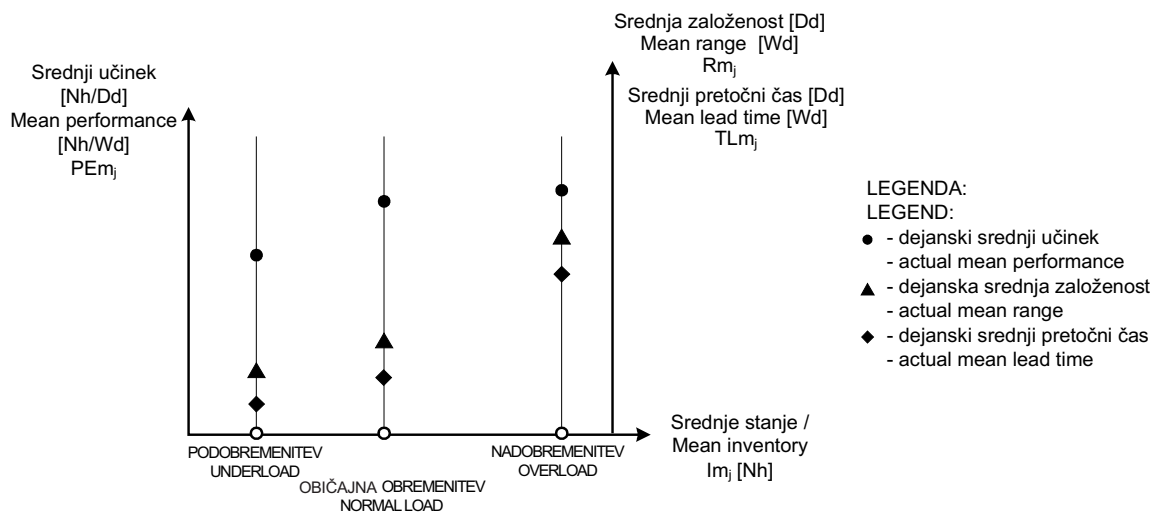
Sl. 2. Diagrami pretoka treh tipičnih stanj naročil  
 Fig. 2. Flow diagrams of three typical inventories of orders

Diagrami pretoka treh tipičnih stanj naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu omogočajo določitev treh mogočih dejanskih točk obratovanja  $j$ -tega delovnega sistema oziroma dejanskim točkam obratovanja pripadajočih vrednosti srednjega učinka, srednje založenosti in srednjega pretočnega časa delovnega sistema, kar prikazuje slika 3.

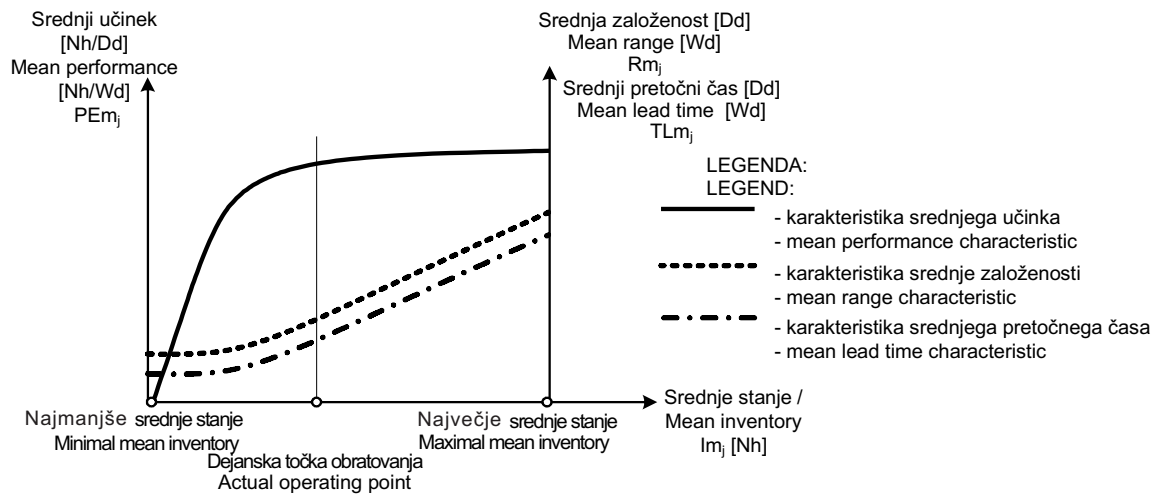
Če bi narisali diagrame pretoka naročil prek  $j$ -tega delovnega sistema za vsa možna stanja naročil, bi prišli do vseh možnih točk dejanskega obratovanja  $j$ -tega delovnega sistema oziroma točkam

Flow diagrams of three typical inventories of the  $j$ -th working system enable the definition of three possible operating points of the  $j$ -th working system; i.e., the actual values of mean performance, the mean range and the mean lead time of a working system in these particular operating points can be found, as shown in Figure 3.

By drawing order-flow diagrams of the  $j$ -th working system for all possible inventories of orders one can obtain all possible actual operating points of the  $j$ -th working system, i.e., the actual



Sl. 3. Tri značilne točke obratovanja  $j$ -tega delovnega sistema  
 Fig. 3. Three typical operating points of the  $j$ -th working system



Sl. 4. Diagram proizvodnih karakteristik *j*-tega delovnega sistema  
 Fig. 4. Production characteristic diagram of the *j*-th working system

pripadajočih vrednosti srednjega učinka, srednje založenosti in srednjega pretočnega časa delovnega sistema, ki sestavljajo diagram proizvodnih karakteristik, kar prikazuje slika 4.

Dejanska točka obratovanja *j*-tega delovnega sistema leži nekje med najmanjšim in največjim srednjim stanjem.

Iz razumljivih vzrokov (preveliki stroški) se v praksi proizvodnih karakteristik delovnih sistemov ne določa s preizkusi, temveč po enačbah [5]:

- srednje stanje naročil kot funkcijo tekoče spremenljivke *t* določimo po enačbi

$$Im(t) = I_{min} \left[ -(1 - \sqrt[4]{t})^4 + 1 \right] + \alpha_1 \cdot I_{min} \cdot t \quad (1)$$

- Im(t)* srednje stanje naročil kot funkcija tekoče spremenljivke *t* [Nh]
- I<sub>min</sub>* idealno najmanjše stanje naročil [Nh]
- α<sub>1</sub>* faktor raztezanja [-]
- t* tekoča spremenljivka ( $0 \leq t \leq 1$ )
- relativno srednje stanje naročil kot funkcijo tekoče spremenljivke *t* določimo po enačbi:

$$Im_r(t) = \frac{Im(t)}{I_{min}} \cdot 100 \quad (2)$$

- Im<sub>r</sub>(t)* relativno srednje stanje naročil kot funkcija tekoče spremenljivke *t* [%]
- srednji učinek kot funkcijo tekoče spremenljivke *t* določimo po enačbi:

$$PEm(t) = PE_{max} \left[ -(1 - \sqrt[4]{t})^4 + 1 \right] \quad (3)$$

mean performance, the mean range and the mean lead time of a working system at particular points that form the production characteristic diagram, as shown in Figure 4.

The actual operating point of the *j*-th working system is somewhere between the minimum and the maximum mean inventory.

In practice (due to too high costs) the production characteristics of working systems are not defined experimentally, they are calculated using Equations [5]:

- mean inventory of orders as a function of the variable *t*

- Im(t)* mean inventory of orders as a function of the variable *t* [Nh]
- I<sub>min</sub>* ideal minimum inventory of orders [Nh]
- α<sub>1</sub>* extension factor [-]
- t* variable ( $0 \leq t \leq 1$ )
- relative mean inventory of orders as a function of the variable *t*

- Im<sub>r</sub>(t)* relative mean inventory of orders as a function of the variable *t* [%]
- mean performance as a function of the variable *t*

$PEm(t)$ srednji učinek kot funkcija tekoče spremenljivke $t$ [Nh/Dd]	$PEm(t)$ mean performance as a function of the variable $t$ [Nh/Wd]
$PE_{max}$ največji mogoči učinek delavnega sistema [Nh/Dd]	$PE_{max}$ maximum possible performance of a working system [Nh/Wd]
- srednjo izkoriščenost delovnega sistema kot funkcijo tekoče spremenljivke $t$ določimo po enačbi	- mean utilization of a working system as a function of the variable $t$

$$Um(t) = \frac{PEm(t)}{PE_{max}} \cdot 100 \quad (4)$$

$Um(t)$ srednja izkoriščenost delovnega sistema kot funkcija tekoče spremenljivke $t$ [%]	$Um(t)$ mean utilization of a working system as a function of the variable $t$ [%]
- srednjo založenost kot funkcijo tekoče spremenljivke $t$ določimo po enačbi:	- mean range as a function of the variable $t$

$$Rm(t) = \frac{Im(t)}{PEm(t)} \quad (5)$$

$Rm(t)$ srednja založenost kot funkcija tekoče spremenljivke $t$ [Dd]	$Rm(t)$ mean range as a function of the variable $t$ [Wd]
- srednji pretočni čas kot funkcijo tekoče spremenljivke $t$ določimo po enačbi	- mean lead time as a function of the variable $t$

$$Tlm(t) = Rm(t) - TOPm \cdot \mu_{TOP}^2 \quad (6)$$

$Tlm(t)$ srednji pretočni čas delovnega sistema kot funkcija tekoče spremenljivke $t$ [Dd]	$Tlm(t)$ mean lead time of a working system as a function of the variable $t$ [Wd]
$TOPm$ srednji čas izvedbe naročil na delovnem sistemu [Dd]	$TOPm$ mean order-processing time of a working system [Wd]
$\mu_{TOP}$ variacijski koeficient časov izvedbe naročil [-]	$\mu_{TOP}$ coefficient of variation of order-processing times [-]

Enačbe (1) do (6) povedo, da so za izračun proizvodnih karakteristik  $j$ -tega delovnega sistema potrebne informacije o:

- idealnem najmanjšem stanju naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu
- ideal minimum inventory of orders in the  $j$ -th working system

$$(I_j)_{min} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (TO_{i,j})^2}{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j}} \quad (7)$$

$TO_{ij}$ čas za $i$ -to naročilo na $j$ -tem delovnem sistemu, ki je v opazovanem časovnem obdobju odšlo z delovnega sistema [Nh]	$TO_{ij}$ time of the $i$ -th order that departed from the $j$ -th working system during the interval P [Nh]
$n_j$ število naročil, ki so v opazovanem časovnem obdobju odšla z $j$ -tega delovnega sistema [-]	$n_j$ number of orders which have departed from the $j$ -th working system during that interval [-]
- največjem možnem učinku na $j$ -tem delovnem sistemu	- maximum possible performance of the $j$ -th working system

$$(PE_{max})_j = CDAY_j \quad (8)$$

$(PE_{max})_j$ največji mogoči učinek $j$ -tega delovnega sistema [Nh/Dd]	$(PE_{max})_j$ maximum possible performance of the $j$ -th working system [Nh/Wd]
$CDAY_j$ razpoložljive kapacitete $j$ -tega delovnega sistema [Nh/Dd]	$CDAY_j$ available capacities of the $j$ -th working system [Nh/Wd]

- faktorju raztezanja – običajno:  $\alpha_1 = 10$ ;
- srednjem času izvedbe naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu:

$$TOPm_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} TOP_{i,j}}{n_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j}}{n_j \cdot CDAY_j} = \frac{TOm_j}{CDAY_j} \quad (9),$$

- $TOPm_j$  srednji čas izvedbe naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu [Wd]
- $TOP_{i,j}$  čas izvedbe  $i$ -tega naročila na  $j$ -tem delovnem sistemu [Dd]
- $TOm_j$  srednji čas za naročilo na  $j$ -tem delovnem sistemu [Wd]
- variacijskem koeficientu časov izvedbe naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu

- extension factor – usually:  $\alpha_1 = 10$
- mean order-processing time in the  $j$ -th working system

- $TOPm_j$  mean processing time in the  $j$ -th working system [Wd]
- $TOP_{i,j}$  processing time of the  $i$ -th order in the  $j$ -th working system [Wd]
- $TOm_j$  mean time of order in the  $j$ -th working system [Wd]
- coefficient of variation of order-processing times in the  $j$ -th working system

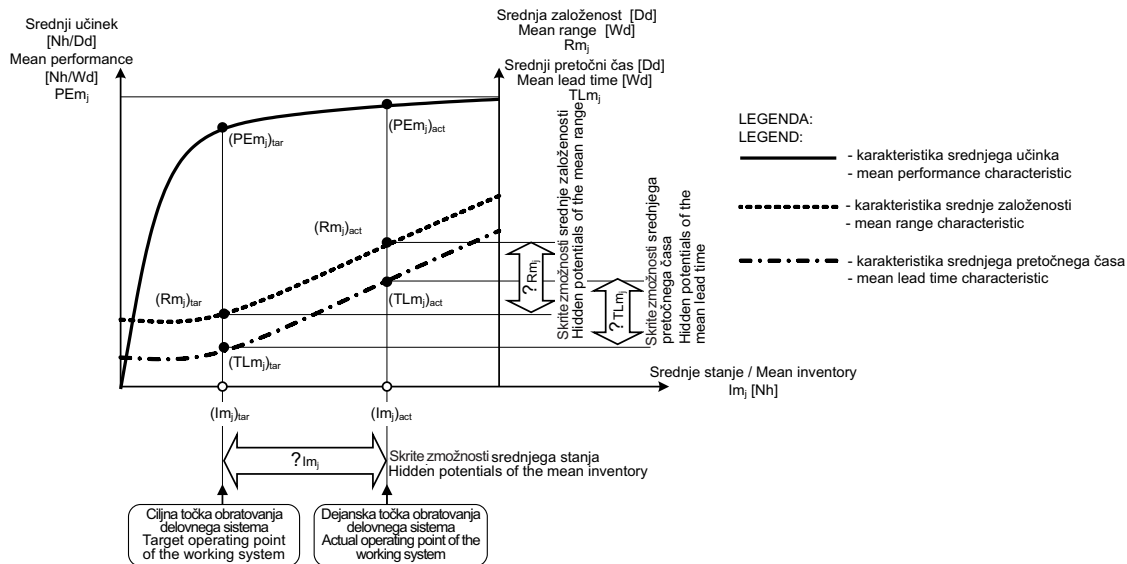
$$(\mu_{TOP})_j = \frac{(\sigma_{TOP})_j}{TOPm_j} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (TOPm_j - TOP_{i,j})^2}{n_j}}}{TOPm_j} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} \left[ \frac{TOm_j}{CDAY_j} - \frac{TO_{i,j}}{CDAY_j} \right]^2}{n_j}}}{\frac{TOm_j}{CDAY_j}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} \left( \frac{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j}}{n_j} - TO_{i,j} \right)^2}{n_j}}}{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j}} \quad (10),$$

- $(\mu_{TOP})_j$  variacijski koeficient časov izvedbe naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu [-]
- $(\sigma_{TOP})_j$  standardno odstopanje časov izvedbe naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu

- $(\mu_{TOP})_j$  coefficient of variation of order-processing times in the  $j$ -th working system [-]
- $(\sigma_{TOP})_j$  standard deviation of order-processing times in the  $j$ -th working system

Da bi prišli do podatkov o skritih logističnih zmožnostih delovnih sistemov podjetja, bo treba, na podlagi rezultatov izvedenih meritev pretoka naročil prek delovnih sistemov v opazovanem časovnem

In order to obtain the data on the hidden logistic potentials of working systems in a company it will be necessary (on the basis of the measured results on the order-flow through working systems in the interval  $P$ ) to



Sl. 5. Skrite logistične zmožnosti  $j$ -tega delovnega sistema  
 Fig. 5. Hidden logistic potentials of the  $j$ -th working system

obdobju  $P$ , za vsak delovni sistem podjetja določiti:

- dejansko točko obratovanja delovnega sistema, ki pomeni dejansko srednje stanje naročil in stanju pripadajočih dejanskih vrednosti srednjega učinka, srednje založenosti in srednjega pretočnega časa delovnega sistema,
- ciljno točko obratovanja delovnega sistema, ki pomeni ciljno srednje stanje naročil in stanju pripadajočih ciljnih vrednosti srednjega učinka, srednje založenosti in srednjega pretočnega časa delovnega sistema (slika 5).

Dejansko srednje stanje naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu pa je lahko večje, manjše ali enako ciljnemu srednjemu stanju:

$$(Im)_j^{act} \leq \geq (Im)_j^{tar} \quad (11)$$

$(Im)_j^{act}$  dejansko srednje stanje naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu [Nh]

$(Im)_j^{tar}$  ciljno srednje stanje naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu [Nh]

define for each working system of the company:

- the actual operating point of a working system that represents the actual mean inventory of orders and the corresponding actual values of mean performance, mean range and mean lead time of the working system,
- the target operating point of a working system that represents the target mean inventory of orders and the corresponding target values of mean performance, mean range and mean lead time of the working system (Figure 5).

Actual mean inventory of orders in the  $j$ -th working system can be larger or smaller than, or equal to, the target mean inventory:

$(Im)_j^{act}$  actual mean inventory of orders in the  $j$ -th working system [Nh]

$(Im)_j^{tar}$  target mean inventory of orders in the  $j$ -th working system [Nh]

## 2.1 Določanje dejanske točke obratovanja delovnega sistema

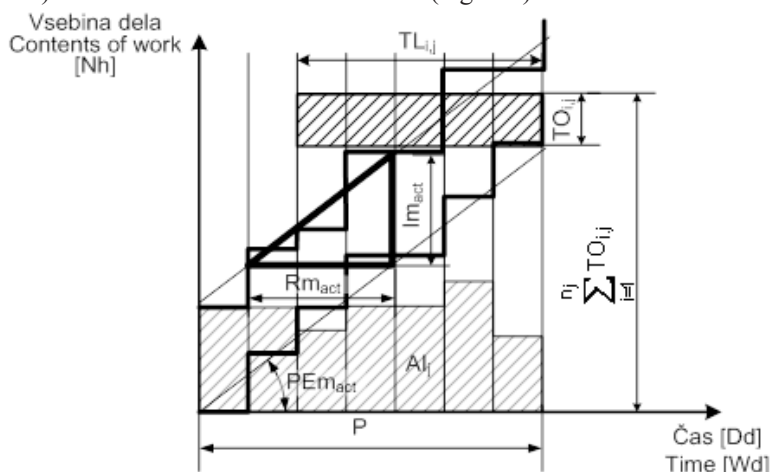
Da bi določili dejansko točko obratovanja  $j$ -tega delovnega sistema ([1] in [5]), je treba izvesti beleženje časov prihoda/odhoda naročil na delovni sistem in z njega ter ugotoviti naročilom pripadajoče vsebine dela.

Zbrani podatki o pretoku naročil prek  $j$ -tega delovnega sistema v opazovanem časovnem obdobju  $P$  omogočajo konstruiranje diagrama pretoka naročil (sl. 6).

## 2.1 Finding the actual operating point of the working system

In order to find the actual operating point of the  $j$ -th working system ([1] and [5]) it is necessary to obtain arrival times of orders at a working system (and the departure times of orders from a working system) and the data on the respective contents of the orders.

Using the data obtained on the flow of orders through a particular working system in the interval  $P$  it is possible to draw an order-flow diagram (Figure 6).



Sl. 6. Diagram pretoka naročil prek  $j$ -tega delovnega sistema  
Fig. 6. Order-flow diagram of the  $j$ -th working system



Podatki, zbrani v diagramu pretoka, omogočajo določitev dejanske točke obratovanja  $j$ -tega delovnega sistema oziroma točki obratovanja pripadajočih vrednosti:

- dejanskega srednjega stanja naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu

The data in the flow diagram enable the definition of the actual operating point of the  $j$ -th working system and its corresponding values:

- actual mean inventory of orders in the  $j$ -th working system

$$(Im_j)_{act} = \frac{AI_j}{P} \quad (12),$$

$(Im_j)_{act}$  dejansko srednje stanje naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu [Nh]

$AI_j$  ploskev stanja naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu [Nh Dd]

$P$  opazovano časovno obdobje [Dd]

- relativnega dejanskega srednjega stanja naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu

$(Im_j)_{act}$  actual mean inventory of orders in the  $j$ -th working system [Nh]

$AI_j$  area of the inventory of orders in the  $j$ -th working system [Nh/Wd]

$P$  interval [Wd]

- relative actual mean inventory of orders in the  $j$ -th working system

$$(Im,r_j)_{act} = \frac{(Im_j)_{act}}{(I_j)_{min}} \cdot 100 \quad (13),$$

$(Im,r_j)_{act}$  relativno dejansko srednje stanje naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu [%]

$(I_j)_{min}$  idealno najmanjše stanje naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu [Nh]

- dejanskega srednjega učinka  $j$ -tega delovnega sistema

$(Im,r_j)_{act}$  relative actual mean inventory of orders in the  $j$ -th working system [%]

$(I_j)_{min}$  ideal minimum inventory of orders in the  $j$ -th working system [Nh]

- actual mean performance of the  $j$ -th working system

$$(PEm_j)_{act} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j}}{P} \quad (14),$$

$(PEm_j)_{act}$  dejanski srednji učinek  $j$ -tega delovnega sistema [Nh/Dd]

$TO_{i,j}$  čas na  $i$ -to naročilo [Nh]

$n_j$  število naročil, ki so v opazovanem časovnem obdobju odšla z  $j$ -tega delovnega sistema

- dejanske srednje izkoriščenosti  $j$ -tega delovnega sistema

$(PEm_j)_{act}$  actual mean performance of the  $j$ -th working system [Nh/Wd]

$TO_{i,j}$  time of the  $i$ -th order in the  $j$ -th working system [Nh]

$n_j$  number of orders that have departed from the  $j$ -th working system during that interval

- actual mean utilization of the  $j$ -th working system

$$(Um_j)_{act} = \frac{(PEm_j)_{act}}{CDAY_j} \cdot 100 \quad (15),$$

$(Um_j)_{act}$  dejanska srednja izkoriščenost  $j$ -tega delovnega sistema [%]

$CDAY_j$  razpoložljive kapacitete  $j$ -tega delovnega sistema [Nh/Dd]

- dejanske srednje založenosti  $j$ -tega delovnega sistema

$(Um_j)_{act}$  actual mean utilization of the  $j$ -th working system [%]

$CDAY_j$  available capacities of the  $j$ -th working system [Nh/Wd]

- actual mean range of the  $j$ -th working system

$$(Rm_j)_{act} = \frac{(Im_j)_{act}}{(PEm_j)_{act}} = \frac{AI_j}{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j}} \quad (16),$$

$(Rm_j)_{act}$  dejanska srednja založenost  $j$ -tega delovnega sistema [Dd]

- dejanskega srednjega pretočnega časa  $j$ -tega delovnega sistema

$(Rm_j)_{act}$  actual mean range of the  $j$ -th working system [Wd]

- actual mean lead time of the  $j$ -th working system

$$(Tlm_j)_{act} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (TL_{i,j} \cdot TO_{i,j})}{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j}} \quad (17),$$

$(TLM_j)_{act}$  dejanski srednji pretočni čas  $j$ -tega delovnega sistema [Dd]  
 $TL_{ij}$  pretočni čas  $i$ -tega naročila na  $j$ -tem delovnem sistemu [Dd]

$(TLM_j)_{act}$  actual mean lead time of the  $j$ -th working system [Wd]  
 $TL_{ij}$  lead time of the  $i$ -th order [Wd]

**2.2 Določanje ciljne točke obratovanja delovnega sistema**

**2.2 Defining the target operating point of the working system**

Ciljna točka obratovanja  $j$ -tega delovnega sistema pomeni tisto ciljno srednje stanje naročil na delovnem sistemu, pri katerem se dosežejo ciljne vrednosti srednjega učinka, srednje založenosti in srednjega pretočnega časa.

The target operating point of the  $j$ -th working system represents the target mean inventory of orders in the working system where the target values of mean performance, mean range and mean lead time are achieved.

Osnovo za določitev ciljnega srednjega stanja naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu pomeni enačba (2). Če v enačbi (2) nadomestimo  $Im_r(t)$  z  $(Im,r)_{tar}$  in  $Im(t)$  z  $(Im)_j$ , dobimo, da je:

The definition of the target mean inventory of orders in the  $j$ -th working system is based on Equation (2). If  $Im_r(t)$  is substituted by  $(Im,r)_{tar}$  and  $Im(t)$  by  $(Im)_j$  in Equation (2), the following relation is established:

$$(Im,r)_{tar} = \frac{(Im)_j}{(I_j)_{min}} \cdot 100 \tag{18}$$

and:

oziroma, da je:

$$(Im)_j = \frac{(Im,r)_{tar} \cdot (I_j)_{min}}{100} \tag{19}$$

Ob predpostavki, da se odločimo za 95-odstotno ciljno srednjo izkoriščenost delovnega sistema, lahko iz diagrama normiranih proizvodnih karakteristik [5] beremo, da je zahtevano srednjo izkoriščenost mogoče doseči pri relativnem ciljnem srednjem stanju  $(Im,r)_{tar} = 180$  odstotkov.

If 95 % target mean utilization of the working system is chosen, it can be found from the standard production characteristic diagram [5] that it is possible to achieve the required mean utilization if the relative target mean inventory is  $(Im,r)_{tar} = 180$  %.

Z vstavitvijo dobljene vrednosti  $(Im,r)_{tar}$  in enačbe (7), ki definira najmanjše srednje stanje naročil, v enačbo (19), dobimo končno obliko enačbe za določitev ciljnega srednjega stanja naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu:

By inserting the obtained value of  $(Im,r)_{tar}$ , and by using equation (7), which defines the minimum mean inventory of orders, into Equation (19), the final form of the equation for the definition of the target mean inventory of orders in the  $j$ -th working system is derived:

$$(Im)_j = 1,8 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (TO_{i,j})^2}{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j}} = 1,8 \cdot (I_j)_{min} \tag{20}$$

Osnovo za določitev ciljnega srednjega učinka  $j$ -tega delovnega sistema pomeni enačba (4). Če v enačbi (4) nadomestimo  $Um(t)$  z  $(Um)_j$  in  $PEm(t)$  s  $(PEm)_j$ , dobimo, da je:

The definition of the target mean performance of the  $j$ -th working system is based on Equation (4). If  $Um(t)$  is substituted by  $(Um)_j$  and  $PEm(t)$  by  $(PEm)_j$  in Equation (4), the following relation is established:

$$(Um)_j = \frac{(PEm)_j}{(PE_j)_{max}} \cdot 100 \tag{21}$$

and:

oziroma, da je:

$$(PEm)_j = \frac{(Um)_j \cdot (PE_j)_{max}}{100} \tag{22}$$

$(PEm)_j$  ciljni srednji učinek  $j$ -tega delovnega

$(PEm)_j$  target mean performance of the  $j$ -th work-

sistema [Nh/Dd]  
 $(Um_j)_{tar}$  ciljna srednja izkoriščenost  $j$ -tega delovnega sistema [%]  
 $(PE_j)_{max}$  največji mogoči učinek  $j$ -tega delovnega sistema [Nh/Dd].

Ker smo se že poprej odločili za  $(Um_j)_{tar} = 95\%$  in ker je največji mogoči učinek delovnega sistema enak razpoložljivim kapacitetam delovnega sistema, je končno ciljni srednji učinek  $j$ -tega delovnega sistema:

$$(PEm_j)_{tar} = 0,95 \cdot CDAY_j \quad (23).$$

Osnovo za določitev ciljne srednje založenosti  $j$ -tega delovnega sistema pomeni enačba (5). Če v enačbi (5) nadomestimo  $Im(t)$  s  $(Im_j)_{tar}$  in  $PEm(t)$  s  $(PEm_j)_{tar}$  dobimo, da je:

$$(Rm_j)_{tar} = \frac{(Im_j)_{tar}}{(PEm_j)_{tar}} \quad (24)$$

$(Rm_j)_{tar}$  ciljna srednja založenost  $j$ -tega delovnega sistema [Dd]

Če nadalje v enačbi (24) nadomestimo  $(Im_j)_{tar}$  z izrazom enačbe (20) in  $(PEm_j)_{tar}$  z izrazom enačbe (23), dobimo končno enačbo za določitev ciljne srednje založenosti  $j$ -tega delovnega sistema.

$$(Rm_j)_{tar} = 1,9 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (TO_{i,j})^2}{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j} \cdot CDAY_j} \quad (25).$$

Osnovo za določitev ciljnega srednjega pretočnega časa  $j$ -tega delovnega sistema pomeni enačba (6). Če v enačbi (6) nadomestimo  $TLm(t)$  s  $(TLm_j)_{tar}$  in  $Rm(t)$  z  $(Rm_j)_{tar}$ , dobimo, da je:

$$(TLm_j)_{tar} = (Rm_j)_{tar} - TOPm_j \cdot [(\mu_{TOP})_j]^2 \quad (26)$$

$(TLm_j)_{tar}$  ciljni srednji pretočni čas  $j$ -tega delovnega sistema [Dd].

Ker pa vemo, da pomenijo osnovne podatke o naročilih časi za naročila  $TO_{i,j}$  in ne časi izvedbe naročil  $TOP_{i,j}$ , moramo v enačbi (26) izraziti  $TOP_{i,j}$  s  $TO_{i,j}$  (zveza med  $TOP_{i,j}$  in  $TO_{i,j}$  je podana z enačbo (9)). V primeru, ko ima  $j$ -ti delovni sistem stalen največji mogoči učinek, lahko vzamemo, da je:

$$(\mu_{TOP})_j = (\mu_{TO})_j \quad (27),$$

ki ga določimo po enačbi (10).

Če v enačbi (26) nadomestimo  $(Rm_j)_{tar}$  z izrazom, podanim z enačbo (25),  $TOPm_j$  z izrazom

ing system [Nh/Wd]

$(Um_j)_{tar}$  target mean utilization of the  $j$ -th working system [%]

$(PE_j)_{max}$  maximum possible performance of the  $j$ -th working system [Nh/Wd]

As  $(Um_j)_{tar} = 95\%$  was previously selected and as the maximum possible performance of the working system is equal to the available capacities of the working system, the target mean performance of the  $j$ -th working system is defined as:

The definition of the target mean range of the  $j$ -th working system is based on Equation (5). If  $Im(t)$  is substituted by  $(Im_j)_{tar}$  and  $PEm(t)$  by  $(PEm_j)_{tar}$  in Equation (5), the following relation is established:

$(Rm_j)_{tar}$  target mean range of the  $j$ -th working system [Wd]

By substituting  $(Im_j)_{tar}$  from Equation (24) with the expression from Equation (20) and  $(PEm_j)_{tar}$  with the expression from Equation (23), the final form of the equation for the definition of the target mean range of the  $j$ -th working system is derived.

The definition of the target mean lead time of the  $j$ -th working system is based on Equation (6). If  $TLm(t)$  is substituted by  $(TLm_j)_{tar}$  and  $Rm(t)$  by  $(Rm_j)_{tar}$  in Equation (6), the following relation is established:

$(TLm_j)_{tar}$  target mean lead time of the  $j$ -th working system [Wd]

As the basic data on orders are the order times  $TO_{i,j}$  and not the order-processing times  $TOP_{i,j}$ , it is necessary to express  $TOP_{i,j}$  by  $TO_{i,j}$  in Equation (26). The relation between  $TOP_{i,j}$  and  $TO_{i,j}$  is defined by Equation (9). If the  $j$ -th working system has constant maximum possible performance, the following assumption can be made:

It is defined in Equation (10).

By substituting  $(Rm_j)_{tar}$  in Equation (26) with the expression defined by Equation (25), and  $TOPm_j$

enačbe (9) in  $(\mu_{TOP})_j$  z izrazom enačbe (10), dobimo končno enačbo za določitev ciljnega srednjega pretočnega časa  $j$ -tega delovnega sistema:

$$(Tlm_j)_{tar} = 1,9 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (TO_{i,j})^2}{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j} \cdot CDAY_j} - \frac{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j}}{n_j \cdot CDAY_j} \cdot \left[ \frac{\left( \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \left( \frac{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j}}{n_j} - TO_{i,j} \right)^2}{n_j} \right)^2}{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} TO_{i,j}}{n_j}} \right] \quad (28).$$

with the expression from Equation (9) and  $(\mu_{TOP})_j$  with expression from Equation (10), the final form of the equation for the definition of the target mean lead time of the  $j$ -th working system is derived:

### 2.3 Postopek ugotavljanja skritih logističnih zmognosti delovnih sistemov

Skrite logistične zmognosti delovnih sistemov podjetja ugotavljamo le na delovnih sistemih, na katerih je relativno dejansko srednje stanje naročil  $(Im,r)_j^{act} > 180\%$ , saj vemo, da pri tem stanju dosežemo željeno 95-odstotno izkoriščenost delovnih sistemov.

Postopek ugotavljanja skritih logističnih zmognosti delovnih sistemov lahko opišemo z naslednjimi koraki [5]:

#### 1. korak: Izvedba meritev pretoka naročil prek delovnih sistemov

Na poljubnem  $j$ -tem delovnem sistemu je treba v opazovanem časovnem obdobju  $P$  zapisovati:

- številke naročil, ki so prišla/odšla na delovni sistem in z njega,
- rok prihoda/odhoda naročil na delovni sistem in z njega,
- vsebino dela naročil, ki so prišla/odšla na delovni sistem in z njega,
- število naročil, ki so odšla z delovnega sistema.

#### 2. korak: Konstruiranje diagramov pretoka naročil prek delovnih sistemov ter določitev dejanskih točk obratovanja delovnih sistemov

Za poljubni  $j$ -ti delovni sistem je treba konstruirati diagram pretoka naročil in določiti:

- dejansko srednje stanje naročil  $(Im)_j^{act} \rightarrow$  enačba (12),
- relativno dejansko srednje stanje naročil  $(Im,r)_j^{act} \rightarrow$  enačba (13),
- dejanski srednji učinek delovnega sistema  $(PEm)_j^{act} \rightarrow$  enačba (14),
- dejansko srednjo založenost delovnega sistema

### 2.3 Procedure for finding the hidden logistic potentials of working systems

The hidden logistic potentials of working systems in a company are only calculated for working systems whose relative actual mean inventory of orders is  $(Im,r)_j^{act} > 180\%$ , as in this case a working system is used 95 %.

The procedure for finding the hidden logistic potentials of working systems can be described by the following steps [5]:

#### Step 1: Order-flow measurements through working systems

In any  $j$ -th working system it is necessary to record in the interval  $P$ :

- order numbers that arrived at the working system or departed from it,
- the time of order arrival at and departure from the working system,
- contents of the orders that arrived at the working system or departed from it,
- number of orders that departed from the working system.

#### Step 2: Design of order-flow diagrams for working systems and the definition of actual operating points of working systems

In any  $j$ -th working system it is necessary to design the order flow diagram and to define:

- actual mean inventory of orders  $(Im)_j^{act} \rightarrow$  Equation (12),
- relative actual mean inventory of orders  $(Im,r)_j^{act} \rightarrow$  Equation (13),
- actual mean performance of the working system  $(PEm)_j^{act} \rightarrow$  Equation (14),
- actual mean range of the working system  $(Rm)_j^{act}$

- |   |   |
|---|---|
| $(Rm_j)_{act}$ → enačba (16),                     | → Equation (16),                              |
| - dejanski srednji pretočni čas delovnega sistema | - actual mean lead time of the working system |
| $(Tlm_j)_{act}$ → enačba (17).                    | $(Tlm_j)_{act}$ → Equation (17).              |

- |   |   |
|---|---|
| <i>3. korak: Določitev dejanske srednje založenosti in srednjega pretočnega časa izvedbe vseh naročil na j-tem delovnem sistemu</i> | <i>Step 3: Calculation of the actual mean range and the mean lead time for processing all orders in the j-th working system</i> |
| - dejanska srednja založenost izvedbe vseh naročil na j-tem delovnem sistemu:   | - actual mean range for processing all orders in the j-th working system  |

$$(Rm_j)_{act}^* = (Rm_j)_{act} \cdot n_j \quad (29)$$

- |   |  |
|---|--|
| $(Rm_j)_{act}^*$ dejanska srednja založenost izvedbe vseh naročil na j-tem delovnem sistemu [Dd]  | $(Rm_j)_{act}^*$ actual mean range for processing all orders in the j-th working system [Wd]     |
| $n_j$ število naročil, ki so v opazovanem časovnem obdobju P odšla z j-tega delovnega sistema [-] | $n_j$ number of orders that have departed from the j-th working system during the interval P [-] |
| - dejanski srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na j-tem delovnem sistemu:                   | - actual mean lead time for processing all orders in the j-th working system                     |

$$(Tlm_j)_{act}^* = (Tlm_j)_{act} \cdot n_j \quad (30)$$

- |   |   |
|---|---|
| $(Tlm_j)_{act}^*$ dejanski srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na j-tem delovnem sistemu [Dd] | $(Tlm_j)_{act}^*$ actual mean lead time for processing all orders in the j-th working system [Wd] |
|---|---|

- |   |   |
|---|---|
| <i>4. korak: Določitev dejanskega srednjega stanja, srednje založenosti in srednjega pretočnega časa izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih</i> | <i>Step 4: Calculation of the actual mean inventory, the mean range and the mean lead time for processing all orders in all working systems</i> |
| - dejansko srednje stanje na vseh delovnih sistemih:  | - actual mean inventory in all working systems:   |

$$(Im)_{act} = \sum_{j=1}^m (Im_j)_{act} \quad (31),$$

- |   |  |
|---|--|
| $(Im)_{act}$ dejansko srednje stanje na vseh delovnih sistemih [Nh]           | $(Im)_{act}$ actual mean inventory in all working systems [Nh]       |
| $m$ število delovnih sistemov [-]   | $m$ number of working systems [-]                                    |
| - dejanska srednja založenost izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih: | - actual mean range for processing all orders in all working systems |

$$(Rm)_{act} = \sum_{j=1}^m (Rm_j)_{act}^* \quad (32),$$

- |  |  |
|--|--|
| $(Rm)_{act}$ dejanska srednja založenost izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih [Dd] | $(Rm)_{act}$ actual mean range for processing all orders in all working systems [Wd] |
| - dejanski srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih               | - actual mean lead time for processing all orders in all working systems             |

$$(Tlm)_{act} = \sum_{j=1}^m (Tlm_j)_{act}^* \quad (33),$$

- |  |   |
|--|---|
| $(Tlm)_{act}$ dejanski srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih [Dd]. | $(Tlm)_{act}$ actual mean lead time for processing all orders in all working systems [Wd] |
|--|---|

5. korak: Konstruiranje diagramov proizvodnih karakteristik delovnih sistemov ter določitev relativnega ciljnega srednjega stanja in ciljnega srednjega stanja naročil.

Za poljubni  $j$ -ti delovni sistem je treba z uporabo enačb (1), (3), (5) in (6) določiti proizvodne karakteristike in narisati diagram proizvodnih karakteristik ter določiti:

- relativno ciljno srednje stanje naročil  $(Im, r_j)_{tar} \rightarrow$  enačba (18)
- ciljno srednje stanje naročil  $(Im)_j_{tar} \rightarrow$  enačba (19).

6. korak: Določitev ciljne srednje založenosti in ciljnega srednjega pretočnega časa delovnih sistemov

Za delovne sisteme, na katerih je bilo v 2. koraku ugotovljeno relativno dejansko srednje stanje naročil  $(Im, r_j)_{act} > 180\%$ , določiti:

- ciljno srednjo založenost  $(Rm_j)_{tar} \rightarrow$  enačba (25),
- ciljni srednji pretočni čas  $(Tlm_j)_{tar} \rightarrow$  enačba (28).

Za delovne sisteme, na katerih je bilo v 2. koraku ugotovljeno relativno dejansko srednje stanje naročil  $(Im, r_j)_{act} > 180\%$  vzeti, da je:

- ciljna srednja založenost enaka dejanski srednji založenosti  $(Rm_j)_{tar} = (Rm_j)_{act}$ ,
- ciljni srednji pretočni čas enak dejanskemu srednjemu pretočnemu času  $(Tlm_j)_{tar} = (Tlm_j)_{act}$ .

7. korak: Določitev ciljne srednje založenosti in ciljnega srednjega pretočnega časa izvedbe vseh naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu

- ciljna srednja založenost izvedbe vseh naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu

$$(Rm_j)_{tar}^* = (Rm_j)_{tar} \cdot n_j \quad (34),$$

$(Rm_j)_{tar}^*$  ciljna srednja založenost izvedbe vseh naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu [Dd]

- ciljni srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu

$$(Tlm_j)_{tar}^* = (Tlm_j)_{tar} \cdot n_j \quad (35).$$

$(Tlm_j)_{tar}^*$  ciljni srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu [Dd].

8. korak: Določitev ciljnega srednjega stanja, srednje založenosti in srednjega pretočnega časa izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih

- ciljno srednje stanje na vseh delovnih sistemih

$$(Im)_{tar} = \sum_{j=1}^m (Im_j)_{tar} \quad (36),$$

Step 5: Designing production-characteristic diagrams of working systems and the definition of the relative target mean inventory and the target mean inventory of orders

In any  $j$ -th working system it is necessary to define the production characteristics using Equations (1), (3), (5) and (6), draw a diagram of the production characteristics and define:

- the relative target mean inventory of orders  $(Im, r_j)_{tar} \rightarrow$  Equation (18)
- the target mean inventory of orders  $(Im)_j_{tar} \rightarrow$  Equation (19)

Step 6: Calculation of the target mean range and the target mean lead time of working systems

For working systems whose relative actual mean inventory of orders of  $(Im, r_j)_{act} > 180\%$  was established in step 2, it is necessary to calculate:

- the target mean range  $(Rm_j)_{tar} \rightarrow$  Equation (25)
- the target mean lead time  $(Tlm_j)_{tar} \rightarrow$  Equation (28)

For working systems whose relative actual mean inventory of orders of  $(Im, r_j)_{act} > 180\%$  was established in step 2, it is supposed that:

- the target mean range is equal to the actual mean range  $(Rm_j)_{tar} = (Rm_j)_{act}$ ,
- the target mean lead time is equal to the actual mean lead time  $(Tlm_j)_{tar} = (Tlm_j)_{act}$ .

Step 7: Calculation of the target mean range and the target mean lead time for processing all orders in the  $j$ -th working system

- target mean range for processing all orders in the  $j$ -th working system

$(Rm_j)_{tar}^*$  target mean range for processing all orders in the  $j$ -th working system [Wd]

- target mean lead time for processing all orders in the  $j$ -th working system

$(Tlm_j)_{tar}^*$  target mean lead time for processing all orders in the  $j$ -th working system [Wd]

Step 8: Calculation of the target mean inventory, the mean range and the mean lead time for processing all orders in all working systems

- target mean inventory in all working systems

- |  |   |
|--|---|
| <p><math>(Im)_{tar}</math> ciljno srednje stanje na vseh delovnih sistemih [Nh]<br/>- ciljna srednja založenost izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih</p> | <p><math>(Im)_{tar}</math> target mean inventory in all working systems [Nh]<br/>- target mean range for processing all orders in all working systems</p> |
|--|---|

$$(Rm)_{tar} = \sum_{j=1}^m (Rm_j)_{tar}^* \quad (37),$$

- |   |   |
|---|---|
| <p><math>(Rm)_{tar}</math> ciljna srednja založenost izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih [Dd]<br/>- ciljni srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih</p> | <p><math>(Rm)_{tar}</math> target mean range for processing all orders in all working systems [Wd]<br/>- target mean lead time for processing all orders in all working systems</p> |
|---|---|

$$(TLM)_{tar} = \sum_{j=1}^m (TLM_j)_{tar}^* \quad (38),$$

- |   |   |
|---|---|
| <p><math>(TLM)_{tar}</math> ciljni srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih [Dd]</p> | <p><math>(TLM)_{tar}</math> target mean lead time for processing all orders in all working systems [Wd]</p> |
|---|---|

9. korak: Določitev skritih logističnih zmožnosti  $j$ -tega delovnega sistema

Step 9: Calculation of the hidden logistic potentials in the  $j$ -th working system

- |   |  |
|---|--|
| <p>- skrite logistične zmožnosti srednjega stanja</p> | <p>- hidden logistic potential of the mean inventory</p> |
|---|--|

$$\Delta Im_j = \frac{(Im_j)_{act} - (Im_j)_{tar}}{(Im_j)_{act}} \cdot 100 \quad (39),$$

- |   |   |
|---|---|
| <p><math>\Delta Im_j</math> skrite logistične zmožnosti srednjega stanja na <math>j</math>-tem delovnem sistemu [%]<br/>- skrite logistične zmožnosti srednje založenosti</p> | <p><math>\Delta Im_j</math> hidden logistic potential of the mean inventory in the <math>j</math>-th working system [%]<br/>- hidden logistic potential of the mean range</p> |
|---|---|

$$\Delta Rm_j = \frac{(Rm_j)_{act} - (Rm_j)_{tar}}{(Rm_j)_{act}} \cdot 100 \quad (40),$$

- |   |  |
|---|--|
| <p><math>\Delta Rm_j</math> skrite logistične zmožnosti srednje založenosti izvedbe vseh naročil na <math>j</math>-tem delovnem sistemu [%]<br/>- skrite logistične zmožnosti srednjega pretočnega časa</p> | <p><math>\Delta Rm_j</math> hidden logistic potential of the mean range when processing all orders in the <math>j</math>-th working system [%]<br/>- hidden logistic potential of the mean lead time</p> |
|---|--|

$$\Delta TLM_j = \frac{(TLM_j)_{act} - (TLM_j)_{tar}}{(TLM_j)_{act}} \cdot 100 \quad (41),$$

- |  |  |
|--|--|
| <p><math>\Delta TLM_j</math> skrite logistične zmožnosti srednjega pretočnega časa izvedbe vseh naročil na <math>j</math>-tem delovnem sistemu [%]</p> | <p><math>\Delta TLM_j</math> hidden logistic potential of the mean lead time for processing all orders in the <math>j</math>-th working system [%]</p> |
|--|--|

10. korak: Določitev skritih logističnih zmožnosti vseh delovnih sistemov

Step 10: Calculation of the hidden logistic potentials of all working systems

- |   |   |
|---|---|
| <p>- skrite logistične zmožnosti srednjega stanja</p> | <p>- hidden logistic potentials of the mean inventory</p> |
|---|---|

$$\Delta Im = \frac{(Im)_{act} - (Im)_{tar}}{(Im)_{act}} \cdot 100 \quad (42),$$

- |  |  |
|--|--|
| <p><math>\Delta Im</math> skrite logistične zmožnosti srednjega stanja na vseh delovnih sistemih [%]<br/>- skrite logistične zmožnosti srednje založenosti</p> | <p><math>\Delta Im</math> hidden logistic potentials of the mean inventory in all working systems [%]<br/>- hidden logistic potentials of the mean range</p> |
|--|--|

$$\Delta Rm = \frac{(Rm)_{act} - (Rm)_{tar}}{(Rm)_{act}} \cdot 100 \quad (43),$$

$\Delta Rm$  skrite logistične zmožnosti srednje založenosti izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih [%];  
- skrite logistične zmožnosti srednjega pretočnega časa

$\Delta Rm$  hidden logistic potentials of the mean range for processing all orders in all working systems [%]  
- hidden logistic potentials of the mean lead time

$$\Delta TLM = \frac{(TLM)_{act} - (TLM)_{tar}}{(TLM)_{act}} \cdot 100 \quad (44)$$

$\Delta TLM$  - skrite logistične zmožnosti srednjega pretočnega časa izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih [%].

$\Delta TLM$  – hidden logistic potentials of the mean lead time when processing all orders in all working systems [%]

Skrite logistične zmožnosti delovnih sistemov podjetja povedo, za koliko odstotkov je mogoče znižati srednje stanje naročil ter skrajšati srednjo založenost in srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih, če bi prešli iz dejanskih na ciljne točke obratovanja delovnih sistemov.

The hidden logistic potentials of working systems in a company reveal how much it is possible to reduce the mean inventory of orders, the mean range and the mean lead time for processing all orders in all working systems if a transition from actual to target operating points of working systems is done.

*11. korak: Izbira ukrepov za izkoriščanje logističnih zmožnosti delovnih sistemov*

*Step 11: Selection of the measures for exploiting logistic potentials of working systems*

Bistveni indikator za izbiro ukrepov, s katerimi bi izkoristili logistične zmožnosti delovnega sistema oziroma delovnih sistemov podjetja, pomeni razmerje med relativnim dejanskim srednjim stanjem naročil na delovnem sistemu  $(Im, r_j)_{act}$  in relativnim ciljnim srednjim stanjem naročil  $(Im, r_j)_{tar}$ .

The main indicator for the selection of measures for the efficient use of logistic potentials of working systems in a company is a relation between the relative actual mean inventory of orders in the working system  $(Im, r_j)_{act}$  and the relative target mean inventory of orders  $(Im, r_j)_{tar}$ .

Če je na delovnem sistemu ugotovljeno, da je  $(Im, r_j)_{act} > (Im, r_j)_{tar}$ , potem obstajajo razpoložljive skrite logistične zmožnosti delovnega sistema, ki jih je mogoče izkoristiti z enim od naslednjih ukrepov:

If it is found in a working system that  $(Im, r_j)_{act} > (Im, r_j)_{tar}$ , then available hidden logistic potentials exist in a working system, and they can be exploited by implementing one of the following measures:

- časovno omejeno povečanje kapacitet delovnega sistema ali
- časovno zadrževanje prihoda naročil na delovni sistem ali
- časovna ali krajevna premaknitev dela obremenitve delovnega sistema na tehnološko podoben delovni sistem.

- increasing the working system capacities for a limited time frame,
- stopping the arrival of orders to a working system for a limited time frame,
- transferring (in time or space) a part of the working system's load to another working system of similar technology.

Ukrep časovno omejenega povečanja zmogljivosti delovnega sistema se izvede v primeru, ko stanje naročil sestavljajo naročila, ki že zamujajo.

An increase of the working system capacities for a limited time frame is used when the inventory of orders consists of late orders.

V primeru, ko na delovnem sistemu ni omembe vrednega zamujanja naročil, ni primeren ukrep povečanja zmogljivosti, temveč ukrep časovnega zadrževanja prihoda naročil (naročila se zadržujejo toliko časa, dokler je to terminsko dopustno).

When there are no late orders in the working system the arrival of orders can be stopped for a limited time frame; its duration depends on the deadline.

Če časovno omejeno povečanje zmogljivosti delovnega mesta ni potrebno ali ni mogoče (dosežena mejna vrednost), se izvede ukrep časovne ali krajevne premaknitve dela obremenitve delovnega sistema na tehnološko podoben sistem, ki v časovni točki premaknitve izkazuje proste zmogljivosti.

If there is no need or it is not possible to increase the capacity of a working system for a limited time frame (i.e., the upper limit has already been reached), part of the load of a working system is transferred (in time or space) to a system of similar technology that has free capacities in that particular time frame.



Če je na delovnem sistemu ugotovljeno, da je  $(Im, r)_j^{act} \leq (Im, r)_j^{tar}$ , potem na delovnem sistemu ni skritih logističnih zmožnosti in je treba pred redukcijo stanja naročil odkriti nove logistične zmožnosti, in to z enim od naslednjih ukrepov:

- harmonizacija časov za naročila TO ali,
- skrčenje časov za naročila TO ali
- skrčenje časov prehoda TIO.

Ukrep harmonizacije časov za naročila se izvede na delovnem sistemu, na katerem je bil ugotovljen velik variacijski koeficient časov za naročila  $\mu_{TO} > 1$ .

Na delovnem sistemu, na katerem je bil ugotovljen majhen variacijski koeficient časov za naročila  $\mu_{TO} < 1$ , pa je mogoče priti do novih logističnih zmožnosti z ukrepom skrčenja časov za naročila, kar pa je mogoče doseči z uvedbo novih tehnologij ali z metodo SMED – krajšanja pripravljalnno sklepnih časov.

Na delovnem sistemu, na katerem je bilo ugotovljeno, da je srednji čas prehoda  $TIOm$  daljši od srednjega časa za naročilo  $TOm$ :  $TIOm > TOm$ , je mogoče priti do novih logističnih zmožnosti z ukrepom skrčenja časa prehoda. Če čas prehoda sestavljajo pretežno časi prenosa, je mogoče čas prehoda skrčiti z ukrepom uvedbe novega prenosnega sistema ali ukrepom optimizacije LAY-OUT delovnih sistemov podjetja. Če pa čas prehoda sestavljajo pretežno časi čakanja pred izvedbo in po izvedbi naročil, je mogoče čas prehoda skrčiti z ukrepom uvedbe novega sistema PPC.

## 2.4 Računalniško podprto ugotavljanje logističnih zmožnosti delovnih sistemov podjetja

Ker je ročno računanje in konstruiranje diagramov pretoka in proizvodnih karakteristik ter ugotavljanje logističnih zmožnosti delovnih sistemov podjetja zamudno, je bil napisan računalniški program DIAGRAM za računalniško podprto računanje in konstruiranje diagramov pretoka in proizvodnih karakteristik delovnih sistemov ter izračun logističnih zmožnosti delovnih sistemov.

Program je napisan v programskem jeziku Java in deluje na osebnem računalniku ter ga je mogoče dograditi v poljubnem sistemu ERP.

S programom DIAGRAM je mogoče za poljubni delovni sistem podjetja, na osnovi zbranih podatkov o pretoku naročil v opazovanem časovnem obdobju  $P$ , narisati oziroma izračunati:

- diagram pretoka naročil prek poljubnega  $j$ -tega delovnega sistema,
- dejansko srednje stanje naročil na  $j$ -tem delovnem

If it is found in a working system that  $(Im, r)_j^{act} \leq (Im, r)_j^{tar}$ , then there are no hidden logistic potentials for that particular working system; before reducing the inventory of orders it is necessary to find new logistic potentials by using one of the following measures:

- harmonization of order times  $TO$ ,
- reduction of order times  $TO$ ,
- reduction of the interoperation times  $TIO$ .

Harmonization of the order times is carried out in a working system where a high coefficient of the variation of order times  $\mu_{TO} > 1$  was found.

For a working system where a low coefficient of variation of the order times  $\mu_{TO} < 1$  was found, new logistic potentials can be found by reducing the order times, which can be achieved by implementing new technologies or by the SMED method (reduction of the setup time).

For working systems where it was established that the mean interoperation time  $TIOm$  is longer than the mean order time  $TOm$ :  $TIOm > TOm$ , it is possible to find new logistic potentials by reducing the interoperation time. If the interoperation time consists mainly of transport time, it can be reduced by implementing a new transport system or by optimizing the layout of the working systems in a company. If the interoperation time consists mainly of queue time (before and after processing the orders) it is possible to reduce the interoperation time by implementing of a new PPC system.

## 2.4 Computer-aided finding of the hidden logistic potentials of working systems in the company

The manual calculation and drawing of flow diagrams and production characteristics and determining the hidden logistic potentials of working systems is rather time consuming, so the "Diagram" computer software was developed for this purpose.

The software was written in the Java programming language, it runs on a PC and it can be added to any ERP system.

Using the Diagram software (on the basis of the data obtained on the flow of orders in the interval  $P$ ) it is possible to draw or calculate for any working system of the company:

- order-flow diagram of any  $j$ -th working system,
- actual mean inventory of orders in the  $j$ -th working system  $(Im)_j^{act}$ ,
- actual mean performance of the  $j$ -th working system  $(PEm)_j^{act}$ ,

- sistemu  $(Im)_j^{act}$ ,
  - dejanski srednji učinek  $j$ -tega delovnega sistema  $(PEm)_j^{act}$ ,
  - dejansko srednjo izkoriščenost  $j$ -tega delovnega sistema  $(Um)_j^{act}$ ,
  - dejansko srednjo založenost  $j$ -tega delovnega sistema  $(Rm)_j^{act}$  in
  - dejanski srednji pretočni čas  $j$ -tega delovnega sistema  $(Tlm)_j^{act}$ ,
  - diagram karakteristik  $j$ -tega delovnega sistema,
  - ciljno srednje stanje naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu  $(Im)_j^{tar}$ ,
  - ciljni srednji učinek  $j$ -tega delovnega sistema  $(PEm)_j^{tar}$ ,
  - ciljno srednjo založenost  $j$ -tega delovnega sistema  $(Rm)_j^{tar}$ ,
  - ciljni srednji pretočni čas  $j$ -tega delovnega sistema  $(Tlm)_j^{tar}$ ,
  - logistične zmožnosti  $j$ -tega delovnega sistema  $\Delta Im_j, \Delta Rm_j, \Delta Tlm_j$ .
- Za vse delovne sisteme podjetja pa:
- logistične zmožnosti vseh delovnih sistemov podjetja  $\Delta Im, \Delta Rm, \Delta Tlm$ .

- actual mean utilization of the  $j$ -th working system  $(Um)_j^{act}$ ,
  - actual mean range of the  $j$ -th working system  $(Rm)_j^{act}$ ,
  - actual mean lead time of the  $j$ -th working system  $(Tlm)_j^{act}$ ,
  - production characteristic diagram of the  $j$ -th working system,
  - target mean inventory of orders in the  $j$ -th working system  $(Im)_j^{tar}$ ,
  - target mean performance of the  $j$ -th working system  $(PEm)_j^{tar}$ ,
  - target mean range of the  $j$ -th working system  $(Rm)_j^{tar}$ ,
  - target mean lead time of the  $j$ -th working system  $(Tlm)_j^{tar}$ ,
  - logistic potentials of the  $j$ -th working system  $\Delta Im_j, \Delta Rm_j, \Delta Tlm_j$ .
- For all working systems of the company:
- logistic potentials of all working systems in a company  $\Delta Im, \Delta Rm, \Delta Tlm$ .

### 3 PRIMER

Postopek določanja skritih logističnih zmožnosti delovnih sistemov je bil testiran v enoti ORODJARNA družbe ETI d.d. Izlake.

Poslovna enota orodjarne zaposluje 120 delavcev. Proizvodni program orodjarne obsega izdelavo orodij za preoblikovanje in prebijanje, brizganje termoplastov, brizganje in stiskanje duroplastov ter izdelavo avtomatiziranih naprav za montažo izdelkov.

Orodjarne dosega najkrajši čas izvedbe naročil en mesec, povprečni čas izvedbe naročil pa je dva do tri mesece.

Na naročilih je treba izvesti eno do 20 opravil, v povprečju pa tri opravila na naročilo.

Orodjarne ima trenutno 38 delovnih sistemov.

Vodstvo orodjarne se je odločilo za ugotavljanje skritih logističnih zmožnosti delovnih sistemov orodjarne, in to v opazovanem časovnem obdobju od 15.10.2003 do 17.12.2003 oziroma od 291 Dd do 350 Dd.

Koraki ugotavljanja skritih logističnih zmožnosti delovnih sistemov orodjarne:

*1. korak: Izvedba meritev pretoka naročil prek delovnih sistemov orodjarne*

### 3 CASE STUDY

The procedure for determining the hidden logistic potentials of working systems was tested in a tool-production department of the ETI Ltd. company from Izlake, Slovenia.

There are 120 employees in the tool-production department. It produces tools for transforming and cutting, jet machines for thermoplastic materials, jet and press machines for duroplastic materials, and automated assembly appliances.

The minimum time for processing an order in this department is 1 month, and the average time is 2 to 3 months.

Orders consist of 1 to 20 operations; on average there are 3 operations per order.

There are 38 working systems in the tool-production department.

The management decided that the hidden logistic potentials of the working systems in this department should be found out in the interval from October 15, 2003 to December 17, 2003, i.e., from WD 291 to WD 350.

The steps for finding the hidden logistic potentials of working systems in the tool-production department:

*Step 1: Measurement of the flow of orders through the working systems in the tool-production department*

Na vsakem delovnem sistemu so sodelavci orodjarne zapisovali:

- številke naročil, ki so prišla/odšla na delovne sisteme in z njih,
- čase prihoda/odhoda naročil na delovne sisteme in z njih,
- vsebine dela prihoda/odhoda naročil na delovne sisteme in z njih in
- število naročil, ki so odšla z delovnih sistemov.

Zajetih in izvedenih je bilo 2011 naročil s 3883 opravili.

Preglednica 1 prikazuje del rezultatov merjenja pretoka naročil prek delovnega sistema št. 17 "rezkalni stroj ALG200" v opazovanem časovnem obdobju od 291 Dd do 350 Dd.

Preglednica 1. Rezultati merjenja pretoka naročil "Rezkalni stroj ALG200"

Table 1. Results of the order flow measurement through the "Milling machine ALG200"

Delovni sistem / Working system WC <sub>j</sub>	Številka naročila / Order number	Čas prihoda Dd Arrival time Wd	Čas odhoda Dd Departure time Wd	Vsebina dela – prihodi / Contents of orders – arrival Nh	Vsebina dela – odhodi / Contents of orders – departure Eh
17	2242 00 41	291	291	1,33	1,33
17	2242 00 34	291	291	0,75	0,75
17	2242 00 20	291	291	3,25	3,25
17	2242 00 39	291	291	1,75	1,75
17	2321 00 02	349	350	8,00	8,00
VSOTA / SUM				479,75	479,75

2. korak: Konstruiranje diagrama pretoka naročil preko delovnih sistemov orodjarne ter določitev dejanskih točk obratovanja delovnih sistemov

Za vsak delovni sistem orodjarne smo s programom DIAGRAM narisali diagram pretoka in izračunali  $(Im)_j_{act}$ ,  $(Im,r)_j_{act}$ ,  $(PEm)_j_{act}$ ,  $(Rm)_j_{act}$  in  $(Tlm)_j_{act}$ .

Slika 7 prikazuje rezultate konstruiranja diagrama pretoka naročil prek "rezkalnega stroja ALG200" in izračuna dejanske točke obratovanja.

3. in 4. korak: Določitev dejanske srednje založenosti in srednjega pretočnega časa izvedbe vseh naročil na posameznem j-tem delovnem sistemu orodjarne ter dejanskega srednjega stanja, srednje založenosti in srednjega pretočnega časa izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih orodjarne

Za izračun smo uporabili enačbe (29), (30) ter (31), (32) in (33). Rezultati izračuna so prikazani v preglednici 2.

In each working system the company employees recorded:

- the order numbers that arrived at the working systems and departed from them,
- the dates of order arrival at and departure from the working systems,
- the contents of orders arriving at and departing from the working systems,
- the number of orders that departed from the working systems.

There were 2011 orders with 3883 working operations processed.

Table 1 presents some results of the order flow measurement through the "Milling machine ALG200" (working system No. 17) in the interval from Wd 291 to Wd 350.

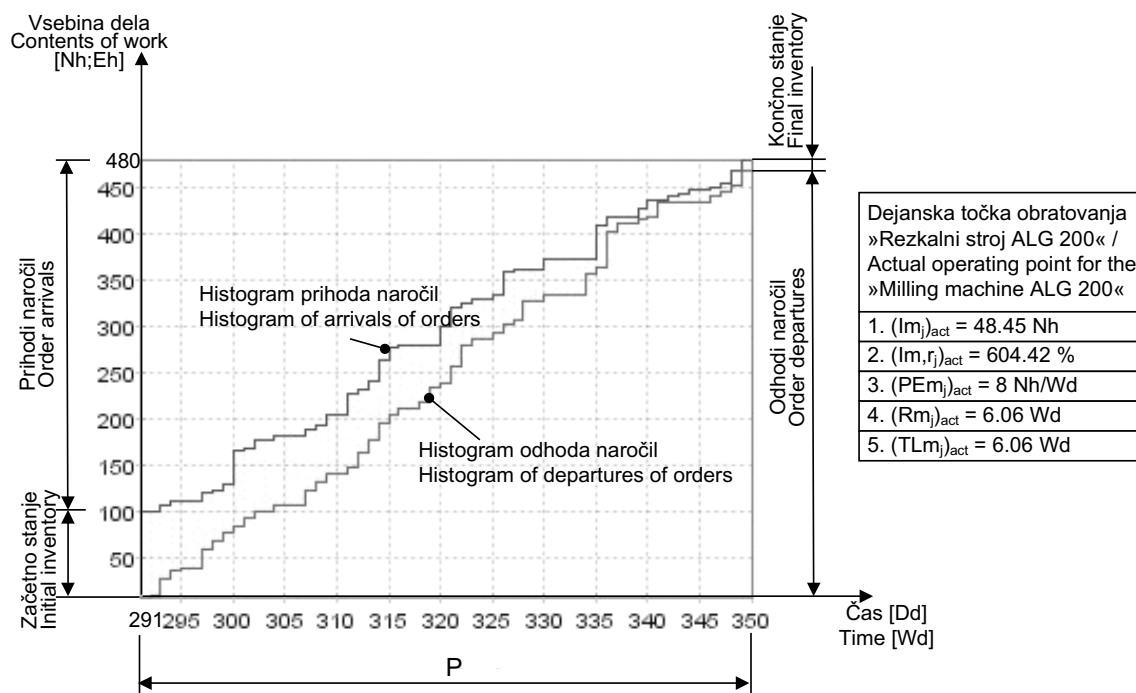
Step 2: Design of the order-flow diagram for working systems in the tool-production department and the definition of the actual operating points of working systems

The Diagram software was used to draw the flow diagram and to calculate  $(Im)_j_{act}$ ,  $(Im,r)_j_{act}$ ,  $(PEm)_j_{act}$ ,  $(Rm)_j_{act}$  and  $(Tlm)_j_{act}$  for each working system of the tool-production department.

Figure 7 presents the results of designing the order-flow diagram for the "Milling machine ALG200" and the calculation of the actual operating point.

Steps 3 and 4: Calculation of the actual mean range and the mean lead time for processing all orders in a particular j-th working system of the tool-production department, and the definition of the actual mean inventory, the mean range and the mean lead time for processing all orders in all working systems.

Equations (29), (30), (31), (32) and (33) were used in the calculation. The results of the calculation are shown in Table 2.



Sl. 7. Rezultati konstruiranja diagrama pretoka "rezkalni stroj ALG200" in izračuna dejanske točke obratovanja

Fig. 7. Results of designing the order-flow diagram for the "Milling machine ALG200" and the calculation of the actual operating point

5. korak: Določitev relativnega ciljnega srednjega stanja in ciljnega srednjega stanja naročil ter konstruiranje diagramov proizvodnih karakteristik delovnih sistemov orodjarne

Za vsak delovni sistem orodjarne smo s programom DIAGRAM določili relativno ciljno srednje stanje  $(Im,r_j)_{tar}$  in ciljno srednje stanje  $(Im_j)_{tar}$  ter narisali diagram proizvodnih karakteristik.

Slika 8 prikazuje rezultate izračuna  $(Im,r_j)_{tar}$  in  $(Im_j)_{tar}$  ter diagram proizvodnih karakteristik "rezkalni stroj ALG200".

6., 7. in 8. korak: Določitev ciljne srednje založenosti in ciljnega srednjega pretočnega časa delovnih sistemov, ciljne srednje založenosti in ciljnega srednjega pretočnega časa izvedbe vseh naročil na posameznem delovnem sistemu ter ciljnega srednjega stanja, ciljne srednje založenosti in ciljnega srednjega pretočnega časa izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih orodjarne.

Za delovne sisteme, na katerih je bilo ugotovljeno relativno dejansko srednje stanje naročil  $(Im,r_j)_{act} > 180\%$ , smo izračunali ciljno srednjo

Step 5: Definition of the relative target mean inventory and the target mean inventory of the orders and drawing the production-characteristic diagrams of the working systems in the tool-production department

The Diagram software was used to define the relative target mean inventory  $(Im,r_j)_{tar}$  and the target mean inventory  $(Im_j)_{tar}$  and to draw the production characteristics diagram for each working system.

Figure 8 presents the results of calculating  $(Im,r_j)_{tar}$  and  $(Im_j)_{tar}$  and drawing the production characteristic diagram for the "Milling machine ALG 200".

Steps 6, 7 and 8: Calculation of the target mean range and the target mean lead time of working systems, the target mean range and the target mean lead time for processing all orders in a particular working system; as well as the target mean range and the target mean lead time for processing all orders in all working systems of the tool-production department.

For working systems where the relative actual mean inventory of orders of  $(Im,r_j)_{act} > 180\%$  was established the target mean range  $(Rm_j)_{tar}$  was

Preglednica 2. Rezultati izračuna  $(Im)_{act}$ ,  $(Rm)_{act}$  in  $(Tlm)_{act}$   
 Table 2. Results of calculating  $(Im)_{act}$ ,  $(Rm)_{act}$  and  $(Tlm)_{act}$

Delovni sistem / Working system WC <sub>j</sub>	Število naročil / Number of orders n <sub>j</sub>	Dejansko srednje stanje naročil / Actual mean inventory (Im <sub>j</sub> ) <sub>act</sub> Nh	Dejanska srednja založenost Dd Actual mean range Wd (Rm <sub>j</sub> ) <sub>act</sub>	Dejanski srednji pretočni čas Dd Actual mean lead time Wd (Tlm <sub>j</sub> ) <sub>act</sub>	Dejanska srednja založenost izvedbe vseh naročil Dd Actual mean inventory of all orders Wd $(Rm_j)_{act}^* = (Rm_j)_{act} \cdot n_j$	Dejanska srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil Dd Actual mean lead time of all orders Wd $(Tlm_j)_{act}^* = (Tlm_j)_{act} \cdot n_j$
1	21	12,87	9,53	9,53	200,15	200,15
2	128	144,84	9,99	9,99	1278,46	1278,46
⋮						
17	159	48,45	6,06	6,06	963,37	963,37
⋮						
38	48	3,27	5,80	5,80	278,31	278,31
$Im_{act} = \sum_{j=1}^{38} (Im_j)_{act} =$		1335,19				
Dejanska srednja založenost izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih Actual mean range for processing all orders in all working systems			$Rm_{act} = \sum_{j=1}^{38} (Rm_j)_{act}^* =$		21253,66	
Dejanski srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih Actual mean lead time for processing all orders in all working systems			$Tlm_{act} = \sum_{j=1}^{38} (Tlm_j)_{act}^* =$		21253,66	

založenost  $(Rm_j)_{tar}$  po enačbi (25) ter ciljni srednji pretočni čas  $(Tlm_j)_{tar}$  po enačbi (28).

Za delovne sisteme, na katerih je bilo ugotovljeno, da je  $(Im,r)_{act} \leq 180\%$ , smo vzeli, da je:

$$\begin{aligned} (Rm_j)_{tar} &= (Rm_j)_{act} \\ (Tlm_j)_{tar} &= (Tlm_j)_{act} \end{aligned}$$

Ciljno srednjo založenost izvedbe vseh naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu smo izračunali po enačbi (34), ciljni srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na  $j$ -tem delovnem sistemu pa po enačbi (35).

Ciljno srednje stanje na vseh delovnih sistemih smo določili po enačbi (36), ciljno srednjo založenost izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih po enačbi (37) in ciljni srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih po enačbi (38).

Rezultati računanja so vidni v preglednici 3.

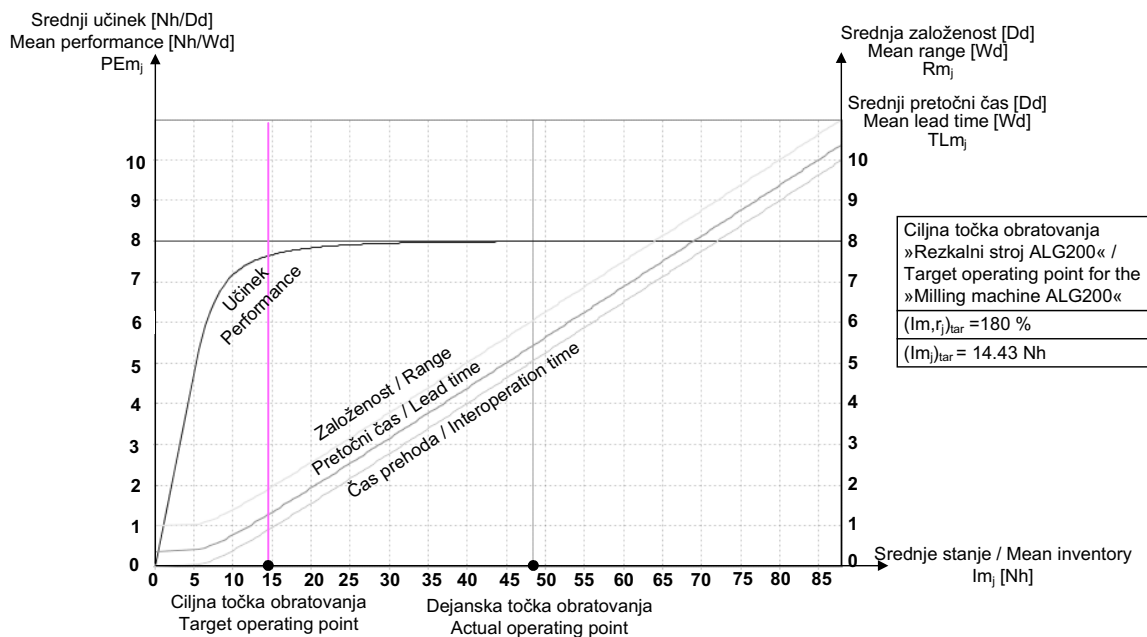
calculated using Equation (25), and the target mean lead time  $(Tlm_j)_{tar}$  using Equation (28).

For the working systems where it was established that  $(Im,r)_{act} \leq 180\%$  it was supposed that:

The target mean range for processing all orders in the  $j$ -th working system was calculated using Equation (34), while the target mean lead time for processing all orders in the  $j$ -th working system was calculated using Equation (35).

The target mean inventory in all working systems was calculated using Equation (36), the target mean range for processing all orders in all working systems was calculated using Equation (37), and the target mean lead time for processing all orders in all working systems was calculated using Equation (38).

The results of the calculation are presented in Table 3.



Sl. 8. Rezultati izračuna ciljne točke obratovanja “rezkalni stroj ALG200” in konstruiranja diagrama proizvodnih karakteristik

Fig. 8. Results of calculating the target operating point and drawing the production characteristic diagram for the “Milling machine ALG200”

9. korak: Določitev skritih logističnih zmožnosti *j*-tega delovnega sistema orodjarne

Na podlagi rezultatov določanja dejanskega in ciljnega srednjega stanja, srednje založenosti in srednjega pretočnega časa izvedbe vseh naročil na *j*-tem delovnem sistemu lahko določimo skrite logistične zmožnosti *j*-tega delovnega sistema  $\Delta Im_j, \Delta Rm_j, \Delta TLM_j$  in to z uporabo enačb (39), (40) in (41).

Skrite logistične zmožnosti “rezkalnega stroja ALG200” (delovni sistem št. 17) so:

- skrite logistične zmožnosti srednjega stanja

$$\Delta Im_{17} = \frac{(Im_{17})_{act} - (Im_{17})_{tar}}{(Im_{17})_{act}} \cdot 100 = \frac{48,45 - 14,43}{48,45} \cdot 100 = 70,22\%$$

- skrite logistične zmožnosti srednje založenosti

$$\Delta Rm_{17} = \frac{(Rm_{17})_{act} - (Rm_{17})_{tar}}{(Rm_{17})_{act}} \cdot 100 = \frac{6,06 - 1,90}{6,06} \cdot 100 = 68,65\%$$

- skrite logistične zmožnosti srednjega pretočnega časa

$$\Delta TLM_{17} = \frac{(TLM_{17})_{act} - (TLM_{17})_{tar}}{(TLM_{17})_{act}} \cdot 100 = \frac{6,06 - 1,27}{6,06} \cdot 100 = 79,04\%$$

10. korak: Določitev skritih logističnih zmožnosti vseh delovnih sistemov orodjarne

Step 9: Calculation of the hidden logistic potentials of the *j*-th working system in the tool-production department

On the basis of the results defining the actual and target mean inventory, the mean range and the mean lead time for processing all orders in the *j*-th working system, the hidden logistic potentials of the *j*-th working system  $\Delta Im_j, \Delta Rm_j, \Delta TLM_j$  can be defined using Equations (39), (40) and (41).

The hidden logistic potentials of the “Milling machine ALG 200” (working system No. 17) are:

- hidden logistic potential of the mean inventory

- hidden logistic potential of the mean range

- hidden logistic potential of the mean lead time

Step 10: Calculation of the hidden logistic potentials of all working systems in the tool-production department

Preglednica 3. Rezultati izračuna  $(Im)_{tar}$ ,  $(Rm)_{tar}$  in  $(Tlm)_{tar}$   
 Table 3. Results of calculating  $(Im)_{tar}$ ,  $(Rm)_{tar}$  and  $(Tlm)_{tar}$

Delovni sistem / Working system $WC_j$	Število naročil / Number of orders $n_j$	Relativno dejansko stanje naročil / Relative actual mean inventory $(Im,r_j)_{act} \%$	Ciljno srednje stanje naročil / Target mean inventory $(Im_j)_{tar} N_h$	Ciljna srednja založenost Dd / Target mean range $Wd (Rm_j)_{tar}$	Ciljni srednji pretočni čas Dd / Target mean lead time $Wd (Tlm_j)_{tar}$	Ciljna srednja založenost izvedbe vseh naročil, Dd / Target mean range of all orders $Wd (Rm_j)_{tar}^* = (Rm_j)_{tar} \cdot n_j$	Ciljni srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil, Dd / Target mean lead time of all orders $Wd (Tlm_j)_{tar}^* = (Tlm_j)_{tar} \cdot n_j$
1	21	270,35	8,57	1,13	1,01	23,67	21,30
2	128	1177,89	22,13	2,91	2,22	372,78	284,79
·							
·							
17	159	604,42	14,43	1,90	1,27	301,84	202,50
·							
·							
38	48	208,14	2,83	0,37	0,26	17,88	12,67
$Im_{tar} = \sum_{j=1}^{38} (Im_j)_{tar} =$			404,73				
Ciljna srednja založenost izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih / Target mean range for processing all orders in all working systems				$Rm_{tar} = \sum_{j=1}^{38} (Rm_j)_{tar}^* =$		6684,35	
Ciljni srednji pretočni čas izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih / Target mean lead time for processing all orders in all working systems					$Tlm_{tar} = \sum_{j=1}^{38} (Tlm_j)_{tar}^* =$		5237,34

Na podlagi rezultatov določanja dejanskega in ciljnega srednjega stanja, srednje založenosti in srednjega pretočnega časa izvedbe vseh naročil na vseh delovnih sistemih lahko določimo skrite logistične zmožnosti vseh delovnih sistemov orodjarne  $\Delta Im$ ,  $\Delta Rm$ ,  $\Delta Tlm$  in to z uporabo enačb (42), (43) in (44).

Skrite logistične zmožnosti vseh delovnih sistemov orodjarne so:

- skrite logistične zmožnosti srednjega stanja

$$\Delta Im = \frac{(Im)_{act} - (Im)_{tar}}{(Im)_{act}} \cdot 100 = \frac{1335,19 - 404,73}{1335,19} \cdot 100 = 69,69\%$$

- skrite logistične zmožnosti srednje založenosti

$$\Delta Rm = \frac{(Rm)_{act} - (Rm)_{tar}}{(Rm)_{act}} \cdot 100 = \frac{21253,66 - 6684,35}{21253,66} \cdot 100 = 68,55\%$$

- skrite logistične zmožnosti srednjega pretočnega časa

$$\Delta Tlm = \frac{(Tlm)_{act} - (Tlm)_{tar}}{(Tlm)_{act}} \cdot 100 = \frac{21253,66 - 5237,34}{21253,66} \cdot 100 = 75,36\%$$

Skrite logistične zmožnosti delovnih sistemov orodjarne povedo, da bi bilo mogoče v orodjarni s

On the basis of the results defining the actual and target mean inventory, the mean range and the mean lead time for processing all orders in all working systems, the hidden logistic potentials of all working systems in a tool-production department  $\Delta Im$ ,  $\Delta Rm$ ,  $\Delta Tlm$  can be defined using Equations (42), (43) and (44).

The hidden logistic potentials of all working systems in a tool-production department are:

- hidden logistic potentials of the mean inventory

- hidden logistic potentials of the mean range

- hidden logistic potentials of the mean lead time

The hidden logistic potentials of working systems in the tool-production department reveal that by a

prehodom iz dejanskih na ciljne točke obratovanja delovnih sistemov doseči 69,69% znižanje srednjega stanja naročil, 68,55% zmanjšanje srednje založenosti delovnih sistemov in 75,36% skrajšanje srednjega pretočnega časa delovnih sistemov.

*11. korak: Izbira ukrepov za izkoriščanje skritih logističnih zmožnosti delovnih sistemov orodjarne*

Če je na delovnem mestu ugotovljeno relativno dejansko srednje stanje naročil večje od relativnega ciljnega srednjega stanja  $(Im, r_j)_{act} > (Im, r_j)_{tar}$ ,

potem je mogoče izkoristiti skrite logistične zmožnosti delovnega sistema z ukrepom časovno omejenega povečanja zmogljivosti ali časovnega zadrževanja prihoda naročil ali časovno oziroma krajevno premaknitvijo dela obremenitve delovnega sistema na tehnološko podoben sistem.

Če pa je na delovnem sistemu ugotovljeno, da je relativno dejansko srednje stanje naročil manjše ali enako relativnemu ciljnemu srednjemu stanju  $(Im, r_j)_{act} \leq (Im, r_j)_{tar}$ ,

potem je treba z ukrepom harmonizacije časov za naročila ali skrčenje časov za naročila ali skrčenje časov prehoda, odkriti nove logistične zmožnosti delovnega sistema.

Rezultati skupinskega izbire ukrepov za izkoriščanje skritih logističnih zmožnosti delovnih sistemov orodjarne oziroma ukrepov za odkritje novih logističnih zmožnosti delovnih sistemov so vidni v preglednici 4.

#### 4 SKLEP

Vse večje domače in mednarodno tekmovanje podjetij ter prehod od trga prodajalcev k trgu kupcev zahteva od podjetij neprekinjeno povečevanje gospodarnosti, ki pa je v veliki meri odvisna od stanja naročil, založenosti in pretočnih časov delovnih sistemov podjetja [6].

V prispevku predlagamo postopek ugotavljanja in izkoriščanja skritih logističnih zmožnosti delovnih sistemov podjetja, do katerih je mogoče priti edino le z izvedbo nenehnega nadzora stanja naročil ter založenosti in pretočnih časov delovnih sistemov. Izvedba nadzora omogoča nepretrgano spremljanje dejanskih in ciljnih vrednosti stanja, založenosti in pretočnih časov delovnih sistemov in na temelju ugotovljenih odstopanj uvedbo primernih ukrepov za približevanje ciljnim vrednostim. Šele takrat, ko so skrite

transition from the actual to the target operating points of working systems it would be possible to reduce the mean inventory of orders by 69.69 %, to reduce mean range of the working systems by 68.55 %, and to reduce the mean lead time of the working systems by 75.36 %.

*Step 11: Selection of the measures for exploiting the hidden logistic potentials of working systems in the tool-production department*

If it was found in a particular working system that the relative actual mean inventory of orders is larger than the target mean inventory  $(Im, r_j)_{act} > (Im, r_j)_{tar}$ ,

then it is possible to exploit the hidden logistic potentials of the working system either by temporarily increasing the capacities of the working system, or by temporarily stopping the arrival of orders, or by a time- or space transfer of a part of a working-system load to a system of similar technology.

If it was found in a particular working system that the relative actual mean inventory of orders is less than or equal to the target mean inventory  $(Im, r_j)_{act} \leq (Im, r_j)_{tar}$ ,

then it is necessary (by harmonizing or reducing the order times or by reducing the interoperation times) to find new logistic potentials of the working system.

The results of selected measures for exploiting the hidden logistic potentials of working systems in the tool-production department and measures for finding new logistic potentials of working systems are presented in Table 4.

#### 4 CONCLUSION

Because of the increasing domestic and international competition between companies, and the transition from a market of sellers to a market of customers, companies have to become more economic, which largely depends on the inventory of orders, and the range and lead times of the companies' working systems [6].

This paper proposes a procedure for finding and exploiting the hidden logistic potentials of working systems in a company; these can be found only by continuously monitoring the inventory of orders, and the range and lead times of the working systems. Controlling allows for a continuous monitoring of the actual values of the inventory, the range and the lead times of working systems. If these values deviate from the target values, measures can be taken in order to bring the actual values closer to the



Preglednica 4. *Ukrepi za izkoriščanje skritih in odkrivanje novih logističnih zmožnosti delovnih sistemov orodjarne*

Table 4. *Measures for exploiting the hidden (and finding new) logistic potentials of working systems in the tool-production department*

Delovni sistem / Working system WC <sub>j</sub>	Relativno dejansko srednje stanje naročil / Relative actual mean inventory (Im,r <sub>j</sub> ) <sub>act</sub> %	(Im,r <sub>j</sub> ) <sub>act</sub> > 180 %			(Im,r <sub>j</sub> ) <sub>act</sub> ≤ 180 %					
		časovno omejeno povečanje kapacitet / increasing capacities for a limited time frame	časovno zadrževanje prihoda naročil / stopping the arrival of orders	časovna/lokacijska premaknitev dela obremenitve / transferring (in time or space) a part of the working system's load	Variacijski koeficient / Coefficient of variation μ <sub>TO</sub>	srednji čas za naročilo Dd Mean order time Wd T <sub>Om<sub>j</sub></sub>	srednji čas prehoda Dd Mean interoperation time Wd T <sub>IOm<sub>j</sub></sub>	μ <sub>TO</sub> > 1 harmonizacija časov za naročilo / harmonization of order times	μ <sub>TO</sub> ≤ 1 redukcija časov za naročilo / reduction of order times	T <sub>Om<sub>j</sub></sub> < T <sub>IOm<sub>j</sub></sub> redukcija časa prehoda / reduction of the interoperation times
1	270,25	x								
2	1177,89	x	x							
·										
·										
17	604,42	x	x	x						
·										
·										
29	54,99				1,24	1,14	1,69	x		
·										
·										
38	208,14	x								

logistične zmožnosti delovnih sistemov izčrpane, je treba, z dodatnim ukrepom harmonizacije časov za naročila ali skrčenje časov prehoda ali izdelave s prekrivanjem ali povečevanjem prilagodljivosti delovnih sistemov, odstraniti pregrade, ki ovirajo nadaljnje skrčenje srednjega stanja, srednje založenosti in srednjega pretočnega časa delovnih sistemov.

Izvedeni preizkus ugotavljanja in izkoriščanja skritih logističnih zmožnosti delovnih sistemov enote ORODJARNA družbe ETI d.d. Izlake je pokazal, da v orodjarni obstajajo znatne skrite logistične zmožnosti delovnih sistemov, ki jih bo treba v prihodnosti z izvedbo predlaganih ukrepov čim bolj izkoristiti.

target ones. Only after the hidden logistic potentials of working systems have been exhausted is it necessary to remove the barriers (by additional harmonization of the order times, or by a reduction of the interoperation times, or manufacturing by overlapping, or increasing the flexibility of working systems) that prevent a further reduction of the mean inventory, the range and the lead time of working systems.

A case study of finding and exploiting the hidden logistic potentials of working systems in the tool-production department of the ETI Ltd. company from Izlake has shown that there are considerable logistic potentials that should be exploited in future by the realization of the suggested measures.

5 LITERATURA  
5 REFERENCES

[1] Wiendahl, H.P. (1995) Lead-oriented manufacturing control, *Springer, Verlag*, Berlin, 41-199.  
[2] Starbek, M., J. Grum (2000) Operation lead time control, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 16, 443-450.

- [3] Starbek, M., J. Grum (2001) Control of the state of orders on machines, *Comoputers & Industrial Engineering* 40, 35-49.
- [4] Kušar, J., A. Brezovar, J. Grum, M. Starbek (2004) Realistic lead time scheduling of operations of orders *Machine Tools & Manufacture*, Vol. 44, 1037-1046.
- [5] Nyhuis, P., H.P. Wiendahl (1999) Logistische Kennlinien, *Springer Verlag Berlin*, 81-94.
- [6] Starbek, M., D. Menart (2000) The optimization of material flow in production, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 40, 1299-1310.
- [7] Baker, K. R. (1974) Introduction to sequencing and scheduling, *J. Wiley & Sons Inc.*, New York.
- [8] Sule, D. R. (1997) Industrial scheduling, *PWS Publishing company*, Boston.
- [9] Sayed, A. E, O.T. Boucher (1994) Analysis and control of production systems, *Prentice Hall, Englewood Cliffs*, New Jersey, 202-229

Naslov avtorjev: dr. Janez Kušar  
mag. Tomaž Berlec  
prof. dr. Jože Duhovnik  
prof. dr. Janez Grum  
prof. dr. Marko Starbek  
Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za strojništvo  
Aškerčeva 6  
1000 Ljubljana  
janez.kusar@fs.uni-lj.si  
tomaz.berlec@fs.uni-lj.si  
joze.duhovnik@fs.uni-lj.si  
janez.grum@fs.uni-lj.si  
marko.starbek@fs.uni-lj.si

Authors' Address: Dr. Janez Kušar  
Mag. Tomaž Berlec  
Prof. Dr. Jože Duhovnik  
Prof. Dr. Janez Grum  
Prof. Dr. Marko Starbek  
University of Ljubljana  
Faculty of mech. eng.  
Aškerčeva 6  
1000 Ljubljana, Slovenia  
janez.kusar@fs.uni-lj.si  
tomaz.berlec@fs.uni-lj.si  
joze.duhovnik@fs.uni-lj.si  
janez.grum@fs.uni-lj.si  
marko.starbek@fs.uni-lj.si

Prejeto: 14.9.2004  
Received:

Sprejeto: 25.5.2005  
Accepted:

Odrpto za diskusijo: 1 leto  
Open for discussion: 1 year