

Pretočni čas operacije

The Flow Time of Operation

Marko Starbek · Janez Grum · Janez Kušar

Pretočni čas operacije, ki je najkrajša enota pretočnega časa naročila, pomeni izhodiščni podatek za dejansko načrtovanje in krmiljenje proizvodnje. Tega časa ni mogoče izračunati, ampak ga je mogoče le meriti. Slovenska podjetja vidijo v skrajšanju pretočnega časa operacij in s tem tudi naročil veliko priložnost za dosego čim večje konkurenčnosti na domačem in tujem trgu.

V prispevku je pokazana razlika med enodimenzijskim, dvodimenzijskim ter srednjim preprostim in tehtanim pretočnim časom operacije. Posebna pozornost je dana izbiri načina izvedbe meritev pretočnega časa operacije in konstruiranju izvedenim meritvam pripadajočega diagrama pretoka. Ker pretočni čas operacije ni vedno enak, temveč se s časom spreminja, je v prispevku prikazan postopek izvedbe nadzora pretočnega časa operacije, ki sloni na Demingovem krogu stalnih izboljšav.

Prikazani so rezultati izvedbe meritev in nadzora pretočnega časa operacije v podjetju, ki izdeluje stroje za kemično industrijo.

© 2000 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: časi pretočni, diagrami pretoka, operacije, vsebine dela)

The flow time of operation (the shortest unit of flow time of an order) is the initial data for realistic production planning and control. This time cannot be calculated – it can only be measured. Companies in Slovenia would like to reduce the flow time of operations (and thus reduce the flow time of orders) to improve their competitiveness in domestic and world markets.

This paper presents the difference between one-dimensional, two-dimensional, and mean simple and weighted flow time of operation. Special attention has been paid to the measurement of the flow time of operation, and the construction of a corresponding flow-time diagram. The flow time of operation is not a constant value (it changes with time) and therefore this paper presents a procedure for operation flow-time control based on Deming's circle of continuous improvements.

Presented are the results of the operation flow-time measurements and control in a company that produces machines for the chemical industry.

© 2000 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: flow time, flow diagrams, operations, work contents)

0 UVOD

Ko govorimo o pretočnem času, moramo razlikovati med:

- pretočnim časom operacije in
 - pretočnim časom naročila,
- kar prikazuje slika 1.

S slike 1 vidimo, da pomeni pretočni čas operacije časovni korak, račun od časovne točke končanja naročila na prejšnjem delovnem mestu in časovno točko končanja naročila na opazovanem delovnem mestu. Pretočni čas naročila je časovni korak, račun od časovne točke sprejema naročila, do časovne točke končanja zadnje delovne operacije in je seštevek pretočnih časov operacij opazovanega naročila.

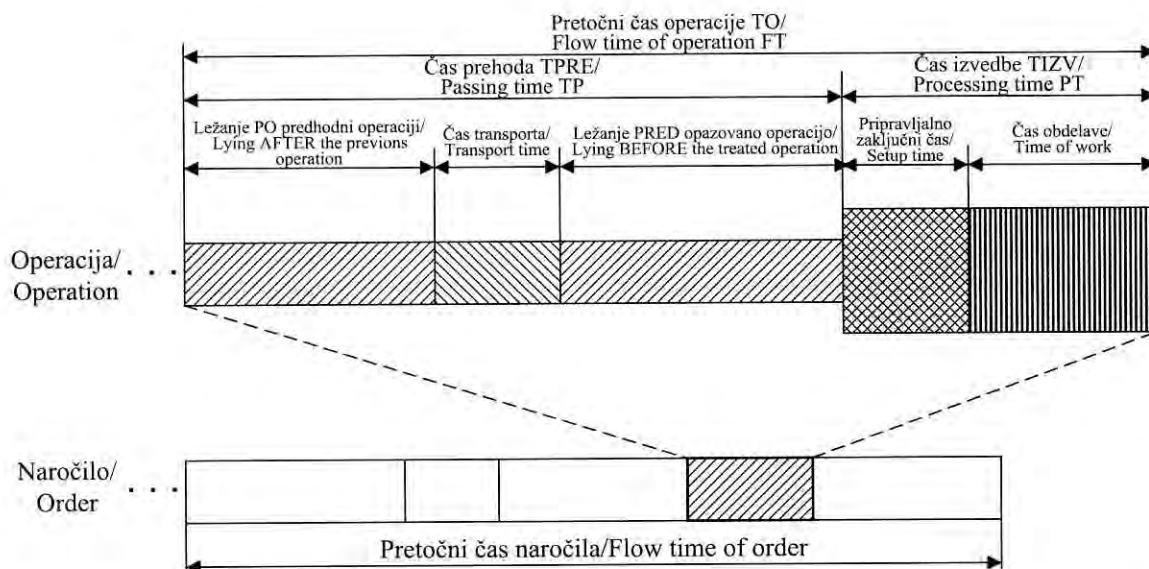
0 INTRODUCTION

When dealing with flow time it is necessary to distinguish between two terms:

- the flow time of a working operation,
- the flow time of a working order.

as shown in Figure 1.

It can be seen from Figure 1 that the flow time of an operation is an interval calculated between the time point when the order has been finished at the previous workplace and the time point when the order has been finished at the treated workplace. The flow time of an order is an interval calculated between the time when the order has been released and the time when the last working operation has been finished. It is therefore, the sum of the flow times of the operations of the treated order.



Sl.1. Pretočni čas operacije in naročila
 Fig. 1. Flow time of a an operation and of an order

Pretočni čas operacije [1] pomeni najkrajšo enoto pretočnega časa, ki jo še lahko merimo. In ko bomo govorili o nadzoru pretočnih časov, bomo mislili na pretočne čase operacij.

The flow time of the operation [1] is the shortest measurable flow-time unit. When talking about flow time control we have in mind the flow times of operations.

1 DOLOČANJE PRETOČNEGA ČASA OPERACIJE

1 DEFINITION OF THE FLOW TIME OF AN OPERATION

Ko govorimo o pretočnem času operacije, moramo razlikovati med:

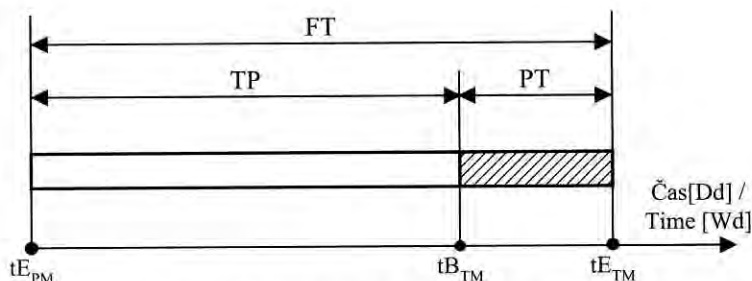
When dealing with the flow time of an operation it is necessary to distinguish between:

- enodimenzijaskim pretočnim časom naročila na opazovanem delovnem mestu in
- dvodimenzijaskim pretočnim časom naročila na opazovanem delovnem mestu.

- one-dimensional flow time of the order at the treated workplace,
- two-dimensional flow time of the order at the treated workplace.

Enodimenzijaski pretočni čas naročila na opazovanem delovnem mestu (dimenzija je čas) sestavljata čas prehoda in čas izvedbe naročila, kar prikazuje slika 2.

The one-dimensional flow time of the order at treated workplace (time is a dimension in this case) consists of the time of passing and the time of processing the order, as shown in Figure 2.



Sl. 2. Enodimenzijaski pretočni čas naročila na opazovanem delovnem mestu [2]
 Fig. 2. One-dimensional flow time of the order at the treated workplace [2]

- tE_{PM} - časovna točka konca izvedbe opazovanega naročila na prejšnjem delovnem mestu
- tE_{TM} - časovna točka konca izvedbe opazovanega naročila na opazovanem delovnem mestu

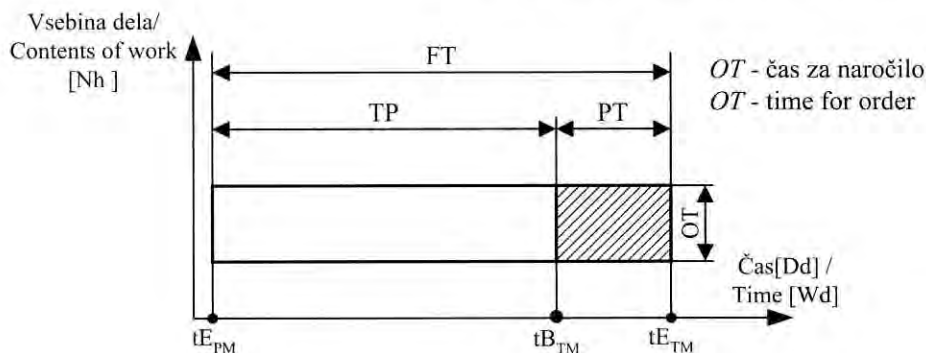
- tE_{PM} - time point at the end of processing of the treated order at the previous workplace
- tE_{TM} - time point at the end of processing of the treated order at the treated workplace

tB_{TM} - časovna točka pričetka pripravljajalno
sklepnih del na opazovanem delovnem mestu
 TP - čas prehoda naročila
 PT - čas izvedbe naročila na opazovanem
delovnem mestu
 FT - pretočni čas naročila na opazovanem
delovnem mestu

Dvodimenzijski pretočni čas naročila na opazovanem delovnem mestu (dimenziji sta čas in vsebina dela) pa sestavljajo čas prehoda in čas izvedbe operacije ter čas za naročilo, kar prikazuje slika 3.

tB_{TM} - time point at the beginning of setup activi-
ties at the treated workplace
 TP - passing time of the order
 PT - processing time of the order at the treated
workplace
 FT - flow time of the order at the treated work-
place

The two-dimensional flow time of the order at the treated workplace (time and contents of work are the dimensions in this case) consists of the passing time, the processing time of the order, and the time for the order, as shown in Figure 3.



Sl. 3. Dvodimenzijski pretočni čas naročila na opazovanem delovnem mestu [2]

Fig. 3. Two-dimensional flow time of the order at the treated workplace [2]

Za enodimenzijski in dvodimenzijski pretočni čas naročila na opazovanem delovnem mestu velja, da ga lahko določimo iz rezultatov meritve časovne točke konca izvedbe opazovanega naročila na prejšnjem delovnem mestu tE_{PM} in časovne točke konca izvedbe opazovanega naročila na opazovanem delovnem mestu tE_{TM} , saj je:

$$FT = tE_{TM} - tE_{PM} \quad (1)$$

Na opazovanem delovnem mestu se v opazovanem časovnem koraku P izvede množica naročil O_j ($1 < j < m$) z različnimi časi za naročilo OT_j .

Delovno mesto si lahko predstavljamo kot lijak, v katerega naročila O_j prihajajo, čakajo na obdelavo in iz njega odhajajo. Če v opazovanem časovnem koraku P zapisujemo podatke o prihodu in odhodu naročil (številka naročila, ki je prišlo oziroma odšlo z delovnega mesta, čas prihoda oziroma odhoda naročila, normirana oziroma dejanska vsebina dela naročila), lahko narišemo diagram pretoka naročil prek delovnega mesta. Konstruiranje diagrama pretoka se izvede v zaporedju petih korakov (slika 4):

1. korak: risanje kumulativnega histograma odhoda naročil (od točke 1 k točki 2),
2. korak: določitev začetnega stanja naročil (od točke 1 k točki 3),
3. korak: risanje kumulativnega histograma prihoda naročil (od točke 3 k točki 4),

The one- and two-dimensional flow times of the order at the treated workplace can be determined by measuring the end time of the processing of the treated order at the previous workplace, tE_{PM} , and the end time of the processing of the treated order at the treated workplace, tE_{TM} :

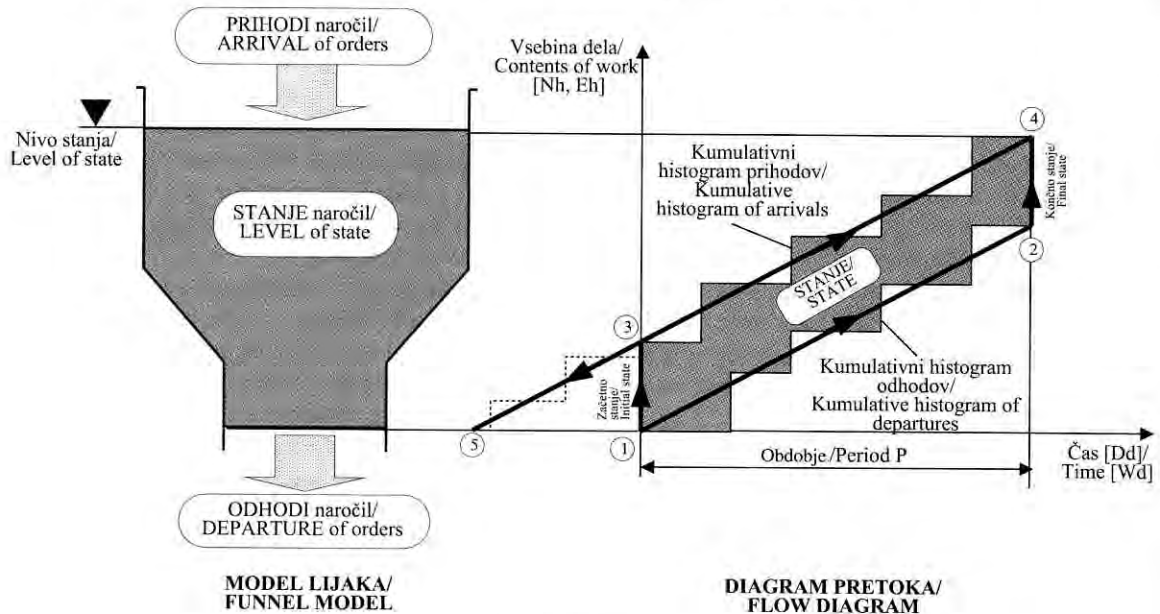
The treated workplace processes a set of orders, O_j , ($1 < j < m$) within the treated interval, with various times for the OT_j order.

Each workplace can be represented as a funnel into which orders, O_j , flow, wait to be processed, and depart from it. Having collected the data about the flow of orders (order number which arrived at or departed from the workplace, arrival and departure time of the order, normative and actual contents of the order) through the particular workplace during the analysed interval P , one can construct the diagram of the flow of orders for the particular workplace. The flow diagram is drawn in five steps (Figure 4):

- Step 1: drawing the cumulative histogram of the departures of orders (from point 1 to point 2),
- Step 2: definition of the initial state of orders (from point 1 to point 3),
- Step 3: drawing the cumulative histogram of the arrivals of orders (from point 3 to point 4),

4. korak: določitev končnega stanja naročil (od točke 2 k točki 4),
5. korak: risanje kumulativnega histograma prihoda naročil pred opazovanim obdobjem (od točke 3 k točki 5).

- Step 4: definition of the final state of orders (from point 2 to point 4),
- Step 5: drawing the cumulative histogram of the arrivals of orders before the treated interval (from point 3 to point 5).



Sl. 4. Modela lijaka in diagrama pretoka [3]
 Fig. 4. The funnel model and flow of orders diagram [3]

Ko govorimo o pretočnem času operacije, torej vedno mislimo na srednji pretočni čas naročil, ki so v opazovanem obdobju P prešla prek delovnega mesta.

V primeru, ko imamo opravka z enodimenzijskimi pretočnimi časi naročil, govorimo o srednjem preprostem pretočnem času delovne operacije \overline{FT}_s :

$$\overline{FT}_s = \frac{\sum_{j=1}^m FT_j}{m} \quad (2)$$

\overline{FT}_s - srednji preprosti pretočni čas delovne operacije

FT_j - pretočni čas j -tega naročila

m - število naročil, ki so v opazovanem obdobju odšla z delovnega mesta

V primeru, ko imamo opravka z dvodimenzijskimi pretočnimi časi naročil, pa govorimo o srednjem tehtanem pretočnem času delovne operacije \overline{FT}_w :

$$\overline{FT}_w = \frac{\sum_{j=1}^m FT_j \cdot OT_j}{\sum_{j=1}^m OT_j} \quad (3)$$

\overline{FT}_w - srednji tehtani pretočni čas delovne operacije

OT_j - čas za j -to naročilo

Therefore, when talking about the flow time of an operation, we always have in mind the mean flow time of those orders that have passed through the treated workplace during the analysed interval P .

When dealing with the one-dimensional flow times of orders, the term mean simple flow time of the working operation \overline{FT}_s is used:

\overline{FT}_s - the mean simple flow time of the working operation

FT_j - the flow time of the j -th order

m - the number of orders that have departed from the treated workplace during the observed interval

When dealing with the two-dimensional flow time of orders, the term mean weighted flow time of the working operation \overline{FT}_w is used:

\overline{FT}_w - the mean weighted flow time of the working operation

OT_j - the time for the j -th order

Analiza časov za izvedbo naročil OT_j v nekaterih slovenskih podjetjih je pokazala, da obstajajo precejšnja odstopanja med časi OT_j in zato bo treba pri izvedbi nadzora pretočnih časov delati s pojmom srednjega tehtanega pretočnega časa operacije.

2 NADZOR PRETOČNEGA ČASA OPERACIJE

Osnovno zamisel o oblikovanju postopka izvedbe nadzora pretočnega časa operacije smo dobili po pregledu objavljenih del s področja nadzora proizvodnje ([1] do [5] in dela [6]), ki obravnava problematiko Demingovega kroga stalnih izboljšav.

Analiza vrste in zaporedja dejavnosti znotraj Demingovega kroga stalnih izboljšav nas je pripeljala do sklepa, da bi bilo primerno tudi za izvedbo nadzora pretočnega časa operacije oblikovati krog stalnih izboljšav.

Da bi definirali vrste in zaporedja dejavnosti nadzora pretočnega časa operacije, je bila izvedena delavnica ustvarjalnosti, ki je pokazala, da naj krog oziroma postopek izvedbe nadzora pretočnega časa operacije vključuje pet dejavnosti oziroma korakov, katerih vrsto in zaporedje prikazuje slika 5.

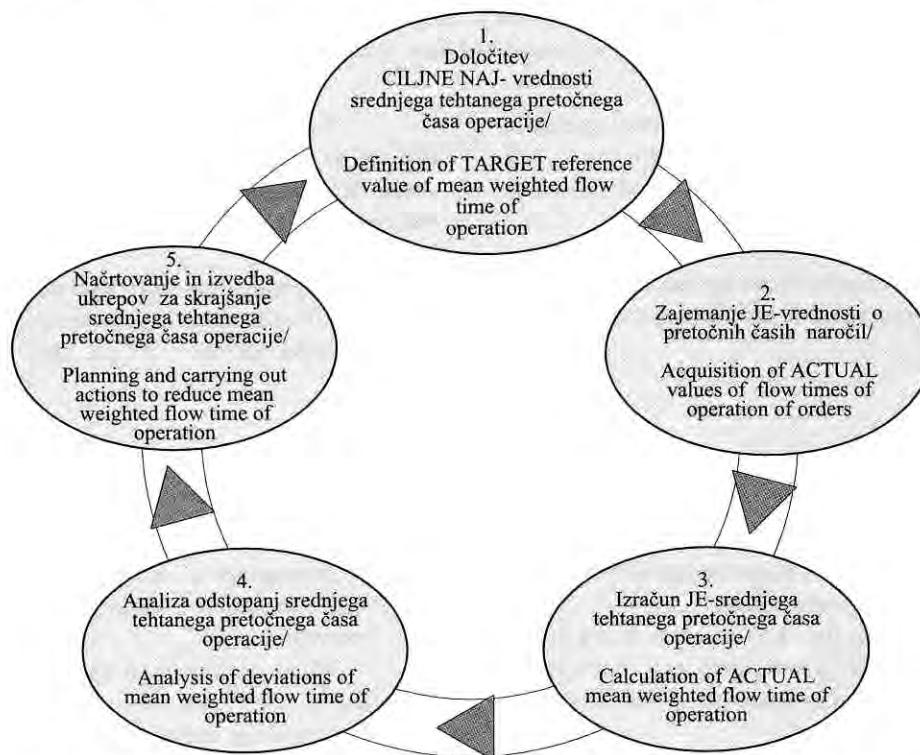
Analysis of order processing times, OT_j , in some Slovenian companies has shown that large deviations of OT_j times exist, so it will be necessary to use the mean weighted flow time of the working operation when dealing with the flow-time control.

2 FLOW-TIME CONTROL OF AN OPERATION

We developed a basic idea for the flow-time control procedure after having made a survey of the literature in the field of production control ([1] to [5]), and that dealing with Deming's circle of continuous improvements [6].

Analysis of the type and sequence of activities within the Deming's circle of continuous improvements led us to the conclusion that it would be sensible to use the circle of continuous improvements to implement the production control.

In order to define the type and sequence of operation flow-time control activities, a creativity workshop was organised, which revealed that the circle (i.e., the procedure for the flow-time control of an operation) should consist of five activities or steps, as shown in Figure 5.



Sl. 5. Postopek izvedbe nadzora srednjega tehtanega pretočnega časa operacije
Fig. 5. Implementation procedure of the mean weighted flow time control of an operation

Namen izvedbe nadzora pretočnega časa operacije je obvladovanje, uravnavanje in vodenje srednjega pretočnega časa operacije. Pomanjkljivo obvladovanje pretočnega časa operacije bi pomenilo dodatna stanja ali nezasedenost zmogljivosti.

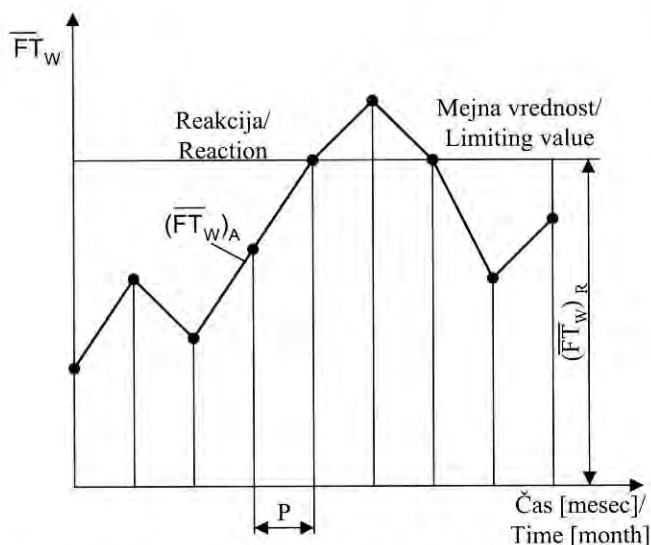
The goal of the implementation of flow-time control of the operation is the co-ordination, control and management of the mean flow time of an operation. Inadequate flow-time management of the operation causes additional states or unoccupied resources.

1. korak: Določitev CILJNE NAJ-vrednosti srednjega tehtanega pretočnega časa operacije

Osnovni namen nadzora srednjega tehtanega pretočnega časa operacije je, da JE-vrednost $(\overline{FT}_w)_A$ ne prekorači mejne NAJ-vrednosti $(\overline{FT}_w)_R$, kar prikazuje slika 6.

Step 1: Definition of the TARGET reference value of the mean weighted flow time of the operation

The basic goal of the mean weighted flow-time control of an operation is that the ACTUAL value $(\overline{FT}_w)_A$ will not exceed the limiting TARGET reference value $(\overline{FT}_w)_R$, as shown in Figure 6.



Sl. 6. CILJNA vrednost srednjega tehtanega pretočnega časa operacije
Fig. 6. TARGET value of the mean weighted flow time of an operation

Mejna vrednost srednjega tehtanega pretočnega časa operacije pomeni največjo vrednost pretočnega časa, ki še zagotavlja rentabilno proizvodnjo.

2. korak: Zajemanje JE-vrednosti o pretočnih časih naročil

Da bi prišli do podatkov o pretoku naročil, ki so v opazovanem obdobju P prišla oziroma odšla z delovnega mesta, moramo za vsako naročilo zajeti podatke o:

- številki naročila, ki je prišlo oziroma odšlo z delovnega mesta,
- času prihoda oziroma odhoda naročila z delovnega mesta,
- normirani oziroma dejanski vsebini dela naročila.

Zbrani podatki o pretoku naročil prek delovnega mesta v opazovanem obdobju P omogočajo konstruiranje diagrama pretoka naročil delovnega mesta ter vris površin dvodimenzijskih pretočnih časov naročil, ki so odšla z delovnega mesta.

Površina pod krivuljo časovnega spreminjanja pretočnega časa j -tega naročila, ki je v opazovanem obdobju P odšlo z delovnega mesta, je:

$$FTA_j = FT_j \cdot OT_j = (tE_{TM_j} - tE_{PM_j}) \cdot OT_j \quad (4)$$

PTA_j - površina pretočnega časa j -tega naročila
 FT_j - pretočni čas j -tega naročila

The limiting value of the mean weighted flow time of the operation is the maximum value of the flow time when production is still profitable.

Step 2: Acquisition of ACTUAL values of the flow times of orders

In order to get data about the flow of orders through the workplace during the analysed interval P , the following data has to be collected for each order:

- the order number which arrived at the workplace or departed from it,
- the time of arrival at and departure from the workplace,
- the normative and actual contents of the order.

Having collected the data about the flow of orders through the particular workplace during the analysed interval P , one can construct a diagram of the flow of orders for that workplace, and draw the areas of the two-dimensional flow times of orders that have departed from the workplace.

The flow time area of the j -th order that has departed from the workplace during the analysed interval P is defined as:

PTA_j - the flow-time area of the j -th order
 FT_j - the flow time of the j -th order

OT_j - čas za j-to naročilo
 tE_{TM_j} - časovna točka konca izvedbe j-tega naročila na opazovanem delovnem mestu
 tE_{PM_j} - časovna točka konca izvedbe j-tega naročila na prejšnjem delovnem mestu

OT_j - the processing time of the j-th order
 tE_{TM_j} - time point at the end of processing of the j-th order at the treated workplace
 tE_{PM_j} - time point at the end of processing of the j-th order at the previous workplace

3. korak: Izračun JE-srednjega tehtanega pretočnega časa operacije

Zbrani podatki o površinah pretočnih časov naročil, ki so v opazovanem obdobju P odšla z delovnega mesta, omogočajo izračun JE-srednjega tehtanega pretočnega časa operacije.

$$\left(\overline{FT_w}\right)_A = \frac{\sum_{j=1}^m PTA_j}{\sum_{j=1}^m OT_j} \quad (5)$$

4. korak: Analiza odstopanj srednjega tehtanega pretočnega časa operacije

Primerjava zajetega JE-srednjega tehtanega pretočnega časa operacije $\left(\overline{FT_w}\right)_A$ s ciljno NAJ-vrednostjo $\left(\overline{FT_w}\right)_R$ lahko pokaže, da je:

$$\left(\overline{FT_w}\right)_A \leq \left(\overline{FT_w}\right)_R \quad \text{or} \quad \left(\overline{FT_w}\right)_A > \left(\overline{FT_w}\right)_R \quad (6)$$

ali

V splošnem lahko razmejimo dva primera, in sicer:

1. $\left(\overline{FT_w}\right)_A \leq \left(\overline{FT_w}\right)_R \rightarrow$ ni ukrepanja
2. $\left(\overline{FT_w}\right)_A > \left(\overline{FT_w}\right)_R \rightarrow$ ukrepanje (ugotoviti je treba, zakaj je prišlo v opazovanem obdobju P do odstopanja in načrtati ukrepe za skrajšanje srednjega tehtanega pretočnega časa v naslednjem časovnem intervalu $P=P+1$).

5. korak: Načrtovanje in izvedba ukrepov za skrajšanje srednjega tehtanega pretočnega časa operacije

Če je $\left(\overline{FT_w}\right)_A > \left(\overline{FT_w}\right)_R$, je treba analizirati dobljeni diagram pretoka oziroma pretočne čase naročil, ki so v opazovanem obdobju P odšla z delovnega mesta in pripraviti ukrepe za skrajšanje le-teh.

Najpomembnejši ukrepi za skrajšanje pretočnih časov naročil in s tem tudi srednjega tehtanega pretočnega časa delovne operacije so:

- dosledno upoštevanje FIFO-prednostnega pravila izvedbe naročil (naročilo, ki prvo pride na delovno mesto naj bo tudi prvo izvedeno);
- krajšanje pripravljajalno sklepnih časov z uporabo metode SMED [7];
- uvedba metode na obremenitev usmerjenega spuščanja naročil ([3] in [8]).

Predlagani ukrepi za skrajšanje pretočnih časov naročil, ki so bili sprejeti na podlagi rezultatov

Step 3: Calculation of the ACTUAL mean weighted flow-time of the operation

The data collected about the flow-time areas of orders that have departed from the workplace during the analysed interval P allow for the calculation of the ACTUAL mean weighted flow time of the operation:

Step 4: Analysis of deviations of the mean weighted flow time of the operation

A comparison of the ACTUAL mean weighted flow time of the operation $\left(\overline{FT_w}\right)_A$ with the TARGET reference value $\left(\overline{FT_w}\right)_R$ may show that:

In general there are two different cases:

1. $\left(\overline{FT_w}\right)_A \leq \left(\overline{FT_w}\right)_R \rightarrow$ no action
2. $\left(\overline{FT_w}\right)_A > \left(\overline{FT_w}\right)_R \rightarrow$ action (it is necessary to find out why a deviation occurred during the analysed interval and to plan actions to reduce the mean weighted flow time during the next interval $P=P+1$).

Step 5: Planning and carrying out actions to reduce the mean weighted flow time of the operation

If $\left(\overline{FT_w}\right)_A > \left(\overline{FT_w}\right)_R$ it is necessary to analyse the flow diagram obtained (i.e. flow times of the orders that have departed from the workplace during the treated interval P) and take actions to reduce these times.

The most important actions for the reduction of the flow times of orders (and thus the reduction of the mean weighted flow time of the working operation) are:

- strict compliance with the first-in-first-out (FIFO) principle when processing the orders (the order which reaches the workplace first should also be processed first);
- reduction of time for setup and finishing activities by using the (SMED - single digit minut exchange of die) method [7];
- implementation of a method for releasing orders based on the load ([3] and [8]).

The proposed measures for the reduction of the flow times of orders, which have been obtained

analize diagrama pretoka naročil prek delovnega mesta v opazovanem obdobju P , bodo vplivali na skrajšanje pretočnih časov naročil oziroma srednjega tehtanega pretočnega časa operacije v naslednjem, to je $(P+1)$ obdobju.

Prvi testi predlaganega postopka izvedbe nadzora pretočnega časa delovne operacije so pokazali, da je za izvedbo drugega in tretjega koraka postopka nujna računalniška podpora, saj se za ročno konstruiranje diagramov pretoka in izračun srednjih tehtanih pretočnih časov delovnih operacij porabi preveč časa.

Sodelavci Laboratorija za proizvodne sisteme smo stopili v stik s sodelavci Inštituta za tovarniška postrojenja IFA Univerze v Hannoveru, ti so nam sporočili pregled ponudnikov in imena programskih paketov, ki se nanašajo na pretočni čas.

Po seznanitvi z zmogljivostjo imenovanih programskih paketov smo opravili razgovor s sodelavci slovenske hiše programske opreme, ki je ponudnik poslovno-tehničnega informacijskega sistema slovenskim podjetjem, in se odločili, da z njihovo pomočjo izdelamo računalniški program FS-CONTROL za hitro konstruiranje diagramov pretoka, vris površin pretočnih časov naročil in izračun srednjih tehtanih pretočnih časov delovnih operacij.

Ko smo izdelali računalniški program FS-CONTROL, nam je hiša za programsko opremo omogočila testiranje računalniškega programa oziroma postopka izvedbe nadzora pretočnega časa operacije v nekaj slovenskih podjetjih.

3 PRIMER DOLOČANJA IN NADZORA PRETOČNEGA ČASA OPERACIJE

Predlagani postopek določanja in nadzora pretočnega časa operacije smo preskusili v podjetju, ki je proizvajalec strojev za pekarnice in kemično industrijo.

Po dogovoru s poslovnim vodstvom podjetja smo v preskus določanja in nadzora pretočnega časa operacije vključili delovno mesto M33.248 – struženje. Delovno mesto je bilo opazovano v obdobju od 130 Dd do 190 Dd.

Zbiranje podatkov o pretoku naročil prek delovnega mesta bo izvedeno ročno, saj podjetje še nima avtomatskih snemalnih naprav.

Glede na predlagane korake izvedbe nadzora pretočnega časa delovne operacije, se je poslovno vodstvo v prvem koraku odločilo za ciljno NAJ-vrednost srednjega tehtanega pretočnega časa operacije:

$$\left(\overline{FT}_w\right)_R = 6 \text{ Dd}$$

Da bi v drugem koraku prišli do podatkov o pretočnih časih naročil, so sodelavci podjetja za vsako naročilo, ki je prišlo oziroma odšlo z opazovanih delovnih mest v časovnem intervalu

on the basis of the analysis of order flow through a workplace during the analysed interval P , will cause a reduction in the flow times of orders (i.e. reduction in the mean weighted flow time of the operation) in the next interval $(P+1)$.

The first tests of the proposed procedure for the flow-time control of a working operation have shown that computer support is necessary for carrying out the second and third steps of the procedure because manual drawing of flow diagrams and calculation of mean weighted flow times of operations is too time consuming.

The members of the Production Systems Laboratory contacted members of the Factory Machinery Institute IFA, University of Hannover, who sent us the names of suppliers and the names of software packages that deal with flow time.

After having studied features of these software packages we talked with members of a Slovenian software company that offers business and technical information systems to Slovenian companies. We decided that we would jointly develop the FS-CONTROL computer software for the quick design of flow diagrams, drawing of the flow-time areas of orders, and the calculation of the mean weighted flow times of working operations.

After the FS-CONTROL software had been developed the software company allowed us to test the software (i.e. the procedure for flow-time control of operations) in some Slovenian companies.

3 SAMPLE CASE OF DEFINITION AND CONTROL OF OPERATION FLOW TIME

The procedure for the definition and control of the operation flow time, as described above, has been tested in a company which produces machines for bakeries and the chemical industry.

In agreement with the company management the workplace M33.248 the workplace was used in the test case of definition and control of operation flow time. The workplace was treated in the interval from 130 Wd till 190 Wd.

Acquisition of data about the flow of orders through the workplace was done manually, as the company does not possess automatic recording devices.

With reference to the proposed steps of the flow-time control implementation, the management of the company first defined the reference value of the mean weighted flow time of a working operation:

In order to get the values of the flow times of orders (step 2), company employees obtained data about the flow of orders through the treated workplace during the interval from 130 Wd until 190 Wd,

od 130 Dd do 190 Dd, zabeležili čas prihoda in pripadajočo normirano vsebino dela oziroma termin odhoda in pripadajočo dejansko vsebino dela. Preglednica 1 prikazuje del zbranih podatkov o pretoku naročil prek delovnega mesta M 33.248.

noting arrival time and the corresponding normative contents of the work, and departure time and the corresponding actual contents of the work. Table 1 presents part of the actual data about the flow of orders through the M33.248 workplace.

Preglednica 1. Zbrani podatki o pretoku naročil preko delovnega mesta M33.248

Table 1. The data obtained about the flow of orders through the M33.248 workplace

Delovno mesto: / Work-place: DM 33.248		Obdobje: od 130 Dd do 190 Dd/ Interval: from 130 Wd to 190 Wd			
Zaporedna št. naročila/ Seq. order number	Številka naročila/ Order number	Čas prihoda Dd/ Arrival time Wd	Normirana vsebina dela / Normative contents of work Nh	Čas odhoda Dd/ Departure time Wd	Dejanska vsebina dela/ Actual contents of work Eh
1	32072119	129	8,50	160	8,50
2	32073858	135	10,00	162	10,00
3	32067714	137	13,50	158	13,50
4	32068581	137	3,40	150	3,40
5	32068625	138	5,80	160	5,80
~~~~~					
71	32076264	187	3,50	189	3,50
72	32055311	190	7,25	194	7,25
73	32054948	190	1,50	198	1,50

Zbrani podatki o pretoku naročil prek delovnega mesta so predstavljali vhodne podatke za delo z računalniškim programom FS-CONTROL, s katerim smo za delovno mesto izrisali oziroma izpisali:

- diagrame pretoka s površinami pretočnih časov naročil,
- ugotovljene JE-srednje tehtane pretočne čase delovnih operacij.

Slika 7 prikazuje diagram pretoka z vrisanimi površinami pretočnih časov naročil ter ugotovljeni JE-srednji tehtani pretočni čas  $(\overline{FT}_w)_A$  za delovno mesto M 33.248.

Analiza diagrama nas je privedla do naslednjih sklepov:

- ugotovljeni JE-srednji tehtani pretočni čas operacije je nad mejno vrednostjo 6 Dd, torej je potrebno ukrepanje,
- vrstni red odhoda naročil z delovnega mesta se bistveno razlikuje od vrstnega reda prihoda naročil, torej ni bilo upoštevano FIFO-prednostno pravilo (prvi pride, prvi postrežen),
- neupoštevanje FIFO-prednostnega pravila ima velik vpliv na velikost površin pretočnih časov naročil in s tem na srednji tehtani pretočni čas operacije.

Rezultate prvega preskusa smo predstavili poslovnemu vodstvu podjetja, ki je po izvedeni analizi vzrokov dolgih pretočnih časov predlagalo, da preskus ugotavljanja srednjega tehtanega pretočnega časa operacije za delovno mesto M33.248 v prihodnosti ponovimo, in to ob doslednem upoštevanju FIFO-prednostnega pravila razporejanja naročil.

The data obtained about the flow of orders through the workplace was input data for the FS-CONTROL software, which was used to get the following data for the workplace:

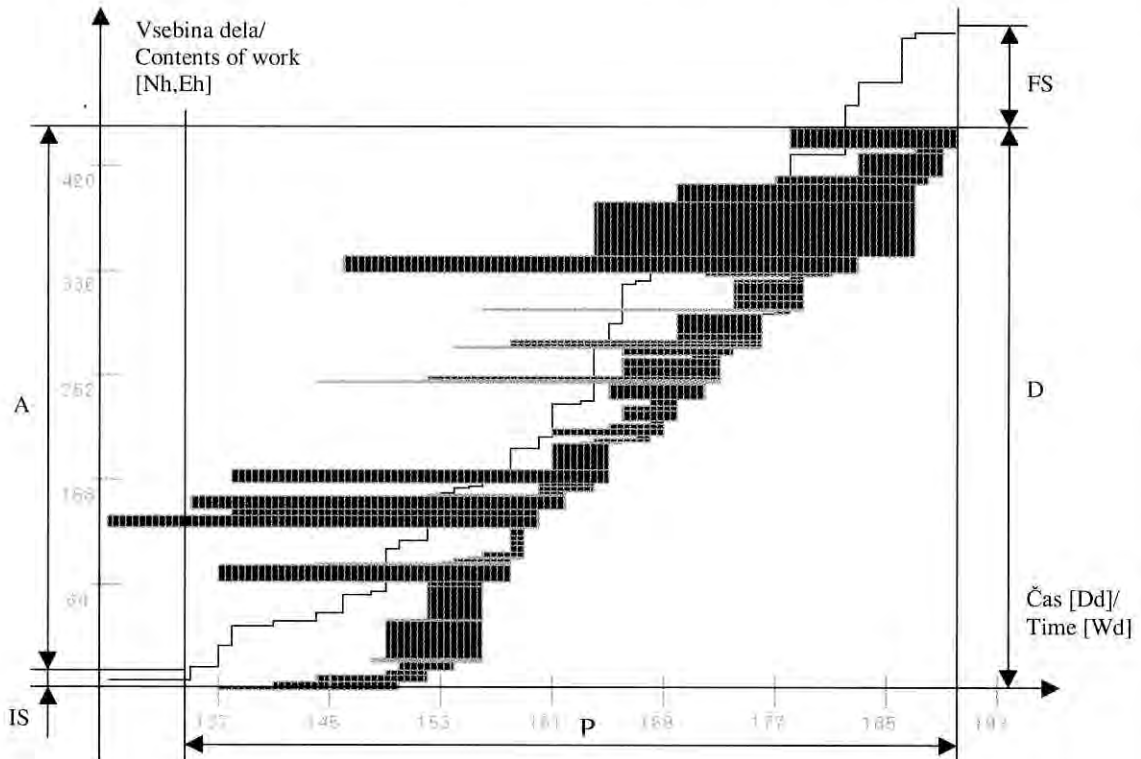
- flow diagrams with the areas of flow times of orders,
- actual mean weighted flow times of working operations.

A sample case of the orders flow diagram is presented in Figure 7; areas of the flow times of orders and actual mean weighted flow time  $(\overline{FT}_w)_A$  for the M33.248 workplace are drawn in.

Analysis of the results obtained has led us to the following conclusions:

- the actual mean weighted flow time is above the limiting value of 6 Wd and therefore corrective actions should be undertaken,
- the sequence of the departure of orders from the workplace differs considerably from the sequence of arrival of orders, which means that the FIFO priority rule was not taken into account,
- the fact that the FIFO priority rule was not taken into account had a large effect on the flow-time areas of the orders and thus on the mean flow time of operation.

The results of the first experiment were presented to the company management, which analysed the reasons for excessive flow times and then proposed that the experiment of defining the mean weighted flow time of operation for the workplace M33.248 be repeated in the future – this time in strict compliance with the FIFO priority rule regarding the processing of orders.



od 130 do 190/ from 130 to 190	Opazovani korak Dd/ Analysed interval Wd
61	Dolžina obdobja P Dd/ Period length P Wd
8,50	Začetno stanje IS / Initial state Nh
526,00	Prihod A /Nh Arrival A Nh
450,35	Odhod D Eh/ Departure D Eh
84,25	Končno stanje FS Nh/ Final state FS Nh
11,08	JE-srednji tehtani pretočni čas $(\overline{FT}_w)_A$ Dd/ Actual mean weighted flow time $(\overline{FT}_w)_A$ Wd

Sl. 7. Diagram pretoka in ugotovljeni JE-srednji tehtani pretočni čas za delovno mesto M33.248  
Fig. 7. Diagram showing the flow of orders and actual mean weighted flow time for the M33.248 workplace

#### 4 SKLEP

Vse večje domače in mednarodno tekmovanje podjetij ter prehod od trga prodajalcev k trgu kupcev terja od podjetij stalno povečevanje gospodarnosti, ki pa je v veliki meri odvisna tudi od pretočnih časov operacij [9].

V prispevku je podan postopek določanja pretočnih časov naročil, ki so v opazovanem obdobju odšla z delovnega mesta oziroma operacije, način konstruiranja diagrama pretoka naročil ter način izračuna srednjega tehtanega pretočnega časa delovnega mesta. Opisani so tudi najpomembnejši

#### 4 CONCLUSION

Increasing domestic and international competition for companies and a transition from a sellers' market to a customers' market requires that companies continuously improve their performance, which largely depends on the flow times of operations [9].

This paper presents a procedure for defining the flow times of orders that have departed the workplace or operation during the treated interval, construction of the flow diagram of orders, and the procedure for calculating the mean weighted flow time of the workplace. We have described the most

ukrepi, ki lahko vplivajo na skrajšanje tako pretočnih časov naročil kakor tudi srednjega tehtanega pretočnega časa operacije.

Rezultati izvedenega preskusa so pokazali, da je srednji tehtani pretočni čas delovnega mesta oziroma operacije predolg in ga bo treba v prihodnosti z izvedbo predlaganih ukrepov bistveno skrajšati in se tako približati v literaturi [3] podani ciljni vrednosti pretočnega časa operacije 6 Dd.

important measures that can reduce the flow times of orders and the mean weighted flow time of operation.

The results of the experiment have revealed an excessive mean weighted flow time of the workplace, which will have to be drastically reduced in the future by applying the proposed measures and thus get closer to the reference value of a flow time of operation (6 Wd) [3].

## 5 LITERATURA 5 REFERENCES

- [1] Hildebrand, R., R. Martens (1992) PPS-Controlling mit Kennzahlen und Checklisten. *Springer Verlag, Berlin.*
- [2] Ehrlenspiel, K. (1995) Integrierte Produktentwicklung. *Carl Hanser Verlag München, Wien.*
- [3] Wiendahl, H.P. (1995) Load – oriented manufacturing control. *Springer Verlag, Berlin.*
- [4] Wirth, V., G. Seyfferth (1995) Baustellen-Controlling. *Expert Verlag, Renningen-Malmsheim.*
- [5] Starbek, M., D. Menart (1998) A model for streamling the small-series production, *3rd International Conference Managing Innovative Manufacturing, Nottingham.*
- [6] Imai, M. (1992) Kaizen der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb. *Wirtschaftsverlag Langen Müller Herbig.*
- [7] Shigeo, S. (1997) A revolution in manufacturing, The SMED System. *Productivity Press.*
- [8] Wiendahl, H.P.(1991) Anwendung der belastungsorientierten Fertigungssteuerung. *Carl Hanser Verlag München, Wien.*
- [9] Polajnar, A., Buchmeister, B., M. Leber (1995) Rationalization of series production by applying the principles of type technology. *Journal of Mechanical Engineering 7-8, Ljubljana.*

Naslov avtorjev: dr. Marko Starbek  
prof.dr. Janez Grum  
dr. Janez Kušar  
Fakulteta za strojništvo  
Univerze v Ljubljani  
Aškerčeva 6  
1000 Ljubljana

Authors' address: Dr. Marko Starbek  
Prof.Dr. Janez Grum  
Dr. Janez Kušar  
Faculty of Mechanical Eng.  
University of Ljubljana  
Aškerčeva 6  
1000 Ljubljana, Slovenia

Prejeto:  
Received: 4.2.2000

Sprejeto:  
Accepted: 5.4.2000