

STROJNIŠKI**VESTNIK 3**

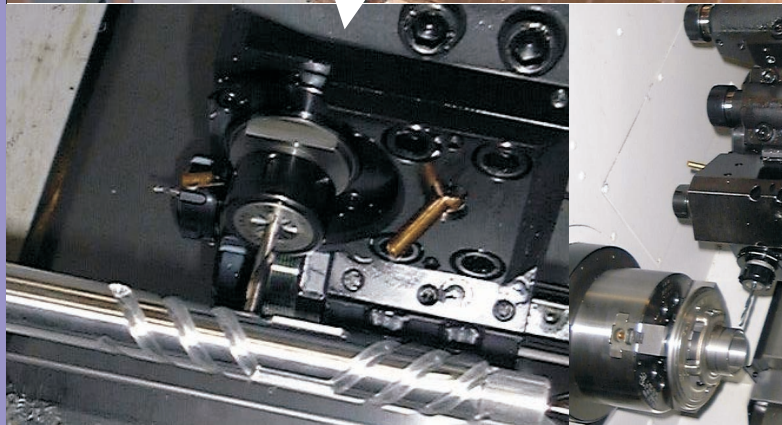
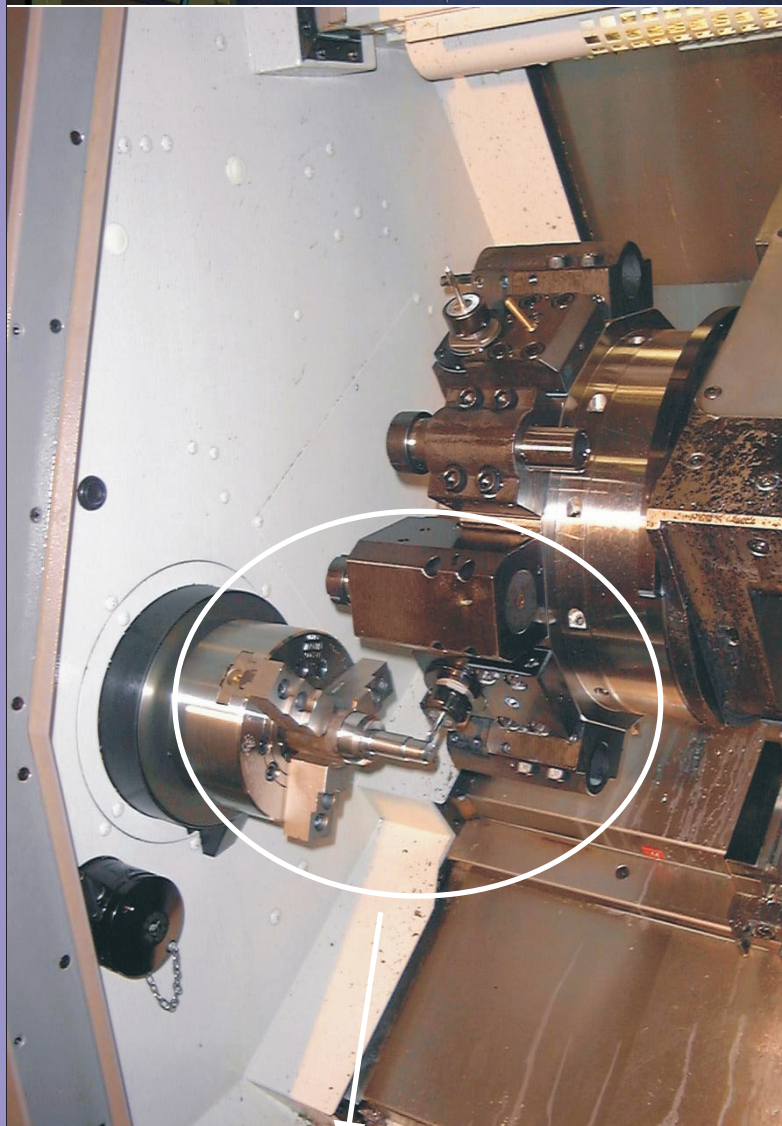
JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

strani - pages 119 - 192

ISSN 0039-2480 . Stroj V . STJVAX

cena 800 SIT

1. Rezne sile in njihov vpliv na
gospodarnost obdelave
Cutting Forces and Their Influence
on the Economics of Machining
2. Prehod iz običajne v zelo hitro
obdelavo in analiza oblikovanja
odrezkov
The Transition from the Conventional
to the High-Speed Cutting Region
and a Chip-Formation Analysis
3. Identifikacija dinamičnih lastnosti
sestavljenih nosilnih strojnih delov
The Dynamic Properties of
Composite Supporting Parts for
Machines
4. Šest sigma: zahtevna pobuda
kakovosti
Six Sigma: A Complex Quality
Initiative
5. Informacijska podpora pospeševanju
postopkov (projektov)
The Acceleration of Processes
(Projects) Through Information
Technology Support
6. Upravljanje tehnologije - ključ
konkurenčnosti
The Management of Technology -
The Key to Competitiveness



Vsebina

Contents

Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering
letnik - volume 48, (2002), številka - number 3

Razprave

Kopač, J.: Rezalne sile in njihov vpliv na
gospodarnost obdelave

Ekinović, S., Dolinšek, S., Kopač, J., Godec, M.:
Prehod iz običajne v zelo hitro obdelavo in
analiza oblikovanja odrezkov

Jurkovič, J., Šali, S.: Identifikacija dinamičnih
lastnosti sestavljenih nosilnih strojnih delov

Pavletić, D., Soković, M.: Šest sigm: zahtevna
pobuda kakovosti

Pogačnik, M., Štefančič, J., Kopač, J.: Informacijska
podpora pospeševanju postopkov
(projektov)

Dolinšek, S., Bavec, C., Mihelič, A., Prodan, I.:
Upravljanje tehnologije - ključ
konkurenčnosti

Poročila

Strokovna literatura

Osebne vesti

Navodila avtorjem

Papers

Kopač, J.: Cutting Forces and Their Influence on
the Economics of Machining

Ekinović, S., Dolinšek, S., Kopač, J., Godec, M.: The
Transition from the Conventional to the High-Speed
Cutting Region and a Chip-Formation Analysis

Jurkovič, J., Šali, S.: The Dynamic Properties of
Composite Supporting Parts for Machines

Pavletić, D., Soković, M.: Six Sigma: A Complex
Quality Initiative

Pogačnik, M., Štefančič, J., Kopač, J.: The
Acceleration of Processes (Projects) Through
Information Technology Support

Dolinšek, S., Bavec, C., Mihelič, A., Prodan, I.: The
Management of Technology - The Key to
Competitiveness

Reports

Professional Literature

Personal Events

Instructions for Authors

Uvodnik

Editorial

Moderni obdelovalni stroji - nujne investicije za Slovenijo Modern Machine Tools - A Urgent Investments for Slovenia

V slovenskem prostoru so prisotni razmeroma stari obdelovalni stroji (stružnice, frezalni in vrtalni stroji itn.), na katerih amortizacijsko dobo smo pozabili in imajo 20 do 40 let. S takimi stroji ne moremo biti konkurenčni v evropskem prostoru, kjer je primaren pojem čas obdelave, ki mora biti čim krajši, enako stroški obdelave. Ob tem mora kakovost ustrezati standardom ISO 9001.

Moderna računalniško številsko krmiljena (CNC) stružnica z gnanimi orodji omogoča obdelavo zahtevnih izdelkov, kjer ob enem pozicioniranju in vpetju lahko postružimo, pofrezamo, vrtamo, režemo vanje in gladilno stružimo. Izdelki takega stroja so tako zapleteni, da se pogosto vprašamo, na katerih in na koliko strojih je potekala obdelava. Ob tem tudi odpade pretežen del logistike, vpenjanja, pozicioniranja itd., kar skrajša čas izdelave kakor tudi stroške za 2 do 4-krat.

Investicija v tak stroj znaša 100.000 do 300.000 €, kar nadomesti glede na klasično zaporedje operacij tri do štiri različne obdelovalne stroje. S tem postanemo konkurenčni, lahko sprejemamo naročila večjih količin itn.

Svetovalno dejavnost v zvezi z nabavo novih strojev, uvajanje novih tehnologij obdelave, zelo hitro odrezavanje, odrezavanje v trdo itd. opravlja Katedra za menedžment obdelovalnih tehnologij na Fakulteti za strojništvo, Univerza v Ljubljani.

Več informacij: www.fs.uni-lj.si/labod

prof. dr. Janez Kopač

In Slovenia we have relatively old workshop machines (turning, milling and drilling machines etc.); with many of them 20 to 40 years old, they have long exceeded their amortization period. Machines like these prevent us from gaining a competitive position in Europe, where handling times need to be as short as possible, and costs need to be minimized. It is also vital that our quality levels reach ISO 9001 standards.

A modern computer numerically controlled (CNC) turning machine, with the appropriate tools, allows us to handle the manufacturing of complex products. With just a single setting-up and fixing of the job to the machine we can turn, mill, drill, cut and polish. The products of these machines are so complex that we often ask ourselves on which and how many machines the work was done. Furthermore, it is not just the majority of the logistics, fastening, setting-up, etc. that is not needed any more, the shortened working times can reduce costs by a factor of 2 to 4.

Such a machine costs €100,000-300,000; however, it can take the place of three or four classical workshop machines in terms of what it can do. A CNC machine puts us in a more competitive position; it means, among other things, that we can accept larger orders.

At the Department of Machining Technology Management at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, we offer advice on the purchase of new machines, the introduction of new working technologies, as well as on high-speed cutting, the cutting of hard materials, etc.

For more information: www.fs.uni-lj.si/labod

Prof. Dr. Janez Kopač

Rezalne sile in njihov vpliv na gospodarnost obdelave

Cutting Forces and Their Influence on the Economics of Machining

Janez Kopač

Rezalne in posebej specifične rezalne sile imajo značilen vpliv na stroške obdelave. Znanje in poznavanje prave tehnologije o obdelavi sta teoretična podlaga za prihranek energije v proizvodnji. Poznamo teoretične modele rezalnih in specifičnih rezalnih sil pri struženju, frezanju in vrtanju. Podane so kot vpliv obdelovanega materiala, postopka obdelave in tehnoloških parametrov.

© 2002 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: obdelave z odrezavanjem, sile rezanja, prihranki energije, učinki ekonomski)

Cutting forces, and especially specific cutting forces, have a significant influence on machining costs. Having the right knowledge and the right machining technology is a way of saving energy in the production process. There are theoretical models of cutting forces that specify the cutting forces during turning, milling, and drilling. In this paper we give an explanation of the influences of machining material, machining processes and technological parameters on cutting forces and economical machining.

© 2002 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: mechanical cutting, cutting forces, energy savings, economic effect)

0 UVOD

Za obdelovalnost materiala so rezalne sile pri postopku pomemben kriterij. Zagotovljene informacije o pričakovanih komponentah rezalnih sil so pomembne zaradi spodaj naštetih razlogov.

Od načrtovanih rezalnih sil med postopkom odrezovanja je odvisna potrebna moč stroja.

Vrednost komponente rezalne sile povzroča, da se med postopkom odrezovanja deformirajo deli stroja, kar ima za posledico natančnost obdelave.

Za razvoj sprotnega nadzora rezalnega postopka je pomembno poznavanje velikosti rezalnih sil v odvisnosti od materiala obdelovanca. Poleg tega pa rezalne sile določajo tudi meje pri optimiranju.

Prava izbira rezalnega postopka in optimalnih tehnoloških parametrov znatno prihrani energijo pri obdelavi, kar neposredno vpliva na stroške.

Vplivni dejavniki na velikost komponent rezalnih sil si sledijo po pomembnosti:

- a) način odrezovanja:
neprekinjen oziroma prekinjen rez
- b) rezalni parametri:

0 PREFACE

When it comes to the machinability of a material, the cutting forces used in the process are important criteria. Guaranteed information about the expected cutting-force components is, moreover, particularly significant for the following reasons.

The forces occurring in the metal-cutting process provide information about the power requirements of the machine and are therefore fundamental in the designing of the machine tool drive.

Data on the cutting-force components are required when designing the machine parts as the forces occurring during a cutting operation result in the deformation of certain machine elements, thus impairing the working accuracy of the machine.

For developments in the field of adaptive control of the cutting process, knowledge of the material-dependent cutting force is also of major importance in defining the performance limit confining the range of optimization.

Choosing the right cutting process and the optimum technological parameters results in significant savings of energy during machining.

Of the factors influencing the cutting-force components, the following are very important:

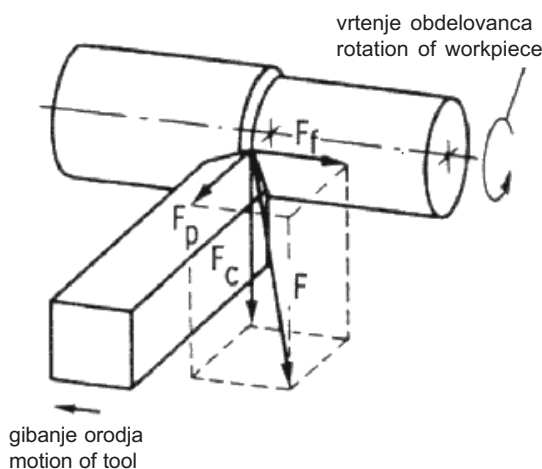
- a) in the cutting methods: constant or varying cross-sectional area of the cut chip friction
- b) in the cutting conditions:

- podajanje (f)
- globina rezanja (a_p)
- geometrijska oblika rezalnega roba
- rezalna hitrost (v_c)
- hladilna tekočina
- c) material:
 - kemijska sestava
 - toplotna obdelava
- d) orodje:
 - material orodja
 - lomilec odrezkov
 - prevleka
 - obrabna orodja

- feed (f)
- back engagement (a_p)
- cutting-edge geometry
- cutting speed (v_c)
- cutting fluid
- c) the material:
 - chemical composition
 - heat treatment
- d) in the tool:
 - tool material
 - chip breaker
 - coating
 - tool wear

1 VPLIV REZALNIH PARAMETROV PRI IZRAČUNU KOMPONENT STATIČNIH REZALNIH SIL

Rezultanta rezalnih sil sila F se pojavi med postopkom odrezovanja in je odvisna od smeri gibanja orodja in obdelovanca. Rezultanto rezalnih sil sestavljajo rezalna sila F_c , podajalna sila F_f in odzivna sila F_p (sl. 1). Obremenitev orodja pri struženju prikazuje slika 2.



Sl. 1. Rezanjske sile pri struženju
Fig. 1. Cutting force components during turning

Rezanjska sila F_c

Potek rezaljske sile lahko delimo z širino odrezka b in ga prikažemo v odvisnosti od debeline odrezka h v dvojnem logaritemskem diagramu. Dobimo linearno odvisnost:

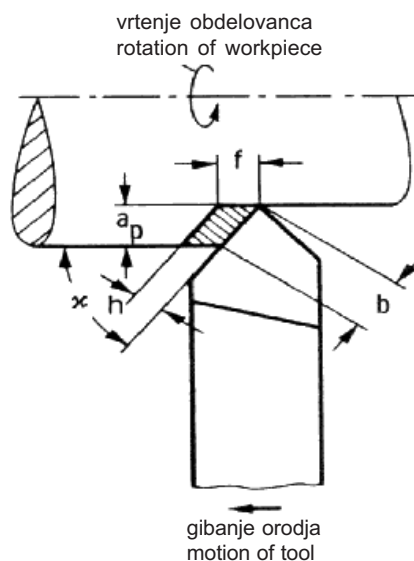
$$F_c = b \cdot k_{c1.1} \cdot h^{1-m_c} \tag{1}$$

$$b = \frac{a_p}{\sin \chi} \tag{2}$$

$$h = f \cdot \sin \chi \tag{3}$$

1 RELATIONSHIPS FOR THE CALCULATION OF THE STATIC CUTTING-FORCE COMPONENTS

The cutting force F acting on the tool during the machining operation can be divided in terms of the directions of motion of the tool and the workpiece into the cutting force F_c , the feed force F_f and the passive force F_p (Figure 1). The conditions of the tool's engagement are described in Figure 2 for the turning process. [1]



Sl. 2. Razmere pri struženju
Fig. 2. Conditions of engagement during turning

Cutting force F_c

The course of the cutting force F_c related to the width of the cut b is a function of the thickness of the cut h in the system of log-log coordinates as a straight line that is described by the equation:

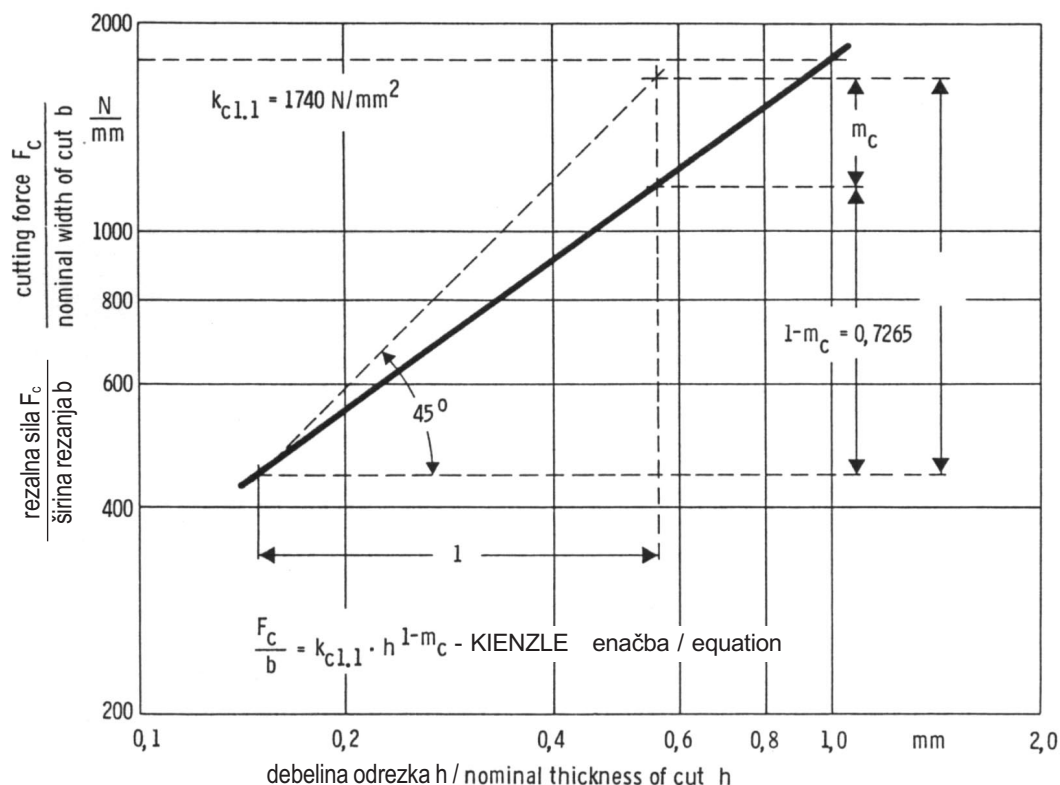
Zgornjo enačbo je izkustveno razvil Kienzle in opisuje odvisnost rezalne sile F_c od prereza odrezka, kar prikazuje slika 3. Standardna specifična rezalna sila je odvisna od širine odrezka b in debeline odrezka h , kjer je $b \times h = 1 \text{ mm}^2$, ter vplivnega koeficienta rezalne sile $1-m_c$, kar je razvidno iz enačbe.

Standardna specifična rezalna sila $k_{c1.1}$ je v veliki meri odvisna od materiala, rezalnih parametrov, orodja in vpliva tehnološkega postopka.

Povečanje rezalne sile je odvisno od vplivnega koeficienta rezalne sile $1-m_c$, karakteristik materiala obdelovanca in materiala orodja ter različne globine rezanja.

Predstavitev izkustvene vrednosti rezalne sile F_c je odvisna od prereza odrezka $b \cdot h$ oziroma globine rezanja a_p kot funkcija debeline odrezka h . Rezultat je premica v dvojnem logaritemskem diagramu, ki je podana z enačbo:

$$k_c = k_{c1.1} \cdot h^{1-m_c} = \frac{F_c}{b \cdot h} \quad (4.)$$



Sl. 3. Grafična predstavitev poteka rezalne sile in specifične rezalne sile
Fig. 3. Graphic determination of the cutting force and the specific cutting force

V tej zvezi je specifična rezalna sila k_c podana kot funkcija debeline odrezka h . Te povezave nas pripeljejo do enačbe za rezalno silo F_c :

$$F_c = b \cdot h \cdot k_c \quad (5.)$$

This equation was established by Kienzle according to the empirically determined dependence of the cutting force F_c on the cross-sectional area of the cut $a_p \times f$ or $b \times h$, subject to the turning data shown in Figure 3. The specific cutting force $k_{c1.1}$ related to the cross-sectional area of the cut $b \times h = 1 \text{ mm}^2$ and the rise in the cutting force related to the nominal width of the cut $1-m_c$ are entered into the equation as characteristic data.[2]

The specific cutting force $k_{c1.1}$ is, in this case, largely dependent on the material, the cutting conditions, the tool and the procedural influences.

The increase in the cutting force related to the nominal width of the cut $1-m_c$ characterises the cutting-force behaviour of a workpiece-material-tool-material combination for different thicknesses of cut.

The representation of the experimentally determined cutting-force values F_c related to the cross-sectional area of the cut $b \cdot h$ or $a_p \cdot f$ as a function of the thickness of the cut h also results, under log-log coordinates, in a straight line, which can be described by the equation:

Podajalna sila F_f

Za izračun podajalne sile F_f , vpeljemo enako zvezo kakor pri rezalni sili F_c , ta je definirana kot linearna funkcija podajalne sile, ki je funkcija širine odrezka b kot funkcija debeline odrezka h , kar je predstavljeno v dvojnem logaritmskem diagramu:

$$F_f = b \cdot k_{f1.1} \cdot h^{1-m_f} \quad (6.)$$

Značilen podatek: standardna specifična rezalna sila je odvisna od prereza odrezka, ki je $b \times h = 1 \text{ mm}^2$. Povečanje podajalne sile je odvisno od vplivnega parametra podajalne sile, kar je upoštevano v enačbi.

Nasprotno kakor pri enačbi rezalne sile, moramo v enačbi za izračun podajalne sile upoštevati, da je raztros pri podajalni sili $F_f/b=f(h)$ večji kakor pri rezalni sili.

Odrivna sila F_p

V skladu s pravili za izračun podajalne sile F_f , lahko odrivno silo F_p izrazimo z enačbo:

$$F_p = b \cdot k_{p1.1} \cdot h^{1-m_p} \quad (7.)$$

V preglednici 1 so zbrane vse enačbe za izračun rezalnih sil in torzijskih momentov za nekaj najbolj pogosto zastopanih postopkov obdelave.

2 REZALNI PARAMETRI

Podatki o obdelavi, kot sta globina rezanja a_p in podajanje f , so namenjeni izračunu povprečnega prereza odrezka $a_p \times f = b \times h$ in nakazujejo prek znanih enačb na velikost rezalne sile.

Rezalna geometrija

Rezalna geometrija ima precejšen vpliv na velikost komponent rezalnih sil. Po eni strani deformacija v strižni coni vpliva na geometrijsko obliko odrezka, po drugi strani pa je geometrijska oblika odrezka definirana z geometrijsko obliko orodja. Na velikost komponent rezalnih sil tako vplivajo razmere v strižni coni in geometrijska oblika orodja.

Če se spremeni cepilni kot γ (zmanjša ali poveča), se spremenijo omenjene sile (povečajo ali pomanjšajo) za naslednje vrednosti:

rezalna sila	F_c	za približno 1,5 %
podajalna sila	F_f	za približno 5,0 %
odrivna sila	F_p	za približno 4,0 %

za vsako stopinjo (1°) spremembe cepilnega kota.

Če je velikost prostega kota α $3^\circ = \alpha = 12^\circ$, ta nima značilnega vpliva na komponente rezalnih sil.

Feed force F_f

For the calculation of the feed force F_f , a relationship can be established that is similar to that used for the cutting force F_c , which is based on the linear behaviour of the feed forces related to the width of cut b as a function of the thickness of cut h as shown under log-log coordinates:

As characteristic data, the specific feed force $k_{f1.1}$ related to a cross-sectional area of cut of $b \times h = 1 \text{ mm}^2$ and the increase in the feed force related to the nominal width of the cut $1 - m_f$ are included in the equation.

Unlike to the cutting-force equation, this equation to calculate the feed force must be regarded as an approximate solution as the scatter of the test values in the representation $F_f/b=f(h)$ is larger than with the cutting force [3].

Passive force F_p

In accordance with the rules of calculating the feed force F_f , the passive force F_p can be expressed as:

Table 1 shows some of the equations for computing the cutting forces and torques that occur during machining, such as turning, drilling, milling, etc.

2 CUTTING CONDITIONS

The machining parameters as data back engagement a_p and feed f pass over by way of the cross-sectional area of cut $a_p \times f = b \times h$ immediately into the cutting-force equations indicated.

Cutting-edge geometry

The cutting-edge geometry has a major influence on the quantity of the cutting-force components. On the one hand, the deformation processes in the zone of shear are affected by it and, as a result, so is the geometry of the chip formation, on the other hand, the tool angles determine, for geometrical reasons, the relative quantities of the various force components.

As the rake angle γ decreases (increases), there is an increase (decrease) of the:

cutting force	F_c	by about 1.5 %
feed force	F_f	by about 5.0 %.
passive force	F_p	by about 4.0 %

for every degree of rake angle change compared to the test value.

Within the usual range of clearance angles α $3^\circ = \alpha = 12^\circ$ no influence can be determined on the cutting-force components.

Preglednica 1. Enačbe rezalne sile in torzijskega momenta

Table 1. Cutting-force and torque equations

Obdelovalni postopek Machining process	Enačbe za izračun Equation for the determination of	
	Rezalna sila F_c Cutting force F_c	Torzijski moment Md Torque Md
Struženje Turning	$F_c = b \cdot h \cdot k_c$ $F_c = b \cdot k_{c1.1} \cdot h^{1-m_c}$ $h = f \cdot \sin \chi$ $b = \frac{a_p}{\sin \chi}; a = \frac{D-d}{2}$	$Md = b \cdot h \cdot k_c \cdot \frac{D+d}{4}$ $Md = b \cdot k_{c1.1} \cdot h^{1-m_c} \cdot \frac{D+d}{4}$
Skobljanje Planing	Podobno kakor struženje Like turning	
Vrtanje Drilling	Posamezen rezalni rob: Each cutting edge: $F_c = b \cdot h \cdot k_c$ $F_c = b \cdot k_{c1.1} \cdot h^{1-m_c}$ $b = \frac{D}{2 \sin \chi}; \chi = \frac{\sigma}{2}$ $h = \frac{f}{2} \sin \chi$	$Md = 2b \cdot h \cdot k_c \cdot \frac{D}{4}$ $Md = 2b \cdot k_{c1.1} \cdot h^{1-m_c} \cdot \frac{D}{4}$ $Md = f \cdot k_c \cdot \frac{D^2}{8}$
Povrtavanje Boring	Posamezen rezalni rob: Each cutting edge: $F_c = b \cdot h \cdot k_c$ $F_c = b \cdot k_{c1.1} \cdot h^{1-m_c}$ $b = \frac{D}{2 \sin \chi}; \chi = \frac{\sigma}{2}$ $h = \frac{f}{2} \sin \chi$	$Md = 2b \cdot h \cdot k_c \cdot \frac{D+d}{4}$ $Md = 2b \cdot k_{c1.1} \cdot h^{1-m_c} \cdot \frac{D+d}{4}$ $Md = f \cdot k_c \cdot \frac{D^2 - d^2}{8}$
Frezanje Milling	Posamezen rezalni rob: Each cutting edge: $F_c = b \cdot h \cdot k_c$ $F_c = b \cdot k_{c1.1} \cdot h^{1-m_c}$ $h = f_z \sin \varphi_s \sin \chi$ $b = \frac{a_p}{\sin \chi}$	$Md = b \cdot h \cdot k_c \cdot \frac{D}{2}$ $Md = b \cdot k_{c1.1} \cdot h^{1-m_c} \cdot \frac{D}{2}$

Če se spremeni strmina λ (zmanjša ali poveča), se spremenijo tudi sile (povečajo ali pomanjšajo):

rezalna sila F_c za približno 1,5 %
 podajalna sila F_f za približno 1,5 %
 odzivna sila F_p za približno 10,0 %
 za vsako spremembo strmine λ za 1°.

Vpliv nastavnega kota χ je zajet v enačbi (3) in (5) za izračun rezalne sile F_c in odzivne sile F_p pri znani širini b in debelini h odrezka. Medtem ko se rezalna sila F_c in odzivna sila F_p zmanjšata z nastavnim kotom χ , se podajalna sila F_f poveča.

Odvisnost podajalne sile F_f od nastavnega kota χ ni popolnoma popisana v enačbi (4), torej čisto matematično bi bila popisana z nastavnim kotom χ , širino odrezka b in debelino odrezka h , torej z enačbo (4) dobimo nepopoln rezultat. Za

As the cutting-edge inclination λ decreases (increases), there is an increase (decrease) of the:

cutting force F_c by about 1.5 %
 feed force F_f by about 1.5 %
 passive force F_p by about 10.0 %
 for every degree of changing the angle of inclination as compared to the test value.

The influence of the cutting-edge angle χ is contained in the equations (3) and (5) for the calculation of the cutting force F_c and the passive force F_p by the indication of the width of cut b and the thickness of cut h . While the cutting force F_c and the passive force F_p increase as the cutting edge angle reduces the feed force F_f decreases.

The dependence of the feed force on the cutting-edge angle is, however, not described by the indicated equation, as a result, a purely mathematical consideration of the cutting-edge angle within the range width-of-cut b and thickness-of-cut h will lead to the

nastavne kote χ manjše od normalnih, lahko podajalno silo izračunamo z matematično enačbo, vrednost podajalne sile pa je manjša od dvakratne velikosti te pri normalnih nastavnih kotih ($F_f = 2F_f(\alpha=70^\circ) - F_f(\alpha<70^\circ)$).

Velikost radija konice ima znaten vpliv na velikost komponent rezalnih sil, pri čemer mora biti najmanjša globina rezanja $a_p = 2r$.

Rezalna hitrost

Rezalna hitrost vpliva na komponente rezalnih sil, njen vpliv je različen glede na material obdelovanca in orodja ter vrsto obdelave.

Hitrorežno jeklo se uporablja za rezalne hitrosti do 25 m/min, to pa je tudi hitrost $v_c = 25$ m/min, pri kateri se določi standardno specifično rezalno silo.

Da preprečimo nastajanje nalepka pri rezalnih hitrostih $v_c < 30$ m/min, uporabimo orodje iz karbidne trdine. Upoštevati pa moramo, da se pri odrezovanju pojavljajo tudi rezalne hitrosti do $v_c > 1000$ m/min, kar vpliva na velikost rezalne sile.

Hladilna tekočina

Vpliv hladilne tekočine je bistvenega pomena pri velikih rezalnih hitrostih. Pri majhnih rezalnih hitrostih, se rezalne sile zmanjšajo zaradi prodora hladilno-mazalne tekočine v dotikalno območje, kar povzroči zmanjšanje trenja med odrezkom in orodjem. Pri večjih rezalnih hitrostih ima hladilno-mazalna tekočina v strižni coni samo hladilni učinek. Pri sodobnih rezalnih materialih ni nujno potrebna uporaba hladilno-mazalne tekočine, ker imajo nove prevleke rezalnih orodij dobre značilnosti.

Sodobne in naravi prijazne metode obdelave s hladilno-mazalno tekočino so metode minimalnega hlajenja, pri tem za mazanje uporabljajo sistem razprševanja naravnega olja s stisnjenim zrakom.

3 OBDELOVANI MATERIAL

Kemična sestava

Če poznamo kemično sestavo obdelovalnega materiala, lahko le ocenimo velikost rezalne sile pri obdelavi. Vendar pri tem ni pravila in so zato potrebne meritve sil.

wrong results. For cutting-edge angles smaller than those on which the test value is based, the feed force can be determined by calculation in such a way that the mathematical value of the feed force for the smaller cutting-edge angle is subtracted from the double test result ($F_f = 2F_f(\alpha=70^\circ) - F_f(\alpha<70^\circ)$).

Within the range of the usual values for the corner radius, no appreciable influence on the cutting-force components can be determined as long as the term $2r = a_p$ is fulfilled.

Cutting speed

The influence of the cutting speed on the cutting-force components must be differently assessed for the various workpiece materials and the tool materials with their specific ranges of application.

The application range for high-speed-steel tools is, in general, for cutting speeds of about 25 m/min; so that for this material the cutting behaviour is described with sufficient accuracy by the indication of the specific cutting-force value at $v_c = 25$ m/min.

To prevent built-up-edge formation, no cutting speeds of $v_c < 30$ m/min are normally used for carbide cutting tools. As regards the cutting-speed-dependent behaviour of the cutting forces in turning operations in the range of $v_c < 1000$ m/min, fundamental examinations are available.

Cutting fluid

The influence of cutting fluids varies depending on the cutting speed. At low cutting speeds, the cutting forces are reduced owing to the penetration of the lubricant into the contact zones and the diminished friction between chip and tool. At higher cutting speeds within the range of the formation of continuous chips, the cutting fluid only has a cooling effect.

Modern and ecological methods use near-dry cutting with a minimum amount of natural oil dispersed with pressurised air.

3 WORKPIECE MATERIAL

Chemical composition

According to the present state of knowledge, the chemical composition of the workpiece materials is only suggestive of the size of cutting-force components in exceptional cases, because definite laws relating to this influence are quite rare.

Toplotna obdelava

Raziskava vpliva toplotne obdelave na rezalne sile je pokazala, da vpliv toplotne obdelave ni natančno definiran glede na rezalne sile. Pri običajnih rezalnih orodjih, kakor sta hitrorežno jeklo in karbidna trdina, je treba vpliv toplotne obdelave na podatek $k_{cl,1}$ in $1-m_c$ izmeriti za vsak primer posebej.

Pri preskusih odrezovanja toplotno obdelanih materialov s hitroreznimi jekli so izmerjene rezalne sile manjše kakor pri mehko žarjenih obdelovancih. Ta ugotovitev velja tudi za potek rezalne sile v povezavi z $1-m_c$. Meritve rezalnih sil pri odrezovanju z orodji iz karbidne trdine so pokazale, da primerjava toplotno obdelanih proti mehko žarjenim vzorcem kaže večje vrednosti za $k_{cl,1}$ in $1-m_c$. Medtem ko primerjava med normalizacijo in žarjenjem na mehko ni pokazala značilnih sprememb rezalnih sil.

Odvisnost specifične rezalne sile $k_{cl,1}$ in povečanje rezalne sile glede na širino odrezka preko vplivnega eksponenta $1-m_c$ je povezana z napetostmi in deformacijskimi karakteristikami obdelovanega materiala. Zato ni natančno definirana povezava in lahko pričakujemo večje raztrose rezultatov.

4 ORODJE

Dogodki v rezalni coni, kjer potekata strig in nastanek lamel odrezka, prvinsko vplivajo na podajalno in odrivno silo. Tudi tu je značilen raztros glede na zvezo sila / debelina odrezka. Linearni popis komponent rezalne sile, kot funkcije debeline odrezka je izveden kot približna rešitev.

Materiali za rezalna orodja

Če uporabimo rezalno keramiko (Al_2O_3), so rezalne sile proti karbidni trdini za okoli 10% manjše. Vzrok so boljše torne razmere pri drsenju odrezka po cepilni ploskvi rezalne ploščice. Lomilnik odrezkov, ki je v moderni obliki že integriran na rezalni ploščici je dimenzioniran tako, da je polmer za iztek odrezka čim večji. S tem lomilnik nima bistvenega vpliva na rezalne sile; zmanjšana pa je tudi obraba segmenta lomilnika. Na splošno se priporoča, da je odmik lomilnika od rezalnega robu v vrednosti okoli $10 \times f$ (torej desetkratnega pomika orodja).

Obraba orodja

Obraba orodja je zanesljivo v povezavi z velikostjo rezalnih sil. Deli se na dve značilni, in sicer na obrabo proste ploskve, ki jo povzroča

Heat treatment

Investigations aimed at defining the influence of heat treatment on the cutting forces have led to the result that there is no definite dependence of the main cutting force on heat treatment. However, as regards high-speed-steel tools and carbide cutting tools, the qualitative effects of heat treatment on the data $k_{cl,1}$ and $1-m_c$ can be determined separately.

Under the experimental conditions, heat-treated materials for the high-speed-steel tool material generally show much lower cutting-force values than for soft-annealed steels. This statement also applies to the increase in the cutting force related to the nominal width of the cut $1-m_c$. The cutting-force measurements conducted with carbide cutting tools showed that heat-treated materials, as compared to soft-annealed materials, frequently reveal higher values for $k_{cl,1}$ and $1-m_c$. A comparison of the cutting forces for normalised and soft-annealed materials, however, does not result in any appreciable differences.

While the dependence of the specific cutting force $k_{cl,1}$ and of the increase in the cutting force related to the nominal width of the cut $1-m_c$ on the strength and deformation characteristics within the entire range of materials examined may be shown, no definite relationship can be attributed to this influence owing to the wide range of scatter.

4 TOOL

The deformation conditions in the shear zone of the tool—some of which varied for different thicknesses of the cut and made themselves felt in the position and size of the shearing plane and in the amount of chip crowding—had an effect on the feed forces and the passive forces. In view of the range of scatter of the various test results, a linear description of these force components as a function of the thickness of the cut must therefore be regarded as an approximate solution.

Tool material

When aluminium-oxide tools (cutting ceramics) are employed as a tool material, the resulting cutting forces are about 10% lower than with carbide metal because with a ceramic cutting material there are more favourable frictional conditions on the true rake or chip face. The size of the chipbreaker b_{sp} should be dimensioned so that the radius of chip curvature is as large as possible. This is to ensure that on the one hand the size of the chip breaker will not have any major influence on the cutting-force components, and on the other hand, the wear action on the true rake is as low as possible. The rule-of-thumb value 'chip former = 10 times the feed' can generally be regarded as favourable.

Tool wear

Numerous results are available concerning the influence of tool wear on the cutting-force components. As a consequence of the increasing friction areas between the

drsenje rezila po že obdelani površini obdelovanca, in na obrabo cepilne ploskve orodja, prek katere drsi odrezek. Značilen vpliv na večanje obrabe pa ima seveda čas uporabe orodja. Tudi tu ocene povečanja obrabe niso mogoče v zadostni natančnosti, zato so potrebne meritve. Le približne ocene povedo, kakšna sta vpliv in povezava med obrabo orodja in povečanjem rezalne sile:

rezalna sila F_c se poveča za 10% za vsak 0,1 mm obrabe W

podajalna sila F_f se poveča za 25% za vsak 0,1 mm obrabe W

odrivna sila F_p se poveča za 30% za vsak 0,1 mm obrabe W

Kot definicija kriterija izločilne obrabe rezalnega orodja pa seveda ne more biti pravkar omenjena povezava med rezalno silo in obrabo proste ploskve orodja W .

5 DINAMIČNA REZALNA SILA

Temeljita raziskava dinamičnih rezalnih sil pri struženju je pokazala, da ima poleg statične komponente rezalne sile tudi nastanek odrezka velik vpliv na komponente rezalnih sil.

V strižni coni in v področju nastanka nalepka na rezalnem robu, se lahko dinamična komponenta rezalne sile F_c poveča za 20%, podajalna sila F_f in odrivna sila F_p pa se lahko povečata za 50%. V področju zveznega nastanka odrezka se lahko dinamična komponenta rezalne sile zmanjša za 5 do 10 odstotkov (sl. 4).

Znatno vpliv na dinamično rezalno silo ima tudi lega lomilne stopničke b_{sp} , ki je lahko odvisna že od oblike sintrane ploščice. Majhna oddaljenost lomilne stopničke poveča gostoto odrezkov v taki meri, da je dinamična sila v strižni coni v smeri podajalne in odrivne sile lahko večja za 100 odstotkov od statične.

cut surface and the flank of the tool or between the chip and the chip face, on the one hand and the changing conditions of engagement of the tool on the other, a substantial increase in the cutting-force components with increasing cutting time is registered. In view of the number of factors, a quantitative statement on the increasing force in relation to the increasing tool wear can only be an approximation. Numerous experimental results have shown that for an increase of the cutting-force components as the tool wear increases the following corrective values should be introduced:

cutting force F_c : increase of about 10% per 0.1-mm width of land wear W

feed force F_f : increase of about 25% per 0.1-mm width of land wear W

passive force F_p : increase of about 30% per 0.1-mm width of land wear W

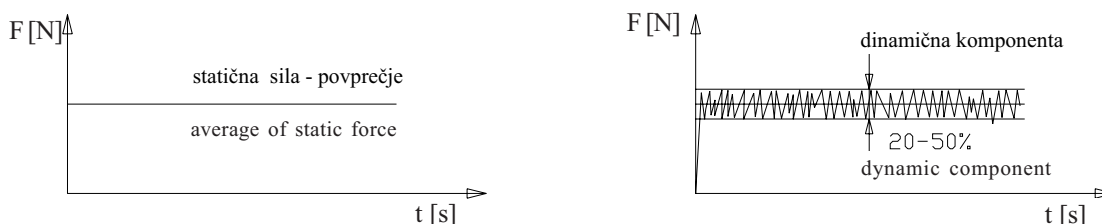
As a definition of the total wear is impossible, the increase in the cutting force was related to the width of the land wear W .

5 DYNAMIC CUTTING FORCE

Fundamental examinations of the dynamics of cutting forces during turning have shown that in addition to the factors influencing the static cutting-force components the chip formation has a major influence on the cutting-force components.

In the range of shear-chip formation, built-up-edge formation and the rigidity of the process, a high dynamic cutting-force component occurs in machining, which may account for a cutting force F_c of up to 20%, and for the feed force F_f and the passive force F_p up to 50% of the static components. In the range of continuous chip formation, the dynamic cutting forces drop to 5–10 % of the static share, see Figure 4.

A considerable influence on the dynamic cutting forces is exercised by the chip-breaker distance b_{sp} , which can be made directly by shape-sintering of the cutting insert. With a short distance and thus heavy crowding of the chip flow, the share of the dynamic force in the direction of the feed force and the passive force can amount to as much as 100 % of the static share.



Sl. 4. Povprečje rezalne sile in dinamična komponenta
Fig. 4. Average cutting force and dynamic part of the cutting force

6 PRAKTIČNA PREDSTAVITEV

Praktična uporaba eksperimentalno dobljenih rezultatov je prikazana na sliki 5. Specifična rezalna sila vpliva na energijo, potrebno za obdelavo. Za prihranek energije in stroškov je ekonomična izbira največjega možnega podajanja.

Največje tehnološko mogoče podajanje je izbrano glede na postopek in zahtevano hrupavost (Ra). Kratka primerjava pokaže, kako lahko s pravilnim načrtovanjem tehnoloških parametrov dosežemo 2-kratni prihranek energije in časa obdelave ter tako zmanjšamo stroške.

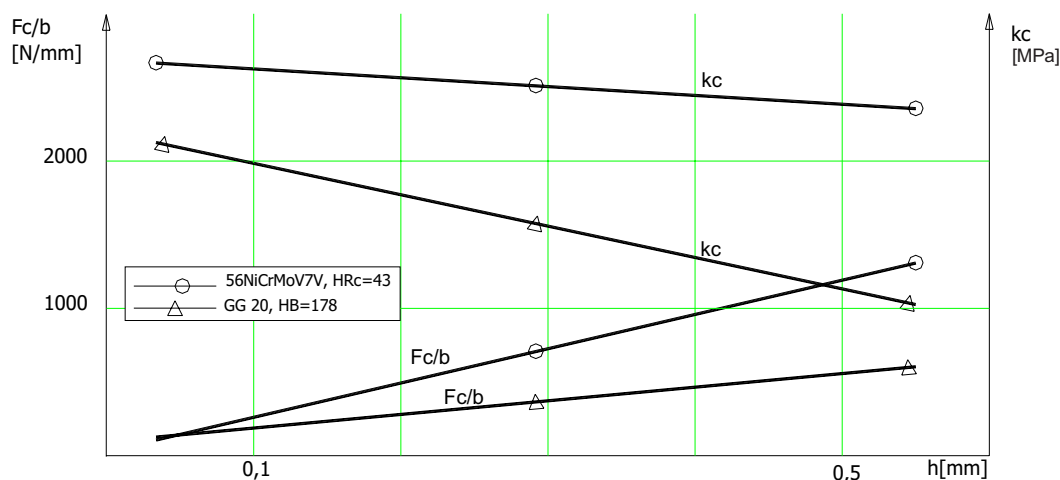
Iz primerjave finega struženja in postopka brušenja vidimo, da je specifična rezalna sila pri struženju 2-krat manjša (prej omenjeni prihranek).

6 PRACTICAL DEMONSTRATION

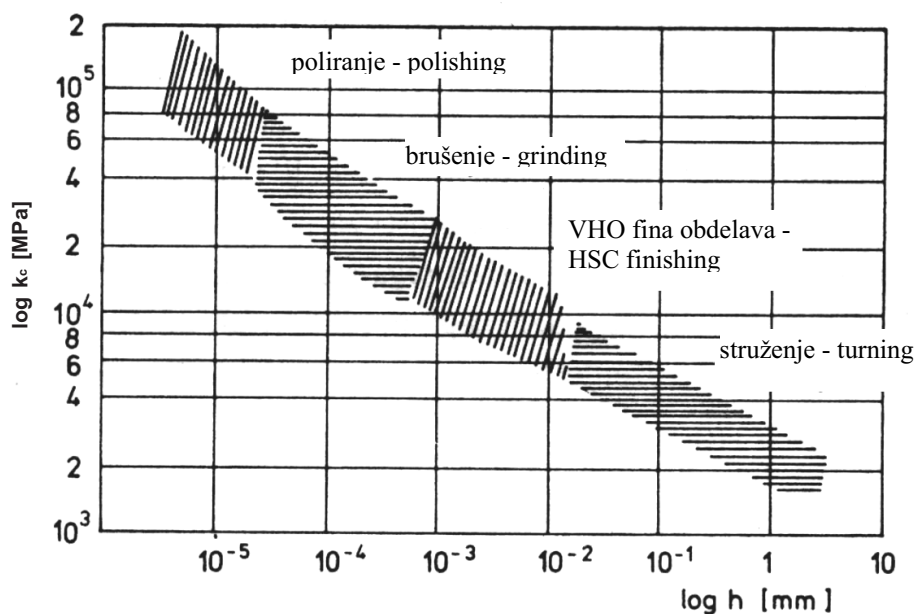
The practical use of the experimental results is shown in Fig. 5. The specific cutting force has an influence on the energy needed for machining. With regard to saving energy and costs it is best to choose the maximum possible feed rate.

The maximum technologically justifiable feed rate is chosen based on the limits of the process or the specimen roughness (Ra). The short comparison shows that using the right technological parameters can save more than 2x the equivalent of energy: shortening the machining time and reducing the costs.

Fine turning of the final surface of the workpiece in comparison with grinding bring about the mentioned 200% lower specific cutting forces. Some of the



Sl. 5. Eksperimentalni rezultati rezalnih in specifičnih rezalnih sil
Fig. 5. Experimental results of cutting and specific cutting forces



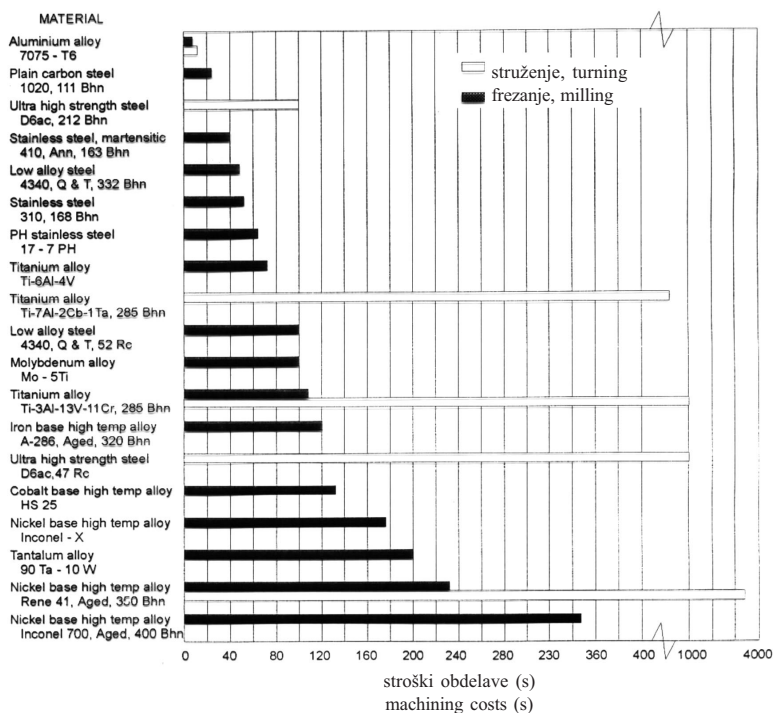
Sl. 6. Specifične rezalne sile, odvisne od postopka obdelave
Fig. 6. Specific cutting forces during the process

Podatki, zbrani v diagramu na sliki 6, kažejo razliko med postopki obdelave v odvisnosti od debeline odrezka h . Nasproten postopek pokaže, kako je specifična rezalna sila manjša pri večjem podajanju [4].

Da predstavimo in primerjamo teoretične rezultate s praktičnimi vplivi, je treba pogledati sliko 7. Razvidna sta vpliv obdelovalnega materiala in vrsta obdelave na stroške obdelave. Če primerjamo obdelavo mehkega materiala, npr. aluminij ali jeklo, s trdimi materiali, na primer nikljeve zlitine, opazimo, da je razlika v stroških obdelave kar 4-kratna. Pri tem je seveda opazen tudi vpliv rezalne sile, ki v povezavi s hitrostjo narekuje moč stroja, kar pa je tudi eden od stroškov. Razvidna je tudi razlika glede na vrsto postopka; struženje povzroča znatno večje stroške kakor freziranje, če gledamo glede na odvzem enake prostornine materiala.

results collected in the diagram in Fig.6 show differences between processes, such as turning, HSC, grinding soft material and hard steels, depend on h (thickness). The reverse observation shows how the specific cutting force is lower with a higher feed rate [4].

Comparing the theoretical and measured results with the practical effect shows, in Fig. 7, how great is the influence of the type of machined materials, reflected in the cutting forces and the machining costs. The product of the cutting force and the cutting speed provides the power needed for the process: this is the energy costs. As first, the relative costs between soft (Al, steel) material and hard (nickel-based alloys) materials are a factor of four different for machining. Another influence is the chosen type of machining: the turning process is much more expensive than milling, which means the technologist has to be very careful when preparing the offer for the customer.



Sl. 7. Relativni stroški obdelave mehkih in trdih materialov

Fig. 7. Relative costs of machining soft and hard materials

7 VHO – OBDELAVA Z VELIKIMI HITROSTMI

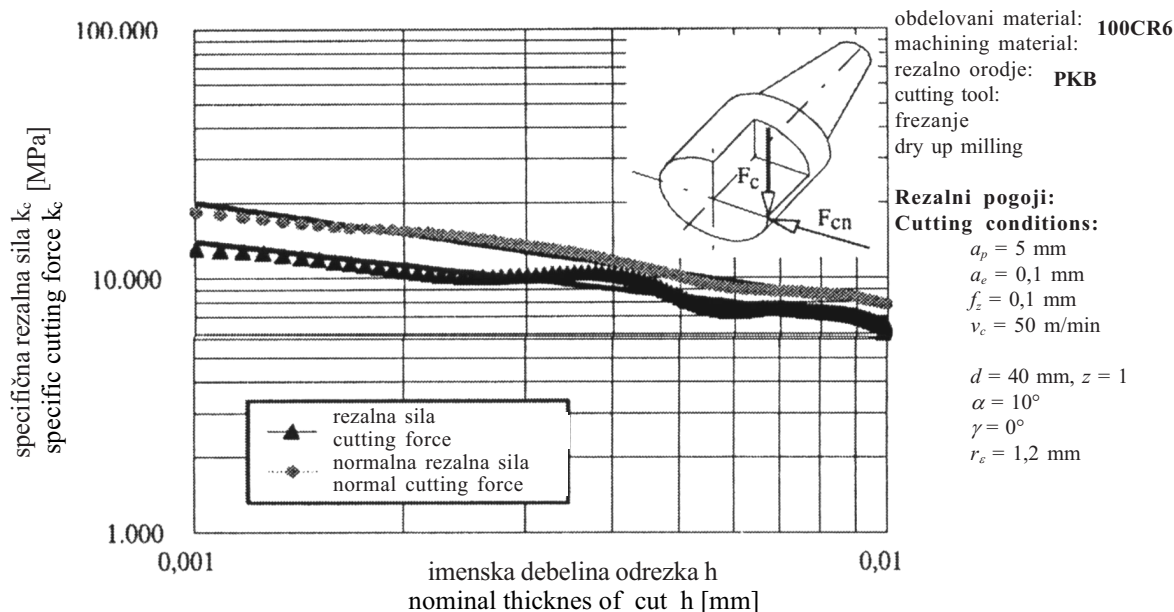
Uporabno območje debeline odrezka (h) pri obdelavi z velikimi hitrostmi je omejeno. Za primerjavo rezultatov (poglavje 6 – običajna obdelava) z rezultati sodobne obdelave v trdo je mogoče videti, da je odvisnost enaka. To pomeni, da sta rezalni postopek in rezalna geometrija ($\alpha, \beta, \gamma, r; \chi$) teoretično še vedno enaki. Klasična in sodobna obdelava VHO imata skupno to, da je njun izid odrezek in da se za oba postopka uporablja isti matematični model.

S slike je razvidno, da je pogosto odzivna sila pri odrezovanju v trdo celo večja od glavne rezalne

7 HSC – MACHINING CONDITION

The usable (h) thickness by HSC machining is explicitly limited in this process. By comparing the result shown before (section 6: classical machining) with the results of modern HM (hard machining) we can see that the relationship is the same. It means that cutting processes with an exact cutting geometry ($\alpha, \beta, \gamma, r; \chi$) are still in the same theoretical area. The classical cutting and modern HSC machining both have as a “product”, therefore the same models and equations are used for both processes.

Figure 8 shows that the passive force can be larger than the cutting force. In prac-



Sl. 8. Sile pri frezanju v trdo [5]
 Fig. 8. Hard machining (HM) and forces [5]

sile. To v praksi pomeni odmik orodja od načrtovanega obrisa obdelovanca in s tem napake na izdelku. Zato v praksi zmanjšamo debelino odrezka.

tice, it causes failure on a dimension of the product, as a result, we have to reduce the feed rate.

8 SKLEP

Nepoznavanje področja režalnih sil ima lahko za posledico slabo obdelavo, lome orodja, in večje obdelovalne stroške. Običajni obdelovalni postopki še vedno ponujajo banko tehnoloških podatkov, v kateri so podatki o režalnih silah glede na obdelovalni material, postopek, rezalno orodje itn. S tehnološko pripravo lahko inženir izbere in določi najboljši postopek in s tem debelino odrezka (h). Le ta mora biti vedno največja po vsem obrisu obdelovanca, glede na zahtevano hrapavost površine. To je prvi korak, ko lahko tehnolog prihrani energijo in zmanjša izdelovalne stroške.

Sodoben način napovedi velikosti režalnih sil je model analitičnega simuliranja. Program je pomoč, ki omogoča napovedati potek dogodkov med obdelavo na osnovi nastavitve tehnoloških parametrov, orodja, obdelovanca in stroja.

Sodobni obdelovalni stroji imajo močno računalniško podporo s programom za "visoko podajanje", kar omogoča obdelavo s konstantno režalno silo in nespremenljiv prostorninski odvzem [6]. V tem primeru so dinamični učinki manjši, odrezovalni postopek pa je stabilnejši.

Če upoštevamo vse povzete o režalnih silah, so rezultati naslednji: manjša obraba rezalnega robu, boljše hrapavost obdelane površine, večja natančnost in gospodarnost proizvodnje.

8 CONCLUSION

With a little knowledge of the cutting forces we can expect worse machining with tool breakages and higher production costs. Conventional machining is still based on a technological data bank, where cutting forces are provided for various machining materials, machining processes, cutting tools, etc. By technological preparation the engineer has to choose and find the best process with regards to the thickness of the cut (h). H has to be a maximum value with regard to the all-over contour of the workpiece to the required surface roughness. In this way we make the first step in reducing the energy and the machining costs.

The modern concept is a model of analytical simulation for the prediction of the cutting forces [6]. The program is an aid enabling us to forecast the course of events during the machining process with given initial conditions such as the technological parameters, the tool, the workpiece and the machine.

Modern machine tools (HSM) with strong software and programs such as "high feed" are working on a concept of constant cutting forces regarding the constant machining volume rate [6]. In this case the dynamic effect is lower and the cutting process much more stable.

To consider all the summarized effects on the cutting forces the results are: reduced wear on the cutting edge, better workpiece-surface roughness, greater accuracy and economic productivity.

9 SIMBOLI
9 SYMBOLS

globina rezanja	a_p	mm	back engagement
širina odrezka	b	mm	nominal width of cut
lega lomilne stopnične	b	mm	chip breaker distance
notranji premer rezanja	d^{sp}	mm	inner diameter of cut
zunanje premer rezanja	D	mm	outer diameter of cut
rezultanta rezalnih sil	F	N	resultant cutting force
rezalna sila	F_c	N	cutting force
podajalna sila	F_f	N	feed force
odrivna sila	F_p	N	passive force
debelina odrezka	h	mm	nominal thickness of cut
specifična rezalna sila	k_c	MPa	specific cutting force
standardna specifična rezalna sila	$k_{c1.1}$	MPa	specific cutting force unit
standardna specifična podajalna sila	$k_{f1.1}$	MPa	specific feed force unit
standardna specifična odrivna sila	$k_{p1.1}$	MPa	specific passive force unit
vplivni eksponent rezalne sile	$1-m_c$		coefficient of cutting force
vplivni eksponent podajalne sile	$1-m_f$		coefficient of feed force
vplivni eksponent odrivne sile	$1-m_p$		coefficient of passive force
torzijski moment	Md	Nm	torque
polmer ploščice	r	mm	corner radius
podajanje	f	mm	feed
podajanje na zob	f_z	mm	feed per tooth
rezalna hitrost	v_c	m/min	cutting speed
prosti kot	α	°	clearance angle
strmina	λ	°	cutting-edge inclination
cepilni kot	γ	°	rake angle
nastavni kot	χ	°	tool cutting-edge angle
kot konice	ε	°	tool included angle
kot oprijema (frezanje)	φ_s	°	cutting motion angle (milling)
natezna trdnost	R_m	MPa	tensile strength
meja elastičnosti	R_e	MPa	yield point
podaljševanje	A_5	%	elongation
redukcija površine	Z	%	reduction of area
trdota po Vickersu (število)	HV10		Vickers hardness (number)

10 LITERATURA
10 REFERENCES

- [1] König, W., K. Essel, L. Witte: Specific cutting force data for metal – cutting, *Verlag Stahleisen MBH*, Düsseldorf.
- [2] Dolinšek, S., J. Kopač (1992) Odrezavanje, dopolnitveno gradivo za predavanja in vaje, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana.
- [3] Milfener, M., F. Čuš (2001) Analytical model of cutting forces simulation in end milling. ICIT 2001, Slovenija.
- [4] Muren, H. (1976) Odrezavanje, *Tehniška založba Slovenije*.
- [5] Schultz, H. (1996) Hochgeschwindigkeitsbearbeitung, *Carl Hanser Verlag*.
- [6] Kopač, J., G. Peterlin (2001) Novi pristopi pri visokohitrostnih obdelavah na osnovi CAM, Orodjarstvo 2001.

Avtorjev naslov: prof.dr. Janez Kopač
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
janez.kopac@fs.uni-lj.si

Author's Address: Prof.Dr. Janez Kopač
Faculty of Mechanical Eng.
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia
janez.kopac@fs.uni-lj.si

Prejeto: 26.2.2002
Received:

Sprejeto: 23.5.2002
Accepted:

Prehod iz običajne v zelo hitro obdelavo in analiza oblikovanja odrezkov

The Transition from the Conventional to the High-Speed Cutting Region and a Chip-Formation Analysis

Sabahudin Ekinović - Slavko Dolinšek - Janez Kopač - Matjaž Godec

Zaradi najnovejših dosežkov razvoja na področju konstrukcije obdelovalnih strojev (glavnega vretena, podajalnih pogonov ipd.) je zelo hitra obdelava postala cenovno ugoden obdelovalni postopek za izdelavo izdelkov z veliko kakovostjo obdelane površine, zaradi manjših vplivov na obdelano površino in doseganja odličnih dimenzijskih natančnosti. S tem, ko poznamo tovrstne značilne prednosti zelo hitre obdelave pred običajno, je eno od ključnih vprašanj povezano z določitvijo ustreznih vrednosti rezalnih hitrosti, ki ustrezajo zelo hitremu območju. Vzrok za to leži v dejstvu, da se vpliv na obdelovalne značilnosti povečuje, ko prehajamo v območje velike hitrosti. Po drugi strani pa prevelike rezalne hitrosti niso priporočljive zaradi povečanja obrabe orodij in večje porabe energije na obdelovalnih strojih. Za podporo pri reševanju teh problemov je v članku predstavljen postopek, ki sloni na analizi mehanizma oblikovanja odrezkov in njihove oblike na podlagi uporabe metalografskih metod.

© 2002 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: stroji obdelovalni, obdelave visokohitrostne, oblike odrezkov, hitrosti rezanja)

As a result of advances in machine-tool design (main spindle, feed drives, etc.), high-speed milling has become a cost-effective manufacturing process for making products with a high surface quality, low variations of the machined surface and excellent dimensional accuracy. Taking into account the evident advantages of high-speed machining over conventional machining, a key issue is to identify those cutting speeds that correspond to high-speed machining. The simple reason for this is that machining effects increase when entering the high-speed region but, on the other hand, an enormous increase in the cutting speed is not advisable due to the appearance of higher tool wear and machine-tool energy consumption. In order to solve the problem this paper describes a procedure based on a chip-formation mechanism and a chip-shape analysis, together with the use of metallographic methods.

© 2002 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: machine tools, high speed cutting, chip formation, cutting speeds)

0 UVOD

Obdelava z veliko hitrostjo se šteje kot eno od novejših, perspektivnih izdelovalnih tehnologij zaradi višje produktivnosti, doseganja odličnih kakovosti obdelane površine, manjših vplivov na obdelano površino in ustreznih dimenzijskih obdelovalnih natančnosti. Od vseh zelo hitrih metod ima zelo hitro frezanje še najpomembnejši pomen ([1] do [3]). Zaradi prednosti, ki jih dajejo izboljšane karakteristike obdelovalnih strojev (glavno vreteno, podajalni pogoni ipd.), je zelo hitro frezanje postalo cenovno učinkovit izdelovalni postopek. Zaradi tega se zelo hitra obdelava veliko uporablja v letalski in avtomobilski industriji za obdelavo strojnih delov zapletenih oblik iz aluminija in njegovih zlitin. Zaradi napredka na področju rezalnih orodij in odrezovalnih tehnologij se v zadnjem času zelo hitro frezanje

0 INTRODUCTION

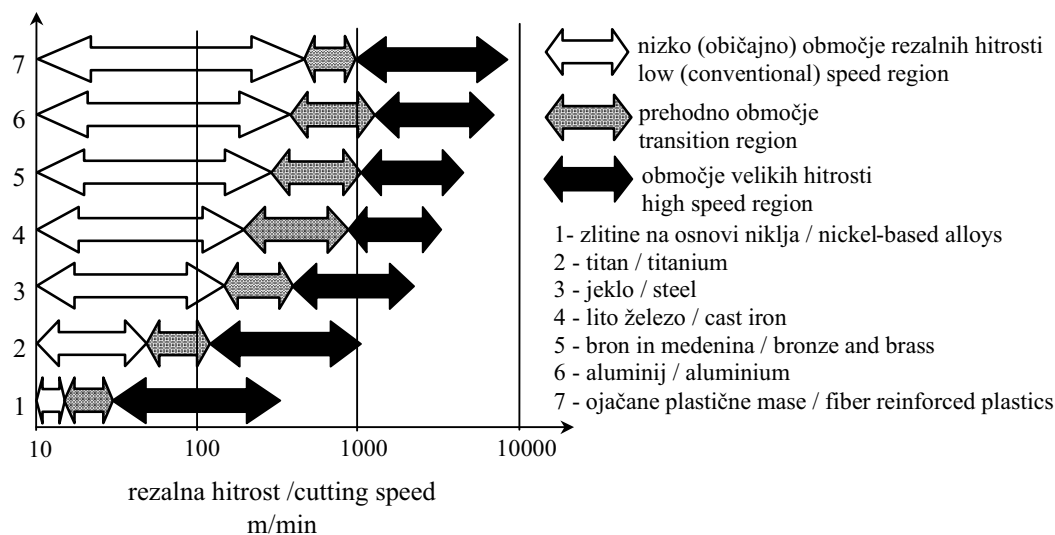
High-speed machining is a relatively new production technology that allows a higher productivity, an excellent surface finish and a good dimensional accuracy in the manufacturing process. High-speed milling is one of the most important of all high-speed cutting methods ([1] to [3]). Thanks to the advances in machine-tool performance as a result of improvements to the main spindle, feed drives, etc., high-speed milling has become a cost-effective manufacturing process that produces products with a high surface quality, low variations in the machined surface and dimensional accuracy. High-speed milling was first used successfully in the aircraft and automotive industries for machining complex machine parts made of aluminum and its alloys. Recently, with the advances in cutting-tool materials and

uporablja tudi za obdelavo legiranih jekel v kaljenem stanju (trdote od 30 HRC pa do 60 do 65 HRC) ([4] in [5]).

Kar nekaj kriterijev obstaja za definiranje območja zelo hitre obdelave oziroma kriterijev za določitev meje med običajno in zelo hitro obdelavo, takšni so npr. [6]: velikost rezalne hitrosti, število vrtljajev vretena ali vrtečega se orodja (hitrost vretena), DN število (DN je premer vretena v mm pomnožen s hitrostjo vretena v vrt/min), dinamično obnašanje in material obdelovanca. Najbolj ustrezna definicija zelo hitre obdelave je tista, ki sloni na vrsti materiala obdelovanca [6] (sl. 1). Na primer, vrednosti rezalne hitrosti med 500 do 700 m/min se nanašajo na zelo hitro območje za primere pri obdelavi legiranih jekel, po drugi strani se te vrednosti rezalne hitrosti šteje za počasnejše območje pri obdelavi aluminija.

technologies, high-speed milling has also been used in the machining of alloy steels in their hardened state (above 30 HRC up to 60 to 65 HRC) ([4] and [5]).

There are several criteria used for defining high-speed machining, i.e. the criteria for determining the boundary between conventional and high-speed machining. These include [6]: the magnitude of the cutting speed, the revolutions of the spindle or the rotating tool (the spindle speed), the DN number (DN is the spindle diameter in mm multiplied by the spindle speed in rev/min), the dynamic behaviour, and the workpiece material. The most appropriate definition of high-speed machining is based on the workpiece material grade (or type) being machined [6], Fig.1. For example, the cutting-speed values from 500 to 700 m/min is the high-speed region for machining alloy steels, however, these speeds are considered conventional or low for machining aluminium.



Sl. 1. Področja rezalnih hitrosti za frezanje različnih obdelovanih materialov
Fig.1. Regions of cutting speed for milling a different workpiece material

Nekatere od zadnjih raziskav zelo hitre obdelave so usmerjene v študij nekaterih značilnih področij: mehanizmov obrabe orodij ([2] in [7]), kakovosti obdelane površine in integritete površine ([8] in [9]), mehanizma oblikovanja odrezkov ([1] do [3]) in obdelave materialov v kaljenem stanju (obdelava v trdo) ([4], [5], [8], [10] in [11]). Skupen namen vseh teh raziskav je iskanje vseh možnosti za uporabo zelo hitre obdelave v industrijsko prakso.

Za doseganje nekaterih značilnih prednosti zelo hitre obdelave v primerjavi z običajno obdelavo je zelo pomembno, da določimo posamične vrednosti rezalnih hitrosti, ki pripadajo zelo hitri obdelavi. Seveda se pri tem postavlja vprašanje: zakaj? S tem ko vstopimo v območje zelo hitre obdelave postane vpliv odrezovalnih značilnosti boljši predvsem zaradi vzrokov, ki smo jih že omenili. Po drugi strani pa v področju zelo hitre obdelave ni priporočljivo preveč večati rezalne

More recent high-speed machining studies focus on several characteristic areas: tool-wearing mechanisms ([2] and [7]), surface quality and machined-surface integrity ([8] and [9]); chip-formation mechanisms ([1] to [3]); and machining of materials in their hardened state (known as hard machining) ([4], [5], [8], [10] and [11]). The common aim of all these investigations is to explore all the possibilities of high-speed machining applications in industrial practice.

Taking into account some of the obvious advantages of high-speed machining over conventional machining it is very important to find particular values of cutting speed that correspond to high-speed machining. The question is why? When entering the region of high-speed machining the effects of machining become better for the reasons mentioned above, however, it is not advisable to intensify the cutting speed while in the high-speed

hitrosti, saj se močno poveča obraba orodja in poraba energije za odrezovanje.

Diagram na sliki 1 lahko uporabimo za približno določitev vrednosti rezalne hitrosti za območje vstopanja v velike rezalne hitrosti. Vendar pa je za vsak poseben, realen primer obdelave (na primer za določen obdelovani material) treba poiskati natančne vrednosti rezalne hitrosti za ta primer. Prispevek prikazuje eno od možnosti za realiziranje te naloge, ki sloni tako na analizi mehanizma oblikovanja kakor tudi oblike odrezka. Mehanizem oblikovanja odrezka je običajno učinkovito orodje za globlje razumevanje rezalnega postopka. Glede na objave A. Vyasa in M.C. Shawa [12] obstajata dve osnovni obliki odrezka: neprekinjen odrezek in ponavljajoč se odrezek. Prav tako obstajajo štiri tipi ponavljajočih se odrezkov: prekinjen odrezek, valovit odrezek, odrezek, ki nastaja ob pojavu nalepka in žagast odrezek.

1 EKSPERIMENTALNO DELO

Ekperimentalno delo je bilo opravljeno na Fakulteti za strojništvo, Univerze v Ljubljani. Za postopek odrezovanja smo uporabili frezalni stroj vrste Moriseiki-Frontier. Odrezovalni pogoji so bili: premer frezala $D = 80$ mm, globina rezanja $a = 2$ mm, podajanje na rezalni rob $f_z = 0,1$ mm, vrsta frezalne glave SUM-UFO-400, oblika rezalne ploščice SFKN 12T3 A2TN-AC230, geometrična oblika $\gamma = 27^\circ$, $\lambda = 7^\circ$, $\chi = 45^\circ$, rezalna hitrost $v_c = 50$ do 1500 m/min. Kemična sestava testnih jekel je prikazana v preglednici 1. Slika 2 prikazuje mikrostrukturo obdelovanih jekel in rezultate meritev mikrotrdote.

Mikrostruktura žarjenega konstrukcijskega jekla Ck 15 (sl. 2a) je feritno-perlitna. Mikrostruktura nerjavnega jekla X5CrNi189 (sl. 2b) je sestavljena iz avstenita z majhno količino delta ferita z znano obliko poligonalnih avstenitnih zrn. Mikrostruktura orodnega žarjenega jekla X63CrMoV51 (sl. 2c) je sestavljena iz ferita s krogelnimi karbidi in majhno količino perlita kot posledica nepopolnega žarjenja. Mikrostruktura enakega jekla v kaljenem stanju (sl. 2d) je sestavljena iz martenzita z evtektoidnimi karbidi in zaostalim avstenitom (jeklo je le kaljeno, ne popuščano).

Jeklo vrste Ck 15 je bilo obdelovano z rezalno hitrostjo 150 m/min in 1500 m/min (vsi drugi obdelovalni pogoji se niso spreminjali), prav tako jeklo

region because of increased tool wear and energy consumption.

The diagram in Fig.1 can be used for an approximate determination of the value of the cutting speed when entering the high-speed machining region. However, for any specific (real) case (e.g. a given workpiece material), it is necessary to find precisely the point at which a particular high-speed region begins. In this paper we describe a method which is based on analyses of the chip-formation mechanism and the chip shape. Usually, the chip-formation-mechanism analysis is an effective tool for a deeper understanding of the cutting process. According to A. Vyas and M.C. Shaw [12], there are two basic types of chips: steady-state continuous chips and cyclic chips. In addition, there are four types of cyclic chips: discontinuous chips, wavy chips, chips produced with a built-up edge and saw-tooth chips.

1 EXPERIMENTAL WORK

The experimental work was carried out in the the Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana. The machining was conducted on a Moriseiki-Frontier-type milling machine. The machining conditions were: cutter diameter $D = 80$ mm, depth of cut $d = 2$ mm, tooth feed $f_z = 0,1$ mm, cutter type SUM-UFO-4000, cutting insert SFKN 12T3 A2TN - AC230, cutting speed $v_c = 50 - 1500$ m/min, $\gamma = 27^\circ$, $\lambda = 7^\circ$, $\chi = 45^\circ$. The chemical composition of the investigated steel grades is shown in Table 1. Fig. 2 shows the microstructures and results of Vickers microhardness measurements on the machined steel grades.

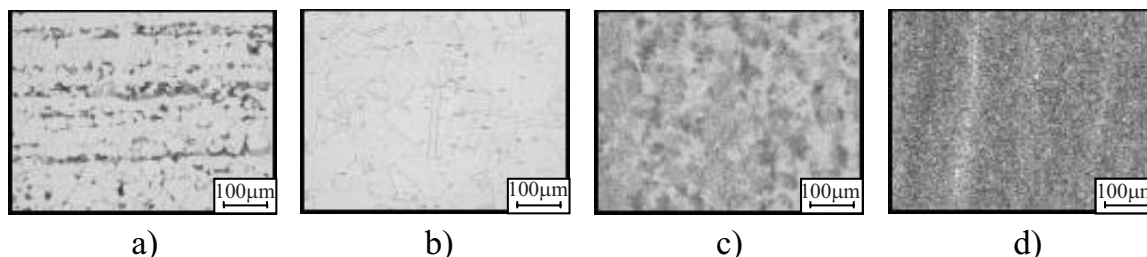
The microstructure of Ck15, Fig. 2a, is bonded; it consists of ferrite-perlite, in the annealed state. The microstructure of X5CrNi189, Fig. 2b, consists of austenite with a small quantity of delta-ferrite with the obvious polygonal austenite grains. The microstructure of X63CrMoV51, Fig. 2c, in the annealed state, consists of ferrite with spheroidal carbides and a small quantity of perlite as a result of incomplete annealing. The microstructure of the same steel in the tempered state, Fig. 2d, is martensitic with eutectoid carbides and retained austenite (the sample was not quenched).

The Ck 15 grade steel was machined with cutting speeds of 150 m/min and 1500 m/min (the other conditions were the same), as was the XCrNi189 steel and the

Preglednica 1. Kemična sestava testnih jekel

Table 1. Chemical composition of the investigated steel grades

Vrsta jekla / Steel grade	Kemična sestava / Chemical composition, %										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al
Ck15 - žarjeno / annealed	0,17	0,27	0,41	0,019	0,013	0,31	0,12	0,08	0,01	-	0,053
X5CrNi189 - avstenit / austenite	0,04	0,45	1,55	0,028	0,035	0,53	18,26	8,80	0,63	0,08	0,017
X63CrMoV51 - žarjeno /annealed	0,62	1,0	0,59	0,017	0,004	0,26	5,46	0,23	1,21	0,46	0,028
X63CrMoV51- kaljeno / tempered											



Sl. 2. Mikrostruktura obdelovanih jekel: a) Ck15 (156 HV), b) X5CrNi189 (221HV), c) X63CrMoV51 (žarjeno 282 HV), d) X63CrMoV51(kaljeno 629 HV).

Fig. 2. Microstructures of the machined steel grades: a) Ck15 (156 HV), b) X5CrNi189 (221HV), c) X63CrMoV51 (annealed, 282 HV), d) X63CrMoV51(quenched, 629 HV).

jeklo / steel (Ck15)	100 mm				
jeklo / steel (XCrNi189)					
jeklo / steel (X63CrMOV51) žarjeno / annealed					
jeklo / steel (X63CrMOV51) kaljeno / quenched					
rezalna hitrost /cutting speed, v_c (m/min)	50	150	300	1500	

Sl. 3. Oblika odrezkov pri obdelavi različnih jekel
Fig. 3. Chip shapes produced during machining

X5CrNi189 in žarjeno jeklo X63CrMoV51, medtem ko smo za kaljeno jeklo X63CrMoV51 uporabili hitrosti 50, 150, 300 in 1500 m/min. Oblika odrezkov pri odrezovanju je prikazana na sliki 3.

X63CrMoV51 (annealed) steel. The X63CrMoV51 (quenched) steel was machined with cutting speeds of 50, 150, 300 and 1500 m/min. The chip shapes produced during machining are presented in Fig. 3.

2 REZULTATI IN RAZPRAVA

2 RESULTS AND DISCUSSION

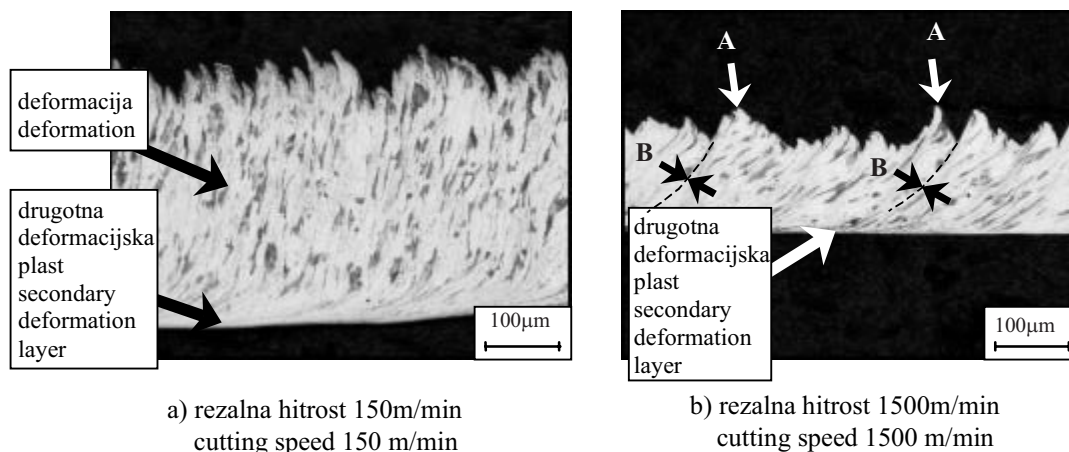
Fotografije mikrostrukture odrezkov pri obdelavi jekla Ck 15 so prikazane na sliki 4. Pri rezalni hitrosti $v_c = 150$ m/min (sl. 4a) je povprečna debelina odrezka 0,34 mm, tako da znaša koeficient nakrčevanja odrezka $k = 0,34/0,1 = 3,4$. Struktura materiala ustreza običajni obliki deformacije z vzdolžno deformiranimi zrni. Na zunanji strani odrezka je mogoče opaziti drugotno deformacijsko plast. Glede na znano klasifikacijo oblike odrezkov [12] je to značilen primer zveznega odrezka. Ta oblika je značilna pri obdelavi deformljivih jekel pri uporabi majhnih rezalnih hitrosti.

Pri rezalni hitrosti $v_c = 1500$ m/min (sl. 4b) je povprečna debelina odrezka 0,13 mm in koeficient nakrčevanja $k = 0,13/0,1 = 1,3$. Struktura je prav tako deformirana (stlačena), pojavlja pa se več izrazitih vrhov na zunanji strani odrezka (zob – označeno s

The microphotos of the chips produced during the Ck15 machining are shown in Fig. 4. When the cutting speed (v_c) was 150 m/min, Fig. 4a, the average chip thickness was 0.34 mm, so the chip compression coefficient (λ) was $0.34/0.1 = 3.4$. The structure of the material suggests a classical type of deformation with elongated grains. A secondary deformation layer appears on the inner side of the chip. According to the classification of chip types given in [12] this is an example of a steady-state continuous chip. This type of chip is characteristic of ductile steel grades that are machined with low cutting speeds.

When $v_c = 1500$ m/min, Fig. 4b, the average chip thickness was 0.13 mm, with $\lambda = 0.13/0.1 = 1.3$. The structure is also deformed (elongated) but with more intense chip peaks (teeth): see arrows A in Fig. 4b. By analyzing the elongation of the grains in

puščico A na sliki 4b). Na podlagi analize deformacije strukture zrn lahko opazimo posamezne deformacijske proge, ki nakazujejo možnost segmentacije odrezka, če bi se rezalna hitrost zvečala prek 1500 m/min (puščica B, sl. 4b). Po obliki odrezka in njegove strukture lahko kljub vsemu sklepamo, da razmer pri obdelavi žarjenega jekla Ck 15 (mikrotrdote 156 HV) z rezalno hitrostjo $v_c = 1500$ m/min še ne moremo šteto za zelo hitro obdelavo. Tudi drugotna deformacijska cona je tanjša kakor pri prejšnjem primeru.



Sl. 4. Prečni prerez odrezkov, nastalih pri obdelavi jekla Ck 15
Fig. 4. Cross-section of chips produced during machining of Ck 15

Slike mikrostrukture odrezkov, nastalih pri obdelavi nerjavnega jekla X5CrNi189, so prikazane na sliki 5. Pri rezalni hitrosti $v_c = 150$ m/min so odrezki podobni žagasti obliki, toda z močno povezanimi segmenti. Vendar tovrstna oblika odrezkov ni rezultat segmentacije, ampak močne plastične deformacije materiala. To je tudi prikazano v povečanem izrezu na sliki 5a. V tem primeru se notranji lomi pojavijo zaradi intenzivne deformacije. V strukturi tega jekla so poligonalna avstenitna zrna očitno plastično deformirana.

Slika 5b pa kaže neobičajno obliko odrezka pri obdelavi tega jekla s hitrostjo $v_c = 1500$ m/min. Kljub veliki rezalni hitrosti s slike ni mogoče opaziti segmentacije odrezka kot posledice plastične deformacije. Na zunanji strani odrezka se pojavi neka vrsta nabiranja materiala. Očitno je, da je to neenakomerna zvezna oblika odrezka. Nabiranje materiala in spremenljivost deformacijskega postopka je mogoče tudi jasno opaziti na posnetku SEM (detajl na sliki 5b). Glede na dobljeno obliko odrezka za ta material ne moremo postaviti sklepa o tem, ali je hitrost odrezovanja $v_c = 1500$ m/min že v območju zelo hitre obdelave ali ne.

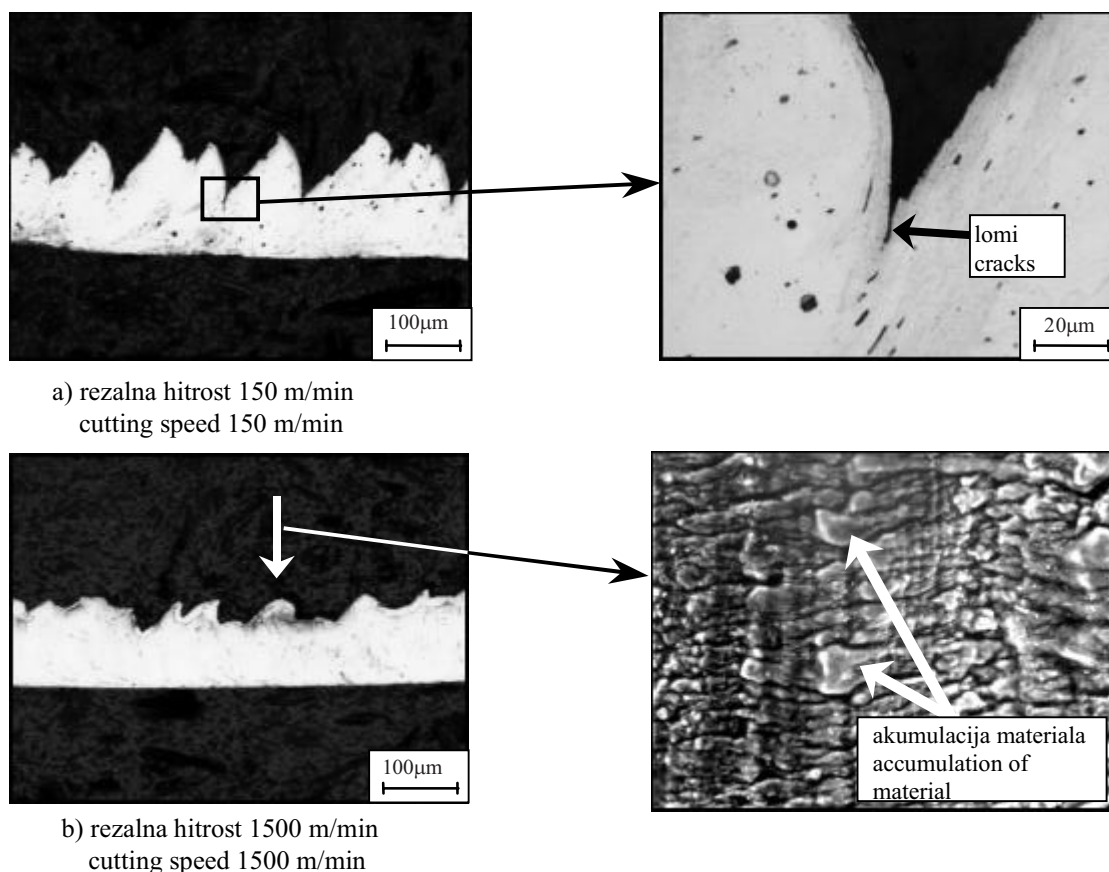
Slike mikrostrukture odrezkov, dobljenih pri obdelavi žarjenega jekla X63CrMoV51, so prikazane na sliki 6. Pri rezalni hitrosti $v_c = 150$ m/min (sl. 6a) je odrezek podoben tistim, dobljenim pri obdelavi jekla Ck15 (sl. 4a), le da je koeficient nakrčevanja manjši ($k = 0,17/0,1 = 1,7$). Opaziti je tudi večji kot nagljenosti

the structure we can see some lines that point to the possibility of chip segmentation if the cutting speed increases over 1500 m/min: see arrows B, Fig. 4b. Nevertheless, the chip shape and its structure definitely show that milling with a cutting speed of 1500 m/min cannot still be considered as high-speed machining in the case of annealed Ck 15 with a microhardness of 156 HV. The secondary deformation layer is not as thick as in the previous case.

The microphotos of chips produced during the machining of XcrNi189 are shown in Fig. 5. When v_c was 150 m/min the chip had a saw-tooth shape with strongly bonded segments. However, this type of chip is not the result of chip segmentation, rather, it occurs because of severe plastic deformation of material, which is shown in detail in Fig. 5a. In this case the initial crack appears due to intense deformation. The polygonal austenite grains are evidently elongated in the structure of this particular steel grade.

Fig. 5b shows an unusual shape of chip, which was produced with a cutting speed of 1500 m/min. No chip segmentation appears as this steel passes through the plastic deformation region, even at high cutting speeds. There is some kind of material "accumulation" on the outer side of the chip; this is obviously an unsteady-state continuous chip. The accumulation of material and the unsteadiness of the process are clearly visible on the SEM photograph (detail in Fig. 5b). By looking at the chip shape it is not possible to conclude whether the cutting speed of 1500 m/min belongs to the high-speed machining region for this type of steel grade.

The microphotos of the chip produced during the machining of X63CrMoV51 (annealed) are shown in Fig. 6. When v_c was 150 m/min (Fig. 6a) the chip looks like the one produced by machining Ck15 (Fig. 4a), only with a lower chip compression coefficient ($\lambda = 0.17/0.1 = 1.7$) and a higher grain texture angle (i.e.



Sl. 5. Prečni prerez odrezka, nastalega pri obdelavi nerjavnega jekla X5CrNi189
Fig. 5. Cross-sections of chips produced during X5CrNi189 machining

strukture (kot med drugotno deformacijo zrn in strižno ravnino). Ta oblika odrezka je tudi značilen primer enakomernega, zveznega odrezka.

Pri obdelavi tega jekla z rezalno hitrostjo $v_c = 1500$ m/min (sl. 6b) pa je odrezek segmentiran in nazobčan. Nastaja na podlagi intenzivnega striga vzdolž mej med posameznimi segmenti, zato je to tudi tipičen primer segmentnega odrezka, nastalega na podlagi lokaliziranega striga. Segmenti so skoraj enake širine (povprečje 0,06 mm) in oblike, kar kaže na stabilnost postopka deformacije odrezka. Natančno je to prikazano na fotografiji SEM na sliki 6b. Preostali detajli na fotografiji pa prikazujejo deformiran in nedeformiran del odrezka. Iz oblik odrezkov na sliki 6 lahko sklepamo, da rezalna hitrost $v_c = 150$ m/min ustreza običajnem območju, hitrost $v_c = 1500$ m/min pa zelo hitrem območju obdelave.

Slika 7 prikazuje mikrostrukture odrezka, nastalega pri obdelavi kaljenega jekla X63CrMoV51. Pri rezalni hitrosti $v_c = 50$ m/min (sl. 7a) je mehanizem oblikovanja odrezkov enak kakor v primeru obdelave konstrukcijskega jekla Ck15 (sl. 4a) in žarjenega orodnega jekla X63CrMoV51 (sl. 6a). Ugotovimo lahko, da so hitrosti obdelave v območju običajnih rezalnih hitrosti.

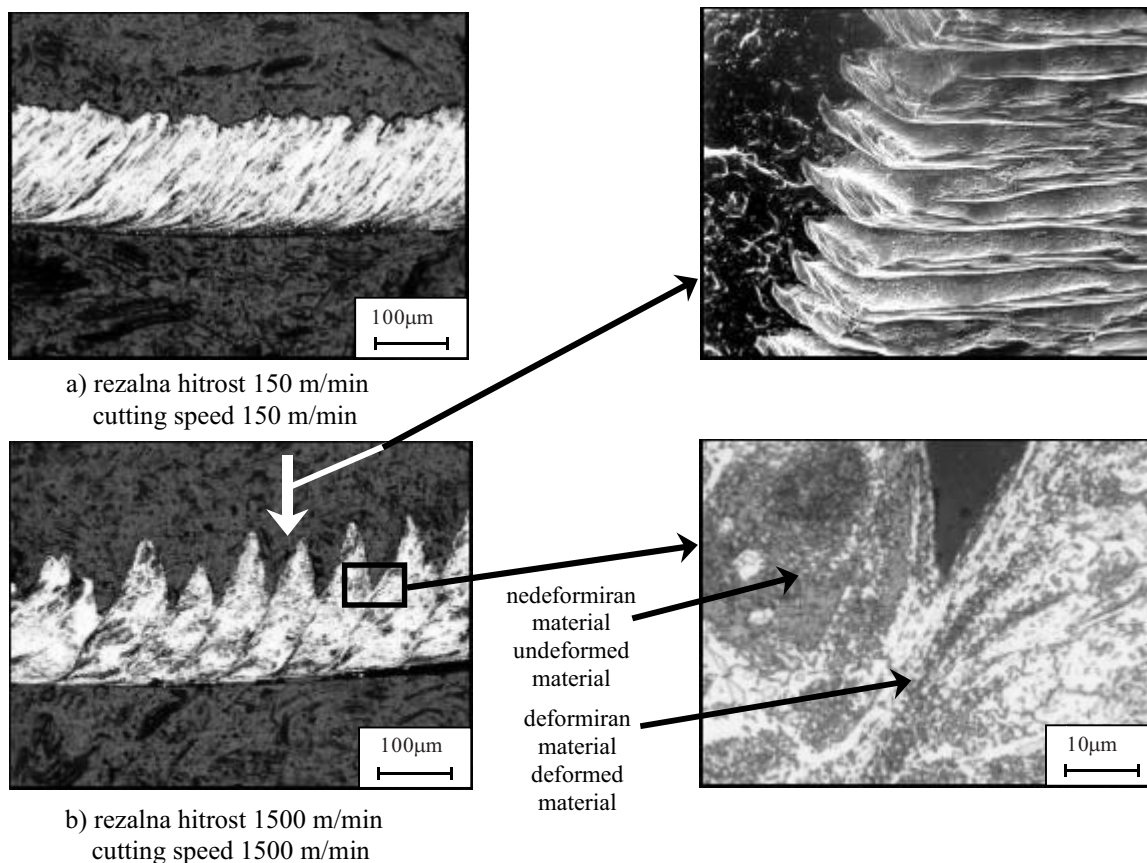
Pri obdelavi z rezalno hitrostjo $v_c = 150$ m/min (sl. 7b) nastaja tipično nazobčana, segmentirana oblika

the angle between the secondary grain elongation direction and the shear plane). This kind of chip is also a typical example of a steady-state continuous chip.

However, when machining with $v_c = 1500$ m/min (Fig. 6b) the chip is segmented and saw-tooth shaped. In this case the chip is formed by an intense shear along the boundaries between adjacent segments, and this is a typical example of a shear-localized segmental chip. These segments are almost of equal width (average 0.06 mm) and shape, which points to the stability of the chip-formation process. The SEM photograph shown in the detail of Fig. 6b also demonstrates this. The other detail of the same figure clearly shows the undeformed and deformed parts of the chip.

On the basis of chip shapes shown in Fig. 6 we can conclude that a cutting speed of 150 m/min is in the conventional speed range, and a cutting speed of 1500 m/min is in the high-speed range. Fig. 7 shows the microphotos of a chip produced during X63CrMoV51 (tempered) machining. When $v_c = 50$ m/min (Fig. 7a), the chip-formation mechanism is the same as in the case of Ck15 (Fig. 4a) and X63CrMoV51 (annealed, Fig. 6a) machining. Obviously, this is the conventional cutting-speed region.

During machining with a cutting speed of 150 m/min (Fig. 7b) the chip is segmented and possesses



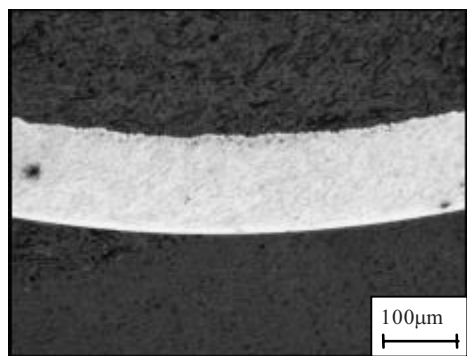
Sl. 6. Prečni prerez odrezka pri obdelavi žarjenega jekla X63CrMoV51
Fig. 6. Cross-sections of chips produced during (annealed) X63CrMoV51 machining

odrezka. V nasprotju z obdelavo tega jekla v žarjenem stanju s hitrostjo $v_c = 1500$ m/min (sl. 6b) se v tem primeru pojavi tako imenovana bela plast, ki kaže, da se v postopku oblikovanja odrezka pojavlja postopek termičnega mehčanja. V splošnem je žagasto oblikovanje odrezkov povezano z oblikovanjem odrezkov pri obdelavi trdih materialov. To lahko povezujemo s krhkostjo materiala in nastajanjem velikih tlačnih napetosti na obdelovancu. Med odrezovanjem namesto plastičnega tečenja materiala nastajajo lomi na površini obdelovanca. Ti lomi sproščajo notranjo energijo, s tem delujejo na dele materiala kot drsne ravnine in omogočajo posameznemu delu odrezka da odteka med stičnimi površinami. Zaradi visokih vrednosti lokalnih temperatur nastanejo bele plasti martenzita.

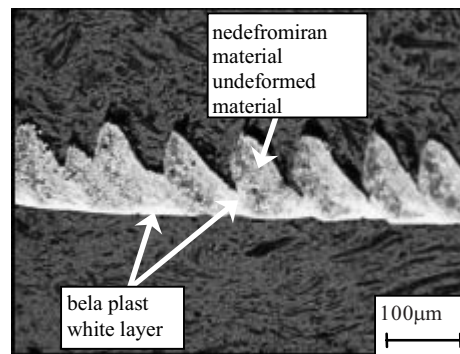
Termalno mehčanje materiala zatorej postaja vse pomembnejši vpliv na plastične lastnosti materiala v primerjavi z učinki deformacijskega utrjevanja. Deformacijsko utrjevanje je prevladujoč postopek med obdelavo teh vrst jekel z majhnimi rezalnimi hitrostmi ($v_c = 50$ m/min), ko pa rezalna hitrost doseže vrednosti 150 m/min, prevladujoč proces postane oblikovanje notranjih razpok in termičnega mehčanja. To se posebej izrazito kaže na slikah strukture odrezka pri rezalni hitrosti $v_c = 300$ m/min in 1500 m/min (sl. 7c in 7d). Ko se rezalna hitrost povečuje, se pojavlja hkrati več izrazitih plasti in

a typical saw-tooth shape. In contrast to the machining of this annealed steel grade with a cutting speed of 1500 m/min, Fig. 6b, the so-called white layer appears, indicating a thermal softening process during chip formation. Generally, saw-toothed chip formation is an inherent feature when machining steels in their hardened state. It can be related to the brittleness of the material and to the generation of high compressive stresses on the workpiece during cutting. Instead of the material flowing plastically during cutting, a crack will begin on the workpiece surface. This crack releases the stored energy and acts as a sliding plane for the material segments, allowing the chip segment to be forced out from between the parting surfaces. Because of the high local temperature the white layers of martensite are formed.

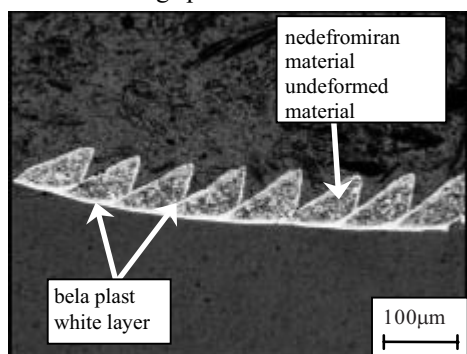
Therefore, the thermal softening of material becomes increasingly important and more and more influential on the plastic behaviour of the material in comparison to the effect of the strain hardening. Strain hardening is the dominant process during machining of this type of steel with a cutting speed of 50 m/min, but when the cutting speed reaches 150 m/min the formation of an initial crack and the thermal softening process are dominant. This is especially visible on photographs of the chip produced at cutting speeds of 300 m/min and 1500 m/min (Fig. 7c and 7d).



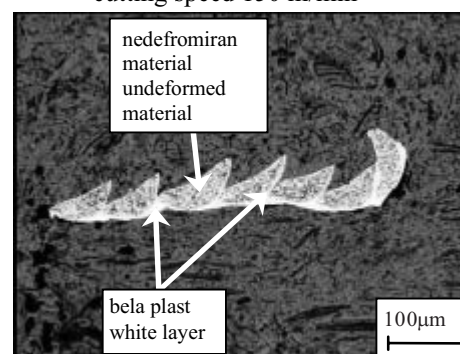
a) rezalna hitrost 50 m/min
cutting speed 50 m/min



b) rezalna hitrost 150 m/min
cutting speed 150 m/min



c) rezalna hitrost 300 m/min
cutting speed 300 m/min



d) rezalna hitrost 1500 m/min
cutting speed 1500 m/min

Sl. 7. Prerez odrezka pri obdelavi kaljenega jekla X63CrMoV51

Fig. 7. Cross-sections of chip produced during X63CrMoV51 (tempered) machining

tanjših odrezkov z manjšimi segmenti. Med obdelavo kaljenega jekla X63CrMoV51 (trdote 629 HV ali 52 HRC) torej preidemo v območje zelo hitre obdelave v primerih, ko znaša rezalna hitrost 150 m/min. To je mogoče skleniti na podlagi analize fotografij strukture in oblike odrezkov, dobljenih pri obdelavi z različnimi vrednostmi rezalnih hitrosti.

3 SKLEP

Med običajno in zelo hitro obdelavo naslednjih jekel: ogljikovega jekla Ck15, nerjavnega jekla X5CrMoV51 in legiranega jekla X63CrMoV51 z rezalnimi hitrostmi v območju od 50 do 1500 m/min se pojavljajo različni mehanizmi nastajanja in oblikovanja odrezkov. Pri manjših rezalnih hitrostih pri vseh vrstah jekel nastajajo enakomerne zvezne oblike odrezkov, značilna je tudi manjša ali večja plastična deformacija. Ko obdelujemo bolj deformljiva jekla z manjšimi hitrostmi, so le ta izpostavljena večji plastični deformaciji. Glavna značilnost teh primerov obdelave je enakomerno deformacijsko utrjevanje.

Pri obdelavi omenjenih vrst jekel z večjimi hitrostmi, posebno hitrostmi, ki ustrezajo območju velikih hitrosti, se pojavlja mehanizem oblikovanja odrezkov v obliki nastajanja razpok z večjim ali manjšim

When the cutting speed increases more obvious layers and a thinner chip with smaller segments appear simultaneously. It is clear that during machining of X63CrMoV51 (tempered, 629 HV, 52 HRC) the high-speed region is entered when the cutting speed is 150 m/min, which can be concluded on the basis of the chip shape.

3 CONCLUSIONS

During conventional and high-speed milling of the following steels: carbon steel (Ck15), stainless steel (XcrNi189) and alloy tool steel (X63CrMoV51), with a cutting-speed range from 50 to 1500 m/min, different mechanisms of chip-formation appear. When the cutting speed is low, the steady-state continuous chip is characteristic for all the investigated steel grades, and more or less plastic deformation occurs. When more ductile steel grades are machined with lower cutting speeds they undergo more plastic deformation. The main characteristic in this case is uniform strain hardening.

When machining the steels with higher cutting speeds, especially those speeds that belong to the high-speed region, the chip-formation mechanism is crack initiation along with more or less influence from the shear-localized mechanism. The consequence of

vplivom lokaliziranega striga. Posledica tega je nastanek žagaste oblike odrezkov z medsebojno ločenimi lamelami, oziroma pojav nedeforiranega in deforiranega območja (bela plast). Pojav bele plasti je tesno povezan z obdelavo trdih materialov. To dejstvo je mogoče razložiti s povečanjem temperature v rezalni coni, zaradi česar se povečuje vpliv termičnega mehčanja in plastičnih lastnosti materiala v primerjavi z učinkom deformacijskega utrjevanja.

this is the formation of a saw-toothed chip with apparent chip parts, i.e. an undeformed part and an extremely deformed part (white layer). The appearance of the white layer is closely associated with machining of hard materials. This can be explained by an increase of the temperature in the cutting zone, which makes the thermal softening more influential on the plastic behaviour of material in comparison to the effect of the strain hardening.

Zahvala

Avtorji se zahvaljujejo Slovenski znanstveni fundaciji za finančno podporo omenjenih raziskav.

Acknowledgement

The authors are grateful to the Slovenian Science Foundation for providing financial support for this research.

4 LITERATURA

4 REFERENCES

- [1] Fallbohmer, P., C.A.Rodriguez, T.Ozel, T.Altan (2000) High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 98, 104-115.
- [2] Becze, C.E., P.Clayton, L.Chen, T.I.El-Wardany, M.A.Elbestawi (2000) High-speed five-axis milling of hardened tool steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.40, 869-885.
- [3] Ning, Y., M.Rahman, Y.S.Wong (2001) Investigation of chip formation in high-speed end milling, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 113, 360-367.
- [4] Elbestawi, M.A., L. Chen, C.E. Besze, T.I. El-Wardany (1997) High-speed milling of dies and moulds in their hardened state, *Annals of the CIRP*, Vol.46/1, 57-62.
- [5] Tonshoff, H.K., C. Arendt, R. Ben Amor (2000) Cutting of hardened steel, *Annals of the CIRP*, Vol.49/2, 547-566.
- [6] Ekinovic, S., E. Ekinovic (2000) High speed machining, *Mašinstvo*, Vol.4. No.1, 15-50.
- [7] Dolinšek, S., J. Kopač (1999) Mechanism and types of tool wear; some particularities in using advanced cutting materials and newest machining processes, *Proceedings of the 8th International Scientific Conference on Achievements in Mechanical & Materials Engineering*, 185-188.
- [8] El-Wardany, T.I., H.A. Kishawy, M.A. Elbestawi (2000) Surface integrity of die material in high speed hard machining, Part 1: Micrographical analysis, *Transactions of the ASME, Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol.122, 620-631.
- [9] El-Wardany, T.I., H.A. Kishawy, M.A. Elbestawi (2000) Surface integrity of die material in high speed hard machining, Part 2: Microhardness variations and residual stresses, *Transactions of the ASME, Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol.122, 632-641.
- [10] Poulachon, G., A.L. Moisan (2000) Hard turning: Chip formation mechanisms and metallurgical aspects, *Transactions of the ASME, Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol.122, 406-412.
- [11] Schulz, H., T. Kneisel (1994) Turn-milling of hardened steel – an alternative to turning, *Annals of the CIRP*, Vol43/1, 93-96.
- [12] Vyas, A. M.c. Shaw ((1999) Mechanics of saw-tooth chip formation in metal cutting, *Transactions of the ASME, Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol.121, 163-172.

Naslovi avtorjev: dr. Sabahudin Ekinović
Fakulteta za strojarstvo v Zenici
Univerza v Sarajevu
sekinovic@mf-ze.unsa.ba

dr. Slavko Dolinšek
prof.dr. Janez Kopač
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
slavko.dolinsek@fs.uni-lj.si
janez.kopac@fs.uni-lj.si

dr. Matjaž Godec
Inštitut za materiale in tehnologije
Lepi pot 11
1000 Ljubljana
matjaz.godec@imt.si

Authors' Addresses: Dr. Sabahudin Ekinović
Faculty of Mechanical Eng. in
Zenica
University of Sarajevo
sekinovic@mf-ze.unsa.ba

Dr. Slavko Dolinšek
Prof.Dr. Janez Kopač
Faculty of Mechanical Eng.
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia
slavko.dolinsek@fs.uni-lj.si
janez.kopac@fs.uni-lj.si

Dr. Matjaž Godec
Institut of Metals and Tech.
Lepi pot 11
1000 Ljubljana, Slovenia
matjaz.godec@imt.si

Prejeto: 18.12.2001
Received:

Sprejeto: 23.5.2002
Accepted:

Identifikacija dinamičnih lastnosti sestavljenih nosilnih strojnih delov

The Dynamic Properties of Composite Supporting Parts for Machines

Jože Jurkovič - Samo Šali

Cilj raziskave je bila definicija metode za primerjalno merjenje dinamičnih lastnosti lepljenih stenskih elementov (sestavljenih plošč), ki so namenjeni gradnji nosilnih delov strojev in naprav. Metoda omogoča razmeroma hitro in zanesljivo primerjanje dinamičnih lastnosti, točneje amplitud, frekvenc in dušenja modalnih načinov sestavljenih plošč. Vstopni signal pri določanju frekvenčnega odziva sestavljenih plošč je pomenil mehanski impulz, merjen z merilnikom pospeška, izstopni signal pa je bil rezultirajoči zvočni tlak na razdalji 1 m od preizkušane plošče. Uporabnost metode je ocena (i) izmer ter materiala sten, (ii) usmerjenosti jedra in (iii) vrste polnila pri izbiri optimalne strukture sestavljene plošče za dano situacijo.

© 2002 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: plošče sestavljene, lastnosti dinamične, ugotavljanje lastnosti, metode merilne)

Our aim was to define a method for comparing the measurements of the dynamic properties of glued wall elements (composite plates), intended for constructing the supporting parts of machine tools and devices. The method enables a relatively fast and reliable comparison of the dynamic properties: more precisely of the amplitudes, the frequencies and the damping of the corresponding modes of the composite plates. In the frequency response function (FRF) measurements the input signal was a mechanical impulse, measured by an accelerometer, and the output signal was the resulting sound pressure at a distance of 1 m from the specimen. The applicability of the method is an estimation of (i) the dimensions and the material of the walls, (ii) the core orientation, and (iii) the type of filling used in the optimum construction of composite plates for a given situation.

© 2002 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: composite plates, dynamic properties, identification of properties, measurement methods)

0 UVOD

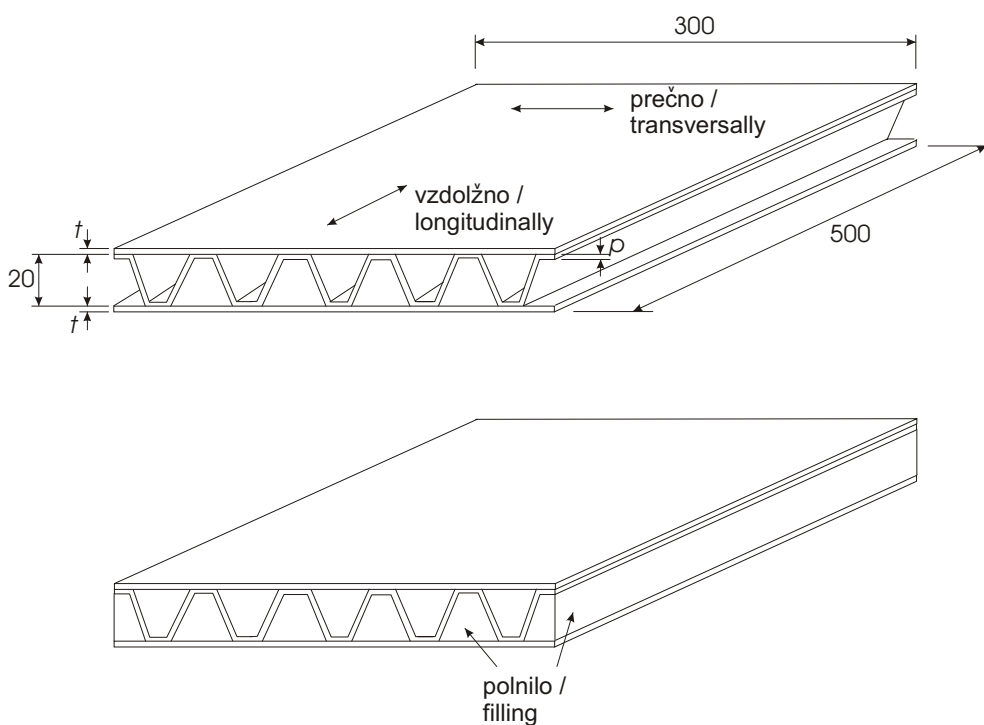
Povečanje natančnosti izdelave in krajšanje izdelovalnih krogov narekujeta nenehen razvoj posameznih sklopov obdelovalnih strojev in naprav ([1] in [2]). Izboljšani rezalni materiali in spremenjeni pogonski sistemi zagotavljajo vse večje obdelovalne hitrosti. Tej usmeritvi morajo slediti tudi podajalne in strežne naprave ([3] in [4]). Vsi dinamični sklopi strojev in naprav so vgrajeni v nosilnih delih, ki prevzemajo statične in dinamične obremenitve zaradi obdelovalnega postopka [5]. Običajni materiali s svojimi primarnimi lastnostmi pomenijo predvsem na področju dinamičnega odziva določeno omejitev. Izhajajoč iz teh ugotovitev, se za najrazličnejše dele strojev in naprav vse več uporabljajo različni drugačni materiali ([6] do [8]). Izboljšanje dinamičnih lastnosti pomeni zagotavljanje dinamične togosti in dušenja, ki v končni fazi pomenita pozitiven vpliv na natančnost obdelovanja.

0 INTRODUCTION

Both an increase in the accuracy and a reduction in the times needed for manufacturing processes dictate the development of the individual parts of machine tools and devices ([1] and [2]). Improvements on cutting tools and advances in machine-tool drives mean higher machining speeds. This is a trend that must be followed by feeding and manipulating devices ([3] and [4]). All the dynamic joints of machine tools and devices are built into their supporting parts, which statically and dynamically sustain the resulting loading that results from the machining process [5]. Due to their inherent properties many conventional materials are limited in terms of their dynamic response. Therefore, a variety of alternative materials for machine parts are taking their place ([6] to [8]). Improving the dynamic properties means ensuring the dynamic stiffness and damping, both of which can increase the accuracy of the workpiece.

Skladno s tem so bili tudi na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani opravljeni razvojnoraziskovalni koraki na področju sestavljenih materialov in njihove uporabnosti za gradnjo nosilnih delov ([9] do [11]). Za identifikacijo dinamičnih lastnosti preskušancev smo uporabili sestavljene plošče [9] v različicah, katerih osnova je shematsko prikazana na sliki 1, njihove značilnosti pa v preglednici 1. Sestavljene plošče z debelino jedra 20 mm in ploskovno razsežnostjo 300 x 500 mm so bile izdelane iz jeklene in aluminijaste pločevine z debelino 1 in 2 mm. Jedro, ki predstavlja vmesni del (zlepljen s stenama), je trapezno strukturirana pločevina, strmina trapeznih stranic jedra pa je 60°. Glede na največjo izmero elementa (500 mm) je bilo jedro vzdolžno ali prečno usmerjeno (sl. 1). Spodnji del slike 1 prikazuje primer, ko je med stenama oziroma jedrom sestavljene plošče polnilo (poliestrski beton, poliuretansko polnilo).

At the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana we investigated some composite materials for use as supporting parts [9] to [11]. For the identification of the dynamic properties we used composite plates [9] of different shapes. These plates are shown schematically in Figure 1, and their characteristics are presented in Table 1. The composite plates, with a core thickness of 20 mm and surface dimensions of 300 x 500 mm, were made of steel and aluminium plates with thicknesses of 1 and 2 millimetres. The core, which is glued to both flatsheets, is a metal plate with the profile of a trapezoid and 60° side angles. The longest dimension of the element (500 mm) was oriented longitudinally or transversally (see Figure 1). The lower part of Figure 1 shows the composite with a filling (polyester concrete, polyurethane) between the flatsheets and the core.



Sl. 1. Analizirane sestavljene plošče

Fig. 1. Analyzed composite plates

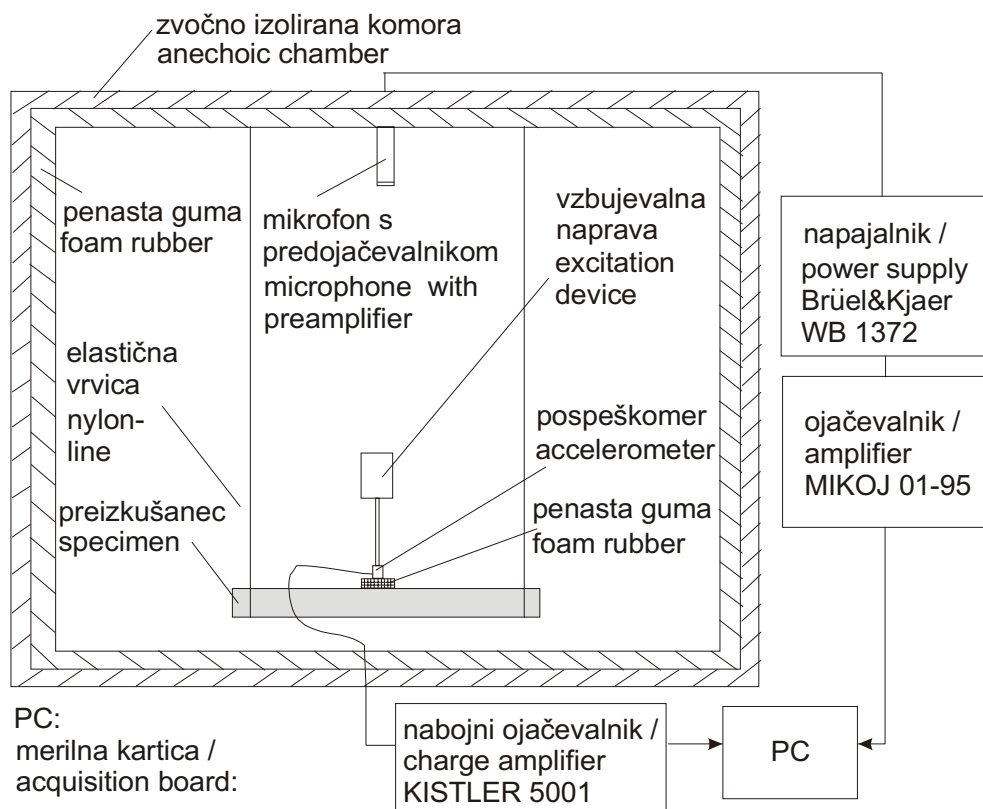
Preglednica 1. Značilnosti analiziranih sestavljenih plošč

Table 1. Characteristics of the analyzed composite plates

oznaka label	t mm	p mm	usmeritev jedra core orientation	polnilo filling
JE1V	1	1	vzdolžna / longitudinal	/
JE1P	1	1	prečna / transversal	/
JE2V	2	2	vzdolžna / longitudinal	/
JE2P	2	2	prečna / transversal	/
JE1VBE	1	1	vzdolžna / longitudinal	poliestrski beton polyester concrete
JE1VPO	1	1	vzdolžna / longitudinal	poliuretansko polnilo polyurethane

Eno od izhodišč gradnje sestavljenih plošč je bilo uporabiti čim manj materiala in s primerno strukturo dobiti optimalne nosilne lastnosti [12]. Pri tem smo uporabili osnovna pravila za t.i. lahko gradnjo nosilnih delov ([13] in [14]). Elementarne dele smo lepili v celoto, pri čemer so bili pri tehnologiji lepljenja upoštevani veljavni standardi [15]. Pred časom opravljeno dinamično testiranje lastnosti istih sestavljenih plošč [9] je bilo opravljeno z običajno metodo, opisano v literaturi [16]. Na kratko, frekvenčni odziv lepljenih plošč je bil dobljen kot razmerje med rezultirajočim pospeškom (hitrostjo) in sinusno vzbujevalno silo na njihovi geometrični sredini. K eksperimentalno dobljenim frekvenčnim odzivom so bile sintetizirane ustrezne funkcije in iz njih ovrednotene dinamične značilnosti posameznih struktur [16]. Metoda je, tako glede potrebnih eksperimentalnih naprav kakor tudi po samem izvajanju testiranj, zahtevna. Z namenom, da bi zagotovili preprostejšo, a še uporabno metodo, ki bi zagotovila vsaj primerjalno določanje dinamičnih lastnosti sestavljenih plošč, smo tokrat uporabili meritve frekvenčnega odziva z vstopnim mehanskim impulzom, izstopni signal pa je bil zvočni tlak na razdalji 1 m od plošče [17].

One of the construction targets for the composite was to use the minimum amount of material in order to achieve the optimum support characteristics [12]. This was achieved with the use of the so-called light construction of supporting parts ([13] and [14]). The elementary parts were glued into an assembly, where the basic rules of gluing technology were considered [15]. Recently performed dynamic tests on the same composite plates [9] were performed using a classical method described in the literature [16]. Briefly, a frequency response function (FRF) of the glued plates was obtained as a ratio of the resulting acceleration (velocity) to the sinusoidal input force at their geometrical centre. The corresponding functions were synthesised to the measured FRFs and from these functions the corresponding dynamic characteristics of the individual specimens were calculated [16]. In terms of experimental equipment and measurement procedure this method is complex. In order to achieve a simple and useful method for comparative measurements of the dynamic characteristics we used FRF measurements with mechanical excitation and the resulting sound pressure at 1 m from the specimen [17].



PC: merilna kartica / acquisition board: National Instruments AT-A2150C (software LabVIEW)

mikrofon / microphone: Brüel&Kjaer (tip / type 4188)

predojačevalnik / preamplifier: Brüel&Kjaer (tip / type 2671)

pospeškometer / accelerometer: Brüel&Kjaer (tip / type 4374)

Sl. 2. Merilna oprema

Fig. 2. Measurement equipment

1 METODA IN REZULTATI

1.1 Merilna oprema in potek meritev

Merilna oprema, ki je bila uporabljena pri določanju relativne dinamične togosti preskušancev, je prikazana na sliki 2 [17]. Notranja stena komore je bila obložena s piramidno profilirano penasto gumo, ki je preprečevala odboje zvoka vzbujenega preskušanca. Preskušanci so bili med meritvami vpeti na dveh elastičnih vrvicah, ki sta v danih razmerah zagotavljali optimalno vpetje pri merjenju njihovega frekvenčnega odziva [16].

Mehansko vzbujanje preskušancev (sestavljanih plošč) je bilo izvedeno s tuljavo, podaljšanim jedrom in na njegovem koncu pritrjenim merilnikom pospeška, kakor je prikazano na sliki 3. Tu je prav tako prikazano mesto vzbujanja na ploščah ter tipična oblika impulznega signala pri vzbujanju plošč, kar je bilo doseženo z majhnim kosom penaste gume med merilnikom pospeška in preskušancem. Mesto vzbujanja na geometrični sredini sestavljene plošče je bilo izbrano na podlagi predhodnih testov modalnih oblik [9]. Zaradi simetrične oblike preskušancev je namreč to mesto, vsaj za nekaj prvih modalnih načinov, kraj relativno velikih amplitud, torej relativno velike zastopanosti modalnih načinov. Po drugi strani pa kraj vzbujanja po načrtih ni imel bistvenega vpliva na potek meritev, saj je bil njihov končni rezultat razmerje med izstopnim in vstopnim signalom, ne pa absolutna vrednost enega ali drugega. V primeru vzbujanja na mestu z relativno majhno (veliko) zastopanostjo nekega modalnega načina je bil logično tudi odzivni zvočni tlak za ta modalni način majhen (velik). Med merjenjem frekvenčnega odziva (trajanje 1,024 s) preskušane ni bil v stiku z 0,65-gramskim merilnikom pospeška. Ta je bil uporabljen namesto merilnika sile, kar pomeni, da so bile enote vstopnega signala m/s^2 . Zaradi stalne mase merilnika pospeška so seveda te enote sorazmerne enotam newton.

Za vsak prekušanec je bilo opravljenih 20 posameznih meritev frekvenčnega odziva. Še pred analogno digitalno pretvorbo signala zvočnega tlaka so bile z nizkopasovnim filtrom na merilni kartici odstranjene vse frekvence, višje od 20 kHz. Nastavljena frekvenca vzorčenja signalov f_s je bila 16 kHz, kar pa v praksi za dano merilno kartico pomeni dejanskih 1,024 MHz [18]. Število digitalnih točk N je bilo 16 384, kar pri nastavljeni frekvenci vzorčenja ustreza dolžini snemanja signalov $T = 1,024$ s [19]:

$$T = N / f_s \quad (1).$$

S tako izbranimi parametri snemanja signalov je bila zagotovljena kakovostna hitra Fourierjeva transformacija signalov. Pri tej mora namreč biti izpolnjen pogoj, da je število zajetih digitalnih točk N enako 2^n , kjer je

1 METHODS AND RESULTS

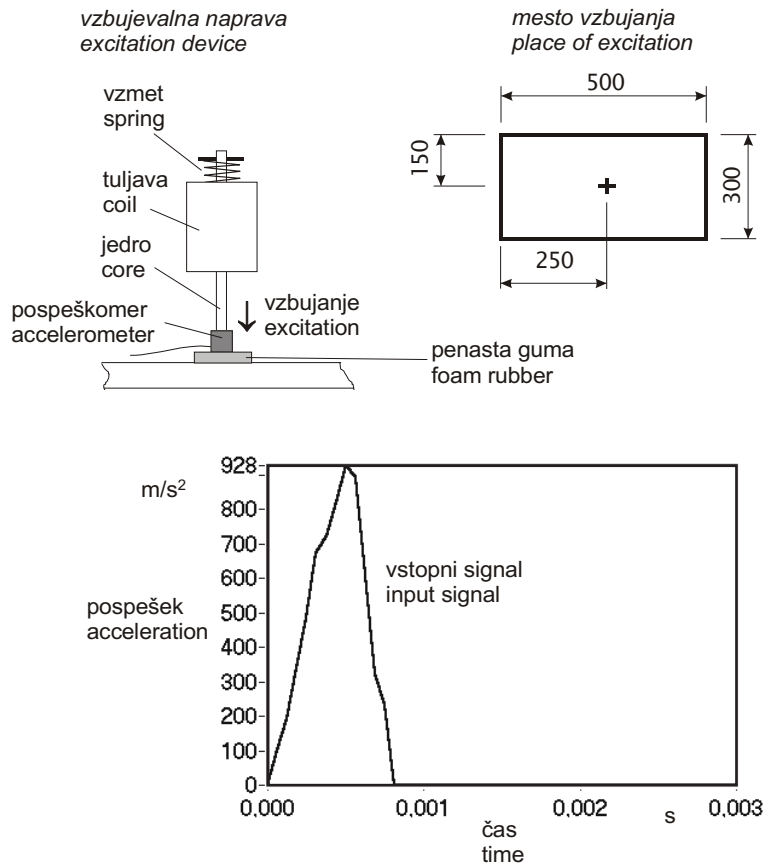
1.1 Measurement equipment and procedure

Figure 2 shows the measurement arrangement for determining the relative dynamic stiffness of the specimens [17]. In order to prevent sound reflection due to the excited specimen the inside of an anechoic chamber was lined with pyramid-shaped foam rubber. During the measurements of their FRF the specimens were suspended on two nylon lines, which provided optimum support under the experimental conditions [16].

As shown in Figure 3 the mechanical excitation of the composite plates was performed with a coil, a long core and an accelerometer fixed at the end of this core. Figure 3 also shows the position of the excitation and the shape of the impulse input signal, which was achieved by inserting a small piece of foam rubber between the accelerometer and the specimen. The position of excitation, at the geometrical centre of the composite plate, was selected on the basis of previous measurements of modal shapes [9]. Due to the symmetrical shape of the specimens this position is a place of relatively high amplitudes, at least for the modes with low frequencies. In other words, these modes are well represented at the selected position of excitation. On the other hand, the position of excitation presumably did not significantly influence the measurements since the final result was a ratio of the output to the input signal and did not involve their absolute magnitudes. In the case of excitation at the position with a relatively low (high) proportion of some mode, logically the response sound pressure for this mode is also low (high). During the FRF measurements with a duration of 1.024 s the specimen was not in contact with the 0.65-gram accelerometer. This was used instead of a force transducer, which means that the units of the input signal were m/s^2 . Because of the constant mass of the accelerometer these units are proportional to Newtonian units.

For each specimen we performed 20 individual FRF measurements. Using a low-pass filter as part of the data-acquisition board meant that frequencies higher than 20 kHz were removed from the output signal (sound pressure) before the A/D conversion. The selected sampling frequency was 16 kHz, which actually means 1.024 MHz for the data-acquisition board that we used [18]. The number of discrete samples N was 16.384, which resulted in a total length of the signal in the time domain $T = 1.024$ s [19]:

The selected conditions during the signal recording resulted in a qualitative fast Fourier transformation, where the number of discrete points N has to be 2^n , and n is a posi-



Sl. 3. Vzbujevalna naprava, mesto vzbujanja in oblika vstopnega signala
Fig. 3. Excitation device, place of excitation and shape of input signal

n celo pozitivno število (v našem primeru je $n = 14$) [19]. Vsak časovni posnetek zvočnega tlaka je bil programsko obdelan še z 80-odstotno t.i. okensko funkcijo ("Force window"), s katero dosežemo končno vrednost amplitude signala enako nič [16]. Končni rezultat meritve posamezne sestavljene plošče je bil enostranski amplitudni frekvenčni spekter [19], torej povprečje 20 posameznih spektrov v enakih razmerah merjenja. Amplitude izmerjenega povprečnega frekvenčnega odziva (t.j. frekvenčnega odziva) so za vse meritve izražene v enotah Pa / (m/s²), in sicer v vrednostih srednjega kvadratnega pogreška. Za vsak izraziti resonančni vrh v frekvenčnem odzivu je bila vrednost koherenčne funkcije med 0,95 in 1,0 za vse preskušance.

1.2 Analiza vpliva posameznih lastnosti sestavljenih plošč na njihove dinamične lastnosti

1.2.1 Model

Zvočno polje okoli telesa, ki vibrira, lahko predstavimo z vrsto krogelnih valov. Če je telo v primerjavi z oddaljenostjo od mesta opazovanja majhnih izmer, lahko zvočni tlak na mestu opazovanja zaradi teh valov opišemo z enačbo [20]:

$$p(t) = \frac{S\rho cz}{4\pi r_p} \sin z(ct - r_p) \quad (2),$$

tive integer (in our case $n = 14$) [19]. Each signal of sound pressure was processed by an 80%-Force window function in order to suppress the amplitudes of the signal at its end [16]. The final result of each measurement was a one-sided amplitude frequency spectrum [19], an average of 20 individual spectra under the same measurement conditions. For the average frequency spectrum the amplitudes are expressed in units of Pa / (m/s²) in rms values. The value of the coherence function was between 0.95 and 1.0 for each resonant peak in the FRF for all specimens.

1.2. Analysis of the influence of particular properties of composite plates on their dynamic characteristics

1.2.1. Model

The sound pressure around the vibrating body can be represented by a series of spherical waves. If the body is small in comparison to the distance between it and the place of observation, then the sound pressure at the place of observation due to these waves is given by [20]:

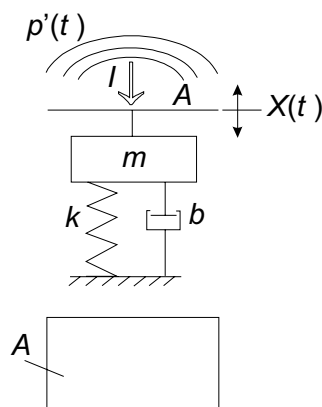
kjer so: S - največja emisija zraka v m^3/s , ρ - gostota zraka, c - hitrost zvoka, $z=2\pi/\lambda$ (λ je valovna dolžina), r_p - razdalja od izvora zvočnega tlaka, t - čas. Iz enačbe (2) vidimo, da se zvočni tlak spreminja obratno sorazmerno z oddaljenostjo od vira. Če v enačbi (2) $p(t)$ nadomestimo s $p'_n(t)$, vstavimo $z=2\pi/\lambda$ ter upoštevamo, da je $\lambda=c/f$ (f pomeni frekvenco zvočnega valovanja), dobimo po okrajšavi za primer nedušenega nihanja:

$$p'_n(t) = \frac{S \rho f}{2 r_p} \sin \frac{2 \pi f}{c} (c t - r_p) \quad (3),$$

kjer $p'_n(t)$ pomeni nedušen zvočni tlak $p'(t)$. Nedušen zvočni tlak $p'_n(t)$ je posledica majhnega vira zvoka v obliki krogelnih valov, med drugim pa je odvisen tudi od oddaljenosti od vira zvoka in od frekvence zvočnega valovanja.

Rečemo lahko, da so izraziti frekvenčni vrhovi v frekvenčnem odzivu preskušancev posledica lastnih gibalnih oblik plošče. Vsaki lastni gibalni obliki ustreza modalna masa m , togost k , koeficient viskoznega dušenja b in površino sevanja A , kakor je prikazano na sliki 4. Tako je največja emisija zraka S v m^3/s glede na sliko 4 odvisna od ploskve s površino A in največje hitrosti nihanja te ploskve \dot{X}_{maks} [20]:

$$S = A \dot{X}_{\text{maks}} \quad (4).$$



Sl. 4. Enomasni mehansko-akustični sistem z membrano površine A
Fig. 4. One-mass mechanical-acoustical system with membrane of area A

Ob upoštevanju enačbe (4) v enačbi (3), dobimo

Substituting Eq. (4) into Eq. (3), we obtain

$$p'_n(t, f = \text{konst}) = \frac{A \dot{X}_{\text{maks}} \rho f}{2 r_p} \sin \frac{2 \pi f}{c} (c t - r_p) \quad (5).$$

Ploskev A niha v skladu z značilnostmi impulzno vzbujenega sistema masa - dušilka - vzmet. Slika 4 kaže, da je brezmasna ploskev A toga pripeta na maso m . Torej je tlak $p'_n(t)$ neposredno odvisen od m , b in k , s katerimi lahko opišemo lastno dušeno nihanje sistemov drugega reda. Če je takšen sistem vzbujen z impulzom sile, je enačba gibanja ploskve A [21]:

Surface A vibrates according to the impulsively excited system consisting of a mass, damper and spring. Figure 4 shows that a massless membrane with area A is rigidly connected to the mass m . Thus, $p'_n(t)$ is directly dependent on m , b and k , which determine the natural damped oscillation of second-order systems. If such a system is excited by an impulse then the equation of motion for surface A is [21]:

$$m\ddot{X}(t) + b\dot{X}(t) + kX(t) = 0 \quad (6),$$

kjer sta \ddot{X} in \dot{X} pospešek in hitrost nihanja ploskve A . Rešitev enačbe (6) je [21]:

where \ddot{X} and \dot{X} are the acceleration and velocity of surface A , respectively. The solution of equation (6) is [21]:

$$X(t) = e^{-\delta \omega_0 t} (X_Z \cos \omega_{0d} t + \frac{\dot{X}_Z + \delta \omega_0 X_Z}{\omega_{0d}} \sin \omega_{0d} t) \quad (7),$$

kjer so: X_Z in \dot{X}_Z začetna amplituda in začetna hitrost nihanja ob prenehanju impulzne motnje, $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ lastna frekvenca nedušenega nihanja, $\omega_{0d} = \sqrt{1-\delta^2} \cdot \omega_0$ frekvenca lastnega dušenega nihanja in $\delta = b/2\sqrt{km}$ brezdimenzijski faktor viskozne dušenja [21]. V enačbi (7) lahko začetno amplitudo štejeemo za nič [21], začetno hitrost analiziranega sistema pa lahko izrazimo z upoštevanjem impulzne stavka:

where X_Z and \dot{X}_Z are the initial amplitude and the initial velocity of the oscillation at the moment the sample disturbed: $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ is the natural frequency of the undamped oscillation; $\omega_{0d} = \sqrt{1-\delta^2} \cdot \omega_0$ is the natural frequency of the damped oscillation; and $\delta = b/2\sqrt{km}$ is the dimensionless viscous damping factor [21]. In equation (7) the initial amplitude may be considered as zero [21] and the initial velocity of the analysed system can be expressed from the condition of the conservation of momentum:

$$I = G_2 - G_1 = m(\dot{X}_Z - 0) \quad (8),$$

kjer so I - impulz sile, G_1 in G_2 pa gibalni količini na začetku in koncu delovanja impulza. Hitrost gibanja ploskve A je pred delovanjem impulzne motnje nič, po prenehanju impulza pa \dot{X}_Z [21]. Torej je:

where I is a mechanical impulse, and G_1 and G_2 are the momenta at the beginning and at the end of the mechanical impulse action, respectively. The velocity of surface A before the action of the mechanical impulse is zero, and after the action it is \dot{X}_Z [21]. Thus:

$$\dot{X}_Z = I / m \quad (9).$$

Enačba (7) se tako poenostavi v:

Equation (7) can be rewritten as:

$$X(t) = e^{-\delta \omega_0 t} \left(\frac{I}{m \omega_{0d}} \sin \omega_{0d} t \right) \quad (10).$$

Iz enačbe (5) vidimo, da manjka člen za opis dušenja zvočnega tlaka $p'(t)$ s slike 4, ki se je vsekakor pojavilo po impulznem vzbujanju plošče. Iz enačbe (10) vidimo, da je dušenje amplitude nihanja hibridnega sistema, ki seva zvočni tlak $p'(t)$, lahko opisano s členom $e^{-\delta \omega_0 t}$. Če upoštevamo še, da frekvenca f pomeni pravzaprav frekvenco lastnega dušenega nihanja, tj. $\omega_{0d}/2\pi$, lahko zapišemo:

We can see from expression (5) that a description of the damping of the sound pressure $p'(t)$ from Figure 4 is not included. The damping definitely occurred after the impulse excitation of the composite plates. From equation (10) it is evident that the damping of the oscillation of a hybrid system, which radiates sound pressure $p'(t)$, can be expressed by $e^{-\delta \omega_0 t}$. Considering also that the frequency f is actually a natural frequency of the damped oscillation (i.e., $\omega_{0d}/2\pi$), we can write:

$$p'(t, \omega_{0d} = \text{konst}) = e^{-\delta \omega_0 t} \left(\frac{A \dot{X}_{\text{maks}} \rho \omega_{0d}}{4\pi r_p} \sin \frac{\omega_{0d}}{c} (ct - r_p) \right) \quad (11).$$

Iz enačbe (10) lahko izpeljemo prvi odvod amplitude nihanja in tako dobimo izraz za hitrost nihanja dušenega mehanskega sistema:

From equation (10) we can calculate the first derivative of the amplitude of oscillation, which means the velocity of the damped oscillation of the mechanical system:

$$\dot{X}(t) = e^{-\delta \omega_0 t} \left(\frac{I}{m} \cos \omega_{0d} t - \frac{\delta I \omega_0}{m \omega_{0d}} \sin \omega_{0d} t \right) \quad (12).$$

Največja hitrost nihanja ploskve A se pojavi na začetku nihanja dušenega hibridnega sistema:

The maximum velocity of oscillation of surface A occurs at the beginning of oscillatory motion of the damped hybrid system:

$$\dot{X}_{\text{maks}}(t=0) = \frac{I}{m} \quad (13).$$

Nazadnje lahko zvočni tlak $p'(t)$ zapišemo kot:

Finally, the sound pressure $p'(t)$ can be written as:

$$p'(t, \omega_{0d} = \text{konst}) = p'(t) = e^{-\delta \omega_0 t} \left(\frac{A I \rho \omega_{0d}}{4\pi r_p m} \sin \frac{\omega_{0d}}{c} (c t - r_p) \right) \quad (14).$$

Analiza meritev je pokazala, da je dušenje δ za vse sestavljene plošče mnogo manjše od ena, torej lahko rečemo, da je $\omega_0 \cong \omega_{0d}$. Ob upoštevanju, da so I , ρ in r_p enaki za vse meritve, iz enačbe (14) vidimo, da je amplituda (P) posameznega resonančnega vrha iz frekvenčnega odziva impulzno vzbujenih plošč:

$$P = K \frac{A}{m} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (15),$$

kjer je K konstanta z vrednostjo $(I\rho)/(4\pi r_p)$ in enotami $\text{kg}^2 \cdot \text{s}/\text{m}^4$. Absolutna vrednost konstante K je v nadaljnji analizi nepomembna, saj gre le za primerjavo posameznih frekvenčnih odzivov oziroma veličin, dobljenih iz teh odzivov.

Positivna lastnost nosilnih gradnikov strojev in naprav je poleg velike statične togosti tudi velika dinamična togost ob čim manjši masi. To pomeni veliko razmerje k/m iz enačbe (15). Seveda pa morajo biti amplitude nihanja takšnih strojnih delov čim manjše, kar pomeni tudi čim manjše vrednosti za P , saj je moč zvočnega tlaka glede na jakost vzbujanja neposredno odvisna od moči vibracij preskušanih plošč. Iz enačbe (15) vidimo, da bosta oba pogoja izpolnjena pri razmeroma majhnem A/m , velikem k/m in njenem relativno majhnem zmnožku.

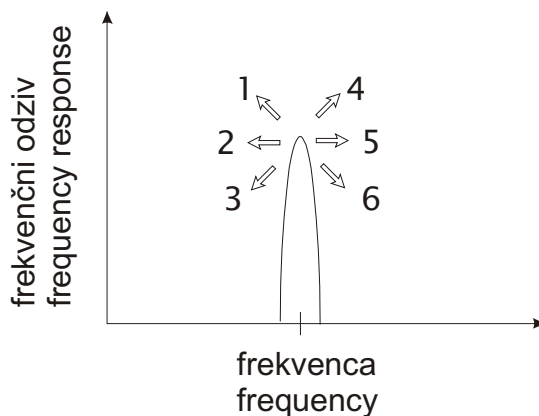
Sklenemo lahko, da je primerjavo dinamične togosti preskušanih plošč mogoče opraviti s primerjavo pripadajočih resonančnih vrhov v njihovem frekvenčnem odzivu, kar kaže slika 5. Glede na izhodiščni resonančni vrh pomeni možnost 1 najbolj neugodno kombinacijo modalne togosti in mase, možnost 6 pa najugodnejšo. Možnosti 2 in 3 lahko štejemo za neugodni, možnosti 4 in 5 pa za ugodni, kakor kaže slika 5. Dodati je treba, da je možnost 4 bolj ugodna, če povečanje amplitude resonančnega vrha ni večje od povečanja njegovega položaja (frekvence), kar logično izhaja iz enačbe (15).

The analysis of the measurements showed that the damping δ is significantly smaller than one for all the composite plates, thus, we can say that $\omega_0 \cong \omega_{0d}$. Considering also that I , ρ and r_p are the same for all measurements, we can conclude from equation (14) that the amplitude (P) of the individual resonant peak in the FRF of impulsively excited plates is:

where K is a constant with magnitude $(I\rho)/(4\pi r_p)$ in units of $\text{kg}^2 \cdot \text{s}/\text{m}^4$. Because the following analysis was focused only on a comparison between different FRFs and their corresponding parameters, the magnitude of the constant K is irrelevant.

In addition to a high static stiffness the dynamic stiffness of the supporting parts of machine tools and devices is also a positive feature. This indicates a high ratio k/m from equation (15). However, for such machine parts the amplitudes of oscillation should be relatively small, which indicates relatively small values for P . Namely, the intensity of the sound pressure with respect to the intensity of excitation depends directly on the intensity of the vibrations for the tested plates. We can see from equation (15) that both conditions will be fulfilled when A/m is relatively small, k/m is relatively high, and the product of both ratios is relatively small.

We can conclude that a comparison of FRFs and the corresponding resonant peaks allows us to compare the dynamic stiffness of the tested plates, as shown in Figure 5. With respect to the presented resonant peak alternative: 1 means the least favourable combination of modal stiffness and mass, whereas alternative 6 is the most favourable. As indicated in Figure 5, alternatives 2 and 3 can be seen as unfavourable, whereas alternatives 4 and 5 are favourable. It should be noted that alternative 4 is more favourable if the increase in the amplitude of the resonant peak is not higher than the increase in its position (frequency), which is logical according to equation (15). By anal-



Sl. 5. Relativni položaj in amplituda resonančnega vrha (1 do 3: neugodno, 4 do 6: ugodno, 6: najbolj ugodno)
Fig. 5. Relative position and amplitude of resonant peak (1 to 3: unfavourable, 4 to 6: favourable, 6: most favourable).

Analogno je možnost 3 manj ugodna, če je zmanjšanje amplitude manjše od zmanjšanja frekvence resonančnega vrha.

1.2.2 Vpliv debeline sten in usmeritve jedra

Slika 6 prikazuje rezultate meritev za jeklene sestavljene plošče v frekvenčnem obsegu 300 do 1300 Hz, kjer lahko analiziramo vpliv debeline sten in usmeritve jedra. Že na prvi pogled je očitno, da sta za vsako sestavljeno ploščo značilna vsaj dva izrazita frekvenčna vrhova, ki jima lahko določimo frekvenco, amplitudo in dušenje. Vsi ti trije parametri ter razmerje A/m iz enačbe (15) so za pripadajoče preskušance za prva dva resonančna vrha zbrani v preglednici 2. Z veliko zanesljivostjo lahko trdimo, da je veliko razmerje A/m pokazatelj slabih dinamičnih lastnosti nosilnih gradnikov obdelovalnih strojev. Ti bi za vsak modalni način morali izkazovati veliko maso (m) in logično majhne dinamično aktivne površine (A), kar pomeni majhno razmerje A/m . Nadalje, v danih razmerah meritev je primerno predpostaviti vsaj približno enakost površin A ($0,5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 0,15 \text{ m}^2$) za vse plošče. Meritve oblik modalnih načinov so namreč pokazale, da je vsaj pri modalnih načinih z razmeroma nizko frekvenco aktivna celotna površina za vse preskušance [9]. To pomeni, da lahko za vsak resonančni vrh izračunamo tudi relativne vrednosti m ter k , ki so prav tako prikazane v preglednici 2. Medtem ko sta bili amplituda P ter frekvence f resonančnega vrha prebrani neposredno iz frekvenčnega odziva, je bil v analizi faktor viskoznega dušenja δ izračunan kot [16]:

$$\delta \cong \frac{1}{2} \frac{f_2 - f_1}{f} \quad (16),$$

kjer f_1 in f_2 pomenita frekvenci nižje in višje od resonančne frekvence, kjer je amplituda resonančnega vrha enaka $P/\sqrt{2}$ [16].

1.2.3 Vpliv polnila med jedrom in stenami sestavljene plošče

Slika 7 in preglednica 3 prikazujeta rezultate meritev za jekleno sestavljeno ploščo z debelino sten 1 mm in vzdolžno usmeritvijo jedra za tri različne primere: (i) brez polnila, (ii) s poliesterskim betonom in (iii) s poliuretansko maso med obema stenama in jedrom (sl. 1).

2 ANALIZA REZULTATOV IN RAZPRAVA

S slike 6 in iz preglednice 2 vidimo, da vzdolžna usmeritev jedra ne glede na debelino stene pomeni bistveno večjo togost prvega modalnega načina v primerjavi s prečno usmeritvijo jedra. Točneje, v primeru plošče z debelino sten 1 mm je to razmerje

ogy, alternative 3 is less favourable if the decrease in the amplitude is smaller than the decrease in the frequency of the corresponding resonant peak.

1.2.2 The influence of the flatsheets' thickness and the core orientation

Figure 6 shows the results of measurements for steel composite plates in the frequency range from 300 to 1300 Hz, which allows us to analyse the influence of the flatsheets, thickness and the core orientation. At a first glance it is evident that at least two significant peaks with their corresponding frequencies, amplitudes and dampings are typical for each composite plate. For the first two resonant peaks these three parameters, and the A/m ratio from equation (15), are presented in Table 2 for the corresponding specimens. With considerable certainty we can say that the high A/m ratio indicates bad dynamic properties for the supporting elements of machine tools. These should have a large mass (m) and, logically, small surfaces with dynamic activity (A) for each mode; this means a small A/m ratio. Next, under our experimental conditions, it is reasonable to assume that the surfaces A ($0,5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 0,15 \text{ m}^2$) are the same for all the plates. Namely, the measurements of modal shapes showed that at least for low-order modes the whole surface of the specimens was active [9]. This means that we can calculate relative values for m and k for each resonant peak. These values are also presented in Table 2. Whereas amplitude P and frequency f of the resonant peak were read directly from the FRF plot, the viscous damping factor δ was calculated as [16]:

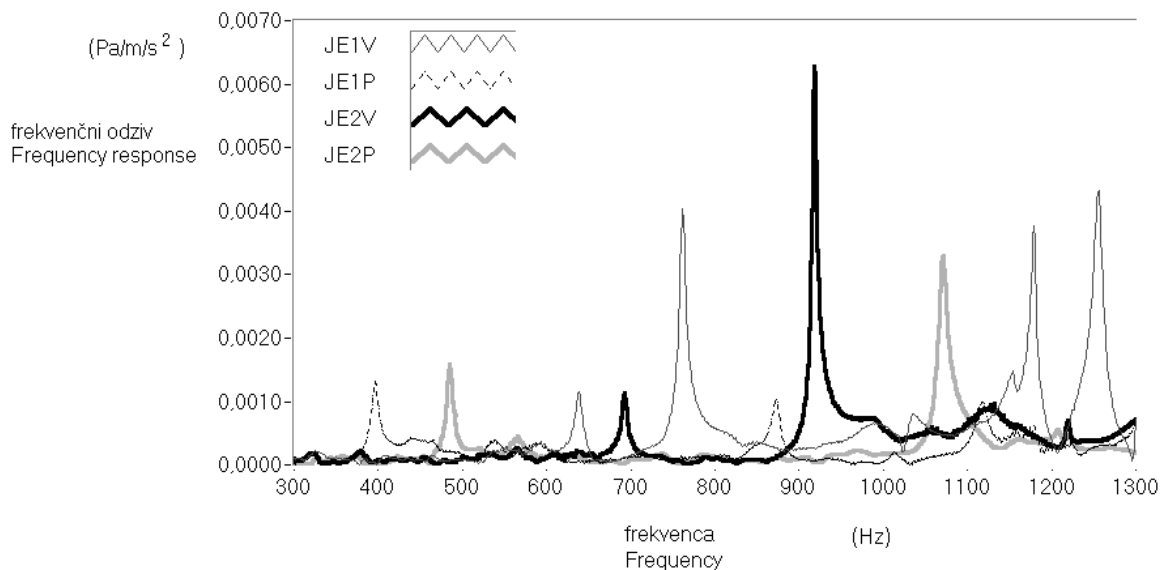
where f_1 and f_2 indicate frequencies (lower and higher than the resonant frequency) where the amplitude of the resonant peak is $P/\sqrt{2}$ [16].

1.2.3 The influence of the filling between the core and the flatsheets of the composite plates

Figure 7 and Table 3 show the results on measurements for a steel composite plate with a flatsheet thickness of 1 mm and longitudinal orientation of core for three different cases: (i) without filling, (ii) with polyester concrete and (iii) with polyurethane filling between the core and the flatsheets (see Figure 1).

2 ANALYSIS OF RESULTS AND DISCUSSION

We can see from Figure 6 and Table 2 that apart from the flatsheet thickness the longitudinal core orientation results in a higher stiffness of the first mode in comparison to the transversal orientation of the core. More precisely, in the case of a plate

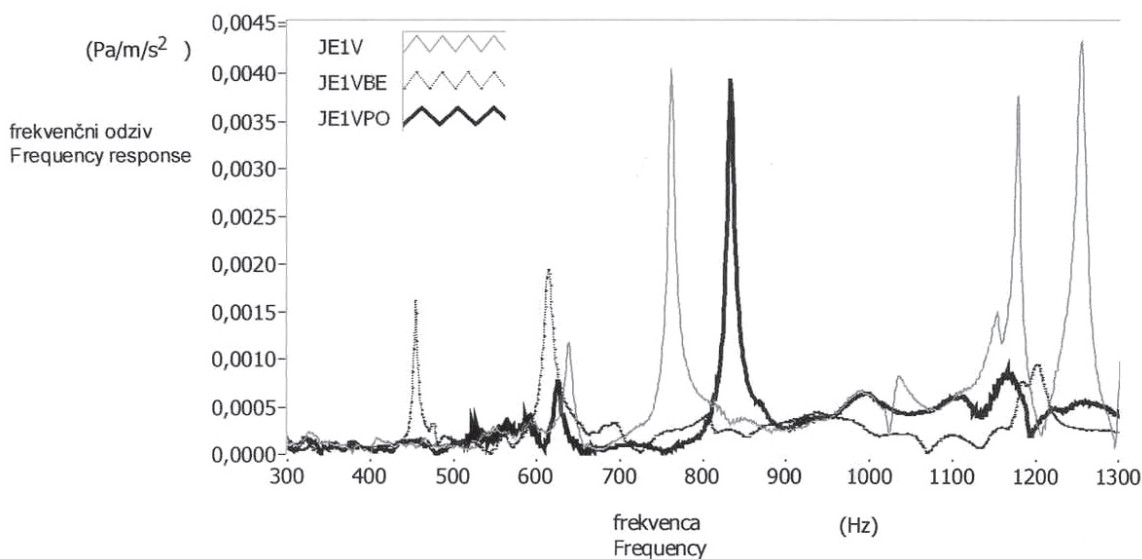


Sl. 6. Frekvenčni odziv plošč kot funkcija debeline sten in usmeritve jedra
 Fig. 6. Frequency response as a function of flatsheet thickness and core orientation

Preglednica 2. Prva dva resonančna vrha – analiza vpliva debeline sten in usmeritve jedra
 Table 2. The first two resonant peaks – analysis of the influence of flatsheet thickness and core orientation

1. vrh / 1st peak	P Pa/m/s ²	δ	f Hz	$\sqrt{k/m}$ rd/s	A/m K ⁻¹ kg s/m ²	m K m ⁴ /kg s	k^* K m ⁴ /kg s ³
JE1V	0,00116	0,0062	638,0	4009,0	2,89E-7	518,4E3	8,33E12
JE1P	0,00130	0,0098	396,2	2489,0	5,22E-7	287,2E3	1,78E12
JE2V	0,00113	0,0045	692,4	4350,5	2,60E-7	577,5E3	10,9E12
JE2P	0,00158	0,0064	484,9	3046,7	5,19E-7	289,2E3	2,68E12
2. vrh / 2nd peak	P Pa/m/s ²	δ	f Hz	$\sqrt{k/m}$ rd/s	A/m K ⁻¹ kg s/m ²	m K m ⁴ /kg s	k^* K m ⁴ /kg s ³
JE1V	0,00400	0,0013	761,6	4785,0	8,36E-7	179,4E3	4,11E12
JE1P	0,00103	0,0055	872,5	5482,0	1,88E-7	798,3E3	24,0E12
JE2V	0,00630	0,0026	918,4	5770,5	10,92E-7	137,4E3	4,57E12
JE2P	0,00330	0,0045	1070,9	6728,7	4,90E-7	305,9E3	13,8E12

*A=0,15 m²



Sl. 7. Frekvenčni odziv plošč kot funkcija polnila med stenama in jedrom
 Fig. 7. Frequency response as a function of the filling between the flatsheets and the core

Preglednica 3. Prva dva resonančna vrha – analiza vpliva polnila
 Table 3. The first two resonant peaks – analysis of the influence of the filling

1. vrh / 1st peak	P Pa/m/s ²	δ	f Hz	$\sqrt{k/m}$ rd/s	A/m K^{-1} kg s/m ²	m K m ⁴ /kg s	k^* K m ⁴ /kg s ³
JE1V	0,00116	0,0062	638,0	4009,0	2,89E-7	518,4E3	8,33E12
JE1VBE	0,00162	0,0042	454,2	2853,8	5,67E-7	264,2E3	2,15E12
JE1VPO	0,00078	0,0064	625,5	3930,1	1,98E-7	755,8E3	11,7E12
2. vrh / 2nd peak	P Pa/m/s ²	δ	f Hz	$\sqrt{k/m}$ rd/s	A/m K^{-1} kg s/m ²	m K m ⁴ /kg s	k^* K m ⁴ /kg s ³
JE1V	0,00400	0,0013	761,6	4785,0	8,36E-7	179,4E3	4,11E12
JE1VBE	0,00195	0,0076	613,9	3857,2	5,05E-7	296,7E3	4,41E12
JE1VPO	0,00395	0,0044	833,0	5233,9	7,54E-7	198,7E3	5,44E12

* $A=0,15$ m²

4,7:1, v primeru debeline sten 2 mm pa 4,1:1. To je v skladu s predhodnimi preskusi, pri katerih je bilo namesto impulznega vzbujanja plošč uporabljeno sinusno vzbujanje, frekvenčni odziv plošče pa je bil definiran kot razmerje med odzivnim pospeškom (hitrostjo) plošče in vzbujevalno silo na njeni geometrični sredini [9]. Primerjava med ploščama z debelino sten 2 in 1 mm pokaže, da je togost prvega modalnega načina v razmerju 1,5:1 za prečno usmeritev jedra in 1,3:1 za vzdolžno. Tudi to je v skladu s predhodnimi meritvami [9], sklenemo pa lahko, da za dano situacijo večja debelina sten pripomore k večanju togosti prvega modalnega načina opazno manj kot usmeritev jedra. Učinek usmerjenosti jedra je malenkostno večji pri bolj debeli steni sestavljene plošče. Faktor dušenja prvega modalnega načina je v splošnem večji za prečno usmerjenost jedra in za manjšo debelino sten. To je samo delno v skladu s predhodnimi meritvami [9], kjer se je izkazalo, da ima v primeru prečne usmerjenosti jedra plošča z 2-milimetrsko steno nekaj večje dušenje od tiste z 1-milimetrsko steno. Dodati pa je treba, da so v splošnem vrednosti faktorjev dušenja za vse plošče (prejšnje in zdajšnje meritve) veliko manjše od ena, torej je neskladje s predhodnimi meritvami praktično neznačilno.

Za drugi modalni način situacija ni analogna tisti za prvega, saj različno debeli plošči s prečno usmerjenostjo jedra izkazujejo neprimerno večjo togost od plošč z vzdolžno usmerjenostjo jedra. Takšni rezultati so v skladu s prejšnjimi ugotovitvami [9] in so pojasnjeni z obliko drugega modalnega načina, pri katerem prihaja do upogibanja okoli prečne osi plošče. Nadalje, togost tega modalnega načina je v primeru prečne postavitve jedra skoraj dvakrat večja za 1 mm debelo ploščo v primerjavi s ploščo z debelino sten 2 mm. Kljub temu, da so se frekvence gibalnih oblik ujemale s prejšnjimi raziskavami [9], pa je bila pri slednjih togost druge gibalne oblike (upogibanje okoli prečne osi) večja za večjo debelino stene pri enaki usmerjenosti jedra.

with a flatsheet thickness of 1 mm this ratio is 4.7:1, and in the case of a flatsheet thickness of 2 mm the ratio is 4.1:1. This is in agreement with previous experiments where sinusoidal excitation was used instead impulse the excitation, and FRF was defined as the ratio of the response acceleration (velocity) to excitation force at the geometrical centre of the plate [9]. For plates with a flatsheet thickness of 2 and 1 mm the stiffness of the first mode is 1.5:1 for a transversal core orientation, and 1.3:1 for a longitudinal orientation. This is also in agreement with previous measurements [9], thus we can conclude that for a given situation the flatsheet thickness is less significant for the first mode stiffness than core orientation. The effect of core orientation is slightly higher for the thicker flatsheet of the composite plate. The damping factor of the first mode is higher for the transversal core orientation and for the thinner flatsheets. This is only partly in agreement with previous measurements [9], where for a transversal core orientation the damping is slightly higher for the thicker (2 mm) than for the thinner (1 mm) composite plate. However, the values for the damping factors are significantly smaller than one for all plates, in general, as a result, this disagreement is insignificant.

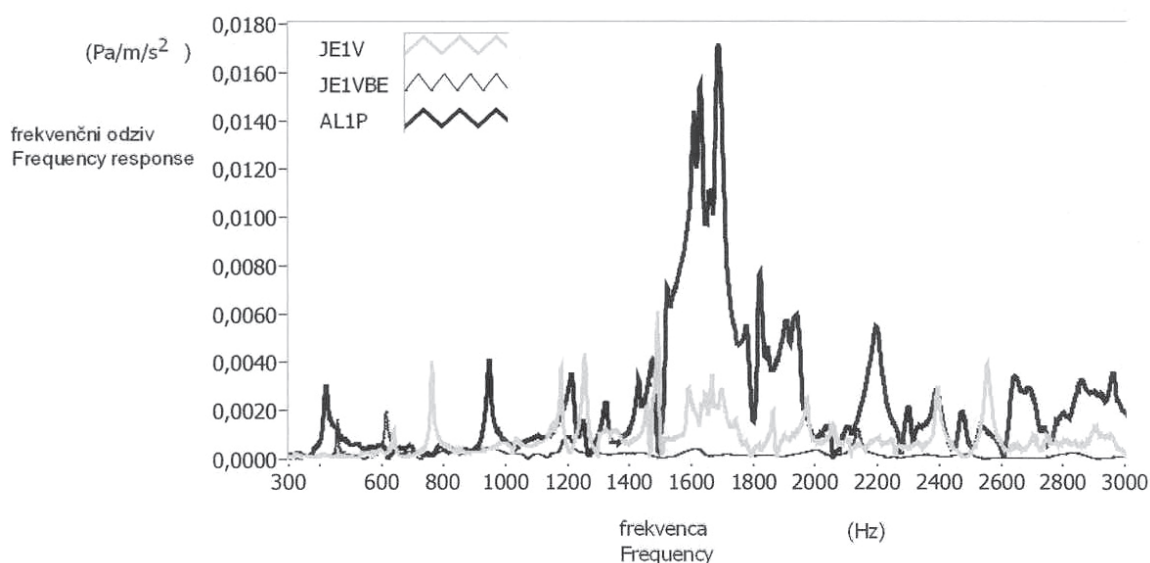
Because both the 1-mm- and 2-mm-thick plates with a transversal core orientation show a significantly higher stiffness in comparison to the plates with a longitudinal core orientation for the second mode, there is no analogy between the situation for the first and second mode. Such results are in agreement with previous findings [9] and are explained by the second mode shape, which is bending along the transversal direction of the plate. Next, for a transversal core orientation in the case of a flatsheet thickness of 1 mm the stiffness of this mode is almost 100% higher in comparison to the plate with a flatsheet thickness of 2 mm. In spite of the fact that the mode frequencies are in agreement with the previous tests [9] the latter indicate higher stiffness of the second mode (bending along the transversal axis) for a thicker plate in comparison to the thinner one for the same core orientation.

Velika masa poliestrskega betona je bistveno zmanjšala razmerje med togostjo in maso (nezaželeno) za oba prva modalna načina v primerjavi s ploščo brez polnila oziroma s poliuretanom. Za prvo gibalno obliko je togost plošče s poliestrskim betonom manjša od obeh drugih plošč, kar kaže relativno neučinkovitost betona v strukturi sestavljene plošče (predvidoma slaba oprijetost betona s stenami in jedrom ali podobno). V skladu s pričakovanji je, da je v višjem frekvenčnem področju (od 700 Hz navzgor) frekvenčni odziv plošče s poliestrskim betonom bistveno ugodnejši, torej manj intenziven, v primerjavi z obema primerjanima (sl. 7). Na dušenje prve gibalne oblike poliuretan praktično ni imel vpliva v primerjavi s ploščo brez polnila, pač pa je vplival na večje dušenje v primerjavi s ploščo s poliestrskim betonom. Enako kakor pri primerjavi plošč brez polnila, a z različno debelino sten in usmerjenostjo jedra, je treba na tem mestu poudariti, da so vse izmerjene vrednosti faktorja dušenja veliko manjše od ena, zato morebitne razlike praktično niso značilne. Izkazani vpliv betonskega polnila namreč ni v skladu s predhodnimi meritvami [9], ki so pokazale malenkostno večje dušenje plošče z betonom v primerjavi s ploščama s poliuretanskim polnilom in brez njega. Po drugi strani pa sta analizi drugega resonančnega vrha predhodnih [9] in zdajšnjih meritev v sozvočju, saj obe izkazujeta razmeroma veliko dušenje plošče z betonom v primerjavi s preostalima dvema ploščama. Nadalje, togost plošče z betonskim polnilom je največja, togost plošče brez polnila pa najmanjša [9].

Za boljše fizikalno razlago dobljenih frekvenčnih odzivov je na sliki 8 prikazana njihova primerjava za sestavljene plošče JE1V, JE1VBE ter AL1P

In comparison to the plates without filling and with polyurethane filling a relatively large mass of the polyester concrete significantly reduced the ratio of stiffness to mass (which is undesired) for the first two modes. The relative inefficiency of the polyester concrete in the structure of the composite plate (presumably bad adhesion between the core and the flatsheets, or something similar) is evident in the lower stiffness of the first mode for this plate in comparison to another two plates. As expected, in a higher frequency range – from 700 Hz up – the FRF of the plate with polyester concrete is significantly more favourable, thus less intensive in comparison to the compared FRFs (see Figure 7). The damping of the first mode was practically independent of the polyurethane filling in comparison to the plate without it. However, in comparison to the polyester concrete the polyurethane filling resulted in a higher damping of this mode. In a comparison between the plates without filling and the plates with different thicknesses of flatsheets and core orientations, it should be noted here that the values of the damping factor are much less than one. Therefore, the measured differences are, in practise, not significant. Namely, the demonstrated effect of the polyester concrete is not in agreement with the previous measurements [9], which showed slightly higher damping of the composite plates with concrete in comparison to the plates without filling and with polyurethane filling. On the other hand, the analyses of the second resonant peak of the previous [9] and present measurements are in agreement, because they both indicate a relatively high damping of the plate with polyester concrete in comparison to the other two plates. The stiffness of the plate with the concrete filling is the highest, whereas the stiffness of the the plate without the filling is the lowest [9].

For a better interpretation of the physical background of the measured FRFs Figure 8 shows a comparison of the composite plates: JE1V, JE1VBE and



Sl. 8. Primerjava s frekvenčnim odzivom aluminijaste sestavljene plošče
Fig. 8. A comparison with the frequency response of the aluminium composite plate

za širše frekvenčno področje. Slednja sestavljena plošča je geometrijsko enaka JE1P, le da je material sten in jedra aluminij. Poleg očitno neugodne lege prvega resonančnega vrha (razmeroma nizka frekvenca in visoka amplituda) je za aluminijasto sestavljeno ploščo značilna razmeroma velika površina pod frekvenčnim odzivom. Za primerjavo, površine za plošče JE1V, JE1VBE ter AL1P so v razmerju 0,34 : 0,09 : 1. To pomeni relativno intenziven odziv (vibracije) aluminijaste plošče in majhen odziv sestavljene plošče s poliestrskim betonom glede na JE1V. Glede na rezultate predstavljene v 1.2.2 in 1.2.3, je logično, da je aluminijasta sestavljena plošča s prečno postavitvijo jedra od vseh preskušanih dinamično najbolj neugodna. Torej sta za opis dinamičnih lastnosti pomembna tako lega in amplituda prvega resonančnega vrha (zaželeno majhna amplituda in visoka frekvenca) kakor tudi površina pod grafom celotnega frekvenčnega odziva (zaželeno majhna površina). Kljub opazno večjemu dušenju (zaželeno) prvega resonančnega vrha za AL1P v primerjavi z drugima dvema sestavljenima ploščama lahko sklenemo, da je frekvenčni odziv aluminijastega preskušanca najslabši. Sestavljena plošča s poliestrskim betonom, kljub nekoliko neugodnejšemu prvemu (in drugemu) resonančnemu vrhu v primerjavi z JE1V, izkazuje skorajda ničelni odziv v frekvenčnem področju, v katerem je odziv za JE1V in AL1P še relativno močan (nezaželeno).

Kljub dejstvu, da v poglavju 1.2.1 predstavljeni model predvideva relativno veliko oddaljenost (r_p) od vira zvoka, v našem primeru to ni bilo najbolj idealno izpolnjeno. Oddaljenost mikrofona od preskušanca je bila namreč komaj dvakrat toliko, kolikor je njegova največja izmera. To in pa različnost metod pri določanju dinamičnih lastnosti je najverjetnejši razlog za nekatera razhajanja pri rezultatih meritev.

3 SKLEP

Rezultati raziskave so v precejšnji meri v skladu s predhodnimi meritvami [9], pri katerih je bilo uporabljeno sinusno vzbujanje plošč, frekvenčni odziv pa je bil definiran kot razmerje med izstopnim pospeškom (hitrostjo) plošče in vstopno silo na njeni geometrični sredini. Kljub dejstvu, da v 1.2.1 predstavljeni model predvideva relativno veliko oddaljenost (r_p) od vira zvoka, v našem primeru to ni bilo najbolj idealno izpolnjeno. Oddaljenost mikrofona od preskušanca je bila namreč komaj dvakrat toliko, kolikor je njegova največja izmera, predvidoma pa to na meritve faktorja dušenja in resonančnih frekvenc ne vpliva [16]. Določene razlike pri rezultatih obeh postopkov (glej poglavje 2) lahko razložimo z različnim načinom vzbujanja, od katerega je odziv realnih (nelinearnih) sistemov načeloma močno odvisen [16].

AL1P, for a wide frequency range. The last of these composite plates is geometrically the same as JE1P; however, the material of the flatsheets and the core is aluminium. In addition to an unfavourable position of the first resonant peak (relatively low frequency and high amplitude) the aluminium plate indicates a relatively large area under its FRF. For comparison, the areas under the FRFs for plates JE1V, JE1VBE and AL1P are in the ratios: 0.34 : 0.09 : 1. This means a relatively intense response (vibrations) of the aluminium plate and a weak response of the plate with the polyester concrete in comparison to JE1V. According to results from sections 1.2.2 and 1.2.3 it is logical that the aluminium composite plate with a transversal core orientation is dynamically the worst. Therefore, not only the position, but also the amplitude (small amplitude and high frequency are desired) in addition to the area under the FRF (small area is desired), are important in defining the dynamic properties. Despite the higher damping (desired) of the first resonant peak for AL1P in comparison to the other two composed plates it is reasonable to conclude that the FRF of the aluminium specimen is the worst. Regardless of the slightly more unfavourable characteristics of the first (and also the second) resonant peak in comparison to JE1V, the plate with polyester concrete demonstrates an almost null response in the frequency range where this one is relatively strong for JE1V and AL1P (not desired).

Despite the fact that in section 1.2.1 the presented model presumes a relatively large distance (r_p) from the sound source, this was not ideally fulfilled in our case. Namely, the distance between the microphone and the specimen was hardly twice its largest dimension. In addition to the differences between the methods for measuring the dynamic properties, this is the most probable reason for some dispersing conclusions.

3 CONCLUSION

The results of our research are mostly in agreement with previous measurements [9], where sinusoidal excitation of the plates was applied and the FRF was defined as a ratio of the output acceleration (velocity) to the input force plate at its geometrical centre. Despite the fact that in section 1.2.1 the presented model assumes a relatively large distance (r_p) from the sound source, this was not ideally fulfilled in our case. Namely, the distance between the microphone and specimen was hardly twice its largest dimension. Presumably, this does not affect the measurements of damping factor and resonant frequencies [16]. Definite differences in the results of both methods (see section 3.) can be explained with the different types of excitation, which strongly affects the response of real (non-linear) systems [16].

Meritve frekvenčnega odziva sestavljenih plošč za gradnjo nosilnih delov obdelovalnih strojev so v splošnem pokazale značilen vpliv materiala, debeline sten, usmeritve jedra ter polnila med stenama in jedrom. Frekvenčni odziv je bil definiran kot razmerje med rezultirajočim zvočnim tlakom, merjenim 1 m od prosto vpetih plošč, in vstopnim mehanskim impulzom. Izraziti frekvenčni vrhovi v frekvenčnem odzivu so tako bili ponazorjeni z impulzno vzbujenim enomasnim mehansko-akustičnim sistemom, sestavljenim iz mase (diskretna masa m), dušilke (koeficient viskoznega dušenja b), vzmeti (togost k) in brezmasne membrane s površino A .

Rezultati analize kažejo pomembno vlogo vseh analiziranih vplivov na gibalno obliko oziroma dinamične lastnosti sestavljenih plošč. Vzdolžna orientacija jedra na pravokotnih prekušancih se je izkazala za superiorno glede prve gibalne oblike, saj sta togost ter razmerje med togostjo in maso (frekvenca) te gibalne oblike večja v primerjavi s ploščami s prečno usmeritvijo jedra. Nasprotno se je izkazalo pri drugi gibalni obliki, tj. upogibanje okoli prečne osi plošče, in zanj prečna usmeritev jedra pomeni večjo togost in razmerje togosti proti masi v primerjavi z vzdolžno usmeritvijo jedra. Precej manjši vpliv od usmeritve jedra je na spremembo togosti prve gibalne oblike imela sprememba debeline sten sestavljenih plošč. V primerjavi z 1-milimetrsko steno ima plošča z 2-milimetrsko steno približno 30 do 50% večjo togost, medtem ko za drugo gibalno obliko ni bilo opaziti zanesljive odvisnosti med debelino stene in togostjo oblike. Sestavljena plošča s poliestrskim betonom kot polnilom je pokazala značilno majhno razmerje med togostjo in maso prvega (in drugega) modalnega načina v primerjavi s ploščo brez polnila. Toda ugodnost njenega frekvenčnega odziva v področju od 700 Hz navzgor, kjer izkazuje izrazito dinamično nedejavnost (nizko razmerje A/m za vse visoke modalne načine), je v primerjavi z vsemi drugimi preskušanci očitna. V splošnem je bil faktor dušenja analiziranih gibalnih oblik veliko manjši od ena, zato izmerjenim razlikam med njim pripadajočim dušenjem ni bila posvečena velika pozornost. Kljub temu je moč skleniti, da prečna usmeritev jedra ali manjša debelina sten pomenita večje dušenje za obe analizirani gibalni obliki. Dušenje prve gibalne oblike plošče s poliestrskim betonom je bilo nekaj manjše od dušenja plošče brez betona, medtem ko je za drugo gibalno obliko plošča z betonom izkazala precej večje dušenje. Plošča s poliuretanskim polnilom se je v vseh pogledih (dušenje, amplitude) obnesla boljše kakor plošča brez polnila.

Sklenemo lahko, da predstavljena metoda kljub svoji poenostavitvi običajne oblikovne analize omogoča grobo identifikacijo dinamičnih lastnosti sestavljenih plošč. Kakor kaže, lahko z metodo bistveno poenostavimo izbiro optimalnih izmer sten,

FRF measurements of the composite plates intended for supporting parts of machine tools and devices demonstrated a significant influence of the material, the flatsheets, thickness, the core orientation and the filling between the flatsheets and the core. The FRF was defined as the ratio of the resulting sound pressure measured at 1 m from the free-supported plates to the input mechanical impulse. The significant resonant peaks in the FRF were approximated with an impulsively excited one-mass system (mechanical-acoustical) which consists of mass (discrete mass m), damper (coefficient of viscous damping b), spring (stiffness k) and massless membrane with area A .

The results of the analysis point to an important role of all the analysed effects on the modal behaviour and on the dynamic properties of the composite plates. In comparison to the transversal core orientation the longitudinal one demonstrated the superiority of the rectangular-shaped specimens for the first mode. The reason for this is that the ratio of stiffness to mass (frequency) for this mode was higher for the plates with a longitudinal core orientation. In contrast, for the second mode, which is bending along the transversal axis of the plate, the transversal core orientation means both higher stiffness and ratio of stiffness to mass in comparison to the longitudinal core orientation. The effect of flatsheet thickness on the first mode stiffness was significantly lower than the effect of core orientation. In comparison to the flatsheet with a thickness of 1 mm the plate with a 2-millimetre flatsheet has approximately 30–50% higher stiffness, whereas for the second mode no significant correlation between flatsheet thickness and modal stiffness was measured. The composite plate with polyester concrete demonstrated a significantly lower ratio of stiffness to mass of the first (and also the second) mode in comparison to the composite plate without filling. However, the benefit of the plate with polyester concrete in the range from 700 Hz in comparison to the other plates is evident in the significant dynamic non-activity (low A/m ratio for all higher modes). In general, the damping factor of the analysed modes was significantly less than one, therefore, the measured differences in modal damping were not significant. Despite this, we can conclude that transversal rather than longitudinal or thinner rather than thicker flatsheet thicknesses mean higher damping for both the analysed modes. The damping of the first mode for the plate with polyester concrete was slightly lower in comparison to the plate without the filling, whereas for the second mode the concrete plate demonstrated significantly higher damping. The plate with polyurethane filling showed better performance in comparison to the plate without the filling in terms of damping and amplitudes.

It is reasonable to conclude that despite some simplifications of classical modal analysis, the presented method gives us a rough indication of the dynamic properties of composite plates. It seems that this method can avoid a complex modal analysis with

materiala, usmeritve jedra in polnila pri načrtovanju modulnih nosilnih delov strojev ter naprav, saj se izognemo zapleteni oblikovni analizi s problematičnim sinusnim vzbujanjem.

problematic sinusoidal excitation and significantly simplify the selection of flatsheet thickness, material, core orientation and filling during the construction of composite supporting parts of machine tools and devices.

4 LITERATURA 4 REFERENCES

- [1] Weck, M. (1997) Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme. 2, Konstruktion und Berechnung, Berlin [etc.], Springer.
- [2] Kopač, J., M. Pogačnik (1995) Vibration influence on turn milling process. V: Design, control and analysis of manufacturing systems, *Proceedings of the 27th CIRP International seminar on manufacturing systems*, May 21-23, 1995, Ann Arbor, Michigan, USA, Ann Arbor, University of Michigan, 375-381.
- [3] Lee, D.G., S. Chang, and H.S. Kim (1998) Damping improvement of machine tool columns with polymer matrix fiber composite material, *Composite Structures*, Volume 43, Issue 2, 155-163.
- [4] Suh, J.D., S.H. Chang, D.G. Lee, J.K. Choi, and B.S. Park (2001) Damping characteristics of composite hybrid spindle covers for high speed machine tools, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 113, Issues 1-3, 178-183.
- [5] Kelly, K., P. Young, and G. Byrne (1999) Modelling the influence of machining dynamics on surface topography in turning, *International Journal of Mechanical Sciences*, Volume 41, Issues 4-5, 507-526.
- [6] Chang, S.H., P.J. Kim, D.G. Lee, and J.K. Choi (2001) Steel-composite hybrid headstock for high-precision grinding machines, *Composite Structures*, Volume 53, Issue 1, 1-8.
- [7] Kim, H.S., K.Y. Park, and D.G. Lee (1995) A study on the epoxy resin concrete for the ultra-precision machine tool bed, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 48, Issues 1-4, 649-655.
- [8] Wiele, H., H. Gropp, P. Menz (1991) Einsatz von Reaktionsharzbeton im Maschinenbau, *Fertigungstechnik und Betrieb*, 41, 92-95.
- [9] Peterlin, G. (1990) Raziskava dinamičnih lastnosti konstrukcijskih elementov iz sestavljenih materialov, magistrska naloga, *Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo*.
- [10] Peklenik J., J. Jurkovič (1996) Development of Machine Components with Controllable Dynamic Behaviour, *Annals of CIRP*, Vol. 45/1, 385-388.
- [11] Jurkovič. J. (1996) Razvoj konstrukcijskih elementov iz sestavljenih materialov in analiza njihove uporabnosti za gradnjo kapitalnih delov strojev, doktorska disertacija, *Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo*.
- [12] Sokolinsky, V. S., Y. Frostig, and S.R. Nutt (2002) Special behavior of unidirectional sandwich panels with transversely flexible core under statical loading, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, Volume 37, Issues 4-5, 869-895.
- [13] Wiedemann, J. (1986) Leichtbau, Band 1, Elemente, *Springer Verlag*, Berlin, Heidelberg, Tokyo.
- [14] Wiedemann, J. (1989) Leichtbau, Band 2, Konstruktion, *Springer Verlag*, Berlin, Heidelberg, Tokyo.
- [15] Habenicht, G. (1986) Kleben, Grundlagen Technologie Anwendungen, *Springer Verlag*, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- [16] Ewins, D.J. (1984) Modal testing; theory and practice. *Letchworth: Research Studies Press Ltd*.
- [17] Kopač J., S. Šali (1999) The frequency response of differently machined wooden boards, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 227, No. 2, 259-269.
- [18] AT-A2150 User Manual (1993), *National Instruments Corporation*.
- [19] LabVIEW Analysis Reference Manual: Part Number 320538C-01 (1996), Austin, *National Instruments Corporation*.
- [20] Olson, H.F. (1967) Music, physics and engineering, New York, *Dover Publications, Inc*.
- [21] Meirovitch, L. (1986) Elements of vibration analysis, New York, *McGraw-Hill Book Company*.

Naslov avtorjev: dr. Jože Jurkovič
mag. Samo Šali
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
joze.jurkovic@fs.uni-lj.si

Authors Address: Dr. Jože Jurkovič
Mag. Samo Šali
Faculty of Mechanical Eng.
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia
joze.jurkovic@fs.uni-lj.si

Prejeto:
Received: 17.1.2002

Sprejeto:
Accepted: 23.5.2002

Šest sigm: zahtevna pobuda kakovosti

Six Sigma: A Complex Quality Initiative

Duško Pavletić - Mirko Soković

Zahtevna pobuda kakovosti, ki se nanaša hkrati na vodstvo, orodja in infrastrukturo, imenovana šest sigm, se je pojavila šele v zadnjem času. Postopek šest sigm temelji na strogih japonskih teorijah o celovitem vodenju kakovosti v izdelovalnem postopku. Cilj postopka šest sigm je izboljšanje učinkovitosti organizacije kakor tudi učinkovito upoštevanje potreb odjemalcev ter ustvarjanje ekonomskega blagostanja tako za odjemalca kakor tudi dobavitelja. Šest sigm, katere cilj je 3,4 kosov na milijon (knm - ppm), uvaja in uporablja sistematično, projektno usmerjeno metodologijo Določí, izmeri, analiziraj, izboljšaj in krmili (DIAIK - DMAIC). Prispevek podaja uvod v postopek šest sigm in pregled njene metodologije.

© 2002 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: kakovost, izboljšave procesov, metodologija šest sigm, metodologija DIAIK)

A complex quality initiative that addresses the leadership, tools and infrastructure issues at the same time, called Six Sigma, has recently emerged. The Six Sigma approach was based on rigorous Japanese theories of total quality management (TQM) for use in the manufacturing process. The objective of Six Sigma is to improve organization efficiency as well as effectiveness in meeting customer needs, ultimately creating economic wealth for the customer and the provider. Aiming for 3.4 parts per million (ppm), Six Sigma introduces and employs a systematic project-oriented methodology through a Define, Measure, Analyze, Improve and Control (DMAIC) cycle. This paper gives an introduction to, and overview of Six Sigma methodology.

© 2002 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: quality, improving processes, six sigma methodology, DMAIC methodology)

0 UVOD

Metodologija šest sigm se je formalno pojavila v podjetju Motorola v osemdesetih letih dvajsetega stoletja čeprav nekateri avtorji namigujejo, da se je Motorola prvič lotila šest sigm pobude kakovosti že sredi šestdesetih [1]. Motorolina specifična povezanost s šest sigmami se prične, ko ta uvede program izboljšanja kakovosti, osredotočen na proizvodnjo. Njihov postopek je temeljil na strogih japonskih teorijah celovitega vodenja kakovosti (CVK - TQM) za uporabo v izdelovalnem postopku, kjer se napake razmeroma preprosto prepoznajo in štejejo [2].

Oče postopka šest sigm je bil pokojni Bill Smith, glavni inženir pri Motoroli in znanstvenik. Oblikoval je originalne statistike in obrazce, ki so začetki kulture šest sigm. Močno podprta od najvišjega vodstva je bila pobuda šest sigm razširjena na celotno podjetje. Kmalu je bilo zahtevano usposabljanje šest sigm za vse zaposlene. Od vsakega posameznika se je pričakovalo, da je razumel postopek in da ga bo uporabil za vse, kar bo počel [3]. Kratek čas je bil izvirni namen šest sigm osredotočen na

0 INTRODUCTION

Six Sigma methodology formally emerged at Motorola in the 1980s although some authors suggest that Motorola first embarked on its Six Sigma quality initiative in the mid 1960s [1]. Motorola's specific involvement with Six Sigma began when it implemented a quality-improvement program focused on manufacturing. Their approach was based on rigorous Japanese theories of total quality management (TQM) for use in the manufacturing process, where defects are relatively easy to spot and count [2].

The father of Six Sigma was the late Bill Smith, a senior engineer and scientist. He crafted the original statistics and formulae that were the beginnings of the Six Sigma culture. Strongly supported by company's top management, the Six Sigma initiative was spread throughout the company. Soon, Six Sigma training was required for every employee. Every single person was expected to understand the process and apply it to everything that they did [3]. While the original goal of Six Sigma was to focus on the

izdelovalni postopek, kmalu pa je postalo jasno, da se morajo dostava, marketing ter funkcije izvedbe naročila kupca prav tako osredotočiti na doseganje standardov šest sigm kakovosti in odstranjevanje napak skozi organizacijske postopke [4]. Zelo kmalu je postopek šest sigm pridobil številne zagovornike, ki so privzeli in uporabili načela šest sigm; njihova dokumentirana odkritja in uspehi so omogočili drugim podjetjem, da so jim sledili.

1 DEFINICIJE IN FILOZOFIJA ŠEST SIGM

Pri Motoroli je šest sigm bila, in je še vedno, definirana kot program izboljšanja kakovosti z namenom zmanjšanja števila napak pod 3,4 kosov na milijon izdelanih. Pri tem uporabljajo normalno porazdelitev in močno povezavo med neustreznostmi izdelka oziroma napakami in številom izdelanih kosov, zanesljivostjo, časom izdelave, opremo, načrti itn. [5]. Vendar obstaja nekaj zmede in negotovosti med ljudmi o tem, kako se prevaja kakovost šest sigm statistično v 3,4 napak na milijon. V resnici je razlika med resnično vrednostjo šest sigm in Motorolino vrednostjo šest sigm.

Statistično, pojem šest sigm sloni na normalni porazdelitvi. Če privzamemo normalno porazdelitev, potem lahko preprosto izračunamo, koliko je priložnosti za izdelke z napakami oz. kmn tako, kakor to prikazuje slika 1.

Če so specifikacijske meje omejene z ustreznostjo $\pm 3\sigma$ in če je proces centriran, so možnosti 2700 kmn, 1350 na vsaki strani izbranega razpona, medtem ko v primeru, če so izbrane meje podane z ustreznostjo $\pm 6\sigma$ so možnosti le še 0,002 kmn.

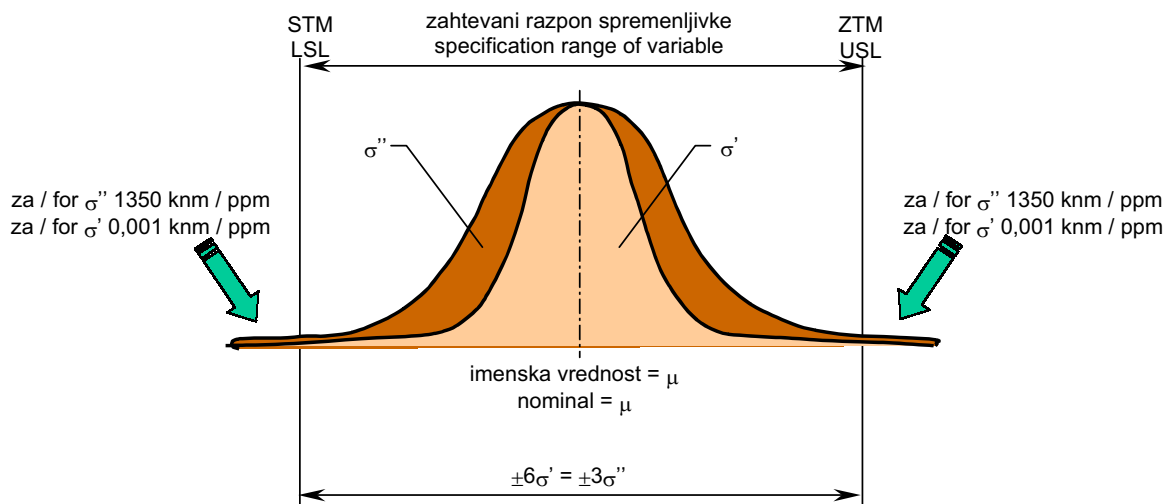
manufacturing process, it became clear that the distribution, marketing and customer-order processing functions also needed to focus on reaching Six Sigma quality standards and eliminate defects throughout the organization's processes [4]. Very soon, Six Sigma gained several proponents who adopted and implemented Six Sigma principles, documented their discoveries and successes, enabling other companies to follow their lead.

1 SIX SIGMA DEFINITIONS AND PHILOSOPHY

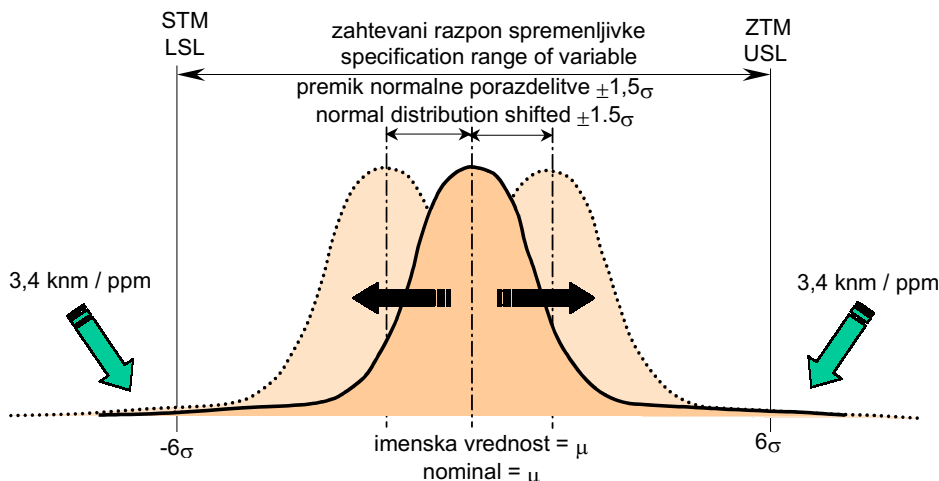
At Motorola, Six Sigma has been, and still is, defined as a quality-improvement program with the goal of reducing the number of defects to as low as 3.4 parts per million opportunities. It uses the normal distribution and the strong relationship between product nonconformities, or defects, and the product yield, reliability, cycle time, inventory, schedule, and so on [5]. However, there is some confusion and uncertainty among many people as to how Six Sigma quality translates statistically into 3.4 defects per million. In fact, there is a difference in the true value of Six Sigma and Motorola's value of Six Sigma.

Statistically, Six Sigma is based on the normal distribution. Assuming the normal distribution it is easy to calculate how many chances there are for defective parts or ppm, as shown in Fig. 1.

If the specification limits are met with $\pm 3\sigma$ conformance, and the process is centered, the chances are that there will be 2700 ppm, 1350 on each side of specification range, however, if the specification limits are met with $\pm 6\sigma$, chances are that there will be only 0.002 ppm.



Sl. 1. Število napak za ustreznost tri sigme in šest sigm
Fig. 1. Number of defects for three-sigma and six-sigma conformance



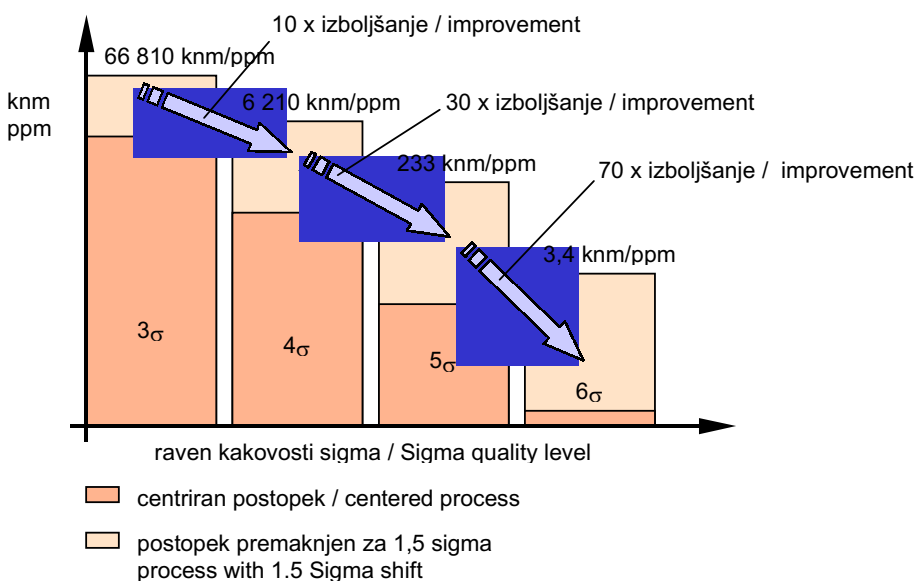
Sl. 2. Število napak za ustreznost šest sigm pri premiku srednje vrednosti postopka za $\pm 1,5\sigma$
 Fig. 2. Number of defects for six-sigma conformances with a shifted process mean

Domnevamo, da je opazovana spremenljivka centrirana brez kakršnihkoli premikov srednje vrednosti. Vendar je v praksi nemogoče najti centrirane postopke brez premikov srednje vrednosti spremenljivke. Zaradi tega je Motorola dodala povprečno vrednost premika za $\pm 1,5\sigma$ glede na srednjo vrednost postopka, ta je bil pozneje splošno sprejet v podjetjih, ki so bila vključena v pobude šest sigm. Skladno s sprejeto vrednostjo premika za $\pm 1,5\sigma$ lahko pričakujemo, da se bodo možnosti za napako povečevale kot rezultat premikanja srednje vrednosti spremenljivke ali nihanja v smeri izbranih mej, kar je prikazano na sliki 2.

It was supposed that the observed variable is centered without any shifts of the mean value. However, in practice it is impossible to find centered variable values without any shifts. Therefore, Motorola added an average shift value of $\pm 1.5\sigma$ to the process mean, which was later widely accepted by companies involved in Six Sigma initiatives. Accordingly, with an accepted shift value of $\pm 1.5\sigma$ it is to be expected that the chances of a defect will increase as a result of the variable mean value movement or swinging toward specification limits, as shown in Fig. 2.

Dejansko je povprečno podjetje nekje med tri in štiri sigm, samo najboljša podjetja dosegajo 6 sigm, medtem ko imajo na primer letalski poleti stopnjo nevarnosti le 0,43 knm kar je 10-krat bolje od kakovosti šest sigm [3]. Slika 3 prikazuje vpliv premika za $\pm 1,5\sigma$, kakor tudi zahtevane izboljšave za

Currently, the average company is somewhere between three and four sigma, best-in-class companies are reaching 6 sigma, while, for example, airline flights which have a fatality rate of 0.43 ppm, are 10 times better than Six Sigma quality [3]. Fig. 3 illustrates impact of shifts of $\pm 1.5\sigma$, as well as the required improvements for steps of one sigma. It is



Sl. 3. Število napak v odvisnosti od ravni kakovosti sigma
 Fig. 3. Defects rate versus sigma quality level

eno sigmo. Razvidno je, da je za premik ravni kakovosti za en sigm, s pet na šest sigm, napor za izboljšanje kakovosti veliko večji kakor pri premiku s treh na štiri sigmo.

Ne obstajajo jasne in enopomenske definicije pojma šest sigm. Za različne ljudi ima šest sigm različne pomene in razlago [6].

Nekatere izmed definicij:

- Šest sigm je formalna metodologija za postopke merjenja, analiziranja, izboljšanja in nato nadziranja (krmiljenja). Statistični postopek zmanjšuje pojave napak od ravni treh sigm do ravni šest sigm [7].
- Šest sigm je pobuda kakovosti, da statistične meritve zaposlenih dosežejo 3,4 neustreznih izdelkov na milijon izdelanih - navidezna izločitev napak [8].
- Šest sigm je obširna metodologija na osnovah statistike, katere namen je doseči nič manj kakor popolnost v vsakem posameznem postopku in izdelku podjetja [9].

Vsestranske in, po mnenju avtorjev, najbolj ustrezne definicije pojma šest sigm navajajo, da šest sigm poudarja inteligentno mešanico modrosti organiziranja s preskušeni statističnimi orodji za izboljšanje tako učinkovitosti kakor zmožnosti upoštevanja potreb odjemalcev. Končni cilj ni izboljšanje zaradi izboljšanja, ampak bolj ustvarjanje ekonomskega blagostanja za odjemalca in prav tako dobavitelja [3]. To nakazuje, da kakovost šest sigm ne nadomešča obstoječe in trajajoče pobude kakovosti v organizaciji, ampak da se najvišje vodstvo osredotoča na tiste postopke, ki so prepoznani kot ključni za kakovost v očeh odjemalcev. Ti kritični sistemi so nato predmet natančnih pregledov in močnih naporov za izboljšanje; uporaba najmočnejših "mehkih" in "trdih" veščin organizacije lahko pripelje do napredka.

2 ŠEST SIGM IN ČLOVEŠKI VIRI

Zelo pomembna značilnost postopka šest sigm je ustvarjanje infrastrukture, ki zagotavlja, da imajo dejavnosti za izboljšanje učinkovitosti na voljo potrebne vire. Ustvarjanje uspešne infrastrukture šest sigm je izhodiščni postopek, katerega namen je zavestno uvajati kakovost med vse zaposlene pri njihovem vsakdanjem delu [3]. Infrastrukture so lahko zelo specifične, odvisno od kulture in strateških poslovnih ciljev organizacije. Pomanjkljivosti pri zagotovitvi takšne infrastrukture so prvi razlog, zakaj ni uspelo 80 odstotkov vseh uvajanj CVK v preteklosti [10].

Za vsako organizacijo je pobuda šest sigm edinstvena. Vendar obstajajo dejavniki, ki so skupni vsaki zgodbi o uspehu. Uvajanje šest sigm vključuje vse zaposlene z vseh organizacijskih stopenj znotraj podjetja. Toda glavni nosilci sprememb so predvsem vodstvo, predstavniki vodstva in lastniki postopkov,

obvious that a shift in one sigma quality level from five sigma to six sigma is a much more difficult improvement effort than a shift from three to four sigma.

There are no clear and unique definitions of Six Sigma. For different people Six Sigma has different meanings and interpretation [6].

Some of the definitions include:

- Six Sigma is a formal methodology for measuring, analyzing, improving and then controlling processes. The statistical approach reduces the occurrences of defects from a three-sigma level to a six-sigma level [7].
- Six Sigma is a quality initiative that employs statistical measurements to achieve 3.4 defective parts per million – the virtual elimination of errors [8].
- Six Sigma, a comprehensive, statistics-based methodology that aims to achieve nothing less than perfection in every single company process and product [9].

The most comprehensive and, in the authors' opinion, most adequate definitions of Six Sigma state that Six Sigma emphasizes an intelligent blending of the wisdom of the organization with proven statistical tools to improve both the efficiency and the effectiveness of the organization in meeting customer needs. The ultimate goal is not improvement for improvement's sake, but rather the creation of economic wealth for the customer and provider alike [3]. This implies, not that Six Sigma replaces existing and ongoing quality initiatives in an organization, but that senior management focuses on those processes identified as critical-to-quality in the eyes of customers. These critical systems are then the subject of intense scrutiny and improvement efforts, using the most powerful soft and hard skills the organization can bring to bear.

2 SIX SIGMA HUMAN RESOURCES

A very powerful feature of Six Sigma is the creation of an infrastructure to ensure that performance-improvement activities have the necessary resources. Creating a successful Six Sigma infrastructure is an ongoing process, the aim of which is to infuse an awareness of quality into the way all employees approach their everyday work [3]. Infrastructures can vary significantly, depending on the culture and strategic business goals of organizations. Failure to provide this infrastructure is the number one reason why 80% of all TQM implementations failed in the past [10].

For each organization the Six Sigma infrastructure is unique. However, there are factors common to every success story. Six Sigma implementation involves all employees from all organizational or hierarchical levels within the company. However, the main *change agents* are:

strokovnjaki s najvišjo ravno znanj 6σ , vodje projektov 6σ in uporabniki metod in orodij. Ta skupina je majhen toda kritičen odstotek organizacijskega osebja, primarno odgovornega za uspešno uvajanje pobude šest sigm.

Vodstvo. Uvajanje postopka šest sigm vsebuje določene spremembe v nekaterih glavnih poslovnih dejavnostih in uvedbo orodij za doseganje strateških ciljev podjetja. Ta dosežek mora biti voden od zgoraj navzdol in mora imeti nedvoumno podporo najvišjega vodstva podjetja. Najvišje vodstvo je pobudnik vsake uspešne uvedbe kakovosti šest sigm. Ali bodo projekti šest sigm uspešni ali neuspešni je predvsem odvisno od tega, kako bodo izvajalci razumeli vrednost metodologije šest sigm in jo iskreno predstavili znotraj podjetja. Kasnejši umik vodstva lahko pripomore pri prepoznavanju resničnih predstavnikov vodstva, ki bodo predstavili spremembe in pri vseh zaposlenih zavestno uvajali kakovost pri njihovem vsakdanjem delu. Prav tako lahko pomaga določiti prednost načel in potrebnih del pri utemeljevanju in uvajanju načrta povezav. Skozi razpravo in načrtovanje se zaposleni lahko sami usmerijo v pravo smer, da bo njihova lastna izkušnja z izvajanjem postopka šest sigm uspešna.

Predstavniki vodstva in lastniki postopkov.

Predstavniki vodstva so zelo usposobljeni vodje poslovanja, ki predstavljajo in vodijo razvoj kakovosti šest sigm na posameznih področjih poslovanja in filozofijo šest sigm ter so neposredno odgovorni za njen uspeh. V velikih podjetjih se za vodjo pobude šest sigm imenuje predstavnik vodstva z visokim položajem in polnim delovnim časom. Praviloma predstavniki vodstva vključujejo tudi vodje, ki uporabljajo postopek šest sigm pri svojem vsakdanjem delu. Naloga predstavnikov vodstva je tudi odstraniti vse možne proceduralne, kulturne in druge ovire za uvajanje šest sigm. Pri uvajanju projekta šest sigm so predvsem odgovorni za:

- izbiro kandidatov za vodje projektov 6σ ,
- določitev kriterijev za izbiro projektov,
- izbiro projekta kakovosti šest sigm,
- razdelitev potrebnih virov za projekt,
- odstranitev vseh ovir za pobude šest sigm,
- predstavitev projekta šest sigm in spremembe pri uvajanju in
- odobritev celotnih projektov.

Lastniki postopkov in sistemov (sponzorji) pomagajo uvajati in usklajevati dejavnosti izboljšanja projektov šest sigm na svojih področjih odgovornosti. Naloge lastnikov postopkov pri uvajanju projektov šest sigm so:

- pridobiti potrebno odobritev za vsako spremembo postopka,
- izbira članov skupine,
- natančno poznavanje postopka,
- vzdrževanje motivacije in stroškovne učinkovitosti skupine,
- zagotoviti podporo pri uvajanju izboljšav postopka in
- biti povezan z vizijo šest sigm.

leadership; champions and sponsors; master black belts; black belts; and green belts. This group represents a small but critical percentage of the organization's personnel that is primarily responsible for successful Six Sigma implementation.

Leadership. Six Sigma implementation involves changes in the company's major business activities and the application of tools for achieving companies strategic goals. This effort should be lead from the topdown, and should have complete support from company's top management. Top management is the foundation of any successful Six Sigma implementation. Whether Six Sigma succeeds or fails depends to a large extent on how well executives understand the value of the Six Sigma methodology and sincerely promote it within the company. An executive retreat can help identify true champions who will promote change and make employees aware of quality in their approach to everyday work. It can also help prioritize the principles and actions necessary in establishing an implementation road map. Through discussion and planning, employees can orient themselves in such a way that their individual experience with the execution of Six Sigma is successful.

Champions and sponsors. Champions are fully-trained business leaders who promote and lead the deployment of Six Sigma in a significant area of the business. Six Sigma champions are high-level individuals who understand Six Sigma and are committed to its success. In larger organizations Six Sigma will be led by a full-time, high-level champion. As a rule, champions also include leaders who use Six Sigma in their day-to-day work. The champions' role is, also, to remove all potential procedural, cultural and other barriers to Six Sigma implementation. Champions in Six Sigma implementation are primarily responsible for:

- selection of black belt candidates,
- project selection criteria determination,
- Six Sigma project selection,
- allocation of the necessary project resources,
- removal of all barriers to Six Sigma initiatives,
- Six Sigma promotion and change implementation,
- completed projects approval.

Sponsors are owners of the processes and systems that help initiate and coordinate Six Sigma improvement activities in their areas of responsibility. Sponsors' tasks in Six Sigma implementation are to:

- obtain the necessary approval for any process changes,
- select team members,
- communicate process knowledge,
- maintain team motivation and accountability,
- ensure that process improvements are implemented and sustained,
- communicate the Six Sigma vision.

Strokovnjak z najvišjo stopnjo znanj 6 σ je zelo usposobljen vodja poslovanja, ki predstavlja in vodi razvoj metodologije šest sigm na posameznem področju poslovanja. Predstavlja najvišjo stopnjo tehnične in organizacijske strokovnosti. Zagotavlja tehnično vodstvo programa šest sigm. Zato mora imeti specifična znanja vodij projektov 6 σ in razumeti matematično teorijo, na kateri slonijo statistične metode [3]. Pomaga *vodjem projektov 6 σ* v običajnih ali posebnih razmerah in kadarkoli je mogoče, naj bi vodil usposabljanja v orodjih in metodologijah šest sigm. Odgovornosti strokovnjakov s najvišjo stopnjo znanj 6 σ so:

- oblikovati strategijo poslovanja skupaj z najvišjim vodstvom,
- pomagati pri izbiri projektov, ki ustrezajo strateškim potrebam poslovanja,
- voditi in nadzirati usposabljanje za program šest sigm,
- poučiti večkratne vodje projektov 6 σ ,
- usklajevati projekte in vire,
- izboljšati celotno učinkovitost izvajanja projekta,
- prispevati mnenje o metodologiji šest sigm,
- usklajevati dejavnosti za kompletiranje projekta,
- sodelovati v več projektih,
- spodbujati druge v smeri skupne vizije,
- poročati o viziji šest sigm,
- delovati kot agent za spremembe pri usklajevanju novih idej in najboljših rešitev in
- potrditi končane projekte.

Vodje projektov 6 σ so ustrezno usposobljeni strokovnjaki za šest sigm, ki vodijo skupine izboljšanja, delajo na projektih in so mentorji *uporabnikom metod in orodij*. So tehnično usmerjeni posamezniki, dejavno vključeni v postopek organiziranja sprememb in razvoj le-teh. Poleg tega polni delovni čas delajo na projektih izboljšanja postopkov, po navadi kot vodje skupin ali pa dajejo potrebne podpore *uporabnikom metod in orodij*. Neposredno so deležni podpore predstavnikov vodstva, lastnikov postopkov in vrhovnega vodstva. Vodje projektov 6 σ morajo:

- razvijati in voditi nadroben načrt projekta,
- izbrati, poučevati in uporabljati najbolj učinkovita orodja,
- načrtovati in voditi sestanke skupine,
- voditi skupino v smeri učinkovite uporabe metodologije šest sigm,
- nadzirati zbiranje in analizo podatkov,
- opazovati kritične dejavnike za uspeh,
- izračunati prihranke projekta,
- slediti in poročati o mejnikih ter nalogah,
- dokončati 4 do 6 projektov na leto,
- biti mentorji uporabnikom metod in orodij,
- voditi spremembe in
- širiti vizijo šest sigm.

Uporabniki metod in orodij. Manj široko usposobljeno osebje programa šest sigm je vključeno v projekte izboljšanja postopka kot člani skupine ali vodje skupin. Od njih pričakujemo, da razumejo orodja in metode šest sigm in so hkrati sposobni voditi

A master black belt is a fully-trained business leader who promotes and leads the deployment of Six Sigma in a significant area of the business. This is the highest level of technical and organizational proficiency. The master black belt provides technical leadership of the Six Sigma program. Thus, they must have specific black belts' knowledge, as well as an understanding of the mathematical theory on which the statistical methods are based [3]. The master black belt should provide help to black belts in unusual or specific situations and, whenever possible, training in Six Sigma tools and methodologies should be conducted by the master black belt. Master black belts responsibilities are to:

- formulate business strategies with senior management,
- aid in selecting projects that fit strategic business needs,
- conduct and oversee Six Sigma training,
- coach multiple Black Belts,
- leverage projects and resources,
- improve overall project execution efficiency,
- share Six Sigma methodology expertise,
- coordinate activities to drive project completion,
- participate in multiple projects,
- motivate others toward a common vision,
- communicate the Six Sigma vision,
- function as a change agent to leverage new ideas and best practices,
- approve completed projects.

Black belts are fully-trained Six Sigma experts who lead improvement teams, work on projects and mentor green belts. They are technically oriented individuals, actively involved in the process of organizational change and development. Furthermore, they are full-time professionals who work on process-improvement projects, usually as a team leader or providing needed support to green belts. Champions and leadership directly support black belts. A black belt has to:

- develop and manage a detailed project plan,
- select, teach, and use the most effective tools,
- schedule and lead team meetings,
- lead the team in the effective utilization of the Six Sigma methodology,
- oversee data collection and analysis,
- monitor critical success factors,
- calculate project savings,
- track and report milestones and tasks,
- complete four to six projects a year,
- mentor Green Belts,
- lead change,
- disseminate the Six Sigma vision.

Green belts. Less-extensively trained Six Sigma personnel involved in process-improvement projects as a team members or team leaders. They are expected to understand Six Sigma tools and methods and, at the same time, be capable of managing Six

projekte šest sigm od zasnove do konca. Naj bi približno 20 odstotkov delovnega časa porabili za delo na projektih [11]. Uporabniki metod in orodij so v glavnem odgovorni za:

- sodelovanje pri oceni postopka,
- zbiranje podatkov,
- sprejemanje in kompletiranje vseh določenih podrobnih dejavnosti,
- uvajanje izboljšav in
- sodelovanje na vseh sestankih.

Infrastruktura šest sigm je prikazana na sliki 4.

3 UVAJANJE PROJEKTA ŠEST SIGM

Uspešen razvoj projekta šest sigm vključuje številne usklajene podrobnosti [3]. Program uvajanja se mora začeti pri vodstvu. To naj bo seznanjeno z glavnimi načeli in orodji, ki so potrebni za uspešen razvoj programa šest sigm. Vodstvo uvaja spremembe v organiziranju poslovanja podjetja in hkrati naredi korake v smeri inovativnega in kreativnega delovnega okolja. To vključuje zmanjšanje števila ravni v organizacijski hierarhiji, odstranjevanje postopkovnih ovir za eksperimentiranje in spremembe ter vrsto drugih sprememb, sprejetih za lažje preskušanje novosti brez strahu pred posledicami.

Poslovni postopki so razviti na temelju sklenjenih povezav z odjemalci, zaposlenimi in dobavitelji. To vključuje razvoj ustreznih metod za ocenjevanje vstopnih veličin odjemalcev, dobaviteljev in zaposlenih. Kulturne, politične in postopkovne ovire za uspeh naj bi bile prepoznane.

Potrebe po usposabljanju so zagotovljene znotraj podjetja, usposabljanje od vrha navzdol pa je vedeno z orodji, metodami in filozofijami za izboljšanje sistema.

Sigma projects from concept to completion. Green belts should spend approximately 20% of their working time on projects [1]. Green belts are mainly responsible for:

- process expertise contribution,
- data collection,
- acceptance and completion of all assigned action items,
- improvements implementations,
- participation in all meetings.

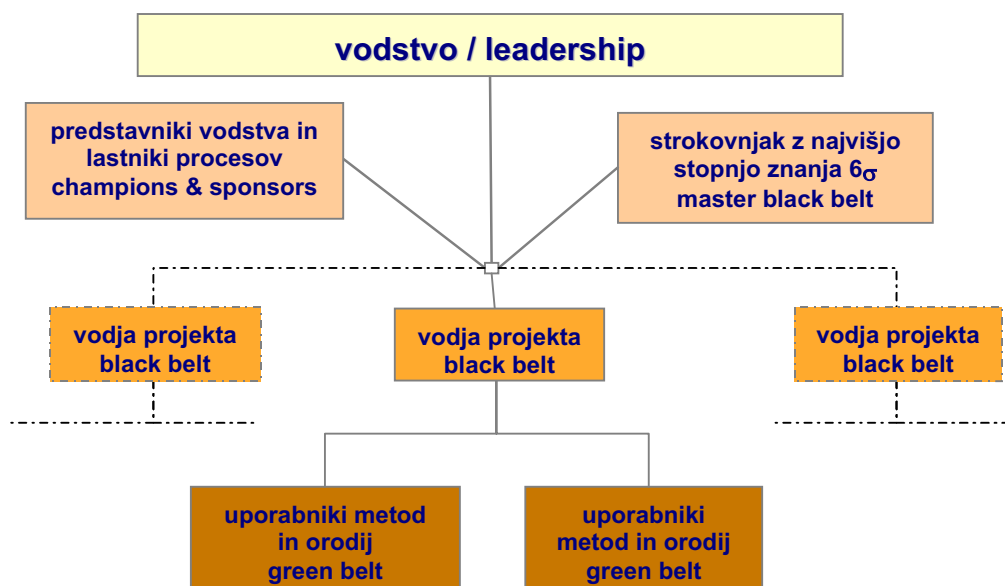
The Six Sigma infrastructure is illustrated in Fig. 4.

3 SIX SIGMA IMPLEMENTATION

Successful Six Sigma deployment involves several high-leverage items [3]. Program implementation has to begin with leadership. Leadership should be trained in the main principles and tools necessary for successful deployment of Six Sigma. Leadership initiates changes in the company's business infrastructure, and, at the same time, makes steps toward a innovative and creative working environment. This involves a reduction in the number of levels in the organizational hierarchy, the removal of procedural barriers to experimentation and change, and a variety of other changes designed to make it easier to try new things without fear of reprisal.

Business processes are developed to establish close communication with the customer, the employees, and the suppliers. This includes developing appropriate methods for assessing the input of customers, suppliers and employees. Cultural, political and procedural obstacles to success should be identified.

Training needs are assessed within a company, and top-to-bottom training is conducted in system improvement tools, techniques, and philosophies.



Sl. 4. Sestava šest sigm

Fig. 4. The Six Sigma infrastructure

Okolje za stalno izboljšanje postopka je razvito skupaj s sistemom kazalcev za opazovanje napredka in uspeha.

Poslovne postopke, ki naj bi bili izboljšani, izbira lahko vodstvo ali posamezniki z globokim poznavanjem postopka na vseh stopnjah organizacijske hierarhije.

Projekte šest sigm vodijo posamezni zaposleni, skupine pa uporabniki metod in orodij ob pomoči vodij projektov 6σ.

Zato so ključni dejavniki uspeha programa šest sigm, naštetih v naslednjem vrstnem redu po pomembnosti [3]:

- izvršilno vodstvo,
- osredotočenje na odjemalca,
- strateški cilji,
- izbira projekta,
- usposabljanje in izvajanje,
- viri,
- izbira vodje projekta 6σ,
- metrike in povratna zveza,
- kultura,
- komunikacije,
- načrtovanje in
- rezultati.

4 VODENJE PROJEKTA ŠEST SIGM

Projekti stalnih izboljšav postopka šest sigm so vodeni od zasnove do konca, skozi pet korakov ali faz vodenja projekta, imenovanih z začetnicami DIAIK (sl. 5). Teh pet korakov ali faz vodenja projekta so: definiraj, izmeri, analiziraj, izboljšaj, krmili (nadzoruj).

An environment for continuous process improvement is developed, along with a system of indicators for monitoring progress and success.

Business processes that need to be improved are chosen by management and individuals with intimate process knowledge at all levels of the organization's hierarchy.

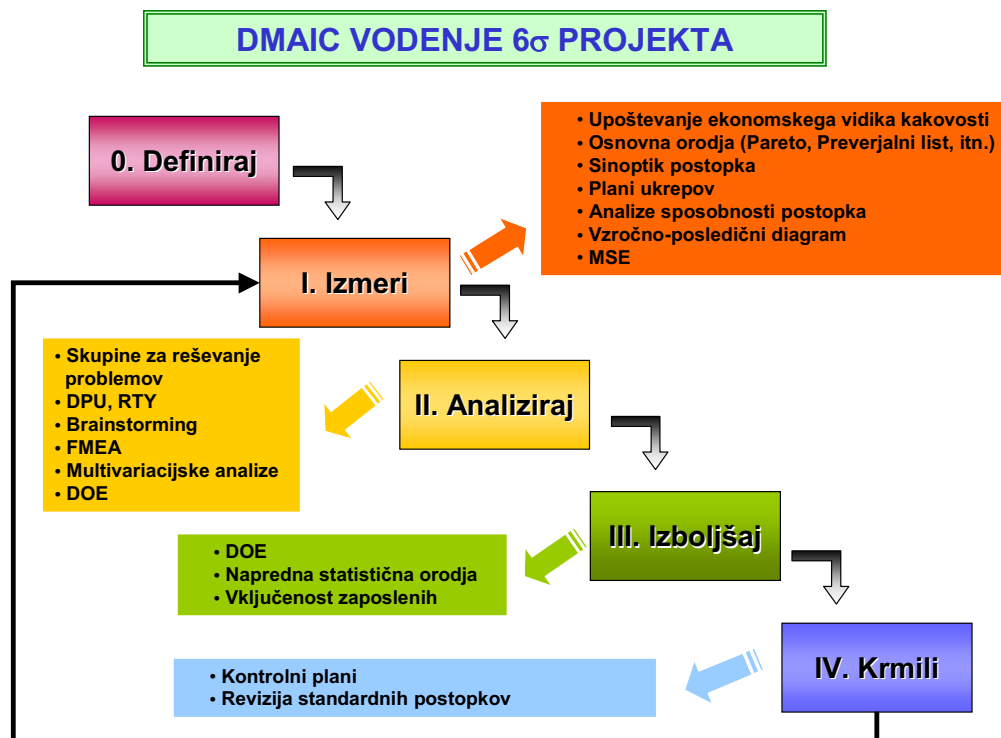
Six Sigma projects are conducted by individual employees and teams lead by green belts and assisted by black belts.

Hence, the key drivers of the success of Six Sigma in descending order of importance are [3]:

- executive leadership,
- customer focus,
- strategic goals,
- project selection,
- training and execution,
- resources,
- black belt selection,
- metrics and feedback,
- culture,
- communications,
- planning,
- results.

4 SIX SIGMA PROJECT MANAGEMENT

Six Sigma projects of continuous process improvement are led, from concept to completion, through five project-management steps or phases named DMAIC, Fig. 5. DMAIC is an acronym, which stand for the five steps of project management: Define, Measure, Analyze, Improve, Control.



Sl. 5. Koraki vodenja projekta DIAIK

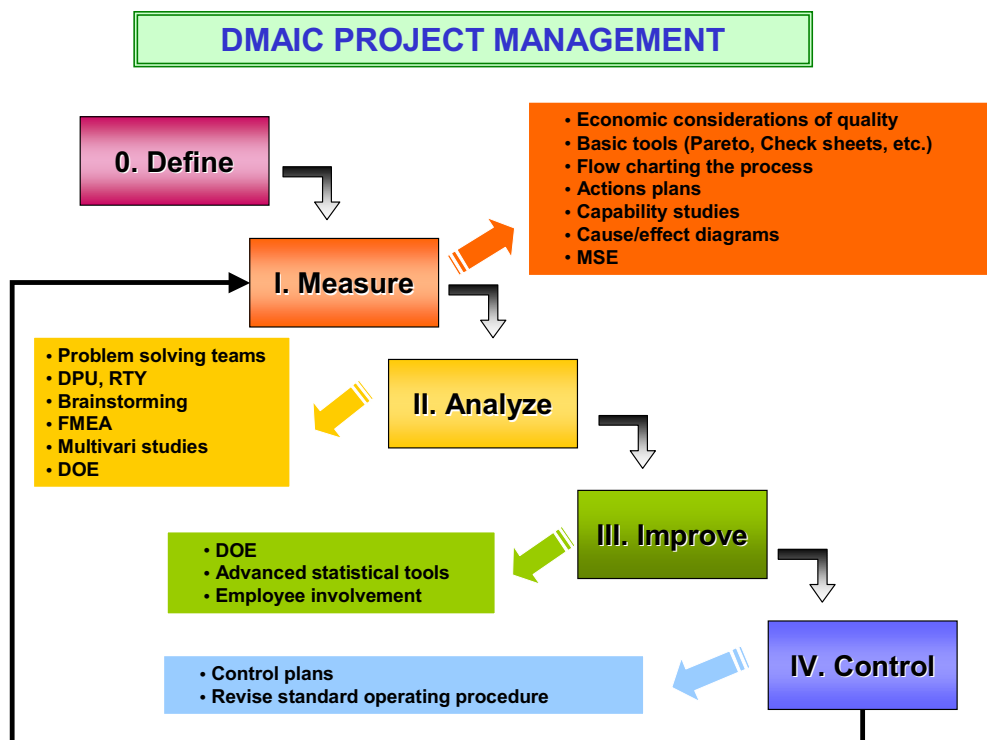


Fig. 5. The DMAIC project management steps

Definiraj je prvi korak, v katerem se določijo meje projektov. Določene so ključne vhodne in izhodne spremenljivke postopka kakor tudi notranji in zunanji odjemalci ter dobavitelji. V tej fazi naj bi odgovorili na vprašanje: *kdo so odjemalci in kaj so njihove prednosti?*

Skozi fazo **izmeri** naj bi določili trenutne razmere glede na definirane projektne cilje. Ključne vhodne in izhodne spremenljivke so stopnjevane glede na njihov pomen za postopek. Začetne meritve se izvajajo za zagotovitev ustreznih informacij za nadaljnjo analizo. V tej fazi naj bi odgovorili na vprašanje: *kako je predstavljen postopek in kako ga merimo?*

V fazi **analiziraj**, ki sloni na zbranih informacijah, uporabljamo številna statistična orodja za raziskovanje in določitev povezav med vhodnimi in izhodnimi spremenljivkami. Odgovorili naj bi na vprašanje: *kaj so najbolj pogosti vzroki za napake?*

V fazi **izboljšaj** uporabljamo in uvajamo možne izboljšave postopka in storitve. V tej fazi izvajamo široko zasnovane raziskave s ključnimi spremenljivkami z namenom, da bi dosegli optimalne rezultate. Dali naj bi odgovor na vprašanje: *kako odstraniti vzroke napak?*

Zadnja faza kroga izboljšanja postopka DIAIK je **krmili** (nadziraj). V tej fazi se ocenjujejo uvedene izboljšave postopka in doseženi rezultati projektov. Na vprašanje – *kako vzdrževati izboljšave?* naj bi odgovorili v tej končni fazi postopka DIAIK.

V primeru, ko cilji projekta niso doseženi, fazi krmili sledi faza izmeri in nadaljnji napor za izboljšanje. Prav tako se vodstvo lahko odloči končati projekt

Define is a first step in which project boundaries are defined. Key input and output variables for the process are determined, as well as internal and external customers and suppliers. In this phase it is necessary to answer the questions: *who are the customers and what are their priorities?*

During the **measure** phase a current situation in the process should be specified according to defined projects goals. Key input and output variables are graded according to their importance for a process. Initial measurements are conducted to provide valuable information to further analysis. The question: *How is the process performing and how is it measured?* Should be answered in this phase.

In the **analyze** phase, based on gathered information, several statistical tools are used to explore and establish relationships between input and output variables. The question: *what are the most important causes of the defects?* Should be answered.

During the **improve** phase possible process and service improvements are exploited and implemented. In this phase extensive experimentation with key variables takes place to achieve the optimum results. The answer to the question: *How to remove the causes to the defects?* should be given.

The last phase of the DMAIC process-improvement circle is **control**. In this phase the implemented process improvements and the achieved results from the projects are evaluated. The question: *How to maintain the improvements?* Should be answered in this final phase of DMAIC process.

If the project goals are not achieved, the after Control phase follows the Measure phase, and efforts for further improvements. Also, leadership can decide

pred koncem, če se izkaže, da nadaljnje delo pri projektu ne bo dalo uspeha. Poleg vseh prej omenjenih komponent uspeha šest sigm, so prav tako zelo pomembni še: zgodnja komunikacija s zaposlenimi, merilni sistemi in infrastruktura informacijske tehnologije [6].

5 SKLEP

Namen postopka šest sigm je izboljšati učinkovitost organizacije kakor tudi učinkovito prepoznati potrebe odjemalca, končno ustvarjanje ekonomske blaginje za odjemalca in dobavitelja. Nadalje, močan poudarek postopka šest sigm je ustvarjanje odlične infrastrukture za podporo sprememb prečnih povezav znotraj organizacije. Uvajanje programa šest sigm in razvoj glavnih načel in metodologij je težavna naloga, ki mora izvirati iz vodstva. Vodstvo je močna oporna točka, od katere je odvisno uspešno uvajanje programa šest sigm.

Kot relativno nova metodologija kakovosti (vsaj v našem prostoru) se šest sigm že odlikuje s številnimi oblikami prednosti. Podjetja, ki so uvedla postopek šest sigm, pridobivajo prednosti predvsem z

- izboljšano učinkovitostjo / finančno,
- izboljšanim zadovoljstvom odjemalcev in
- izboljšanim razvojem izdelkov.

Postopek šest sigm je učinkovita pot za ugotovitev, kje so največje potrebe postopka in katere so šibke točke postopka. Prav tako postopek šest sigm zagotavlja merljive indikatorje in ustrezne podatke za analizo.

Čeprav je program šest sigm večletni napor, so doseženi rezultati poplačilo, osnutek sam pa spreminja vlogo in pomen kakovosti.

6 LITERATURA

6 REFERENCES

- [1] Smith, G. (1993) Benchmarking success at Motorola, *Copyright Society of Management Accountants of Canada*.
- [2] Murdoch, A. (1998) Six out of six?, *Accountancy*, No 2.
- [3] Breyfogle III, F. W., et al. (1999) Managing Six Sigm, *John Wiley & Sons, Inc.*, New York.
- [4] Fortenot, F, et al. (1994) Six Sigm in customer satisfaction, *Quality Progress*, No 12.
- [5] Tadikamala, P. (1994) The confusion over Six Sigm quality, *Quality Progress*, No 11.
- [6] Henderson, K. M., et al. (2000) Successful implementation of Six Sigm: benchmarking General Electric Company, *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 7, No 4.
- [7] Bolze, S. (1998) A Six Sigm approach to competitiveness, *Transm. & Distribution World*, No 8.
- [8] Murphy, T. (1998) Close enough to perfect, *Ward's Auto World*, Vol. 34, No 8.
- [9] Paul, L. (1999) Practice makes perfect, *CIO Enterprise*, Vol. 12, No. 7, Section 2.
- [10] Pyzdek, T. (1999) The Six Sigm Revolution, *Quality America Inc*.
- [11] Pavletić, D., et al. (2001) Aiming for excellence, *CIM 2001*, Lumbarda, Korčula.

to finish the project without completion if it is clear that further work on the project will not result in success. In addition to all of the aforementioned components of Six Sigma success, early communication to employees, measurement systems, and an information technology infrastructure are also important [6].

5 CONCLUSION

The objective of Six Sigma is to improve organization efficiency as well as an effectiveness in meeting customer needs, ultimately creating economic wealth for the customer and provider. Furthermore, Six Sigma's strong point is the creation of an infrastructure to support cross-functional changes within an organization. The implementation of Six Sigma and the deployment of the main principles and methodologies is a difficult task that has to originate from leadership. Leadership is a strong supporting point upon which the successful implementation of Six Sigma depends.

As a relatively new quality methodology Six Sigma has already resulted in several benefit dimensions. Companies that have applied Six Sigma gain benefits primarily through:

- improved performance / financial success,
- improved customer satisfaction,
- improved product development.

Six Sigma is an effective way to find out where are the greatest process needs and which are the softest points in the process. Also, Six Sigma provides measurable indicators and adequate data for the analysis.

Although Six Sigma is a multi-year undertaking, the results are rewarding and the concept are changing the quality profession.

Naslova avtorjev: mag. Duško Pavletić
Tehnički fakultet
Sveučilišta u Rijeci
Vukovarska 58
51000 Rijeka, Hrvatska
duskop@riteh.hr

doc.dr. Mirko Soković
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
mirko.sokovic@fs.uni-lj.si

Authors' Addresses: Mag. Duško Pavletić
Faculty of Engineering
University of Rijeka
Vukovarska 58
51000 Rijeka, Croatia
duskop@riteh.hr

Doc.Dr. Mirko Soković
Faculty of Mechanical Eng.
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
SI-1000 Ljubljana, Slovenia
mirko.sokovic@fs.uni-lj.si

Prejeto: 22.11.2001
Received:

Sprejeto: 23.5.2002
Accepted:

Informacijska podpora pospeševanju postopkov (projektov)

The Acceleration of Processes (Projects) Through Information Technology Support

Marjan Pogačnik - Stane Štefančič - Janez Kopač

V zadnjem desetletju je očiten izredno velik poudarek podjetij za izboljševanje postopkov. V ta namen so se začele uporabljati tudi nove tehnike, predvsem na področju vodenja in informacijske podpore postopkov. Članek v prvem delu prikazuje osnovne mehanizme vpliva informacijske podpore na hitrost postopkov, v drugem pa je prikazan primer takšne informacijske podpore podjetja Genis. Zaradi izredne raznolikosti postopkov in uporabnikov je nujno, da je takšno orodje prilagojeno posameznim kombinacijam. Le tako se namreč omogočijo učinkovite in hitre posege. Rešitev že uspešno uporablja več slovenskih podjetij.

© 2002 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: zahteve tržne, projektno vodenje, podpora informacijska, okolje večopravilno)

Over the last decade there has been a lot of emphasis on process improvement by introducing new management techniques and informational support. In the first part this paper presents the basic mechanisms that affect the speed of processes. In the second part an example of a practical implementation of information technology (IT) application created by Genis is given. Due to the wide variety of processes and users the tool has to have the ability to adapt to the different processes and the different stakeholders in order to allow effective and rapid actions. This solution has been successfully implemented in a number of Slovenian companies.

© 2002 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: time-to-market, project management, informational support, multi-task environment)

0 UVOD

Ko govorimo o nekem postopku ali projektu kot posebni obliki postopka (npr. uvajanje novega izdelka), potem le-tega lahko razdelimo v več vzporednih postopkov:

- osnovni postopki:
 - postopki izdelka
- podporni (pomožni) postopki so:
 - organizacijski postopki (postopek izdelka mora biti podprt z določenimi dejavnostmi na področju organizacije, ki pa so lahko zelo različne v času postopka: enkrat so to bolj postopki v okviru delovnih skupin, drugič skupin, tretjič spet bolj postopki med funkcijskimi oddelki itn.;
 - informacijski postopki (zbiranje, distribucija, avtorizacija dokumentov, pregledovanje itn.)
 - kadrovske postopki (na različnih področjih se izvajajo različni postopki za doseg različnih rezultatov – vse to pa zahteva znanje)

Vsem tem postopkom lahko izmerimo hitrost. Za skrajšanje celotnega postopka je potrebno, da imajo vsi postopki vsaj podobno hitrost. Vodenje je izredno pomembno pri obvladovanju podpornih postopkov, saj ima lahko izjemen vpliv na hitrost

0 INTRODUCTION

When a process or project, e.g. the process of launching a new product, is analyzed it can be divided into several simultaneous processes:

- the basic process:
 - product process
- the supporting processes:
 - the organizational process (the product process has to be supported by organizational activities that might change during the process: workgroups, project teams, functional departments, etc.)
 - the informational process (collecting, distributing, authorizing of documents, reviews, etc.)
 - the human-resource process (at different stages different people are performing different activities in order to achieve different results)

All these processes can be characterized by their speed. In order to shorten the time of the complete process it is desirable that all the processes have a similar speed, at least to the extent that this is possible. From the management point of view, special

osnovnega postopka: npr. uvajanje novega izdelka. V primeru, da podporni postopki tečejo hitreje kakor osnovni postopek, lahko pričakujemo pospešitev tudi glavnega postopka. Pa tudi nasprotno, če imajo podporni postopki manjšo hitrost od osnovnega, se bo hitrost osnovnega postopka prav gotovo zmanjšala.

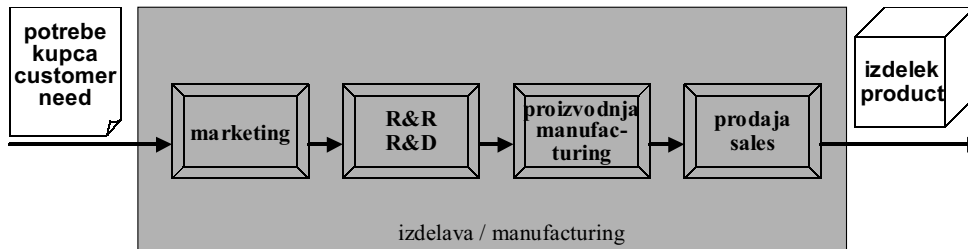
To lahko prikažemo s praktičnim primerom. Skupina, katere naloga je uvesti na trg nov izdelek, ima lahko odlične posameznike z veliko strokovnega znanja, toda zaradi neprilagodljive ali neprimerne organizacije dela, pomanjkanja komunikacije in neustrezne sestave skupine (glede na trenutne dejavnosti), se bo hitrost osnovnega postopka (uvedbe izdelka) zmanjšala (kljub temu, da so postavljeni vsi pogoji za nemoten potek osnovnega postopka: oprema, strokovno znanje itn.) [1].

1 MEDSEBOJNI VPLIVI POSTOPKOV

Postopek izdelka se začne z definicijo želja kupca in se konča, ko je izdelek ponujen (prodan) kupcu. Znotraj postopka se običajno pojavljajo različne funkcije (sl. 1).

Ta postopek običajno popišemo s karakteristikami postopka izdelka, npr.:

- čas za dokončanje razvoja (do izdelave kosovnice),
- čas do vpeljave izdelka v serijsko proizvodnjo
- itn.



Sl. 1. Splošen primer postopka izdelka
Fig. 1. A common example of a product process

Toda ta postopek (izdelka) se izvaja hkrati z informacijskim postopkom (ki obsega tok informacij skozi trženje, razvoj, proizvodnjo in prodajo), ki vsebuje: poročila, zapisnike, analize, predpise, pogodbe, zamisli itn.

Lahko ugotovimo, da sta oba postopka tesno povezana in medsebojno odvisna. Glavni cilj obeh postopkov je omogočiti kar najhitrejšo uvedbo izdelka na trg [2].

Za pospešitev postopka izdelka lahko uporabimo običajne metode: povečanje virov (kadrov, denarja), uporabo novih orodij za razvoj itn. Problem je v tem, da so ti ukrepi običajno zelo lokalni in zato se nagibajo k ustvarjanju lokalnih optimumov in s tem tudi ozkih grl.

Alternativno lahko uporabimo tudi popolno projektno organizacijo. Toda podjetja po navadi nimajo

attention has to be given to supporting processes that can have great influence on the speed of the main process, e.g. launching a new product. In the case that supporting processes are performed at a greater speed than the basic process, the speed of the basic process can increase. Conversely, if the supporting processes have a lower speed than the basic process, the speed of the basic process will definitely decrease.

This can be illustrated with a practical example. The team that has to launch a new product can have great professional knowledge, however, due to inflexible or inadequate organization, lack of communications and inappropriate composition for current tasks, the speed of the main process (product launching) will be decreased [1].

1 THE PROCESS INTERACTION

The product process starts with customer needs and ends when the product is offered to the customer. The process usually includes several functions (see Figure 1).

This process is usually characterized only by the product's process characteristics, for example:

- time to finish R&D (to build the bill of material),
- time to introduce the product into serial production,
- others.

However, this process is performed simultaneously with the informational process (the flow of information through marketing, R&D, manufacturing and sales), which consists of the following: reports, memos, analysis, orders, contracts, ideas, etc.

Both processes are closely linked and interdependent; the main purpose of both processes is to enable a quick product launch [2].

To speed up the product process, conventional methods can be used: increasing resources, using new design tools, etc. However, these measures are usually very localized and therefore inclined to increase bottlenecks.

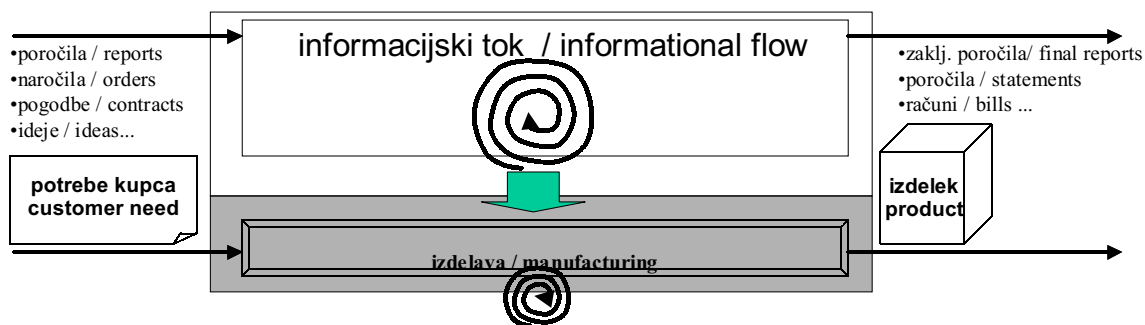
Alternatively, a planned organization can be used. However, companies do not always have the possibility to allocate people to the project for 100%

dovolj zaposlenih, da bi te lahko 100-odstotno razporedili na projekt. Toda če ljudje, ki delajo pri projektu, ne bodo tesno povezani in nameščeni, bo bistveno premajhna komunikacija in koordinacija (v okviru organizacijskega postopka). Rezultat bo počasnejši organizacijski postopek, ki lahko celo zmanjša hitrost informacijskega toka in postopka izdelka.

V tem primeru postane pospešitev informacijskega toka še posebej pomembna in zelo močno orodje, ki omogoči pospešitev celotne izdelave.

of the time. If people working on a project are not closely linked and located the organizational processes will suffer from a lack of communication and coordination. The outcome will be slower organizational processes that can decrease the speed of the informational flow and the product process.

In this instance the acceleration of informational flow becomes especially important and a very powerful way of accelerating the entire product process.



Sl. 2. Medsebojno vplivanje med informacijskim postopkom in izdelavo
Fig. 2. Interaction between informational and manufacturing

V ta namen lahko uporabimo moderna informacijska orodja (posebno tista, ki podpirajo delo z dokumenti), ki slonijo na tehnikah modernega vodenja. Z njimi lahko podpremo celoten postopek, od potreb trga do tega, da je določen izdelek ponujen trgu v okolju, kjer poteka več takšnih nalog.

To achieve this modern info-tools (especially those that are supporting document management) based on manufacturing management techniques can be implemented in order to support the complete process from the customer needs until the product is offered to the customer in a multi-task environment.

2 LASTNOSTI INFORMACIJSKEGA POSTOPKA

2 THE ATTRIBUTES OF THE INFORMATIONAL PROCESS

Potek podpornih postopkov je odvisen od panoge (gradbeništvo, elektroidustrija, storitve) kakor tudi od obsega (kratke naloge, velik projekt). Vendar pa je osnovni potek (ogrodje) enak za vse. Postopek se vedno začne z inicializacijo ali pa odločitvijo, s katero se potrди ideja o izdelku. Inicializaciji sledi načrt, v katerem se napove vse glavne lastnosti postopka (časovni okvir, viri, cilj). V fazi izvedbe se izdelava končni izdelek. Temu sledi postopek končevanja (sklepno poročilo).

The supported process-flow depends on the nature of the branch (construction, electronics, services,...) as well as on its comprehensiveness (short task, greater project,...). Nevertheless, the basic process-flow is the same for all of them. The process always starts as an initialization process or a decision where the idea of launching a product is accepted. Initialization is followed by a plan, where all the main attributes of the process are predicted (time limit, resources, scope). In the realization phase the end product is produced out, while at the end the closing processes have to be performed (closing report,...).

Da bi zagotovili čim bolj učinkovito vključevanje različnih udeležencev v postopku, je treba informacijski tok razčleniti glede na tri največje skupine uporabnikov:

To enable the contribution of the different stakeholders who are involved in this process to be as effective as possible the informational flow has to be segmented according to the three main stakeholder groups:



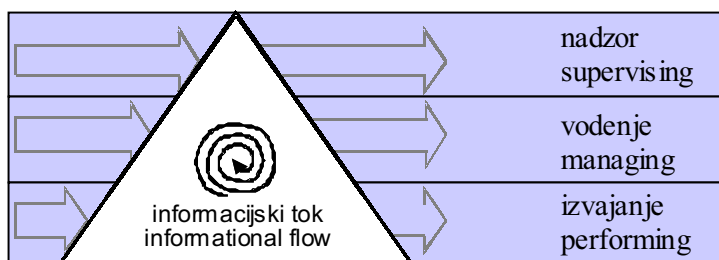
Sl. 3. Osnovni potek (ogrodje) postopka (projekta) [3]
Fig. 3. The basic process (project) [3]

- nadzorna raven
- vodstvena raven
- izvajalska raven

Te tri skupine imajo bistveno različne medsebojne interese. Da bi bil njihov prispevek k postopku izdelka čim večji, jim mora informacijski postopek ponuditi izbrane informacije (in ne kar vseh) o stroških, tehničnih risbah itn. glede na raven [4]. Posamezna skupina ali udeleženec mora biti tudi selektivno vključen v sam postopek (kot podpisnik, avtor dokumenta itn.).

- the supervisory level
- the managing level
- the performing level

These three groups have significantly different interests. In order to support their activities in the product process the informational process has to give them selected information (about the costs, technical drawings, etc.) according to the level, and they have to be selectively involved in the process (as a signer, document author, etc.) [4].



Sl. 4. Razčlenitev informacijskega toka
Fig. 4. The segmentation of informational flow

Na nadzorni ravni se večinoma izvajajo odobritve ter prikazujejo periodični podatki o rokih, stroških in trenutnih rezultatih.

Na vodstveni ravni se ne izvajajo samo odobritve, ampak tudi ustvarjajo dokumenti različnih tipov (začeni s načrtom) in poročila. Prikazujejo pa se predvsem podatki o: natančnejši opredelitvi rokov, stroškov in trenutnih rezultatih (ustvarjajo se dokumenti in poročila, zapiski o problemih, ki so se pojavili itn.).

Na izvajalski ravni se predvsem izdelujejo različni tipi dokumentov in poročil. Za to raven je potrebno prikazovanje podatkov o rokih, stroških in ciljih za posamezno dejavnost, v katero je posamezen izvajalec vključen, pa tudi vpogled v rezultate (dokumente) drugih sodelavcev, ki delajo na istem projektu.

Podatki morajo biti dostopni v eni minuti, morajo imeti jasno izkaznost (kdo jih je ustvaril, kdaj). To velja za vse uporabnike hkrati.

Če bodo vse te zahteve izpolnjene, bo informacijski postopek pospešil izvedbo postopka izdelka [3].

On the supervisory level it is mainly the approvals that are performed and the common periodical data concerning time limits, costs and present results that have to be delivered.

On the managing level it is not only the approvals but also the creation of different types of documents (starting with the plan) and reports that are performed. The data that have to be delivered to the managing level consist primarily of the following: detailed data about time limits, costs and present results (documents and reports created, problems that occurred).

On the performing level it is the creation of different types of documents and reports that is carried out. The requested data are composed of time limits costs and the results of activities in which the individual is involved as well as insight into the results (documents) of other participants.

The data have to be accessible within one minute and have to be unambiguous in their identity for all stakeholders at a certain time.

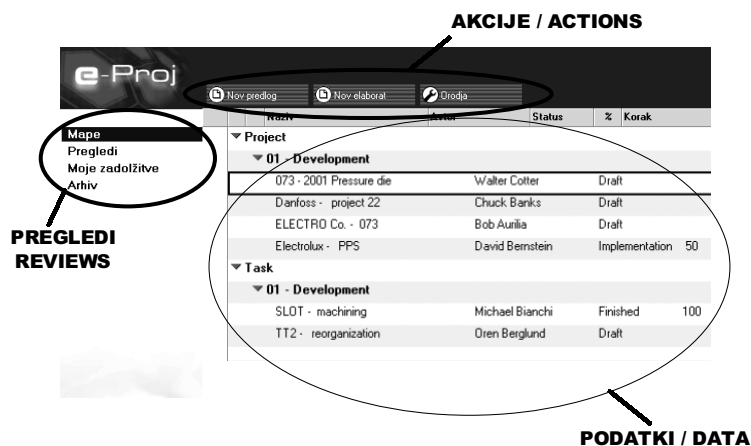
This can ensure that the informational process will accelerate the product process [3].

3 ZNAČILNOSTI PROGRAMA (E-PROJ)

Program v celoti podpira zgoraj opisan postopek od inicializacije do konca postopka tako, da deluje segmentno (glede na raven uporabnika) [6]. Ker program teče na serverju, jo lahko uporabljajo vsi uporabniki v podjetju, pa tudi zunaj njega, kar omogoča medmrežna verzija. Zaradi različnih ravni uporabnikov se tudi informacije podajajo v več ravneh z avtorizacijo vsake posamezne informacije (dokumenta) glede na raven uporabnika. Za vse uporabnike pa je vhod v program enak (sl. 5).

3 THE CHARACTERISTICS OF THE APPLICATION (E-PROJ)

The application completely supports the above-described process from initialization until the process is closed, in a segmentation approach [6]. As a result of a server installation the application can be used by all stakeholders in the company and also outside the company by using the Web version. Because of the different levels of the stakeholders the information is also multi-leveled and authorized according to the user's level. For all the stakeholders the entrance is identical (see Figure 5).



Sl. 5. Vstop v program e-Proj
Fig. 5. The entrance in the e-Proj application

Vstopno okolje sestoji iz:

- dejavnosti: kjer se prikažejo vse dejavnosti, ki jih trenutno lahko uporabljamo (tudi glede na avtorizacije),
- pregledov, kjer je mogoče različno pregledovanje podatkov o postopku (projektu), glede na interese uporabnikov
- podatkov, kjer se prikažejo izbrani podatki.

Vsak v podjetju lahko izdela nov predlog (za nalogo, projekt), toda postopek potrjevanja takšnega predloga je vnaprej določen (nastavljen od administratorja – glede na interne organizacijske predpise).

Pregledujemo lahko po mapah. Tako lahko pregledamo mapo posameznega postopka (projekta), ki vsebuje vse podatke o izbranem postopku (projektu). Primerjavo in pregled vseh postopkov (projektov) lahko izvedemo z uporabo “Pregledov”, kjer lahko v različnih postopkih pregledujemo podatke po nekem skupnem kriteriju – npr. dokumentaciji (pregledujemo določen tip dokumentacije v vseh postopkih/projektih). Glede na to, da smo v okolju, kjer hkrati teče več nalog in projektov, lahko posameznik najde vse dejavnosti, pri katerih nastopa v kakršnikoli vlogi, pod “Moje zadolžitve”. Ko je postopek končan, se celoten postopek (z vsemi podatki) shrani v arhivsko bazo.

V pregledih se prek vseh postopkov (projektov/nalog) v podjetju prikazujejo podatki glede na izbran kriterij. Vendar pa so vsi podatki prečiščeni glede na uporabnika (nadzornik, vodja, izvajalec) in njegovo vlogo v postopku (projektu) ter v podjetju. Zaradi tega je obseg prikazanih podatkov omejen in prirejen za posameznega uporabnika

4 PRIMER UPORABE PROGRAMA V ORODJARSTVU

Postopek izdelave (uvajanja) novega izdelka je vsakodnevni postopek v orodjarnah. Postopek od prvega stika s kupcem do plačila za celoten posel teče tako kakor je bilo nakazano na sliki 3 in ga

The entrance neighbourhood consists of:

- actions: where all currently possible actions (also according to the authorizations) are present
- reviews: where different ways of examining the process (project) data, according to the stakeholder interests, are possible
- data: where the selected data are shown

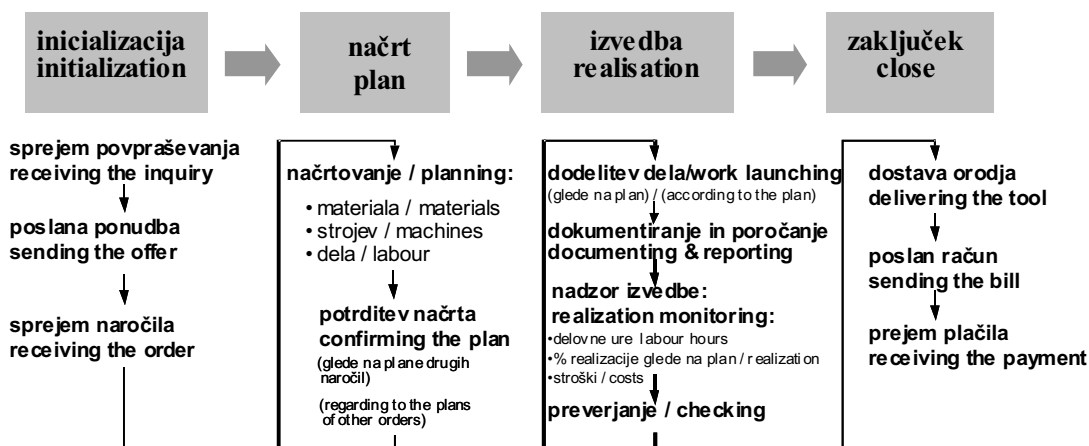
Everybody in the company can create a new proposal, however, the process of approval is fixed by the application (set up by the administrator according to the organizational regulations).

A review can be made by inspecting a map of a particular process (project). The map contains all the data about a particular process (project). The comparison and review of all processes (projects) can also be made through “Category” where different processes are listed according to their common criteria e.g.: documentation. All the tasks in a multi-project environment where a particular stakeholder has to be involved, can be found by this stakeholder as “My tasks”. When the process is closed the complete process (with all the data) is saved as an archive database.

The data are shown according to the criteria, selected in “Review” for all processes (projects) in the company, which enables complete support for a multi-process (project) environment. However, all the data are filtered according to the stakeholder profile (supervisor, manager, performer) and his role in the process (project) and in the company. Therefore, the range of information is limited and adapted to a particular stakeholder.

4 AN EXAMPLE OF AN APPLICATION IN A TOOL-MAKING COMPANY

The process of launching a new product is a daily process in a tool-making company. The process, from the first contact with the customer until the payment for the completed business, fits the basic



Sl. 6. Postopek dela v orodjarni
 Fig. 6. The process in a tool-making company

lahko podrobneje popišemo tako kakor prikazuje slika 6.

Udeleženci tega postopka so:

- kupec,
- vodstvo podjetja (ki določi ponudbo, potrdi načrt, preverja realizacijo in konča postopek/posel),
- vodstvo postopka / projekta, ki načrtuje, razdeljuje in koordinira delo, dokumentira in poroča, spremlja realizacijo, skrbi za dobavo orodja),
- izvajalci, ki izvedejo delo, poročajo o poteku dela, stroških in urah za posamezno dejavnost.

V začetni fazi vodstvo zbira podatke in dokumente z namenom, da bi podalo pravilno ponudbo. Lahko odpremo nov predlog (naloge / postopka / projekta) in vsi podatki (dokumenti) se lahko že začnejo zapisovati na ta predlog, skupaj z osnovnimi podatki o organizaciji postopka (kdo je kupec, kdo je imenovan za vodjo projekta, kdo bo sodeloval pri izvedbi projekta itn.) [7].

Če se je začetna faza končala uspešno, s prejetim naročilom, je treba izdelati podroben načrt [8]. To izvede projektna skupina na čelu s projektnim vodjem. V ta namen bo izdelalo precejšnje število dokumentov. Vse dokumente

process (see Fig 3), and can generally be described as shown in Fig 6.

The stakeholders in this process are:

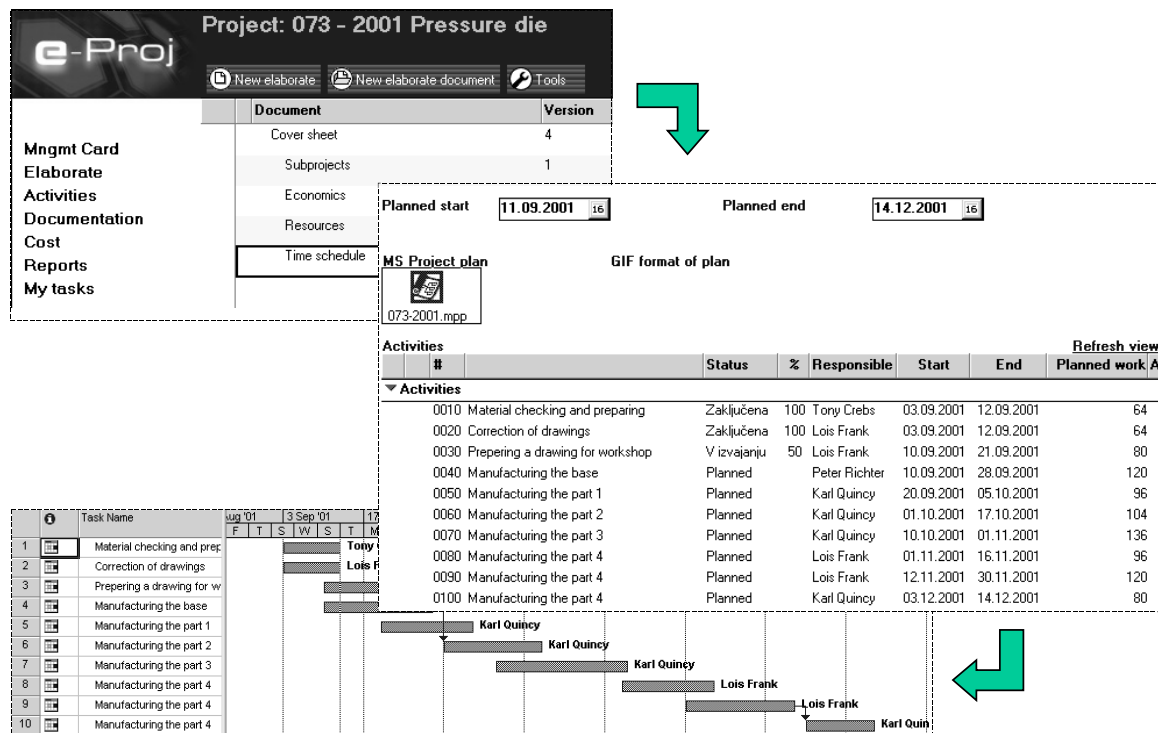
- the customer;
- the management of the company (which decides about the offer, confirms the plan, checks the realization and closes the process);
- the management of the process / project (which is planning, launching the work, documenting and reporting, monitoring the realization, taking care after tool delivery);
- the labour that is carrying out the planned job, reports about the job, costs and hours, used for particular activity.

In the initialization phase the management of the company collects data and documents in order to make a decision about the offer's requirements. A new proposal can be opened and all the data can be immediately entered together with the basic data about the process organization (who is the customer, who is declared as a project manager, who is anticipated to work on the project etc.) [7].

If the initialization phase is successfully closed with the accepted order, the final plan has to be created by the project team led by the project manager [8]. For this purpose a number of documents are created where all the documents can be saved on the project:

Basic data		Documents	
Code	073 - 2001	Ordered by	Electro Co.
Title	Pressure die	Supervisor	John Smith
Rank	Project	Leader	Walter Cotter
Type	01 - Development	Members	Bob Lucas Mark Johnson Danny Walton
Priority			
Purpose and objectives:			
The die is similar as the one from the job 023-2000 (see the drawings: [img], [img], [img]) It is estimated that due to repeated job app. 30% costs can be saved (therefor lower offer !!!).			
The last request was received on 01.08.2001 - see: Electro Co. - Request.doc For other documents see Tab "Documents"			

Sl. 7. Začetek postopka
 Fig. 7. Initialization of the process



Sl. 8. Načrtovanje projekta
Fig. 8. Planning of the project

lahko shranjujemo na projekt: načrt ur dela, načrt zasedenosti strojev, materialne potrebe, odobritve za delo izvedeno zunaj podjetja, risbe kupca, zapisniki, protokoli itn. Vsi zahtevani viri in predvideni rezultati morajo biti predstavljeni vodstvu, ki načrt potrdi.

V fazi realizacije je treba načrt izvesti. V tej fazi je posebno pozornost treba nameniti ujemanju med parametri načrta in izvedbe. Opravljeno delo, poraba materiala in zasedenost strojev – to so podatki, ki jih prek poročil poročajo izvajalci. Prav tako so na projekt zapisane vse spremembe pogodb, risb itn. Poleg tega se na projekt zapisujejo tudi vsi zapisniki, odločitve in drugi dokumenti. Vseskozi lahko vodstvo projekta spremlja spremembe parametrov, dokumentov itn. Če je treba, lahko takšen nadzor izvaja tudi vodstvo podjetja, ki pa projekt tako ali tako preverja na načrtovanih nadzornih točkah [9].

Ko je orodje izdelano, vodstvo projekta poskrbi za dostavo orodja kupcu in sklene projekt s poslanim računom in prejetim plačilom. Vsi dokumenti od računa do končnega poročila so shranjeni na projektu. Projekt je arhiviran, vendar so podatki uporabni tudi kasneje, predvsem kot baza znanja.

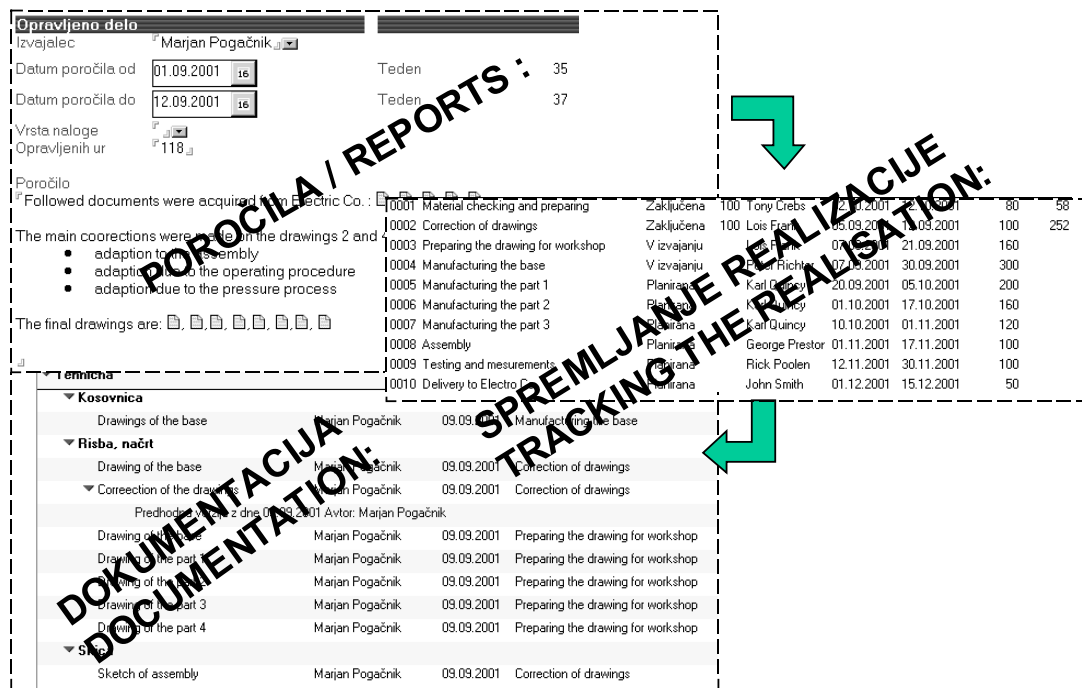
Program sili uporabnika, da izvede projekt glede na definiran načrt in osnovne parametre (cilje). Zaradi preglednosti, popolnosti informacij in prilagoditve uporabniku program tako pospešuje realizacijo, odločitve pa tudi akcije in ukrepe med

labour plan, machines plan, materials plan, agreements for the job performed outside the company, drawings from the customer, minutes, protocols, etc. All necessary resources and outcomes have to be completed and presented to the company management, which confirms the plan.

In the realization phase the plan is transformed into realization where special attention is given to the accordance between the parameters that are planned and those that are realized. The completed work, the material used and the machine occupation is reported by the operators via reports. Also, all the changes to the contracts, drawings, etc., have to be saved on the project. In addition to these documents, minutes, decisions and other documents related to the project can be inserted too. The deviation in these parameters is continuously observed by the project management. If required, such monitoring is also performed by the company management, which also monitors the project at checkpoints [9].

Once the tool is manufactured, the project management attends at the delivery of the tool to the customer and closes the project by sending the bill and receiving the payment. All the documents from the bill to the final report are saved on the project. Finally, the project is archived, however, the data are used to build the knowledge database.

The application forces the user to perform the project according to the defined plan and the initial parameters. Because of its transparency, complete information, and customization, it accelerates the realization, decisions as well as actions and measures



Sl. 9. Spremljanje izvedbe projekta
 Fig. 9. Tracking the realization of the project

celotno izdelavo. Na ta način pospešuje celoten postopek (projekt).

during the product process, and therefore increases the speed of the process (project).

5 SKLEP

5 CONCLUSION

Osnovni postopek je vedno podprt z različnimi postopki, ki tečejo hkrati. Eden od njih je tudi informacijski postopek. Če ga podpremo s programom, ki pomembno pospeši informacijski postopek, bo to prineslo tudi pospešitev osnovnega postopka. Program, ki je bil predstavljen, je delo podjetja Genis in je bil razvit v sodelovanju z Iskraemeco, sedaj pa ga že uspešno uporabljajo v različnih podjetjih v Sloveniji. Podpira skupinsko delo, omogoča preglednost za vse avtorizirane uporabnike in sili uporabnike, da izvajajo zadane naloge glede na načrt, pripravljen v prvi fazi. Program je prirejen za vse ravni uporabnikov v podjetju od vodstva do izvajalcev.

The basic process is always supported by different simultaneous processes, one of them is the informational process. If the informational process is supported by the application, which significantly increases the speed of informational processes, the basic process will also accelerate. The application that was presented, was developed by Genis in cooperation with Iskraemeco and has been successfully implemented in a number of Slovenian companies. It supports teamwork, enables transparency for all authorized stakeholders, and forces the user to proceed according to the plan, prepared in the initial stage. It is designed for all user levels in the company from the top management to the shop-floor staff.

Uporaba sloni na informacijski podpori vodenja, ki kombinira nove tehnične možnosti in moderne tehnike vodenja, z namenom pospeševanja postopkov.

The application is based on informational management tools, which combine new technical solutions and modern management techniques in order to accelerate the processes.

6 LITERATURA
 6 REFERENCES

[1] Bessant, J., D. Francis (1997) Implementing the new product development postopeks, Technovation, Elsevier Science Ltd, Great Britain.
 [2] Kopač, J., M. Pogačnik, S. Štefančič (2002) How to accelerate time-to-market, IMFL 2002 Conference, Adelaide, Australia.

- [3] Kirsten, H., VW AG (1995) New practices in people orientation, 39th Annual Congress Loussanne.
- [4] Kubes, J., W. Ketelhohn (1995) Cases in international business strategy (contemporary business), Butterworth-Heinemann.
- [5] Duncan, W.R. (1996) A guide to the project management - body of knowledge; *Project Management Institute*; USA.
- [6] Pogačnik, M., S. Štefančič (1998) Computer aided project management, 14th World Congress on Project Management, Ljubljana.
- [7] Cohen, L. (1995) Quality function deployment, *Addison - Wesley*.
- [8] Kong, W., D.I. Cleland (1998) Project management handbook, New York.
- [9] Milas, G. H. (1997) Teambuilding and total quality, Portland.

Naslovi avtorjev: dr. Marjan Pogačnik
Iskraemeco d.d.
Savska loka 4
4000 Kranj
marjan.pogacnik@iskraemeco.si

Stane Štefančič
Genis d.o.o.
Tržaška 40
1000 Ljubljana
stane.stefancic@genis.si

prof.dr. Janez Kopač
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
janez.kopac@fs.uni-lj.si

Authors' Addresses: Dr. Marjan Pogačnik
Iskraemeco d.d.
Savska loka 4
4000 Kranj, Slovenia
marjan.pogacnik@iskraemeco.si

Stane Štefančič
Genis d.o.o.
Tržaška 40
1000 Ljubljana, Slovenia
stane.stefancic@genis.si

Prof. Dr. Janez Kopač
Faculty of Mechanical Eng.
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia
janez.kopac@fs.uni-lj.si

Prejeto: 21.2.2002
Received:

Sprejeto: 23.5.2002
Accepted:

Upravljanje tehnologije - ključ konkurenčnosti

The Management of Technology - The Key to Competitiveness

Slavko Dolinšek - Cene Bavec - Aleš Mihelič - Igor Prodan

Menedžment (upravljanje ali tudi ravnanje) tehnologije je zahtevna in široka panoga, ki obsega izrazito interdisciplinarna znanja tehnologij in menedžmenta in daleč presega upravljanje tehnoloških procesov in menedžment inovacij. V svetu zaradi izjemnega tehnološkega razvoja postaja tako pomembna, kakor je menedžment organizacije in njenih poslovnih funkcij. Kot študijski program, največkrat podiplomski, pa jo odkrijemo na kar nekaj tujih univerzah, medtem ko je v Sloveniji podoben program še na stopnji uvajanja. Izraza menedžment ali tehnologija se zato dandanes veliko uporablja, vendar največkrat v neustreznem pomenu, zato je namen prispevka prikazati vsebino panoge in tudi kratko pojasniti omenjena pojma.

© 2002 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: menedžment tehnologij, menedžment, tehnologije, izobraževanje)

The management of technology is a demanding and wide-ranging discipline that requires a particular interdisciplinary knowledge of both technology and management which extends far beyond that of the management of technological processes and innovations. Due to tremendous global technological development this discipline has become as important as the management of the organization and its business functions. Suitable educational programs, mainly at the undergraduate level, can be found in many foreign universities; however, similar programs in Slovenia are still at the introductory stage. Because the widely used definitions in management and technology are often misused, the purpose of this article is to present the content of this discipline and also to give a short explanation of the above-mentioned points.

© 2002 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: management of technologies, management, technology, education)

0UVOD

V svetu se praktično vse industrije z zelo hitrim tempom spreminjajo v tehnološko intenzivne, s tem pa postaja ključnega pomena integracija tehnologije znotraj tradicionalnih poslovnih funkcij podjetja. In sicer ne glede na to, ali je podjetje izdelovalno ali tehnologijo uporablja le za zmanjšanje stroškov in izboljšavo svojih storitev. Tehnološke inovacije in razvoj novih poslovnih postopkov so bile v določenem obdobju značilnost industrijskega razvoja v ZDA in Evropi, izrazito konkurenčno prednost na področju ravnanja s tehnološkimi prednostmi pa so dosegli Japonci. Tradicionalni poslovni vzorci so se v tem zadnjem tehnološkem obdobju izkazali za neustrezne, saj so menedžerji spoznali vlogo, ki jo ima tehnologija pri oblikovanju bodoče konkurenčne prednosti podjetja v svetovnem okolju, ki je značilno po izrazito hitro se razvijajoči in razširjeni tehnološki bazi.

Menedžment tehnologije postaja zato v gospodarsko in tehnološko najbolj razvitih državah sveta eden izmed ključnih dejavnikov uspeha. Če je še pred nedavnim veljalo pravilo, da mora podjetje slediti cilju "ostati najboljši na svojem trgu", lahko danes rečemo, da bo podjetje uspešno, če mu bo uspelo ostati najhitrejše na področju razvoja in uporabe novih tehnologij. Sodobne tehnologije namreč dajejo izrazito poslovno prednost inovativnim organizacijam, njihovi posnemovalci pa se morajo zadovoljiti z drugim mestom, poleg tega pa krajo patentiranih tehnologij in intelektualne lastnine preprečuje svetovni sistem zaščite.

Glavni vzrok za nastale spremembe, ki vztrajno preoblikujejo standardni pogled na obravnavanje tehnologij, gre prav gotovo pripisati globalizaciji in hitremu tehnološkemu napredku. V nekaterih ekonomskih razpravah je celo mogoče zaslediti napovedi, da menedžment tehnologije odpira povsem novo obdobje v ekonomskih in menedžerskih vedah. Dejstvo je namreč, da se menedžerji dnevno srečujejo

s tehnološkimi izzivi, na katere se morajo ustrezno in hitro odzivati, kar pa terja nova znanja in prinaša nove naloge, s katerimi se do sedaj še niso srečevali.

1 TEHNOLOŠKI RAZVOJ KOT KLJUČNI DEJAVNIK USPEŠNOSTI SLOVENSKEGA GOSPODARSTVA

Mednarodne primerjave kažejo, da je Slovenija med najuspešnejšimi državami v prehodu in se po temeljnih kazalcih vse bolj približuje in izenačuje z državami članicami EU. Ima stabilno gospodarsko rast, uravnotežene stabilne javne finance, odprto gospodarstvo, uspešno monetarno politiko, manjšajočo se brezposelnost ter predvsem vse možnosti, da svoj razvoj še bolj pospeši. V letu 1999 je BDP znašal 10.109 USD, merjen z indeksom kupne moči pa prek 14.000 USD, kar je več ko 70 odstotkov povprečja EU. Stopnja nezaposlenosti se je začela zmanjševati leta 1993 in se je s 15% zmanjšala na 12% v letu 2000. Stopnja nezaposlenosti po metodologiji ILO je bila v letu 1999 7,6 odstotkov, kar je manj kakor v nekaterih državah EU. Izvoz je dosegel 52,6% BDP.

Kljub pomembnim strukturnim spremembam in pozitivnim trendom rasti, pa ostajajo nekateri pomembni strukturni problemi, zaradi katerih je stopnja konkurenčnosti slovenskega gospodarstva in podjetij nižja od možne [1]:

- Gospodarstvo je še vedno preveč odvisno od tradicionalnih industrijskih panog. Razmeroma majhen je delež zaposlenih in kapitala v industrijah, ki so dandanes gonilo gospodarske rasti (računalniška oprema, komunikacijska oprema, prevodniki, biotehnologija).
- Nova zasebna podjetja so večinoma zelo majhna, rast večine je razmeroma počasna, poleg tega je delež malih podjetij z novimi tehnologijami zanemarljiv.
- Produktivnost slovenske industrije zaostaja za produktivnostjo v razvitih gospodarstvih. Bruto dodana vrednost na zaposlenega je še vedno skoraj trikrat manjša od bruto dodane vrednosti na zaposlenega v primerljivih industrijah v EU.
- Posledica tega je razmeroma slaba izvozna konkurenčnost predelovalne industrije. Izvozna konkurenčnost Slovenije je v primerjavi z državami, npr.: Češko, Madžarsko, Poljsko in Slovaško, najnižja. V obdobju 1993 do 1997 je Slovenija dosegala izvozno rast v delovno intenzivnih panogah, kljub temu da je cena dela v Sloveniji razmeroma velika.
- Delež tujih investicij v kapitalskih naložbah, zaposlenosti, proizvodnji in izvozu je v povprečju dva do trikrat manjši kakor v primerljivih srednjeevropskih državah (Madžarska, Češka in Poljska).
- Podjetniška klima je še vedno premalo opazna. Ustanavljanje novih, vrhunsko-tehnološko razvitih

podjetij, zlasti v predelovalni industriji, je mnogo manjše kakor v razvitih državah. Slovenija zato trenutno ne izkorišča možnosti, ki bi jih potencialno imela in potrebovala v naložbah in tehnologiji, dveh ključnih dolgoročnih determinantah rasti.

- Mednarodne primerjave glede na povprečje EU in OECD kažejo na premajhno vlaganje v raziskave in razvoj, pri čemer Slovenija zaostaja predvsem pri deležu za uporabne in razvojne raziskave. Razmeroma neugodna struktura vlaganj in premalo razvita zmožnost prenavljanja nakazujeta, da bo največji razvojni izziv Slovenije oblikovanje take politike, ki bo prispevala k izboljšanju potenciala podjetij za rast.
- Stanje na področju izobraževanja je v Sloveniji razmeroma ugodno, saj so bila vlaganja v izobraževanje vedno pomembna prednost (raven javne porabe za izobraževanje dosega povprečje OECD držav, tj. 6% BDP.), vendar ima težave s premajhnim deležem visoko izobražene populacije kakor tudi z relativno neustrezno izobrazbeno strukturo (premajhen delež visoko izobraženih s področja naravoslovnih ved). Eden najpomembnejših izzivov za Slovenijo je oblikovanje takega postopka pridobivanja znanj, ki bo usmerjen v povečanje produktivnosti.

Kako povečati produktivnost in dodano vrednost, je zato temeljno razvojno vprašanje tako za državo kakor za posamezne gospodarske organizacije. Odgovorov je toliko, kolikor je organizacij, vendar ostane dejstvo, da lahko dodano vrednost povečamo za nekaj deset odstotkov z različnimi menedžerskimi ukrepi v najširšem pomenu besede, medtem ko lahko radikalno povečanje dodane vrednosti dosežemo samo z inovativnimi preskoki, kamor lahko štejemo tudi uvajanje novih tehnologij. Zdrava, uspešna ekonomija namreč ni tista v ravnotežju, ampak tista, ki jo stalno razdirajo inovacije in spremembe [2]. To potrjujejo najbolj razvite države in gospodarske najbolj uspešne organizacije, ki so praviloma najbolj razvite tudi tehnološko.

Ključni dejavniki tehnološkega razvoja so tako postali znanje, kapital in podjetništvo, pri čemer Slovenija ne more biti nobena izjema. Menedžment tehnologij je sicer še precej nova veja menedžmenta, zato je razumljivo, da menedžerji bolje poznajo le tisto plat tehnologije, ki je integrirana v gradnji informacijskih sistemov, medtem ko je preostala tehnologija za večino še v precejšnji meri velika neznanca in izziv za prihodnost [3].

2 MENEDŽMENT TEHNOLOGIJE

Menedžment tehnologije lahko definiramo kot skupino dejavnosti, ki se nanašajo na vnos izdelkov zahtevnih tehnologij na tržišče in se nanašajo tako na operativna in organizacijska vprašanja, povezana z menedžmentom razvoja novih izdelkov in njihovo

komercializacijo. Osredotočene so na celoten poslovni krog, od strateških procesov, povezanih z investiranjem in razvojem tehnoloških zmožnosti znotraj in zunaj podjetja, pa tudi na operativna in organizacijska vprašanja, povezana s postopki menedžmenta novih izdelkov, njihovo komercializacijo prek razumevanja potreb kupcev, izdelavo prototipnih izdelkov in oblikovanje tržne verzije izdelka.

Pri ocenjevanju funkcije menedžmenta tehnologij se običajno vprašanja nanašajo na naslednje vidike [4]:

- razvijanje notranjega zavedanja podjetja glede umskega premoženja,
- razvoj strategij za pridobivanje in izkoriščanje neotipljivega premoženja,
- definiranje vloge prenosa tehnologij pri ravnanju z neotipljivim premoženjem.

Podjetje mora zato najprej zagotoviti sprejemanje te nove funkcije s strani menedžmenta, saj jo mora le ta podpreti. To se lahko doseže s tem, da se poveča notranje zavedanje glede potreb po menedžmentu tehnologij, poleg tega pa mora organizacija oceniti svoje strategije glede umske lastnine in prenove tehnologij. Med temeljne procese menedžmenta tehnologije prištevamo [5]:

- identifikacijo tehnologije, ki poteka kot sodelovanje med univerzami, inštituti ali razvojnimi oddelki organizacij na eni strani in vodilnim menedžmentom organizacije na drugi strani;
- izbira tehnologije, ki izhaja iz dogovora in medsebojnega zaupanja med tehničnimi strokovnjaki in vodilnim menedžmentom;
- pridobitev izbrane tehnologije, ki je lahko plod lastnega razvoja, nakupa tehnologije, strateškega partnerstva ipd.;
- uporabo nove tehnologije, ki omogoča povečanje dodane vrednosti in dobička;
- zaščito znanja, ki je bilo vloženo v nove proizvodne tehnologije ali nove tehnološke izdelke in storitve.

Zamisel menedžmenta tehnologije je v tem, da bi postal vez med poslovnim menedžmentom ter znanostjo in tehniko, ki sta bila v preteklem razvoju strogo ločena, sedaj pa zaradi naraščajočega pomena

tehnike na vseh področjih gospodarjenja to ni več mogoče (slika 1)[6].

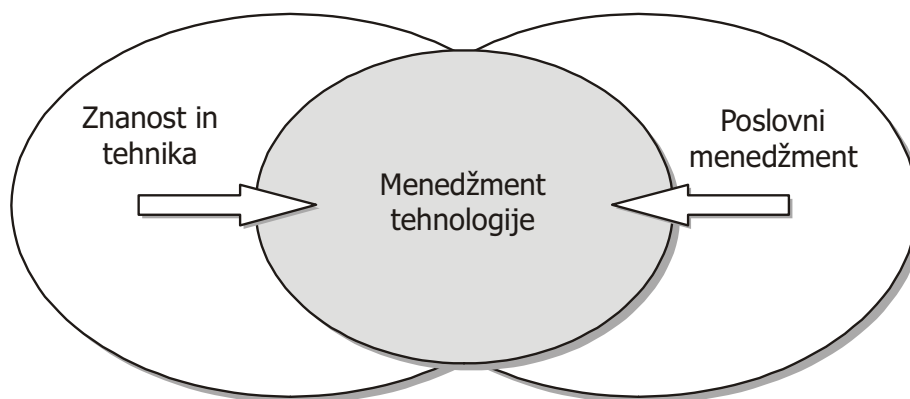
Znanja, ki jih ta panoga običajno vključuje, so [7]:

- izdelovalne tehnologije in njihova integracija v računalniško-informacijsko podporo podjetij;
- postopki razvoja novih izdelkov z uporabo orodij in tehnik najvišje tehnološke ravni;
- trženje izdelkov vrhunske tehnologije z uporabo orodij in metod visoke ravni;
- ravnanje z raziskovalnimi in razvojnimi oddelki in razvoj tehnoloških povezav;
- mednarodni tržni predpisi in njihov vpliv na tehnološko industrijo;
- ključna vprašanja, povezana z izdelavo prototipov izdelkov;
- ključna vprašanja oblikovanja novih izdelkov in poslovnih strategij za postavitev novih tehnoloških izdelkov v sedanjem podjetju in novih združenjih;
- zagotavljanje in celovito obvladovanje kakovosti (TQM).

3 SKLEP

V zadnjih desetih letih so si številna slovenska proizvodna podjetja prizadevala večinoma za reorganizacijo podjetja in iskanje notranjih rezerv. Vendar ugotavljamo, da je stopnja izrabe tako človeških virov in proizvodnih sredstev že tako visoka, da bo nadaljnji napredek mogoč le z **intenzivnim posodabljanjem sedanjih tehnologij, še bolj pa z vpeljavo novih znanj, novih tehnoloških postopkov in inovativnih preskokov**. Dodatno je vse to spodbujeno še zaradi slovenskega vstopanja v Evropsko zvezo in vse večje povezanosti našega gospodarstva s preostalimi visoko razvitimi državami. Vseh teh zahtev pa ni mogoče uresničiti, če nimamo ustrezno usposobljenega osebja.

Izkušnje kažejo, da je treba znanja in ozko izobrazbo s področja izdelovalnih tehnologij ali poslovanja razširiti tudi na področje proizvodnega menedžmenta in menedžmenta tehnologij, pa tudi menedžmenta inovacij (kar priporoča tudi vlada v okviru nove SRG) [8]. Proizvodnja namreč niso samo



Sl. 1. Menedžment tehnologije kot vez med znanostjo in tehniko ter poslovnim menedžmentom [6]

dejavnosti čiste izdelave v proizvodnih obratih. Za delo v proizvodnji se vse bolj zahtevajo tudi med-disciplinarna znanja tehnike, ekonomije in menedžmenta, ki vključujejo poznavanje tržišča, postopke oblikovanja izdelkov, načrtovanje proizvodnje, obvladovanje čiste izdelave, prodaje, vse bolj pa tudi zmožnosti hitrega preoblikovanja proizvodnega obrata za potrebe novega izdelka. Vse to je tesno povezano z zmožnostjo podjetja po prenovi svojih izdelkov in tehnoloških ter poslovnih postopkov.

Celovitih znanj s področja menedžmenta tehnologij, kakor ga razumejo v gospodarsko in tehnološko najrazvitejših državah, ki vključuje celotno verigo dejavnosti, od identifikacije, izbire, pridobitve in uporabe novih tehnologij do zaščite znanja, trenutno ne poučujejo na nobeni slovenski univerzi [9]. Nekateri študiji na tehniških fakultetah, to so študiji informacijskih tehnologij ali izdelovalnih tehnologij, sicer podajajo veliko znanj, potrebnih za

upravljanje z zahtevnimi tehnologijami, vendar so tudi to predvsem delna, največkrat tehnična znanja (npr. menedžment obdelovalnih tehnologij, menedžment inovativnih tehnologij).

Za takšen program se je že odločila **Visoka šola za menedžment v Kopru**, ki bo v okviru svoje preobrazbe v fakulteto in ob vstopu v bodočo univerzo na Primorskem odprla podiplomski študij menedžmenta tehnologij z dvema smerema: splošne tehnologije in informacijske tehnologije. Izvajanje tega bo povezano z znanji nekaterih tujih univerz, ki imajo na tem področju že vrsto uspešnih izkušenj. Študij bo namenjen tako tehničnim strokovnjakom, ki bodo spoznali menedžerske vidike razvoja in uvajanja novih tehnologij, predvsem na raziskovalni ravni, kakor tudi strokovnjakom in vodstvenim delavcem, ki si bodo tako pridobili znanje o razvoju in uporabi vrhunskih tehnologij ter njihovim vplivom na poslovanje in konkurenčnost podjetja [9].

4 DODATEK - definicije osnovnih pojmov

TEHNOLOGIJA (angl. *technology*) – uporaba znanosti, posebej za industrijske ali komercialne namene, znanstvena metoda in material, ki se uporabljata za doseganje komercialnih ali industrijskih ciljev (*American Heritage Dictionary*).

Je posebna oblika znanja, ki ga lahko uporabimo za doseganje poslanstva ali namena. Znanje je lahko v obliki metod, procesov, tehnik, orodij, strojev, materialov ali postopkov. Glede na to lahko tehnologijo definiramo kot sredstvo, s katerim uporabimo znanje za ustvarjanje izdelkov in storitev. V bistvu je tehnologija način, kako so stvari narejene, je produkt iznajdb in inovacij. Po tej definiciji pa tehnologija ni le sredstvo za preoblikovanje otipljivih materialov prek določenih proizvodnih sredstev v izdelke. Nasprotno, tehnologija vključuje učenje, uporabo znanj, menedžment sistema in vse večjo vlogo storitev v procesih. Tehnologija obstaja tako v mišljenju (zavesti) kakor tudi v fizičnem svetu zaradi svoje zmožnosti samogradnje in stalne izdelave novih orodij.

MENEDŽMENT (angl. *management*) – je usklajevanje tehnično razdeljenega dela v celoto, delovanje, način ali postopek upravljanja, izvajanja, nadzorovanja in kontroliranja (*Verbinc, Slovar tujk*).

Funkcije menedžmenta so: **načrtovanje** (zamišljanje cilja, rezultatov ter poti do cilja), **organiziranje** (členitev skupine delovnih nalog do opravil, povezovanje le teh v delovne naloge, pripisovanje delovnih nalog delovnim mestom,...), **vodenje** (komuniciranje, motiviranje, sprožanje akcij z ukazi, zgleodom oz. disciplino) ter **kontroliranje** (spremljanje izvedbe, ugotavljanje odstopanj izvedenega od načrtovanega ter ugotavljanje vzrokov za to ter v končni fazi za ukrepanje).

MENEDŽMENT TEHNOLOGIJE (angl. *technology management*) vključuje procese od ravnanja z razvojem tehnologij, do uvajanja in uporabe v gospodarstvu in upravi. Poleg ravnanja z inovacijskimi procesi pri raziskavah in razvoju, vključuje uvajanje in ravnanje z novimi tehnologijami in izdelki, proizvodnimi procesi in drugimi, s tem povezanimi funkcijami v podjetju (*MSB pri National Academy of Science, ZDA*).

5 LITERATURA

- [1] Mihelič, A. (2001) Konkurenčnost, tehnološki razvoj in inovacije, 1. konferenca PMGT 2001, GV-izobraževanje, Portorož.
- [2] Dolinšek, S. (2001) Barriers to creating innovation culture in the Slovenian production environment, 5th Conference on Management of Inovative Technoloies, Piran, Slovenia.
- [3] Bavec, C. (2001) Management tehnologije, 1. konferenca PMGT 2001, GV-izobraževanje, Portorož.
- [4] Managemnt of technology, Georgia Tech, <http://www.chery.gatech.edu>

- [5] Master of science in technology management, Perppedine University, <http://bschool.perppedine.edu>
- [6] Technology management - introduction. Institute for Technology Management, University of St. Gallen, <http://www.item.unisg.ch/ITEM/Education/Diploma%20course/introduction.htm>
- [7] Management of technology program. College of Engineering, Haas School of Business, School of Information Management and Systems at the University of California, Berkeley, <http://mot.berkeley.edu/intro.html>
- [8] UMAR: Slovenija v Evropski Uniji – Strategija gospodarskega razvoja Slovenije, Urad za makroekonomske analize in razvoj, Ljubljana, julij 2001.
- [9] VŠMK: Mangement tehnologij, program podiplomskega magistrskega študija, Visoka šola za management v Kopru, december 2001.

Naslovi avtorjev: dr. Slavko Dolinšek
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
slavko.dolinsek@fs.uni-lj.si

dr. Cene Bavec
Visoka šola za management
Cankarjeva 5
6000 Koper
cene.bavec@guest.arnes.si

dr. Aleš Mihelič
Ministrstvo za gospodarstvo
Kotnikova 5/II
1000 Ljubljana
ales.mihelic@gov.si

Igor Prodan
Ul. bratov Učakar 70
1000 Ljubljana
igor.prodan@email.si

Prejeto: 15.4.2002
Received:

Sprejeto: 23.5.2002
Accepted:

Poročila

Reports

SIST/TC SEL - primer dobrega sodelovanja med industrijo, univerzama in slovenskim organom za standarde

Tehnični odbor za strojne elemente pri Slovenskem inštitutu za standardizacijo, SIST/TC SEL, deluje že od februarja 1994 in vključuje poleg strokovnjakov iz industrije tudi strokovnjake obeh slovenskih fakultet za strojništvo. Da so strojni elementi osnova strojništva, kaže že podatek, da je med člani odbora sedem nekdanjih oziroma sedanjih profesorjev obeh fakultet.

Trenutno je glavni namen tehničnega odbora, poleg spremljanja in privzemanja mednarodnih in evropskih standardov, ustvarjanje slovenske terminologije na področju strojnih elementov. Pri tem ima posebno vlogo kadrovska zasedba tehničnega odbora. V tehničnem odboru SIST/TC SEL sodelujejo tudi prof. Jože Hlebanja, ki je napisal prvo knjigo o strojnih elementih in dolgoletni aktivni član delovne skupine pri ISO/TC 60 Zobniki, prof. Jože Puhar, član Terminološke komisije SAZU, prof. Matija Fajdiga, dekan ljubljanske Fakultete za strojništvo, ter prof. Jože Flašker, prodekan mariborske fakultete za strojništvo, kar kaže na strokovno vrednost slovenskega tehničnega odbora. Prenos stanja tehnike, ki ga posredujejo standardi, je s tem zagotovljen, obenem pa tudi enotne slovenske terminologije, saj je prenos izrazja od profesorjev na študente najboljša pot za poznejše enotno izražanje v praksi.

Na področju strojnih elementov, s katerim se ukvarja tehnični odbor SIST/TC SEL, je bilo doslej izdanih že 470 standardov SIST. Tehnični odbor spremlja delo evropskega tehničnega odbora CEN/TC 185 *Mehanski vezni elementi z navoji in/ali dodatki ali brez njih* ter delo mednarodnih tehničnih odborov ISO/TC 4 *Kotalni ležaji*, ISO/TC 14 *Strojne gredi in pribor*, ISO/TC 60 *Zobniki*, ISO/TC 123 *Drсни ležaji* in ISO/TC 213 *Mere in geometrijske specifikacije izdelka in preverjanje*. CEN/CT 185 obravnava enako področje kot ISO/TC 2 *Vezni elementi*, za ostala področja ISO pa evropski tehnični odbori niso ustanovljeni. Evropski tehnični odbori namreč pripravljajo standarde predvsem za potrebe evropskih navodil, oziroma bolje rečeno, za področja, ki so povezana z varnostjo in zdravjem ljudi ter varovanjem okolja.

Ob tem pa se rado postavi naslednje vprašanje: "Kateri standardi naj bodo tudi slovenski?" Torej, vsi evropski standardi (če hočemo biti polnopravni člani CEN) in tisti mednarodni standardi, za katerih področja ni zrcalnih evropskih tehničnih

odborov, oziroma tisti mednarodni standardi, za katere tehnični odbor meni, da jih slovenski uporabniki potrebujejo. Pri strojnih elementih privzemamo torej vse standarde, ki jih izda edini evropski tehnični odbor (CEN/TC 185) in po dogovoru tudi vse mednarodne standarde navedenih tehničnih odborov ISO, ker jih potrebuje zelo širok krog (študenti, konstrukterji, prodajalci).

Podpora Slovenskega inštituta za standardizacijo (SIST) pri nastajanju slovenskih terminoloških prevodov mednarodnih standardov se izraža predvsem v njegovi temeljni nalogi, torej v posredovanju najnovejših standardov, lektoriranju prevodov, oblikovanju standardov. Hkrati pa ima inštitut tudi moralno obvezo do uporabnikov in lepega slovenskega jezika. Zagovarjanje financiranja prevajanja le skozi zaslužek s prodajo prevodov je zato neprimerno, iskanje donatorjev v industriji pa (še) negotovo. Na drugi strani predstavitev standardov kot del izobraževanja uporabnikov brez prevodov standardov v slovenski jezik ni ekonomsko upravičeno.

Kot prevodi mednarodnih standardov so doslej izšli že naslednji slovenski standardi:

- **SIST ISO 1891:1996** *Mehanski vezni elementi – Vijaki, matice in pribor – Poimenovanja*
- **SIST ISO 1122:1998** *Terminološki slovar za zobniške prenosnika – 1. del: Geometrijske definicije*
- **SIST ISO 701:2000** *Mednarodne označbe za zobnike – Simboli za geometrijske veličine*

Avgusta bo izšel obširen slovar na 45 straneh **SIST ISO 5598:2002**, *Ležaji – Slovar*, v delu pa sta še **SIST ISO 4378-1**, *Drсни ležaji – Izrazi, definicije in razvrstitev – 1. del: Konstrukcijske izvedbe, ležajni materiali in njihove lastnosti* ter **SIST ISO 4378-2**, *Drсни ležaji – Izrazi, definicije in razvrstitev – 2. del: Trenje in obraba*.

Majhen korak k še boljšemu sodelovanju med obema fakultetama za strojništvo je prav gotovo prispeval tudi tehnični odbor SIST/TC SEL, ko skupaj sodelujejo profesorji obeh fakultet, na primer pri nastajanju slovenskih prevodov izrazoslovja, obenem pa tudi vodilni ljudje fakultet.

Ambiciozni študentje fakultet za strojništvo, ki se zaposlijo v industriji na vodilnih mestih, pogosto obdržijo poslovni stik z nekdanjimi mentorji na fakultetah, s tem pa se vzpostavlja dobro sodelovanje

univerz s slovensko industrijo. Kot primer lahko navedemo direktorja razvoja Saturnus Avtooprema, ki je nekdanji asistent prof. Fajdige. Njuno sodelovanje odpira tudi široke možnosti opravljanja diplomskih nalog za potrebe podjetja, zaposlovanja najperspektivnejših študentov v Saturnusu. Obe strani sodelujeta v investicijskih programih (nabava istega programskega orodja, skupni nadaljnji razvoj, izmenjava znanja in izkušenj).

Kot dokaz dobrega sodelovanja med industrijo, univerzama in državnim organom za standarde so sestanki SIST/TC SEL organizirani menjaje v Mariboru in Ljubljani, v njihovem sklopu pa člani obišejo tudi podjetja (TAM, Saturnus Avtooprema).

Marjan Koželj, tehnični sekretar SIST/TC SEL

Bogdan Potnik - inženir strojništva in slikar

Nekdanji sodelavec Titana v Kamniku Bogdan Potnik je bil rojen leta 1927 v Zabukovici pri Celju. Med drugo svetovno vojno je 4 leta preživel v izgnanstvu, kjer mu je tehnična nadarjenost pomagala, da je improviziral radio sprejemnike in jih zamenjeval za hrano. Že takrat je znal ustvarjati tudi uspešne portrete.

Po vojni je leta 1948 maturiral kot strojni tehnik – bil je sošolec profesorja Poldeta Leskovarja. Takrat je bila v Kamniku ustanovljena industrijsko kovinarska šola, na kateri je v prostorih Titana učil strokovne predmete. Po treh letih – leta 1981 – je bila ta šola prestavljena v Ljubljano v okvir Litostroja.

Naslednjih sedem let je delal kot tehnolog za avtomatske stroje (Sharp, Index, Tornos itn.. Ker je bila večina strojev iz tako imenovane vojne reparacije,

so bila potrebna številna popravila, adaptacije in modernizacije, pri čemer je tesno sodeloval s prof. Hinkom Murnom. Zato je bil postavljen za vodjo konstrukcije obdelovalnih strojev in naprav. Pri tem je bila zahtevana višja izobrazba, zato je diplomiral na Fakulteti za strojništvo (študij 1. stopnje) v Ljubljani.

Leta 1970 je pričel za tiste čase s pionirskim delom, tj. uvajanjem nadzora kakovosti v proizvodnjo na podlagi uporabe statističnih metod. Uspešno je vodil službo kakovosti, opravljal potrebne analize, organiziral mrežo po vsej tovarni in uvajal izboljšave v povezavi s prof. Radovanom Andrejčičem.

Poglejmo še nekaj njegovih akcij, za katere lahko rečemo, da so bile v letu 1955 inovativne – na primer konstruiranje in izdelava posebnih rezalnih orodij glede na obliko izdelka (danes bi temu rekli “Taylor made”); uvajanje okoljsko čiste proizvodnje, npr. konstruiranje in izdelava centrifug za odrezke, ki “iztisnejo” preostanek rezalnih olj in hladilno mazalnih tekočin, ki bi sicer odtekale po Kamniški Bistrici.

Z uvajanjem naštetih znanj, tehnologij in posodobitev je tovarna Titan napredovala v ustrezno, evropsko usmerjeno vse do časa oblikovanja TOZDov.

Za svoje strokovno delo je gospod Bogdan Potnik prejel od uprave Titana zlato značko. Ker je ves čas svojega delovanja sodeloval in ustvarjal tudi na kulturnem področju – mesečno glasilo delovne organizacije Titan Kamnik je opremljal s karikaturami in risbami ter v občini Kamnik in drugod po Sloveniji, je prejel “srebrni znak sindikatov Slovenije”, na kar je še posebej ponosen.

Risanje, slikanje in kiparjenje ga je veselilo že od otroštva. Likovnemu ustvarjanju je posvetil večino prostega časa. Njegova dela so številne risbe, akvareli, oljne slike, grafike pa tudi reliefi, male plastike, oblikovanje v bakru in v glini ter drugih materialih. Je član Društva likovnih samorastnikov Ljubljana. Svoja dela je razstavljal na 33 samostojnih razstavah in sodeloval na številnih razstavah matičnega društva, na revijah likovnih skupin Slovenije, na ekstemporih v Sloveniji in Italiji, pomenljivih kolonijah doma in v tujini ter prejel številna priznanja in nagrade.



Mali grad v Kamniku, akvarel (detajl)



Avtoportret

Njegovo sporočilo mladim tehnikom in inženirjem je naslednje: ko pride mlad strokovnjak iz šole, poln znanja in znanja, ga zahteva po realizaciji naloge postavi na stvarna tla. Ob tem priporoča sodelovanje, spoštovanje in skupinsko delo s starejšimi izkušenimi kolegi. Medsebojno spoštovanje zagotovo vodi v skupno uspešnost.

Gospod Bogdan Potnik letos praznuje 75 let; poln je načrtov, likovno ustvarja od zore do mraka in se veseli vseh novosti ter jih proučuje. Želimo mu veliko zdravja in delovne uspešnosti, saj s svojim delovnim žarom dokazuje, da sta tehnična in umetniška ustvarjalnost lahko odlično združeni tudi v osebi inženirja strojništva.

Pogovor z njim opravil in njegove misli oblikoval sodelavec v Titanu leta 1973 in 1974 Janez Kopač.

Strokovna literatura

Professional Literature

Iz revij

IZDOMAČIHREVIJ

Livarski vestnik, Ljubljana

2001, 3

Hummer, R., Kerber, H., Bührig-Polaczek, A.: Lastnosti ločeno ulitih vzorcev iz EN-GJS v primerjavi z lastnostmi v ulitkih

2001, 4

Braszczyński, J.: Težave pri litju in strjevanju kompozitov

2001, 5

Mrvar, P.: Preiskava dimenzijskih sprememb ulitka in forme med strjevanjem modificiranih in nemodificiranih aluminijevih zlitin z dilatometrom
Pokora, E., Klein, F.: Vpliv razmer ob litju na prenos toplote med talino in formo pri tlačnem litju

Materiali in tehnologije, Ljubljana

2001, 6

Zevnik, C., Nastran, J., Vončina, D., Petkovšek, M.: Elektrokemijske tehnologije za čisto okolje - razvojne smeri in uporaba
Jutriša G.: Dimenzijska stabilnost batnic plinskih blažilcev iz nitrocementiranega jekla

EGES, Energetika, gospodarstvo in ekologija skupaj, Ljubljana

2001, 4

Sagadin, E.: Izvirno prezračevanje - osnove in napotki za izbiro
Jakšič, T.: Razvod zraka skozi talne odprtine pri sistemih za klimatizacijo
Orgulan, A., Voršič, J.: Vpliv razsvetljave na okolje
Warmé-Janville, B., Schink, K., Pelicand, J.Y.: Meritve propustnosti rokavic z uporabo instrumentalne toplotne in potne roke

2001, 5

Hajdukovič, M.: Hišni dimniki
Jovanovič, S.: Zračne zavese
Merjenje toplote z ultrazvokom/KOVINTRADE
Ultrazvočni merilnik toplotne energije CF Echo/ENERKON
Peršin, S., Tovornik, B.: Sodobni sistemi hišne avtomatizacije
Bedež, D., Samec, N.: Emisije dioksinov iz sežigalnic odpadkov in ukrepi za njihovo zmanjšanje
Pipan, M.: Postavitev prve solarne elektrarne v Sloveniji

Vakuumist, Ljubljana

2001, 4

Demšar, A., Marin B., Pesek, M.: Avtomatski varilski filter

Varilna tehnika, Ljubljana

2001, 3

Hobbacher, A.: Tendence v znanosti in tehnologiji varjenja in spajanja za ekonomične in zanesljive proizvode

2001, 4

Suban, M.: Vpliv oblike konice varilne žice na vžig obloka pri MAG/MIG načinih varjenja
Šolar, M.: Obločno varjenje avstenitnih nerjavnih jekel z raznovrstnimi materiali

Organizacija, Maribor, Kranj

2001, 10

Škraba, A., Kljajić, M.: Vloga povratne zanke v poslovnem odločitvenem procesu podprtem z modeli sistemske dinamike

2002, 1

Lotrič, U., Dobnikar, A.: Uporaba valčne analize in nevronske mreže pri napovedovanju časovnih vrst

2002, 2

Werber, B., Zupančič, J.: Ključni dejavniki uspeha informacijskih sistemov v malih podjetjih v Sloveniji

Elektrotehniški vestnik, Ljubljana

2001, 5

Petkovšek, M., Ambrožič, V., Vončina, D., Nastran, J.: Brezsenzorska regulacija vrtilne hitrosti asinhronskega motorja
Geršak, G., Humar, J., Fefer, D.: Kalibracija referenčne tuljave s pomočjo NMR magnetometra in indukcijskih tuljavic

IZ TUJIHREVIJ

Brodogradnja, Zagreb

2001, 2

Senjanović, I., Tomašević, S., Parunov, J.: Numerical procedure for ship whipping analysis

2001, 3

Zapatić, T., Ljubenković, B., Bonačić-Dorić, J.: Simulation of Flexible Automated Process in the Grillage Assembly

2001, 4

Nabergoj, R., Prpić-Oršić, J.: Two-Dimensional Non-linear Dynamic Analysis of Cable Laying Operations

Živković, D., Anzulović, B., Milan, F.: Izrada probnih uzoraka s toplim kraterskim pukotinama od aluminijeve slitine AlMg4,5Mn

KGH - klimatizacija, grejanje hlađenje, Beograd**2001, 4**

Rikalović, M.R.: Interativni proračun razmenjivača toplote

Šiljak, M.S.: Mikroklima u lokalima tržnih centara

Strojarstvo, Zagreb**2001, 1-3**

Martinović, D., Horman, I.: Određivanje prikladnog režima sušenja drva

Šitum, Ž., Petrić, J.: Modeling and Control of Servopneumatic Drive

Aerospace America, Reston**2001, December**

Barbour, N., Bloxham, L., Fitzpatrick, C., Hunter, G., Tapalian, C.: Sensor systems

CDA**Condizionamento dell'aria Riscaldamento Refrigerazione, Milano****2001, 12**

Vio, M.: Miglioramenti tecnologici della macchina frigorifera

2002, 1

Boeche, A., Cavallini, A.: L'impiantistica nei laboratori

HLH**Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, Düsseldorf****2001, 12**

Kaup, C.: Erweiterte Möglichkeiten der Schalldämpfung in raumlufttechnischen Geräten

Linke, W.: Messverfahren in der Raumlufttechnik

Nove knjige**John Wiley & Sons Limited, Chichester**

French, M., Robers, E.: Achievable Performance from Nonlinear Adaptive Controllers. Ca. 420 str., 65,00 GBP.

Smith, C.A.: Automated Continuous Process Control. Ca. 240 str., 66,95 GBP.

Kirianaki, N., Yurish, S.Y., Shpak, N.O., Deynega, V.P.: Data Acquisition & Signal Processing for Smart Sensors. Ca. 320 str., 75,00 GBP.

Paoluzzi, A., Vicentino, M., Baldazzi, C., Pascucci, V.: Geometric Programming for Computer Aided Design. Ca. 650 str., 55,00 GBP.

Draxler, D., Siefert, H.: Zu optimalen Gestaltung von Radialventilatoren

2002, 1

Hirschberg, R.: Energieeinsparung durch Zusatzkomponenten an Wärmeerzeugern?

Fölsing, S.: Wärmemengenzählung mit Ultraschall: genau und robust

2002, 2

Göbblinghoff, C.-H.: Programm zur automatisierten Kessel- und Regelungsauswahl

Gollnisch, C.: Eine Kompaktlösung für das Legionellenproblem

IDR, Industrie Diamanten Rundschau, Willich

Weinert, K., Hagedorn, M., Peters, C.: Untersuchungen zum Einsatz von cBN-Führungsleisten beim BTA-Tiefbohren

IDR, Industrial Diamond Review, Ascot

Uhlmann, E., Friemel, J., Brücher, M.: Machining of a hypereutectic aluminium-silicon alloy

Nankov, M.: Kinematic and geometric similarity of methods for cylindrical grinding

Sussmann, R.S., Brandon, R.R., Coe, S.E., Collings, J.L. and Whitehead, A.J.: A review of the industrial applications of CVD diamond

Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Sofia 2001, 3

Kazakoff, A.I., Abadjiev, V.: Investigation on spatial vibration processes in a helicon gear set

Penchev, T., Altaparmakov, I.: Modelling of grain shape in cold plastic deformation through the finite element method, Part I. theoretical model

Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Engineering, Tallinn**2001, 7/4**

Kuk, V.: Modelling non-linear systems by extended Fourier series

Dincer, I.: Refrigeration Systems and Applications. Ca. 470 str., 60,00 GBP.

Girod, B., Rabenstein, R., Stenger, A.: Signals and Systems. Ca. 592 str., 27,50 GBP.

Severance, F.L.: System Modeling and Simulation. Ca. 518 str., 27,95 GBP.

Parnes, R.: Solid Mechanics in Engineering. Ca. 748 str., 29,95 GBP.

Öberg, T.: Modulation, Detection and Coding. Ca. 480 str., 27,50 GBP.

Tewari, A.: Modern Control System Design with MATLAB and SIMULINK. Ca. 504 str., 24,95 GBP.

Fasser, Y., Brettner, D.: Management for Quality in High Technology Enterprises. Ca. 450 str., 59,50 GBP

Hagelstein, P.L., Senturia, S.D., Orlando, T.P.: Introductory Applied Quantum and Statistical Physics. Ca. 700 str., 74,50 GBP.

Mahan, J.R.: Radiation Heat Transfer. Ca. 584 str., 141,20 GBP.

Kuz'min, A.C.: Boundary Value Problems for Transonic Flow. Ca. 450 str., 85,00 GBP.

Périaux, J.: Genetic Algorithms in Aeronautics and Turbomachinery. Ca. 600 str., 75,00 GBP.

Osebnosti vesti

Personal Events

Doktorati, magisteriji, specializacije, diplome

DOKTORATI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani sta z uspehom zagovarjala svoji doktorski disertaciji, in sicer:

dne 12. marca 2002: mag. **Nikolaj Mole**, doktorsko disertacijo z naslovom: "Računalniška simulacija procesa preoblikovanja kovin v testastem stanju" in

dne 19. marca 2002: mag. **Nikola Jakšič**, doktorsko disertacijo z naslovom: "Identifikacija parametrov avtonomnih dinamičnih sistemov drugega reda".

S tem sta navedena kandidata dosegla akademsko stopnjo doktorja tehničnih znanosti.

MAGISTERIJI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani so z uspehom zagovarjali svoja magistrska dela, in sicer:

dne 26. marca 2002: **Vitoslav Bratuš**, magistrsko delo z naslovom: "Določitev premečnega stanja v izrezani plošči kot posledica predhodno plastično deformirane pločevine";

dne 27. marca 2002: **Klemen Ferjančič**, magistrsko delo z naslovom: "Vpliv grelne površine na izboljšanje prenosa toplote pri vrenju" in **Tom Bajcar**, magistrsko delo z naslovom: "Analiza kinematike toka v rotirajočem difuzorju".

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru je *dne 12. marca 2002* **Filip Kokalj** z uspehom zagovarjal svoje magistrsko delo z naslovom "Numerična analiza pogojev popolnega zgorevanja v sekundarni komori sežigalne naprave".

S tem so navedeni kandidati dosegli akademsko stopnjo magistra tehničnih znanosti.

SPECIALIZACIJE

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru je z uspehom zagovarjal svoje specialistično delo:

dne 8. marca 2002: **Branko Cajzek**, z naslovom: "Zagotavljanje kakovosti avtomatskega usmerjanja v Poštnem centru Maribor".

S tem je navedeni kandidat dosegel akademsko stopnjo specialista.

DIPLOMIRANISO

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani so pridobili naziv univerzitetni diplomirani inženir strojništva:

dne 29. marca 2002: Matevž DULAR, Borut GREGORČIČ, Damjan JURJAVČIČ, Marko LIČEN.

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru so pridobili naziv univerzitetni diplomirani inženir strojništva:

dne 28. marca 2002: Matjaž DOLEČEK, Tomaž KOSTANJEVEC, Alojz KRAJNC, Lamir Vladimir MIHALIČ.

*

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani so pridobili naziv diplomirani inženir strojništva:

dne 7. marca 2002: Renato PAVŠIČ, Klemen PIBERNIK, Tomaž VIDMAR;

dne 11. marca 2002: Andrej BREČKO, Alen DEBELJAK, Sašo KOVAČ, Branko POLANC.

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru so pridobili naziv diplomirani inženir strojništva:

dne 28. marca 2002: Milan HORVAT, Miha JURJOVIČ, Marko PEROVEC, Jože PUČNIK, Samo URANJEK, Stanislav VOGEL.

*

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru so pridobili naziv inženir strojništva:

dne 28. marca 2002: Davorin KOVAČEC, Ivan KRAJNC, Tadej KRALJ, Primož MEDVED, Aleš MIHELIČ.

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 rezultatov 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 številke¹.

Oblika članka

Besedilo naj bo pisano na listih formata A4, z dvojnimi presledkom med vrstami in s 3 cm širokim robom, da je dovolj prostora za popravke lektorjev. Najbolje je, da pripravite besedilo v urejevalniku Microsoft Word. 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.).

Vse okrajšave naj bodo, ko se prvič pojavijo, napisane v celoti v slovenskem jeziku, npr. časovno spremenljiva geometrija (CSG).

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 superscript¹.

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. 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.).

All abbreviations should be spelt out in full on first appearance, e.g., variable time geometry (VTG).

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 podnaslovu 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 controller 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 izvorno 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: (01) 4771-757
Telefaks: (01) 2518-567
E-mail: strojniksi.vestnik@fs.uni-lj.si

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 controller 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)1 4771-757
Fax: +386 (0)1 2518-567
E-mail: strojniksi.vestnik@fs.uni-lj.si