let. - vol. 46 (2000) št. - no. 2

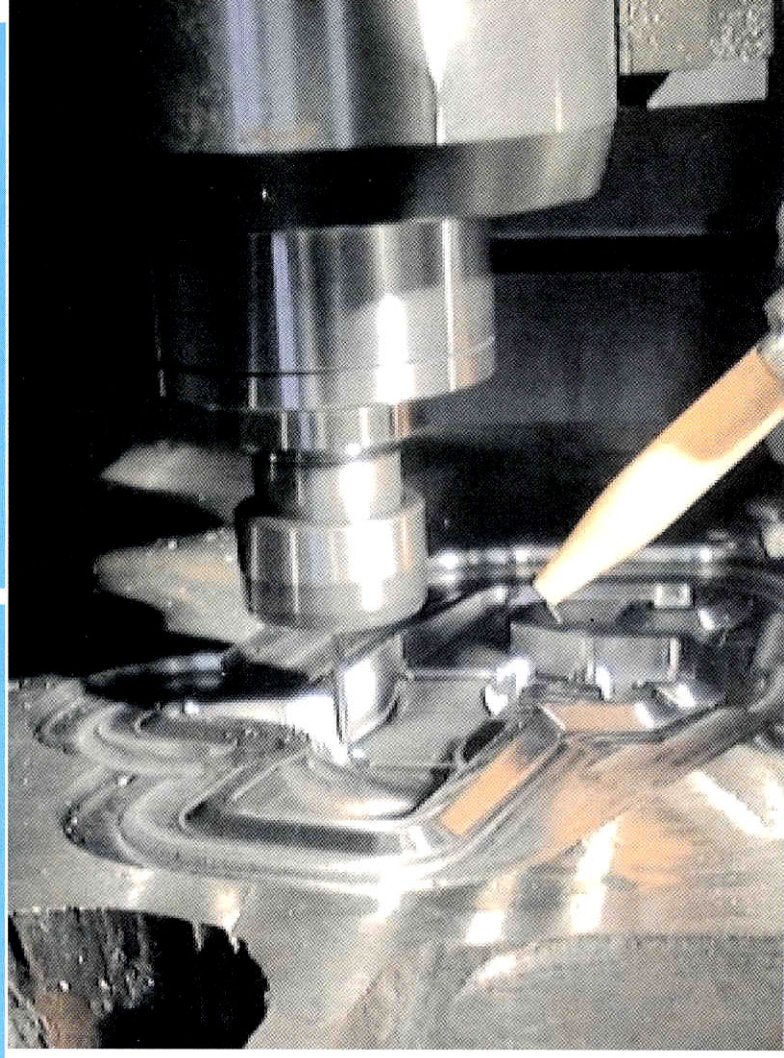
STROJNIŠKI VESTNIK 2

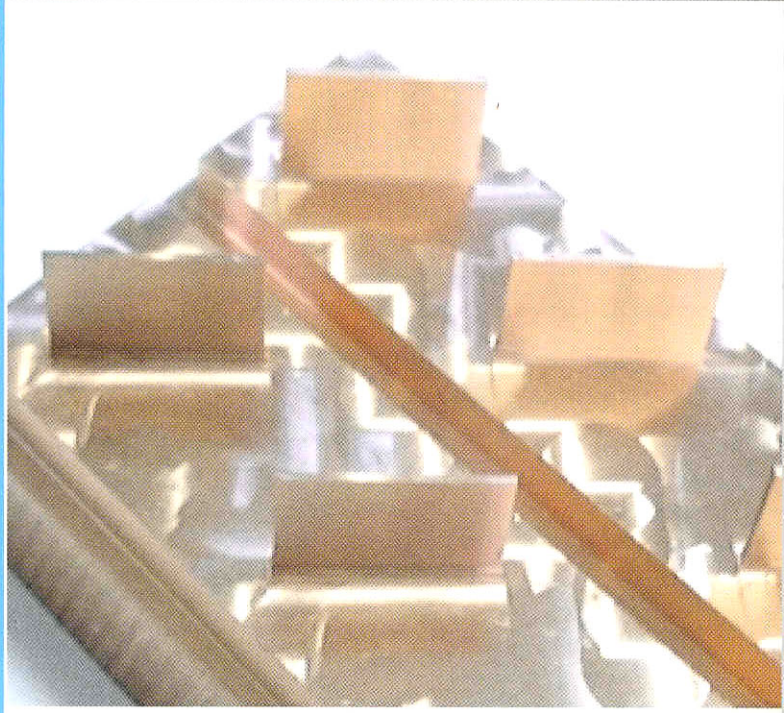
JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

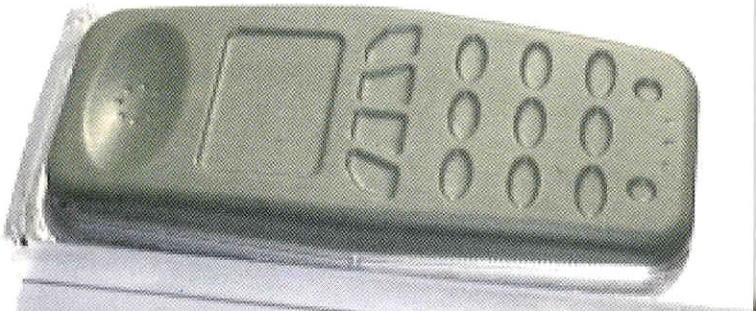
strani - pages 63 - 148

ISSN 0039-2480 . Stroj V . STJVAX

cena 800 SIT







9 770039 248001

© Strojniški vestnik 46(2000)2,63
Mesečnik
ISSN 0039-2480

© Journal of Mechanical Engineering 46(2000)2,63
Published monthly
ISSN 0039-2480

Vsebina
Contents

Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering
letnik - volume 46, (2000), številka - number 2

Sejmi in konference
Fairs and Conferences

25. do 28. april 2000: **"Vodni grelniki, njihov nadzor in sistemi upravljanje zgorevanja" (Boilers, Boiler Control and Burner Management Systems)**, Amsterdam, Nizozemska – informacije: Oudezijds Voorburgwal 316A, 1012 GM Amsterdam, Nizozemska; tel.: +31 20 638-28-06; faks: +31 20 620 21 36; http://www.cfpa.com

1. do 5. maj 2000: **"Izmenjevalniki toplote" (Heat Exchangers)**, Amsterdam, Nizozemska – informacije: Oudezijds Voorburgwal 316A, 1012 GM Amsterdam, Nizozemska; tel.: +31 20 638-28-06; faks: +31 20 620 21 36; http://www.cfpa.com

8. do 11. maj 2000: **"Uporabna zgorevalna tehnologija" (Applied Combustion technology)**, Haag, Nizozemska – informacije: Oudezijds Voorburgwal 316A, 1012 GM Amsterdam, Nizozemska; tel.: +31 20 638-28-06; faks: +31 20 620 21 36; http://www.cfpa.com

NAMEN REVIJE

Strojniški vestnik objavlja teoretične in praktično usmerjene članke, ki obravnavajo vprašanja sodobne tehnologije (energetika in procesno strojništvo, konstrukterstvo in gradnja strojev, proizvodno strojništvo, mehanika in materiali itn.). Obravnava dejavnosti, kakršne so: projektiranje, gradnja, obratovanje, varstvo okolja itn. na področju strojništva in z njimi tesno povezanih ved.

AIMS AND SCOPE

The Journal of Mechanical Engineering publishes theoretical and practice oriented papers, dealing with problems of modern technology (power and process engineering, structural and machine design, production engineering, mechanics and materials, etc.) It considers activities such as: design, construction, operation, environmental protection, etc. in the field of mechanical engineering and other related branches.

AVTORSKE PRAVICE

Ko uredništvo sprejme članek v objavo, prosi avtorja(je), da prenese(jo) avtorske pravice za članek na izdajatelja, da bi zagotovili kar se da obsežno razširjanje informacij. Naša revija in posamezni prispevki so zaščiteni z avtorskimi pravicami izdajatelja in zanje veljajo naslednji pogoji:

Fotokopiranje

V skladu z našimi zakoni o zaščiti avtorskih pravic je dovoljeno narediti eno kopijo posameznega članka za osebno uporabo. Za naslednje fotokopije, vključno z večkratnim fotokopiranjem, sistematičnim fotokopiranjem, kopiranjem za reklamne ali predstavitvene namene, nadaljnjo prodajo in vsemi oblikami neprofitne uporabe je treba pridobiti dovoljenje izdajatelja in plačati določen znesek.

Naročniki revije smejo kopirati kazalo z vsebino revije ali pripraviti seznam člankov z izvlečki za rabo v svojih ustanovah.

Elektronsko shranjevanje

Za elektronsko shranjevanje vsakršnega gradiva iz revije, vključno z vsemi članki ali deli članka, je potrebno dovoljenje izdajatelja.

Razen v zgoraj navedenih primerih brez poprejšnjega pisnega soglasja izdajatelja ni dovoljeno razširjati nobenega dela te publikacije, ga shraniti v sistemu za shranjevanje podatkov ali prenesti v kakršnikoli obliki ali s kakršnimkoli sredstvom: elektronskim, mehaničnim, fotokopiranjem, snemanjem ali kako drugače.

COPYRIGHT

Upon acceptance of an article by the Editorial Board, the author(s) will be asked to transfer copyright of the article to the publisher. The transfer will ensure widest possible disemination of information. This journal and the individual contributions contained in it are protect by the copyright of publisher, and the following terms and conditions apply to their use:

Photocopying

Single photocopies of single articles may be made for personal use as allowed by national copyright laws. Permission of the publisher and payment of a fee is required for all other photocopying, including multiple or systematic copying, copying for advertising or promotional purposes, resale, and all forms of document delivery.

Subscribes may reproduce tables of contents or prepare lists of papers including abstracts for internal circulation within their institutions.

Electronic Storage

Permission of the publisher is required to store electronically any material contained in this journal, including any paper or part of a paper.

Except as outlined above, no part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without prior written permission of the publisher.

ODGOVORNOST

Revija ne prevzame nobene odgovornosti za poškodbe in/ali škodo na osebah ali na lastnini na podlagi odgovornosti za izdelke, zaradi malomarnosti ali drugače, ali zaradi uporabe kakršnekoli metode, izdelka, navodil ali zamisli, ki so opisani v njej.

RESPONSIBILITY

No responsibility is assumed by the publisher for any injury and/or damage to persons or property as a matter of products liability, negligence or otherwise, or from any use or operations of any methods, products, instructions or ideas contained in the material herein.

Uvodnik
Editorial

Uvajanje novih tehnologij v slovensko proizvodnjo omogoča pot na evropski trg
The Introduction of New Technologies in Slovenian Manufacturing Opens the Path to European Markets

Ena od njih je prav gotovo odrezovanje z velikimi hitrostmi – VHO. Začetki segajo v 90. leta, ko je bil na slovenski trg prodan prvi tak stroj. Razlika med staro in novo tehnologijo odrezovanja je očitna. Pri VH frezanju v trdo snov se rezalna orodja vrtijo z 10.000 do 50.000 min^{-1}, kar omogoča pri majhnih premerih orodij (premer 2 do 10 mm) sprejemljive rezalne hitrosti. Jasno je, da take vrtilne frekvence zmorejo samo novi – sodobni – odrezovalni stroji. S starimi ne moremo tekmovati. Torej je prvi korak nujno potrebna investicija v nakup strojev z velikimi hitrostmi odrezovanja, kamor spadajo tudi moderna rezalna orodja, močna računalniška podpora CAD-CAM in seveda sodobna inženirska znanja. Zato se prav na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani trudimo, da bi našim študentom proizvodnega strojništva podali čim več znanja, da bodo znali uspešno izkoristiti prednosti sodobne tehnike. Ne ponujamo jim le teorij in tehnik, pač pa tudi praktično delo na VHO tehnologiji, saj smo uspešni pri frezanju v kaljeno jeklo, izdelavi elektrod iz bakra ali grafita za elektroerozijske stroje in tudi za hitro izdelavo prototipov iz plastike.

Prof.dr. Janez Kopač

One of these is high-speed cutting (HSC). Its beginnings in Slovenia go back to 1990, when the first such machine was sold here. The difference between the old and new cutting technologies is obvious. In high-speed milling of hard materials the cutting tool rotates at a speed of 10,000 to 50,000 rpm, which enables acceptable cutting speeds for small-diameter tools (diameter 2 to 10 mm). Obviously, such rotation speeds are possible only with new, modern cutting machines. With the old ones we simply cannot be competitive. Therefore the first step is the absolutely vital investment in the purchase of HSC machines, including modern cutting tools, powerful CAD-CAM support and of course modern engineering knowledge. Therefore we at the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana are endeavouring to transfer as much knowledge as possible to our students of manufacturing technology, so that they will be able to exploit modern technologies successfully. We offer them not only theories and techniques, but also hands-on experience with HSC technology; we have succeeded in the milling of tempered steel, the production of copper and graphite electrodes for electro-erosion machines, and also for rapid prototyping (RP) using plastics.

Prof.Dr. Janez Kopač

© Strojniški vestnik 46(2000)2,66-76
ISSN 0039-2480
UDK 658.531:658.74
Izvirni znanstveni članek (1.01)
© Journal of Mechanical Engineering 46(2000)2,66-76
ISSN 0039-2480
UDC 658.531:658.74
Original scientific paper (1.01)

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.

(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.

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

0 UVOD

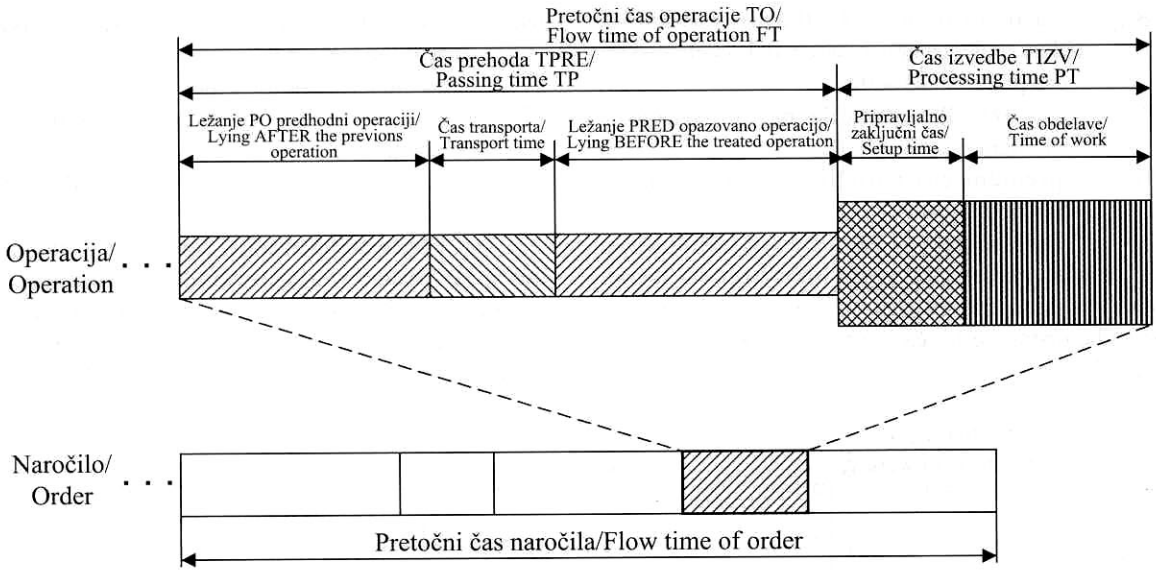
Ko govorimo o pretočnem času, moramo razlikovati med:
– pretočnim časom operacije in
– pretočnim časom naročila,
kar prikazuje slika 1.

S slike 1 vidimo, da pomeni pretočni čas operacije časovni korak, računan od časovne točke končanja naročila na prejšnjem delovnem mestu in časovno točko končanja naročila na opazovanem delovnem mestu. Pretočni čas naročila je časovni korak, računan 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.

1 DOLOČANJE PRETOČNEGA ČASA OPERACIJE

Ko govorimo o pretočnem času operacije, moramo razlikovati med:

- enodimenzijskim pretočnim časom naročila na opazovanem delovnem mestu in
- dvodimenzijskim pretočnim časom naročila na opazovanem delovnem mestu.

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

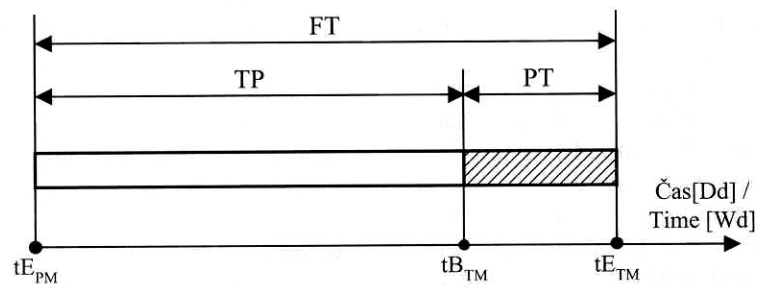
The flow time of the operation [1] is the shortest measurable flow-time unit. When talking about flow time control we have in mind the flow times of operations.

1 DEFINITION OF THE FLOW TIME OF AN OPERATION

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

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

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. *Enodimenzijski 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

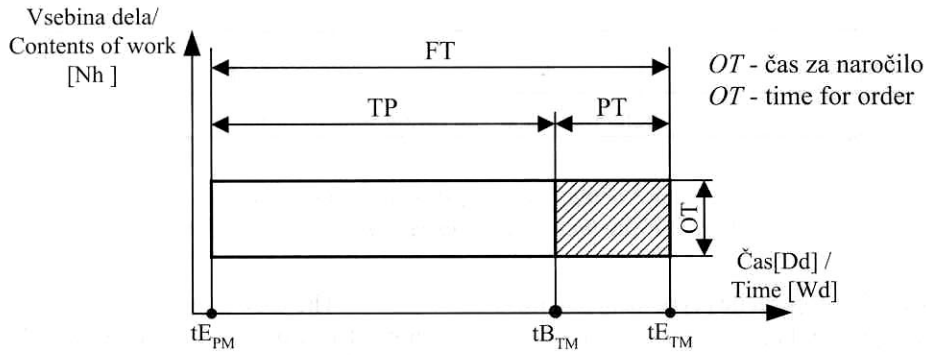
tE_{TM} - time point at the end of processing of the treated order at the treated workplace

tB_{TM} - časovna točka pričetka pripravljalno 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 activities 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 workplace

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:

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}:

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

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),

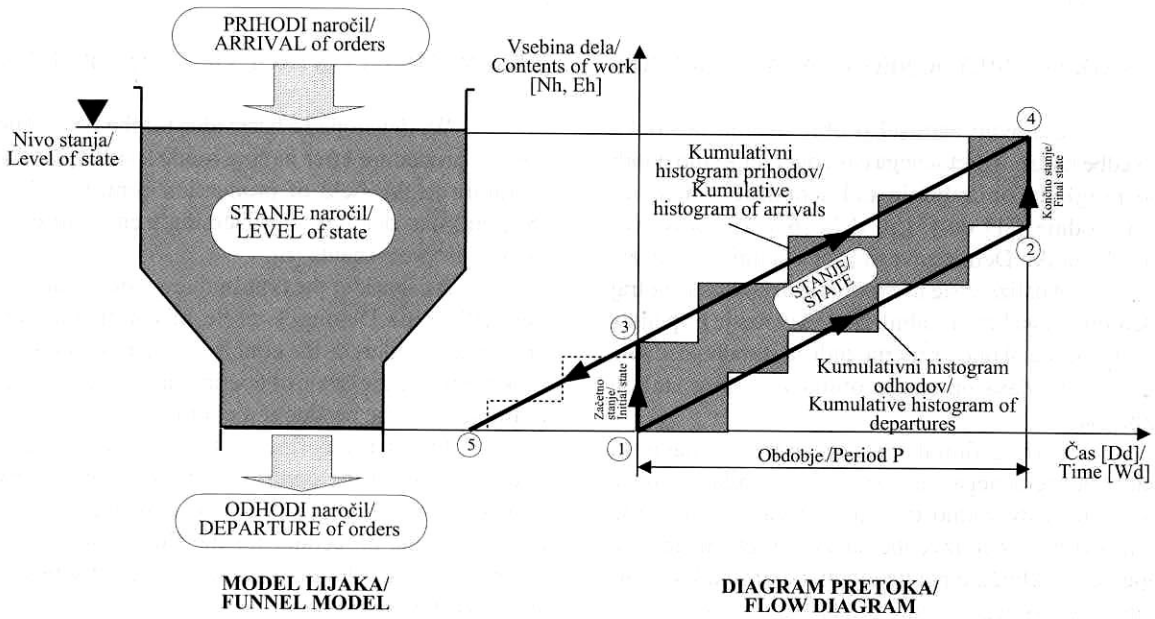
The treated workplace processes a set of orders, O_j, $(1 < j < m)$ within the treated interval, with various times for the OT_j order.

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 $\overline{FT_s}$:

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:

$$\overline{FT_s} = \frac{\sum_{j=1}^{m} FT_j}{m} \tag{2}$$

$\overline{FT_s}$ - 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

$\overline{FT_s}$ - 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

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

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:

$$\overline{FT_w} = \frac{\sum_{j=1}^{m} FT_j \cdot OT_j}{\sum_{j=1}^{m} FT_j} \tag{3}$$

$\overline{FT_w}$ - srednji tehtani pretočni čas delovne operacije
OT_j - čas za j-to naročilo

$\overline{FT_w}$ - 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.

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 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.

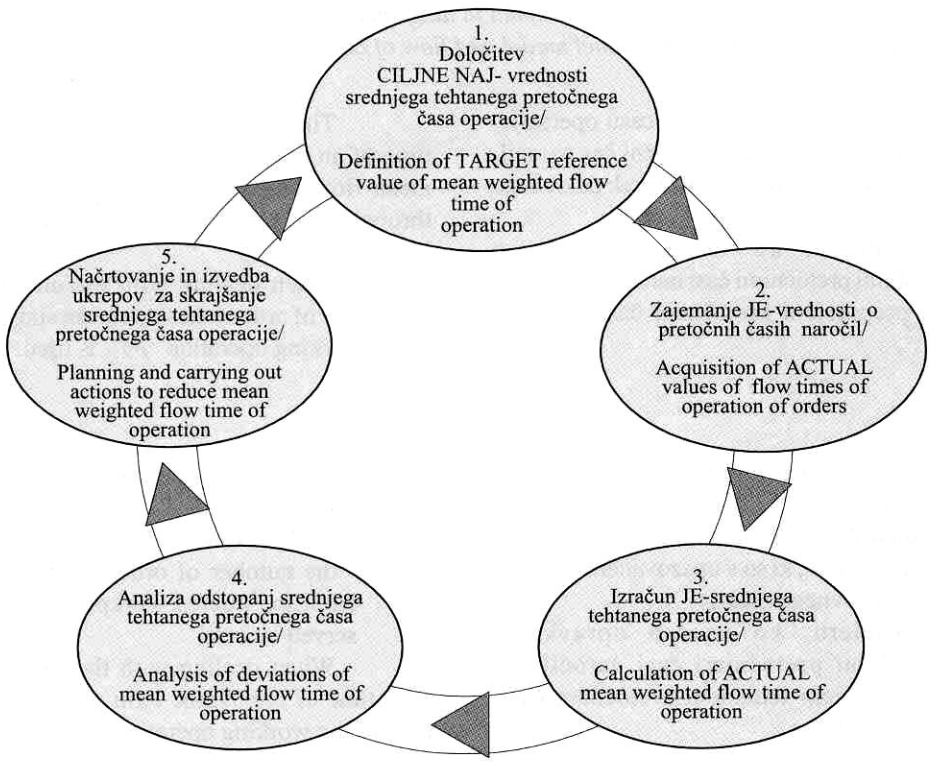
Da bi definirali vrste in zaporedja dejavnosti nadzora pretočnega časa operacije, je bila izvedena delavnica ustvarjalnosti, ki je pokazala, da naj krog oziroma postopek izvedbe nadzora pretočnega časa operacije vključuje pet dejavnosti oziroma korakov, katerih vrsto in zaporedje prikazuje slika 5.

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.

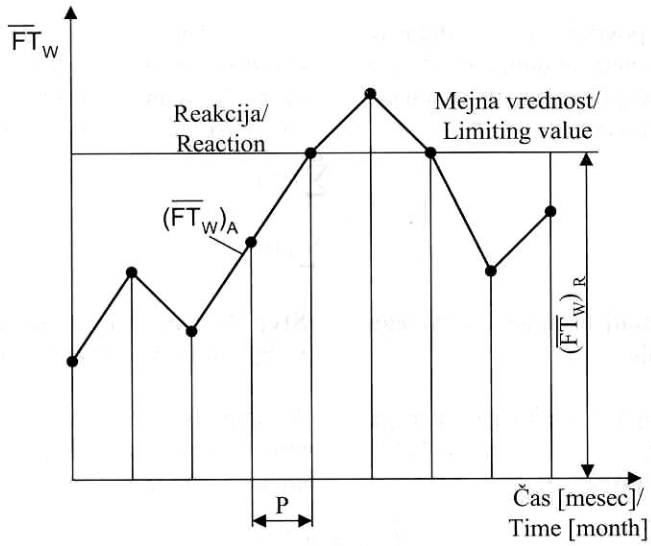
The goal of the implementation of flow-time control of the operation is the co-ordination, control and management of the mean flow time of an operation. Inadequate flow-time management of the operation causes additional states or unoccupied resources.

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.

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.

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

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:

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

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

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

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.

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

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:

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

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 $\left(FT_w\right)_R$ lahko pokaže, da je:

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 $\left(FT_w\right)_R$ may show that:

$$\left(\overline{FT}_w\right)_A \le \left(\overline{FT}_w\right)_R$$

ali / or (6).

$$\left(\overline{FT}_w\right)_A > \left(\overline{FT}_w\right)_R$$

V splošnem lahko razmejimo dva primera, in sicer:
1. $\left(\overline{FT}_w\right)_A \le \left(FT_w\right)_R \rightarrow$ ni ukrepanja
2. $\left(FT_w\right)_A > \left(FT_w\right)_R \rightarrow$ 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).

In general there are two different cases:
1. $\left(\overline{FT}_w\right)_A \le \left(FT_w\right)_R \rightarrow$ no action
2. $\left(FT_w\right)_A > \left(FT_w\right)_R \rightarrow$ 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).

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

Če je $\left(FT_w\right)_A > \left(FT_w\right)_R$, 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 pripravljalno 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 5: Planning and carrying out actions to reduce the mean weighted flow time of the operation

If $\left(FT_w\right)_A > \left(\overline{FT}_w\right)_R$ 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 Hannovru, 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 pekarne 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:

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:

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

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

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: / Workplace: 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 $\left(\overline{FT}_w\right)_A$ 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:

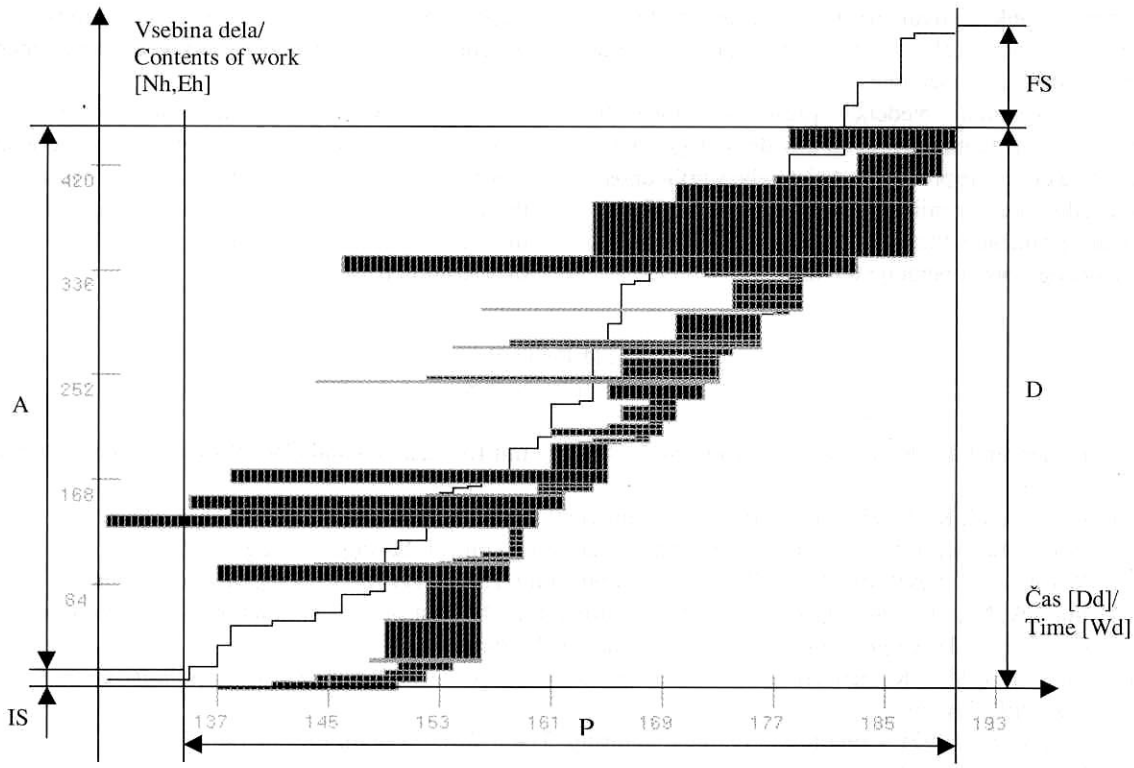
- flow diagrams with the areas of flow times of orders,
- actual mean weighted flow times of working operations.

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 $\left(\overline{FT}_w\right)_A$ 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 lenght 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 $\left(\overline{FT}_w\right)_A$ Dd/ Actual mean weighted flow time $\left(\overline{FT}_w\right)_A$ 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 Fertigunssteuerung. *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

© Strojniški vestnik 46(2000)2,77-89
ISSN 0039-2480
UDK 658.51:519.2
Izvirni znanstveni članek (1.01)
© Journal of Mechanical Engineering 46(2000)2,77-89
ISSN 0039-2480
UDC 658.51:519.2
Original scientific paper (1.01)

Postopek izbire sistema načrtovanja in krmiljenja proizvodnje

A Production Planning and Control System Selection Procedure

Marko Starbek - Janez Grum

Sistem načrtovanja in krmiljenja proizvodnje, kratko sistem PPS, ima poglavitno nalogo, da v podjetju reši zapleteni problem načrtovanja in krmiljenja proizvodnje.

Trg ponuja množico komercialnih računalniško podprtih sistemov PPS in v podjetjih se srečujejo s problemom, kako iz množice ponujenih sistemov izbrati za konkretno podjetje najprimernejši sistem PPS.

V prispevku je prikazana splošna struktura sistema PPS, ki prikazuje logično zaporedje izvajanja nalog načrtovanja in krmiljenja proizvodnje, ter opisan dvofazni postopek izbire najprimernejšega sistema PPS.

Testiranje dvofaznega postopka izbire najprimernešega sistema PPS je bilo izvedeno v podjetju, ki je proizvajalec ključavnic in okovja. Po rezultatih testov se je poslovno vodstvo nazadanje lahko odločilo za najprimernejši sistem PPS.

(Ključne besede: sistemi PPS, koristnost, funkcije sistemske, strukture sistemov)

The basic task of a production planning and control (PPC) system is to solve the complex tasks of production planning and control in a company.

There are several computer-aided PPC systems commercially available, and companies find it difficult to select the optimal system from the wide variety of systems available on the market.

This paper presents the general structure of a PPC system, showing the logical execution sequence of production planning and control tasks, and describes a two-phase selection of an optimal PPC system.

The two-phase procedure of selecting an optimal PPC system was tested in a company that produces locks and metal parts. Based on the test results the company management selected the optimal PPC system.

(Keywords: PPC systems, benefits, system functions, system structure)

0 UVOD

Na tržišču se pojavljajo različni računalniško podprti sistemi PPS, ki omogočajo izvajanje nalog načrtovanja in krmiljenja proizvodnje [1]. Ključno vprašanje je, kako izbrati za podjetje najprimernejši sistem PPS in kako izbrani sistem hitro in dovolj uspešno uvesti.

Metodologija načrtovanja in krmiljenja proizvodnje pravi, da načrtovanje proizvodnje vključuje naloge: načrtovanje primarnih potreb, načrtovanje materialnih potreb, pretočno terminiranje naročil in izravnava zmogljivosti, krmiljenje proizvodnje pa naloge: spuščanje naročil, fino terminiranje naročil ter zbiranje podatkov in nadzor proizvodnje [2].

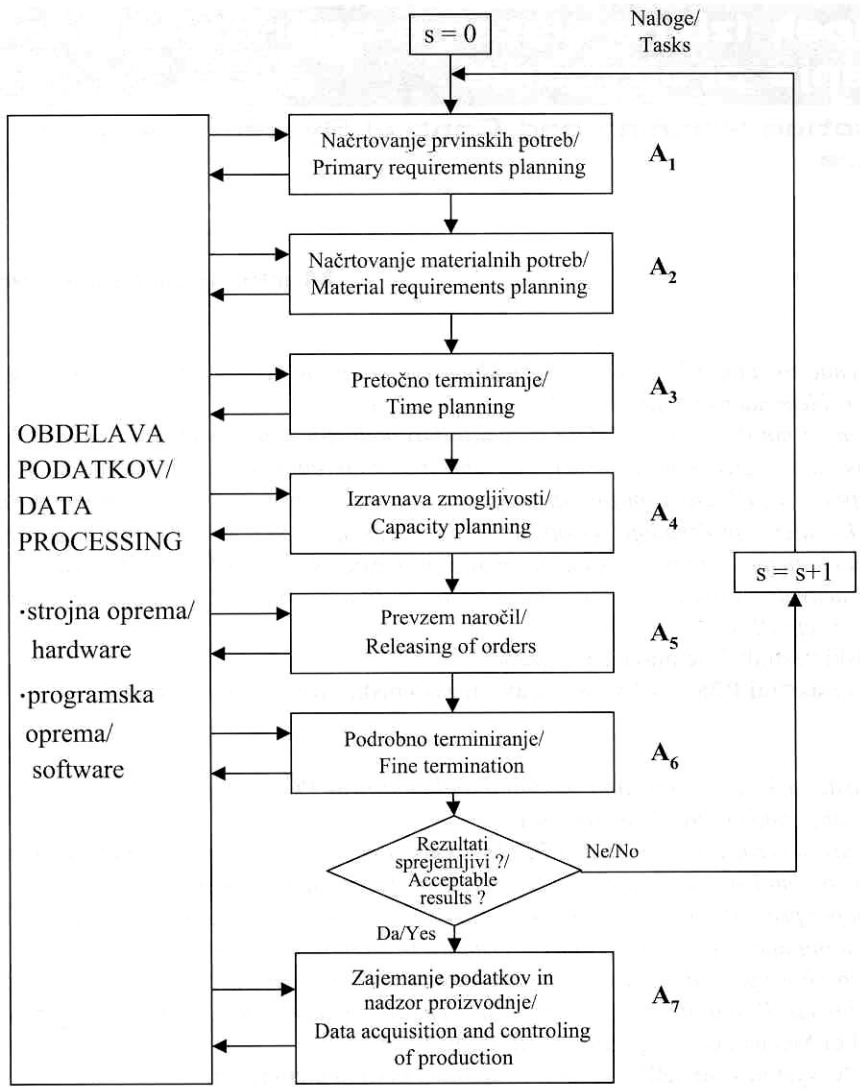
Prikaz logičnega zaporedja izvajanja vseh nalog načrtovanja in krmiljenja proizvodnje ter potrebnega toka informacij nas pripelje do strukture sistema PPS, ki jo prikazuje slika 1.

0 INTRODUCTION

There are various computer-aided PPC systems available on the market and they all allow for processing of production planning and control tasks [1]. The main issue here is how to select the optimal PPC system for a given company.

According to production planning and control methodology, production planning consists of: primary needs planning, material needs planning, flow termination of orders, and resources levelling, while production control consists of: releasing of orders, fine termination of orders, and data acquisition [2].

To show the logical sequence of production planning and control tasks, together with the required information flow, the structure of the PPC system should be constructed, as shown in Figure 1.



Sl. 1. *Struktura sistema PPS*
Fig.1. *Structure of the PPC system*

Načrtovanje in krmiljenje proizvodnje se prične z rešitvijo naloge A_1 - "Načrtovanje prvinskih potreb". Izstopni podatki naloge A_1 lahko predstavljajo vhodne podatke za izvedbo naloge A_2 - "Načrtovanje materialnih potreb", ali se začasno shranijo za druge naloge sistema PPS.

Če nosilec odločitev po prvi izvedbi nalog A_1 do A_6 ni zadovoljen z doseženimi rezultati, lahko naloge delno ali v celoti ponavlja (izvedba iteracij), dokler ne pride do želenih rezultatov.

Analiza razpoložljivih komercialnih sistemov PPS je pokazala, da so si sistemi po sestavi zelo podobni, saj vsi omogočajo reševanje sedmih nalog načrtovanja in krmiljenja proizvodnje, razlikujejo pa se v:

- primernosti sistema za ugotovljeni tip proizvodnje (individualna, serijska ali masovna),
- potrebni strojni opremi, programskem jeziku in sistemski ureditvi baz podatkov,

Production planning and control starts with the A_1 task – Primary requirements planning. Output data from the A_1 task can either present input data for execution of the A_2 task – Material requirements planning, or else it can be temporarily stored for other PPC-system tasks.

If the decision-maker is not satisfied with the results obtained after the first execution of tasks A_1 to A_6 then the tasks can be completely or partially (iteratively) repeated until the desired results have been obtained.

An analysis of commercially available PPC systems has shown that the structures of all systems are very similar: they all provide the solution to the seven tasks of production planning and control. However, some of the differences between them are:

- suitability for a particular production type (individual, serial or mass production),
- required hardware, programming language and database system,
- minimum and maximum cost of software and hardware,

- najmanjših in največjih stroških za nakup strojne in programske opreme,
- metodah načrtovanja in krmiljenja proizvodnje,
- sistemih JIT, KANBAN, sočasni inženiring,
- vmesnikih za lastne in tuje programe,
- kakovosti izvajanja nadzora proizvodnje.

Da bi podjetju uspelo iz množice ponujenih komercialnih sistemov PPS izbrati najprimernejši sistem, mora izdelati projekt izbire sistema PPS, ki naj da odgovor na vprašanje o vrstah in zaporedju izvajanja dejavnosti projekta.

1 PROJEKT IZBIRE SISTEMA PPS

Izboro sistema PPS si lahko predstavljamo kot projekt, katerega strukturo je mogoče določiti z izvedbo delavnice ustvarjalnosti [3].

V okviru Laboratorija za proizvodne sisteme na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani smo oblikovali raziskovalno skupino, da določi strukturo projekta izbire sisema PPS (delavnica ustvarjalnosti) in pripravi vse potrebne podatke oziroma informacije za uspešno vrednotenje komercialnih sistemov PPS.

Rezultat izvedbe delavnice ustvarjalnosti, to je struktura WBS [4] projekta izbire sistema PSS, je viden na sliki 2.

- available methods of production planning and control,
- incorporation of JIT, KANBAN, and concurrent engineering systems,
- available interfaces for other software,
- quality of production control.

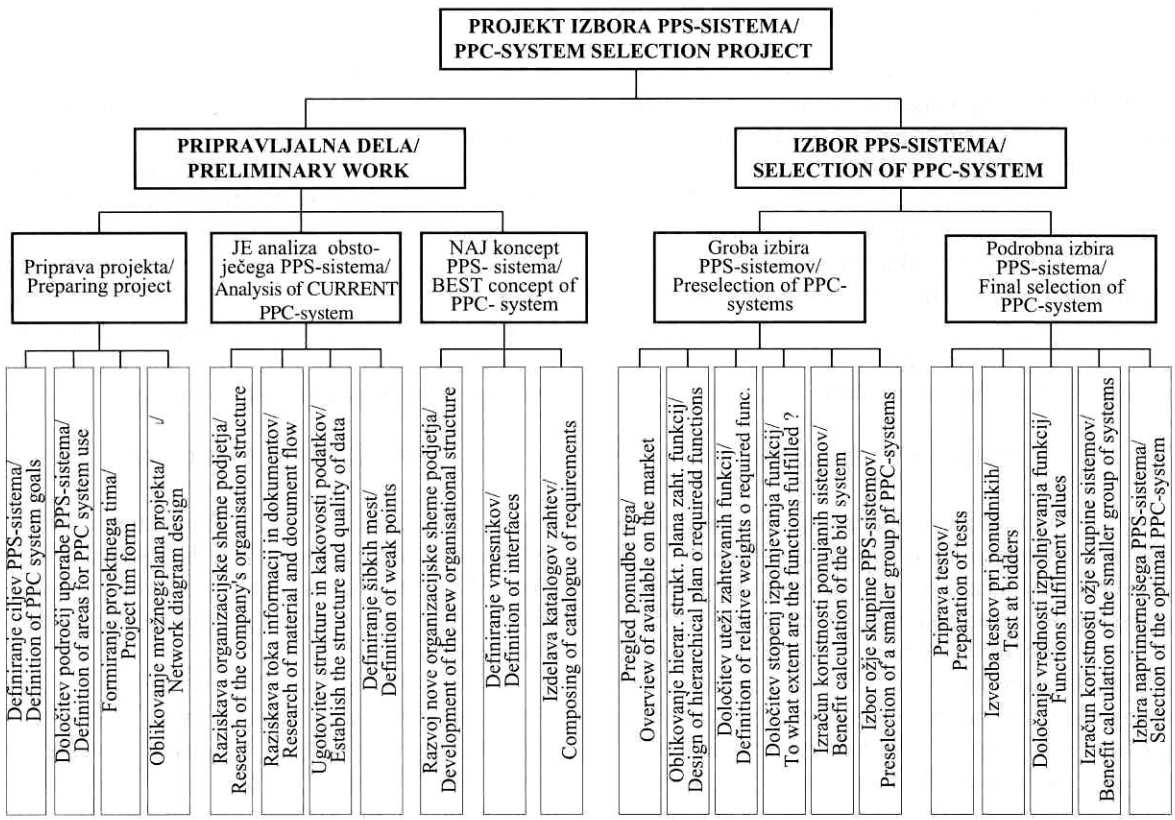
In order to select the optimal system from the many commercially available PPC systems a company should design a project for the PPC-system selection. The project should be designed to assess which activities should be performed, and in what sequence.

1 PPC-SYSTEM SELECTION PROJECT

The PPC-system selection can be presented as a project, whose structure can be defined during a creativity workshop [3].

In the Production Systems Laboratory of the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana, Slovenia, a research team has been formed which can define the structure of a PPC system selection project (in a creativity workshop), and prepare all the required data for successful evaluation of commercial PPC systems.

The result of the creativity workshop should be the WBS structure [4] of the PPC-system selection project, as shown in Figure 2.



Sl. 2. *Struktura WBS projekta izbire sistema PPS*
Fig. 2. *WBS structure of PPC-system selection project*

Kakor vidimo s slike 2, celotni projekt izbire sistema PSS sestavljata dve sklenjeni enoti – podprojekta, in sicer:
- pripravljalna doba,
- izbira sistema PPS.

Za vsakega izmed naštetih podprojektov je raziskovalna skupina z izvedbo delavnice ustvarjalnosti (klasična metoda možganski vihar) definiral skupine dejavnosti in tem pripadajoče dejavnosti.

Podprojekt "pripravljalna dela" se prične s pripravo projekta, nadaljuje z JE-analizo sedanjega sistema PPS in konča z NAJ-konceptom predlaganega sistema PPS.

V okviru "priprave projekta" mora vodstvo podjetja definirati cilje sistema PPS, določiti področja uporabe sistema ter določiti sestavo projektne skupine, katere prva naloga je, da načrta mrežni diagram celotnega projekta izbire sistema PPS.

JE-analiza sedanjega sistema PPS mora pokazati sedanjo organizacijsko shemo podjetja in tok informacij, kar je pogoj za definiranje šibkih mest sedanjega sistema.

NAJ-koncept sistema PPS pa pokaže želeno organizacijsko shemo podjetja z zahtevanimi funkcijami sistema PPS.

Podprojekt "izbira sistema PPS" se prične z grobo izbiro in konča s podrobno izbiro sistema PPS.

V okviru grobe izbire sistemov PPS je treba pregledati na trgu ponujane sisteme in izvesti, glede na poprej postavljene kriterije, njihovo vrednotenje.

Podrobna izbira sistemov terja pripravo in izvedbo testov pri ponudnikih sistemov PPS in zapisovanje rezultatov izpolnjevanja funkcij.

V tem prispevku bomo prikazali način vrednotenja komercialnih sistemov PPS, in to po kriterijih, sprejetih na ravni poslovnega vodstva podjetja, ki želi v čim krajšem času uspešno izbrati računalniško podprti sistem PPS.

2 IZBIRA SISTEMA PPS

Raziskovalci Laboratorija za proizvodne sisteme Fakultete za strojništvo v Ljubljani so stali pred temeljno nalogo, kako oziroma po kakšnem postopku izvesti grobo in nato podrobno izbiro sistemov PPS.

Odločili so se, da bodo v prvi fazi sestavili postopek izvedbe grobe izbire sistemov, ki bo omogočala iz dane množice ponujanih sistemov poiskati ožjo skupino treh do petih sistemov, ki v največji stopnji izpolnjujejo zahteve po želenih funkcijah iskanega sistema PSS. Izhodiščne podatke za izvedbo grobe izbire bodo predstavljali poenoteni podatki o izpolnjevanju oziroma neizpolnjevanju zahtevanih funkcij iskanega sistema.

As can be seen from Figure 2, the PPC-system selection project consists of two units (sub-projects):
- preliminary work,
- PPC-system selection.

For each of the above-mentioned sub-projects the research team organised a creativity workshop (classical brainstorming method) in which activity groups and their corresponding activities were defined.

The Preliminary-work sub-project starts with the preparation of the project, continues with the analysis of the current PPC system and finishes with a reference concept of the proposed PPC-system.

During the preparation of the project the company management should define the goals of the PPC system, the scope of the system use, and the composition of the project team, whose first task is to design the network diagram of the whole project for the PPC-system selection.

Analysis of the current PPC system should present the existing organisation scheme of the company and its information flow; from this data, weak points of the existing system can be identified.

The concept of the reference PPC system shows the desired organisation scheme of the company and the required functions of the new PPC system.

The PPC system selection sub-projects start with pre-selection and end with final selection of the PPC system.

During pre-selection of the PPC systems it is necessary to make an overview of the commercially available systems and evaluate them according to the pre-defined criteria.

Final selection of the PPC system requires preparation and execution of tests, performed at the bidders, and making notes on function-fulfilment results.

This article will present a method for the evaluation of commercially available PPC systems, using the criteria of a company management that wants to spend a minimum amount of time on the successful selection of a computer-aided PPC system.

2 PPC-SYSTEM SELECTION

The basic task of the Production Systems Laboratory research group from the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana, Slovenia, was to devise a procedure for pre-selection and final selection of the PPC systems.

It was decided that in the first phase (PPC system pre-selection) the large set of available PPC systems should be reduced to a smaller group (3 to 5 systems), which best fulfil the requirements of the company regarding the system functions. Input data for pre-selection is uniform data about the fulfilment of required system functions.

V drugi fazi pa bodo sestavili postopek izvedbe podrobne izbire, ki bo omogočala iz ožje skupine sistemov poiskati najprimernejši sistem. Izhodiščni podatki za izvedbo podrobne izbire bodo podatki o izvedenih testih pri ponudnikih sistemov. Izvedba testov pri ponudnikih sistemov naj bi trajala dva do tri dni. Prvi dan naj bi bilo izvedeno testiranje delovanja celotnega sistema in pri tem naj bi sodelovali vsi raziskovalci oziroma člani skupine, drugi in po potrebi tretji dan pa naj bi bilo izvedeno testiranje delovanja posameznih modulov sistema, in to v navzočnosti ožje skupine raziskovalcev.

V strokovni literaturi je poznanih več metod iskanja ožje skupine ponujanih sistemov PPS oziroma najprimernejšega sistema ([5] in [6]).

Po pregledu razpoložljivih metod se je razvojna skupina odločila za uporabo metode analize koristnosti [5] tako pri postopku grobe kakor tudi podrobne izbire sistemov.

Da bi raziskovalna skupina lahko oblikovala hierarhični strukturni načrt zahtevanih funkcij sistema PPS, je najprej analizirala razpoložljive funkcije množice ponudnikov sistemov PPS [2] in po rezultatih analize pripravila katalog zahtevanih funkcij novega sistema, ki pomeni temelj za oblikovanje načrta zahtevanih funkcij sistema. Slika 3 prikazuje načelo oblikovanja strukturnega načrta zahtevanih funkcij sistema.

Na prvi ravni strukturnega načrta so definirane zahtevane skupine razpoložljivih metod od načrtovanja primernih potreb do zaščite podatkov. Na drugi ravni so zahtevanim skupinam metod prirejene metode delnega reševanja nalog, na tretji ravni pa so tem prirejene osnovne metode reševanja

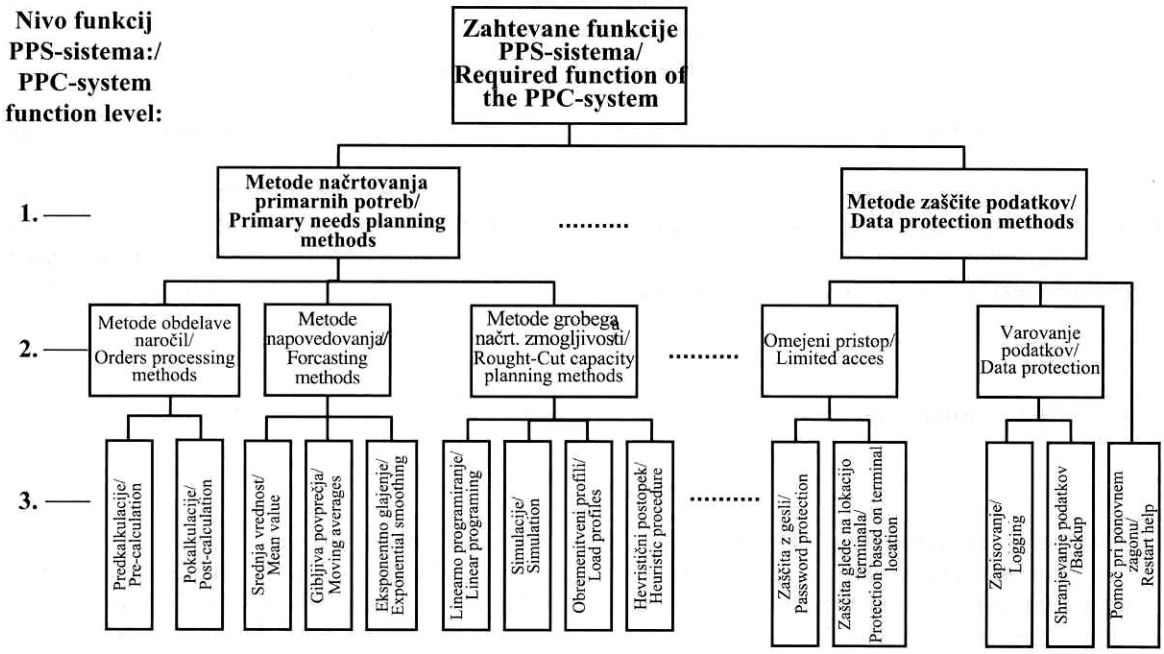
The purpose of the second phase (final selection) is to find out which PPC system from the smaller group is optimal for the company. Input data for final selection is obtained by tests at the vendors. The tests should last two to three days with each system vendor. On the first day, the whole system is tested in the presence of all project team members. On the second (and if needed, the third) day, detailed tests of individual modules of the system should be made in the presence of a smaller group of team members.

There are several methods available for the pre-selection of the smaller group of systems and selection of the optimal PPC system ([5] and [6]).

After making a survey of available methods, the development team chose the benefit analysis method [5] for pre-selection and final selection.

In order to design a hierarchical structural plan of the required PPC- system functions, the research team first analysed the functions of the available PPC systems [2]. Based on the analysis results, a catalogue of the required system functions was made, which was the basis for designing a plan of the required system functions. Figure 3 shows the principle structural design of the required system functions.

On the first level of the structural plan the required groups of available methods are defined (from primary requirements planning to data protection). On the second level, partial solutions of tasks are defined, and on the third level basic methods for



Sl. 3. *Strukturni plan zahtevanih funkcij sistema*
Fig.3. *Structure of required PPC system functions*

nalog načrtovanja in krmiljenja proizvodnje, ki predstavljajo zahtevane funkcije sistema:

production planning and control are defined – they are the required system functions:

$$f_1, \ldots, f_i, \ldots, f_n$$

f_i – i-ta zahtevana funkcija sistem PPS ($1 \le i \le n$)

Ker so zahtevane funkcije sistema PPS običajno različno pomembne, je skupina ocenjevala pomembnost funkcij (nujno potrebne, potrebne, koristne, nepotrebne) in nato z metodo primerjave parov [4] priredila pomembnost zahtevanim funkcijam:

f_i – i-th function required of the PPC system ($1 \le i \le n$)

Since the required functions of the PPC system have different degrees of importance, the team evaluated the importance of functions (absolutely needed, needed, useful, useless), and then appointed relative weights to the required functions using a pair comparison method [4]:

$$u_1, \ldots, u_i, \ldots, u_n$$

u_i - pomembnost i-te zahtevane funkcije sistema PPS ($1 \le i \le n$)

Pomembnosti zahtevanih funkcij so normirane s tem, da je njihova vsota enaka 1.

u_i – relative weight of the i-th function of the PPC system ($1 \le i \le n$)

Weights of the required functions are normalised, so that their sum is equal to 1.

2.1 Groba izbira sistemov PPS

V postopku grobe izbire sistemov je raziskovalna skupina, po podatkih ponudnikov sistemov, za vsak ponujeni sistem lahko ugotovila, ali opravlja ali ne opravlja določene zahtevane funkcije sistema. Torej, za j-ti ponujani sistem je sestavil n-terico števil s_{ij} funkcionalnosti sistema:

2.1 Pre-selection of the PPC systems

In this step of the pre-selection of the PPC systems the research team has determined for each system (on the basis of the system bidders data) whether it fulfils the particular required function or not. For the j-th system, therefore, an n-tuple of numbers s_{ij} has been composed (functionalities of the system):

$$s_{1j}, \ldots, s_{ij}, \ldots, s_{nj}$$

kjer je funkcionalnost definirana:

where functionality is defined as:

$$s_{ij} = \begin{cases} 1, \textit{ j-ti ponujani sistem opravlja i-to funkcijo} \\ 1, \textit{if the system performs the i-th function} \\ 0, \textit{ j-ti ponujani sistem ne opravlja i-te funkcije} \\ 0, \textit{if the system does not perform the i-th function} \end{cases}$$

s_{ij} – dejavnost i-te funkcije, j-tega sistema ($1 \le j \le m$)

Na osnovi podatkov o utežeh zahtevanih funkcij sistema u_i in dejavnosti funkcij j-tega sistema s_{ij} je raziskovalna skupina lahko sestavila vsoto zmnožkov uteži in funkcionalnosti j-tega sistema:

s_{ij} – functionality of the i-th function in the j-th system ($1 \le j \le m$)

On the basis of the relative weights of the system u_i and functionalities of functions of the j-th system s_{ij}, the research team made a sum of products of weights and functionalities of the j-th system:

$$u_1 . s_{ij} +, \ldots, + u_i . s_{ij} + ,\ldots, + u_n . s_{nj}$$

ki predstavlja koristnost j-tega sistema:

which is the benefit of the j-th system:

$$k_j = \sum_{i=1}^{n} u_i \cdot s_{ij}$$

k_j - koristnost j-tega ponujanega sistema.

Raziskovalna skupina je ugotovila, da je primerno izračun koristnosti ponujenih sistemov zapisati v pregledni matrični obliki. V ta namen je bilo treba sestaviti tri matrike, in sicer:

- matriko **U** uteži u_i, ki ima eno vrstico in n stolpcev:

k_j – benefit of the j-th system

The research team found it useful for the calculated benefit of all treated systems to be clearly written in a matrix form. For this purpose the following three matrices had to be defined:

- Matrix **U** of weights u_i, which has one line and n columns:

$$\mathbf{U} = [u_1, \ldots, u_i, \ldots, u_n]$$

– matriko **S** funkcionalnosti s_{ij} ponujanih sistemov, ki ima n vrstic in m stolpcev:

– Matrix **S** of functionalities s_{ij} of the treated systems, which has n lines and m columns:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1j} & \cdots & s_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ s_{i1} & \cdots & s_{ij} & \cdots & s_{im} \\ \vdots & & & & \vdots \\ s_{n1} & \cdots & s_{nj} & \cdots & s_{nm} \end{bmatrix}$$

– matriko **K** koristnosti k_j ponujanih sistemov, ki ima eno vrstico in m stolpcev:

– Matrix **K** of benefit k_j of the treated systems, which has one line and m columns:

$$\mathbf{K} = [k_1, \ldots, k_j, \ldots, k_m]$$

Po pravilu množenja matrik je tedaj matrika koristnosti ponujanih sistemov:

Using the rule of multiplying matrices we get the benefit matrix of the treated systems:

$$\mathbf{K} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{S}$$

Z razvrstivijo elementov matrike koristnosti **K** raziskovalna skupina pride do ožje skupine treh do petih sistemov za podrobno izbiro.

By ranging elements of the benefit matrix **K,** the research team can get the smaller group of three to five systems, which will be used in the final selection.

2.2 Podrobna izbira sistema PPS

Postopek fine izbire najprimernejšega sistema PPS se prične z izvedbo testov pri ponudnikih ožje skupine treh do petih sistemov in zapisovanjem točkovnih vrednosti izpolnjevanja zahtevanih funkcij s_{ij}*.

Torej, za j-ti sistem ožje skupine je raziskovalna skupina sestavila n-terico števil s_{ij}* točkovnih vrednosti izpolnjevanja zahtevanih funkcij sistema:

2.2 Final selection of the PPC system

The final selection of the optimal PPC system starts with tests of the systems from the smaller group at the bidders. Notes are made about the fulfilment of required functions s_{ij}*.

For the j-th system of the smaller group the research team therefore made an n-tuple of numbers s_{ij}* (fulfilment of the i-th function in the j-th system):

$$s_{1j}^*, \ldots, s_{ij}^*, \ldots, s_{nj}^*$$

kjer je s_{ij}* lahko med 0 in 100 točk.
s_{ij}* - točkovna vrednost izpolnjevanja i-te funkcije, j-tega sistema ožje skupine

Po podatkih o pomembnosti zahtevanih funkcij sistema u_i in točkovnih vrednostih izpolnjevanja funkcij j-tega sistema s_{ij}* je skupina lahko sestavila vsoto zmnožkov pomembnosti in točkovnih vrednosti izpolnjevanja funkcij j-tega sistema:

where s_{ij}* can be between 0 and 100 points.
s_{ij}* – fulfilment of the i-th function in the j-th system (smaller group)

The team made a sum of products of relative weights of the required functions u_i and fulfilment of functions of the j-th system s_{ij}*:

$$u_1 \cdot s_{ij}^* + \ldots + u_2 \cdot s_{ij}^* + \ldots + u_n \cdot s_{nj}^*$$

ki pomeni koristnost j-tega sistema ožje skupine:

which is the benefit of the j-th system of the smaller group:

$$k_j^* = \sum_{i=1}^{n} u_i \cdot s_{ij}^*$$

k_j* - koristnost j-tega sistema ožje skupine

Tudi pri podrobni izbiri je primeren izračun koristnosti ožje skupine sistemov mogoče zapisati v matrični obliki, v ta namen je treba sestaviti dve matriki, in sicer:

k_j* – benefit of the j-th system of the smaller group

During final selection of the PPC system, it is also useful to calculate the benefit of the smaller group in a matrix form; for this purpose it is necessary to form the following matrices:

– matriko **S*** točkovnih vrednosti izpolnjevanja zahtevanih funkcij ožje skupine sistemov s_{ij}*, ki ima n vrstic in tri oziroma pet stolpcev:

– Matrix **S*** for the fulfilment of the required functions s_{ij}* in the pre-selected systems (the matrix has n rows and three to five columns):

$$\mathbf{S}^* = \begin{bmatrix} s^*_{11} & s^*_{12} & s^*_{13} & s^*_{14} & s^*_{15} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s^*_{i1} & s^*_{i2} & s^*_{i3} & s^*_{i4} & s^*_{i5} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s^*_{n1} & s^*_{n2} & s^*_{n3} & s^*_{n4} & s^*_{n5} \end{bmatrix}$$

– matriko **K*** koristnosti k_j* sistemov ožje skupine, ki ima eno vrstico in pet stolpcev:

– Matrix **K*** for the benefit k_j* of the treated systems (the matrix has one row and five columns):

$$\mathbf{K}^* = [k_1^*, k_2^*, k_3^*, k_4^*, k_5^*]$$

Po pravilu množenja matrik je tedaj matrika koristnosti ožje skupine sistemov:

Using the rule of multiplying matrices we get the benefit matrix of the smaller group:

$$\mathbf{K}^* = \mathbf{U} \cdot \mathbf{S}^*$$

Z razvrščanjem elementov matrike koristnosti **K*** raziskovalna skupina končno pride do najprimernejšega oziroma optimalnega sistema PPS:

By ranking the elements of benefit matrix **K***, the research team finally arrives at the optimal PPC system:

$$k_{\text{opt}}^* = \max_{j=1\ldots5}\{k^*_j\}$$

V nadaljevanju bo prikazan primer izbire optimalnega sistema PPS.

The following is a sample case of optimal PPC system selection.

3 PRIMER IZBIRE SISTEMA PPS

Podjetje, ki se je odločilo za izbiro optimalnega komercialnega sistema PPS, je proizvajalec ključavnic in okovja.

Ko je poslovno vodstvo analiziralo sedanji sistem načrtovanja in krmiljenja proizvodnje, je ugotovilo naslednje pomanjkljivosti sistema:

- ni enotne baze podatkov,
- ni sprotnih povratnih informacij,
- reševanje nalog načrtovanja in krmiljenja proizvodnje je le delno računalniško podprto,
- časi izvedbe nalog so predolgi,
- dogovorjeni roki so pogosto prekoračeni.

V fazi priprave na izbiro sistema PPS je poslovno vodstvo z izvedbo delavnice ustvarjalnosti prišlo do pričakovanih ciljev izbire in uvedbe novega sistema PSS, in sicer:

- enotne baze podatkov,
- sistemskega postopka dopolnjevanja sedanjih baz podatkov,
- tekočega spremljanja in nadzora naročil,
- brezpogojnega izpolnjevanja dogovorjenih rokov,
- krajšega pretočnega časa naročil,
- preglednosti stanja zmogljivosti.

Na temelju analize pričakovanih ciljev se je poslovno vodstvo odločilo za oddelke in dejavnosti, ki bodo vključene v novi sistem, in to:

- razvoj proizvodov, ki mora s svojimi novostmi

3 SAMPLE CASE OF PPC- SYSTEM SELECTION

The company which decided to select the optimal commercial PPC system produces locks and metal parts.

When the company management analysed the current PPC system they found the following key problems:

- there is no uniform database,
- there is no real-time feedback information,
- PPC system tasks are only partially computer-aided,
- execution of tasks takes too much time,
- agreed terms are often exceeded.

In the preparatory phase of the PPC system selection the management organised a creativity workshop and got the expected goals of selection and implementation of the new PPC system:

- uniform database,
- systematic approach to the current databases upgrade,
- continuous monitoring and supervision of orders,
- unconditional fulfilment of agreed terms,
- shorter flow times of orders,
- transparent state of resources.

Based on the analysis of the expected goals, the management decided that the following departments be included in the new system:

- development department – it should provide new

zagotoviti izdelke, ki bodo konkurenčni na trgu,
- konstrukcijo, ki mora pri svojem delu upoštevati sedanje zmogljivosti podjetja,
- tehnologijo, ki mora načrtovati takšne tehnološke postopke, ki bodo zagotavljali kakovost in gospodarnost,
- pripravo proizvodnje, ki mora zagotoviti največji pretok naročil,
- proizvodnjo, ki mora izvesti naročila ob pravem času, v pravi količini in zahtevani kakovosti,
- skladišča, ki morajo biti organizirana tako, da bo v njih čim manj materiala, da pa nikoli ne bo prišlo do pomanjkanja.

Po daljši razpravi je poslovno vodstvo določilo tudi naloge, ki naj bi jih reševal novi sistem PPS:
- načrtovanje prvinskih potreb glede na prejeta naročila ter napovedi,
- načrtovanje materialnih potreb za nemoteno izvedbo prvinskih potreb,
- pretočno terminiranje naročil glede na dogovorjene dobavne roke,
- izravnava zmogljivosti, za katere se načrtuje prevelika obremenjenost,
- sprejem naročil glede na dogovorjena prednostna pravila,
- podrobno terminiranje naročil glede na dogovorjene roke in razpoložljivost zmogljivosti,
- zbiranje podatkov o izvedenih naročilih,
- nadzor proizvodnje, ki poskrbi za tekočo primerjavo NAJ/JE podatkov o izvedbi naročil in pripravi predloge ukrepov.

Nazadnje se je poslovno vodstvo odločilo, da bo treba pri izbiri novega sistema PPS upoštevati naslednje omejitve:
- stroški nakupa strojne in programske opreme novega sistema PPC so omejeni,
- dobavitelj programske opreme mora imeti v Sloveniji pooblaščenega zastopnika,
- dobavitelj programske opreme mora imeti v Sloveniji najmanj eno referenco,
- v izbiro naj bodo vključeni le komercialni sistemi, ki ustrezajo tipu proizvodnje podjetja.

Na predlog poslovnega vodstva je bila oblikovana sedemčlanska projektna skupina, ki naj poskrbi za izbiro novega sistema PPS.

Projektna skupina je pričela postopek grobe izbire sistemov PPS.

Najprej se je seznanila z literaturo, ki daje pregled nad razpoložljivimi funkcijami ponudnikov komercialnih sistemov [2] in na podlagi zbranih podatkov oblikovala katalog največje zmogljivosti ponujenih sistemov. Katalog je poslala vodjem služb, ki bodo vključene v novi sistem, s prošnjo, da za vsako dejavnost ocenijo pomembnost funkcije, in to z enim od predlaganih simbolov (nujno potrebna ++; potrebna +; koristna 0; nepotrebna -).

competitive products,
- design department – it should take into account the current resources of the company,
- technology department – it should plan technological procedures that will provide quality and efficiency,
- production prepare – it should provide maximum flow of orders,
- production – it should process the orders at the right time, in the right quantity and of the required quality,
- warehouses – they should be organised in such a way that there is a minimum amount of material in them, yet there should never be a problem of shortages.

After a lengthy discussion the management defined the tasks which should be solved by the new PPC system:
- planning primary needs with respect to obtained orders and prognoses,
- planning material needs for undisturbed fulfilment of primary needs,
- flow termination of orders according to agreed delivery terms,
- resources levelling where too high a load is expected,
- releasing orders according to agreed priority rules,
- fine termination of orders in accordance with agreed terms and available resources,
- data acquisition of processed orders,
- production control, which should make continuous comparisons of the reference and actual data about accomplishment of orders and preparation of proposed measures.

Finally the company management decided that the following restrictions should be taken into account when selecting the new PPC system:
- costs for the hardware and software of the new PPC system are limited,
- supplier of software should have an authorised representative in Slovenia,
- supplier of software should have at least one referential installation,
- the selection should take into account only the commercial systems, appropriate for the given production type.

The company management formed a seven-member project team for selection of the new PPC system.

The project team started with the PPC system pre-selection procedure.

First it made an overview of the literature which lists available functions of the commercial PPC systems [2] and on the basis of the data obtained it formed a catalogue of the maximum performance of available systems. The catalogue was sent to the heads of departments which will be included in the new system; each function should have been assigned a symbol according to its importance (absolutely needed ++, needed +, useful 0, useless –-).

Prejete odgovore vodij služb je projektna skupina pregledala, uskladila in po izločitvi nepotrebnih funkcij prišla do hierarhičnega strukturnega načrta in kataloga zahtevanih funkcij novega sistema PPS, katerega izsek prikazuje preglednica 1.

The project team overviewed the answers obtained, harmonised them, and after the elimination of useless functions formed a hierarchical structural plan and a catalogue of required functions of the new PPC system (part of it is shown in Table 1).

Preglednica 1. *Katalog zahtevanih funkcij novega PPS-sistema*
Table 1. *Catalogue of required functions of new PPC system*

Zahtevane funkcije novega sistema PPS/ Required function of the new system i = 1,2,... 64	**OPIS ZAHTEVANIH FUNKCIJ/ DESCRIPTION OF FUNCTIONS**	**POMEMBNOSTI FUNKCIJ/ IMPORTANCE OF FUNCTIONS**		
		++	+	0
f_1	Ponudbena kalkulacija/ Bid calculation	●		
f_2	Srednja vrednost/ Mean value	●		
f_3	Gibljiva povprečja/ Moving averages		●	
f_4	Simuliranje/ Simulation		●	
f_5	Hevristični postopki/ Heuristic procedures			●
. . .	. . .			
f_{62}	Zaščita z gesli/ Password protection	●		
f_{63}	Shranjevanje podatkov/ Backup	●		
f_{64}	Pomoč pri zagonu/ Start help		●	

Da bi zainteresirani ponudniki komercialnih sistemov PPS lahko sestavili ustrezne ponudbe, jim je vodja projekta dostavil:

- spisek od poslovnega vodstva postavljenih omejitev, katerih brezpogojno izpolnjevanje je pogoj za pripravo ponudbe,
- katalog zahtevanih funkcij novega sistema z ocenami pomembnosti funkcij,
- spisek podatkov o podjetju (tip proizvodnje, število in dimenzija kosovnic, število tehnoloških postopkov, največje število operacij).

Ponudnikom je bil sporočen tudi rok sprejemanja ponudb ter ime osebe za stike.

V predpisanem roku je podjetje prejelo sedem ponudb komercialnih sistemov PPS z natančnim pregledom izpolnjevanja oziroma neizpolnjevanja zahtevanih funkcij sistema.

Na temelju podatkov vseh sedmih ponudnikov komercialnih sistemov je vodja projekta sestavil matriko funkcionalnosti ponujenih sistemov, katere del prikazuje preglednica 2.

Nadaljnja naloga projektne skupine je bila prireditev uteži funkcijam. Za izvedbo te naloge je bila uporabljena metoda primerjave parov [5] ob upoštevanju ocen pomembnosti zahtevanih funkcij, zbranih v preglednici 1.

Poznani matriki prireditve pomembnosti zahtevanim funkcijam novega sistema PPS **U** in

The project head sent the following data to the potential bidders of commercial PPC systems so that they could make suitable bids:

- list of limitations (defined by the company management) which should be unconditionally fulfilled by the bidders,
- catalogue of required functions of the new system together with the importance of the functions,
- list of data of the company (production type, number and dimension of bills of material, number of technological procedures, maximum number of operations).

Bidders also received the term for acceptance of bids and the name of the contact person.

In due time the company received seven bids of commercial PPC systems with a detailed overview regarding the fulfilment of required system functions.

Based on the data from all seven bidders of commercial systems the project head composed a matrix of functionalities of the bid systems; part of it is shown in Table 2.

The next task of the project team was to assign relative weights to the functions. This task was carried out using a pair comparison method [5], together with taking into consideration the estimates of importance of the required functions, stated in Table 1.

The known matrix **U** of relative weights of the new PPC system functions, and matrix **S** of

Preglednica 2. *Matrika funkcionalnosti ponujanih sistemov PPS*
Table 2. *Matrix of functionalities of the bid PPC systems*

Zahtevane funkcije novega sistema PPS/ Required function of the new system i = 1, 2, ...64	OPIS ZAHTEVANIH FUNKCIJ/ DESCRIPTION OF FUNCTIONS	PONUDNIKI SISTEMOV PPS/ BIDDERS OF PPC-SYSTEM j = 1, 2, ... 7						
		PPC_1	PPC_2	PPC_3	PPC_4	PPC_5	PPC_6	PPC_7
		s_{i1}	s_{i2}	s_{i3}	s_{i4}	s_{i5}	s_{i6}	s_{i7}
f_1	Ponudbena kalkulacija/ Bid calculation	0	1	1	1	1	1	1
f_2	Srednja vrednost/ Mean value	1	0	0	1	0	0	1
f_3	Gibljiva povprečja/ Moving averages	0	0	1	1	0	0	0
f_4	Simuliranje/ Simulation	0	0	0	1	0	1	1
f_5	Hevristični postopki/ Heuristic procedures	0	0	0	0	0	0	0
. . .	. . .							
f_{62}	Zaščita z gesli/ Password protection	0	0	1	0	0	0	1
f_{63}	Shranjevanje podatkov/ Backup	1	1	1	1	1	1	1
f_{64}	Pomoč pri zagonu/ Start help	1	0	1	1	0	1	1

Preglednica 3. *Matrika koristnosti ponujanih sistemov PPS (groba izbira)*
Table 3. *Matrix of benefit of bid PPC systems (pre-selection)*

Zahtevane funkcije novega sistema PPS/ Required function of the new system i = 1, 2,... 64	OPIS ZAHTEVANIH FUNKCIJ/ DESCRIPTION OF FUNCTIONS	Pomembnost zahtevanih funkcij/ Weights of required functions u_i	PONUDNIKI SISTEMOV PPS/ BIDDERS OF PPC-SYSTEM j = 1, 2, ... 7						
			PPC_1	PPC_2	PPC_3	PPC_4	PPC_5	PPC_6	PPC_7
			s_{i1}	s_{i2}	s_{i3}	s_{i4}	s_{i5}	s_{i6}	s_{i7}
f_1	Ponudbena kalkulacija/ Bid calculation	0,0520	0	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520	0,0520
f_2	Srednja vrednost/ Mean value	0,0195	0,0195	0	0	0,0195	0	0	0,0195
f_3	Gibljiva povprečja/ Moving averages	0,0098	0	0	0,0098	0,0098	0	0	0
f_4	Simuliranje/ Simulation	0,0020	0	0	0	0,0020	0	0,0020	0,0020
f_5	Hevristični postopki/ Heuristic procedures	0,0195	0	0	0	0	0	0	0
. . .	. . .								
f_{62}	Zaščita z gesli/ Password protection	0,0030	0	0	0,0030	0	0	0	0,0030
f_{63}	Shranjevanje podatkov/ Backup	0,0048	0,0048	0,0048	0,0048	0,0048	0,0048	0,0048	0,0048
f_{64}	Pomoč pri zagonu/ Start help	0,0020	0,0020	0	0,0020	0,0020	0	0,0020	0,0020
		$\sum_{i=1}^{64} u_i = 1{,}000$							
		$k_j = \sum_{i=1}^{64} (u_i \cdot s_{ij})$	0,7829	0,5173	0,5958	0,8714	0,6971	0,7193	0,64533
STOPNJA PONUJANIH SISTEMOV PPS/ RANK OF THE BIDDEN PPC-SYSTEMS			2.	7.	6.	1.	4.	3.	5.

funkcionalnosti ponujanih sistemov **S** sta omogočili izračun elementov matrike koristnosti ponujanih sistemov, saj je:

functionalities of the bidden systems enabled the calculation of benefit matrix elements:

$$\mathbf{K} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{S}$$

Del rezultatov izračuna matrike koristnosti sedmih ponujenih sistemov prikazuje preglednica 3.

Po razvrščanju ponujenih sistemov PPS glede na doseženo koristnost je projektna skupina ugotovila, da dosega prvo mesto sistem PPS_4, drugo PPS_1 in tretje PPS_6 in da ti sistemi pomenijo ožjo skupino za fino izbiro.

Po odločitvi za ožjo skupino sistemov je projektna skupina v povezavi s ponudniki ožje skupine sistemov pripravila načrt izvedbe testov pri posameznem ponudniku. Med izvedbo testov so člani skupine zapisovali prednosti in pomanjkljivosti posameznega sistema oziroma zapisovali točkovne vrednosti izpolnjevanja zahtevanih funkcij posameznega sistema ožje skupine. Sistem, ki je najbolj izpolnjeval določeno funkcijo, je dobil 100 točk, preostala dva sistema pa sta dobila kazenske točke.

Po izvedenih testih pri ponudnikih ožje skupine sistemov, je bilo organizirano skupinsko usklajevanje doseženih točkovnih vrednosti izpolnjevanja funkcij članov skupine in to po metodi dajanja točk [3].

Znani matriki doseženih točkovnih vrednosti izpolnjevanja funkcij ožje skupine sistemov **S*** in prireditve pomembnosti zahtevanim funkcijam novega sistema **U** sta omogočili izračun elementov matrike koristnosti ožje skupine sistemov, saj je:

Partial results of the benefit matrix calculation for the seven treated systems are shown in Table 3.

By ranging the bidden systems according to achieved benefit, the project team found the PPC_4 system to be in first place, the PPC_1 in second and the PPC_6 in third. These systems were included in the final selection.

After the pre-selection the project team (together with the bidders) made a plan for tests at each bidder. During tests the project team members made notes about the advantages and drawbacks of the systems tested. The system which best fulfilled a particular function got 100 points while other two systems got penalty points.

After the tests had been completed the project team harmonised the points obtained for the fulfilment of particular functions using the points assignment method [3].

The matrix **S*** of the fulfilment marks of functions, and the assignment of relative weights to the required functions **U**, enabled the calculation of the elements of the benefit matrix of the treated systems:

$$\mathbf{K}^* = \mathbf{U} \cdot \mathbf{S}^*$$

Del rezultatov izračuna matrike koristnosti treh sistemov ožje skupine prikazuje preglednica 4.

Z razvrščanjem ožje skupine sistemov PPS glede na doseženo koristnost se je projektna skupina nazadnje odločila, da poslovnemu vodstvu predlaga, naj se odloči za nakup in uvedbo komercialnega sistema PPS_4, ki izkazuje največjo koristnost.

Partial results of the matrix calculation are shown in Table 4.

By ranking the pre-selected systems according to the obtained benefit, the project team finally decided that the company should buy the PPC_4 system, which had the highest benefit.

4 SKLEPI

V prispevku je prikazana osnovna zamisel projekta izbora sistema PPS, ki sestoji iz dveh podprojektov in to podprojekta izvedbe pripravljalnih del ter podprojekta same izbire najprimernejšega sistema PPS. Posebna pozornost je dana izvedbi načrtovanih dejavnosti grobe in podrobne izbire sistema, ki naj podjetja vodijo od množice ponujenih komercialnih sistemov do najprimernejšega sistema za podjetje.

Testiranje načrtovanega postopka izvedbe grobe in podrobne izbire sistema PPS je pokazalo, da izbire ne more izvesti posameznik, temveč se zahteva ustvarjalno skupno delo skupine najodgovornejših delavcev podjetja.

Končna razprava članov skupine o projektu izbire za podjetje najprimernejšega sistema PPS je pokazala, da ni dovolj le izbrati pravi sistem temveč, da je treba izbrani sistem tudi uspešno uvesti in zato bo treba v prihodnosti projekt izbora sistema razširiti z dejavnostmi izvedbe in testnega delovanja izbranega sistema.

4 CONCLUSIONS

The paper presents the basic concept of the PPC system selection project, consisting of two subprojects: setup works and selection of the optimal PPC system. Special attention has been paid to pre-selection and final selection activities; these should reduce the large variety of available commercial systems and guide the company to the optimal system.

A test of the PPC system pre-selection and final selection procedure has proven that selection cannot be made by a single person – selection requires the creative team work of the most responsible company employees.

Final discussion of the team members regarding the selection of an optimal PPC system has revealed that it is not enough to select the right system – the selected system should be successfully implemented and therefore it will be necessary to improve the selection procedure with implementation activities and the test use of the selected system.

Preglednica 4. *Matrika koristnosti ožje skupine sistemov PPS (fina izbira)*
Table 4. *Matrix of benefit of pre-selected PPC systems (final selection)*

Zahtevane funkcije novega sistema PPS/ Required function of the new system i = 1, 2,... 64	OPIS ZAHTEVANIH FUNKCIJ/ DESCRIPTION OF FUNCTIONS	Pomembnosti zahtevanih funkcij/ Weights of required functions u_i	OŽJA SKUPINA SISTEMOV PPS/ PRE-SELECTED PPC-SYSTEMS j = 1, 4, 6					
			PPC_1		PPC_4		PPC_6	
			s^*_{i1}	$u_i \cdot s^*_{i1}$	s^*_{i4}	$u_i \cdot s^*_{i4}$	s^*_{i6}	$u_i \cdot s^*_{i6}$
f_1	Ponudbena kalkulacija/ Bid calculation	0,0520	-	0	80	4,1600	70	3,6400
f_2	Srednja vrednost/ Mean value	0,0195	80	1,5600	100	1,9500	-	0
f_3	Gibljiva povprečja/ Moving averages	0,0098	-	0	80	0,7840	-	0
f_4	Simuliranje/ Simulation	0,0020	-	0	100	0,2000	100	0,2000
f_5	Hevristični postopki/ Heuristic procedures	0,0195	-	0	-	0	-	0
. . .	. . .							
f_{62}	Zaščita z gesli/ Password protection	0,0030	-	0	-	0	-	0
f_{63}	Shranjevanje podatkov/ Backup	0,0048	100	0,4800	100	0,4800	100	0,4800
f_{64}	Pomoč pri zagonu/ Start help	0,0020	70	0,1400	100	0,2000	80	0,1600
		$\sum_{i=1}^{64} u_i = 1{,}000$		54,62		82,86		68,75
		$k_j = \sum_{i=1}^{64} (u_i \cdot s_{ij})$						
RANG PONUJANIH SISTEMOV PPS/ RANK OF THE BIDDEN PPC-SYSTEMS			3.		1.		2.	

5 LITERATURA
5 REFERENCES

[1] Roos, E.(1992) Marktspiegel PPS-Systeme auf dem Prüfstand. *Verlag TÜV Köln.*
[2] Fandel, G., Francois, P., K. Gubitz, (1997) PPS-Systeme. *Springer Verlag, Berlin.*
[3] Schlicksupp, H. (1977) Kreative Ideenfindung in der Unternehmung. *WDEG Berlin, New York.*
[4] Turner, J.R. (1997) The Handbook of Project-Based Management. *The McGraw.Hill Companies, London.*
[5] Rinza, P., H. Schmitz (1992) Nutzwert-Kosten-Analyse. *VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf.*
[6] Starbek, M., D. Menart (1994) Influence of production flow analysis on lead times. *Manufacturing Systems, Aachen.*

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

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

Prejeto:
Received: 4.2.2000

Sprejeto:
Accepted: 5.4.2000

© Strojniški vestnik 46(2000)2,90-102
ISSN 0039-2480
UDK 669-13:621.9.025.7
Izvirni znanstveni članek (1.01)
© Journal of Mechanical Engineering 46(2000)2,90-102
ISSN 0039-2480
UDC 669-13:621.9.025.7
Original scientific paper (1.01)

Obdelovalnost vroče stisnjenih samomazalnih kompozitov Fe-MnS in Fe-MoS_2

Machinability of Hot-Pressed Self-Lubricating Fe-MnS and Fe-MoS_2 Composites

Borivoj Šuštaršič - Ladislav Kosec - Slavko Dolinšek

Poleg standardnih triboloških preskusov, s katerimi merimo koeficient trenja in obrabo drsnih stikov pod natančno določenimi pogoji preskušanja, lahko kot merilo za samomazalnost izdelanih kompozitov uporabimo tudi izmerjene velikosti rezalnih sil. Te podatke se običajno uporablja kot merilo za obdelovalne karakteristike določenega materiala. V prispevku so predstavljeni rezultati sinteze Fe-MnS in Fe-MoS_2 kompozitov, izdelanih s postopkom vročega stiskanja. Njihove mikrostrukturne lastnosti so povezane z vrednostmi rezalnih sil, izmerjenih pri postopku vzdolžnega struženja.

(Ključne besede: kompoziti samomazalni, kompoziti kovinski (Fe), obdelovalnost, sile rezanja)

In addition to the standardised tribological tests for determination of the coefficient of friction and wear at the sliding contacts under exactly defined testing conditions, the measured magnitudes of cutting forces can also be used as a measure for the self-lubrication of the composites produced. Such data are most commonly used as a measure for the machinability characteristics of a particular material. The paper presents the results of the synthesis of Fe-MnS and Fe-MoS_2 composites produced with the process of hot-pressing. Their microstructural properties are related with the values of the cutting forces which were measured during the longitudinal turning process.

(Keywords: self lubricating composites, Fe-based composites, machinability, cutting forces)

0 UVOD

Pod pojmom obdelovalnost razumemo lastnost materiala, da ga je mogoče obdelovati oziroma predelovati. Definicija je zelo široka in ne pomeni le obdelovalnost materiala pri obdelavi z odrezovanjem, ampak tudi pri drugih načinih mehanske obdelave. Včasih obdelovalnost glede na odrezovanje imenujemo kar odrezovalnost. Širše lahko ta pojem opredelimo kot sposobnost materiala, da ga je sploh mogoče odrezovati. Taka definicija je sicer na videz jasna, vendar jo je težko podrobneje določiti, zlasti pa meriti [1]. Odrezovalnost je kljub temu zelo pomembna lastnost materialov. Upoštevati bi jo morali že konstrukterji, saj bo le tako mogoče izdelati izdelke z zahtevano kakovostjo in čim bolj poceni. Po ožji definiciji je bolje obdelovalen tisti material:

- ki ga lahko obdelujemo,
- pri katerem je obstojni čas orodja daljši,
- pri katerem so manjše odrezovalne sile,
- pri katerem dobimo boljšo kakovost obdelane

0 INTRODUCTION

By the concept the machinability we understand the material property for machining or forming. This definition, rather a short one, means not only the machining characteristics of the materials obtained with the cutting process but also by other methods of mechanical material processing. Sometimes the machinability with regard to the cutting process is simply denoted as cutting-ability. In the broad sense this notion can be defined as the ability of the material to be cut at all. Such a definition is apparently clear but is difficult to determine in greater detail, and especially difficult to measure [1]. Cutting-ability is, however, one of the most important characteristics of the material. It must be considered already by the designers because only in such a way can products with the prescribed quality and prices as lower as possible be produced. According the close definition, better machinability characteristics are demonstrated by those materials:

- which can be more easily machined,
- where the tool-life is longer,
- where the cutting forces are lowest,
- where a better machined surface is obtained,

površine,
- pri katerem dobimo ugodnejšo obliko odrezkov,
- pri katerem dosežemo večjo natančnost obdelave.

Vsako od naštetih stališč pomeni pomembno okoliščino pri določanju obdelovalnosti za določen material. S številnimi preskusi so skušali dobiti stalne vrednosti ali določiti parametre, s katerimi bi lahko ugotavljali obdelovalnost posameznih materialov [2]. V tovrstno eksperimentalno delo je bilo v preteklosti vloženih mnogo naporov širom po svetu. Postopke določanja obdelovalnosti so poskušali poenotiti do te mere, da bi bilo mogoče oblikovati skupne baze podatkov obdelovalnosti za različne kombinacije obdelovanec – orodje ([3] in [4]). Poleg tega, da je obdelovalnost v največji meri podatek, potreben tehnologu v proizvodnji, pa so ti podatki lahko v pomoč tudi razvijalcem novih materialov, saj lahko iz obdelovalnih karakteristik sklepajo o različnih lastnostih materialov. Takšen specifičen primer so tudi samomazalni materiali, kjer določeni dodatki vplivajo na obdelovalnost, podobno kakor zunanja hladilno-mazalna sredstva.

1 OSNOVNE ZNAČILNOSTI TRDNIH MAZIV IN SAMOMAZALNIH KOMPOZITOV

V nekaterih primerih kot maziva uporabljamo trdne materiale z majhnim koeficientom trenja. Trdno mazivo je lahko na površini, bodisi v obliki tanke plasti ali kot sestavina kompozitnega (samomazalnega) materiala. Takšna izvedba mazanja je cenejša in manj zahtevna za vzdrževanje kot mazanje s tekočimi mazivi (olji ali mastmi). V določenih primerih je mazanje s trdnim mazivom edina mogoča, oziroma še sprejemljiva izvedba (strojni deli v proizvodnji hrane, vesoljska plovila, sateliti, vakuumske naprave, deli jedrskih reaktorjev itn.), zaradi higienskih razlogov, visokih delovnih temperatur, nevarnosti odparevanja ali težavah pri stalnem dovajanju tekočega maziva na površine, ki so v tribološkem stiku.

V določenih razmerah imajo nekatere trdne snovi z lamelarno strukturo majhen koeficient trenja. Zato so zanimive za uporabo kot trdna maziva. Med materiali z lamelarno strukturo sta najbolj poznana grafit in molibdenov disulfid (MoS_2). Pri MoS_2 so plasti atomov žvepla medsebojno vezane s šibkimi, Van-der-Waalsovimi vezmi, medtem ko so vezi med atomi žvepla in Mo kovalentne in zato močne. Rezultat je plastna struktura, katere posledica je značilno obnašanje MoS_2 v tribološkem stiku z drugimi materiali. Majhen koeficient trenja obeh materialov pripisujemo njuni lamelarni strukturi in šibki vezi med bazalnimi ravninami, čeprav to ne pomeni, da bodo vsi materiali s podobno strukturo

- where a favourable chip shape is obtained,
- where better accuracy of the machining is obtained.

Each of the listed standpoints means an important circumstance in determining the machinability of the prescribed material. Through numerous experiments, researchers have tried to obtain some constant values or have determined parameters by which the machinability of particular materials can be established [2]. In the past, great efforts have been invested all over the world in such experimental work. Researchers have tried to determine the machinability procedures to such an extent that the common data base on the machinability parameters for different combinations of workpiece material-tools can be formed ([3] and [4]). Machinability provides mainly the information which is needed the technologist in production, in addition these data can also be help for the developers of new materials; from various machinability characteristics they can establish different characteristics of the materials. Such a specific case is also demonstrated in the self-lubricating materials where particular ingredients influence into the machinability characteristics in a similar way as external cooling-lubricated liquids.

1 BASIC CHARACTERISTICS OF SOLID LUBRICANTS AND SELFLUBRICATING COMPOSITES

For some special applications, solid materials with a low friction coefficient are used. In this case a solid material (lubricant), either in the form of a thin layer, or as a component of composite self-lubricating material on the sliding surface is present. This type of lubrication is cheaper and less complex for maintenance in comparison with oil or grease lubrication. In some cases (e.g.: machine and/or structural parts in food production, for space shuttles, satellites, vacuum equipment, in nuclear power plants etc.), the solid lubrication is the only possible and acceptable solution because of either hygienic reasons, high working temperatures, excessive evaporation of liquid lubricant or difficulties in assuring a continuous supply of liquid lubricant on the surfaces which are in tribological contact.

Under certain conditions of application, some solid substances with lamellar structure have a low coefficient of friction. Among these materials, graphite and molybdenum disulphide (MoS_2) are well known and widely used. In the molecular structure of MoS_2, the layers of sulphur atoms are bound together by weak Van-der-Walls forces, while the atomic bonds between sulphur and Mo atomic layers are covalent and therefore strong. The resulting sandwich structure produces the characteristic behaviour of MoS_2 when it is in tribological contact with other materials. The low friction coefficient of both materials is attributed to their lamellar structures and to weak inter-planar bonding. However, this does not

imeli nizek koeficient trenja. Prehodni kovinski dihalogenidi imajo podobno strukturo kakor MoS_2. Tako disulfidi (NbS_2, TaS_2, WS_2), diteluridi in diselenidi teh kovin (na primer $MoTe_2$ ali $MoSe_2$) delujejo kot trdna maziva. Vendar se nobeden od teh materialov ne uporablja tako pogosto kakor MoS_2. Nekatere anorganske spojine so kljub temu, da nimajo lamelarne strukture, uporabne kot trdna maziva, še posebej pri visokih temperaturah, ker imajo majhno strižno trdnost. Tako so CaF_2 in BaF_2, PbO in PbS ter B_2O_3 materiali, ki jih lahko uporabimo kot trdna visoko temperaturna maziva bodisi v obliki tanke plasti ali kompozita.

Koeficient trenja MoS_2 je močno odvisen od atmosfere, v kateri se nahaja. MoS_2 ima majhen koeficient notranjega trenja in zato najnižji koeficient trenja v vakuumu. S povečano vsebnostjo kondenziranih par se koeficient trenja pri MoS_2 v nasprotju z grafitom zvečuje. Bolj, ko je čist, manjši ima koeficient trenja ([5] in [6]), zato je primeren kot trdno mazivo, predvsem v vakuumu in nevtralni atmosferi. Poleg tega je njegova termodinamična stabilnost v zraku in drugih sredstvih, ki vsebujejo vlago, relativno slaba in nastanek abrazivnih oksidov (MoO_2) povečuje koeficient trenja. Poleg nosilnega učinkovanja je MoS_2 znan tudi po tem, da učinkuje tribokemično. Na stiku z drsečo se jekleno površino nastaja deloma zelo tanka ločilna plast FeS ali bolje rečeno zapletenih sulfidov, katerih dobre drsne lastnosti so znane.

Za samomazalne kompozitne materiale je značilno, da v kovinski (sl. 1) ali polimerni (redkeje keramični) matrici oziroma njegovi tanki površinski plasti vsebujejo enakomerno razporejene drobne delce trdnega maziva. Najbolj znani samomazalni kompozitni materiali, ki vsebujejo 5 do 15 masnih odstotkov MoS_2, so polimerni materiali na osnovi teflona ali poliamida ([7] in [8]). Samomazalni kompoziti s kovinsko matrico, ki vsebujejo MoS_2, imajo matrico, sestavljeno predvsem iz neželeznih kovin (Cu, Al, Ni) [5], ki ne reagirajo z MoS_2. Nekateri ([6] in [8]) omenjajo tudi kompozite z matrico na osnovi žlahtnih kovin (Ag) in kovin z visokim tališčem (Mo, W, Ta ali Nb) predvsem za strojne dele vesoljskih naprav (Mariner, Apollo, Pegasus itn.). Vsi ti materiali so večinoma izdelani s postopki metalurgije prahov (PM) ([10] in [11]).

V navzočnosti nekaterih standardnih zlitinskih elementov jekla (Cr, Mn), pride lahko med sintezo kompozita na osnovi Fe do razpada MoS_2 in nastanka termodinamično stabilnejših sulfidov. Zato je s standardnim postopkom PM (sintranjem) težko, oziroma praktično nemogoče izdelati kompozit na osnovi Fe, ki ima enakomerno razporejene delce MoS_2. Ena od možnosti je hladno dinamično zgoščevanje (eksplozijsko zgoščanje) ([10] do [12]) prašne mešanice jeklenih in delcev MoS_2. Vendar so jekleni delci, ki so izdelani s postopkom atomizacije

mean that all materials with similar atomic structure exhibit solid lubrication properties. Transition metal dichalcogenides have analogous structure to MoS_2. Disulphides (NbS_2, TaS_2, WS_2), ditellurides and diselenides of these metals (for example: $MoTe_2$ and $MoSe_2$) act as solid lubricants. However, none of these materials is used as widely as MoS_2. Certain inorganic compounds have lubrication properties at high temperatures although they do not have lamellar structure because of their low shear strength. Thus, CaF_2 and BaF_2, PbO and PbS, as well as B_2O_3 are materials which can be applied as high temperature solid lubricants in the form of a thin layer or metal/ceramic based composite.

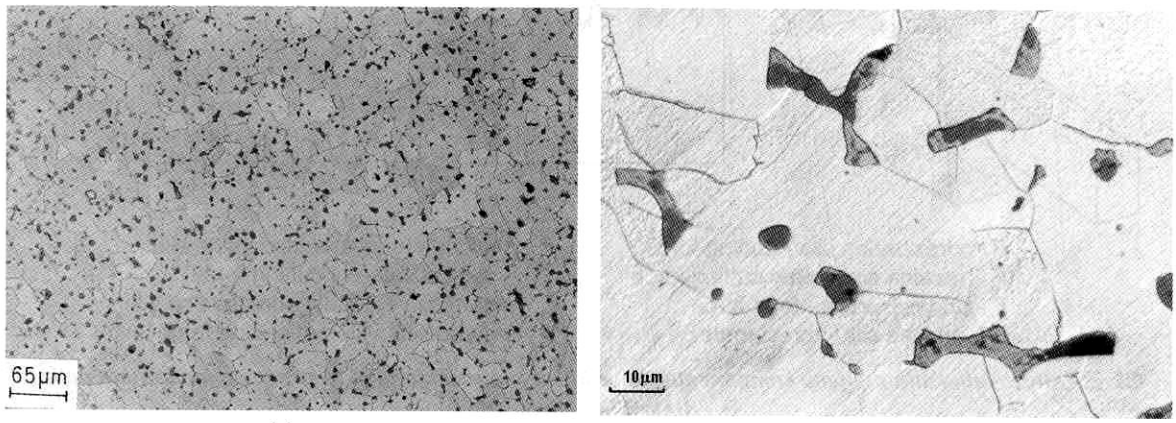
The friction coefficient of MoS_2 strongly depends on the atmosphere. MoS_2 has very low internal friction and therefore the lowest friction coefficient in vacuum ([5] and [6]). The friction coefficient of MoS_2 increases with increased content of condensed vapours. Therefore, it is a very appropriate solid lubricant for application in vacuum or inert gas atmosphere. The thermodynamic stability of MoS_2 in air and humidity is low and the formation of abrasive oxides (MoO_2) increases the friction coefficient. It is well known that MoS_2 besides having a structural effect, acts also tribochemically. In contact with sliding steel surfaces it forms a very thin separating layer of FeS or complex sulphides with excellent sliding characteristics.

The characteristic of self-lubricating composites is fine and uniform dispersion of solid lubricant particles in metal (Fig. 1), ceramic or polymer matrix. Gradient material with such a thin composite surface layer can also be synthesised. The most popular self-lubricating MoS_2 based composite materials are polymer composites with 5-15 mass % of MoS_2 in PTFE (polytetrafluorethethylene) or Polyamide matrix ([7] and [8]). Metal based self-lubricating MoS_2 composites usually have a metal matrix based on light (Cu, Al, Ag-alloys) metals [5], which do not react with MoS_2 during high-temperature synthesis. For the machine or structural parts of spacecraft applications (Mariner, Apollo, Pegasus etc.), the composites with noble metals (Ag) or refractory (Mo, W, Ta or Nb) metals based matrix are also mentioned elsewhere ([6] and [8]). All these materials are mostly produced by powder metallurgy routes (PM) ([10] and [11]).

In the presence of some standard alloying elements (Cr, Mn) of steels, the decomposition of MoS_2 and the formation of thermodynamically more stable sulphides can occur during the high temperature synthesis of a Fe-MoS_2 composite. Therefore, it is very difficult or practically impossible to prepare a Fe based MoS_2 self-lubricating composite by the conventional PM practice (sintering). One possibility is dynamic (explosive) compaction ([10] to [12]) of steel and MoS_2 particles powder mixture. However, steel particles prepared by water or gas at-

[13] zelo trdi. Zato je prašno mešanico na ta način težko popolnoma zgostiti. Druga možnost so postopki zgoščevanja pri povišanih temperaturah, vendar mora potekati zgoščevanje dovolj hitro, da ne prihaja do nezaželenih reakcij. Enoosno vroče stiskanje je postopek, ki bi morda lahko omogočal sintezo kompozitov Fe-MoS_2, saj poteka relativno hitro, preprosto in zaradi pomoči tlaka pri nižjih temperaturah kot sintranje. Zato smo s tem postopkom poskušali izdelati kompozit Fe-MoS_2. Za primerjavo smo s postopkom vročega stiskanja izdelali tudi kompozit Fe-MnS, saj se manganov sulfid (MnS) najpogosteje uporablja kot dodatek materialom, katerih obdelovalnost je problematična [14]. Hkrati pa se v nekaterih materialih pojavlja kot mazivo [15] za zmanjšanje trenja med površinami, ki so v tribološkem stiku. Zaradi poroznosti in trdih oksidnih filmov [16] ter s tem povezane neenakomerne (izmenične) obremenitve rezalnih orodij so še posebej težko obdelovalni materiali PM.

omisation are very hard [13] and in this way the powder mixture cannot be compacted to full density. Anther possibility is densification of powder mixture at elevated temperatures, rapid enough to avoid undesired reactions. Uniaxial hot compaction is a fast, simple and pressure-assisted powder consolidation process. Therefore, it might make it possible to synthesize the Fe-MoS_2 composite. In the present paper the synthesis of Fe-MoS_2 by hot pressing is presented. For comparison, a Fe-MnS composite is also prepared. The manganese sulphide (MnS) is the most frequently used addition to the materials with poor machinability[14]. Additionally, it is used as a solid lubricant in some special materials [15] for the reduction of friction between sliding surfaces. In addition, the PM materials are also materials with poor machinability because of their porosity and present oxide films [16] which produces intermittent non-uniform loading of cutting tools and their excessive wear.



(a) (b)

Sl. 1. *Metalografski posnetek vroče stisnjenega kompozita Fe-MnS oziroma Fe-MoS_2 z dobro vidno enakomerno porazdelitvijo oksisulfidnih delcev v feritni osnovi – a) 1,5 masnih % MnS in b) 1,5 masnih % MoS_2*

Fig. 1. *Micro-graph of a hot pressed Fe-MnS and Fe-MoS_2 composite with well visible uniform distribution of fine oxysulphide particles in ferrite matrix – a) 1.5 mass % of MnS and b) 1.5 mass % of MoS_2*

2 REZALNE SILE KOT MERILO ZA OBDELOVALNOST

Za zagotavljanje zadostnih napetosti in deformacij v rezalni coni za tvorbo odrezka mora orodje pritiskati na material z zadosti veliko silo. V strižni coni deluje na orodje enako velika reakcijska sila, ki na površini stika odrezka in obdelovanca obremenjuje rezalni rob orodja. Poleg materiala obdelovanca na velikost in smer odrezovalne sile vpliva še vrsta drugih dejavnikov (rezalni parametri, geometrična oblika orodja, obraba orodja, obdelovalni stroj itn.). Takrat, ko njihov vpliv poznamo ali ga poskušamo obdržati v določenih mejah, so lahko izmerjeni podatki o velikosti rezalnih sil dobro merilo za oceno lastnosti določenih obdelovanih materialov in zato tudi eden od največ

2 CUTTING FORCES AS A CRITERION FOR THE MACHINABILITY

To assure adequate stresses and deformations at the cutting zone for the chip formation the tool needs to press the material with sufficient cutting force. At the cutting zone the same magnitude forces react to the tool loading the cutting edge of the tool at the chip - workpiece interface. Beside the workpiece material, numerous different factors (cutting parameters, geometrical shape of the tool, tool wear, machine tool, etc.) also influence the magnitude and direction of the cutting force. When their influence is known, or retained within the prescribed limits, the measured data on the cutting force magnitudes can be a good measure for the assessment of the characteristics of particular materials and

uporabljanih meril za ocenjevanje obdelovalnosti materialov.

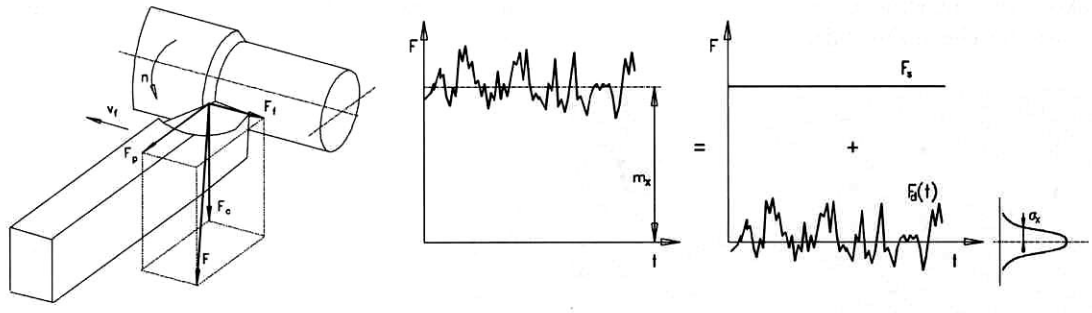
Skupno odrezovalno silo običajno razstavimo na komponente, ki jih lahko merimo: rezalno, podajalno in odrivno silo (sl. 2). Če zapisujemo časovno odvisnost odrezovalne sile ali njene posamezne komponente pri nespremenjenih obdelovalnih razmerah, ugotovimo, da se njihove velikosti s časom spreminjajo. V primeru, ko ta odvisnost poteka kot ustaljen naključni proces, lahko izračunamo njene statistične parametre - povprečno vrednost m_x (statična vrednost sil F_s) in standarno deviacijo σ_x (dinamična vrednost sil F_d) – sl. 2.

Meritve sil pri odrezovanju so posledica problemov, ki se pojavljajo pri analitičnem določanju komponent odrezovalne sile. Ker je nemogoče meriti komponente odrezovalnih sil v njihovih izhodiščih,

therefore also one of the most used criteria for the assessment of the machinability of the materials.

The whole cutting force is usually exhibited by the three components which can be more easily measured: main cutting, feed and thrust force (Fig. 2.). When the dependence of the cutting force or its particular component under unchangeable cutting conditions is registered as a time series we can establish that the values change during time. In cases when the record is in the form of a steady random process we can calculate its statistical parameters - mean value m_x (statical value of the forces F_s) and standard deviation σ_x (dynamical value of the forces F_d) - Fig. 2.

Measurements of the forces are the consequence of the problems which occur in analytical determination of the cutting force components. As it is

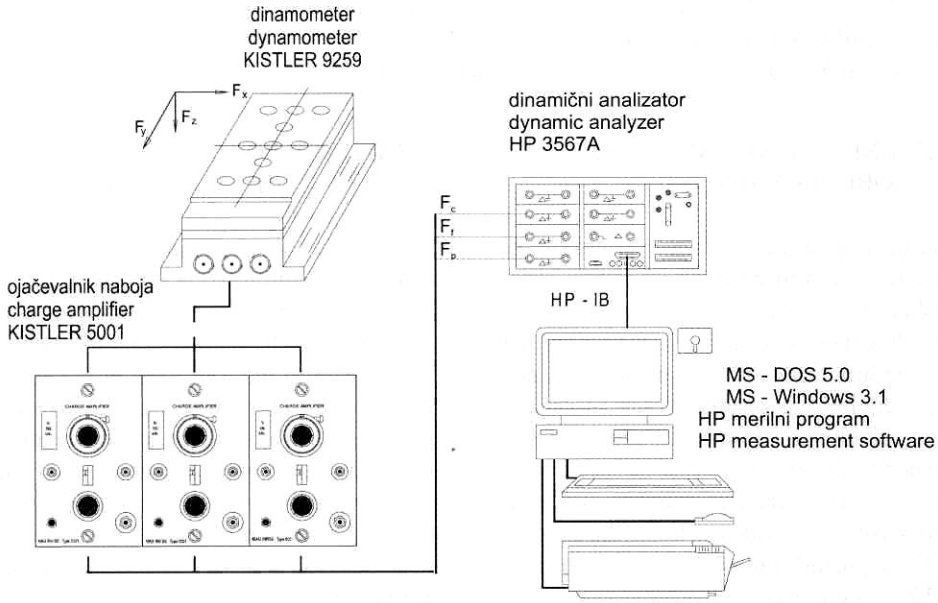


F - odrezovalna sila - cutting force
F_c - rezalna sila - main cutting force
F_f - podajalna sila - feed force
F_p - odrivna sila - thrust force

F_s - statična vrednost odrezovalne sile - statical value of cutting force
F_d - dinamična vrednost odrezovalne sile - dynamical value of cutting force

Sl. 2. *Odrezovalna sila in njene komponente pri vzdolžnem struženju in primer zapisa njene statične in dinamične vrednosti*

Fig. 2. *Cutting force and its components at longitudinal turning and the example of the time series record of its statical and dynamical value*



Sl. 3. *Merilni sistem za merjenje komponent odrezovalne sile pri struženju*

Fig. 3. *Measurement system for measurement the cutting force components for the turning processes*

merimo njihove odzive v določeni oddaljenosti od rezalnega robu. Zato potrebujemo merilni sistem, s katerim lahko opravljamo pravilne meritve neodvisno od položaja prijemanja sile ali momenta. Namen razvoja merilnega sistema je industriji zagotoviti uporabne raziskave s preprostimi in učinkovitimi merilnimi sistemi. Na sliki 3 je prikazan merilni sistem za merjenje komponent odrezovalne sile za postopke struženja. Piezoelektrični dinamometer spremeni mehanski signal sile v električni signal, tega okrepimo z ojačevalnikom naboja. Frekvenčni analizator je potreben zapisni del verige zaradi dinamične oblike poteka komponent odrezovalne sile in kratkih rezalnih časov rezalnega robu. Digitalizirani časovni zapis prenesemo in ovrednotimo na osebnem računalniku, na katerem z uporabo ustrezne programske opreme tudi izračunamo statične in dinamične vrednosti komponent odrezovalnih sil.

3 PRIPRAVA VZORCEV IN TESTIRANJE OBDELOVALNOSTI

Izhodni kovinski železov prah smo pripravili s postopkom vodne atomizacije[13]. Po atomizaciji smo izdelani železov prah 3 ure mehko žarili v suhem vodiku pri 850 ^{0}C v laboratorijski cevni peči in s tem znižali trdoto prašnih delcev na vrednosti sprejemljive za hladno zgoščevanje. Po taljenju vložka in izdelavi prahu smo izvedli nadzor kemijske sestave z optičnim emisijskim spektrometrom ARL, tip 3460 Metals Analyzer, ZDA. Izdelanemu Fe prahu smo določili osnovne fizikalno-kemijske in morfološke lastnosti (oblika in velikostna porazdelitev delcev, tekočnost, stisljivost itn.) [18]. Za pripravo mešanic z različnim deležem MoS_2 in MnS smo uporabili komercialno dosegljive laboratorijsko čiste surovine (MoS_2 1 do 3 μm, Fluka Chemie AG, Švica in MnS 98 %, Alfa Johnson Matthey GmbH, Karlsruhe, Nemčija). Obliko in velikost delcev izbranih maziv smo preverili z laserskim granulometrom (Cilas Alcatel, Granulometer HR 850) in na vrstičnem elektronskem mikroskopu (SEM). Delež kisika v izdelanem Fe prahu in trdnih mazivih smo določili z analizatorjem kisika in dušika TC-436 Leco, ZDA. V mešalu turbula (Willy A. Bachofen AG Maschinenfabrik, Švica) smo nato s suhim mešanjem pripravili prašne mešanice z različnim deležem MoS_2 in MnS (0,5, 1,5 in 3 masnih odstotkov).

Sintezo kompozitov smo izvedli z vročim enoosnim stiskanjem prašnih mešanic v grafitnem orodju z uporabo visokofrekvenčnega (10 kHz) uporovnega ogrevanja. Takšen postopek se pri nas uporablja za pilotno proizvodnjo kompozitnih

not possible to measure the components of the cutting force at their origin, their reactions at some distance from the cutting point are recorded. Therefore we need a measurement system by which correct measurements can be performed independently of the action position of the force or moment. The goal of developing such a measurement system is to give to the industry simple and efficient measurement systems and therefore the possibility of applicative research. In Fig. 3, a measurement system for measurement the components of the cutting force for the turning processes is presented. The piezzo-electrical dynamometer transforms the mechanical signal into an electrical one, and this is further amplified with the charge amplifier. The frequency analyser, a required recording part of the chain, is needed because of the dynamical form of the force components and short cutting times of the cutting edge. The digitised time records are transferred and evaluated by the personal computer, where, with the suitable software equipment, the statical and dynamical values of the cutting force components are calculated.

3 SAMPLE PREPARATION AND MACHINABILITY TESTING

Practically pure technical iron powder was prepared by water atomisation [13]. After atomisation, the hardness of Fe particles was decreased by soft annealing in a laboratory tube furnace at 850^0 for three hours in dry hydrogen. During the atomisation, the chemical composition of the melt was controlled by the optical emission spectrometry (ARL, type 3460 Metals Analyzer, USA). Basic morphological and engineering properties (powder particle shape and size distribution, flowability, compressibility etc.) [18] of the prepared powder were also determined. The commercial chemically pure substances for laboratory use (MoS_2 1 to 3 μm, Fluka Chemie AG, Switzerland and MnS 98 %, Alfa Johnson Matthey GmbH, Karlsruhe, Germany) were used for the preparation of powder mixtures with different contents of MoS_2 and MnS. The particle size distribution and the shape of the selected lubricants were controlled by the laser granulometer (Cilas Alcatel, Granulometer HR 850) and by the scanning electron microscopy (SEM). Oxygen content of the prepared Fe powder and of the purchased lubricants was determined by the infrared light absorption based analysis (TC-436 Leco, USA). Powder mixtures with different contents of MoS_2 and MnS (0.5, 1.5 in 3 mass %) were finally prepared by dry mixing in a turbular blender (Willy A. Bachofen AG Maschinenfabrik, Switzerland).

The synthesis of composites was performed by uniaxial hot pressing of loosed powder mixtures in a multi cavity (5) graphite die coated with

brusnih segmentov za krožne žage (diamantna zrna, vezana s kovinskim vezivom W-Cr-Cu) na polindustrijski stiskalnici (100 kN, dr. Fritch, Nemčija), ki omogoča relativno dobro regulacijo ter programirani nadzor vseh pomembnejših procesnih parametrov. Ustrezne zatehve (okoli 30 do 35 g) izbranih prašnih mešanic smo nasuli v poprej iz grafitnih ploščic sestavljeno petgnezdno orodje oziroma šablono. Prah smo še pokrili s ploščicami, ki so predstavljale zgornje pestiče. Tako sestavljeno in zaprto orodje je bilo primerno za neposredno namestitev na stiskalnico in vroče stiskanje.

Temperaturo smo merili z optičnim pirometrom na zunanji (črni; $\varepsilon \approx 1$) steni grafitnega orodja. Neposredno merjenje temperature s termoelementom v samem orodju ni mogoče zaradi prevelikih električnih motenj. Vroče stiskanje je potekalo v dveh fazah:

- predstiskanje do tlaka 35 MPa in hkratno ogrevanje orodja 5 min. do 960 °C,
- dokončno ogrevanje na 960 °C in stiskanje 10 min. z največjim tlakom (preklop na 45 MPa pri 900 °C).

Po izmetavanju je sledilo še hitro ohlajanje (5 do 6 min.; okoli 100 do 150 °C/min) vroče stisnjenih vzorcev na zraku. S preskusi smo ugotovili, da je bila 960 °C najvišja še sprejemljiva temperatura, tako v primeru kompozitov Fe-MoS_2 kakor tudi Fe-MnS. Pri daljših časih ali višjih temperaturah vročega stiskanja (970 do 980 °C) je prihajalo že do močnega lepljenja na orodje ali iztekanja taline. Pri nižjih temperaturah pa nismo dosegli zadovoljive zgostitve.

Na sedanji stiskalnici je mogoče tudi delo v zaščitni atmosferi, vendar smo menili, da njena uporaba v našem primeru ne bo potrebna, ker naj bi že samo grafitno orodje zagotavljalo dovolj reduktivno atmosfero [19].

Vroče stisnjenim vzorcem smo določili gostoto in trdoto ter iz njih izdelali metalografske obruse za preiskave na optičnem in mikroskopu SEM. Iz vzorcev smo izrezali tanke rezine in pripravili vzorce ($\approx\phi 3\times 5$mm), primerne za določitev deleža kisika, ogljika in žvepla. Na nekaterih tipičnih vzorcih so bile izvedene tudi mikroanalize EDS in AES. Nekaj vzorcev smo mehansko obdelali na dimenzije ϕ 8 × 40 mm, primerne za standardne tribološke preiskave (valjček na valju)([6] in [17]) in merjenje rezalnih sil.

Meritve rezalnih sil smo izvedli na eksperimentalni stružnici za fino vzdolžno struženje z oznako ES-2 (modifcirano za raziskave v Laboratoriju za odrezavanje, Fakultete za strojništvo, Ljubljana). Stružnica s svojimi lastnostmi zagotavlja nespremenljivost različnih vplivnih parametrov na velikost rezalnih sil tako,

boron nitride (BN). The die and powder mixtures were heated directly by the high frequency (10kHz) resistant heating system. Similar consolidation procedure is also used for the pilot production of composite segments for diamond-based grindstones on the semi-industrial hot press (100 kN, dr. Fritch, Germany) which enables relative good programming and control of all process parameters. The optimal hot pressing conditions of selected powder mixtures were determined experimentally by measuring dimensions and density of hot pressed samples.

The temperature was measured with an optical pyrometer on the black surface ($\varepsilon \approx 1$) of the graphite die, as close as possible to the hot pressing zone. Hot pressing was performed in two steps:

- pre-pressing up to 35 MPa and simultaneous heating of die/powder (5 min. up to 960°C),
- final heating and pressing (10′ at 960°C with maximal pressure 45 MPa).

After hot pressing and ejection, fast cooling of samples was performed (approximately 100 to 150°C/min.). It was established that 960°C is the maximal acceptable hot pressing temperature of the selected powder mixtures. Longer soaking times or higher temperatures of hot pressing causes reaction between Fe and the graphite die, powder melting and their sticking onto the die walls. However, at lower temperatures complete densification is not obtained.

With this experimental procedure, almost completely densified samples with appropriate dimensions (10×10×40 mm) for metallographic, micro-analytical, mechanical and tribological investigations were prepared.

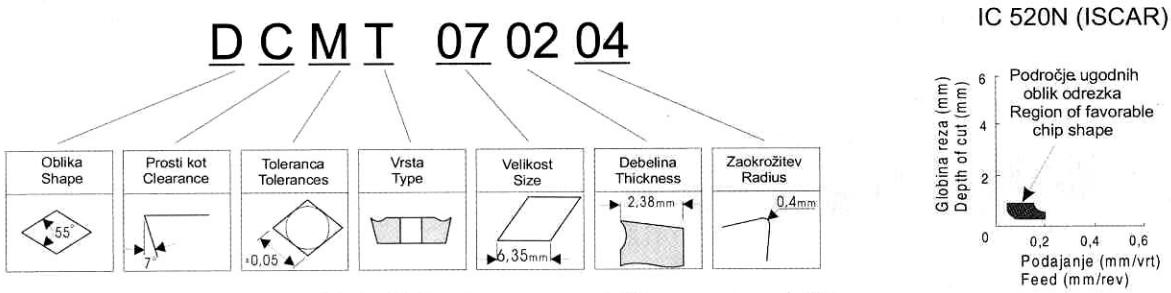
The existing experimental hot press also enables operation in a protective atmosphere. However, it was not used in our experimental work. The graphite die assures a reductive atmosphere which protects the composite against oxidation during hot pressing [19].

Density and hardness of hot pressed specimens were then determined. From metallographic samples, specimens were also prepared for investigations by the optical and scanning electron microscope, as well as EDS and AES microanalysis. Thin slices ($\approx\phi 3\times 5$mm) were cut off from the hot pressed specimens for the determination of oxygen, carbon and sulphur. Some specimens were machined into cylinders of appropriate dimensions (ϕ 8 × 40 mm) for tribological (pin on disc) ([6] and [17]) and machinability measurements.

The measurements of the cutting forces were performed on the experimental turning machine for the finish longitudinal turning with denotation ES 2 (modified for research work at the Laboratory for machining, Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana). The turning machine assure with its characteristics unchangeable differently influenced parameters which might influence

da lahko iz izmerjenih rezultatov sklepamo o karakteristiki obdelovanih materialov. Preostali vplivni parametri - rezalno orodje iz oplaščene karbidne trdine, rezalna hitrost 100 m/min, podajanje 0,1 mm/vrt, globina reza 0,5 mm – se tudi niso spreminjali in so bili izbrani glede na priporočljive vrednosti za optimalno odrezovanje preskušanih materialov (sl. 4). Pred vsako meritvijo so bili obdelovanci centrirani, da ni prišlo do sprememb globine reza ali dodatnih vplivov na dinamične razmere v rezalni coni.

the magnitude of the cutting forces; therefore, from the measurement results, we can establish the characteristics of the workpiece materials. The other influence parameters - cutting tool from the coated carbide, cutting speed 100 m /min, feed 0.1 mm/rev, depth of cut 0.5 mm - also did not change, and have been selected according to the recomended values for the optimal cutting of tested materials (Fig. 4). Before each measurement the workpieces were centered in order to eliminate the changes in the depth of cut or additional influences on the dynamical circumstances at the cutting zone.



Sl. 4. *Oblika in sestava oplaščene rezalne ploščice*

Fig. 4. *The shape and composition of the coated carbide tool*

4 REZULTATI IN OBRAVNAVA

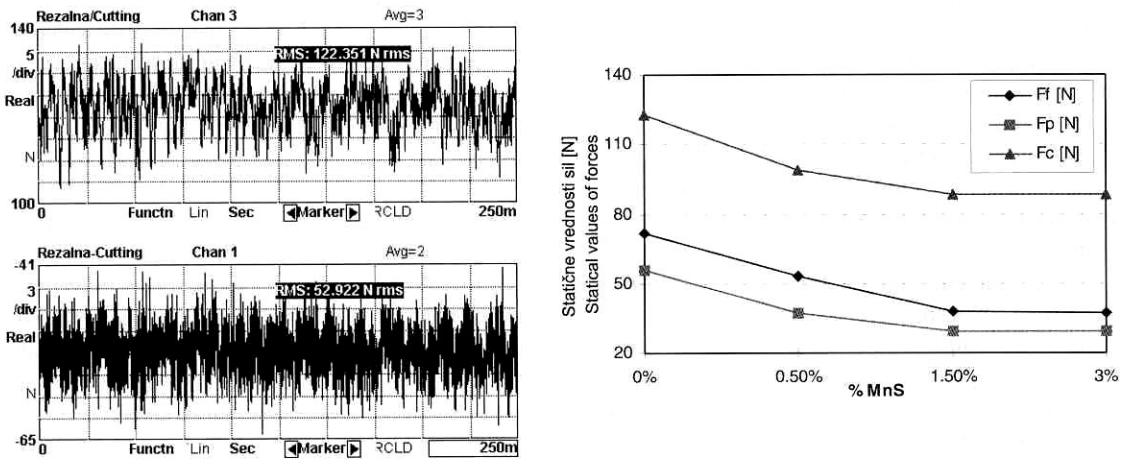
Na sliki 5 je prikazan izpis časovnega poteka rezalne sile pri struženju kompozita brez dodatka v primerjavi s kompozitom z dodatkom 0,5% MnS. Slika kaže tudi izmerjene vrednosti vseh treh komponent sil v odvisnosti od dodane količine dodanega MnS.

Iz zapisa statičnih vrednosti sil lahko ugotovimo, da obstajajo pomembne razlike v

4 RESULTS AND DISCUSSION

In Fig. 5 the time series record of the main cutting force in the turning of the composite without the added ingredient in comparison with the composite consisting 0.5 % MnS is shown. The figure also present the calculated statical values of all three forces in dependence on the MnS quantity supplemented.

From the calculated values of the statical forces we can establish that there exist significant differences in the

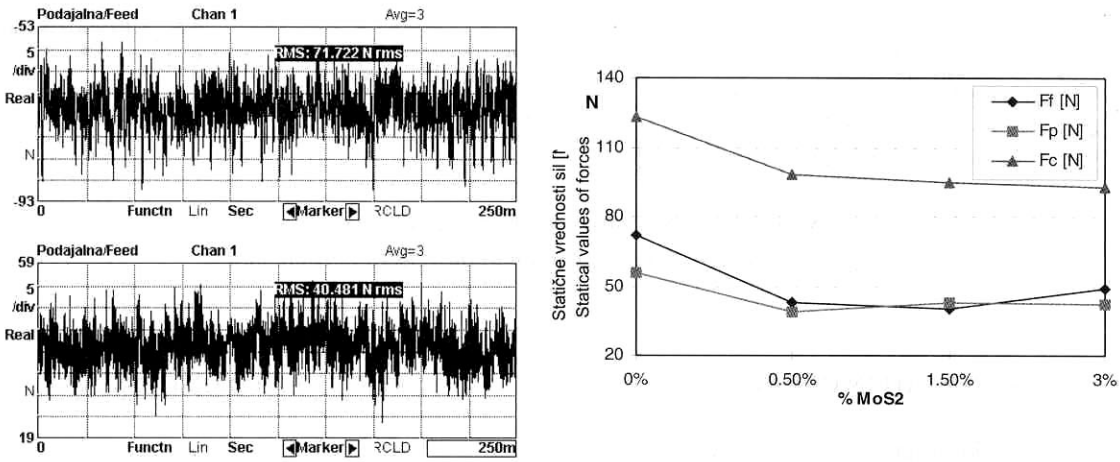


Sl. 5. *Izpis časovnega poteka rezalne sile in statične vrednosti komponent sil v odvisnosti od količine dodanega MnS*

Fig. 5. *Time record of the main cutting force and the values of the statical and dynamical force components in dependence on the MnS quantity supplemented*

velikosti sil pri struženju kompozita brez dodanega MnS in kompozita z 0,5 % ali 1,5 % dodatka MnS. Z večjo količino dodanega MnS se vrednosti sil ne zmanjšujejo. Iz tega lahko sklepamo, da se mazalne lastnosti kompozita z večanjem dodanega MnS čez mejo 1,5 % ne izboljšujejo. Vrednosti dinamičnih sil se z dodatkom MnS zmanjšujejo, kar pomeni, da dodatek MnS vsekakor vpliva na dušilne lastnosti kompozita. Vendar večanje količine dodatka MnS prek 0,5 % na dušenje bistveno ne vpliva. Podobne primerjave smo naredili tudi iz meritev sil na vzorcih z dodatkom MoS_2 (sl. 6).

force values in turning the composites without the MnS and composites with the supplement of the 0.5 % or 1.5 % MnS. However, with the higher quantity of the MnS supplemented, the values of the forces do not further decrease. From this we can establish that the lubrication ability of the composite does not improve above the limit of 1.5 % MnS supplemented. The values of the dynamical forces decrease with the MnS supplement, which means that MnS supplement certainly does influence the dumping characteristics of the composite. However the increase of the MnS supplemented quantity above 0.5 % does not significantly influence the dumping characteristics of the composite. Similar comparisons can be also be made from the measured results on the specimens with ingredients of the MoS_2. (Fig. 6).



Sl. 6. *Izpis časovnega poteka rezalne sile in statične vrednosti komponent sil v odvisnosti od količine dodanega MoS_2*

Fig. 6. *Time record of the main cutting force and values of the statical and dynamical force components in dependence on the MoS_2 quantity supplemented*

Iz velikosti izmerjenih statičnih sil lahko ugotovimo, da manjši dodatek MoS_2 (0,5%) samomazalno vpliva še bolj ugodno kakor MnS (izrazitejše zmanjšanje vrednosti sil). Z večanjem dodatka MoS_2 čez vrednost 0,5 % pa se sile bistveno ne spreminjajo. Po drugi strani pa manjši dodatek MoS_2 na velikost dinamičnih komponent sil ne vpliva značilno. Statistično ugotovljive vrednosti lahko ugotovimo šele pri dodatku 3 % MoS_2, kar pomeni, da le večja količina dodanega molibdenovega disulfida v kompozitu vpliva dušilno.

Izmerjene rezalne sile so dejanski odsev doseženih mikrostrukturnih in mehanskih lastnosti izdelanih kompozitov. Mikrostrukturne, kemijske in mikroanalitske preiskave so namreč pokazale, da je med sintezo kompozitov prišlo do delne oksidacije in odgorevanja dodanega maziva, še posebej med sintezo kompozita Fe-MoS_2 (preglednica1). Večji, ko je bil delež dodanega sulfida, večje je bilo v obeh primerih tudi odgorevanje S. V preglednici vidimo, da se s povečanim deležem sulfidnih delcev rahlo

From the calculated values of the statical forces we can establish that a lower quantity of MoS_2 ingredient (0.5 %) influences the self-lubricating even more than the MnS (distinctive decrease of the force values). With an increase of the MoS_2 ingredient over the value of 0.5 % the forces do not change significantly. On the other hand, the lower quantity of the MoS_2 ingredient does not significantly influence the values of the dynamical forces. The statistical differences cannot be established until the ingredient of MoS_2 exceeds 3 %. This means that a higher quantity of the molibden disulphide incorporated in the composite can have a damping influence.

The determined cutting forces reflect the obtained microstructural and mechanical properties of the prepared composites. Microstructural, chemical and microanalytical investigations showed that during the synthesis of composites, partial oxidation and burning off of the added lubricant occurred. It is particularly evident for the Fe-MoS_2 composite (Table 1). In Table 1 it can be noticed that with the increased content of sulphur in powder mixture its burning-off increases. It can also be noticed that with increased content of solid lubricant hardness decreases and the densification ratio in-

manjša trdota in večа stopnja zgostitve. Ta je izračunana na teoretično sestavo, ki pa v praksi ni dosežena. V resnici so stopnje zgostitve zato še višje. Iz metalografskih posnetkov ocenjujemo, da so dosežene gostote kompozitov nad 99,5% T.G. (teoretične gostote).

creases. Relative densities or densification ratio are calculated on the basis of theoretical chemical composition. The actual chemical compositions differ from the theoretical ones. Therefore, the obtained densification ratios are higher. Metallographic investigations show that the obtained densities of composites are above 99.5% of T.D. (theoretical density).

Preglednica 1. *Povprečne zgostitve, trdote in kemične analize vroče stisnjenih kompozitov*
Table 1. *Average densities, hardness and chemical analysis of hot pressed composites*

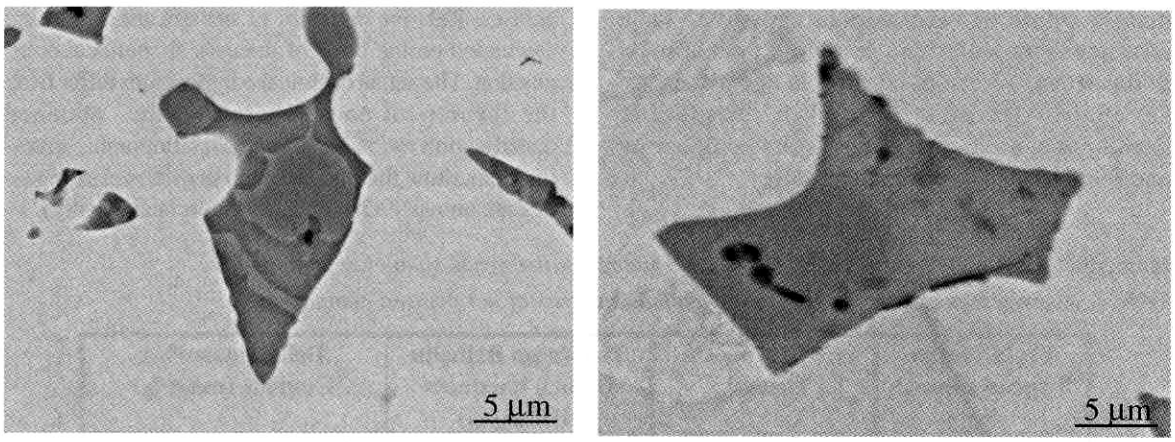
Vrsta vzorca Type of sample	Gostota Density		Trdota po Brinellu Brinell hardness ($HB_{187,5/2,5}$)	Delež (masni%) Content (mass%)		
	g/cm^3	% T.G.		O	C	S
Fe	7,68	97,6	159	0,46	0,029	0,02
Fe-0,5%MoS_2	7,71	98,5	183	0,21	0,033	0,22
Fe-1,5%MoS_2	7,67	98,6	175	0,47	0,028	0,48
Fe-3,0%MoS_2	7,71	100,0	155	0,49	0,021	0,60
Fe-0,5%MnS	7,63	97,6	164	0,64	0,013	0,21
Fe-1,5%MnS	7,61	97,8	159	0,69	0,021	0,53
Fe-3,0%MnS	7,53	97,8	156	0,68	0,027	0,84

Čeprav je MnS termodinamično bolj stabilen kakor FeS, je prišlo do njegove delne pretvorbe med vročim stiskanjem. Prišlo je tudi do delne oksidacije delcev MnS (sl. 7a) zaradi navzoče oksidativne atmosfere, med vročim stiskanjem. Vodno atomizirani delci Fe prahu so namreč površinsko oksidirani. Med hitrim vročim stiskanjem prahu obstaja možnost, da so med delci prahu ujete molekule zraka. Zanemariti ne smemo tudi tega, da je bil že sam izhodni MnS (enako MoS_2), uporabljen za pripravo mešanic, delno površinsko oksidiran. Kljub vsemu nam je z vročim stiskanjem uspelo izdelati kompozit Fe-(Mn,Fe)S z razmeroma dobro nadzorovanim deležem žvepla oziroma drobnih vključkov (Mn,Fe)S, ki so enakomerno razporejeni v kovinski matrici (sl. 1a), kar se kaže tudi na izmerjenih rezalnih silah.

Med vročim stiskanjem prašne mešanice Fe-MoS_2 so razmere drugačne. V navzočnosti molekularnega kisika MoS_2 zgoreva (MoS_2+ $3O_2$=>MoO_2+$2SO_2$). Običajno se najprej tvori manj stabilni MoO_3 ([6] in [8]), ki je tekoč že nad 818 ^{0}C in hlapen nad 1155 ^{0}C. Čeprav ima Mo manjšo afiniteto do kisika kakor Mn, ima oksidacija bolj drastičen vpliv na sintezo Fe-MoS_2 kakor pa na sintezo kompozita Fe-MnS, saj je MoS_2 termodinamično manj stabilen od MnS. Pri temperaturah nad 1100^{0}C je MoS_2 tudi termodinamično manj stabilen od FeS. Hkrati je Mo dobro topen v trdnem α- in γ-Fe. Zato so izpolnjeni vsi termodinamični pogoji za popolen razpad preostalega (neoksidiranega) MoS_2 in nastanek FeS (MoS_2+2Fe=>Mo+2FeS), ki je pri temperaturah sinteze tekoč (nad 988 ^{0}C pri tlaku 1 bar).

Although MnS is thermodynamically more stable than FeS, its partial decomposition occurs. The partial oxidation of MnS particles also occurred (Fig. 7a) during hot pressing because of the presence of oxidative atmosphere. The oxidative atmosphere is primarily a consequence of surface oxides formed during water atomization of Fe particles. During fast hot pressing of powder mixtures, molecules of adsorbed air can also be entrapped in the compact. The surface oxidation of added solid lubricants must not be neglected, either. In spite of that, a relatively good selflubricating Fe-(Mn,Fe)S composite with fine dispersion of (Mn,Fe)S particles is produced (Fig. 1a) which is reflected also in the measured cutting forces.

During the synthesis of the Fe-MoS_2 composite, the conditions are different compared with the synthesis of the Fe-MnS composite. In the presence of molecular oxygen, MoS_2 burns intensively (MoS_2+$3O_2$=>MoO_2+$2SO_2$). Usually less stable MoO_3 forms first ([6] and [8]). It is liquid already above 818^{0}C and evaporates above 1155^{0}C. Although Mo has lower affinity to oxygen than Mn, its oxidation has a more drastic influence on the synthesis of its Fe based composite. MoS_2 is also thermodynamically less stable than FeS at temperatures above 1100^{0}C. Simultaneously, Mo has very good solid solubility in α- and γ-Fe. Therefore, all thermodynamic conditions are fulfilled for the full decomposition of the retained (nonoxidised) MoS_2 and for the formation of iron sulphide (MoS_2+2Fe=>Mo+2FeS), which is liquid at the temperatures of the synthesis (theoretically above 988^{0}C at 1 bar pressure).



Sl. 7. *Posnetka SEM mikrostrukture kompozitov, dobljenih z vročim stiskanjem prašne mešanice a) Fe-MnS in b) Fe-MoS_2 z dobro vidno heterogeno sestavo sulfidnih delcev (temno sivo-oksidirana področja; črno-poroznost)*

Fig 7. *SEM micrograph of microstructure of composites prepared by the hot pressing of selected powder mixtures: a) Fe-MnS and b) Fe-MoS_2 with well visible heterogeneous structure of sulphide particles (dark grey - oxidised regions; black - porosity)*

Rezultati merjenja rezalnih sil kažejo, da ima nastali kompozit relativno dobro obdelovalnost in samomazalne lastnosti in da nanje vplivajo v kovinski matrici med sintezo nastali vključki FeS. Ugodne samomazalne lastnosti FeS so opazili tudi že nekateri drugi raziskovalci, ki so analizirali tribokemične reakcije na jeklenih površinah in obdelovalnost jekel, ki vsebujejo žveplo.

The results of cutting forces measurements show that synthesised composites have good machinability and therefore also self-lubricating properties. This is a result of the presence of FeS inclusions formed during synthesis. Attractive self-lubricating properties of FeS were already noticed during the analysis of tribo chemical reactions on sliding steel surfaces, as well as studying the machinability of steels with increased sulphur content.

5 SKLEPNE UGOTOVITVE

S postopkom vročega stiskanja smo iz izbranih prašnih mešanic izdelali samomazalni kompozit Fe-(Mn,Fe)S. Zaradi zelo slabe termodinamične stabilnosti MoS_2 med vročim stiskanjem prašne mešanice Fe-MoS_2 pa je nastal kompozit Fe[Mo]-FeS. V obeh primerih nam je uspelo dobiti praktično popolnoma zgoščene kompozite. Na popolno zgostitev je ugodno vplival predvsem nastanek tekoče faze (FeS in MnS), ki je med zgoščevanjem pod tlakom polnila prazne prostore med trdnimi delci Fe. Med vročim stiskanjem je prišlo do nadaljnje oksidacije navzočih sulfidnih delcev, čeprav naj bi po nekaterih literaturnih podatkih stiskanje v grafitnem orodju zagotavljalo pogoje, pri katerih naj ne bi prišlo do nadaljnje oksidacije. S postopkom vročega stiskanja je zato mogoče izdelati čiste in neoksidirane samomazalne kompozite vrste Fe-(Mn,Fe)S le, če uporabimo zaščitno atmosfero ali vakuum in čiste ter neoksidirane vhodne surovine. Z vročim stiskanjem prašne mešanice Fe-MoS_2 ni mogoče izdelati čistega kompozita Fe-MoS_2, ker pride do razpada MoS_2 in zato nastanka kompozita Fe[Mo]-FeS.

5 CONCLUSIONS

From the selected powder mixtures, selflubricating Fe-(Mn,Fe)S composites were prepared by hot pressing. However, during the consolidation of selected Fe-MoS_2 powder mixtures by hot pressing, the Fe[Mo]-FeS composite was formed. In both cases, a practically complete consolidated composite was prepared. The formation of liquid phase (FeS in MnS) has a beneficial influence on complete densification. Under pressure, the formed liquid phase filled voids (pores), which are placed among (during hot pressing) deformed solid Fe particles. Additional oxidation of sulphides occurred during the synthesis of composites although in some previous investigations it was stated that hot pressing in the graphite die assures conditions where no additional oxidation is expected. Our investigations show that a completely consolidated Fe-(Mn,Fe)S self-lubricating composite with fine dispersion of (Mn,Fe)S particles can be prepared by hot pressing but only in the protective atmosphere or in vacuum and only if very pure and nonoxidised raw materials are used. Pure Fe-MoS_2 cannot be prepared by the hot pressing procedure because of decomposition of MoS_2 and therefore a Fe[Mo]-FeS composite is formed.

Raziskave so pokazale, da lahko glede na rezultate meritev rezalnih sil pri odrezovanju ovrednotimo dejanske mikrostrukturne in z njimi povezane mehanske lastnosti kompozitov. To pa so tudi neposredni kazalniki uporabnih lastnosti, kakor sta na primer izboljšana samomazalnost in z njo povezana dobra obdelovalnost.

Our investigations also showed that the results of cutting forces measurement can be a relatively good indicator of real micro-structural, as well as mechanical characteristics of PM composites. Direct evaluation of engineering properties, such as improvement in self-lubricity and machinability, is possible.

6 LITERATURA
6 REFERENCES

[1] Dolinšek, S., J. Kopač (1993) Cutting - Textbook for the lectures and exercises (in Slovenian), *Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana,* Ljubljana, Slovenia.

[2] Kopač, J., S. Dolinšek (1996) Advantages of experimental research over theoretical models in the field of metal cutting, *Experimental techniques*, 20 (1996) No. 3, Bethel, pp. 24-28.

[3] Kopač, J., S. Dolinšek (1992) Cutting parameters optimisation in direct connection with technological data- base-NC program, *Procedings of 3rd International Conference Factory 2000*, York, UK, 20-24 Maj 1992.

[4] Kastelic, S., J. Kopač, J. Peklenik (1993) Conceptual design of a relation data base for manufacturing process, *Annals of the CIRP*, 42 (1993), No. 1, Geneva, pp. 493-496.

[5] Iliuc, I.(1980) Tribology of thin layers, Tribology Series, 4, *Elsevier Scientific Publishing Company,* New York, USA.

[6] Hutchings, I.M. (1992) Tribology, friction and wear of engineering materials, 1. Edition, *Edward Arnold a member of the Hodder Headline Group*, London, UK.

[7] Nycast 6PA-MoS_2, CAST NYLONS Limited, Ohio, USA, *Internet: http://www.castnylon.com,*

[8] Lansdown, A.R. (1999) Molybdenum disulphide lubrication, Tribology Series 35, 1. Edition, Editor: D. Dowson, *Elsevier Science B.V.,* Oxford, UK.

[9] Bronze and bronze MoS_2 – fortified PTFE, *Internet: http://www.indplastics.com/tn-0.3a.html,*

[10] Thümmler, F., R. Oberacker (1993) An introduction to powder metallurgy, The Institute of Materials, *The University Press,* Cambridge, London, UK.

[11] German, R.M. (1994) Powder metallurgy science, 1. in 2. edition, Metal Powder Industries Federation, *Princeton*, New Jersey, USA.

[12] Kosec, L., S. Javorič, B. Šuštaršič, S. Petrovič (1996) Explosive compacting metal-SiC composites, *Proceedings of the PM²TEC'96 Powder Metallurgy Congress,* Washington, D.C., USA, June 1996.

[13] Šuštaršič, B. (1993) Properties of metal powders prepared by water atomisation (in Slovenian language), M. Sc. work, *Faculty for Natural Science and Technology, University of Ljubljana*, Ljubljana, Slovenia.

[14] Claeys, S. F., K.S. Chopra (1998) Enhanced machinability and oxidation resistance of P/M steels using modified MnS additions, *International Journal of Powder Metallurgy,* 34 (1998) No. 3, New Jersey, USA, p.p. 29-36.

[15] Bolton, J.D., A.J. Gant (1993) Phase reactions and chemical stability of ceramic carbide and solid lubricant particulate additions within sintered high speed steel matrix, *Powder Metallurgy*, 36 (1993) No. 4, London, UK, p.p. 267-274.

[16] Smith, G. (1998) Getting the measure of PM machinability, *Metal Powder Report*, 53 (1998) No. 5, New Jersey, USA, p.p. 31-35.

[17] Eyre, T.S. (1991) Friction and wear control in industry, *Metals and Materials*, 44 (1991), No. 3, pp. 143-148.

[18] Šuštaršič, B., L. Kosec (!998) Engineering properties of Fe-MoS2 powder mixtures, *Proceedings of the Powder Metallurgy World Congress*, Granada, Spain, October 1998.

[19] Wu, Y., F. Wang, Y. Cheng, N. Chen (1997) A study of the optimisation mechanism of solid lubricant concentration in Ni/MoS_2 self-lubricating composite, *Wear*, 205 (1997) New York, USA, p.p. 64-70.

Naslovi avtorjev: mag. Borivoj Šuštaršič
Inštitut za kovinske materiale
in tehnologije
Lepi pot 11
1000 Ljubljana

prof.dr. Ladislav Kosec
Oddelek za fizikalno metalurgijo
in materiale
Naravoslovnotehniška fakulteta
Univerze v Ljubljani
Lepi pot 11
1000 Ljubljana

doc.dr. Slavko Dolinšek
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana

Authors' Addresses: Mag. Borivoj Šuštaršič
Institute of Metals and
Technology
Lepi pot 11
1000 Ljubljana, Slovenia

Prof.Dr. Ladislav Kosec
Materials and metallurgy
department
Faculty of Natural Science and
Engineering
University Ljubljana
Lepi pot 11
1000 Ljubljana, Slovenia

Doc.Dr. Slavko Dolinšek
Faculty for Mechanical Eng.
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia

Prejeto:
Received: 11.2.2000

Sprejeto:
Accepted: 5.4.2000

© Strojniški vestnik 46(2000)2,103-109 © Journal of Mechanical Engineering 46(2000)2,103-109
ISSN 0039-2480 ISSN 0039-2480
UDK 658.512.2 UDC 658.512.2
Pregledni znanstveni članek (1.02) Review scientific paper (1.02)

Tehnologija in skrajševanje časov razvoja novih izdelkov

Technology and Reducing the Product Development Times

Marjan Pogačnik - Janez Kopač

Spremembe v poslovnem okolju v zadnjem desetletju so izjemno močno vplivale na razvoj novih izdelkov, kar je povezano tudi z drugačno vlogo tehnologije. Odpravo večnega nasprotja med konstrukterjem in tehnologom je omogočil nov način razvoja izdelkov, ki temelji na načelih projektnega vodenja. V takšnem okolju pa metode, kakršna je Hiša kakovosti (HK-QFD), dajejo najboljše rezultate in jih podjetja uporabljajo pri načrtovanju dejavnosti, da bi zadovoljili kupca, pa naj bo ta notranji (v podjetju) ali pa zunanji. Rezultat tega je skokovito skrajševanje rokov uvajanja novih izdelkov, ki je še posebej izrazito v avtomobilski in elektronski industriji ter v vseh tistih panogah, v katerih je konkurenca največa, kar terja hitre odzive na zahteve trga.

(Ključne besede: razvoj izdelkov, časi razvoja, skrajševanje časov, tehnologije)

Changes in the business environment during the last decade have significantly influenced the new product development process. As a result, the position of the technology, as a part of this process, has also been modified. The neverending conflict between design and technology functions was overcome by a new type of product development process which is based on project management principles. On this basis, powerful methods such as quality function deployment (QFD) can also be used to ensure target oriented work which will result in satisfied customers (inside or outside of the company). The effects can be seen as an enormous reduction in new product launching times, which is particularly noticeable in the automotive industry, electronic industries and other branches where competitiveness requires fast responses to market changes.

(Keywords: product development, launching time, time reduction, technology)

1 USMERITEV V ZADNJEM DESETLETJU

Glavne spremembe v zadnjem desetletju, ki so vplivale na vlogo tehnologije, bi lahko razdelili na spremembe na strateški ravni, sistemske spremembe in spremembe na delovni ravni.

Na vrhu vseh sprememb se pojavlja globalizacija z največjim vplivom na svetovno gospodarstvo. Rezultat tega je prenos tehnologije na področja, ki do sedaj niso bila industrializirana. Zaradi tega imamo v tem primeru ponavadi opraviti z običajno tehnologijo, medtem ko nove vrhunske tehnologije še vedno ostajajo v razvitejših okoljih, ki so bila sposobna razviti in uvesti nove procese, ki pomenijo strateško prednost.

Različne sistemske spremembe so omogočile oblikovati procese, ki so temelj za konkurenčno prednost. Nekatere od njih imajo pravzaprav strateški pomen, čeprav jih podjetja ponavadi uvajajo bolj kot vpeljavo novih metodologij in sistemov. Vzporedni inženiring je

1 THE TRENDS DURING THE LAST DECADE

The major changes, which influenced the role of technology during the last decade, can be structured as changes on the strategic level, changes of the system and changes in the field of processes.

Of all the changes taking place, globalization has had the greatest impact on world business. The outcome is a technology transfer to regions which were not previously industrialized. Logically, due to a lack of development in the new environment, these technologies are usually very conventional, while the new advanced technologies are still located in the environments which were able to develop and implement new processes which represent a strategic advantage.

On the second level, different system changes were launched which helped to create the processes as a tool for increasing competitiveness. Some of them could also be stated as strategic, however, in reality the companies are usually approaching these changes more in the way of changing system, rather than changing the original strategy. The

predvsem vplival na način vodenja projektov, ki sloni na skupinskem delu. To načelo je delno zastopano tudi v COK (celovito obvladovanje kakovosti - TQM) načelih, kjer pa bi COK kot idejo prej uvrstili na strateško raven, še zlasti zaradi širokega vpliva na celotno poslovno okolje.

Na delovni ravni postajajo novi neobičajni postopki vedno bolj običajni, novi razvoji materialov pa spet zahtevajo nove tehnologije. Računalniška podpora proizvodnje in procesa razvoja novega izdelka je omogočila bistveno skrajšanje časov in stroškov uvajanja novih izdelkov.

Te in še druge, podobne usmeritve so povzročili spremembo podobe podjetij, kjer so najbolj uspešna tržno usmerjena podjetja. Znotraj podjetja je to pomenilo organizacijske spremembe in uporabo novih metod.

concurrent engineering brought new systems, especially in project management, where team work became the standard principle. This approach also partly involves total quality management (TQM) principles, where TQM as an idea could surely be classified as a strategic direction, especially due to the extensive approach to the complete business environment.

On the operation level, new non-conventional processes have become more and more conventional, however, new materials development has required further development of technology. The computerization of the production floor, together with the designing phase, enabled a significant reduction in the launching times as well as adecrease in the costs.

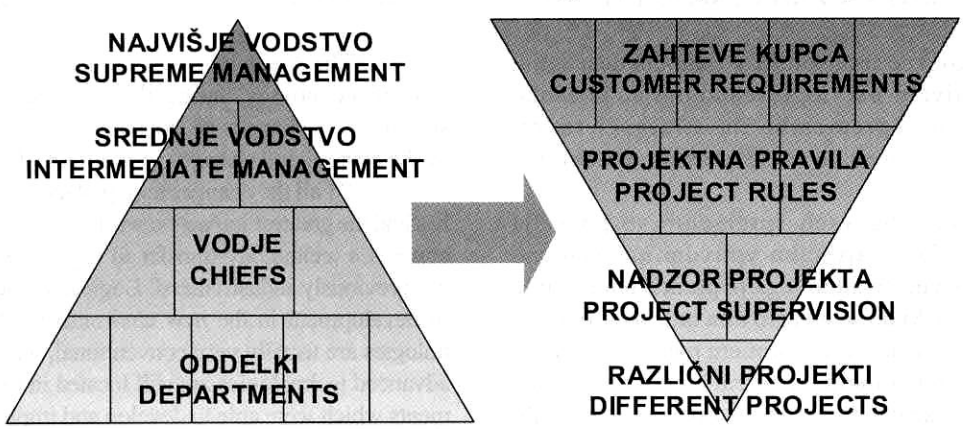
These and other similar trends had an impact on company profile changes, where the market driven companies became the most successful ones. Internally, this demanded organizational changes as well as changes in the methods used.

	PREJ / BEFORE	SEDAJ / NOW
Cilji podjetja Company goals	- boljši izdelki - better products - min. proizvodni stroški - min. product parameters - optimalni parametri - optimum parameters	- boljše podjetje - better company - zadovoljen kupec - satisfied customer - visoka prilagodljivost - high flexibility
Osnovna orientacija Basic orientation	izdelek product	trg market

Sl. 1. *Spremembe v podobi podjetij*
Fig. 1. *The changes in the companies profile*

Zgoraj predstavljene spremembe so povzročile sploščenje organizacijske strukture, skupaj s spremembami v načinu dela.

The above presented changes resulted in the flattening of organizational structures together with changes to the style of working.



Sl. 2. *Organizacijske spremembe [1]*
Fig. 2. *Organizational changes [1]*

Običajna organizacijska struktura je bila hierarhična. Delo v njej je bilo odrejano od zgoraj navzdol. Tako je potekal dober nadzor (stroškov, dela itn.), vendar pa so procesi postali prepočasni za hitre spremembe trga. Podjetja skušajo slediti

The conventional organizational structure was a hierarchical one, where the work was delegated in a top-down direction. In this way, good control (over costs, work etc.) was achieved, however the processes became to slow for fast market changes.

spremembam trga s čim hitrejšimi procesi. Zato je naravna posledica, da se kupčeve zahteve postavijo na vrh tudi v organizacijskem pomenu. V takšni organizaciji pa poslovneži postanejo nadzorniki projektov, vodje projektov pa dobijo zelo široke pristojnosti in odgovornosti za rezultate projekta. Takšen postopek je povzročil hitrejše procese in odzive na zahteve trga.

2 SPREMENJENA VLOGA TEHNOLOGIJE

Zgoraj opisane spremembe so povzročile velike spremembe v procesu razvoja novega izdelka, pri katerem je bila bistveno bolj poudarjena tudi vloga tehnologije.

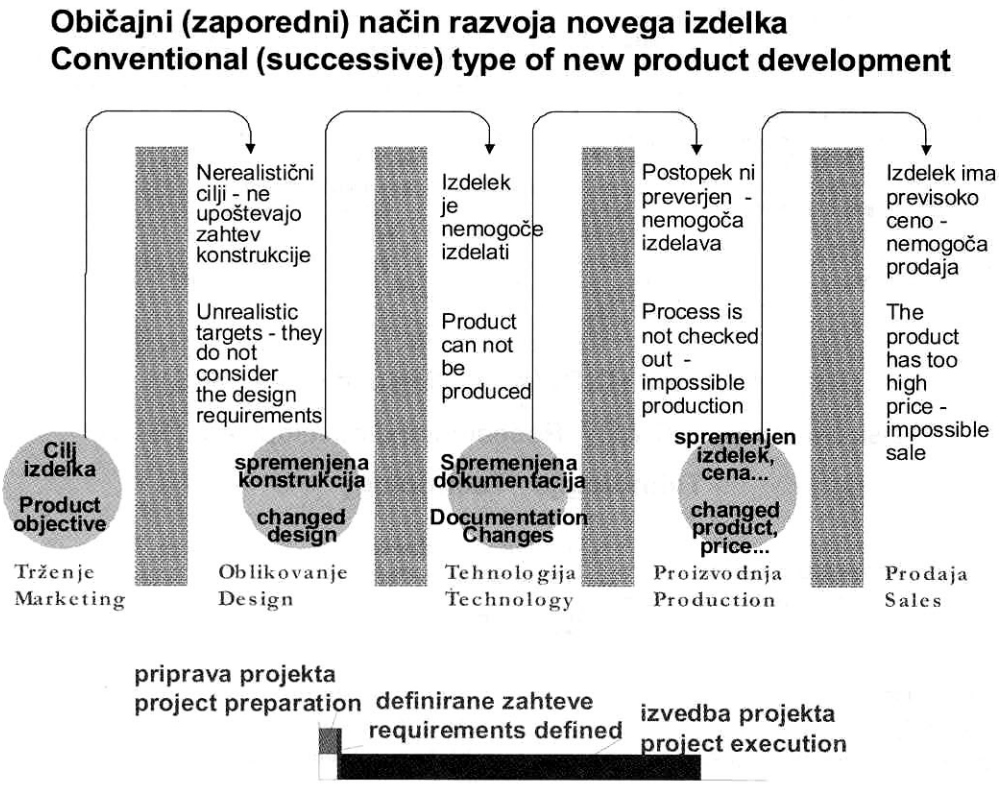
Običajno je postopek razvoja novega izdelka sestavljen iz zaporednih korakov, pri katerih posamezen oddelek v podjetju, ki sodeluje v inovacijski verigi, opravi svoj delež. Seveda pa s tem ni neposredno povezan s celotnim postopkom in zato tudi ni neposredno motiviran za optimalni rezultat postopka. Nasprotno, vsak oddelek si prizadeva za najboljši dosežek svojega dela procesa namesto za najboljši dosežek končnega rezultata: novega izdelka ali storitve - dobimo t.i. stene med oddelki. Zato je sodelovanje med konstrukcijo in tehnologijo vedno obremenjeno z navzkrižnimi interesi in pogledi na rešitve izdelka. Podobno je razmerje med tehnologom in proizvodnjo ali trženjem.

Companies tried to obtain the market advantage with faster processes and the natural change was for the customer requirements to be placed on the top in the organizational sense as well. In this structure the managers became the project supervisors and the project managers obtained broader competencies together with greater responsibilities for the project results. Such an approach was a self generator of process acceleration.

2 THE CHANGED POSITION OF THE TECHNOLOGY

The above presented changes initiated a significant shift in the new product development process, where the role of technology was significantly improved.

The conventional new product development process consisted of successive phases. However, each department is not directly connected with the complete process and as a consequence not immediately motivated for the optimum result of this process. In contrast, each department is focused on optimising its own part of process, instead of improving the final product or service. In other words, walls exist between the departments. Typically, the collaboration between design and technology departments is accompanied by a permanent conflict over product solutions. A similar relationship is established between the technologist and the production engineer.



Sl. 3. *Običajni (zaporedni) način razvoja novega izdelka*
Fig. 3. *Conventional (successive) type of new product development*

Ker ni popolnoma jasno, kdo odgovarja za izid postopka, se projekt zelo zlahka sproži, s sorazmerno malo priprave, pri tem običajno sodelujeta le trženje in razvoj in znotraj njega konstrukcija. Zato bo v fazi izvedbe projekta zelo veliko sprememb, zaradi česar se bodo posamezne podfaze stalno ponavljale. Rezultat je podaljševanje rokov.

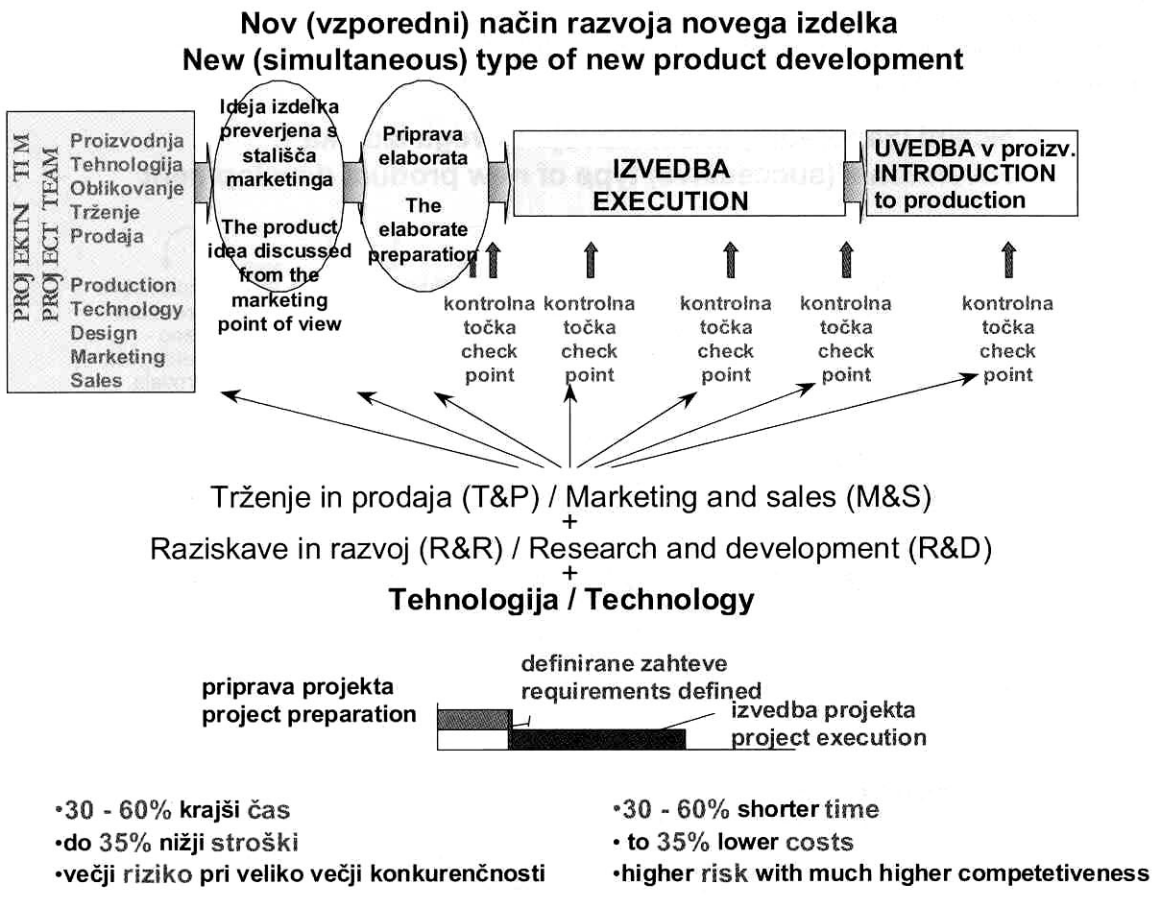
Postavlja se vprašanje: Kdo je odgovoren za tehnologijo? Jasno, tehnolog. Vendar pa le-ta mora tesno sodelovati s konstrukterjem in proizvodnjo, če želi pripraviti dobro tehnologijo. Še več, tehnolog mora sodelovati tudi z ljudmi iz trženja in prodaje, financ itn. Kako zagotoviti to sodelovanje?

Odgovor na to je nov postopek, ki temelji na skupinskem delu in načelih projektnega vodenja. Za vsak nov razvoj se ustanovi nov projekt in določi odgovornega za celoten postopek (projektni vodja), projektno skupino in nadzorno skupino ([3] in [4]). Edini namen projektne skupine je uvesti nov izdelek, ki bo zadovoljeval vse zahteve, definirane v daljši fazi priprave (ko se izdela elaborat). Rezultat mora biti uvedba novega izdelka v času, ki je definiran v elaboratu. Takšen postopek je bolj podjetniški, zato je motivacija skupine večja, delo vseh v skupini (iz različnih

Due to the lack of a process holder (project manager) the project is launched very easily, with a very short preparation phase where usually only marketing and design departments are active. Therefore, during the execution phase a number of changes appear and the phases are constantly repeated on account of corrections. The outcome of such relationships is a time consuming development process.

The question arises: Who is responsible for the technology? Certainly, the technologist. However, to achieve good technological solutions the technologist has to cooperate closely with the designer and the production engineer. In fact, the technologist should also collaborate with the marketing and sales people as well as the financial department etc. How to ensure these cooperation?

The answer is a new process, which is based on teamwork and project management principles. For each new product development, a new project is established, where the process holder, project team and supervisory team are appointed ([3] and [4]). The only aim of the project team is to launch a new product which fulfills all the requirements defined in a longer preparation phase. The product has to be launched within time limits that are defined. Such an approach is more entrepreneurial, so the motivation for the team



Sl. 4. *Nov (vzporedni) način razvoja novega izdelka*
Fig. 4. *New (simultaneous) type of new product developmet*

oddelkov: trženje, konstrukcija oz. razvoj, tehnologija, proizvodnja, prodaja) je usmerjeno samo v rezultat projekta (postopka) namesto v rezultat oddelka (kakor je bil to primer v prejšnjem postopku - slika 3).

Vzporedni inženiring podpira daljšo fazo priprave projekta z namenom zmanjšati možnosti raznih presenečenj in sprememb začetnega načrta. To ima za posledico skrajševanje izvedbene faze. Vpliv posameznih oddelkov, ki imajo svoje člane v skupini, se tako izenačuje od začetka projekta ([3], [4] in [6]).

Rezultat tega je 30 do 60% krajši čas uvedbe novega izdelka, 35% manjši stroški, skupaj z večjo konkurenčnostjo, pa seveda tudi nekoliko večjim tveganjem [5].

3 HIŠA KAKOVOSTI (HK-QFD)

Dobro zastavljena strategija je pogoj za uspešen projekt. Namen je zadovoljiti kupca in za to si morajo prizadevati vsi vključeni v proces ali projekt (trženje, prodaja, raziskave, razvoj, tehnologija, proizvodnja itn.). To pa je mogoče le, če vsi ti upoštevajo zahteve kupca že od začetka projekta naprej. Takšen postopek tudi zagotavlja, da vsi ti subjekti lahko vplivajo na strateške odločitve projekta kakor tudi na tehnične rešitve. Metoda HK v največji meri podpira takšen skupinski način določitve zahtev (rezultatov) projekta.

Metoda HK se vedno več uporablja v različnih industrijah in storitvah [2]. Vhod v proces HK je "glas kupca", ki pomeni vse kupčeve želje in zahteve (ti naj ne določajo tehnične izvedbe), ki so bile (običajno z tržno analizo) vrednotene kot najpomembnejše. Vsaka zahteva se namreč vrednoti: kako pomembna je za kupca, kako močno je kupec zadovoljen s sedanjim izdelkom in kako s konkurenčnimi izdelki. Ko je "glas kupca" znan (spisek ovrednotenih zahtev kupca), pa mora projektna skupina odgovoriti na te zahteve - rezultat je "tehnični odgovor". Na vsako zahtevo kupca skupina določi vsaj en tehnični odgovor. *Primer: Kupčeva zahteva je bila: močna protikorozivna zaščita. Tehnični odgovor je bil: uporaba nerjavnega jekla.*

Za strateško vrednotenje tehničnega odgovora na zahteve kupca se oceni tudi primerjava s konkurenco. Zato se vsak tehnični odgovor oceni tudi s strateškega pogleda. *Primer: Protikorozijsko zaščito je kupec zelo visoko ocenil, hkrati pa je kupec tudi ocenil, da naš sedanji izdelek zelo slabo izpolnjuje to zahtevo (v primerjavi s konkurenco). Po drugi strani pa je kupec kot dokaj pomembno navedel tudi ceno. Metoda omogoča najti optimalno rešitev.*

is higher and the work of all members (from different departments: Marketing, Design, Technology, Production, Sales) is focused only on the project (process) result instead of the departmental result, as in the former process, Fig. 3.

Simultaneous or concurrent engineering stimulates the preparation phase in order to reduce the surprises and modifications of the initial plan and in this way shortens the execution phase. Therefore, the impact of all departments included in project team is equalized from the beginning of the project ([3], [4] and [6]).

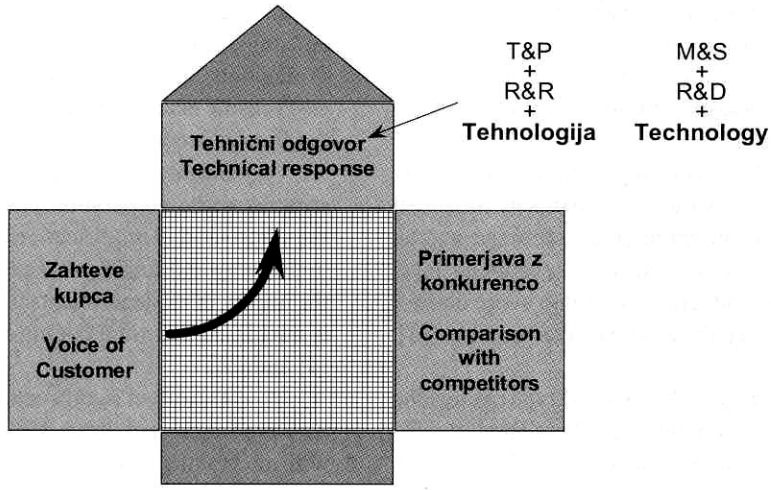
The effect is, on average, a 30 - 60% shorter new product launch time, 35% lower costs, together with increasing competitiveness and also with increasing risk [5].

3 QFD (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT)

A well-settled strategy is the key to a successful project. The aim is to satisfy the customer and this goal has to be followed everybody included in the process or project (marketing, sales, research, development, technology, production etc.). This is only possible if all these departments are dealing with the customer (or market) requirements together from an early phase of the project. Such an approach ensures that all these groups can influence all the strategic decisions as well as all the technical solutions. To stress this team-based process of defining the project requirements, the QFD method can be used.

The QFD method is increasingly used in different industry and service sectors [2]. The input to the QFD process is the Voice of the customer (VoC). The VoC is all of the customer requirements (preferably not determining the technical solution) which were (usually through market analysis) valued as the most important. Each requirement is evaluated: how important it is for customer, how much is the customer satisfied with existing product and how much with the competing products. When the VoC is known (a list of evaluated customer requirements), the project team has to create the answers to these requirements - the result is the Technical Response (TR). For each customer requirement the team determines at least one technical answer. *Example: The customer requirement was: high anti-corrosion resistance. The TR was: use stainless steel.* TR also consists of technological solutions.

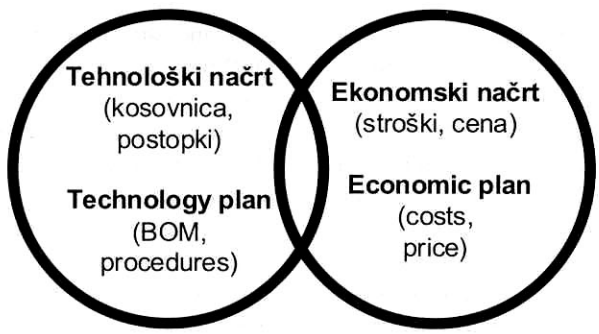
For strategic evaluation of the TR to the VoC, the comparison with competitors is also appraised. Therefore each TR is assessed from the strategic point of view. *Example: Corrosion resistance was assessed to be very high by the customer and at the same time the customer appraised our existing product as poor with respect to this requirement in comparison with the competition. However, the customer also defined the price as quite important. The method enables us to find out which solution is the optimum one.*



Sl. 5. *Metoda HK omogoča strateško načrtovanje*
Fig. 5. *QFD method enables strategic planning*

Metoda HK zahteva precej bolj celovito pripravo tehnologije že v zelo zgodnji fazi, da bi se izognili velikim pritiskom in negotovosti pri uvajanju izdelka v proizvodnjo. Prav tako poudarja pripravo, ne samo tehnološkega načrta (kosovnice in tehnoloških postopkov), ampak tudi pripravo ekonomskega načrta, ki je izjemno pomemben za uspeh projekta (glej spodaj, kjer je bil predstavljen dvom o izbiri materiala in cene). Stari proces (slika 3) se ni tako močno nagibal v to smer.

QFD emphasizes a much more complete preparation of the technology in the very early phases in order to avoid high pressures at the time when the product is being introduced into the production. It also emphasizes the preparation not only of the technological plan (bill of materials and technological procedures) but also the preparation of the economic plan, which is of great importance for the project success (see the example before where the dilemma between the material selection and the price was presented). The former process (Fig. 3) did not provide this tension.



Sl. 6. *Dve področji tehnološkega dela v skupini*
Fig. 6. *Two sides of the technological part in team work*

4 SKLEPI

Spremembe v poslovnem okolju narekujejo spremembe na vseh ravneh, od strateške do operativne, vse z namenom zagotavljati konkurenčnost podjetja. Novi načini organiziranja zamenjujejo običajne prav tako kakor novi procesi zamenjujejo običajne. Vse te spremembe vplivajo tudi na drugačno vlogo tehnologije v podjetju.

Vzporedni načini vodenja procesov zahtevajo projektni način dela, ki temelji na skupinskem delu. Tehnologija postane sestavni del

4 CONCLUSIONS

The changes in the business environment initiated changes on all levels from the strategic to the operational in order to enable the company to retain its competitiveness. New organizations are replacing the traditional ones and new processes are substituting for the conventional ones. These changes affected also the role of technology in the company.

A simultaneous type of process requires a project approach, where team work is of fundamental importance. The technology becomes the constitu-

procesa uvedbe novega izdelka v že zelo zgodnji fazi. Prednost tega je krajši čas uvedbe izdelka ali storitve, manjši stroški (zaradi manjšega števila sprememb v izvedbeni fazi, tehnologija se načrtuje že v fazi snovanja projekta) in izdelki, ki so bliže željam kupca.

Temelj za tak proces sta skupinsko delo in projektna metodologija, ki poudarja pripravljalno fazo. Običajno dobi del tehnološkega oddelka nov status "razvojne tehnologije". Ljudje iz "razvojne tehnologije" imajo prvo nalogo sodelovati pri razvoju novih izdelkov in uvesti te izdelke v proizvodnjo ter so oproščeni dnevnega dela v operativi.

Zaradi dnevnega sodelovanja z ljudmi iz različnih oddelkov (T&P, R&R, itn.) postaja vloga tehnologije bolj kompleksna. Če hoče aktivno sodelovati v skupini mora vsaj delno poznati tudi v finance, trženje itn. Vse to pa bo imelo za posledico bolj učinkovit proces uvajanja novega izdelka.

tive part of the launch process in the very early phase. The advantages are a shorter time for product or service launching and lower costs due to: modifications to and reduction of the execution phase, technology being planned in the project planning phase and products which are close to the customer requirements.

The basis for this process is team work and project methodology (emphasizing the preparation phase). Usually a part of the technology department has to get a new status, e.g. development technology (DT). People working in DT have the obligation to collaborate on new product developments and are usually released from daily operational work. Their only task is to work on new products and to convey them to the production.

Because of daily cooperation with people from other departments (M&S, R&D, etc.) the role of technology becomes more complex. It is desireable that the technologist is also familiar with marketing, finance etc. in order to ensure an active role in the team, which results in a more effective product launching process.

5 LITERATURA
5 REFERENCES

[1] Kirstein, VW AG: New organizational pyramid, *39th EOQ Annual Congress,* Laussane.

[2] Cohen (1995) Quality function deployment, *Addison – Wesley.*

[3] Martin, K. Tate: Project management, *Goal/Qpc, Methuen*, USA.

[4] PMBOOK; A guide to the project management body of knowledge, *PMI, Upper Darby*, PA, USA.

[5] Bessant, D. Francis (1997) Implementing the new product development process, Technovation, *Elsevier Science Ltd,* London.

[6] Pogačnik, S. Štefančič (1998) Computer aided project management, *14th World Congress on Project Management*, Ljubljana.

[7] Schmidt, W., P. J. Finnigan (1993) A practical guide for managing in a total quality organization, *Jossey-Bass Inc.*

[8] Milas, H. (1997) Teambuilding and total quality, *Portland.*

Naslova avtorjev: dr. Marjan Pogačnik
ISKRA EMECO d.d.
4000 Kranj

prof.dr. Janez Kopač
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana

Authors' Addresses: Dr. Marjan Pogačnik
ISKRA EMECO d.d.
4000 Kranj, Slovenia

Prof.Dr. Janez Kopač
Faculty of Mechanical Eng.
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia

Prejeto:
Received: 23.2.2000

Sprejeto:
Accepted: 5.4.2000

© Strojniški vestnik 46(2000)2,110-128 © Journal of Mechanical Engineering 46(2000)2,110-128
ISSN 0039-2480 ISSN 0039-2480
UDK 621.753.5.001.41 UDC 621.753.5.001.41
Pregledni znanstveni članek (1.02) Review scientific paper (1.02)

Hitra izdelava prototipov

Rapid Prototyping

Janez Kopač - Borut Sterle

Industrija je zahtevala vedno krajše čase pojavljanja izdelkov na tržišču, večje število različic, nižje cene in druge izboljšave izdelkov; zaradi teh zahtev se je razvilo področje hitre izdelave prototipov (HIP). V današnjem času lahko z uporabo sistemov HIP hitro izdelamo, preskusimo in proučimo prototipne izdelke, kar pripomore k skrajšanju časa razvoja novega izdelka. Izdelki, izdelani na ta način, imajo tako natančnost in kakovost površine kakor deli, izdelani z odrezovanjem (struženje, frezanje itn.).

Članek obravnava primerjavo med konvencionalnimi metodami izdelave prototipov in sodobnim postopkom razvoja novega izdelka, predstavljene so različne tehnologije HIP za razvoj in izdelavo novega izdelka ter njihove prednosti.

(Ključne besede: izdelava prototipov hitra, tehnologije izdelave, rapid prototyping, modeliranje)

Industry requires shorter times to launch products on to the market. It also demands product variety, lower prices and other product improvements. As a consequence of these demands Rapid Prototyping (RP) has been developed. It is now possible to produce, test and investigate prototypes more rapidly than ever, which helps in time shortening for new product development. Products made by RP have accuracy and quality of the surface as good as parts made by cutting (turning, milling, etc.).

This paper describes and compares the benefits and differences between conventional and various RP methods of product development.

(Keywords: rapid prototyping, prototype making, rapid prototyping technologies, modelling)

1 IZZIV DEVETDESETIH LET IN VLOGA HITRE IZDELAVE PROTOTIPOV

Glede na to, da je bila v 70. in 80. letih tekmovalnost predvsem pri ceni, kakovosti in razpoložljivosti izdelka ter ne nazadnje pri upoštevanju želja strank, je izziv 90. predvsem v nadzorovanju stroškov in času prihoda izdelka na trg.

Vse te zahteve v zadnjih letih so narekovale sodobne načine, po katerih je mogoče priti čim hitreje in ceneje do prototipnega izdelka ter s tem tudi skrajšati čas razvoja končnega izdelka. K temu je pripomogel tudi skokovit razvoj računalniške tehnologije, saj je računalniška integracija navzoča v vseh fazah izdelave končnega izdelka.

V današnji porabniški družbi je "doba trajanja izdelka"(sl. 1) merjena v obdobju nekaj let ali celo nekaj mesecev in se bo tudi še skrajševala, zato dragocenega časa ne smemo izgubljati s predolgimi zaporednimi fazami razvoja.

V diagramu (sl. 2) je prikazana potencialna izguba tržnega deleža in s tem dobička v primeru, da

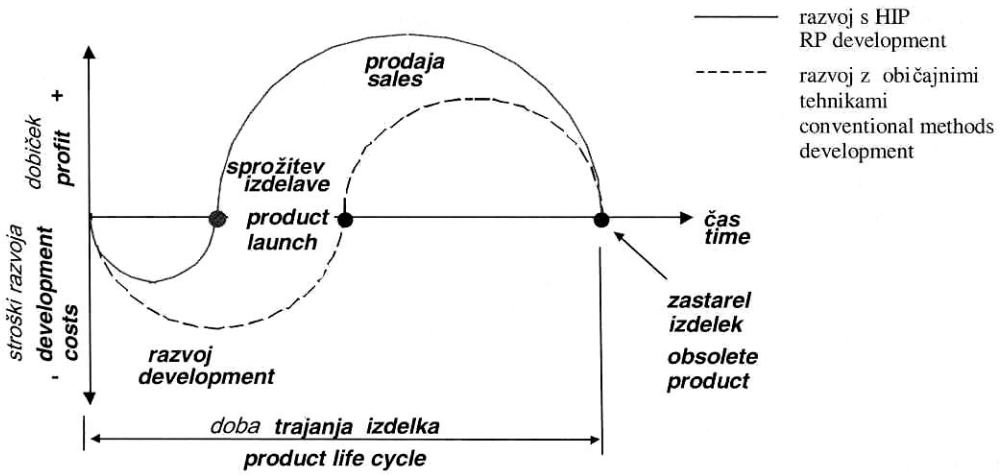
1 THE CHALLENGE OF THE NINETHIES AND THE ROLE OF RAPID PROTOTYPING

Competition in the 70s and 80s was above all about price, quality, product availability and customer choice, but in the 90s the emphasis has shifted in the direction of controlled costs and reducing the time-to-market as much as possible.

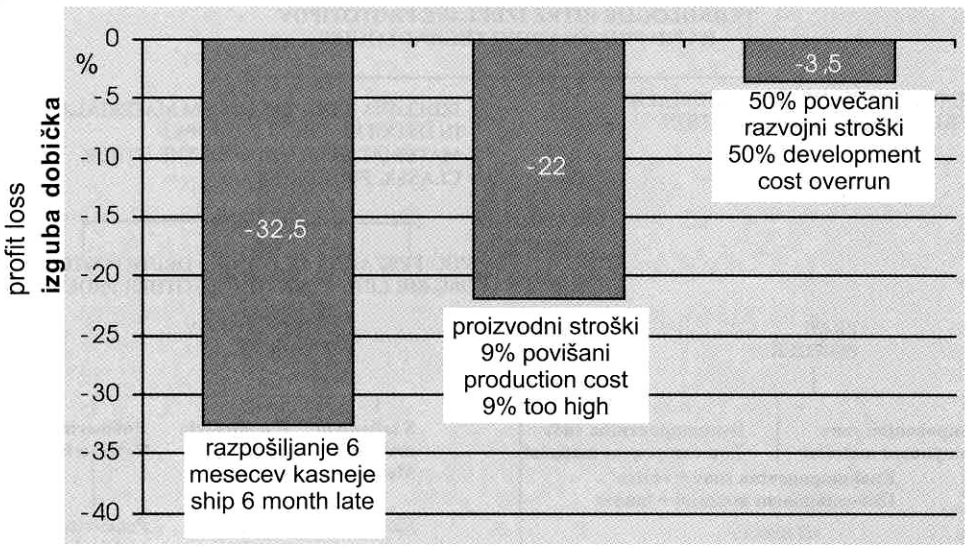
All those requirements in the past forced the appearance of modern technology which makes it possible to get prototypes cheaper, faster and with shorter development time for new products. Making prototypes depends upon the rapid development of computer-aided integration which is having an immediate impact at all stages of the manufacturing cycle.

In todays consumer society, product life cycles (Fig. 1) can be measured in terms of a few years or even a few months, and continue to shorten, therefore the precoius time mustn't be lost by successive phase development.

The diagram (Fig. 2) shows potential loss of profit. The time to market is of vital importance as the profitability of the product can be seriously



Sl. 1. *Doba trajanja izdelka [3]*
Fig. 1. *Product life cycle [3]*



Sl. 2. *Potencialna izguba dobička [3]*
Fig. 2. *Potential loss of profit [3]*

zamudimo z razpošiljanjem izdelka na trg. Če pride izdelek šest mesecev prepozno na trg, se celoten dobiček, ustvarjen v njegovi dobi trajanja zmanjša za tretjino (prvi stolpec). V primeru, da povečamo proizvodne stroške za 9%, še vedno izgubimo 22% dobička (srednji stolpec). Če pa uporabljamo sodobne postopke pri razvoju novega izdelka, kot je HIP, pa izgubimo samo 3,5% dobička, kjub temu da se razvojni stroški povečajo za 50% (tretji stolpec).

Kot rezultat vseh zgoraj naštetih dejstev so si konstrukterji in tehnologi pod velikimi pritiski prizadevali, da bi zadostili vsem zahtevam specifikacije izdelka in terminskih rokov. Sporne omejitve je treba na vsak način odstraniti in izdelati najboljši, funkcionalni in tehnološki izdelek z nadzorovanimi stroški in v čim krajšem času.

Zato se je pojavila želja, čim hitreje izdelati prototip, ki bo vizualno ter v neki meri tudi

impaired by being late. The product will ultimately get lower market share than it would have, had it been delivered on time. If a product is six months late to the market the total profit generated by the product during its life will be reduced by one third (first column). In case that production cost are 9% too high we still lose 22% of potential profit (second column). The third column shows 50% development cost overrun by using RP technology but potential loss of profit is only 3.5%.

As a result of this, designers can be under severe pressure as they strive to satisfy the requirements of the product specification and meeting delivery dates. Conflicting constraints have to be juggled and reconciled to produce a balanced functional and manufacturable product within the cost budget and time frame.

For these reasons, the prototype has to be produced as fast as possible with some visual and

funkcionalno čim bolj ustrezal novemu izdelku, to pa omogoča prav tehnologija hitre izdelave prototipov. Razvil se je nov postopek razvoja izdelkov in materiali, ki omogočajo izdelavo orodij za nekaj deset izdelkov. To pa ponavadi zadošča za potrebe testiranj in predstavitve novega izdelka. V to skupino sodijo silikonska orodja, orodja iz umetnih snovi in orodja iz nizko taljivih kovin (Al-zlitine). Vendar za vsa našteta orodja potrebujemo model, ki ga je bilo do nedavnega treba izdelovati ročno, sedaj pa ga dajejo različni postopki hitre izdelave prototipov.

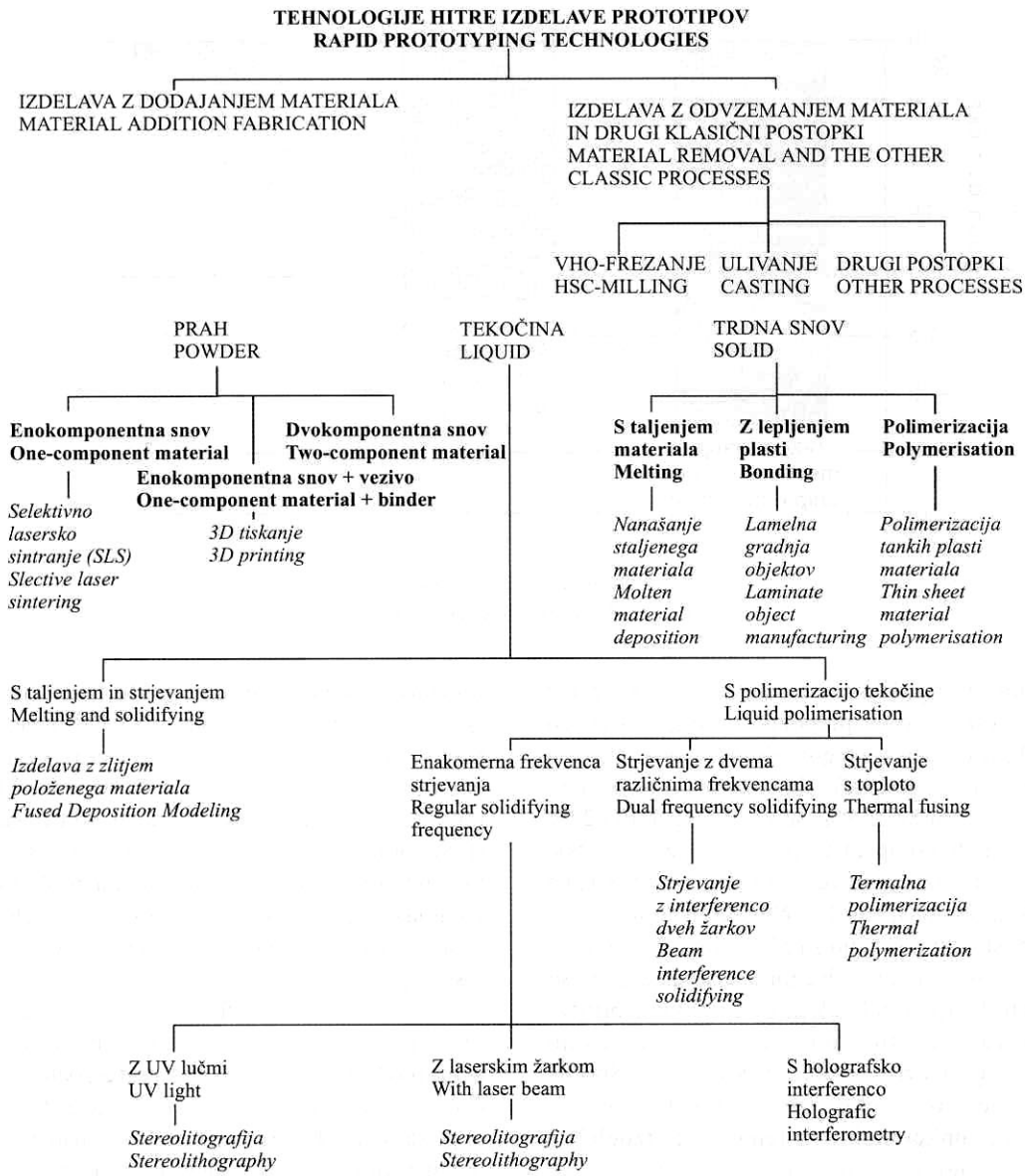
2 DEFINICIJA IN KLASIFIKACIJA TEHNOLOGIJE IZDELAVE PROTOTIPOV

Hitra izdelava prototipov (HIP) je nov strokovni izraz, za skupino tehnologij, ki zgradi

semi-functional properties being the same as in the final product, and this can only be achieved with rapid prototyping technology. A new approach to developing products has appeared and materials have been synthesized which enables producing tools only for several products. Usually they satisfy needs for testing and presentation a new product. To this group belong silicon tools, made of artificial materials and of low fusible metals (Al-alloys). However, for all the listed tools a mould is needed, which has so far been produced manually. Nowadays a mould can be made by several RP technologies.

2 DEFINITION AND CLASSIFICATION OF RAPID PROTOTYPING

Rapid prototyping is a new term for a group of technologies which build solid, physical 3-D, ob-



Sl. 3. *Prikaz različnih tehnologij hitre izdelave prototipov [7]*
Fig. 3. *Classification of Rapid Prototyping Methods [7]*

tridimenzionalni fizični model, neposredno iz datoteke računalniško podprtega načrtovanja (RPN - CAD) brez posredovanja človeka. Za komercialne potrebe se je prvič pojavil leta 1986. Vse do danes pa se je razvila vrsta postopkov HIP, od katerih jih je pet komercialno razširjenih po vsem svetu (sl.3).

1. Tehnologija HIP pomeni most med konstruiranjem in proizvodnim procesom in jo delimo v dve kategoriji:
- Tehnologije, ki dodajajo material med gradnjo prototipa.
- Tehnologije, ki odvzemajo material med izdelavo prototipa.
2. Dodajni material, potreben za izdelavo prototipa, pa razdeli metode na:
- Tehnologije na osnovi tekočine, ki strjujejo smolo z uporabo elektromagnetnega sevanja.
- Taljenje in spajanje nepovezanih delcev (v obliki prahu) v želen profil.
- Lepljenje tankih, na določene konture odrezanih plošč.

2.1 Procesna veriga za izdelavo modela

Prav tako kakor pri drugih izdelovalnih procesih ima procesno načrtovanje zelo pomembno vlogo pred začetkom obdelave s HIP.

Vsi sistemi za HIP imajo podobno procesno verigo (sl. 4), v kateri je pet korakov: tridimenzionalno modeliranje, sprememba in prenos podatkov, preverjanje in priprava, gradnja in poznejša obdelava.

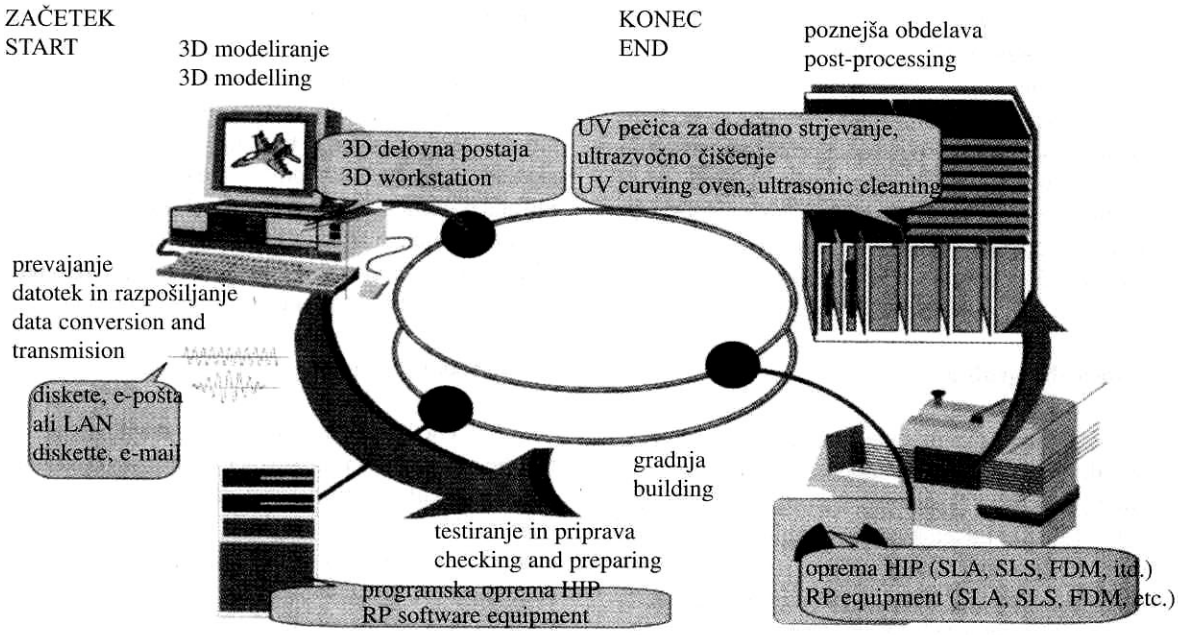
jects, directly from CAD data without human interference. Commercial rapid prototyping appeared 1986. A wide range of rapid prototyping technologies have now been developed, five of which have been successful introduced around the world (Fig. 3).

1. Rapid prototyping is a new technology which bridges the design and manufacturing process, it can be grouped broadly into two categories:
- Technologies which add material as the prototype is built up.
- Technologies which remove material as the prototype is machined out of a solid block.
2. Material additive processes may be further divided by the type of material used in the prototype formation:
- Liquid based technologies that involve the solidification of a resin by the use of electromagnetic radiation.
- The melting and fusing of the discrete particles into the required profile.
- The bonding of solid sheets of material cut to a predetermined profile.

2.1. Model production process chain

However, like other fabrication processes, process planning has significant role before the RP commences.

All RP systems generally have a similar type of process chain (Fig. 4). There are a total of five steps in the chain: 3-D modelling, data conversion and transmission, checking and preparing, building and post-processing.



Sl. 4. *Procesna veriga tehnologije hitre izdelave prototipov [1]*
Fig. 4. *Process chain of the Rapid Prototyping Process [1]*

Preglednica 1. *Komercialno dostopni postopki HIP [7]*
Table 1. *Commercially available RP technologies [7]*

Postopki HIP RP technology	Čas prihoda na trg Date Launched	Proizvajalec Manufacturer
stereolitografija stereolithography (SLA)	1988	3D Systems
lamelna gradnja objektov laminated object manufacturing (LGO - LOM)	1991	Helisys
selektivno lasersko sintranje selective laser sintering (SLS)	1992	DTM
modeliranje s talilnim nanašanjem fused deposition modelling (MTN - FDM)	1991	Stratays
strjevanje skozi motno steklo solid ground curing (SMS - SGC)	1991	Cubital

Preglednica 2. *Druge tehnologije HIP v razvoju [7]*
Table 2. *Some of the other RP technologies under development [7]*

Postopki HIP RP technology	Čas prihoda na trg Date Launched	Proizvajalec Manufacturer
fotostrjevanje photosolidification (LS)	V razvoju Under Development	Light Sculpturing Inc.
neposredno lupinasto ulivanje direct shell production casting (DSPC)	1995	Soligen Inc.
izdelovalec modela model maker (MM)	1995	Sanders prototype Inc.
izdelava modela z nanašanjem delcev ballistic particle manufacturing (BPM)	1995	BPM Technology
3D tiskanje 3D printing (3DP)	1995	Massachusetts Institute of Technology

3 DANAŠNJE DOSTOPNE HIP TEHNOLOGIJE IN NJIHOV RAZVOJ

Dandanes je komercialno dostopnih pet osnovnih tehnologij.

Obstaja še vrsta drugih HIP postopkov, ki so še v razvoju.

Vse naštete tehnologije delujejo na podlagi dodajanja materiala med gradnjo prototipa, podobno kakor stereolitografija. Prav tako je tudi tukaj potrebna poznejša obdelava, to sta peskanje in poliranje za odstranjevanje stopničenja plasti. Modele na koncu tudi pobarvajo in polakirajo za zaščito proti vlagi ter za bolj stvaren videz.

3.1 Stereolitografija

Proces gradnje se začne z nastavitvijo ploščadi na gladino fotopolimerne smole in gradnjo podpor (velikosti 7,5 mm), na katerih začne nastajati izdelek (sl. 5). Laserski snop deluje na površino tekočega fotopolimera in ga pri tem strjuje. Po koncu gradnje določenega sloja se pozicionirna ploščad pomakne (ponavadi za 0,15mm) za eno stopnjo nižje. Sledi preplavitev fotopolimera na prejšnjo strjeno plast. Tako se naredi izdelek plast za plastjo od spodnjega sloja navzgor.

3 CURRENTLY AVAILABLE RP TECHNOLOGIES AND DEVELOPMENT

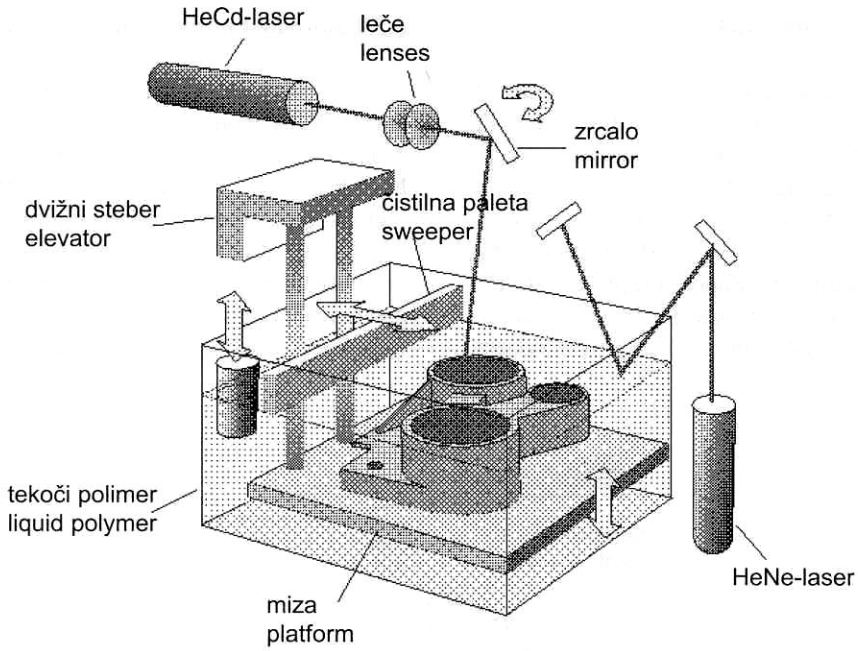
At present there are, commercially available, five basic RP technologies.

There are also a number of other technologies at present under development.

All the RP technologies listed above add material as the prototype is built up, in a similar way to stereolithography. Additional fabricating, such as sanding and polishing, is also required. These processes are used to eliminate the layer stair-stepping effect. Finished prototypes can be painted and varnished to prevent the impact of moisture and improve presentation.

3.1 Stereolithography

The building process begins with positioning the elevator near the surface of the photo-curable liquid and building the support structure (size 7.5 mm) (Fig. 5). The laser beam scans the liquid surface and solidifies the polymer in its path. After the completion of each layer the elevator is lowered by a predefined step (usually 0.15 mm) and the next layer is created in the same way. This is followed by polymer flooding on the previous solidifying layer. The object is thus built in a bottom-to-top fashion.



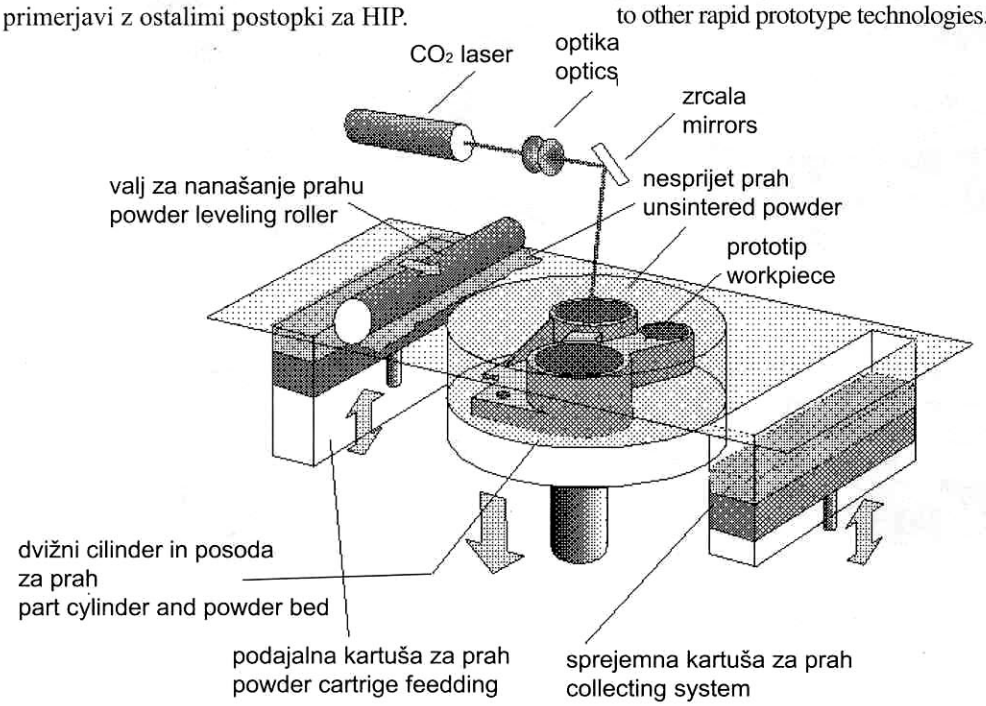
Sl. 5. *Delovanje stereolitografije [16]*
Fig. 5. *A schematic drawing of an stereolithography [16]*

3.2 Selektivno lasersko sintranje (SLS)

Selektivno lasersko sintranje (sl. 6) je ena izmed pionirskih tehnik, razvitih za hitro izdelavo prototipov na praškasti osnovi in jo lahko primerjamo z SLA. Pri postopkih SLS z laserskim žarkom sintramo prašek v dodajani plasti. Kot gradbeni material pa se največ uporablja vosek, najlon in kovina. Največja prednost tega postopka je v veliki hitrosti gradnje prototipa in uporabi različnih materialov v primerjavi z ostalimi postopki za HIP.

3.2 Selective laser sintering (SLS)

SLS is one of the pioneering techniques developed to fabricate the prototype of a part quickly, on a powder-material basis (Fig. 6). The process is similar to SLA, but this time an infrared laser beam is used to fuse the powdered thermoplastic material layer by layer. Building materials such as wax, nylon and metal are used in this process. The main advantage of this process is a higher part-building speed and using various material compared to other rapid prototype technologies.



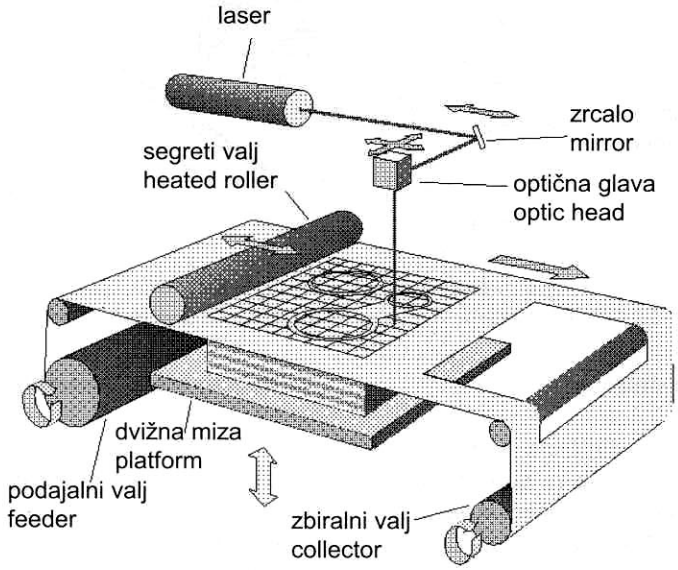
Sl. 6. *Selektivno lasersko sintranje [16]*
Fig. 6. *A schematic drawing of an selective laser sintering [16]*

3.3 Lamelna gradnja objektov (LGO)

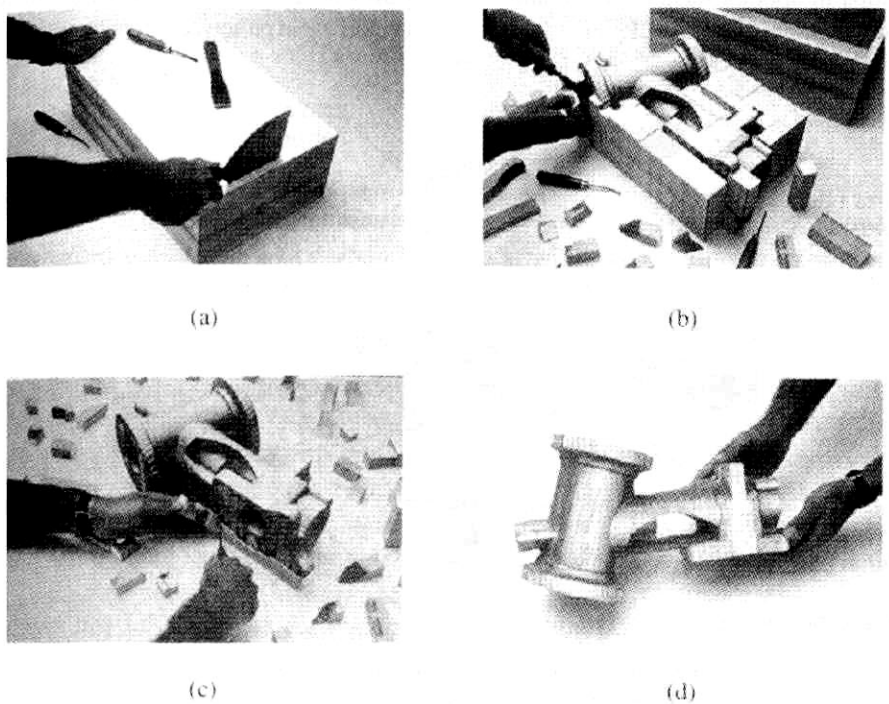
Hitra izdelava prototipov kakor je postopek LGO (sl. 7), se na osnovi gradnje s trdimi materiali, v primerjavi s tekočimi fotomateriali močno razlikuje. Pri tem procesu se gradi objekt v tankih plasteh, le da se tukaj uporabljajo tanke lamele, ki so lahko iz različnega materiala (papir, plastika, pločevina, keramika, kompoziti itn.). Zaporedne plasti materiala se lepijo med seboj s snovjo, ki je občutljiva na tlak in temperaturo, razrežejo pa se z laserjem ali nožem.

3.3 Laminated object manufacturing (LOM)

Solid-based rapid prototyping systems are very different from liquid-based foto-curing systems. This process (Fig. 7) glues together layers of foils that have been cut to the desired shape. Paper, plastics, metal sheets, ceramics and composites are used for building up prototypes. In this building phase, thin layers of adhesive-coated material, which are pressure and temperature sensitive, are sequentially bonded to each other and individually cut by a laser beam or knife.



Sl. 7. *Lamelna gradnja objektov [16]*
Fig. 7. *A schematic drawing of an laminar object manufacturing [16]*



Sl. 8. *Ločevanje izdelka z lamelno gradnjo [16]*
Fig. 8. *Separation of the laminated object manufacturing [16]*

Zadnja faza vključuje ločevanje podpornega, veznega materiala iz izdelka (sl. 8).

(a) Iz aparata LGO odstranimo delovno mizo, na kateri je pravkar nastajal izdelek.
(b) Potrebujemo kladivce, nož oz. žlico za kitanje za odstranjevanje kosa z delovne mize.
(c) Odvečni vezni material se brez težav odstrani s površine izdelka.
(d) Površino izdelka peskamo, poliramo in barvamo.

3.4 Strjevanje prek steklene maske (SMS)

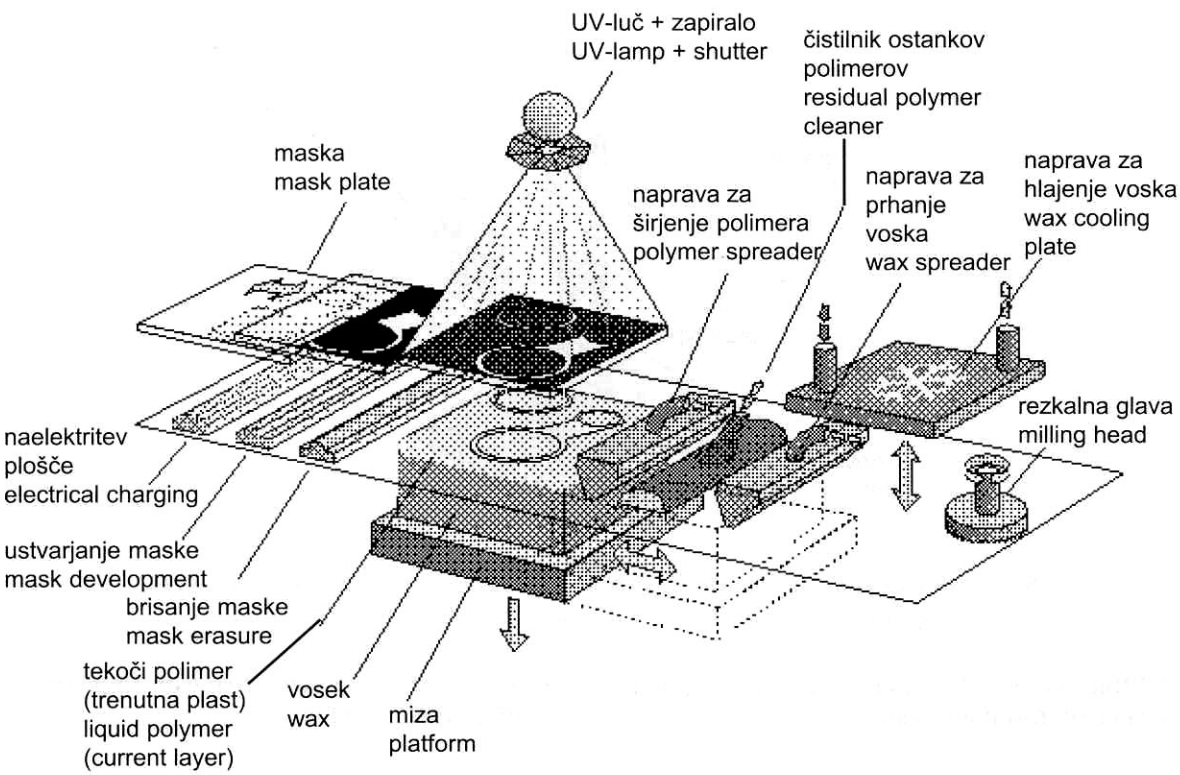
Ta postopek je bil razvit v Izraelu. V primerjavi s SLA, se tudi tukaj uporablja fotopolimerna smola in v vodi topljiv vosek za gradnjo podpor, vendar ta postopek ne uporablja laserja za strjevanje. Sistem SMS naelektri stekleno ploščo, glede na podatke o določenem prerezu modela. Nato pa se na ploščo razprši črn prah, ki se prilepi na tiste dele površine, ki so bili naelektreni, odvečni prah pa odstranimo. Prah ustvari optično masko, ki preprečuje prehod ultravijoličnim žarkom. Tanko plast smole nato nanesemo na površino, jo postavimo v napravo in prekrijemo z masko ter jo izpostavimo ultravijolični svetlobi. Tam, kjer je maska prozorna, se pod njo smola vulkanizira (sl. 9).

The last phase in this process includes separating the part from its support material and finishing it. The separation sequence is as follows (Fig. 8).

(a) The metal platform, home to the newly created part is removed from the LOM machine.
(b) Normally, a hammer and a putty knife are all that are required to separate the LOM block from the platform.
(c) Cubes are easily separated from the object's surface.
(d) The object's surface can then be sanded, polished or painted as desired.

3.4 Solid ground curing (SGC)

The SGC process was originally developed in Israel. This technique involves the use of photo-polymer resins but, unlike SLA, SGC does not utilise lasers. In the SGC system ionography is used to create a charge distribution on a glass plate, corresponding to the cross-section for a given layer. Black toner powder is then spread over the image, with the toner powder selectively adhering at charged locations. Excess toner is then removed. At this point, the black toner powder has formed an optical mask. A thin layer of resin is than prepared on a support carriage/substrate which is moved to the exposure station. The glass plate, bearing the mask for that cross-section, is positioned above the substrate and then exposed to a flood of UV radiation from a high-power UV emitting lamp. The liquid photopolymer resin is then selectively cured wherever the mask is transparent (Fig. 9).



Sl. 9. *Strjevanje prek maske [16]*
Fig. 9. *A shematic drawing of the solid ground curing process [16]*

3.5 Tridimenzionalno tiskanje

Metoda tridimenzionalnega tiskanja gradi plast podobno kakor tiskalnik (pljuvalnik), vendar na osnovi odlaganja praška iz šob. Praškasti material se odlaga po plasteh z napravo za širjenje, ki potuje po delovni površini in je zelo podobna delovanju tiskalnika. Razlika med običajnim tiskalnikom in 3D je ta, da se uporablja prašek kot gradnik za vsak narejen sloj. Po končani gradnji objekta plast za plastjo, ga dodatno segrevamo v peči ter s tem strdimo vezivo in okrepimo objekt. Material, ki se uporablja, je kovinski ali keramični prah ali metalno keramični kompozit s kaloidnim kremenom ali polimerom kot vezivom.

3.6 Modeliranje s talilnim nanašanjem (MTN)

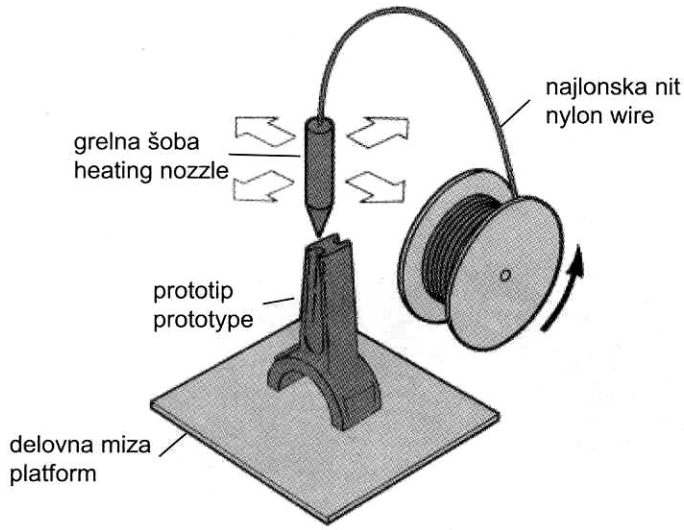
Proces MTN (sl. 10) je v splošnem bolj navdihnjen od zgoraj opisanih tehnik. Ta komercialno razširjen postopek MTN, deluje na osnovi gradnje izdelka plast za plastjo z vbrizgavanjem stopljenega polimera iz šobe. Glava stroja za MTN je sestavljena iz šobe za gradnjo izdelka in iz dodatne šobe za gradnjo podpor. Material, ki je v obliki najlonske nitke, se v tej glavi stali in nanaša na plast, z uporabo prostorninske črpalke. Po končanju gradnje vseh plasti na izdelku, sledi še odstranjevanje podpor.

3.5 3-D Printing

The 3-D Printing technique produces each layer in a manner similar to an ink jet printer but uses a powder deposition process. The powdered material is deposited in layers using a feeder that traverses the work surface along one axis like an ink jet printer. In ink jet printing, each pass of the feeder deposits the ink on a paper layer. This process uses binder with the powder instead of ink, and not only makes one pass, but prints each layer until the part is finished. Once the complete part is built, the part is heated in a furnace to cure the binder and strengthen the part. The unbound powder is then removed using ultrasonic cleaning methods.

3.6 Fused-deposition modelling (FDM)

FDM (Fig. 10) is generally more intuitive than the previous techniques. In short, the process builds a part, layer by layer, using a nozzle that extrudes a soft plastic that hardens quickly after it is put in place. The FDM machine has a head that contains two nozzles for extruding the material. One nozzle is for the actual model or part, and the other is for any necessary support structures. After the FDM head melts the solid material, the nozzles expel very fine layers of the plastic, and the semi-liquid material is extruded through the head using a precision volumetric pump. The molten material heats and fuses with the previous layer, and quickly solidifies. Once the head traces the path of each layer, the support material is peeled off to reveal the completed part.



Sl. 10. *Shematski prikaz delovanja sistema modeliranja s talilnim nanašanjem [16]*
Fig. 10. *A schematic drawing of a fused deposition modelling [16]*

3.7 Računalniško krmiljena (RK) tehnologija na zelo hitrih frezalnih strojih

Med hitro izdelavo prototipov spada tudi RK tehnologija, povezana s hitrim frezanjem, saj zmanjša ceno in čas izdelave ne samo orodij, ampak tudi

3.7 CNC technology connected with High Speed Cutting (HSC) - milling

Another RP technique is CNC technology connected with HSC-milling, which reduces costs and time of tools and models by at least of factor of 2

modelov za 2 do 3-krat. V preteklosti bi zelo težko uporabili RK tehnologijo za hitro izdelavo prototipov; z razvojem programske opreme, sočasnega inženirstva in sistemov za RPN-RP, pa je postalo vse že tako avtomatizirano, da je omogočena hitra in preprosta izdelava modelov. Oba postopka, tako izdelava prototipov v plasteh kakor tudi z odvzemanjem materiala, imata svoje dobre in slabe strani.

Nizozemsko podjetje Delft Spline Systems je razvilo programski paket DeskProto, ki je namenjen za obdelavo številsko krmiljenih (ŠK) prototipov. Sistemi za hitro izdelavo prototipov so predragi, da bi si ga lahko privoščilo vsako podjetje. RK frezanje pa si lahko privošči že skoraj vsako podjetje. RK proces hitre izdelave prototipov se razlikuje od običajne obdelave le po materialu. Pri RK frezanju prototipov se uporabljajo dobro obdelovalni materiali, to so les, umetne snovi in zlitine, ki imajo dobro obdelovalnost. Ti modeli se lahko uporabljajo za vse nadaljnje postopke kot modeli, narejeni z običajnim hitrim prototipiranjem.

Prednosti RK izdelave prototipov pred običajnimi sistemi:

- največja prednost je prav gotovo cena. Običajni RK sistem se dobi že od deset tisoč ameriških dolarjev naprej, za napravo, ki gradi objekt po plasteh, pa je cena od sto tisoč ameriških dolarjev naprej. Seveda so cene močno odvisne od obsega delovnega območja;
- nižji stroški investiranja zmanjšajo tudi ceno prototipov;
- uporaba izdelave prototipov v lastnem podjetju proces izdelave prototipov še pospeši in prihrani nepotrebno izmenjavo podatkov;
- manjša možnost napak, saj tukaj nimamo vplivov vlage, krčenja in temperature. Napake v modelu (reže, sekanje površin in drugo) ne vplivajo na obdelavo;
- mogoča je uporaba široke palete materialov, ki so lahko namenjeni za natančno določene naloge;
- velika natančnost v primerjavi s procesi izdelave modelov po plasteh;
- prehod od modela do orodja je preprost.

Prednosti izdelave modela po plasteh pred numerično krmiljenim frezanjem:

- omogoča izdelavo poljubnih oblik (luknje, spodrezane modele). Tudi ostre notranje robove je mogoče preprosto izdelati;
- zapletenost ne vpliva bistveno na ceno izdelave.

Prednost programskih paketov za RK, namenjenih za hitro izdelavo prototipov, pred običajnimi paketi za RPI:

- preprosta uporaba in nastavitev parametrov tudi neizkušenim delavcem;
- je cenejši;
- uporablja se format modela STL, ki je mnogo bolj stabilen od drugih paketov.

3.8 Vakuumsko litje

Zmožnosti, ki jih ponuja hitro izdelani prototip, so dandanes tako napredovale, da omogočajo

to 3. In the past, CNC technology would rarely be used for Rapid Prototyping, but with software development, concurrent engineering and CAD-CAM systems, automation levels became so high that the rapid and simple production of models became possible. Both RP and CNC processes have positive and negative aspects.

The Dutch company Delf Spline Systems has developed a software package called Deskproto™, which is designed for NC prototype fabricating. In comparison to CNC milling, RP systems could not be afforded by every company. This software package enables simple and automated usage. Comparing with traditional processes, the CNC process for rapid prototyping differs only in use of material. In this process only materials with good fabricating properties, such as wood, plastic materials and alloys can be used.

The key benefits of CNC prototyping comparing with classical systems:

- the main advantage is the relatively low price. Classical CNC systems are much cheaper compared to RP machines, which build a part layer by layer,
- low investment costs consequently reduce the price of the prototype,
- use of prototyping in a company may accelerate and save unnecessary data exchange,
- lower error possibilities, because there is no impact of moisture and temperature. Structural mistakes in the model (slots, holes and other mistakes) have no fabricating influence,
- it is possible to use a wide range of materials, which are used for specific tasks,
- higher accuracy compared with layer-by-layer RP machines,
- it is simple to get tools when the model is made.

Key benefits of layer-by-layer RP equipment compared with NC milling:

- enables the building of parts with any shape (holes, undercuts). It is also possible to build inner edges,
- the complexity of the part has no influence on the price.

The advantages of CNC software packages, used for rapid prototyping compared with classical CAM software packages:

- simple use and parameter adjusting,
- the price is lower,
- STL format is used, which is more stable than other packages.

3.8 Vacuum casting

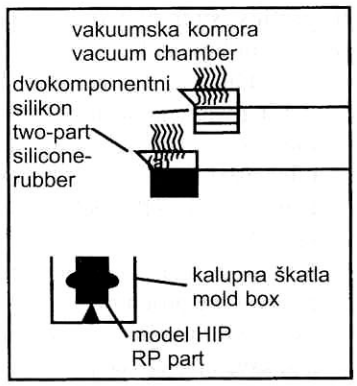
The properties offered by Rapid Prototyping Technology (RPT) parts are sufficiently good nowa-

izdelavo prototipnih orodij z uporabo procesne verige. Najbolj razširjena metoda je vakuumsko litje. Z uporabo vakuumskega litja lahko iz modela za HIP izdelamo silikonski kalup, ki omogoča izdelavo dodatnih 20 prototipov, obstaja pa še litje iz gnetljive snovi. Število ulitkov je odvisno od zapletenosti geometrijske oblike prototipa, natančnosti in materiala končnega prototipa. Prototipi, uporabljeni za poznejšo obdelavo (vakuumsko litje, litje iz gnetljive snovi), pa so že poprej izdelani s posebnimi tehnikami gradnje prototipa.

Proces izdelave funkcionalnih prototipov z uporabo vakuumskega litja je opisan na sliki 11. Najprej izdelamo okvir kalupa in vanj položimo prototip, izdelan z metodo HIP ali običajnimi metodami, v katerega ulijemo silikonsko snov.

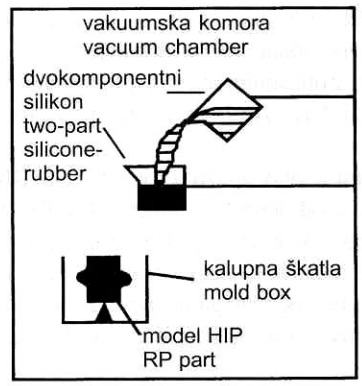
days to enable the production of prototype toolings by using a process chain. A well-established method is vacuum casting. From the RPT model, one obtains a silicon mould from which approximately 20 parts can be made in Epoxy or investment casting wax. Each one has limitations concerning the geometry of the part, precision, number of parts that can be manufactured, and materials that can be obtained in the final part. In addition, some process chains, such as QuickCast™, are restricted to a certain RP process.

Vacuum casting, the process of making physical prototypes, is depicted in Figure 11. Make a casting frame and set up the master model, made by RP or conventional methods.



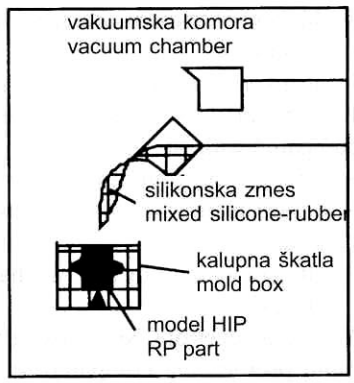
(a)

Najprej se dvokomponentni silikon razplini v vakuumski komori.
The first step in vacuum casting is to degas the two-part silicone-rubber in the vacuum chamber.



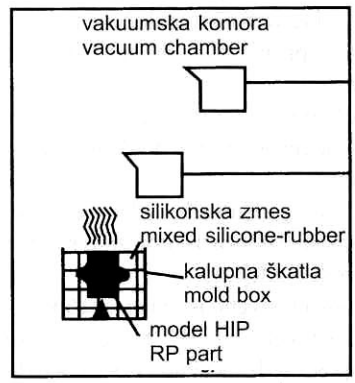
(b)

Razplinjen silikon se zmeša v vakuumski komori.
Once degassed, the two-part silicone-rubber is mixed in the vacuum chamber.



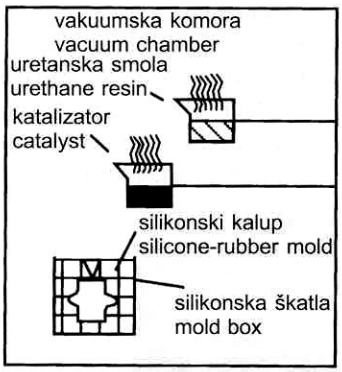
(c)

Po razplinjenju in mešanju se silikon zlije v kalupno škatlo, v kateri je model RP.
After degassing and mixing, the silicone-rubber is poured into the mould-box around the rapid prototyping pattern.



(d)

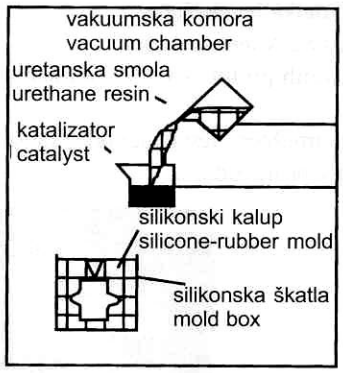
Po litju silikona v kalup se le ta razplinja v vakuumski komori, nato pa sledi še strjevanje v peči.
After the silicone-rubber is poured, the uncured mould is degassed in the vacuum chamber once again, before being placed in the oven for curing.



(e)

Ko je model za HIP odstranjen iz strjenega kalupa, se kalup ponovno postavi v vakuumsko komoro, v katerem je dvokomponentna uretanska smola, ki je že razplinjena.

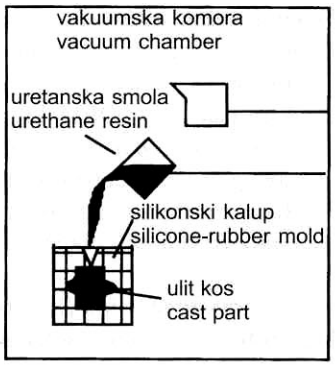
After the mould is cured and the RP master removed, the mould is reassembled and placed back in the vacuum chamber along with the two-part urethane, which is degassed.



(f)

Uretanska smola je zmešana s katalizatorjem v vakuumski komori.

The urethane resin is mixed inside the vacuum chamber.



(g)

Po končanem mešanju in razplinjanju se uretansko smolo ulije v kalup. Ker proces litja poteka v vakuumu, je bojazen za nastanek zračnih mehurčkov in praznih prostorov izključena.

After mixing and degassing, the urethane resin is poured into the mould. Because this takes place in a vacuum, the mould will fill completely with no chance of airpockets or voids.

(h)

Po končanem litju se silikonski kalup, v katerem je ulit uretanski kos, strjuje dve do štiri ure v peči pri temp. 45°C do 65°C.

After the urethane is poured into the mould it is removed from the vacuum chamber and placed in a process oven at 45°C to 65°C for 2 to 4 hours to cure the urethane part.

Sl. 11. *Postopek vakuumskega ulivanja [1]*
Fig. 11. *Vacuum casting [1]*

4 PRIKAZ PRAKTIČNIH PRIMEROV

4.1 Radiatorski ventil

Načrtovanje radiatorskega ventila (sl. 12) s tehnologijo HIP uporablja naslednje korake.

1. Načrtovanje ventila s programskim orodjem Pro/Engineer.
2. Izdelavo začetnega osnutka ventila s SLA. Model damo na vpogled vodilnim v podjetju, kjer se odločijo za določene spremembe.
3. Izboljšanje ventila.

4 CASE STUDIES

4.1 Radiator valve

The design process for a radiator valve (Fig. 12) uses the following steps.

1. Design valve using the Pro/Engineer software package
2. Produce initial valve by SLA. The model can be on approval to the managers and the other responsible people in the company, who can decide on changes.

4. Končna oblika izdelka je narejena.
5. Izdelavo ventila s SLA ter montažo.
6. Izdelavo 20 dodatnih prototipov z vakuumskim ulivanjem.
7. Testiranje izdelka – trpežnost / testiranje vodotesnosti.
8. Model spustimo v proizvodnjo.

3. Design review
4. Final design created
5. Produce working RP valve assembly (SLA)
6. Produce 20 prototypes using vacuum casting
7. Product tested – durability/water-leak tests
8. Design released for production

Sl. 12. *Prikaz razvojnega osnutka ventila z desne proti levi*
Fig. 12. *Radiator valve design concept from right to left*

Kaj s tem dosežemo?

1. Zmanjšan čas od začetnega osnutka do redne proizvodnje za 18 tednov.
2. Varčevanje stroškov za 3,9 DEM/ventil v primerjavi s tradicionalnim konstruiranjem. Torej, 686.000DEM prihranka pri seriji 200.000 ventilov.
3. Zmanjšani stroški izdelave orodij, ker je atestiranih 20 prototipov, in sicer za 187.000 DEM.

What did this achieve?

1. Reduced the time from initial concept to production by 18 weeks
2. A cost saving of DEM 3.9 per valve when compared to the old design. This resulted in a further saving of DEM 686,000 with 200,000 valves.
3. Reduced the tooling cost to produce 20 prototype assemblies by DEM 187,000.

4.2 Primer uporabe tehnologije VHO za izdelavo okrova prototipa mobilnega telefona

Odrezovanje z veliko hitrostjo (VHO) se razlikuje od konvencionalnega RK frezanja, ker sloni na izjemnih zmogljivostih velikih hitrosti. Za izdelavo prototipov postaja hitro frezanje pomembno orodje, ki omogoča hitrejša podajanja, boljšo kakovost površin z manj ročnega dela, večjo natančnost ter široko izbiro materialov. Hitro frezanje zmanjša ročno delo (poliranje, peskanje in dodatna obdelava), namreč vsaka končna obdelava na prototipu zmanjša njegovo natančnost nasproti informacijam, ki so bile oblikovane pri RPN.

Seveda hitro frezanje ne nadomesti v popolnosti postopkov za HIP, kakršna je stereolitografija, predvsem zaradi prezaple-tenosti geometrijske oblike izdelka, prav tako pa je problematična obdelava lupin. Zato je v našem primeru okrov mobilnega telefona namenjen predvsem za vizualno in ne toliko funkcijsko predstavitev.

Obstaja namreč veliko primerov, pri katerih SLA izvrstno zadosti določenim potrebam. Frezanje VHO pa je samo eden od postopkov, pri katerih hitro izdelamo prototipe s čimmanj stroški.

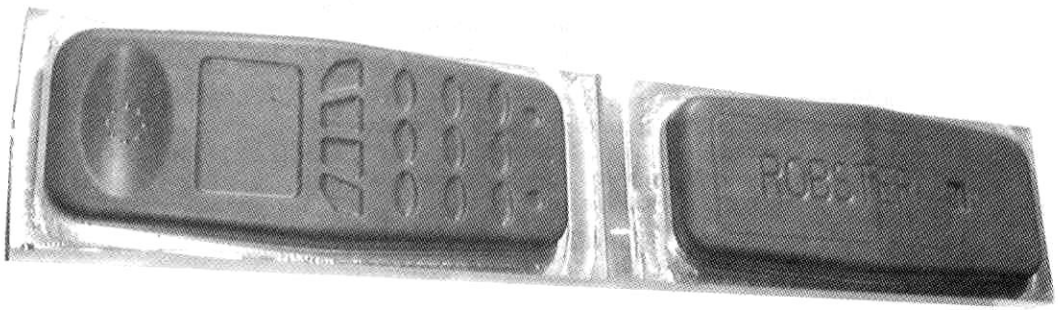
4.2 Case study of using HSC-technology for making prototypes of mobile telephone

High speed cutting (HSC) technology is different from conventional CNC milling in that it relies on high-speed capability and techniques to the extreme. For prototyping, rapid milling becomes a powerful tool that provides faster feed rates, better finishes with less handwork, higher accuracies, and allows a very wide choice of materials. Rapid milling reduces handwork, providing several benefits. It's hard finding good help today for the monotonous work of filing, sanding and polishing parts. Further, no matter how good they are, each finishing stroke on a part reduces its accuracy from the CAD information the part was designed to be.

Rapid milling doesn't replace RP processes completely, as stereolithography. It is hard to make complex geometry part or shell machining. For this reason the mobile telephone prototype is only for visual and not for functional presentation.

There are many cases where stereolithography parts meet the need just fine, and the lower cost can be an advantage hard to overcome with any accuracy or materials. This serves only to emphasize how rapid milling, as with all our current prototyping methods, is just one more tool in the box, another way to approach the job."

Material: termoplast Novilon *Material of the part:* thermoplast Novilon *Obdelovalni stroj:* Mori Seiki, Frontier-m_I *Machine:* *Tehnološki proces:* hitro frezanje za izdelavo prototipov *Manufacturing process*: rapid milling for prototyping *Operacije in orodja:* *Operations and tools*: 	*Grobo frezanje:* steblasto frezalo ϕ 10R0 mm krogelno frezalo ϕ 6R3 mm *Rough milling:* cylindrical cutter ϕ 10R0 mm ball cutter ϕ 6R3 mm *Fino frezanje:* krogelno frezalo ϕ 3R1,5 mm *Finishing milling:* ball cutter ϕ 3R1,5 mm *Odrezovalni parametri:* *Cutting parameters*: n = 8000 - 20000 min^{-1} (multiplikator/multiplicator) v_f = 1000 - 2000 mm/min



Sl. 13. *Prototip izdelan na osnovi tehnologije VHO [29]*
Fig. 13. *HSC technology prototyping part [29]*

Prototip je lahko izdelan iz plastike (sl.13) podobne kakršno ima končni izdelek, izdelan z injekcijskim brizganjem. Izdelan je na osnovi detajlov in dimenzijskih podatkov vsebovanih v modelu izdelka. V zelo hitri prototipni RK stroj pošljemo podatke iz sistema za RPN/RPI, v katerem izdelek zmodeliramo. Prototip pozneje še pobarvamo in olepšamo, tako da je po videzu enak pravim injekcijsko brizganim izdelkom.

Prednosti izdelave prototipa mobilnega telefona z VHO-RK tehnologijo v primerjavi s SLA so naslednje:

1. Neomejena izbira materialov.
2. Večja je natančnost.
3. Kakovost površine je boljša.
4. Nekoliko krajši je čas izdelave.
5. Zmernejša je cena izdelave prototipa.

Optimiranje izbire orodij in tehnoloških parametrov od grobe do zelo fine obdelave pa na osnovi razdelitve rezov omogoča 30 do 50% skrajšanje izdelavnih časov. Za izdelavo funkcijskih prototipov z nadzorovanimi stroški in kratkim časom izdelave je najbolj primerna kombinacija VHO in preostalih postopkov HIP.

5 PREDNOSTI TEHNOLOGIJE HITRE IZDELAVE PROTOTIPOV

1. Stroški razvoja orodij (sl. 14), še posebno za masovno proizvodnjo, kakor so orodja za tlačno litje, inducirano litje, injekcijsko brizganje, litje

Prototypes are machined from plastic (Fig. 13) similar to the products made on the base of injection molded material. They are built using detail and dimensional information contained in the part drawings that will later be used in the construction of production injection mold tooling. The CAD/CAM system data files on the product will be directly downloaded to the custom, high speed prototype CNC machine for automated machining. The prototype is further painted and finished cosmetically to be indistinguishable from a serial injection molded part.

Here are the advantages of the HSC-CNC technology for prototyping mobile phone compared with the SLA:

1. Unlimited choice of materials
2. Higher accuracy
3. Quality surfacing
4. Shorter finishing time
5. Moderate prototyping equipment cost

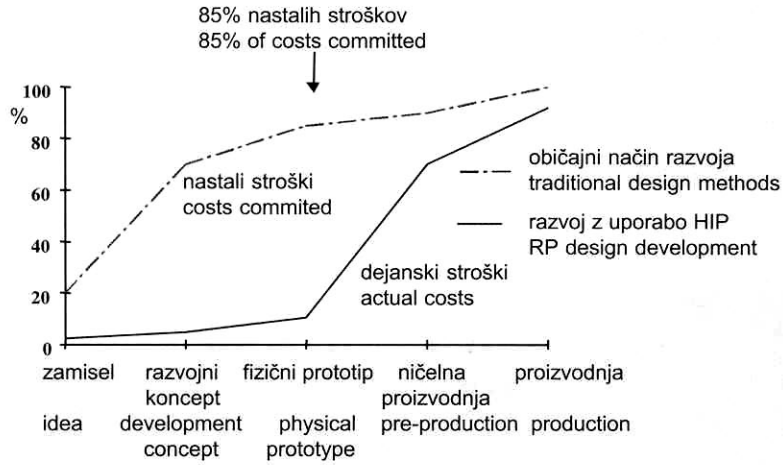
Optimisation of the tool choosing and technology parameters for rough to finish milling enables reducing the manufacturing time for 30 to 50%. For making functional prototypes with control of costs and in short time the combination of both technologies the HSC and other RP processes is the most suitable.

5 THE KEY BENEFITS OF RAPID PROTOTYPING

1. The cost of tooling, especially for mass production processes such as injection moulding, die casting, investment casting, sand casting and

v pesek, kovanje, se dvignejo v sto tisoče dolarjev in traja mnogo mesecev, preden jih končamo, zato je tehnologija HIP v veliko pomoč pri zmanjševanju časa in stroškov (sl. 14).

forming can run into $100,000 and take many months to complete, it is in this area that RP can be a major benefit in cost savings and significant time reduction (Fig. 14).



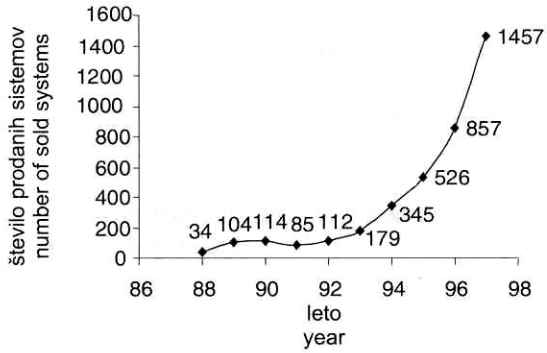
Sl. 14. *Stroški razvoja orodij [3]*
Fig. 14. *Tool development costs [3]*

2. Glede na to, da je veliko dražje delati spremembe na izdelku, ko je proizvodnja v polnem teku, tehnologija HIP pomaga premostiti vrzel med konstruriranjem izdelka, izdelavo prototipov, verifikacijo, testiranjem in zmanjševanjem časa za trg.
3. Konstrukterji niso več omejeni pri uresničevanju svojih zamisli, ker je prototip izdelan v nekaj dneh z zelo majhnimi stroški, poleg tega pa se s tehnologijo HIP izognemo dragim usodnim napakam. Konstrukcijske napake so namreč odkrite veliko prej, preden naročimo izdelavo orodja.
4. Kot informacijsko orodje ima HIP neposreden vpliv na vsa področja izdelovalnega kroga, še posebej v začetnem stanju načrtovanja, ko se konstrukterji, oblikovalci, tehnologi, trgovci in orodjarji posvetujejo z modelom v rokah, glede najboljše poti za izdelavo.
5. Na primer pri tlačno litem ali injekcijsko brizganem izdelku, je položaj delilne ravnine, dolivnih kanalov, odzračevalnih kanalov, hladilnih kanalov, debeline stene in livarskih nagibov ključnega pomena za izdelovalni proces. Prav ti pa imajo neposreden vpliv na kakovost končnega izdelka, nepravilna lega namreč povzroči popačenje, zvitje, delno zapolnitev kalupa, slab pretok materiala ali pa se izdelek uniči pri nepravilno konstruiranem izmetalu.
6. Tudi na področju napetostne analize ima HIP veliko prednost, saj poenostavi izvajanje porušnih in neporušnih testov. Analiza končnih elementov je namreč velikokrat zapletena in včasih celo nemogoča. Poleg tega pa lahko za obremenitvene preskuse uporabljamo prototipe iz enakih materialov, kakršne ima končni izdelek.
7. Hitra izdelava prototipov izdelkov se je začelo širiti na hitro izdelavo orodij za prototipne serije

2. Since it is more expensive to engineer in changes when a product is in full production, RP has gone a long way to bridge the gap between product design, prototyping, product verification, testing and reducing the time to market.
3. Designers are no longer restricted to design concepts and expensive prototypes, which can take weeks to build. New iterations of the design can now be performed and tested in weeks rather than months thus avoiding expensive mistakes.
4. As a communications tool, RP is having an immediate impact at all stages of the manufacturing cycle, particularly at the initial planning stage where designers, manufacturing engineers, process and production planers, and tooling engineers can sit down together with a physical model to discuss the best route for manufacturing.
5. For example in a die cast or injection-moulded product, the position of the mould parting lines, ejectors, air vents, cooling channels as well as web thicknesses and draw angles etc. are of critical importance to the manufacturing process. These have a direct bearing on the finished product quality, as incorrect positioning, or errors in the design of the mould, can result in product distortion, partial mould filling, poor material flow or the product being damaged by failing to eject satisfactorily at the end of the mould cycle.
6. Various mould-filling and flow-analysis programmes are available to assist in determining the gating and risers position, metal flow, heat transfer and cooling rates. However these are complex and empirical information may be available for the proposed new shape to be cast.
7. Rapid prototyping was expanded for the rapid tooling of soft tools (tools for limited pre-pro-

(mehko orodje) in kasneje tudi na izdelavo orodja za proizvodnjo (trdo orodje). Tako so prototipe, ki so jih sprva le vizualno ocenjevali, sedaj začeli uporabljati tudi v proizvodnji. Zaradi prednosti, ki jih ima hitro izdelovanje prototipov, se vsako leto poveča število naprav za 35% (sl. 15).

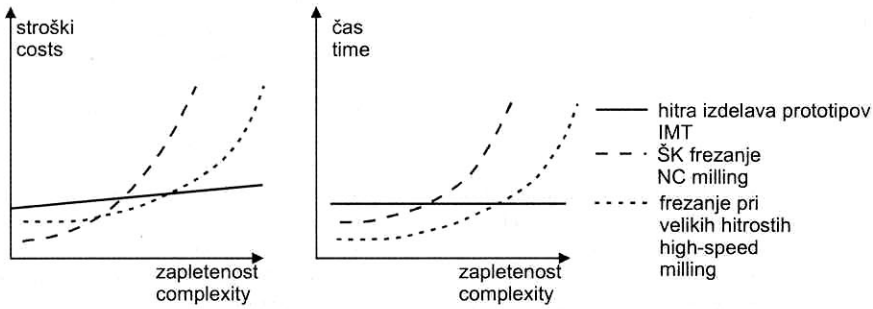
duction) and hard tools (tools for production). Until recently those prototypes were only for visual examination, but now they are also for stress analyses and use in production. These advantages have helped increase the sales of RP technology by 35% (Fig. 15).



Sl. 15. *Naraščanje števila uporabnikov tehnologije RP [16]*
Fig. 15. *Increasing number of RP technology users [16]*

8. Hitra izdelava prototipov verjetno ne bo nikoli nadomestila standardnih metod razvoja izdelka, je pa to eden od načinov, po katerem je mogoče hitreje priti do izdelkov in orodij. Vse bolj se uveljavlja tudi v medicini. Sodobna tehnologija (magnetna resonanca in drugi postopki) je omogočila tridimenzionalno opazovanje človekovih notranjih organov. Tridimenzionalno sliko je treba le še računalniško obdelati in že imamo model, iz katerega lahko naredimo fizični objekt (kosti, sklepe in druge organe).

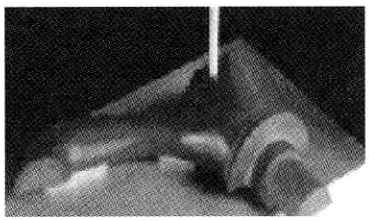
8. RPT does not - and will not - replace completely conventional technologies such NC and high-speed milling, or even hand-made parts. Rather, one should regard RPT as one more option in the toolkit for manufacturing parts. Figure 15 depicts a rough comparison between RPT and milling with respect to the costs and time of manufacturing one part as a function of part complexity.



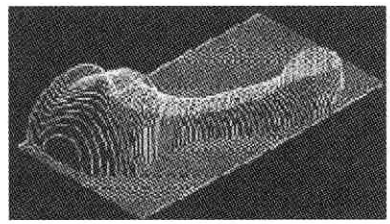
Sl. 16. *Primerjava HIP z drugimi tehnologijami [16]*
Fig. 16. *RP Technologies as conventional technologies [16]*

9. Danes si projektanti, konstrukterji in tehnologi pošiljajo informacije v obliki načrtov ali vse bolj pogosto s pomočjo datotek. Ampak kaj, če ima nov izdelek ali orodje izhodišče v prototipu ali modelu, ki ga je ustvaril rokodelec, mogoče tudi umetnik? V tem primeru podatki za RPN sploh ne obstajajo, verjetno pa tudi načrtov ni na voljo. Zaradi tega se tehnologija za HIP velikokrat pojavlja v povezavi z obrnjenim inženirstvom (sl. 17), ki je zmožno prebrati (mehansko, optično ali lasersko) in spremeniti "oblake" točk v krivulje, površine in mreže, nato pa te digitalizirane geometrijske podatke fizičnega modela vnese v okolje za RPN.

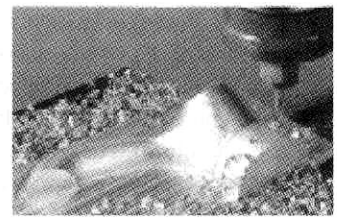
9. Nowadays engineers, designers and manufacturers send information in the form of drawings or more often of files. But what happens, when the new product or tool has the origin in a prototype or model, which was created by a craftsman or an artist? In this case CAD data don't exist and also the drawings are not at disposal. For that reason RP technology has strong connection with Reverse Engineering, which has the ability to read (mechanically, optically or by laser) and transform "clouds" of points in curved lines, surfaces and grids and afterwards all these digital geometry data of physical model to enter in CAD environment (Fig. 17).



ročno narejen izdelek
handmade part



RP model
CAD model



izdelek v obdelavi
machined part

Sl. 17. *Uporaba obrnjenega inženirstva [28]*
Fig. 17. *Using reverse engineering [28]*

5.1 Primerjava prednosti in pomanjkljivosti za tri hitre prototipne metode [26]

5.1 Comparison of advantages and disadvantages for three rapid prototyping methods [26]

metode methods	prednosti advantages	pomanjkljivosti disadvantages
ročno izdelani modeli **handmade models**	• nižji skupni stroški v opremi • lower overhead in tools	• 3 do 4-krat višji stroški • manjša natančnost • ročno delo • dosti daljša doba izdelave • higher cost by 3 to 4 times • less accurate • all handwork • much longer manufacturing time
stereolitografija **stereolithography**	• nižji stroški • hitrejša izdelava • lower costs • faster manufacturing	• zelo draga oprema za HIP • omejena izbira materialov • potrebna dodatna končna obdelava • toksične, drage kemikalije • 2D gradnja po plasteh • slab "občutek" za predstavitve • very expensive equipment • limited choice of materials • more hand finishing • irritating, expensive chemicals • 2D layering buildup of part • poor imagination feeling
hitro frezanje **rapid milling**	• neomejena izbira materialov • občutek "pravega" izdelka • večja natančnost • krajši čas končne izdelave • globlji vtis na stranke in lažja prodaja izdelka • realna 3D površina izdelka • zmerna cena opreme • unlimited choice of materials • true part feeling • higher accuracy • shorter finishing time • deeper impression on customer and easier selling of the part • true 3D surfacing of the part • moderate equipment costs	• stroški za 10% višji kakor pri stereolitografiji • izdelava lahko 10 do 15% daljša kakor pri SLA • daljši čas gradnje za večjo natančnost • votli deli potrebujejo dodatni čas za frezanje notranjosti • costs about 10% higher than with stereolithography • manufacturing 10 to 15% longer than stereolithography • longer building time for fixturing • hollow parts need extra time for milling the inside

6 SKLEP

Uporaba tehnologije za HIP v vseh fazah razvoja izdelka lahko močno pospeši in izboljša proces konstrukcijskih rešitev. Glavna prednost

6 CONCLUSION

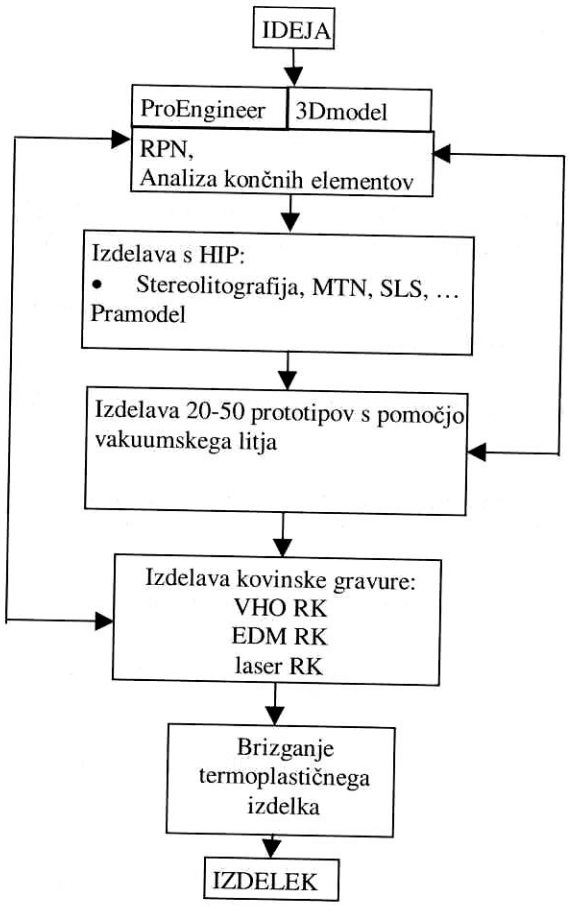
Implementation of RP technologies in different stages of the development process can accelerate the process of realising design solutions. The main ad-

tehnologije za HIP je prav v hitrosti izdelave prototipa s pomočjo neposrednih posebno avtomatiziranih in integriranih operacij ter priprave podatkov.

Današnji postopki HIP so zelo primerni za uporabo, kakor so izdelava modelov in mehkih orodij (za izdelavo omejenega števila prototipov). Za izdelavo trdih orodij (prava orodja za proizvodnjo) in prototipov iz enakega materiala kakor pravi izdelki, pa je treba dobro preučiti zmožnosti, ki jih ponuja sedanja tehnologija za HIP. Kombinacija obdelave HIP in RK je ponavadi še vedno najboljša rešitev v večini primerov.

Prav gotovo pa bo nadaljnji razvoj postopkov za HIP, opreme in materialov še močneje razširil uporabo na področju proizvodnje prototipov.

Tehnologija HIP je eden od pomembnih gradnikov v sistemu sodobne in hitre proizvodnje v smislu od "ideje do izdelka", kakor kratko na splošno prikazuje slika 18.



Sl. 18. *Uporaba modernih tehnologij od "ideje do izdelka"*

vantage of RP technologies is the speed of part fabrication due to highly automated and integrated data preparation and operation without tooling and fixturing.

Current RP technologies are very suitable for less demanding applications in product development, such as fabrication of models and patterns for indirect tooling. In more demanding cases, such as prototyping and direct tooling one should carefully consider the possibilities of current RP technologies. A combination of RP and CNC machining could be an appropriate solution in many engineering situations.

Nevertheless, further developments in RP processes and equipment, implementation of new materials, etc. will in the future, broaden the application field from prototyping towards manufacturing.

RP technology is a milestone in the system of modern and rapid product development in the sense from "idea to product", which is shown in the scheme below (Fig. 18).

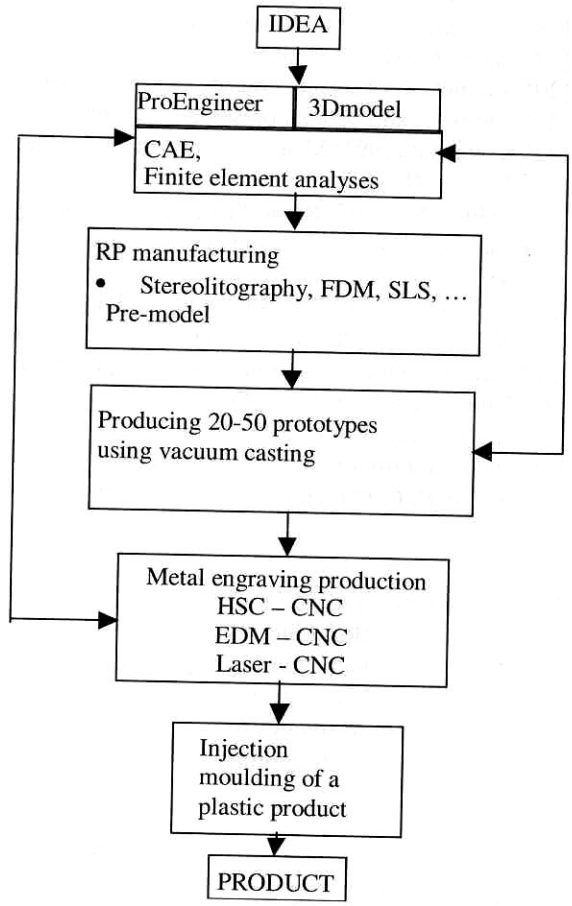


Fig. 18. *Using modern technology from "idea to product"*

7 LITERATURA
7 REFERENCES

[1] Kai, C.C., L.K. Fai (1997) Rapid Prototyping: Principles & applications in manufacturing, *New York.*

[2] Jacobs, P.F.(1996) Stereolitography and other RP&M Technologies. *Society of Manufacturing Engineers; Dearborn, Michigan.*

[3] Clune, J., B. Sterle (1999) The role of modern technology in new product design. *Northern Ireland Technology Centre.*
[4] Sterle, B., J. Kopač (1999) Orodjarstvo '99, *Zbornik posvetovanja Krško.*
[5] Elliot, R.H. (1997) Rapid Prototyping; It's role in the manufacturing process.
[6] MCP Equipment (1997) Vacuum casting technique, Unit 8.
[7] Kruth, J.P. (1991) Material incress manufacturing by Rapid Prototyping techniques. *Annals of CIRP*, Vol.40/2, 603-614.
[8] Bidanda B. J. DiPasquale (1999) Reverse Engineering, Rapid Prototyping, and Rapid Manufacturing. *The 15th International Conference on Production Research, Limerick.*
[9] Pepelnjak T., B. Jurkovšek (1995) Prednosti modernih tehnologij prototipne proizvodnje. *Orodjarstvo '95, Celje.*
[10] N.N. (1994) Material comparison, *Rapid Prototyping Report*, Vol. 4 (1994) 10, 3-6.
[11] Wohlers Associates, Industry Watch (1994) Rapid Prototyping growth continues, *Rapid Prototyping Report*, Vol.4 (1994) 11, 2-5.
[12] Rapid Prototyping Journal (1999) Vol.4, Number 5.
[13] Internet, httm:/www.dtm-corp.com
[14] Open Mind Company (1996) Hyper MILL. OPEN MIND Software Technologies; Germany.
[15] Black, J.T. (1997) Manufacturing systems. *Society of Manufacturing Engineers*; Dearborn, Michigan
[16] Internet, www.cs.hut.fi/~ado/rp/section3_8.html
[17] Internet, www.grapho.com.br/mdt.htm
[18] Internet, www.autodesk.com.au/products/iges/igestran.htm
[19] Internet, www.caddetc.co.uk
[20] Internet, www.cs.mtu.edu/seminar/pratt.abst-1.html
[21] Internet, cadd.cern.ch/presentations/slideshowCsC96/csc.018.html
[22] Kruth, J.P. (1991) Material incress manufacturing by Rapid Prototyping techniques. *Katholieke Universiteit Leuven;* Belgium.
[23] Ashley, S. (1997) Rapid Prototyping is coming of age. *Mechanical Engineering,* vol. 119, no. 3, 82-87.
[24] Childs, T.H.C., N. P. Juster (1994) Linear and geometric accuracies from layer manufacturing. *CIRP,* Vol. 43/1/.
[25] Robinson, T. (1997) Prototyping technology international '97. *The International Review of Simulation-Based Design, Rapid Prototyping & Manufacturing;* United Kingdom.
[26] Internet, www.mmsonline.com/articles/109804.html
[27] Vilus-Vičič, D. (2000) Obrnjeno inženirstvo - Reverse engineering "RE-ENGE" od stvarnega do CAD modela, *Tecos novice*, št. 2 (2000) VI
[28] Internet, http://www.edwadisnd.com/reverse.htm
[29] Sterle, B. (1999) Hitra izdelava prototipov. *Fakulteta za strojništvo*, Diplomska naloga, Ljubljana

Naslov avtorjev: prof.dr. Janez Kopač
Borut Sterle
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana

Authors' Address: Prof.dr. Janez Kopač
Borut Sterle
Faculty of Mechanical Eng.
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia

Prejeto:
Received: 24.2.2000

Sprejeto:
Accepted: 5.4.2000

© Strojniški vestnik 46(2000)2,129-135 © Journal of Mechanical Engineering 46(2000)2,129-135
ISSN 0039-2480 ISSN 0039-2480
UDK 006.87:624.012.45:624.954 UDC 006.87:624.012.45:624.954
Strokovni članek (1.04) Speciality paper (1.04)

Obvladovanje kakovosti pri sanaciji armirano betonskih silosov za cement

Quality Management in the Reconstruction of the Reinforced Concrete Cement Powder Silos

Zdenko Ipavec - Mirko Soković - Bojan Grum

V članku je podan primer obvladovanja kakovosti pri ureditvi površin armirano betonskih objektov - konkretno silosov za skladiščenje cementa. Obravnavan je celoten potek projekta, od posnetka začetnega stanja, definiranja želenega stanja, načrtovanja postopkov sanacije, preverjanja ustreznosti načrta, izbire izvajalca, sistemskega zagotavljanja kakovosti izvedbe del od izvajalca, nadziranja kakovosti izvedbe del od naročnika sanacije, do preverjanja dosežene kakovosti od zunanje neodvisne strokovne ustanove.

(Ključne besede: obvladovanje kakovosti, beton armirani, saniranje objektov, silosi za cement)

In this paper a sample of a quality management in the reconstruction of a reinforced concrete objects - specially surfaces (walls) of silos for the cement powder warehousing is described. All project phases have been studied: silos condition recording before reconstruction, reconstruction aim definition, reconstruction activity planning, reconstruction plan verification, executor selection, systematic reconstruction quality assurance by executor, supervision of reconstruction quality by investor and verification by an external independent institution.

(Keywords: quality management, reinforced concrete, objects reconstruction, cement silos)

0 UVOD

Silosi so pomembni industrijski objekti z vidika uporabnosti, varnosti, gospodarnosti, trajnosti pa tudi estetskega videza in vklapljanja v okolje. Glede na svojo velikost, obliko in namen uporabe - ter po drugi strani prepričanje o betonu kot trajnem in ekološko sprejemljivem materialu - so silosi običajno grajeni kot armirano betonske konstrukcije [1].
Pričakovana doba trajanja armirano betonskih konstrukcij je najmanj 50 let. V praksi se dogaja, da je ta doba tovrstnih objektov zaradi napak krajša od pričakovane. Do napak prihaja tako pri postopku projektiranja kakor tudi pri gradnji in uporabi objektov. Tudi ustrezno projektirane in grajene armirano betonske objekte je treba med uporabo občasno pregledovati in vzdrževati. Betonu in kovinski armaturi grozi propadanje, ki lahko z opustitvijo potrebnih vzdrževalnih posegov povzroči težko popravljive poškodbe.

V Salonitu Anhovo smo se s takšnimi poškodbami objekta soočili na armirano betonskih silosih (sl. 1), v katerih skladiščimo cement. Silosi so zaradi svoje funkcije izpostavljeni trajnim in ponavljajočim notranjim mehanskim obremenitvam (vibracije), podtlaku in visokim temperaturam v celicah silosov. V svojem okolju pa še dodatno zunanjim vplivom (mehanske obremenitve, vreme, agresivno ozračje, mikroorganizmi itn.), ki na objektu povzročajo fizikalne, kemijske in biološke procese, kar privede do pojava poškodb na zunanjih betonskih površinah.

Zaradi napak, ki so bile narejene pri gradnji silosov, in nevzdrževanja objekta v času 21–letne uporabe, so na zunanjih površinah silosov nastale takšne poškodbe, da je bila ogrožena njihova funkcionalnost – silosi niso bili več za vodo neprepustni. Najpomembnejše poškodbe so bile [2]:

- **Odstopanje betona na mestih opažnih lukenj**
  Na mestih opažnih lukenj so po končani gradnji ostala vbetonirana kovinska sidra. Opažne luknje so bile zaprte s cementno malto. Čas je pokazal, da postopek zapiranja teh lukenj ni bil ustrezen. Plast cementne malte nad ostankom kovinskega sidra je bila pretanka, kar je omogočilo vdor agresivnih snovi iz ozračja in s tem korozijo sider.

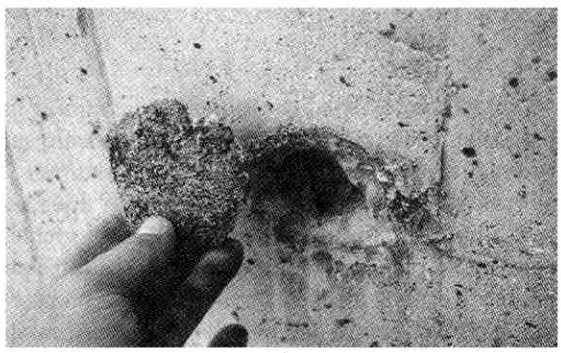
Sl. 1. *Silosi za skladiščenje cementa*

Korozija je sčasoma povzročila odstopanje betona na nekaterih od teh mest (sl. 2a), kar je bil vzrok za prepustnost sten silosov za vodo.

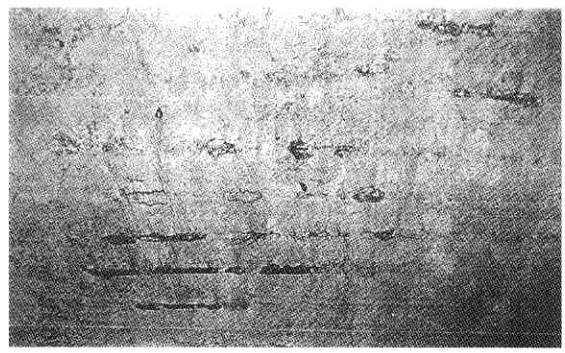
- **Poškodbe betona zaradi korozije kovinske armature**
  Na nekaterih mestih je bila jeklena armatura pri gradnji silosov nepravilno nameščena (tik pod površino betona). Debelina betonske plasti zato ni bila zadostna za zaščito armature pred korozijo. Korozija armature je povzročila značilno odstopanje betona nad armaturo (sl. 2b).
- **Poraščenost betona z lišaji oz. mahom**
  Posamezna področja silosov (predvsem na senčni strani) so bila poškodovana zaradi prevelike poroznosti in vpojnosti betona. V pore se je zaradi zadrževanja vlage naselil mah (sl. 2c), kar je še pospešilo propadanje površinskega sloja betona.

1 ODLOČITEV ZA SANACIJO

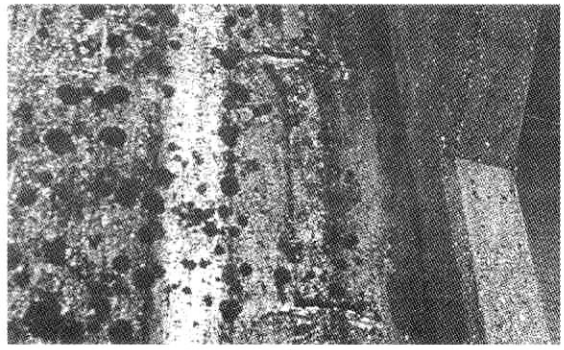
Strokovni pregled silosov cementa Pakirka v podjetju Salonit Anhovo je bil osredotočen na stanje vodotesnosti objekta in kakovost vgrajenega betona. Namen pregleda je bil ugotoviti dejansko stanje objekta, odkriti vzroke zamakanja in vidnih poškodb



a)



b)



c)

Sl. 2. *Prikaz značilnih poškodb: a) odstopanje betona zaradi korozije kovinskega sidra, b) posledice korozije armature, c) posledice prevelike poroznosti betona*

na betonskih površinah ter predlagati ustrezne sanacijske ukrepe. Po pregledu je bilo izdelano *Poročilo o pregledu stanja objekta.*

Glede na vrsto in obsežnost poškodb ter vpliv poškodb na funkcionalnost silosov, so se v podjetju Salonit Anhovo d.d. odločili za takojšnje, celovito popravilo. To naj bi obsegalo popravilo treh armirano betonskih silosov s kupolasto strešno konstrukcijo, kakor tudi vse spremljevalne objekte v skupni površini 15.000 m^2.

1.1 Definiranje želenega stanja - glavnih ciljev popravila

Cilji, ki so si jih zastavili so bili:

⇒ zagotoviti neprepustnost za vodo celotnega objekta;

⇒ zaščititi betonske površine pred preveliko vpojnostjo in s tem zmanjšati možnost ponovnega nastajanja poškodb;

⇒ zagotoviti ustrezen estetski videz objekta, ki stoji na občutljivi lokaciji ob smaragdni reki Soči.

1.2 Določitev potrebnih postopkov za dosego ciljev

Za dosego zastavljenih ciljev oz. želene kakovosti je bil potreben sistemski postopek po korakih [3]:

1. Načrtovanje postopkov dela - izdelava projekta popravila
2. Preverjanje ustreznosti načrta - revizija projekta
3. Izbira ustreznega izvajalca del
4. Obvladovanje kakovosti izvedbe del
5. Preverjanje dosežene kakovosti

Zaradi velikosti in oblike objekta, preprostejšega postopka, ekonomske upravičenosti in tudi načrtovanega časovnega roka izvedbe naj bi sanacijska dela izvajali z uporabo visečih gradbenih odrov oziroma po alpinistično-vrvni metodi, za kar mora biti izvajalec del še posebej usposobljen.

2 PREDSTAVITEV PROJEKTA POPRAVILA

2.1 Načrtovanje postopkov dela - izdelava projekta

Izdelava projekta je bila s podelitvijo projektne naloge poverjena Podjetju za svetovanje, projektiranje in izvajanje specialnih del - Constructa d.o.o. Idrija, ki ima s tovrstnimi popravili bogate izkušnje. Projekt je bil izdelan v skladu s sedanjimi zakoni, tehničnimi predpisi, pravilniki, splošno priznanimi normativi in standardi, ki veljajo za to področje. Projekt je obsegal:

- tehnološki projekt za izvedbo popravila,
- izmere površin, ki so potrebne popravila,
- popis del z upoštevanim obsegom posameznih del.

Z vidika zagotavljanja kakovosti je bil najpomembnejši tehnološki projekt, ki je na podlagi ugotovljenega stanja betonskih površin določal:

- potrebne tehnološke postopke oz. faze dela,
- kakovost uporabljenih materialov.

2.2 Preverjanje ustreznosti načrta - revizija projekta

Glede na pomembnost projekta so se v podjetju Salonit Anhovo odločili za dodatno preverjanje ustreznosti, predvsem tehnološkega projekta sanacije. Ker niso imeli ustreznega znanja in izkušenj s tovrstnimi sanacijami, so to nalogo zaupali za to usposobljeni, neodvisni strokovni ustanovi - Gradbenemu inštitutu ZRMK, Ljubljana.

2.3 Izbira ustreznega izvajalca

Na podlagi preverjenega projekta za izvedbo popravila sledi iskanje ponudb pri izvajalskih podjetjih, ki so specializirana za tovrstna dela. Pri izbiri najustreznejšega ponudnika je treba, poleg cene in roka za izvedbo popravila, še posebej poudariti sposobnost izvajalca, da zagotovi kakovostno izvedbo del. Pomembno je preveriti:

- ugled na trgu (reference),
- zagotavljanje kakovosti (sistem zagotavljanja kakovosti),
- zaupanje izvajalca v kakovost svoje storitve (ponujene garancije).

2.4 Obvladovanje kakovosti izvedbe sanacijskih del

Posamezne udeležence in njihove vloge v postopku obvladovanja kakovosti pri izvedbi sanacijskih del prikazuje slika 3.

2.4.1 Zagotavljanje kakovosti izvedbe del od izvajalca

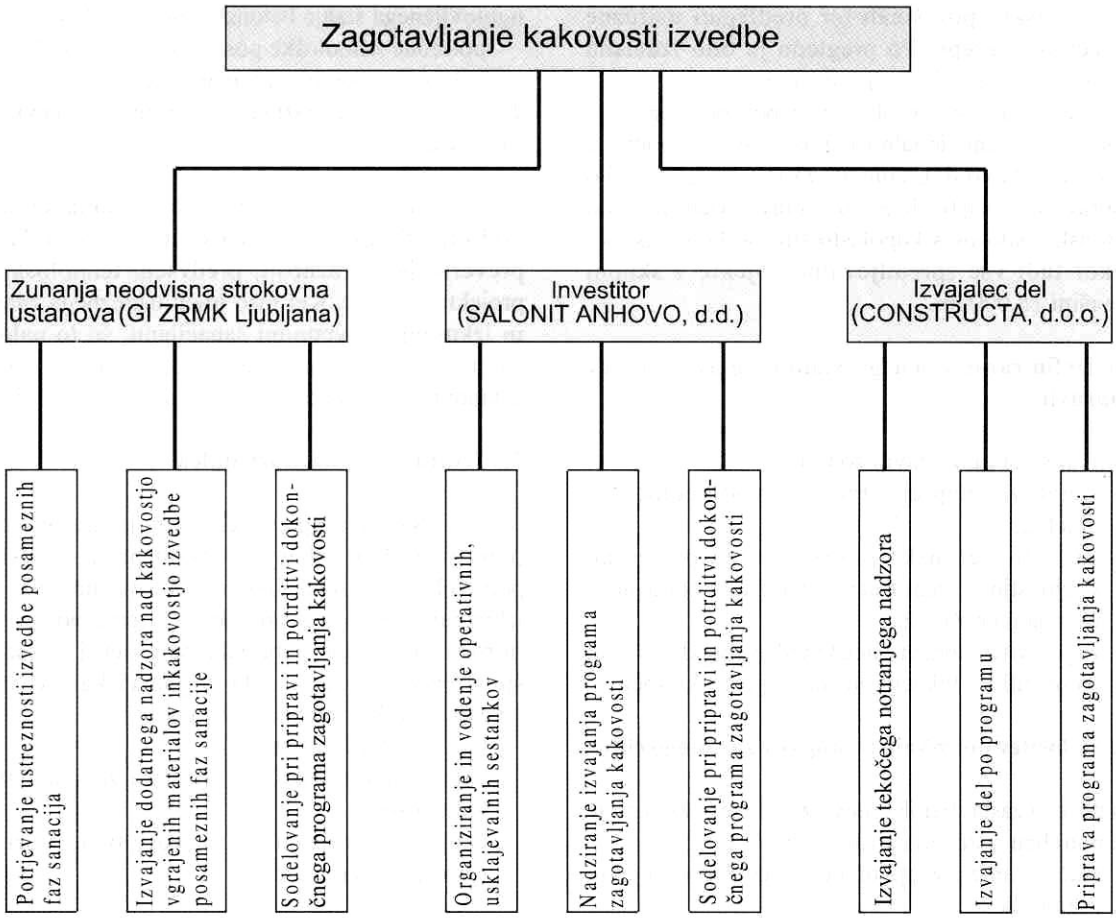
Izvajalec obvladuje kakovost izvedbe del tako, da dela izvaja po *"Programu zagotavljanja kakovosti"*, ki ga je izdelal pred pričetkom sanacije. Osnova za izdelavo programa zagotavljanja kakovosti je tehnološki projekt sanacije, ki določa zahteve glede uporabljenih materialov in tehnoloških postopkov za izvedbo sanacije.

V *"Programu zagotavljanja kakovosti"* je izvajalec zapisal:

- navodila za izvajanje posameznih postopkov oz. faz dela,
- načrt izvajanja tekočega notranjega nadzora.

2.4.1.1 Navodila za izvedbo posameznih postopkov

Izvajalec del je v sodelovanju z zastopnikom investitorja in zunanjega nadzora izdelal navodila za izvajanje posameznih, pri sanaciji uporabljenih tehnoloških postopkov, imenovana tudi *"Postopkovna navodila"*:



Sl. 3. *Model obvladovanja kakovosti pri sanaciji armirano betonskih silosov*

- Navodilo št. 1: Priprava podlage
- Navodilo št. 2: Protikorozijska zaščita kovinskih delov
- Navodilo št. 3: Reprofilacija poškodb na betonskih površinah
- Navodilo št. 4: Zaščita betonov s hidroizolacijskim premazom
- Navodilo št. 5: Površinska zaščita betonskega plašča silosov
- Navodilo št. 6: Površinska zaščita betonske strehe silosov

Navodila za posamezen postopek dela opredeljujejo:

⇒ namen in obseg izvajanja,
⇒ referenčno dokumentacijo,
⇒ predpogoje,
⇒ varnostne zahteve in omejitve,
⇒ tehnološka navodila za izvedbo postopka,
⇒ kriterije ustreznosti izvedbe postopka,
⇒ izvajanje nadzora.

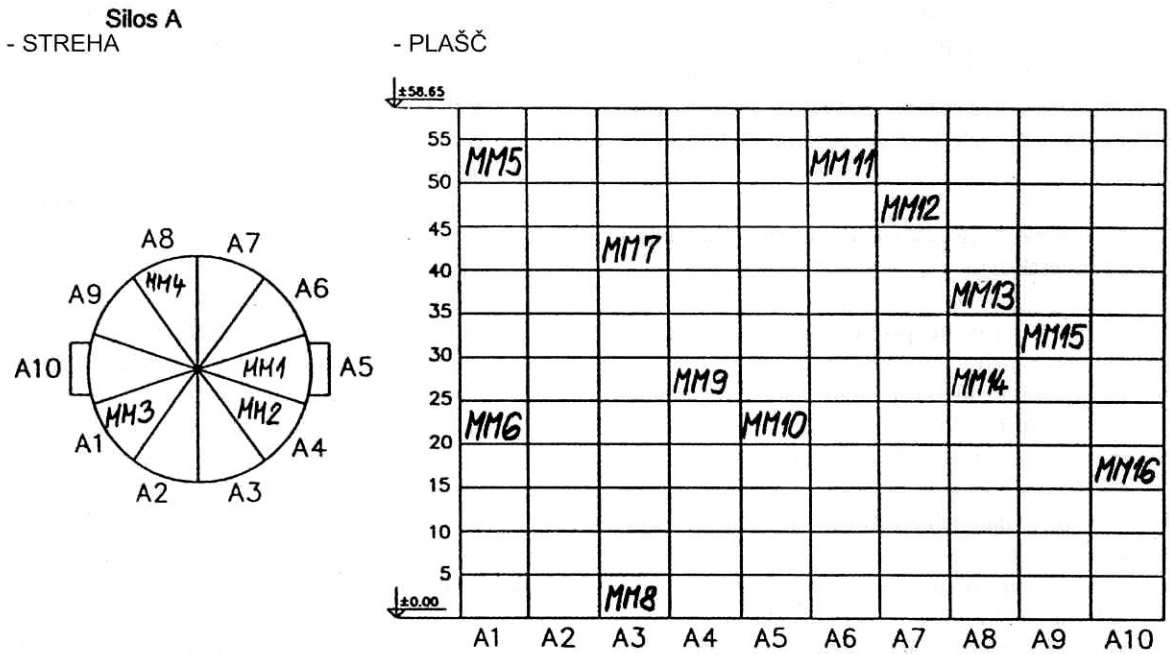
V sklopu navodil za izvedbo postopkov so bila, skladno z navodili, pripravljena tudi poskusna polja s predlaganim sanacijskim sistemom ter končnim premazom. Kataster posameznih polj na strehi ter na plašču silosa prikazuje slika 4a, test oprijemne trdnosti ("pull-off" test) slika 4b, testno polje s končnim premazom pa slika 4c. Izvedeni testi na teh poljih so potrdili kataloške vrednosti za predlagane materiale kakor tudi pravilnost navodil.

Primer dejanskih rezultatov preskusov oprijemne trdnosti s testi oprijemne trdnosti, izvedenih na določenem merilnem mestu (testnem polju) med sanacijo, je podan v razpredelnici 1.

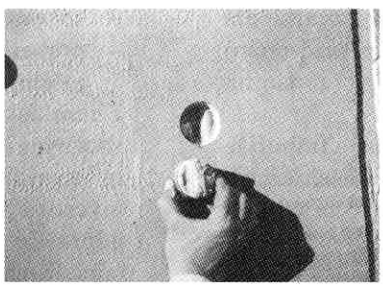
2.4.1.2 Načrt izvajanja tekočega notranjega nadzora

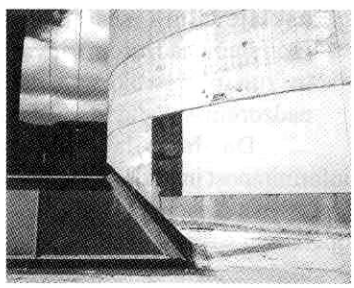
V načrtu izvajanja tekočega notranjega nadzora izvajalec zapiše, kako bo preverjal kakovost izvajanja sanacijskih del po posameznih fazah. Zaradi pomembnosti elementa tekočega notranjega nadzora izvajalca v celotnem sistemu zagotavljanja kakovosti sanacije, so zastopniki vseh treh pri sanaciji udeleženih strank posvetili veliko pozornosti pripravi načrta notranjega nadzora. Določili so potrebne nadzorne postopke:

- **Postopki notranjega nadzora za zagotavljanje kakovosti vgrajenih materialov:**
  1. razpoznavanje dobavljenega materiala,
  2. preverjanje dobavljenega materiala,
  3. preverjanje pogojev skladiščenja dobavljenega materiala,
  4. preverjanje dokazil o ustreznosti materiala,
  5. preiskava trdnosti sanacijskih malt.



a)





b) c)

Sl. 4. *Prikaz testnih polj in testa oprijemne trdnosti: a) kataster testnih polj na posameznem silosu, b) izvedba testa oprijemne trdnosti, c) testno polje s končnim premazom*

Razpredelnica 1

Sedanje stanje		**Oprijemne napetosti v MPa**			**Povpr. v MPa**	**Min. v MPa**	**Zahteve v MPa**
		meritev 1	meritev 2	meritev 3			
betonska podlaga	vrednost	3,80	3,60	3,30	3,57	3,30	min. 1,50
	pretrg	stik	stik	stik	-	-	
hidroizol. po 7 dneh	vrednost	1,30	1,70	1,50	1,50	1,30	povp. 1,50 oz. min. 0,80 /28 dni/
	pretrg	stik	30 p, 70 b	stik	-	-	

– **Postopki notranjega nadzora za zagotavljanje kakovosti izvedbe del:**

6. ugotavljanje karbonatizacije betona,
7. ugotavljanje ustreznosti priprave betonskih površin,
8. ugotavljanje ustreznosti čiščenja kovinskih površin ,
9. preverjanje klimatskih razmer med popravilom,
10. preverjanje ustreznosti izvedbe protikorozijske zaščite,
11. preverjanje sprijemne trdnosti reparaturnih malt,
12. preverjanje sprijemne trdnosti hidroizolacijskega premaza s podlago,
13. preverjanje sprijemne trdnosti končnega barvnega premaza s podlago.

Za vsak nadzorni postopek je izdelan nadzorni list, s katerim se spremlja izvajanje postopkov. Na nadzornem listu so za vsak postopek opredeljeni:

⇒ način izvajanja,
⇒ opis izvajanja,
⇒ lokacija izvajanja,
⇒ pogostnost izvajanja,
⇒ kriterij kakovosti.

Poleg pogostosti izvajanja postopkov nadzora so v mrežo plaščev silosov, s predpisanim rastrom, označevali lokacijo izvedbe postopka in s tem dodatno preverjali pravilno razpršenost odvzema vzorcev oz. izvajanja določenega postopka.

2.4.2 Zagotavljanje kakovosti izvedbe sanacijskih del od investitorja

Investitor je pomembno prispeval k zagotavljanju kakovosti izvedbe del z:
- načrtovanjem in izvajanjem lastnih dejavnosti glede nadzora,
- angažiranjem in vključitvijo neodvisne strokovne ustanove v postopek sanacije.

Dejavnosti oz. naloge investitorja so bile predvsem:
- sodelovanje pri pripravi in potrditvi *"Programa zagotavljanja kakovosti"* sanacijskih del;
- nadziranje skladnosti izvajanja del izvajalca s programom zagotavljanja kakovosti sanacijskih del;
- organiziranje in vodenje operativnih, usklajevalnih sestankov med izvajalcem (notranjim nadzorom), investitorjem (nadzorom) in zunanjo strokovno institucijo (zunanjim nadzorom – dodatnim nadzorom).

Da bi bila zagotovljena čimboljša informiranost in usklajeno delovanje vseh udeleženih v postopku sanacije, so bili organizirani redni tedenski operativni sestanki. Na teh sestankih so:
- usklajevali mnenja in popravljali oz. dopolnjevali *"Program zagotavljanja kakovosti"*;
- se sproti seznanjali s potekom izvajanja sanacijskih del;
- podrobneje terminsko načrtovali dejavnosti;
- preverjali uresničevanje sprejetih dogovorov;
- se sproti seznanjali z rezultati in ugotovitvami notranjega preverjanja, nadzora in zunanjega nadzora;
- potrjevali ustreznost ali ugotavljali neustreznost izvedbe posameznih postopkov - faz dela;
- sprejemali sklepe o konkretnih ukrepih v primeru, ko rezultati preverjanja niso dosegali predpisanih vrednosti.

2.4.3 Zagotavljanje kakovosti izvedbe sanacijskih del zunanje ustanove

Zunanja neodvisna stokovna ustanova je pomembno prispevala k zagotavljanju kakovosti izvedbe sanacijskih del s tem, da je izvajala naslednje dejavnosti:
- **Sodelovanje pri pripravi in potrditvi Programa zagotavljanja kakovosti izvajalca**
  Pri pripravi novega *"Programa zagotavljanja kakovosti"* je ta ustanova sodelovala z:
  - dajanjem nasvetov glede vsebine in oblike dokumenta,
  - predlaganjem uvedbe nekaterih dodatnih nadzornih postopkov,
  - predlaganjem oz. določanjem kriterijev kakovosti pri posameznih nadzornih postopkih.
- **Izvajanje dodatnega nadzora kakovosti vgrajenih materialov in kakovosti izvedbe posameznih faz popravila**
  Neodvisna strokovna ustanova je obvladovala kakovost vgrajenih materialov z:
  - nadzorom nad izvajanjem postopkov za zagotavljanje kakovosti vgrajenih materialov izvajalčeve notranjega nadzora;
  - lastnim izvajanjem preiskav nekaterih pri sanaciji vgrajenih materialov (npr. preiskavo upogibnih in tlačnih trdnosti pri sanacijskih maltah).

  V okviru dodatnega nadzora kakovosti izvedbe posameznih faz sanacije je neodvisna strokovna institucija:
  - sproti spremljala rezultate notranjega nadzora izvajalca in opažanja nadzora investitorja,
  - izvajala lastne nadzorne preglede in preiskave,
  - preverjala oprijemne trdnosti končnega zaščitnega premaza.

  Z rezultati preskusov in preiskav je neodvisna strokovna ustanova sproti seznanjala investitorja in izvajalca na operativnih sestankih pri investitorju. Po končanih posameznih fazah popravila je izdelala tudi pisno poročilo o opravljenih nadzornih pregledih in preiskavah.
- **Potrjevanje ustreznosti izvajanja posameznih faz popravila**
  Po končani posamezni fazi popravila je neodvisna nadzorna ustanova potrdila ustreznost izvedbe te faze na temelju:
  - informacij nadzora investitorja,
  - rezultatov notranjega nadzora izvajalca,
  - rezultatov lastnih nadzornih pregledov in preiskav.

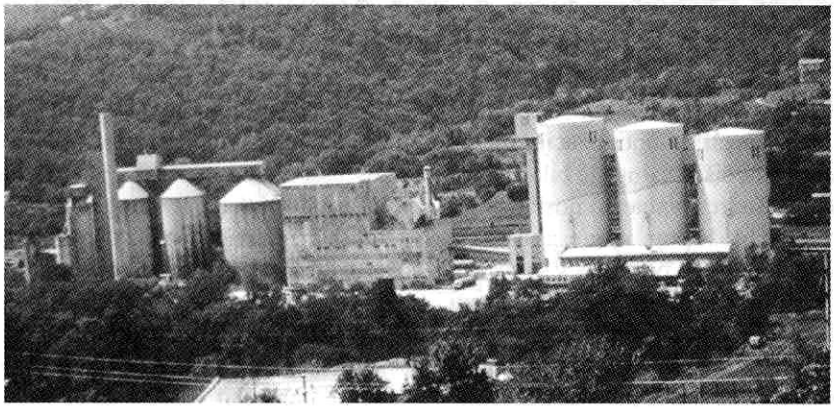
  Ustreznost izvedbe posamezne faze popravila je potrdila s podpisom na nadzorni list izvajalčevega notranjega nadzora v rubriko *"Kontrolo kakovosti potrdil: _____"*.

3 SKLEPNE UGOTOVITVE

Popravilo poškodb in zaščita fasadnih površin silosov daje armirano betonskemu objektu ustrezno zaščito in preprečuje nastanek novih poškodb, zagotavlja vodotesnost objekta in mu podaljšuje dobo obstojnosti. Kljub svoji masivnosti objekt daje pridih svežine. Z izbranimi barvami, ki posnemajo zaščitni znak podjetja Salonit Anhovo – kombinacija modre in zelene barve, ki daje turkizni učinek, barvo reke Soče – je ustvarjeno *"sožitje"* med betonskim objektom in lokacijo objekta, to je dolino ob prelepi reki Soči.

Menimo, da je zelo pomembno, da se takega popravila lotimo sistematično, po korakih, ki so predstavljeni v prispevku. V fazo priprave popravila je pametno vložiti veliko časa in energije, le tako se lahko pričakuje načrtovan potek izvedbe del in doseganje želene kakovosti.

Rezultat dobro pripravljenih in vodenih popravljalnih del je (v obravnavanem primeru) uspešno dokončana sanacija okoli 15.000 m^2 betonskih površin silosov (sl. 5).



Sl. 5. *Končni videz saniranih silosov za beton*

4 LITERATURA

[1] Čebular, U. (1999) Sanacija silosov cementa Pakirka, *Gradbenik,* 1999/7-8, str. 56-57.

[2] Ipavec, Z. (1999) Zagotavljanje kakovosti pri sanaciji betonskih silosov, Diplomsko delo S109, *Fakulteta za strojništvo*, Ljubljana.

[3] Projekt sanacije silosov cementa, št. projekta: 156-G/98 Constructa d.o.o., Idrija, 1998.

Naslovi avtorjev: Zdenko Ipavec, dipl.inž.str.
Salonit Anhovo, d.d.
5210 Anhovo

doc.dr. Mirko Soković
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana

Bojan Grum, univ.dipl.inž.grad.
Constructa d.o.o.
Hajdrihova 28
1000 Ljubljana

Prejeto: 4.2.2000

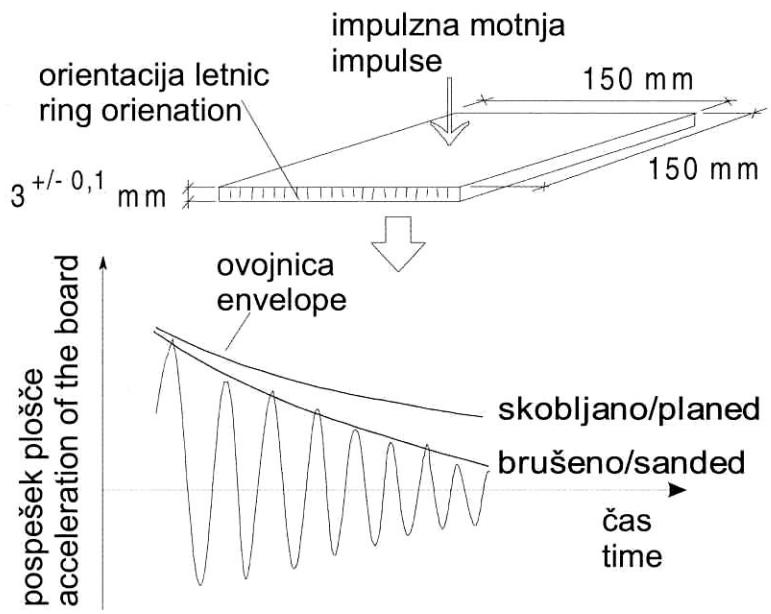
Sprejeto: 5.4.2000

Poročila
Reports

Algoritem optimizacije akustičnega odziva lesa
Algorithm for Optimisation of the Acoustic Response of Wood

Poročilo obravnava tehnologijo izdelave klasične kitare in možnosti za optimizacijo njenih akustičnih lastnosti. Izhodišče naloge je bila analiza vpliva obdelovalnega (odrezovalnega) postopka pri izdelavi resonančne plošče na njene akustične lastnosti. Kaže, da odrezovalni postopek v splošnem značilno vpliva na vibracijske (akustične) lastnosti tanke lesene plošče, kar je prikazano na sliki 1. Meritve frekvenčnega odziva prosto vpetih ploščatih preskušancev kvadratne oblike so pokazale značilno večje dušenje izrazito največjega resonančnega vrha za brušene plošče v primerjavi s skobljanimi. Amplituda analiziranega vrha je bila neznačilno večja, položaj vrha (v Hz) pa značilno nižja za skobljane preskušance. Takšni rezultati so v skladu s poprejšnjimi meritvami istih preskušancev, ki so bili vpeti na vseh štirih robovih, vzbujani z udarcem lesene kroglice, merjen pa je bil odzivni pospešek preskušancev.

In this report the technology of a guitar's production in addition to its sound optimisation is discussed. The starting point was an analysis of the influence of the machining (cutting) process, used to finish the resonant board, on its acoustic properties. It is evident that the cutting process significantly influences the vibrational (acoustic) properties of a thin wooden board as shown in Figure 1. Frequency response measurements of free-supported, square-shaped and flat specimens showed a significantly higher damping of the largest resonant peak for the sanded boards in comparison to the planed ones. The amplitude of the analysed peak was insignificantly higher and the position of this peak was significantly lower for the planed specimens. These results are in agreement with previous measurements of the same specimens which were clamped at all four edges and excited by a small wooden ball, where the resulting acceleration of the boards was measured.



Sl. 1. *Vpliv odrezovalnega postopka na dušenje vibracij impulzno vzbujenih plošč*
Fig. 1. *The influence of the cutting process on the damping characteristic of vibrations of impulsively excited boards*

Razlaga za različno obnašanje brušenih in skobljanih plošč temelji na različnosti obeh površinskih slojev plošč, ki zaradi majhne debeline plošč (3 mm) nista zanemarljiva. Brušene plošče imajo

An explanation for the different behaviour of sanded and planed boards lies in the differences of the surface layers. Due to the small thickness of the board (3 mm), these two layers represent a con-

na površini lesna vlakna pretrgana, medtem ko so vlakna skobljanih plošč gladko prerezana. Najbrž se to kaže v manjšem modulu elastičnosti v vseh smereh oziroma v manjšem Youngovem modulu brušenih plošč, kar je v skladu z izmerjenim večjim dušenjem (notranjim trenjem) tako obdelanih plošč. Mogoče je tudi, da je sila pritisnega čevlja pri tračnem brušenju skoraj pravokotno na površino obdelovanca povzročila plastične deformacije površinskega sloja, kar pomeni povečanje lokalne gostote brušenih plošč. Kakor se zdi so možnosti za plastično deformacijo površinskega sloja pri skobljanju manjše, saj je rezalna sila pravokotno na obdelovanec zaradi majhne debeline odrezka zanemarljivo majhna. Dodati je treba, da pri merjenju teže in debeline različno obdelanih plošč ni prišlo do značilnih razlik (testi t in F, koeficient tveganja 5%). Zaradi nehomogenosti lesa neznačilne razlike v teži in debelini različno obdelanih plošč še ne izključujejo predpostavke o večji gostoti površinskih slojev brušenih plošč. Višja frekvenca analiziranega resonančnega vrha v frekvenčnem odzivu brušenih plošč je najbrž posledica večjega Poissonovega razmerja v vzdolžno-radialni ravnini brušenih plošč. Površina prereza v tej ravnini je namreč zaradi oblike površinskih slojev manjša za brušene plošče. To se kaže v večjem razmerju *pasivna deformacija v radialni smeri / aktivna deformacija v vzdolžni smeri* oziroma v večjem Poissonovem razmerju za vzdolžno-radialno ravnino pri dinamičnem upogibanju vzdolž rasti lesa. Manjši modul elastičnosti v vseh treh smereh lesnega tkiva, predvsem pa v vzdolžni smeri, večja ali enaka povprečna gostota in večje Poissonovo razmerje v vzdolžno-radialni ravnini za brušene plošče, lahko torej razložijo njihov slabši akustični odziv v primerjavi s skobljanimi ploščami.

Zaradi anizotropnosti in nehomogenosti lesnega tkiva je izdelava kakovostne klasične kitare praktično neponovljiva. S kopiranjem konstrukcijskih posebnosti in dimenzij je torej nemogoče doseči zvočno kakovost, enako kakovosti kopiranega glasbila. To je bil vzrok za določitev metode, po kateri je sestavljena, vendar še ne do konca izdelana kitara, šteta za unikatni polizdelek, katerega nadaljnja gradnja poteka glede na njegov trenutni akustični odziv. Na podlagi ugotovitev drugih raziskovalcev in lastnih meritev z impulznim vzbujanjem kitar je bil prvi resonančni vrh v frekvenčnem odzivu kitare definiran kot kazalec zvočne (tonske) kakovosti glasbila. Kakor se zdi, je ta vrh posledica nekakšnega "črpanja" zraka skozi resonančno odprtino oziroma lastnega modalnega načina kitare, tj. "napihovanja" kitarske škatle z ničnimi pomiki na robovih plošč in z največjimi pomiki v sredini plošč. Ker je analizirani resonančni vrh posledica lastnega modalnega načina, tj. sevanja skozi resonančno odprtino z nespremenljivo površino, je bil ponazorjen s t.i. kvazi zvočnim tlakom. Rečemo lahko, da je kvazi zvočni tlak posledica lastnega dušenega nihanja sklopa mase, dušilke,

siderable portion of the board's total thickness. The surface fibres of the sanded boards are torn, whereas the planed boards have chopped fibres. Presumably this results in a lower modulus of elasticity in all directions or in a lower Young's modulus for the sanded boards. The measured higher damping (internal friction) of these boards supports this assumption. It is also possible that the force of the pressure bar during belt-sanding, which was almost perpendicular to the board's surface, resulted in a permanent deformation of the surface layer. This could result in an increase in the local density of the sanded boards. In the contrast, the possibilities for a plastic deformation of the surface layer are much lower during planing: the cutting force perpendicular to the workpiece is negligible due to the small chip thickness. It should be pointed out that when in measuring the weight and thickness of the differently machined boards no significant differences were found (t- and F-tests, confidence level of 5%). Because of wood non-homogeneity these insignificant differences do not exclude the possibility of a higher density of the surface layers of the sanded boards. The difference in the frequencies of the analysed resonant peaks in the frequency response of sanded and planed boards is presumably a result of the higher Poisson's ratio in the longitudinal-radial plane for the sanded boards. As the active cross-section in this plane is due to the shape of both surface layers which is smaller for the sanded than for the planed boards. A consequence of this is the larger ratio of *passive deformation in radial direction / active deformation in longitudinal direction*, or the higher Poisson's ratio in the longitudinal-radial direction in dynamic bending along the grain (direction of wood growth). The lower modulus of elasticity in all three directions of wood tissue, especially that in the longitudinal direction, higher or equal average density, and higher Poisson's ratio in the longitudinal-radial direction for the sanded boards can explain their poorer acoustic response in comparison to the planed boards.

A high quality guitar tone cannot be ensured merely by copying the dimensions, design features and wood species of a high-quality guitar. The main reason for this lies in the non-homogeneity and anisotropy of wood. For this reason a method was developed where an assembled but not finished guitar is considered as a semi-product. The finishing of such a guitar depends on its acoustic response at the present moment. Based on the findings of other authors and on our own measurements with the impulse excitation of a guitar, the first resonant peak in its frequency response was defined as an indicator of tonal quality. Presumably this peak is a consequence of air "pumping" through the resonant hole or normal guitar mode where the displacements of the resonant boards are zero at the edges and increase with an increase in the distance from the edges.

vzmeti in ploskve s površino A, enako površini resonančne odprtine na sprednji plošči. Takšen sistem je zato poimenovan hibridni sistem $(m\text{-}b\text{-}k\text{-}A)_1$ in opisuje dušeno nihanje zaradi impulzne motnje. Nihanje ploskve s površino A je odvisno od mehanskih značilnosti sistema - mase m, koeficienta viskoznega dušenja b in togosti k. Za cilj optimiranja akustičnega odziva kitare so bile določene tri značilnosti kvazi zvočnega tlaka: večanje amplitude, manjšanje oziroma nespreminjanje frekvence in manjšanje oziroma nespreminjanje dušenja.

Optimiranje akustičnega odziva, torej boljšanje značilnosti kvazi zvočnega tlaka za primer nedokončane kitare je bilo izvedeno z določanjem optimalne lege nekaterih reber na sprednji resonančni plošči in s poznejšim nižanjem že nalepljenih reber. Polaganje uteži mase 20 g na sprednji plošči se je kazalo v spremembah oblike in položaja prvega resonančnega vrha v frekvenčnem odzivu kitare, torej v spremembah kvazi zvočnega tlaka. Ker je ta odvisen od mehanskih veličin sistema $(m\text{-}b\text{-}k\text{-}A)_1$, je polaganje uteži povezano s spremembami m, b in k v odvisnosti od položaja uteži na plošči. Razmerje $b/m\times k$ je kakor kaže obratno sorazmerno impedanci resonančne plošče oziroma impedanci sklopa obeh plošč in vmesnega zraka na mestu položene uteži. Več položajev uteži na neki črti sestavlja lego rebra. Ker je glede na literaturo impedanca plošče brez reber najverjetneje premajhna, ne preseneča, da je bil za omejeno območje na plošči boljši akustični odziv kitare, dosežen po nalepljanju rebra na lego, določeno z mesti, za katera so značilne večje vrednosti $b/m\times k$ v primerjavi z drugo lego. Absolutna primerjava impedanc ni mogoča za poljubna mesta (lege) na plošči, temveč le na omejenem območju. Metoda za napoved optimalne lege rebra tako za neko območje na plošči omogoča poljubno število primerjav dveh leg in s tem določitev optimalne lege tega območja. Zanesljivost napovedi optimalnejše lege je načeloma večja, če so za mesta na tej legi izmerjena večja razmerja $b/m\times k$ in če je položaj primerjanih leg čim bolj podoben.

Meritve so pokazale, da nalepljeno rebro lahko tudi poslabša akustični odziv kitare. Za določeno lego rebra je zaradi zapletenega modalnega obnašanja kitare učinek rebra na frekvenčni odziv kitare neznan. V večini preskusov sta bili na nekem območju plošče vnaprej določeni dve legi, nakar je bila na podlagi razmerij $b/m\times k$ za analizirana mesta na legah izbrana boljša, tj. optimalna lega. Razlika v amplitudi in dušenju kvazi zvočnega tlaka za dve vnaprej določeni in primerjani legi rebra je bila povečini okoli 10% (seveda oboje v korist t.i. optimalne lege). Bistveno večji pomen optimiranja lege rebra se je pokazal pri optimiranju lege dveh velikih reber na isti plošči. Razlika med primeroma za neoptimalno in optimalno postavitev dveh velikih reber je bila več ko 40% v primeru amplitude in približno 70% v primeru dušenja kvazi zvočnega tlaka.

Because the analyzed resonant peak corresponds to a normal radiating mode whose energy is radiated through the resonant hole with a constant area, it was approximated with the so-called quasi sound pressure. We can say that quasi sound pressure is a consequence of the oscillation of a complex of a mass, damper, spring and a massless surface with the area A, which equals the area of the resonant hole. Such a system was named a hybrid system $(m\text{-}b\text{-}k\text{-}A)_1$ and describes the damped oscillation due to the impulse excitation. This oscillation depends on the mechanical properties of the system - mass m, coefficient of viscous damping b and stiffness k. The aim of the optimisation procedure were the three features of the quasi sound pressure: increase in its amplitude, decrease or non-alteration of its frequency and decrease or non-alteration of its damping.

The optimisation of the quasi sound pressure characteristics was performed on the unfinished guitar. An optimal position for some braces on the front resonant board and their additional trimming was done. To affect the assembled guitar in a returnable way, a 20 gram weight was used on the top board. Depending on its position the weight had different effects on the amplitude, damping and frequency of the first resonant peak of the frequency response of the guitar, and thus of the quasi sound pressure. The ratio $b/m\times k$ is presumably inversely proportional to the impedance of the top board or to the impedance of the *top board - air - back board* triplet on the place of weight's position. Logically, the impedance of the board without braces is too low. Therefore it is also logical that the brace on a line formed by several points with a relatively high $b/m\times k$ ratio results in a relatively good response from the quitar. In the case of a comparison of several possible brace positions the reliability of the presented method is higher if the differences in brace positions are small, and if the differences in $b/m\times k$ for the co-ordinates forming these positions are large.

Measurements showed that after fixing the brace the characteristics of the first resonant peak in the FRF of a guitar can change for the worse. In most experiments, for a certain area of the board only two previously determined positions of a certain brace were compared. The brace position that was predicted as the better one (based on the $b/m\times k$ ratio) was denoted as the optimal brace position. With the brace in this position there resulted a bigger improvement or a smaller worsening of the guitar's response in comparison to the other brace position. Usually the differences in the amplitude and damping of the quasi sound pressure were about 10 % with respect to the optimal brace position. A much larger influence on brace position optimisation was measured when optimising the positions of the two large braces, where the differences between non-optimal and optimal positions were 40% for the amplitude and 70% for the damping of the quasi sound pressure.

Če izmerimo razmerja $b/m\times k$ za relativno majhno število mest položene uteži, ki omejujejo neko območje plošče, lahko na temelju umetnih nevronskih mrež za preostala mesta znotraj območja vpliv položene uteži na razmerje $b/m\times k$ precej natančno napovemo. Praktično to pomeni možnost napovedi absolutno najbolj primerne lege rebra na določenem območju plošče. Takšen preskus je pokazal približno 20% večjo amplitudo in 20% manjše dušenje kvazi zvočnega tlaka v primeru optimalne lege rebra glede na neoptimalno.

V splošnem velja, da legi rebra, na mestih katere se kaže manjša impedanca plošče oziroma sklopa obeh plošč in zraka, ustreza večje izboljšanje ali manjše poslabšanje kvazi zvočnega tlaka v primerjavi z drugo lego, za katero je značilna večja impedanca plošče oziroma sklopa obeh plošč in zraka. Po lepljenju rebra na ploščo lahko iz kvazi zvočnega tlaka izračunamo razmerje $b/m\times k$ in ga primerjamo z razmerjem $b/m\times k$ za kitaro brez tega rebra. V tem primeru lahko rečemo, da je sprememba razmerja $b/m\times k$ (za kitaro z rebrom glede na kitaro brez rebra), kazalec spremembe impedance sklopa obeh plošč in vmesnega zraka. Predpostavljeno je bilo, da je nižanje rebra z določeno višino primerno, če se napovedano razmerje $b/m\times k$ v primeru znižanega rebra ne spremeni za več ko 10%. Znižanje rebra se namreč v splošnem kaže v znižanju frekvence kvazi zvočnega tlaka in zmanjšanju mase plošče, kar je zaželeno. Poleg zmanjšanja mase plošče se je nadzorovano nižanje rebra kazalo (i) v nebistveni spremembi amplitude in dušenja kvazi zvočnega tlaka, ali pa (ii) v zvečanju amplitude (tudi 40%) in zmanjšanju dušenja kvazi zvočnega tlaka.

Zelo verjetno ugotovljene zakonitosti veljajo tudi za rebra na hrbtni plošči. Metoda za določanje optimalne lege rebra in postopek za nižanje reber pomenita odmik od uveljavljenih metod. Te dopuščajo optimiranje akustičnega odziva posameznih delov glasbila, ki so potem sestavljeni v celoto. To ima zaradi spremenjenih pogojev vpetja dostikrat tudi nepričakovane in neželene posledice. Kakor kaže, bi v poročilu opisane metode, podprte z novimi preskusi, lahko bistveno prispevale k manjšanju takšnih nenameravanih dogodkov.

Dr. Samo Šali

The other possibility for determining the optimal brace position is based on the measurement and prediction (artificial neural networks) of the $b/m\times k$ ratio for many places inside a certain area of the board. The optimal brace position is formed of places with a relatively high $b/m\times k$ ratio. In such an experiment an approximately 20% higher amplitude and a much lower damping of the quasi sound pressure were measured for the optimal brace position in comparison to the non-optimal brace position which was formed of places with a relatively low $b/m\times k$ ratio.

After gluing the brace on the resonant board and measuring the quasi sound pressure we can calculate the $b/m\times k$ ratio and compare it with the $b/m\times k$ ratio for the guitar without the brace. In this case, the change in the $b/m\times k$ ratio (for a guitar with the brace compared to the guitar without the brace) is an indicator of the impedance of the *top board - air - back board* triplet. It was assumed that lowering the brace by a certain height is reasonable only if the predicted $b/m\times k$ ratio for the lowered brace does not alter by more than 10 % with respect to the $b/m\times k$ ratio for the original height. In general, brace trimming results in an increase in the frequency of the quasi sound pressure and in an increase of the mass of the board, which is desired. In addition to mass reduction the controlled brace trimming resulted in: (i) insignificant changes of both amplitude and damping of the quasi sound pressure, or (ii) an increase of the amplitude (up to 40%) and a decrease in the damping of the quasi sound pressure.

Most probably the defined relations are also in force for the braces on the back resonant board. The method for brace position optimisation and the procedure for the additional brace trimming deviate from the commonly used methods. These are based on the optimisation of single instrument parts, which are later assembled. Because of the changes in the mode of support the results of such an optimisation are frequently unexpected and undesired. It seems that in the report, the described methods supported with some new experiments could significantly contribute to reducing these unpredictabilities.

Dr. Samo Šali

Društvene novice Slovenskega društva za akustiko
Society News of Slovenian Acoustical Society

Slovensko društvo za akustiko (SDA) je januarja 2000 organiziralo prvi štiridnevni seminar na temo "Hrup in vibracije" za uporabnike. Seminar je imel dva dela.

V okviru prvega dela, ki je trajal dva dni, so bili udeleženci seminarja seznanjeni s stanjem razvoja tehnike in pregledom najnovejših dosežkov na področju zmanjševanja hrupa transpornih sredstev (avtomobilov, tovornjakov, avtobusov, železnic in letal – notranjega in zunanjega), s posebnim poudarkom pomena zmanjšanja hrupa za njihov nadaljnji razvoj. Prikazan je bil tudi način merjenja zvočnega tlaka in zvočne intenzivnosti pri določanju zvočne moči zvočnega vira.

Drugi del dvodnevnega seminarja je bil posvečen gradbeni akustiki, lastnostim akustičnih gradiv, hrupu na delovnem mestu in v bivalnem okolju, pa tudi komunalnemu hrupu in njihovemu merjenju. To je bila enkratna priložnost za strokovno izmenjavo mnenj med dvanajstimi predavatelji in udeleženci, ki so prejeli zbornik predavanj z več ko 300 stranmi.

Slovensko društvo za akustiko organizira svoj kongres vsako drugo leto. Prvi kongres z mednarodno udeležbo in razstavo je bil v oktobru 1998.

Drugi kongres z mednarodno udeležbo in razstavo bo 21. in 22. septembra 2000 v Portorožu v Grand hotelu Emona. Tematski sklopi kongresa bodo pokrivali vsa področja akustike, hrupa in vibracij, na katerih so člani SDA dejavni. Ti so:

- Generiranje in sevanje zvoka
- Nizkofrekvenčni hrup in vibracije
- Gradbena in prostorska akustika
- Elektroakustika
- Hidroakustika
- Obdelava signalov in statistične metode
- Ultrazvok in njegova uporaba v tehniki in medicini
- Glasbena akustika
- Tehnike za zmanjšanje hrupa na viru
- Aktivni ukrepi proti hrupu in vibracijam
- Elementi za pasivni nadzor hrupa
- Komunalni hrup
- Slušna in govorna akustika
- Učinki hrupa in vibracij na ljudi in živali
- Hrup v delovnem okolju
- Tehnike merjenja hrupa in vibracij
- Predpisi s področja hrupa in vibracij
- Numerične metode v akustiki in modeliranje (MKE/MRE, SEA, MA)
- Tehnična diagnostika

Šest svetovno priznanih profesorjev je sprejelo naše povabilo za predstavitev vabljenih uvodnih predavanj

In January 2000 the Slovenian Acoustical Society (SAS) has organized the First Four-Day seminar on "Noise and Vibration" for users. The seminar has had two parts.

The aims of the first part (2-days) of the seminar were to describe the state- of-the-art and to discuss in detail the very latest achievements in noise control in transportation means (cars, trucks, buses, trains and aircraft - interior and exterior), with particular reference to their importance for their future designs. Sound pressure and sound intensity measurement method was also presented to determine the sound power of a sound source.

The second part (2-days) of the seminar was dedicated to the architectural acoustics, to performances of the acoustic materials, to noise in working and dwelling places as well as to community noise and their measurement. This was a unique opportunity for expert exchange among the twelve lecturers and participants who received a book of proceedings with more than 300 pages.

The Slovenian acoustical society organizes its congress each second year. The First congress with international participation and exposition was held in October 1998.

The Second with international participation and exposition will be held in September 21-22, 2000 at the modern seaside resort of Portorož. The topics of the congress will cover all aspects of acoustics, noise and vibration in which the members of SAS are active. These are:

- Sound Generation and Radiation,
- Low Frequency Noise and Vibration,
- Architectural and Buildings Acoustics,
- Electroacoustics,
- Hydroacoustics,
- Signal Processing and Statistical Methods,
- Ultrasonic and its Application in Technics and Medicine,
- Musical Acoustics,
- Techniques for Noise Reduction at the Source,
- Active Noise and Vibration Control,
- Passive Noise Control Elements,
- Community Noise,
- Auditory and Speech Acoustics,
- Effects of Noise and Vibration on People and Animals,
- Occupational Noise,
- Noise and Vibration Measuring Techniques,
- Legislation in Acoustics,
- Numerical Methods in Acoustics Modeling (FEM/BEM, SEA, MA), and
- Technical diagnostics.

Prof. dr. Jans Blauert (Nemčija) na temo Auditory Virtual Reality and its Application,

Prof. dr. Michael Möser (Nemčija) na temo Active Noise Control - Principles and Limitations,

Dr. Hano Heller (Nemčija) na temo Commercial Aeroplane Airframe Noise,

Prof. dr. Evald Benes (Avstrija) na temo Ultrasonic Separation of Suspended Particles,

Prof. dr. Koichi Maruyama (Japan) na temo Natural Frequencies of square plates with a central straight narrow slit having arbitrary inclination angle.

Do danes je več ko 50 avtorjev (doslej iz 15 držav) prijavilo svojo dejavno udeležbo na kongresu in poslalo povzetke svojih člankov.

Za nadaljnje informacije o tem kongresu in društvu (SDA) lahko zainteresirani dobijo po elektronski pošti: mirko.cudina@fs.uni-lj.si, ali prek domače spletne strani: http://www2.arnes.si/~uljfskes/kongresi/sda-sl.html.

Slovensko društvo za akustiko sodeluje tudi pri organizaciji Svetovnih glasbenih dnevov – Slovenia 2003, ki bo od 26. septembra do 3. oktobra 2003 v Ljubljani, Mariboru, Radencih, Piranu in Portorožu.

Slovensko društvo za akustiko bo sodelovalo tudi pri organizaciji European Forum Acousticum, ki bo na Dunaju 2005. Ob tej priložnosti bo na Dunaju verjetno tudi redni kongres SDA.

Dobrodošli.

Prof. dr. Mirko Čudina

SLOVENSKO DRUŠTVO ZA AKUSTIKO
Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana
Tel.: 386-(0)61-1771-443
Fax: 386-(0)61-218-567
E-mail:mirko.cudina@fs.uni-lj.si

Six distinguished Professors from abroad accepted our invitation to present Keynote lectures

Prof. Jans Blauert (Germany) on Auditory Virtual Reality and its Application

Prof. Michael Möser (Germany) on Active Noise Control - Principles and Limitations

Dr. Hano Heller (Germany) on Commercial Aeroplane Airframe Noise

Prof. Evald Benes (Austria) on Ultrasonic Separation of Suspended Particles

Prof. Koichi Maruyama (Japan) on Natural Frequencies of square plates with a central straight narrow slit having arbitrary inclination angle.

Till today more than 50 authors (now from 15 countries) have registered their active participation at the Congress and sent abstracts of their papers.

For further information about this Congress and Society (SAS), please contact the Congress or Society Secretariat by e-mail: mirko.cudina@fs.uni-lj.si, or from the home page: http://www2.arnes.si/~uljfskes/kongresi/sda-en.html.

Slovenian acoustical society cooperates in organization of the World Music Days - Slovenia 2003, which will be held from 26th of September to 3rd of October 2003 in Ljubljana, Maribor, Radenci, Piran, Portorož, all in Slovenia.

Slovenian acoustical society cooperates also in organizing the European Forum Acousticum, which will be held in Vienna 2005. At the same time there will probably be the regular congress of the SAS.

Welcome

Prof. dr. Mirko Čudina

SLOVENIAN ACOUSTICAL SOCIETY
Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana
Tel.: 386-(0)61-1771-443
Fax: 386-(0)61-218-567
E-mail:mirko.cudina@fs.uni-lj.si

© Journal of Mechanical Engineering 46(2000)2,142-144
ISSN 0039-2480
Professional Literature

Strokovna literatura
Professional Literature

Iz revij

IZ DOMAČIH REVIJ

Elektrotehniški vestnik, Ljubljana
1999, 4-5
Bajd, T., Smole, F., Zupančič, B.: Raziskovanje in razvoj na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani
Furlan, J., Brecl, K., Smole, F., Topič, M.: Cenene tandemske sončne celice
Derganc, J., Pernuš, F.: Kontrola kakovosti ležajev električnega števca z računalniškim vidom

Kovine - zlitine - tehnologije, Ljubljana
1999, 6
Kevorkijan, V.M., Chiarmetta, G.L., Muso, M., Rosso, M., Torkar, M., Šuštaršič, B., Smolar, T.: Stabilnost suspenzije keramičnih delcev v raztaljeni aluminijevi zlitini – teoretične in eksperimentalne ugotovitve
Junghans, E., Dobi, D.: Uporaba laserspeckleinterferometrije za lomnomehanske raziskave spojev in enhomogenih materialov
Dobi, D., Junghans, E.: Merjenje trdnostnih lastnosti s preizkušanci malih dimenzij
Wnuk, M.P.: Načela mehanike loma za uporabo v vesolju
Kralj, A., Prodan, T., Emri, I.: Naprava za časovno-odvisne meritve mehanskih lastnosti pod hidrostatičnim tlakom

Les, Ljubljana
1999, 12
Bučar, B.: Analiza hrupa prosto vrtečih se aerodinamično vzbujanih krožnih žaginih listov

Livarski vestnik, Ljubljana
1999, 3
Seibold, P., Tensi, H.M.: Vpliv konvekcije na usmerjeno strjevanje zlitin Al-Si – poskusi kristalizacije pri definirani konvekciji in simulaciji strjevalnih in tokovnih razmer

1999, 4
Hummer, R.: Gibanje taline in sten forme med strjevanjem aluminijevih livnih zlitin in njun pomen za napajanje

Obzornik za matematiko in fiziko, Ljubljana
1999, 6
Vuk, M.: Integrabilni sistem z zrcalno simetrijo

Organizacija, Maribor, Kranj
2000, 1
Miglič, G.:Pristopi k vrednotenju učinkov usposabljanja
Čižman, A.: Povečanje konkurenčne sposobnosti proizvodnega podjetja z uporabo matematičnega programiranja

Vakuumist, Ljubljana
1999, 4
Barden, R., Erjavec, B.: Kanalna fotopomnoževalka CPM – nova generacija visoko zmogljivih fotodetektorjev
Povh, B.: Vakuumska molekularna destilacija (2. del)

Varilna tehnika, Ljubljana
1999, 3
Gubeljak, N.: Lomno mehansko preizkušanje trdnostno heterogenih zvarnih spojev

1999, 4
Gubeljak, N., Pučko, B.: Utrujanje lomnomehanskih preizkušancev iz zvarnih spojev z upoštevanjem zaostalih napetosti
Praunseis, Z.: Lomna žilavost trdnostno različnih zvarnih spojev s površinsko razpoko

IZ TUJIH REVIJ

CDA
Condizionamento dell'aria Riscaldamento Refrigerazione, Milano
1999, 11
Cannistraro, G., Giaconia, C., Piccolo, A.: Il metodo della "Carta di ventilabilità" nella ventilazione naturale degli edifici

1999, 12
Isetti, C., Nannei, E., Sala, R., Chiari, A., Cisternino, M., Malvicino, C.A.: Indagine sulle prestazioni di scambiatori di vapore a membrana per la deumidificazione dell'aria
De Carli, M., Zecchin R.: La riduzione del rumore in ambiente esterno

HLH
Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, Düsseldorf
1999, 12
Lang, R., Roth, M., Stricker, M.: Neue Ideen für Wärmepumpen, 1. del
Francke, D.: Wärmetechnische Sachverhalte der Heizkosenverteilung

2000, 1

Carolus, T., Dieckhoff, S.: Schwingungen in Ventilatoranlagen

Baumgarth, S.: Einzelraumregelung mit dem EIB

2000, 2

Hartmann, M.: Hydraulik von Altanlagen birgt Einsparpotential bei Kesseltausch

Vajda, J.: Ein neuer Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs- und Heizanlagen

Lang, R., Roth, M., Stricker, M.: Neue Ideen für Wärmepumpen, 2. del

IDR, Industrial Diamond Review, Ascot

1999, 4

Silva, C.E., Coelho, R.T.: A new Wear Index for MONODRESS dressing tools

Renewable Energy World, London

2000, 1-2

Zoethout, T.: Digestion goes Dutch

Davidson, B., Calver, T., Price, A., Simchock, D.: Large-scale storage solution? The Regenesys TM regenerative fuel cell

Ocene knjig

G. Möllerke: Modern English for Mechanical Engineers

Zal.: Carl Hanser Verlag, München, Wien 1999.
Obseg: format 16 × 23 cm, 120 strani, disketa.
Cena je 39,80 DEM.

Knjižica razširja znanje angleščine študentom in gospodarstvenikom, pa tudi strokovnjakom, prevsem strojnikom. Besedila so vzeta v glavnem iz angleških strokovnih časopisov (New Scientist, Electrical Review, The Economist idr.). Poleg izvirnega besedila so na robovih pomembnejši pojmi, pojasnjeni v nemščini. Bralcu je tako prihranjeno iskanje v slovarjih ne glede na to, da določenih pojmov v njih sploh ni mogoče najti.

Ta knjiga je poleg učenja angleščine namenjena tudi za razširitev strokovnega znanja. Bralec izve, kakšna je usmeritev v tehniki, ne da bi globlje poznal angleščino.

J. Puhar

K. Pöhlandt in 3 soavtorji: Werkzeuge der Kaltmassivumformung

Zal.: Expert Verlag, GmbH, Reinningen – Malmsheim 1999.
Obseg: format 15 × 21 cm, 115 strani, 90 slik, 13 preglednic.
Cena je 38 DEM.

Knjižica obravnava tehnologijo hladnega masivnega preoblikovanja kovin, tehnologijo, ki je zadnja desetletja vedno pogosteje uporabljana za masovno proizvodnjo zahtevnih strojnih delov.

Delo štirih avtorjev obravnava nekaj področij, ki so pomembna za uspešno obvladovanje tehnologije hladnega masivnega preoblikovanja. Te so:

- določevanje večstopenjskega postopka preoblikovanja,
- orodja in orodni materiali,
- doba trajanja orodij glede na obrabo ali porušitev,
- oplemenitenje površin orodij,
- računalniško podprto simuliranje procesov preoblikovanja in obremenitev orodij.

Delo je namenjeno inženirjem in tehnikom pri načrtovanju postopkov in orodij za hladno masivno preoblikovanje. Ne daje sicer vseh potrebnih znanj za celovito obvladovanje te tehnologije, toda kljub temu je v njem mogoče najti vrsto napotkov za reševanje konkretnih problemov, ki nastanejo v tekoči proizvodnji.

K. Kuzman

C. Groth – G. Müller: FEM für Praktiker – Temperaturfelder

Zal.: Expert Verlag, GmbH, Reinningen – Malmsheim, 2. izd., 1999.
Obseg: format 14,5 × 21 cm, 634 strani, 223 slik, 89 preglednic.
Cena je 128 DEM.

Metoda končnih elementov (MKE) je ena izmed najbolj razširjenih diskretnih približnih metod. Knjiga je izšla v okviru knjižne zbirke "FEM für Praktiker". Vsebinsko se navezuje na tretjo izdajo prve knjige iz te serije.

Namen knjige je podrobno osvetliti uporabo MKE za izračun temperaturnih polj. V knjigi so kratko predstavljene osnove prevoda toplote z vsemi možnimi nelinearnostmi in inženirsko zanimivimi vrstami robnih pogojev. Obravnavani so tudi drugi sistemi (npr. elektrostatika, membrane), ki jih enako popišemo podobno kakor prevod toplote.

V nadaljevanju so podane osnove MKE za obravnavan fizikalni sistem. Glavnino knjige sestavlja obilica jasno predstavljenih primerov, napotkov in vaj za reševanje nalog, ki jih pogosto srečujemo pri inženirskem snovanju. Vsi so narejeni za uporabo s programskim paketom ANSYS/ED Rev.5.3 (Windows NT ali Windows 95). Primeri obsegajo tako ustaljene

kakor neustaljene razmere, trdno-kapljevinske fazne prehode, sevanje in sklopitev s preostalimi polji.

Knjiga je precej izboljšana in dopolnjena verzija prve izdaje in je zelo dobrodošla kot učbenik in priročnik za numerično modeliranje temperaturnih polj.

B. Šarler

D. Liedtke – R. Jönsson: Wärmebehandlung

Zal.: Expert Verlag, GmbH, Renningen – Malmsheim, 3. izd., 1998.
Obseg: format 14,5 × 21 cm, 322 strani, 421 slik, 92 preglednic, 516 lit. pod.
Cena je 89 DEM.

Toplotne obdelave so tehnična realizacija znanja o pojavih in procesih v materialih, ko se jim temperatura spreminja s časom. Tehniško in gospodarsko so najbolj pomembne toplotne obdelave železovih zlitin, o čemer obstaja veliko strokovne literature. Ta se podobno kakor na drugih področjih obnavlja in dopolnjuje z novim znanjem in izkušnjami predvsem pri načrtovanju in vodenju tehnoloških procesov in tudi izpopolnjuje po svoji pedagoški plati, ko skuša že znano povedati na nove načine. Nove generacije študentov in dijakov se hočejo učiti iz novih knjig, v katerih je času spremenjen način podajanja z novimi aktualnostmi in primeri.

Knjižna zbirka Kontakt in študij je primer založniške dejavnosti, ki na nekaterih temeljnih področjih tehnike neutrudno skrbi za svežino vsebin. Knjige se lotevajo širših ali zelo specializiranih tem. "Wärmebehandlung" obravnava primere, postopke in procese pri toplotnih obdelavah železovih zlitin – predvsem jekel. Knjiga je bogato ilustrirana v korist razumevanju vsebine. V njej je tudi nekaj preprostih navodil in formul za računanje kinetike procesov pri kemotermičnih obdelavah. Vodilna poglavja govore o faznih premenah, kinetiki sprememb, o posameznih vsebinsko in tehnološko združljivih toplotnih obdelavah, o kaljivosti jekel in praktičnih prijemih pri toplotni obdelavi strojnih delov in orodij, o površinskem kaljenju, žarjenjih kemotermičnih obdelavah, nadzoru učinkov toplotne obdelave, o prirejenosti podatkov toplotnih obdelav za uporabo pri risanju in načrtovanju tehnoloških postopkov ter analizi poškodb in vzrokov izmeta pri toplotni obdelavi.

Knjiga je po načinu podajanja snovi, težavnosti in obsegu primerna za študente specializiranih smeri toplotne obdelave na visokih strokovnih šolah.

L. Kosec

B. Schmager: Arbeitsschutz-Managementsystem

Zal.: Carl Hanser Verlag, München, Wien 1999.
Obseg: format 16 × 23 cm, 168 strani, 64 slik.
Cena je 69 DEM.

Varstvo pri delu je dandanes vse bolj tema upravljanja.

V knjigi avtor prikazuje varstvo pri delu kot sistem upravljanja.

Uvodno poglavje je namenjeno razlagi osnovnih pojmov varstva pri delu. Sledi poglavje o zasnovi sistema varstva pri delu. Podrobno je opisan postopek gradnje, organizacije in uvedbe sistema v prakso. Podan je pregled razpoložljivih metod vodenja varstva pri delu, ki morajo biti vključene v sistem. Zadnje poglavje prikazuje rezultate gradnje sistema varstva pri delu v podjetju, ki se ukvarja z montažo električnih naprav in podjetju, ki je dobavitelj komponent osebnih vozil.

Knjiga je primerna za vse, ki se v podjetjih ukvarjajo s problematiko varstva pri delu.

M. Starbek

R. Koether - W. Rau: Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure

Zal.: Carl Hanser Verlag, München, Wien 1999.
Obseg: format 16 × 23 cm, 356 strani, 300 slik.
Cena je 59,80 DEM.

Naloga izdelovalnih tehnik oziroma proizvodnih tehnologij je izdelava obdelovancev z definirano obliko in zahtevanimi lastnostmi. Z izdelovalnimi tehnikami je mogoče bistveno vplivati na sposobnost podjetij za tekmovanje na svetovnem trgu.

Knjiga v uvodu podaja pregled razpoložljivih proizvodnih tehnologij in načine izbire najprimernejše tehnologije. Sledi poglavje s podrobnim opisom posamezne izdelovalne tehnike, in to v obsegu, ki je potreben obratnemu inženirju. Posebno poglavje je namenjeno opisu obdelovalnih strojev in njihovemu krmiljenju. Sledi poglavje, ki bralcu pokaže, kako je mogoče povečati prilagodljivost in produktivnost strojev (skrajšanje pretočnih časov, pripravljalno zaključnih in pomožnih časov). Zadnje poglavje daje pregled nad sistemi avtomatizacije podjetja in možnostmi robotizacije delovnih mest.

Knjigo bodo lahko s pridom uporabili študentje proizvodnega inženirstva in jim bo v veliko pomoč pri načrtovanju tovarniških postrojenj.

M. Starbek

Osebne vesti
Personal Events

Prešernovi nagradi Fakultete za strojništvo v Ljubljani za leto 1999

Prva nagrada Fakultete za strojništvo v Ljubljani:

Janez Perko
Delo: Reševanje Navier – Stokesovih enačb z dvojno recipročno metodo robnih elementov
Mentor: doc.dr. Božidar Šarler

Kandidat Janez Perko je bil rojen 8. aprila 1972 v Kranju. Srednješolsko izobraževanje je končal leta 1991 na srednji strojni šoli ISKRA v Kranju in s tem pridobil naziv strojnega tehnika. Na Fakulteto za strojništvo se je vpisal v šolskem letu 1991/92 in diplomiral 24. junija 1999 na smeri Energetika in procesno strojništvo.

Delo sodi na področje računalniško podprte dinamike tekočin. Naloga je osredotočena na razvoj dvojne recipročne metode robnih elementov. Poglavitna značilnost tega numeričnega postopka v primerjavi z drugimi, bolj uveljavljenimi je, da se vsi izračuni prevedejo na rob območja. Zaradi robne narave je postopek še posebej uporaben za izračun toka na geometrijsko zapletenih območjih. V okviru dela je kandidat v osnovno različico programa samostojno vgradil pet dodatnih vrst interpolacijskih funkcij ter dopolnil nespremenljivi približek polj na robnih elementih z linearnim in kvadratnim. Na primeru gnanega toka v kotanji je z računskimi eksperimenti in primerjavo z izračuni po drugih numeričnih postopkih natančno preučil značilnosti teh nadgradenj.

Pomemben del naloge pomeni analitična integracija nastopajočih regularnih, singularnih in hipersingularnih integralov za linearne in kvadratne robne elemente. Razvita integracija zelo razširja uporabnost metode.

Druga nagrada Fakultete za strojništvo v Ljubljani:

Marko Kosi
Delo: Raziskava maraging jekla za orodja za tlačno litje
Mentor: prof.dr. Janez Grum

Kandidat Marko Kosi je bil rojen 20. marca 1974 v Ljubljani. Srednješolsko izobraževanje je končal leta 1993 na Gimnaziji Šentvid v programu naravoslovno matematični tehnik. Na Fakulteto za strojništvo se je vpisal v šolskem letu 1993/94 in diplomiral 13. julija 1999 na smeri Proizvodno strojništvo.

Delo je raziskava izločevalno utrjevalnih jekel, poznanih kot maraging jekla. Prva tovrstna jekla so bila razvita za najbolj zahtevne konstrukcijske dele v letalski in vesoljski tehniki. Glavna značilnost teh jekel je, da so zelo trdna z izjemno žilavostjo tako pri nizkih kakor visokotemperaturnih obremenitvah. Zaradi dobrih mehanskih lastnosti in dobro obdelovalnostjo so v zadnjih desetih letih razvili maraging jekla, ki so primerna za visoke termomehanske obremenitve, npr. orodja za tlačno litje. Za izvedbo eksperimentalnega dela raziskav je kandidat izbral vakuumsko pretaljeno izločevalno utrjevalno jeklo s trgovsko oznako thyrotherm 2799 proizvajalca Thyssen. Na vzorcih prirejene oblike za raziskavo udarne žilavosti je opravil toplotno obdelavo pri osmih različnih temperaturah in osmih različnih časih ter raziskoval vpliv izoločanja oziroma izločanih faz na mikrostrukturno trdoto in udarno žilavost. Merjenje udarne žilavosti je izvedel na standardni napravi in tudi na prirejeni napravi z merjenjem pojemka hitrosti kladiva ob porušitvi preskušanca in tako spremljal časovni potek loma preskušanca. Namen teh raziskav je bil raziskovati optimalne parametre procesa izločevalnega utrjanja za to jeklo.

Tako pri pripravah in izvedbah raziskav kakor tudi pri analiziranju doseženih rezultatov in ocenjevanju slednjih je kandidat rigorozen, sistematičen in zelo kritičen ter mu ne uidejo niti najmanjše podrobnosti. Pri tem svoje rezultate zelo kritično sooča z rezultati objavljenimi v literaturi in še posebej s podatki proizvajalca ter zelo vestno ugotavlja odstopanja.

Doktorati, magisteriji, diplome

DOKTORATI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani je *dne 4. januarja 2000* mag. **Uroš Stritih**, dipl.inž., z uspehom zagovarjal svojo doktorsko disertacijo z naslovom: "Pospeševanje prenosa toplote pri spremembi agregatnega stanja".

S tem je navedeni kandidat dosegel akademsko stopnjo doktorja tehničnih znanosti.

MAGISTERIJI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani je *dne 20. januarja 2000* **Jurij Letonje**,

dipl.inž., z uspehom zagovarjal svojo magistrsko nalogo z naslovom: "Sinteza mehanizmov z elastičnimi zgibi".

S tem je navedeni kandidat dosegel akademsko stopnjo magistra tehničnih znanosti.

DIPLOMIRALI SO

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani sta pridobila naziv univerzitetni diplomirani inženir strojništva:

dne 28. januarja 2000: Bojan HRIBAR, Vladislav KURAJIĆ.

*

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani so pridobili naziv diplomirani inženir strojništva:

dne 6. januarja 2000: Dino KLOBAS, Dragan KOVAČEVIČ, Marko PAPLER, Milan TOMAŽINČIČ;

dne 7. januarja 2000: Janko ČOTAR MLAKAR, Matjaž KUHAR, Tatjana MAJNIK roj. KRIVEC, Klemen ZORKO;

dne 10 januarja 2000: Robert KIRN, Vili LASLO, Stanislav ZEVNIK.

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru so pridobili naziv diplomirani inženir strojništva:

dne 27. januarja 2000: Alojz KOCIJANČIČ, Andrej KOLMANIČ, Mario VRAČIČ.

*

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani so pridobili naziv inženir strojništva:

dne 6. januarja 2000: Primož BEČAN, Boštjan MODIC, Damjan OTONIČAR, Vanja PAJIĆ;

dne 7. januarja 2000: Igor TURK;

dne 10. januarja 2000: Denis PORENTA.

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru so pridobili naziv inženir strojništva:

dne 27. januarja 2000: Luka BERCKO, Boštjan ČREŠNAR, Tomaž HERIČ.

Navodila avtorjem
Instructions for Authors

Članki morajo vsebovati:
- naslov, povzetek, besedilo članka in podnaslove slik v slovenskem in angleškem jeziku,
- dvojezične preglednice in slike (diagrami, risbe ali fotografije),
- seznam literature in
- podatke o avtorjih.

Strojniški vestnik izhaja od leta 1992 v dveh jezikih, tj. v slovenščini in angleščini, zato je obvezen prevod v angleščino. Obe besedili morata biti strokovno in jezikovno med seboj usklajeni. Članki naj bodo kratki in naj obsegajo približno 8 tipkanih strani. Izjemoma so strokovni članki, na željo avtorja, lahko tudi samo v slovenščini, vsebovati pa morajo angleški povzetek.

Vsebina članka

Članek naj bo napisan v naslednji obliki:
- Naslov, ki primerno opisuje vsebino članka.
- Povzetek, ki naj bo skrajšana oblika članka in naj ne presega 250 besed. Povzetek mora vsebovati osnove, jedro in cilje raziskave, uporabljeno metodologijo dela,povzetek rezulatov in osnovne sklepe.
- Uvod, v katerem naj bo pregled novejšega stanja in zadostne informacije za razumevanje ter pregled rezultatov dela, predstavljenih v članku.
- Teorija.
- Eksperimentalni del, ki naj vsebuje podatke o postavitvi preskusa in metode, uporabljene pri pridobitvi rezultatov.
- Rezultati, ki naj bodo jasno prikazani, po potrebi v obliki slik in preglednic.
- Razprava, v kateri naj bodo prikazane povezave in posplošitve, uporabljene za pridobitev rezultatov. Prikazana naj bo tudi pomembnost rezultatov in primerjava s poprej objavljenimi deli. (Zaradi narave posameznih raziskav so lahko rezultati in razprava, za jasnost in preprostejše bralčevo razumevanje, združeni v eno poglavje.)
- Sklepi, v katerih naj bo prikazan en ali več sklepov, ki izhajajo iz rezultatov in razprave.
- Literatura, ki mora biti v besedilu oštevilčena zaporedno in označena z oglatimi oklepaji [1] ter na koncu članka zbrana v seznamu literature. Vse opombe naj bodo označene z uporabo dvignjene številke[1].

Oblika članka

Besedilo naj bo pisano na listih formata A4, z dvojnim presledkom med vrstami in s 3 cm širokim robom, da je dovolj prostora za popravke lektorjev. Najbolje je, da pripravite besedilo v urejevalnilku Microsoft Word. Če uporabljate kakšen drug urejevalnik besedil, prosimo, da besedilo konvertirate v navadno ASCII (tekstovno) obliko. Hkrati dostavite odtis članka na papirju, vključno z vsemi slikami in preglednicami ter identično kopijo v elektronski obliki.

Prosimo, da ne uporabljate urejevalnika LaTeX, saj program, s katerim pripravljamo Strojniški vestnik, ne uporablja njegovega formata. V urejevalniku LaTeX oblikujte grafe, preglednice in enačbe in jih stiskajte na kakovostnem laserskem tiskalniku, da jih bomo lahko presneli.

Enačbe naj bodo v besedilu postavljene v ločene vrstice in na desnem robu označene s tekočo številko v okroglih oklepajih

Enote in okrajšave

V besedilu, preglednicah in slikah uporabljajte le standardne označbe in okrajšave SI. Simbole fizikalnih veličin v besedilu pišite poševno (kurzivno), (npr. *v, T, n* itn.). Simbole enot, ki sestojijo iz črk, pa pokončno (npr. ms^{-1}, K, min, mm itn.).

Papers submitted for publication should comprise:
- Title, Abstract, Main Body of Text and Figure Captions in Slovene and English,
- Bilingual Tables and Figures (graphs, drawings or photographs),
- List of references and
- Information about the authors.

Since 1992, the Journal of Mechanical Engineering has been published bilingually, in Slovenian and English. The two texts must be compatible both in terms of technical content and language. Papers should be as short as possible and should on average comprise 8 typed pages. In exceptional cases, at the request of the authors, speciality papers may be written only in Slovene, but must include an English abstract.

The format of the paper

The paper should be written in the following format:
- A Title, which adequately describes the content of the paper.
- An Abstract, which should be viewed as a miniversion of the paper and should not exceed 250 words. The Abstract should state the principal objectives and the scope of the investigation, the methodology employed, summarize the results and state the principal conclusions.
- An Introduction, which should provide a review of recent literature and sufficient background information to allow the results of the paper to be understood and evaluated.
- A Theory
- An Experimental section, which should provide details of the experimental set-up and the methods used for obtaining the results.
- A Results section, which should clearly and concisely present the data using figures and tables where appropriate.
- A Discussion section, which should describe the relationships and generalisations shown by the results and discuss the significance of the results making comparisons with previously published work. (Because of the nature of some studies it may be appropriate to combine the Results and Discussion sections into a single section to improve the clarity and make it easier for the reader.)
- Conclusions, which should present one or more conclusions that have been drawn from the results and subsequent discussion.
- References, which must be numbered consecutively in the text using square brackets [1] and collected together in a reference list at the end of the paper. Any footnotes should be indicated by the use of a superscript[1].

The layout of the text

Texts should be written in A4 format, with double spacing and margins of 3 cm to provide editors with space to write in their corrections. Microsoft Word for Windows is the preferred format for submission. If you use another word processor, please convert to normal ASCII (text) format. One hard copy, including all figures, tables and illustrations and an identical electronic version of the manuscript must be submitted simultaneously.

Please do not use a LaTeX text editor, since this is not compatible with the publishing procedure of the Journal of Mechanical Engineering. Graphs, tables and equations in LaTeX may be supplied in good quality hard-copy format, so that they can be copied for inclusion in the Journal.

Equations should be on a separate line in the main body of the text and marked on the right-hand side of the page with numbers in round brackets.

Units and abbreviations

Only standard SI symbols and abbreviations should be used in the text, tables and figures. Symbols for physical quantities in the text should be written in Italics (e.g. *v, T, n,* etc.). Symbols for units that consist of letters should be in plain text (e.g. ms^{-1}, K, min, mm, etc.).

Vse okrajšave naj bodo, ko se prvič pojavijo, napisane v celoti, npr. časovno spremenljiva geometrija (ČSG).

Slike

Slike morajo biti zaporedno oštevilčene in označene, v besedilu in podnaslovu, kot sl. 1, sl. 2 itn. Posnete naj bodo v kateremkoli od razširjenih formatov, npr. BMP, JPG, GIF. Za pripravo diagramov in risb priporočamo CDR format (CorelDraw), saj so slike v njem vektorske in jih lahko pri končni obdelavi preprosto povečujemo ali pomanjšujemo.

Pri označevanju osi v diagramih, kadar je le mogoče, uporabite označbe veličin (npr. *t, v, m* itn.), da ni potrebno dvojezično označevanje. V diagramih z več krivuljami, mora biti vsaka krivulja označena. Pomen oznake mora biti pojasnjen v podnapisu slike.

Vse označbe na slikah morajo biti dvojezične.

Za vse slike po fotografskih posnetkih je treba priložiti izvirne fotografije ali kakovostno narejen posnetek. V izjemnih primerih so lahko slike tudi barvne.

Preglednice

Preglednice morajo biti zaporedno oštevilčene in označene, v besedilu in podnaslovu, kot preglednica 1, preglednica 2 itn. V preglednicah ne uporabljajte izpisanih imen veličin, ampak samo ustrezne simbole, da se izognemo dvojezični podvojitvi imen. K fizikalnim veličinam, npr. *t* (pisano poševno), pripišite enote (pisano pokončno) v novo vrsto brez oklepajev.

Vsi podnaslovi preglednic morajo biti dvojezični.

Seznam literature

Vsa literatura mora biti navedena v seznamu na koncu članka v prikazani obliki po vrsti za revije, zbornike in knjige:

[1] Tarng, Y.S., Y.S. Wang (1994) A new adaptive controler for constant turning force. *Int J Adv Manuf Technol* 9(1994) London, pp. 211-216.

[2] Čuš, F., J. Balič (1996) Rationale Gestaltung der organisatorischen Abläufe im Werkzeugwesen. *Proceedings of International Conference on Computer Integration Manufacturing,* Zakopane, 14.-17. maj 1996.

[3] Oertli, P.C. (1977) Praktische Wirtschaftskybernetik. *Carl Hanser Verlag,* München.

Podatki o avtorjih

Članku priložite tudi podatke o avtorjih: imena, nazive, popolne poštne naslove, številke telefona in faksa ter naslove elektronske pošte.

Sprejem člankov in avtorske pravice

Uredništvo Strojniškega vestnika si pridržuje pravico do odločanja o sprejemu članka za objavo, strokovno oceno recenzentov in morebitnem predlogu za krajšanje ali izpopolnitev ter terminološke in jezikovne korekture.

Avtor mora predložiti pisno izjavo, da je besedilo njegovo izvirno delo in ni bilo v dani obliki še nikjer objavljeno. Z objavo preidejo avtorske pravice na Strojniški vestnik. Pri morebitnih kasnejših objavah mora biti SV naveden kot vir.

Rokopisi člankov ostanejo v arhivu SV.

Vsa nadaljnja pojasnila daje:

Uredništvo
STROJNIŠKEGA VESTNIKA
p.p. 197/IV
1001 Ljubljana
Telefon: (061) 1771-428
Telefaks: (061) 218-567
E-mail: strojniski.vestnik@fs.uni-lj.si

All abbreviations should be spelt out in full on first appearance, e.g., variable time geometry (VTG).

Figures

Figures must be cited in consecutive numerical order in the text and referred to in both the text and the caption as Fig. 1, Fig. 2, etc. Figures may be saved in any common format, e.g. BMP, GIF, JPG. However, the use of CDR format (CorelDraw) is recommended for graphs and line drawings, since vector images can be easily reduced or enlarged during final processing of the paper.

When labelling axes, physical quantities, e.g. *t, v, m,* etc. should be used whenever possible to minimise the need to label the axes in two languages. Multi-curve graphs should have individual curves marked with a symbol, the meaning of the symbol should be explained in the figure caption.

All figure captions must be bilingual.

Good quality black-and-white photographs or scanned images should be supplied for illustrations. In certain circumstances, colour figures may be considered.

Tables

Tables must be cited in consecutive numerical order in the text and referred to in both the text and the caption as Table 1, Table 2, etc. The use of names for quantities in tables should be avoided if possible: corresponding symbols are preferred to minimise the need to use both Slovenian and English names. In addition to the physical quantity, e.g. *t* (in Italics), units (normal text), should be added in new line without brackets.

All table captions must be bilingual.

The list of references

References should be collected at the end of the paper in the following styles for journals, proceedings and books, respectively:

[1] Tarng, Y.S., Y.S. Wang (1994) A new adaptive controler for constant turning force. *Int J Adv Manuf Technol* 9(1994) London, pp. 211-216.

[2] Čuš, F., J. Balič (1996) Rationale Gestaltung der organisatorischen Abläufe im Werkzeugwesen. *Proceedings of International Conference on Computer Integration Manufacturing,* Zakopane, 14.-17. maj 1996.

[3] Oertli, P.C. (1977) Praktische Wirtschaftskybernetik. *Carl Hanser Verlag,* München.

Author information

The following information about the authors should be enclosed with the paper: names, complete postal addresses, telephone and fax numbers and E-mail addresses.

Acceptance of papers and copyright

The Editorial Committee of the Journal of Mechanical Engineering reserves the right to decide whether a paper is acceptable for publication, obtain professional reviews for submitted papers, and if necessary, require changes to the content, length or language.

Authors must also enclose a written statement that the paper is original unpublished work, and not under consideration for publication elsewhere. On publication, copyright for the paper shall pass to the Journal of Mechanical Engineering. The JME must be stated as a source in all later publications.

Papers will be kept in the archives of the JME.

You can obtain further information from:

Editorial Board of the
JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING
P.O.Box 197/IV
1001 Ljubljana, Slovenia
Telephone: +386 (0)61 1771-428
Fax: +386 (0)61 218-567
E-mail: strojniski.vestnik@fs.uni-lj.si