

## Realni pretočni časi operacij in uspešnost sistema NKP

### Realistic Lead Times of Operations and Efficiency of the PPC System

Marko Starbek - Janez Grum - Janez Kušar

*Uspešnost dela na trgu razpoložljivih komercialnih sistemov NKP (sistemov za načrtovanje in krmiljenje proizvodnje) [1] in [2] je v veliki meri odvisna od realnosti izvedbe pretočnega terminiranja operacij, ki sloni na ocenjenih oziroma ugotovljenih pretočnih časih delovnih mest.*

*V prispevku predlagamo postopek za ugotavljanje srednjih pretočnih časov delovnih mest. V časovnem koraku  $P$  ugotovljene vrednosti srednjih pretočnih časov delovnih mest pokažejo dejansko sliko pretoka naročil preko delovnih mest in pomenijo osnovni podatek za izvedbo realnega pretočnega terminiranja operacij v naslednjem, to je časovnem intervalu  $(P+1)$ .*

*S predlaganim postopkom ugotavljanja pretočnih časov preidemo od statičnega na dinamično pretočno terminiranje operacij naročil.*

© 2002 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

**(Ključne besede: sistemi PPS, časi pretočni, modeli lijaka, diagrami pretoka)**

*The practical efficiency of commercially available PPC (production planning and control) systems [1] and [2] depends to a great extent on the implementation of operations' lead times determination which is based on estimated or calculated lead times of workplaces.*

*This paper presents a method for calculating the average lead times of workplaces. The average lead times of workplaces, found in the interval  $P$ , gives a realistic picture of the order flow through workplaces, and these data are the basis for the implementation of the realistic operations' lead times determination in the next  $(P+1)$  interval.*

*With the proposed method for calculating lead times a transition from static to dynamic orders' lead times determination is accomplished.*

© 2002 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

**(Keywords: PPC-systems, lead times, funnel models, flow diagrams)**

#### 0 UUVOD

Namen sistema NKP je izvedba nalog načrtovanja in krmiljenja proizvodnje [3].

Načrtovanje proizvodnje mora poskrbeti za načrtovanje poteka proizvodnje v prihodnosti in vključuje naloge: načrtovanje primarnih potreb, načrtovanje materialnih potreb, načrtovanja pretočnih časov operacij in izravnavo kapacitet. Krmiljenje proizvodnje pa mora poskrbeti za izvedbo načrtovane proizvodnje, in to kljub neizogibnim spremembam količin, dogovorjenih terminov, pomanjkanju osebja, delovnih sredstev, in vključuje naloge: izpuščanje naročil, fino terminiranje ter monitoring in kontroling proizvodnje.

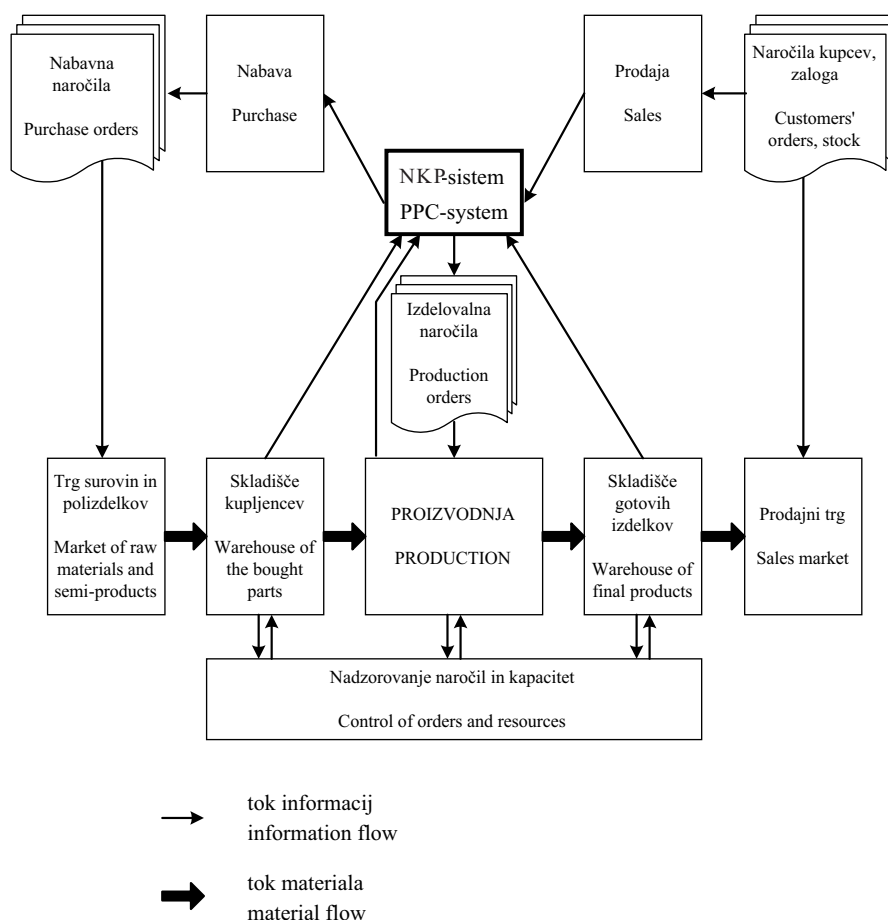
Realno načrtovanje in krmiljenje proizvodnje terjata stalno spremljanje in izvedbo potrebne korekcije toka materiala in informacij, kar je mogoče doseči edino s sistemom NKP. Slika 1 prikazuje mesto sistema NKP v proizvodnem podjetju.

#### 0 INTRODUCTION

A production planning and control (PPC) system has to carry out production planning and control tasks [3].

Production planning has to plan the course of future production. It consists of the following tasks: primary needs planning, material needs planning, operations' lead times determination, and levelling of resources. Production control has to provide for the realisation of the planned production, regardless of the inevitable changes to quantities, agreed terms, loss of staff and production means. It consists of the following tasks: releasing orders, fine termination, and production monitoring and control.

Realistic production planning and control requires continuous monitoring and implementation of the required corrective measures in material and information flow, which can only be achieved by a PPC system. The place of the PPC system in a production company is shown in Figure 1.



Sl. 1. Mesto sistema NKP v proizvodnem podjetju

Fig. 1. The position of the PPC system in a production company

Informacija, ki jo sistem NKP dobi od prodaje, je informacija o proizvodnem načrtu izdelkov, ki jih bo treba izdelati v opazovanem časovnem koraku (naročila kupcev, načrtovana zaloga). Sistem NKP proizvodni načrt deli na izdelovalna naročila (lastna proizvodnja) in nabavna naročila (nabava na trgu surovin in polizdelkov) in pri tem upošteva skladiščno stanje tako kupljenih kakor gotovih izdelkov.

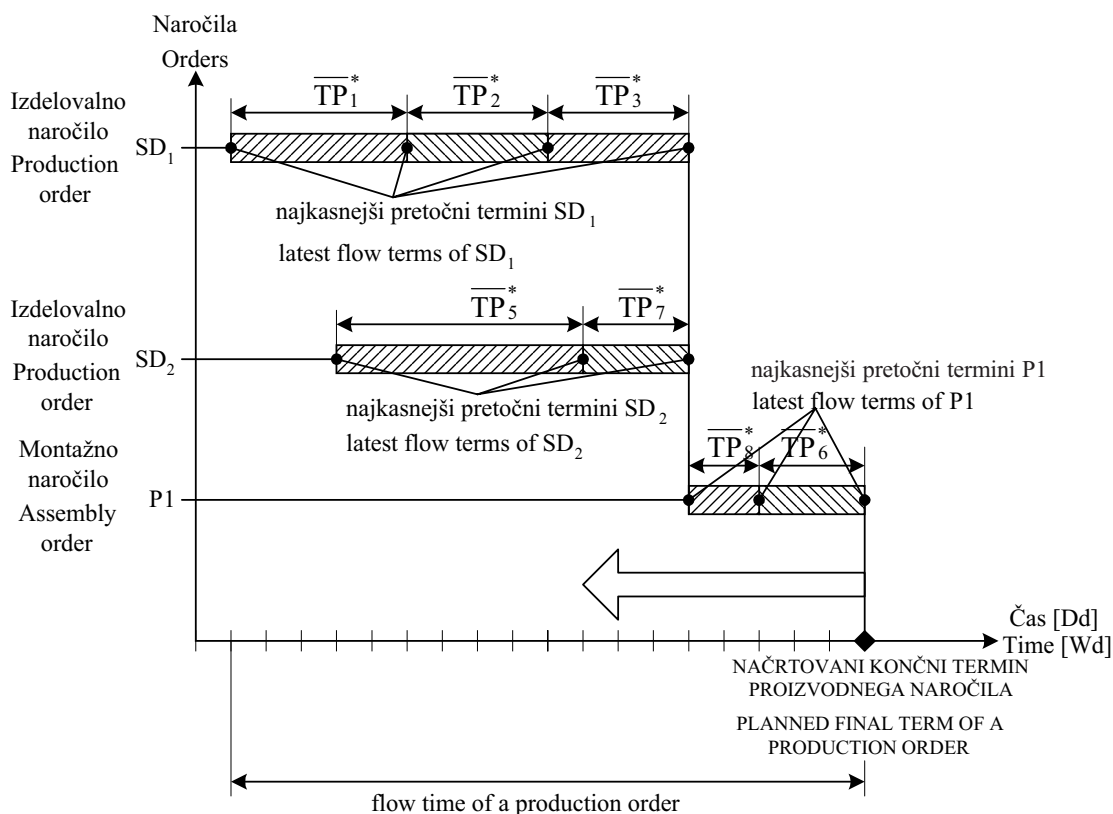
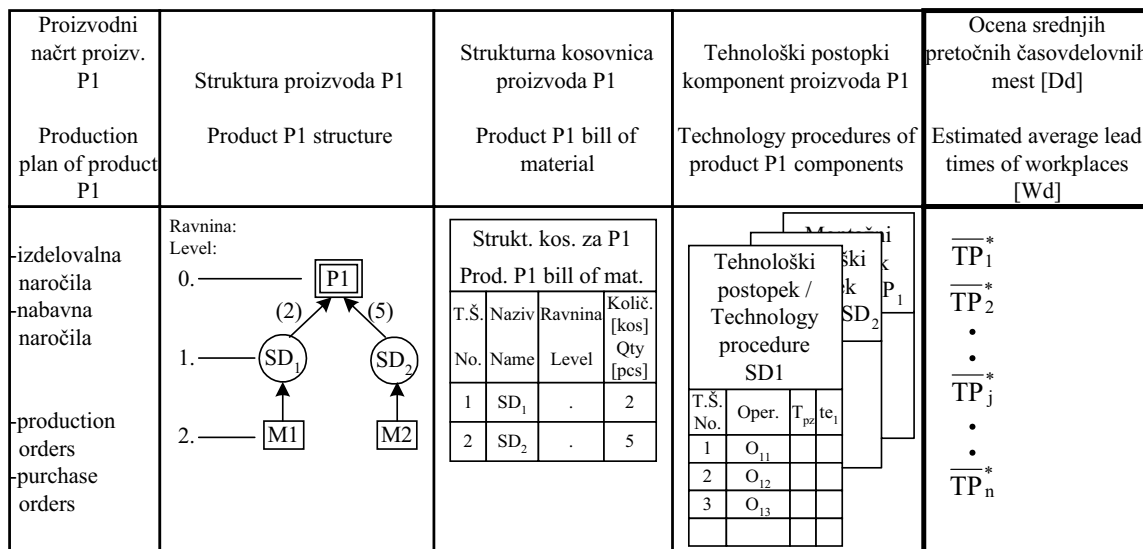
Po vstopu surovin in polizdelkov v vhodno skladišče teče materialni tok preko proizvodnje in skladišča gotovih izdelkov h kupcu. Stalno nadzorovanje naročil in zmogljivosti je namenjeno za oskrbovanje sistema NKP z nujnimi povratnimi informacijami.

Za izdelovalna naročila opazovanega časovnega koraka  $P$  mora sistem NKP izvesti pretočno terminiranje operacij in za izvedbo te naloge potrebuje podatke o srednjih pretočnih časih delovnih mest v predhodnem časovnem koraku ( $P-1$ ). Analiza rezultatov pretočnega terminiranja operacij, izvedena v več majhnih in srednje velikih podjetjih, je pokazala, da podjetja pri pretočnem terminiranju delujejo z grobimi izkusvenimi vrednostmi srednjih pretočnih časov delovnih mest in zato ne preseneča dejstvo, da prihaja do velikih odstopanj med načrtovanimi in doseženimi termini.

The sales department sends the PPC system the information about the production plan of products that will have to be manufactured in the treated interval (orders of customers, planned stock). The PPC system divides the production plan into production orders (company's own production) and purchase orders (purchases on the market of raw materials and semi-products), taking into account the bought and manufactured products in stock.

After raw materials and semi-products have entered the warehouse of bought parts, the material flows from production through the warehouse of final products to the customer. The continuous control of orders and resources provides feedback information to the PPC system.

The PPC system has to perform the operations' lead times determination for production orders of the treated interval  $P$ . In order to accomplish this task it needs the data on average lead times in the previous ( $P-1$ ) interval. An analysis of the results of the flow termination of operations, which was carried out in several small and medium-sized companies, has shown that when dealing with lead times determination the companies used approximate experience-based values of the average lead times of workplaces and therefore it was not surprising that large discrepancies existed between the planned and actual terms.



Sl. 2. Primer retrogradnega pretočnega terminiranja operacij proizvodnega naročila  
Fig. 2. An example of the reverse-flow order based lead time determination

Slika 2 prikazuje pregled dokumentov, ki omogočajo pretočno terminiranje operacij ter prikazuje načelo retrogradnega pretočnega terminiranja izdelka P1, ki je sestavljen iz dveh sestavnih delov SD<sub>1</sub> in SD<sub>2</sub> (proizvodno naročilo sestoji iz dveh izdelovalnih in enega montažnega naročila).

Figure 2 presents an overview of the documents that allow for the flow termination of operations and shows the principle of reverse-flow termination of the P1 product, composed of parts SD<sub>1</sub> and SD<sub>2</sub> (production order consists of two manufacturing orders and one assembly order).

Sistem NKP lahko na temelju podatka o načrtovanem končnem terminu proizvodnega naročila in podatkov o proizvodnem načrtu, strukturi in kosovnici proizvoda, tehnoloških postopkih izvedbe operacij na komponentah proizvoda in ocenjenih srednjih pretočnih časih delovnih mest izvede pretočno terminiranje tehnoloških in montažnih operacij.

Da bi v prihodnosti uspešno rešili problem velikega odstopanja načrtovanih terminov od doseženih, smo se raziskovalci Laboratorija za proizvodne sisteme odločili, da sestavimo postopek za trajno ugotavljanje doseženih srednjih pretočnih časov delovnih mest oziroma operacij, saj so v več podjetjih izvedene analize pokazale, da se vrednosti srednjih pretočnih časov delovnih mest stalno spreminjajo.

Analiza vzrokov nenehnega spreminjanja pretočnih časov je pokazala, da na velikost srednjih pretočnih časov delovnih mest vpliva množica dejavnikov, naj naštejemo le najpomembnejše:

- obremenitev delovnih mest in čakalna vrsta naročil,
- način podrobnega razporejanja naročil na delovno mesto,
- kakovost strojev, naprav in orodij,
- način oskrbe z materiali, orodji in informacijami,
- usposobljenost in motiviranost delavcev, ki strežejo strojem,
- način organiziranosti transportne in vzdrževalne službe.

Na delovno mesto  $S_j$  prihajajoča naročila pomenijo obremenitev delovnega mesta, čakajoča naročila pomenijo stanje naročil, z delovnega mesta odhajajoča naročila pa učinek delovnega mesta. V določeni meri spremenljiva odprtina lijaka pomeni razpoložljive oziroma izkoriščene zmogljivosti delovnega mesta. Naloga krmiljenja delovnega mesta je, da po eni strani preprečuje preveliko stanje naročil na delovnem mestu in s tem predolge pretočne čase naročil in po drugi strani premajhno stanje, ki bi lahko povzročilo nedelo delovnega mesta zaradi pomanjkanja naročil.

## 1 UGOTAVLJANJE SREDNJIH PRETOČNIH ČASOV DELOVNIH MEST

Pretok množice naročil  $N_1, \dots, N_i, \dots, N_m$  preko delovnega mesta  $S_j$  v opazovanem časovnem koraku  $P$  si lahko ponazorimo s poznanim modelom lijaka [4], ki ga prikazuje slika 3.

### 1.1 Zbiranje podatkov o pretoku naročil

Da bi prišli do podatkov o pretočnih časih naročil  $N_i$  ( $1 = i = m$ ), ki so v opazovanem časovnem koraku  $P$  prešla preko delovnega mesta  $S_j$ , moramo za vsako naročilo zbrati podatke o:

- številki naročila, ki je prišlo oziroma odšlo z

The PPC system can carry out the flow termination of technology and assembly operations on the basis of the data of the planned final term of production order and data on the product plan, the structure and the bill of materials of the product, the technology procedures for the execution of operations on the product components, and the estimated average lead times of workplaces.

In order to solve the problem of the large discrepancies between the planned and actual terms the *Production Systems Laboratory* researchers decided to develop a method for continuous monitoring of the actual lead times of workplaces (operations), as the analyses performed in several companies revealed that the values of the average lead times of workplaces were changing continuously.

The analysis of the continuous changing of lead times has shown that there were many reasons why these values changed, the most important being:

- the load of the workplaces, the queue of orders,
- the method of fine allocation of orders to a workplace,
- the quality of machines, devices and tools,
- the method of material, tool and information supply,
- the qualifications and motivation of employees working with machines,
- the organisation of transport and support services.

In a funnel model the orders that come to the workplace  $S_j$  represents the load of the workplace, the queued orders represent the state of the orders, and the orders departing from the workplace represent the workplace efficiency. The hole of the funnel (variable to a certain extent) represents the available and used resources of the workplace. The control system has two tasks: it prevents too high a state of orders in the workplace (and thus excessive lead times for the orders), and it prevents too low a state of orders which could put the workplace out of operation due to an insufficient number of orders.

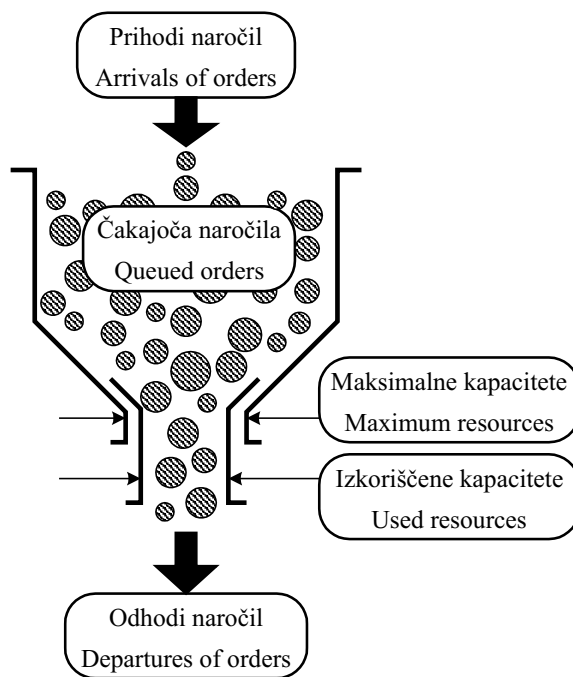
## 1 CALCULATION OF AVERAGE LEAD TIMES OF WORKPLACES

The flow of orders  $N_1, \dots, N_i, \dots, N_m$  through the workplace  $S_j$  in the treated interval  $P$  can be represented by the funnel model [4], as shown in Figure 3.

### 1.1 Acquisition of orders flow data

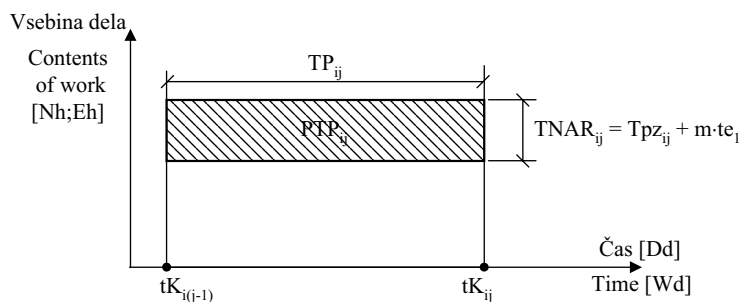
In order to obtain the data on the lead times of orders  $N_i$  ( $1 \leq i \leq m$ ) that passed the workplace  $S_j$  in the interval  $P$  it is necessary to get the following data for each order:

- the order number that arrived at or departed from



Sl. 3. Model lijaka delovnega mesta  $S_j$   
 Fig. 3. Funnel model of the workplace  $S_j$

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- delovnega mesta <math>S_j</math>,</li> <li>- terminu prihoda oziroma odhoda naročila z delovnega mesta <math>S_j</math>,</li> <li>- normiranem oziroma dejanskem času izvedbe naročila na delovnem mestu <math>S_j</math>.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- the workplace <math>S_j</math>,</li> <li>- the arrival and departure terms of the order in the workplace <math>S_j</math>,</li> <li>- the normative and effective time for processing the order in the workplace <math>S_j</math>.</li> </ul> |
|--|--|



- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><math>TP_{ij}</math> pretočni čas naročila <math>N_i</math> na delovnem mestu <math>S_j</math>,</li> <li><math>PTP_{ij}</math> površina pretočnega časa naročila <math>N_i</math> na delovnem mestu <math>S_j</math>,</li> <li><math>TNAR_{ij}</math> čas za naročilo <math>N_i</math> na delovnem mestu <math>S_j</math>,</li> <li><math>Tpz_{ij}</math> pripravljalni in zaključni čas za naročilo <math>N_i</math> na delovnem mestu <math>S_j</math>,</li> <li><math>m_{ij}</math> velikost serije naročila <math>N_i</math> na delovnem mestu <math>S_j</math>,</li> <li><math>te_{ij}</math> čas na enoto mere naročila <math>N_i</math> na delovnem mestu <math>S_j</math>,</li> <li><math>tK_{i(j-1)}</math> časovna točka končanja naročila <math>N_i</math> na delovnem mestu <math>S_{j-1}</math>,</li> <li><math>tK_{ij}</math> časovna točka končanja naročila <math>N_i</math> na delovnem mestu <math>S_j</math>.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><math>TP_{ij}</math> the lead time of the order <math>N_i</math> in the workplace <math>S_j</math>,</li> <li><math>PTP_{ij}</math> the lead-time area of the order <math>N_i</math> in the workplace <math>S_j</math>,</li> <li><math>TNAR_{ij}</math> the normative order time of the order <math>N_i</math> in the workplace <math>S_j</math>,</li> <li><math>Tpz_{ij}</math> the setup time of the order <math>N_i</math> of the workplace <math>S_j</math>,</li> <li><math>m_{ij}</math> the lot size of the series of the order <math>N_i</math> in the workplace <math>S_j</math>,</li> <li><math>te_{ij}</math> the process time per unit of the order <math>N_i</math> in the workplace <math>S_j</math>,</li> <li><math>tK_{i(j-1)}</math> the time point at the end of the order <math>N_i</math> in the workplace <math>S_{j-1}</math>,</li> <li><math>tK_{ij}</math> the time point at the end of the order <math>N_i</math> in the workplace <math>S_j</math>.</li> </ul> |
|--|---|

Sl. 4. Pretočni čas in površina pretočnega časa naročila  $N_i$  na delovnem mestu  $S_j$   
 Fig. 4. The lead time and the lead-time area of the order  $N_i$  flow through the workplace  $S_j$

V opazovanem časovnem intervalu  $P$  zajeti podatki o pretoku naročil preko delovnega mesta  $S_j$  omogočajo grafično predstavitev pretočnih časov in površin pretočnih časov naročil. Slika 4 prikazuje pretočni čas in površino pretočnega časa pretoka naročila  $N_i$  preko delovnega mesta  $S_j$ .

Kakor prikazuje slika 4, pretočni čas naročila  $N_i$  na delovnem mestu  $S_j$  pomeni časovni korak, računani od časovne točke končanja naročila  $N_i$  na predhodnem delovnem mestu  $S_{(j-1)}$  in časovno točko končanja naročila  $N_i$  na opazovanem delovnem mestu  $S_j$ , torej je:

$$TP_{ij} = tK_{ij} - tK_{i(j-1)} \quad (1.)$$

Površina pretočnega časa naročila  $N_i$  na delovnem mestu  $S_j$  pa je:

$$PTP_{ij} = TP_{ij} \cdot TNAR_{ij} \quad (2.)$$

The data acquired on the flow of orders through the workplace  $S_j$  during the treated interval  $P$  allow for a graphical presentation of the lead times and the lead-time areas of the orders. Figure 4 presents the lead time and the lead-time area of the order  $N_i$  flow through the workplace  $S_j$ .

As can be seen from Figure 4, the lead time of the order  $N_i$  in the workplace  $S_j$  presents the interval calculated from the time point at the end of the order  $N_i$  in the previous workplace  $S_{(j-1)}$  and time point at the end of the order  $N_i$  in the treated workplace  $S_j$ , therefore:

The lead-time area of the order  $N_i$  in the workplace  $S_j$  can be calculated as:

### 1.2 Srednji pretočni čas delovnega mesta $S_j$

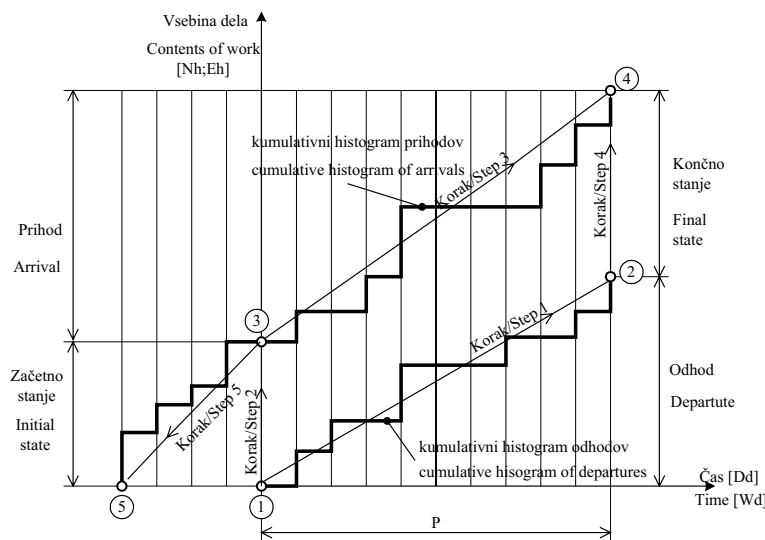
Zbrani podatki o pretoku množice naročil  $N_1, \dots, N_i, \dots, N_m$  preko delovnega mesta  $S_j$  v opazovanem časovnem koraku  $P$  omogočajo konstruiranje diagrama pretoka naročil delovnega mesta oziroma operacije, ki se izvede v zaporedju petih korakov (sl. 5):

1. korak: risanje zbirnega histograma odhoda naročil z delovnega mesta (od točke 1 na sliki 5 se pomikamo proti točki 2),
2. korak: določitev začetnega stanja naročil na delovnem mestu (od točke 1 k točki 3),
3. korak: risanje zbirnega histograma prihoda naročil na delovno mesto (od točke 3 k točki 4),
4. korak: določitev končnega stanja naročil na delovnem mestu (od točke 2 k točki 4),
5. korak: risanje zbirnega histograma prihoda naročil na delovno mesto pred opazovanim časovnim korakom (od točke 3 k točki 5).

### 1.2 Average lead time of the workplace $S_j$

The acquired data on the flow of orders  $N_1, \dots, N_i, \dots, N_m$  through the workplace  $S_j$  in the treated interval  $P$  means we can construct a diagram of the order flow through the workplace (operation), which is done in five steps (see Figure 5):

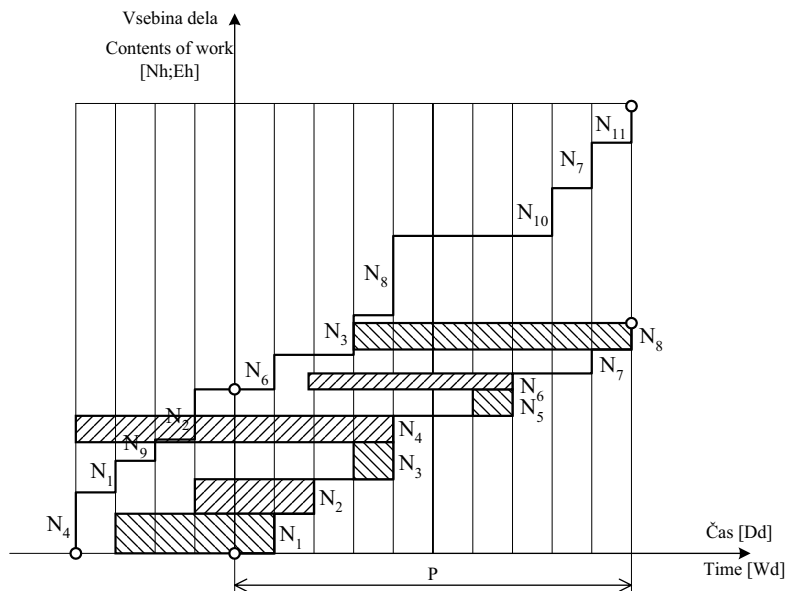
- Step 1: drawing cumulative histogram of departed orders from the workplace (from point 1 on Figure 5 towards point 2),
- Step 2: definition of the initial state of orders in the workplace (from point 1 to point 3),
- Step 3: drawing the cumulative histogram of the arrivals of orders to the workplace (from point 3 to point 4),
- Step 4: definition of the final state of orders in the workplace (from point 2 to point 4),
- Step 5: drawing the cumulative histogram of the arrival of orders to the workplace before the treated interval (from point 3 to point 5).



Sl. 5. Diagram pretoka delovnega mesta  $S_j$   
Fig. 5. Flow diagram of the workplace  $S_j$

V diagram pretoka delovnega mesta  $S_j$  je mogoče na podlagi podatkov o časovnih točkah prihoda in odhoda posameznega naročila na delovno mesto, z delovnega mesta in podatkov o načrtovanem času za posamezno naročilo, ki je v opazovanem časovnem koraku  $P$  odšlo z delovnega mesta, vrisati površine pretočnih časov, kar prikazuje slika 6.

On the basis of the data about the time points of a particular order arrival to and departure from the workplace  $S_j$  and the data about the planned processing time for a particular order, which departed from the workplace during the treated interval  $P$ , it is possible to draw the lead-time areas in the flow diagram of the workplace  $S_j$ , as presented in Figure 6.



Sl. 6. Diagram pretoka delovnega mesta  $S_j$  s površinami pretočnih časov  
Fig. 6. Flow diagram of the workplace  $S_j$  with lead-time areas

Ko govorimo o pretočnem času delovnega mesta  $S_j$ , vedno mislimo na srednji pretočni čas naročil, ki so v opazovanem časovnem koraku  $P$  odšla z delovnega mesta  $S_j$ :

When dealing with the lead time of the workplace  $S_j$  we always have in mind the average lead time of the orders that departed from the workplace  $S_j$  in the treated interval  $P$ :

$$\overline{TP}_j = \frac{\sum_{i=1}^m PTP_{ij}}{\sum_{i=1}^m TNAR_{ij}} = \frac{\sum_{i=1}^m TP_{ij} \cdot TNAR_{ij}}{\sum_{i=1}^m TNAR_{ij}} \quad (3)$$

$\overline{TP}_j$  - srednji pretočni čas delovnega mesta  $S_j$

$\overline{TP}_j$  - average lead time of the workplace  $S_j$

### 1.3 Srednji pretočni časi delovnih mest delavnice

### 1.3 Average lead times of workplaces in a workshop

Ker pa izvedba naročil v opazovanem časovnem koraku  $P$  običajno ni vezana le na eno delovno mesto, temveč na množico delovnih mest delavnice:  $S_1, \dots, S_j, \dots, S_n$ , je treba ugotoviti srednje pretočne čase vseh delovnih mest delavnice.

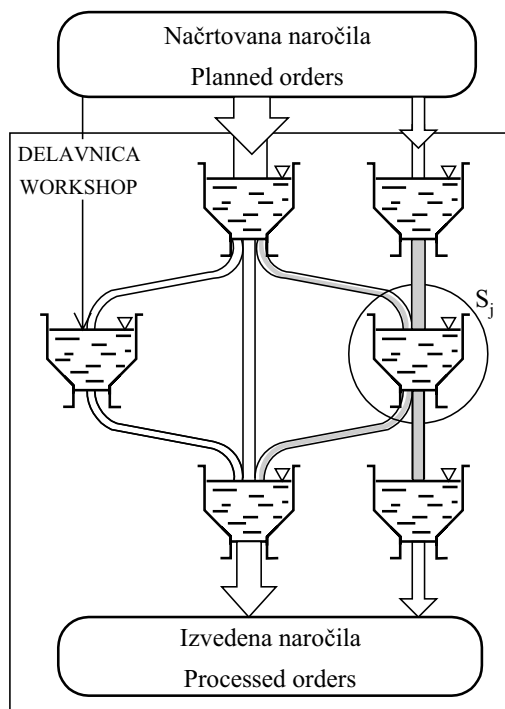
The processing of orders in the treated interval  $P$  usually does not depend just on one workplace but on several workplaces in a workshop:  $S_1, \dots, S_j, \dots, S_n$ . Therefore, it is necessary to determine the average lead times of all the workplaces in a workshop.

Pretok množice naročil preko delovnih mest delavnice si lahko ponazorimo z modelom mreže lijakov delavnice [5], ki prikazuje lokacijo delovnih mest delavnice in intenzivnost načrtovanih prihodov in odhodov naročil na delovno mesto ali z delovnih mest. Slika 7 prikazuje primer modela mreže lijakov delavnice.

The flow of the set of orders through workplaces in a workshop can be modelled by a mesh of funnels [5] that represent the locations of the workplaces in a workshop and the intensity of planned arrivals to and departures from the workplaces. Figure 7 presents a sample workshop funnel-mesh model.

Da bi prišli do pravih podatkov o srednjih pretočnih časih delovnih mest delavnice, je treba izvesti meritve prihodov in odhodov naročil na delovna mesta

In order to obtain the actual data on the average lead times of workplaces in a workshop it is necessary to measure the arrival and departure times



Sl. 7. Model mreže lijakov delavnice  
Fig. 7. Workshop funnel-mesh model

ali z delovnih mest delavnice v opazovanem časovnem intervalu  $P$ . Izvedene meritve pretoka naročil omogočijo konstruiranje diagramov pretoka delovnih mest delavnice in končno ugotovitev srednjih pretočnih časov.

Rezultat v delavnici izvedenih meritev je torej množica srednjih pretočnih časov delovnih mest delavnice  $\overline{TP}$ :

$$\overline{TP} = \{\overline{TP}_1, \dots, \overline{TP}_j, \dots, \overline{TP}_n\} \quad (4),$$

$\overline{TP}_j$  - srednji pretočni čas delovnega mesta  $S_j$  ( $1 = j = n$ )

V opazovanem časovnem koraku  $P$  ugotovljena množica srednjih pretočnih časov delovnih mest delavnice  $\overline{TP}$  je osnova za izvedbo realnega pretočnega terminiranja s tehnološkimi oziroma montažnimi postopki predpisanih operacij izdelovalnih oziroma montažnih naročil, načrtovanih v naslednjem časovnem koraku ( $P+1$ ).

Raziskovalci *Laboratorija za proizvodne sisteme* smo prišli do sklepa, da realnega pretočnega terminiranja operacij ni brez izvedbe stalnega opazovanja srednjih pretočnih časov delovnih mest delavnice.

Praktično testiranje postopka ugotavljanja srednjih pretočnih časov delovnih mest je pokazalo na nujnost računalniške podpore pri konstruiranju diagramov pretoka in izračunu srednjih pretočnih časov delovnih mest.

Da bi rešili problem učinkovitosti postopka ugotavljanja srednjih pretočnih časov, smo sodelavci *Laboratorija za proizvodne sisteme* izdelali in uspešno testirali računalniški program FS-Control, ki omogoča hitro konstruiranje diagramov pretoka in izračun srednjih pretočnih časov delovnih mest delavnice.

in the workplaces in a workshop in the treated interval  $P$ . With these data it is possible to draw flow diagrams for workplaces in a workshop and to calculate average lead times.

On the basis of the measured results a set of the average lead times of workplaces in a workshop is obtained  $\overline{TP}$ :

$\overline{TP}_j$  - average lead time of the workplace  $S_j$  ( $1 \leq j \leq n$ )

The set of average lead times of workplaces in the workshop (in the treated interval  $P$ )  $\overline{TP}$  is used for a realistic flow termination with technology and assembly methods of the prescribed operations of manufacturing and assembly orders, planned in the next ( $P+1$ ) interval.

*Production Systems Laboratory* researchers made a conclusion that the realistic flow termination of operations is not possible without continuous monitoring of the average lead times of workplaces in a workshop.

Practical testing of the method for calculating the average lead times of workplaces revealed the necessity of computer support for drawing flow diagrams and calculating the average lead times of workplaces.

In order to solve the efficiency issue of the average lead-times-calculation method, the employees of the *Production Systems Laboratory* developed and successfully tested the FS-Control computer software, which allows for the rapid drawing of flow diagrams and the calculation of the average lead times of workplaces in a workshop.



## 2 PRESKUS POSTOPKA UGOTAVLJANJA SREDNJIH PRETOČNIH ČASOV DELOVNIH MEST

Predlagani postopek ugotavljanja srednjih pretočnih časov delovnih mest smo preskusili na primeru podjetja, ki je izdelovalec strojev za pekarnice in kemično industrijo.

V podjetju so organizirani štirje upravljalni centri s skupno 55 delovnimi mesti:

- upravljalni center sklopov in strojev s 16 delovnimi mesti,
- upravljalni center rotacijskih delov s 6 delovnimi mesti,
- upravljalni center nerotacijskih delov z 12 delovnimi mesti in
- upravljalni center delov in iz tanke pločevine s 17 delovnimi mesti.

Po dogovoru s poslovodstvom podjetja smo v preskus ugotavljanja srednjih pretočnih časov delovnih mest vključili delovna mesta upravljalnega centra rotacijskih delov s 6 delovnimi mesti:

M 33.248	-	struženje, veliko
M 33.262	-	karusel,
M 33.383	-	ozobljenje,
M 34.343	-	frezanje horizontalno-srednje,
M 34.344	-	frezanje horizontalno-veliko,
M 34.352	-	RŠK frezanje univerzalno.

Služba priprave proizvodnje je pri dosedanjem pretočnem terminiranju operacij uporabljala enotno oceno srednjega pretočnega časa delovnih mest:

$$\overline{TP}^* = 6 \text{ Dd}$$

### 2.1 Zbiranje podatkov o pretoku naročil

Zbiranje podatkov o pretoku naročil preko delovnih mest upravljalnega centra rotacijskih delov je bilo izvedeno v letu 1999, in sicer v časovnem obdobju od 150 Dd do 190 Dd.

V času zapisovanja pretoka naročil preko delovnih mest so sodelavci podjetja za vsako naročilo, ki je prišlo oziroma odšlo z delovnega mesta, registrirali:

- številko naročila, ki je prišlo oziroma odšlo z delovnega mesta,
- termin prihoda oziroma odhoda naročila z delovnega mesta,
- normirani čas izvedbe naročila.

Preglednica 1 prikazuje del zbranih podatkov o pretoku naročil preko šestih delovnih mest upravljalnega centra rotacijskih delov.

Kakor vidimo iz preglednice 1, je v opazovanem časovnem koraku iz delovnih mest odšlo različno število naročil (najmanj 12 naročil z delovnega mesta M 34.344, največ 73 naročil z delovnega mesta M 33.248). Tudi normirani časi izvedbe naročil TNAR močno odstopajo in se gibljejo v mejah od 0,75 Nh do 64 Nh.

## 2 TEST OF THE METHOD FOR CALCULATING THE AVERAGE LEAD TIMES OF WORKPLACES

We tested the proposed method for calculating the average lead times of workplaces in a sample case of a company that produces machines for bakeries and the chemical industry.

The company has four production centres (totalling 55 workplaces):

- the components and machines centre (16 workplaces),
- the rotational parts centre (6 workplaces),
- the non-rotational parts centre (12 workplaces),
- the thin sheet metal parts centre (17 workplaces).

It was agreed with the company management that the 6 workplaces in the rotational parts centre would be involved in a test calculation of average lead times:

M 33.248	-	turning, large,
M 33.262	-	vertical lathe,
M 33.383	-	gear cutting,
M 34.343	-	horizontal milling – middle,
M 34.344	-	horizontal milling – large,
M 34.352	-	CNC universal milling.

The production department used the uniform estimate of the average lead time of workplaces for flow termination of operations:

$$\overline{TP}^* = 6 \text{ [Wd]}$$

### 2.1 Data acquisition on the flow of orders

Data acquisition on the flow of orders through the workplaces of the rotational parts department was done in 1999, in the interval from 150 Wd till 190 Wd.

During the interval of monitoring the flow of orders through the workplaces the company employees took a note of the following data for each order that arrived to or departed from the workplace:

- order number,
- arrival and departure term of the order,
- normative time for order processing.

Table 1 presents part of the data acquired on the flow of orders through the six workplaces in the rotational parts department.

It can be seen from table 1 that different numbers of orders departed from the workplaces in the treated interval (minimum: 12 orders from the workplace M 34.344: maximum: 73 orders from the workplace M 33.248). Normative times for processing orders TNAR also deviated considerably: from 0.75 Nh to 64 Nh.

Preglednica 1. Podatki o pretoku naročil preko delovnih mest opazovanega oddelka  
 Table 1. Data on the flow of orders through workplaces in the treated department

Delovno mesto/ Workpace: M 34.352		Opazovani časovni korak: od 150 Dd do 190 Dd/ Treated interval: from 150 Wd till 190 Wd				
Zap. št. nar./ Ord. seq. num.:	Delovno mesto/ Workpace: M 34.344	Opazovani časovni korak: od 150 Dd do 190 Dd/ Treated interval: from 150 Wd till 190 Wd				
1	Zap. št. nar./ Ord. seq. num.:	Delovno mesto/ Workpace: M 34.343	Opazovani časovni korak: od 150 Dd do 190 Dd/ Treated interval: from 150 Wd till 190 Wd			
2						
3	Zap. št. nar./ Ord. seq. num.:	Delovno mesto/ Workpace: M 33.383	Opazovani časovni korak: od 150 Dd do 190 Dd/ Treated interval: from 150 Wd till 190 Wd			
25						
26	Zap. št. nar./ Ord. seq. num.:	Delovno mesto/ Workpace: M 33.262	Opazovani časovni korak: od 150 Dd do 190 Dd/ Treated interval: from 150 Wd till 190 Wd			
1						
11	Zap. št. nar./ Ord. seq. num.:	Delovno mesto/ Workpace: M 33.248	Opazovani časovni korak: od 150 Dd do 190 Dd/ Treated interval: from 150 Wd till 190 Wd			
12						
14	Zap. št. nar./ Ord. seq. num.:	Delovno mesto/ Workpace: M 33.248	Opazovani časovni korak: od 150 Dd do 190 Dd/ Treated interval: from 150 Wd till 190 Wd			
15						
60	1	Zapored. št. nar./ Order sequential number.	Številka naročila/ Order number	Termin prihoda/ Arrival term [Nh]	Termin odhod [Dd]/ Departure term [Wd]	Normirani čas izvedbe naročila TNAR / Normative time for order processing TO [Nh]
61	2					
	3					
		1	31038175	129	160	8,50
		11	35068953	135	162	10,00
		12	35067049	137	158	13,50
		72	35066483	190	194	7,25
		73	35078943	190	198	1,50

## 2.2 Srednji pretočni časi delovnih mest upravljalnega centra

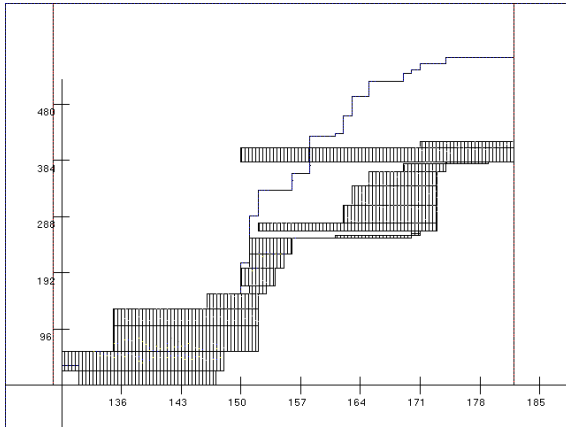
Zbrani podatki o pretoku naročil preko delovnih mest (pregl. 1) so predstavljali vhodne podatke za delo z računalniškim programom FS-Control, s katerim smo za vseh šest delovnih mest upravljalnega centra rotacijskih delov skonstruirali oziroma izpisali:

- diagrame pretoka delovnih mest s površinami pretočnih časov naročil, ki so v opazovanem časovnem intervalu odšla z delovnih mest (sl. 8),
- ugotovljene vrednosti karakterističnih veličin diagramov pretoka:
  - začetna stanja naročil,
  - prihodi naročil,
  - odhodi naročil,
  - končna stanja naročil,
  - srednji pretočni časi delovnih mest, kar prikazuje preglednica 2.

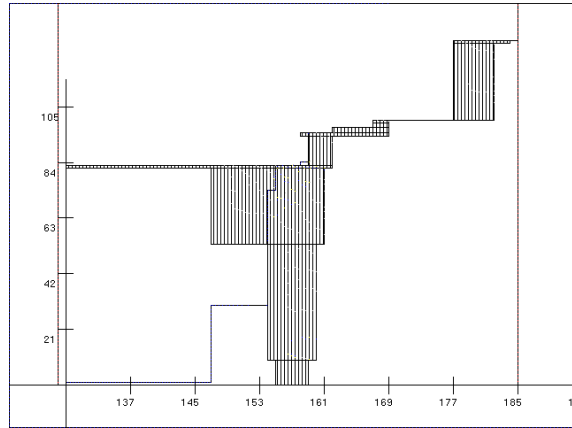
## 2.2 Average lead times of workplaces

The data on the flow of orders through workplaces (Table 1) are input data to the FS-Control software, which was used to get the following data for all six workplaces:

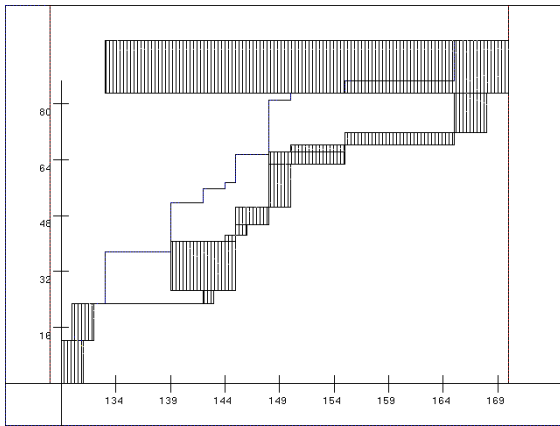
- flow diagrams of workplaces with lead-times areas of orders that departed from workplaces in the treated interval (Figure 8),
- calculated values of characteristic quantities of flow diagrams:
  - initial states of orders,
  - arrivals of orders,
  - departures of orders,
  - final states of orders,
  - average lead times of workplaces as shown in Table 2.



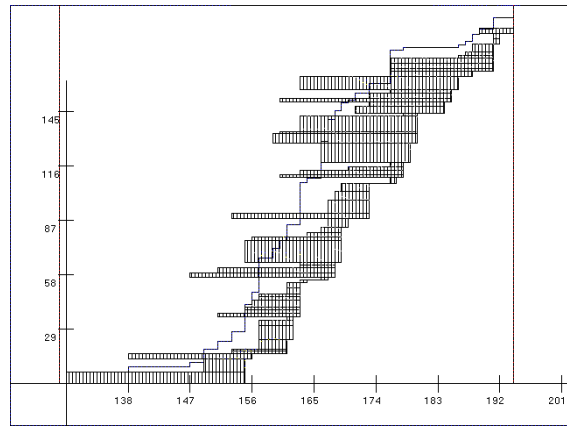
a) Delovno mesto M34.352 – RŠK frezanje, univerzalno  
Workplace M34.351 – CNC milling



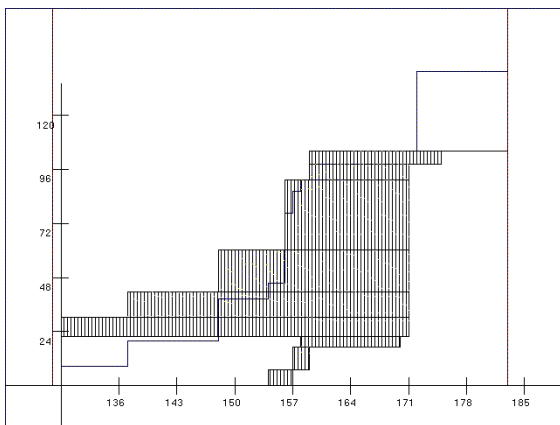
b) Delovno mesto M34.344 – frezanje, veliko  
Workplace M34.344 – milling, large



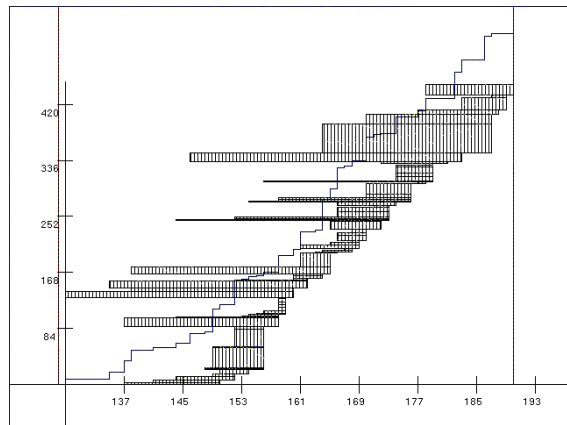
c) Delovno mesto M34.343 – frezanje, srednje  
Workplace M34.343 – milling, middle



d) Delovno mesto M33.383 – ozobljenje  
Workplace M33.383 – gearcutting



e) Delovno mesto M33.262 – karusel  
Workplace M33.262 – vertical lathe



f) Delovno mesto M33.248 – struženje, veliko  
Workplace M33.248 – turning, large

Sl. 8. Diagram pretoka šestih delovnih mest centra rotacijskih delov  
Fig. 8. Flow diagram of six workplaces in the rotational parts department

Preglednica 2. Vrednosti karakterističnih veličin diagramov pretoka opazovanih delovnih mest  
 Table 2. Values of characteristic quantities of flow diagrams for the treated workplaces

Upravljalni center: ROTACIJSKI DELI Department: ROTATIONAL PARTS		Opazovani časovni interval: od 150 Dd do 190 Dd Treated interval: from 150 Wd till 190 Wd			
Karakteristične veličine diagramov pretoka/ Characteristic quantities of flow diagrams:  Delovno mesto $S_j$ / Workplace $M_i$ :	Začetno stanje naročil/ Initial state of orders Nh	Prihodi naročil/ Arrivals of orders Nh	Odhodi naročil/ Departures of orders Nh	Končno stanje naročil/ Final state of orders Nh	UGOTOVLJENI SREDNJI PRETOČNI ČAS $\overline{TP}_j$ Dd/ CALCULATED AVERAGE LEAD TIME $\overline{TP}_j$ Wd
M 34.352	129,70	457,30	415,70	171,30	11,89
M 34.344	1,00	129,65	129,90	0,75	7,27
M 34.343	0,00	100,25	98,05	2,20	8,53
M 33.383	9,00	191,71	189,24	11,47	10,18
M 33.262	20,00	132,55	104,25	48,00	18,38
M 33.248	114,45	421,85	452,05	84,25	11,71

Analiza diagramov pretoka in ugotovljenih vrednosti karakterističnih veličin diagramov pretoka opazovanih delovnih mest upravljalnega centra rotacijskih delov nas je pripeljala do naslednjih sklepov:

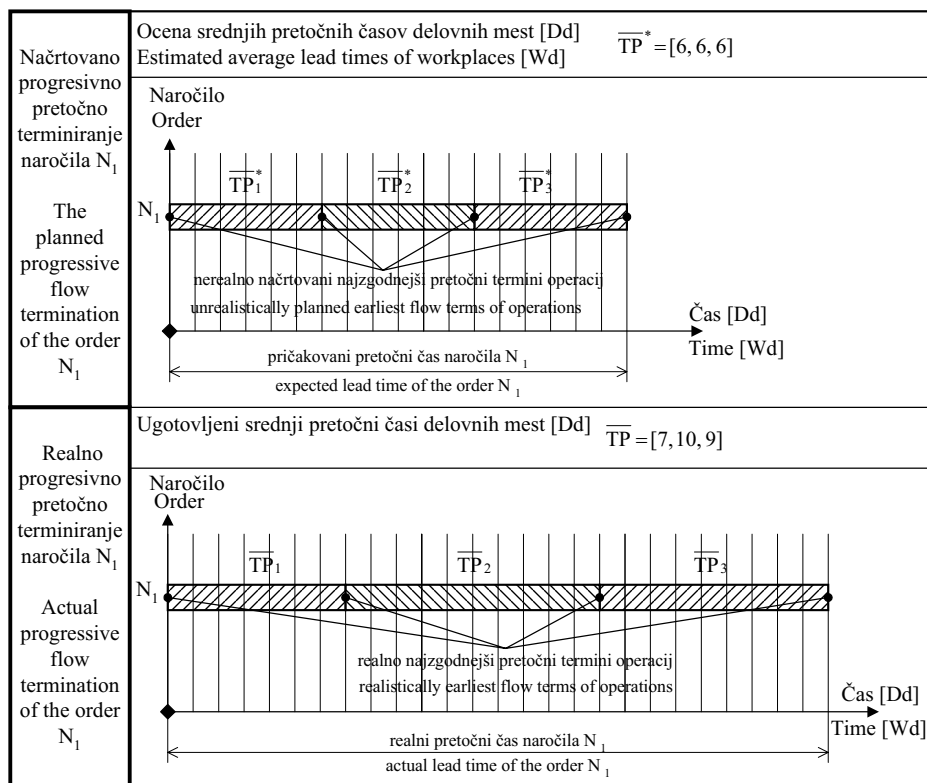
- ocena službe priprave proizvodnje, da bo v opazovanem časovnem koraku od 150 do 190 Dd srednji pretočni čas na vseh šestih delovnih mestih dosegel vrednost  $\overline{TP}^* = 6$  Dd ni bila realna, torej je bilo tudi izvedeno pretočno terminiranje operacij nerealno (preglednica 2 kaže, da ugotovljeni srednji pretočni časi delovnih mest bistveno odstopajo od ocene),
- vrednosti karakterističnih veličin diagramov pretoka delovnih mest med seboj močno odstopajo, kar govori o tem, da je nujno treba spremljati pretok naročil preko posameznega delovnega mesta upravljalnega centra,
- nerealna ocena srednjih pretočnih časov delovnih mest je povzročila ugotovljeno nedoseganje načrtovanih terminov izvedbe operacij, kar potrjuje primer, prikazan na sliki 9.
- površine pretočnih časov naročil opazovanih delovnih mest kažejo, da bi bilo mogoče v prihodnosti pretočne čase naročil in s tem tudi srednje pretočne čase delovnih mest bistveno skrajšati, in to z upoštevanjem naslednjih ukrepov:
  - dosledno upoštevanje prioritete pravila izvedbe naročil na delovnih mestih FIFO (naročilo, ki prvo pride na delovno mesto, naj bo tudi prvo izvedeno) [6],
  - uvedba metode na obremenitev orientiranega spuščanja naročil (spuščanje naročil na podlagi podatkov o obremenitvi in učinku delovnega mesta) [7],
  - krajšanje pripravljalnih in končnih časov (uporaba metode SMED) [8].

Z izvedenimi meritvami prihoda in odhoda naročil na delovnem mestu ali z delovnih mest upravljalnega centra rotacijskih delov v opazovanem časovnem koraku P in ugotovitvijo pravih vrednosti srednjih pretočnih časov

Analysis of the flow diagrams and the calculated values of the characteristic quantities of flow diagrams for the treated workplaces of the rotational parts department led us to the following conclusions:

- estimated value of the average lead time (made by the production department) for all six workplaces  $\overline{TP}^* = 6$  Wd in the interval from 150 to 190 Wd was unrealistic and therefore the actual flow termination of the operations was also unrealistic (it can be seen from Table 2 that the calculated lead times differ considerably from the estimated value),
- values of the characteristic quantities of the flow diagrams of the workplaces differ considerably for different workplaces. This means that it is necessary to monitor the flow of orders through each particular workplace in a department,
- due to an unrealistic estimate of average lead times of workplaces, the planned terms of operation processing were not met, which was proved by the sample case shown in Figure 9.
- lead-time areas of orders on the treated workplaces indicate that it would be possible to considerably reduce the lead times of orders (thus reducing the average lead times of the workplaces) in future if the following measures are taken into account:
  - strict compliance with the FIFO priority rule regarding the processing of orders in workplaces (the order which comes first to the workplace should be processed first) [6],
  - implementation of the method for releasing orders based on the load of the workplace [7],
  - reduction of setup times (using the SMED method) [8], [9].

The measurements of arrivals and departures of orders to/from workplaces in the interval P and the calculation of actual values of the average lead times of workplaces provided the basic data for the



Sl. 9. Pričakovano in ugotovljeno pretočno terminiranje naročila  $N_1$   
 Fig. 9. Planned and actual lead times determination of the order  $N_1$

delovnih mest je služba priprave proizvodnje prišla do pglavntnih podatkov za realno pretočno terminiranje operacij v naslednjem časovnem koraku ( $P+1$ ).

production department and allowed them to realistically carry out flow termination of operations in the next ( $P+1$ ) interval.

### 3 SKLEP

### 3 CONCLUSION

Analiza stanja v malih in srednje velikih podjetjih je pokazala, da večina podjetij izvaja pretočno terminiranje operacij na podlagi ocenjenih vrednosti srednjih pretočnih časov delovnih mest in zato ugotovljeni pretočni termini izvedbe operacij močno odstopajo od načrtovanih.

Analyses in small and medium-sized companies have revealed that most companies carry out the lead times determination on the basis of the estimated values of the average lead times of workplaces and thus the actual flow terms of operation processing differ considerably from the planned ones.

V tem prispevku predlagani postopek za ugotavljanje srednjih pretočnih časov delovnih mest v opazovanem časovnem koraku  $P$  vključuje izvedbo meritev pretoka naročil preko delovnih mest, konstruiranje diagramov pretoka, določitev vrednosti karakterističnih veličin diagramov pretoka in končno oblikovanje množice ugotovljenih srednjih pretočnih časov delovnih mest, ki je temelj za izvedbo pretočnega terminiranja operacij v naslednjem, to je časovnem koraku ( $P+1$ ). S stalnim opazovanjem srednjih pretočnih časov delovnih mest pridemo od statičnega k dinamičnemu pretočnemu terminiranju operacij, ki zagotavlja realne termine izvedbe s tehnološkimi postopki načrtovanih operacij.

In the article a proposed method for calculating the average lead times of workplaces in the treated interval  $P$  consists of measuring orders flow through workplaces, drawing the flow diagrams, calculating of characteristic quantities of flow diagrams, and forming the set of measured average lead times of workplaces, which is the foundation for lead times determination in the next ( $P+1$ ) interval. Continuous monitoring of average lead times of workplaces allows for the transition from static to dynamic lead times determination, which provides realistic processing terms of the planned operations.

Izvedeni preskus ugotavljanja srednjih pretočnih časov delovnih mest upravljalnega centra rotacijskih delov je pokazal, da je bila enotna ocena srednjega pretočnega časa delovnih mest upravljalnega centra rotacijskih delov nerealna, saj vrednosti

The performed experiment of calculating the lead times of workplaces in the rotational parts department has shown that the uniform estimate of the average lead time of workplaces was

ugotovljenih srednjih pretočnih časov delovnih mest bistveno prekoračujejo ocenjeno vrednost.

Vodstvo podjetja je po izvedeni predstavitvi rezultatov prvega preskusa odločilo, da se preskus izvede tudi v drugih treh upravljalnih centrih, in sicer z namenom, da bi služba priprave proizvodnje podjetja prišla do pravih podatkov za izvedbo pretočnega terminiranja naročil v prihodnjih časovnih intervalih.

unrealistic as the actual values considerably exceeded the estimated value.

After the presentation of the first experimental results the company management decided that the experiment should also be carried out in an other three departments so that the production department would obtain realistic data for the flow termination of orders in future intervals.

#### 4 LITERATURA

#### 4 REFERENCES

- [1] Fandel, G., P. Francois, K.-M. Gubitz (1997) NKP- und integrierte betriebliche Softwaresysteme. *Springer Verlag*, Berlin, Heidelberg, New York, 868-911.
- [2] Roos, E., K. Hirt, K. Krings (1992) Marktspiegel NKP-Systeme auf dem Prüfstand, *Verlag TÜV Rheinland GmbH*, Köln, 23-28.
- [3] Wiendahl, H.P. (1995) Load-oriented manufacturing control, *Springer Verlag*, Berlin, Heidelberg, New York, Paris, Tokyo, 13-16.
- [4] Wiendahl, H.P. (1997) Fertigungsregelung, *Carl Hanser Verlag*, München. Wien, 83-102.
- [5] Starbek, M., D. Menart (2000) The optimization of material flow in production, *International Journal of Machine Tools & Manufacture 40*, 1299-1310.
- [6] Baker, K.R. (1974) Introduction to sequencing and scheduling, *J. Wiley & Sons Inc.* New York, 195-200.
- [7] Shigeo, S. (1997) A Revolution in manufacturing, the SMED system. *Productivity Press*, 126-128.
- [8] Polajnar, A., B. Buchmeister, M. Leber (1995) Rationalization of series production by applying the principles of type technology. *Journal of Mechanical Engineering 7-8*, Ljubljana.

Naslov avtorjev: prof.dr. Marko Starbek  
 prof.dr. Janez Grum  
 asist.dr. Janez Kušar  
 Fakulteta za strojništvo  
 Univerza v Ljubljani  
 Aškerčeva 6  
 1000 Ljubljana  
 marko.starbek@fs.uni-lj.si  
 janez.grum@fs.uni-lj.si  
 janez.kusar@fs.uni-lj.si

Authors' Addresses: Prof.Dr. Marko Starbek  
 Prof.Dr. Janez Grum  
 Asist.Dr. Janez Kušar  
 Faculty of Mechanical Eng.  
 University of Ljubljana  
 Aškerčeva 6  
 1000 Ljubljana, Slovenia  
 marko.starbek@fs.uni-lj.si  
 janez.grum@fs.uni-lj.si  
 janez.kusar@fs.uni-lj.si

Prejeto: 25.9.2000  
 Received:

Sprejeto: 29.3.2002  
 Accepted: