

UDK 62–229:658.512

## CLAMPEX – računalniško podprt načrtovanje vpenjanja pri struženju

### CLAMPEX – a Computer-Aided Clamping Task Planning in Turning Operations

DRAGICA NOE

*Načrtovanje vpenjanja, kot del procesa načrtovanja obdelave, je za razvoj in uporabo računalniško podprtih sistemov ključnega pomena. V ta namen je bil razvit računalniško podprt sistem CLAMPEX (CLAMPing EXpert system), ki po opisu strojne komponente z oblikovnimi elementi ter ustreznega vgrajenega znanja s področja tehnike vpenjanja, za stvarno okolje izbere ustrezen način vpenjanja, določi vpenjalne površine ter izdela potreben tehničko dokumentacijo. Ta vključuje določitev lege na stroju, izračun vpenjalnih sil ter izbiro ustreznih vpenjal. V prispevku so predstavljeni posamezni koraki pri razvoju ter testiranju sistema.*

*The clamping task planning, as a part of the manufacturing process planning, is significant for the development and use of the computer aided planning systems. The CLAMPEX (CLAMPing EXpert system) as a computer aided system was developed. The system is capable to make decisions how to chose appropriate clamping way, selecting the clamping surfaces and calculating the technological data on the base of the feature part description and integrated technological expert knowledge an the clamping technic field and also the real workshop environment. The technological data include the workpiece position description, the clamping forces calculation as well as the clamping devices selecting. The presentation of the steps in the system development and the system testing is the item of the article.*

#### 0 UVOD

V zadnjem desetletju so se povečali naporji pri iskanju računalniško podprtih sistemov, ki bi bilo lahko sprejemali ustrezne odločitve načrtovanja vpenjanja pri obdelavi. Raziskave so bile usmerjene v razvoj prilagodljivih vpenjalnih pripomočkov, računalniško podprt konstruiranje vpenjalnih pripomočkov, določanje zaporedja vpetij prizmatičnih obdelovancev kakor tudi v računalniško podprt izbor vpenjalnih pripomočkov pri struženju [1], [2], [3].

Določitev števila in zaporedja vpenjanja, način centriranja v posameznih vpetjih, izbiro vpenjalnega pripomočka in izračun parametrov nastavitev pripomočka pri struženju so naloge sistema CLAMPEX (CLAMPing EXpert System). Razvoj sistema temelji na predpostavki, da naj ima računalniško podprt sistem enake lastnosti kakor interaktivni sistem, kjer načrtovalec sprejema odločitve po lastnem znanju in izkušnjah. Seveda pa naj tak sistem sprejema optimalne odločitve na podlagi vgrajenega znanja, predstavi in razloži svoje odločitve, dopušča dograjevanje ter se povezuje s sistemoma CAD in CAM. V predloženem prispevku želimo prikazati le nekatere korake pri razvoju in testiraju sistema [6], [7].

#### 0 INTRODUCTION

There have been increasing efforts in the last decade to develop an appropriate computer-aided (CA) system for making clamping decisions for machining mechanical parts. Research has been directed into the development of flexible clamping devices, CA design of clamping devices, CA-determination of clamping sequences for prismatic parts, as well as a CA system for the selection of clamping devices for turning operations [1], [2], [3].

The tasks of CLAMPEX (CLAMPing EXpert system) are: the determination of the number and sequences of set-ups, determination of centring ways for each set-up, selection of clamping devices and the calculation of setting parameters in turning operations. The development of the system is based on the assumption that the CA system should have the same performances as an interactive system, in which the planner makes decisions based on his knowledge and experience. The CA system has to make optimum decisions based on built-in knowledge, present and explain the decisions, and allow upgrading and linking with CAD and CAM systems. The presented paper is intended to show only a few steps of the development and testing of the system [6], [7].

## 1 IZHODIŠČE

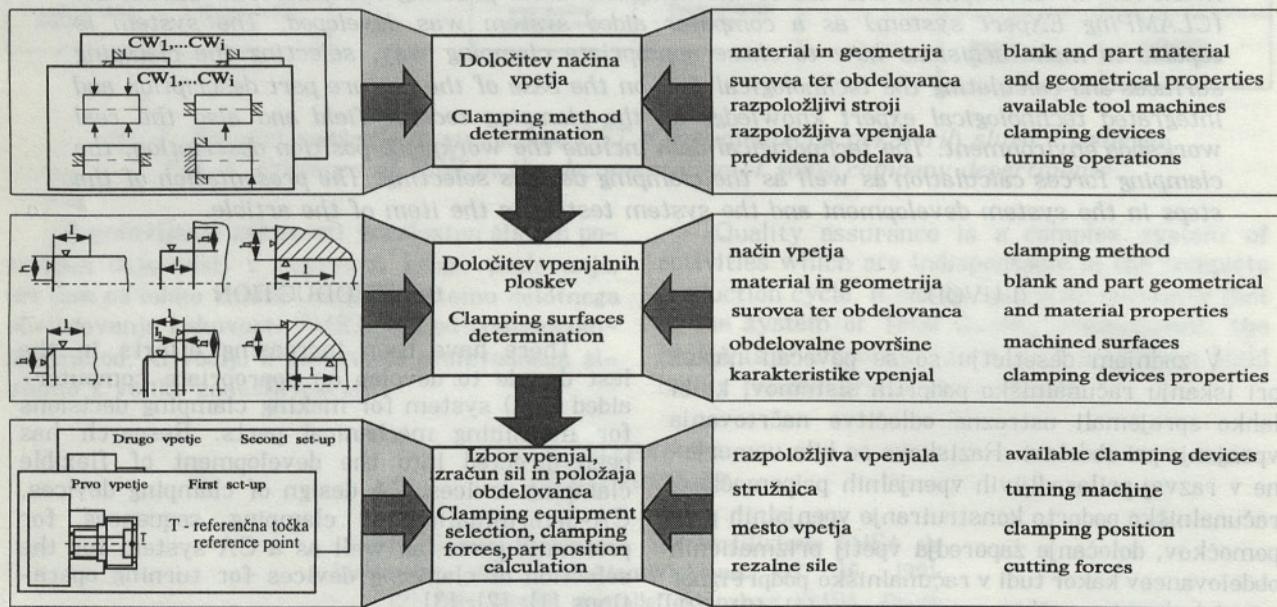
Naloge načrtovalca pri sprejemanju odločitev o vpenjanju so del aktivnosti tehnologa pri načrtovanju procesa obdelave in le hkratno načrtovanje obdelave in vpenjanja lahko prinese optimalne rezultate. Za določitev optimalnega načrta vpenjanja upošteva tehnolog korelacije med obdelovalnimi in vpenjalnimi površinami, obdelovalnimi in vpenjalnimi silami, strojem, obdelovancem in vpenjalnim pripomočkom, natančnost obdelave ter ekonomske kriterije.

Načrtovanje vpenjanja pri struženju vključuje določitev načina vpenjanja, ki je določeno s številom vpetij, ter z načinom centriranja v posameznih vpetjih. Izbira pozicionirnih in vpenjalnih površin ter določitev vmesnega stanja strojne komponente so tudi naloge tehnologa. Izdelava načrta vpenjanja je končana z izbiro vpenjalnega pripomočka za posamezna vpetja ter z izračunom vpenjalnih parametrov, npr. vpenjalne sile, deformacije in izračun referenčne točke (sl. 1).

## 1 BASICS

The planners tasks, when making decisions about clamping, are a part of machining process planning activities. Only the simultaneous planning of machining process and clamping tasks can yield optimum results. To determine the optimum clamping the planner has to consider the correlation between the machining and clamping surfaces, machining and clamping forces, machine, part and clamping device, machining tolerances and economic criteria.

The planning of clamping in a turning operation involves the determination of the clamping method, determined by the number of set-ups and the centring way for each set-up, the determination of positioning and clamping surfaces as well as the determination of intermediate part data. The planning of clamping is complete by the determination the clamping devices for the individual set-ups and by calculation of clamping parameters such as clamping forces, deformations and a calculation of the reference point (Fig. 1).



Sl. 1. Naloge računalniško podprtga sistema načrtovanja vpenjanja pri struženju  
Fig. 1. The tasks of the computer-aided system for planning clamping in turning operations

Razvoj računalniško podprtga sistema za načrtovanje vpenjanja pri struženju zahteva oblikovanje podatkovne baze strojne komponente pred obdelavo in po njej ter avtomatičen prenos podatkov iz CAD kakor tudi oblikovanje podatkovne baze za delovno okolje (stroje, vpenjalne pripomočke). Osrednje delo pri razvoju sistema pomeni določitev ciljev sistema v posameznih fazah načrtovanja, zbiranje odločitvenih parametrov za postavljeni cilje ter izdelavo programov za sprejemanje odločitev na podlagi zbranega znanja in podatkov.

The development of the CA system for planning of clamping in turning operations involves creation of a data base for the part before and after the automatic transfer of the data from CAD and also the creation of a data base for the machining environment (machines and clamping devices). The crucial task of the system development is the determination of the system aims in the individual planning phases, determination of the decision parameters for the aims and programme development for decision making based on the collected knowledge and data.

## 2 OPIS STROJNE KOMPONENTE PRED OBDELAVO IN PO NJEJ

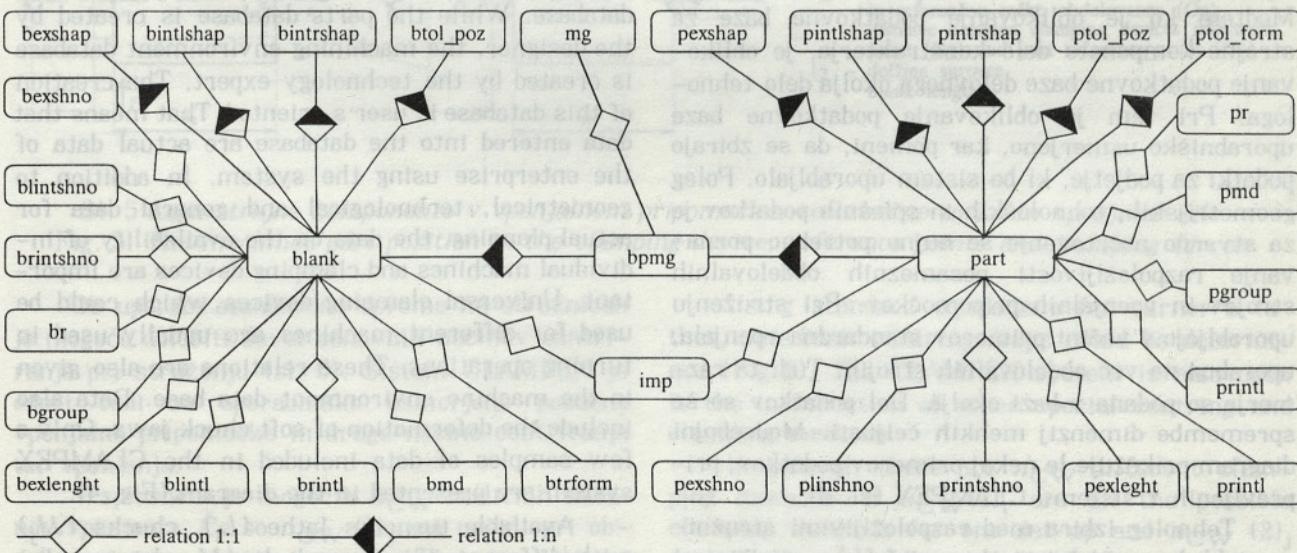
V proces obdelave vstopa surovec s svojimi geometričnimi in mehanskimi lastnostmi. Strojna komponenta je v sistemu CLAMPEX opisana z geometrijskimi oblikami, ki so v topoloških razmerjih, in njihovimi geometrijskimi elementi, za katera so podana dimenzijska in tolerančna razmerja. Opis z oblikovnimi elementi [4] se je pokazal kot obetaven način opisa strojnih komponent v vseh fazah načrtovanja. Podatkovno bazo ustvari že pri konstruiranju strojne komponente, v CAD. Prenos podatkov iz CAD v sistem CLAMPEX je avtomatičen prek vmesnika [5].

Strojna komponenta je opisana s splošnimi podatki, npr.: identifikacijska številka (*identno*), številka naročila (*ordno*) in označba materiala ter podatki o geometrijskih oblikah. Strojna komponenta je tako sestavljena iz ene ali več zunanjih oblik (*exshap*), nobene notranje ali več notranjih levih (*intlshap*) ter desnih notranjih oblik (*intrshap*). Posamezni elementi geometrijskih oblik pa so medsebojno v razmerjih tolerance pozicije (*tolpoz*) in tolerance oblike (*tolform*). Podatki so dopolnjeni še s podatki, ki so bistveni za načrtovanje vpenjanja. Taki dodatni podatki so število geometrijskih elementov (*shapno*), razmerje med skupno dolžino in največjim premerom (*r*), največji premer (*md*), dolžino vseh geometrijskih elementov (*length*). Podatki so v podatkovni bazi spravljeni ločeno za surovec (*blank*) in obdelovanec (*part*) in jih je mogoče predstaviti z medsebojno shemo (sl. 2). Opis vmesnega stanja strojne komponente (*imp*) pri obdelavi v več vpetjih je identičen. Podatki zanje so enkrat spravljeni kot obdelovanec za prvo vpetje in drugič kot surovec v

## 2 PART DESCRIPTION BEFORE AND AFTER MACHINING

The part enters the machining process as a blank with its own mechanical and geometrical properties. In the CLAMPEX system, the part is described by geometrical shapes, with their topological relations and by the geometrical elements for which dimensional and tolerance relations are given. The description by the shape elements [4] has been found to be a promising way of describing the parts in all planning phases. The data base is already created when designing the part by CAD. The transfer of the data from CAD to CLAMPEX is performed automatically by a transfer program [5].

The part is described by general data such as identification number (*identno*), order number (*ordno*), by material designation and by data on geometrical shapes. The part consists of one or more external shapes (*exshap*), one or more internal left shapes (*intlshap*) and internal right shapes (*intrshap*). The individual geometrical elements are related by position tolerances (*tolpoz*) and by form tolerances (*tolform*). These data are supplemented by data relevant for clamping planning: number of shape elements (*shapno*), maximum length/diameter ratio (*r*), maximum diameter (*md*), length of all shapes (*length*). Data for blank (*blank*) and part (*part*) are stored in the database separately and they can be presented by data relations presentation diagram (Fig. 2). Description of the intermediate state (*imp*) when machining with more than one set-up is identical. Here the data is stored as a part for the first set-up and as a blank for the second set-up. The intermediate part



Sl. 2. Povezovalni diagram surovcev in obdelovancev

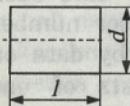
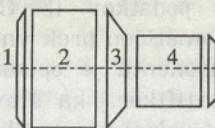
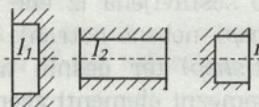
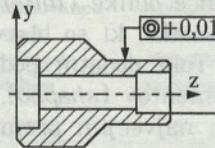
Fig. 2. Blank part and intermediate part data relations presentation

drugem vpetju. Določeno vmesno stanje komponente se navezuje točno na podan proces načrtovanja in se oblikuje pri vsakem naročilu na novo, odvisno od razmer pri obdelavi. Povezava je podana z razmerjem *imp* (*ImpartNo*, *BlankNo*, *PartNo*).

Za ponazoritev je na sliki 3 podan opis geometrijskih oblik, ki smo jih uporabili pri testiranju sistema CLAMPEX. Koordinate strojne komponente so podane glede na ISO/R 84, zunanje in notranje leve oblike so štete z leve proti desni in desne notranje z desne proti levi.

is generated for each order automatically in accordance with the machining environment. Connections are made by the relation *imp* (*ImpartNo*, *BlankNo*, *PartNo*).

Fig. 3 contains the description of shapes used when testing the CLAMPEX system. The coordinates for parts are set in accordance with ISO/R 84, outer shapes and left inner shapes are counted from left to right, and the right inner shapes are counted from right to left.

zunanja oblika: valj external shape: cylinder	geometrijski el.: leva ploskev desna ploskev vmesna ploskev os	zunanja oblika: stožčasta oblika external shape: truncated cone	geometrijski el.: leva ploskev desna ploskev vmesna ploskev os	Primer: 	Example: 	zunanje geometrijske oblike external geometric shapes
notranja oblika: okrogla luknja internal shape: cylinder hole	geometrijski el.: leva/desna ploskev vmesna ploskev os	notranja oblika: stožčasta luknja internal shape: truncated hole	geometrijski el.: leva/desna ploskev vmesna ploskev os			notranje leve in desne gometrijske oblike internal left and right geometric shapes
geometrijski elem.: left/right plane inter.plane axis	geometrijski elem.: left/right plane inter.plane axis	geometrijski elem.: left/right plane inter.plane axis	geometrijski elem.: left/right plane inter.plane axis			obdelovanec part

Sl. 3. Geometrijske oblike in primer opisa strojne komponente.

Fig. 3. Chosen geometric shapes and machined part composed by geometric shapes

### 3 PODATKOVNA BAZA DELOVNEGA OKOLJA

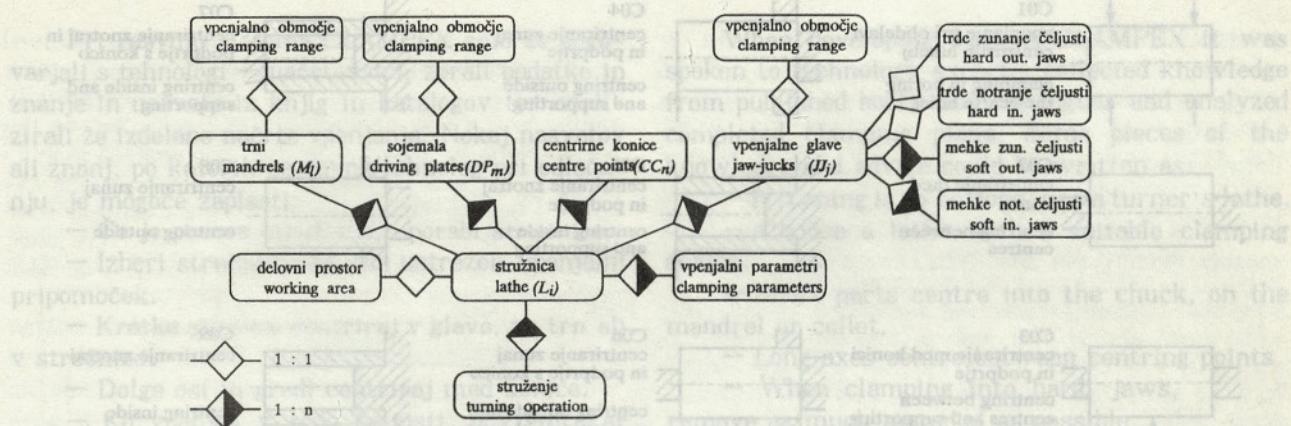
Sistem za načrtovanje vpenjanja pri struženju vključuje še podatkovno bazo delovnega okolja. Medtem ko je oblikovanje podatkovne baze za strojne komponente delo konstrukterja, je oblikovanje podatkovne baze delovnega okolja delo tehnologa. Pri tem je oblikovanje podatkovne baze uporabniško usmerjeno, kar pomeni, da se zbirajo podatki za podjetje, ki bo sistem uporabljal. Poleg geometrijskih, tehnoloških in splošnih podatkov je za stvarno načrtovanje še nujno potrebno poznavanje razpoložljivosti posameznih obdelovalnih strojev in vpenjalnih pripomočkov. Pri struženju uporabljajo v večini primerov standardna vpenjala, uporabna na več obdelovalnih strojih. Tudi ta razmerja so podana v bazi okolja. Del podatkov so še spremembe dimenzij mehkih čeljusti. Medsebojni diagram prikazuje le nekaj primerov podatkov, pravljениh v sistemu CLAMPEX (sl. 4).

Tehnolog izbira med razpoložljivimi stružnimi cami ( $L_1$ ), vpenjalnimi glavami ( $JJ_j$ ) z različnimi vpenjalnimi čeljustmi, trni ( $M_1$ ), sojemali ( $DP_m$ ) in drugimi standardnimi ter namenskimi vpenjali.

### 3 THE MACHINING ENVIRONMENT DATABASE

The planning system for clamping in turning operations includes also a machining environment database. While the parts database is created by the designer, the machining environment database is created by the technology expert. The creation of this database is user's oriented. That means that data entered into the database are actual data of the enterprise using the system. In addition to geometrical, technological and general data for actual planning, the data on the availability of individual machines and clamping devices are important. Universal clamping devices which could be used for different machines are usually used in turning operations. These relations are also given in the machine environment data base. Data also include the deformation of soft chuck jaws. Only a few samples of data included in the CLAMPEX system are presented in the diagram (Fig. 4).

Available turner's lathe ( $L_1$ ), chucks ( $JJ_j$ ) with different jaws, mandrels ( $M_1$ ), driving plates ( $DP_m$ ) and other standard and special clamping devices could be chosen.



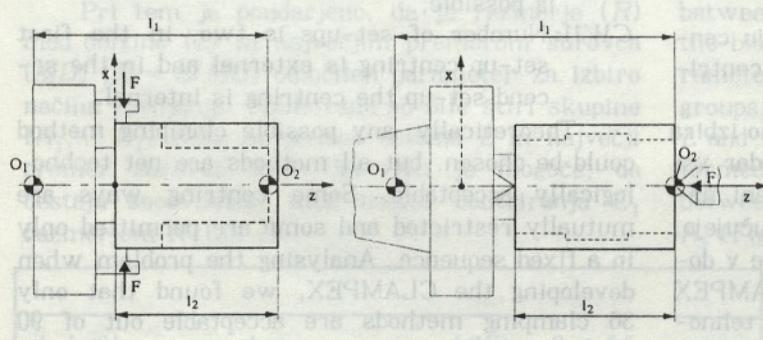
Sl. 4. Povezovalni diagram delovnega okolja

Fig. 4. The machining environment E/R diagram

#### 4 DOLOČITEV IN IZBIRA VPENJANJA

##### 4.1 Cilji

Načrtovanje vpenjanja pri struženju vključuje določitev načina vpenjanja (*Clamping Way, CW<sub>1</sub>*), ki je opredeljeno s številom vpetij (*Set-Up, SU<sub>j</sub>*) ter z načinom centriranja (*Centering way, C<sub>k</sub>*) v posameznih vpetjih. Podan surovec za želen obdelovanec je mogoče obdelati v enem, dveh ali več vpetjih (*SU<sub>j</sub>*). Način centriranja *C<sub>k</sub>* v posameznih vpetjih pa je določen z lego suroca v vpenjalnem pripomočku glede na os centriranja in referenčno točko stroja (sl. 5).



Sl. 5 Lega strojne komponente v vpenjalnem pripomočku, referenčne točke in vpenjalne sile

Fig. 5. The machined part position in the clamping device, reference points and clamping forces

Ob uporabi standardne opreme na stružnicah je mogoče določiti devet osnovnih načinov centriranja pri struženju (sl. 6). Sistem CLAMPEX je odprt tudi za uporabniško usmerjene posebne vpenjalne pripomočke in druge načine centriranja ter vpenjanja.

V splošnem je mogočih  $n_{CW}$  različnih načinov vpenjanja. Če so  $n_{CW}(1)$  vsi načini pri obdelavi v enem vpetju in  $n_{CW}(2)$  vsi načini pri obdelavi v dveh vpetjih, je skupno število različnih vpetij:

#### 4 CLAMPING METHOD

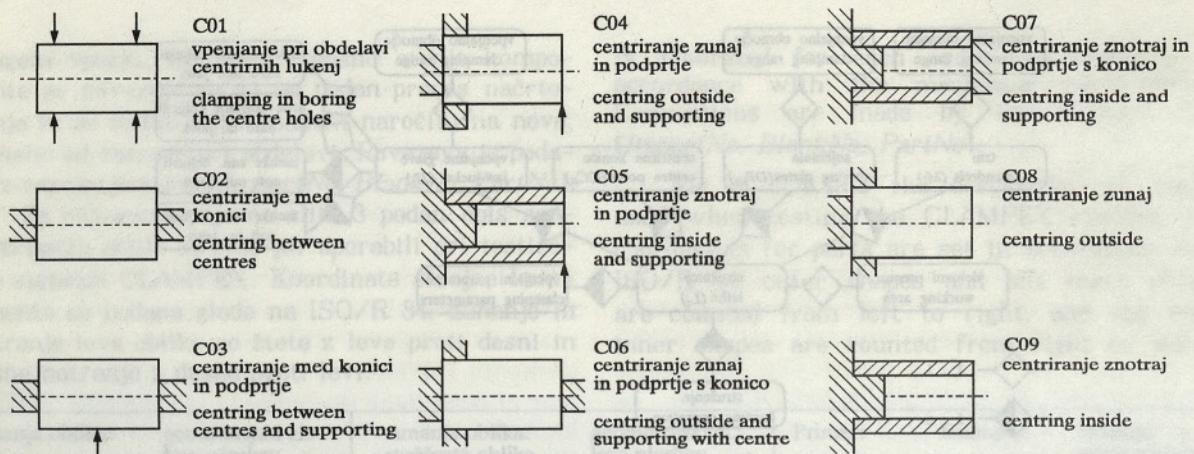
##### 4.1 Goals

Planning of clamping in turning operations includes the determination of the clamping method (*Clamping Way, CW<sub>1</sub>*), defined by the number of set-ups (*Set-Up, SU<sub>j</sub>*) and the centring method (*C<sub>k</sub>*) in each set-up. A given blank could be machined in one or more set-ups (*SU<sub>j</sub>*). The centring method *C<sub>k</sub>* in each set-up is determined by the position of the blank in the clamping device with reference to the centring axis and the reference point of the machine (Fig. 5).

- O<sub>1</sub> - referenčna točka vpenjala  
clamping devices reference point
- O<sub>2</sub> - referenčna točka obdelovanca  
part reference point
- l<sub>1</sub> - razdalja med referenčno točko vpenjala (O<sub>1</sub>) in referenčno točko obdelovanca (O<sub>2</sub>)  
distance between clamping devices reference point (O<sub>1</sub>) and part reference point (O<sub>2</sub>)
- l<sub>2</sub> - dolžina suroca  
blank length

Using standard equipment for turner's lathes, nine basic centring ways could be determined (Fig 6). The CLAMPEX system is also open to the introduction of other special centring and clamping methods.

In general, there are  $n_{CW}$  different clamping methods. If  $n_{CW}(1)$  are all the possible clamping methods for one set-up and  $n_{CW}(2)$  are all the possible methods for two set-ups, then the number of all the different set-ups is given by:



Sl. 6. Osnovni načini centriranja komponente pri struženju  
Fig. 6. Elementary centring ways in turning operations ( $C_i$ )

$$n_{CW} = n_{CW}(1)_i + n_{CW}(2)_j$$

kjer pomenita:

$$n_{CW}(1)_i = \sum_{k=1}^9 C_k$$

where:

$$n_{CW}(2)_j = \sum_{k=1}^9 C_k^2$$

Cilje iskanja, to je mogoče načine vpenjanja  $CW_1$  in s tem cilje izvedenskega sistema za določitev načina vpenjanja, lahko zapišemo v naslednji obliki:

$CW_1$ : število vpetij je ena, centrirati je mogoče zunaj,

$CW_{11}$ : število vpetij je dva, v prvem vpetju centriranje zunaj in v drugem vpetju centriranje znotraj.

Tehnolog – načrtovalec lahko teoretično izbira med vsemi možnimi načini vpenjanja, vendar vsi načini tehniko niso sprejemljivi. Določeni načini centriranja se lahko medsebojno izključujejo, nekateri načini centriranja pa so dovoljeni le v določenem zaporedju. Pri razvoju sistema CLAMPEX je bilo na podlagi analize ugotovljeno, da je tehniko mogočih le 36 načinov vpetja izmed 90 teoretično mogočih.

#### Vplivni parametri

Študij vpenjanja rotacijsko simetričnih obdelovancev pri struženju je pokazal, da je za sprejemanje odločitev potrebno znanje. Pomemben del naloge pri razvoju je bil tako zbrati ustrezno znanje, ki naj kar se da nedvoumno opredeli, kdaj se za določen surovec in obdelovanec izbere eden ali več načinov vpenjanja ( $CW_1$ ). Naloga pri razvoju računalniško podprtega načina vpenjanja pri struženju je bila zbrati to znanje, definirati odločitvene parametre za izbiro ter znanje pripraviti v ustrezni obliki za procesiranje.

Research aims, that is possible clamping methods  $CW_1$  which are the goals of the expert system for the determination of clamping methods may be presented by the following expressions:

$CW_1$ : Number of set-ups is one, external centring is possible,

$CW_{11}$ : Number of set-ups is two, in the first set-up centring is external and in the second set-up the centring is internal.

Theoretically, any possible clamping method could be chosen, but all methods are not technologically acceptable. Some centring ways are mutually restricted and some are permitted only in a fixed sequence. Analysing the problem when developing the CLAMPEX, we found that only 36 clamping methods are acceptable out of 90 theoretically possible ones.

#### Influence parameters

Studying the phenomenon of clamping rotary symmetrical parts for turning operations, we found that knowledge is necessary for making the decisions. An important task when developing the system was collecting the relevant knowledge, to definitely determine, when for a given blank one or more clamping ways are chosen ( $CW_1$ ). Developing the CA system for clamping in turning operations required the collection of knowledge, to define the determination parameters, and the arrangement of the collected knowledge in a way that enables automatic processing.

Pri razvoju sistema CLAMPEX smo se pogovarjali s tehnologi — načrtovalci, zbrali podatke in znanje in nasvete iz knjig in katalogov ter analizirali že izdelane načrte vpenjanja. Nekaj nasvetov ali znanj, po katerih se ravna tehnolog pri odločanju, je mogoče zapisati:

- Če je proces struženje, uporabi stružnico.
- Izberi stružnico, ki ima ustrezni vpenjalni pripomoček.
- Kratke surovce centriraj v glavo, na trn ali v stročnico.
- Dolge osi in gredi centriraj med konice.
- Ko vpenjaš v trde čeljusti, odvzemi kar največ materiala.
- Prednost imajo načini vpenjanja, ki upoštevajo le vpenjanje na zunanjih površinah.
- Preračunaj deformacije pri tankih obdelovalcih.
- Referenčne površine obdelaj v prvem vpetju in jih v drugem vpetju uporabi za centriranje.

Kljub nenatančnim izjavam je mogoče izluščiti, da je izbira načina vpenjanja ( $CW_1$ ) odvisna od:

- geometrijske oblike in dimenzij komponente pred obdelavo (surovca) in po njej (obdelovanca),
- kakovosti vpenjalnih površin surovca,
- določitve površin, ki naj bodo obdelane v danem vpetju,
- zahtevanih toleranc oblike in lege obdelovanca,
- vitkosti in trdnosti obdelovancev,
- cene obdelave.

Pri tem je poudarjeno, da je razmerje ( $R$ ) med dolžino ( $L$ ) in največjim premerom surovca ( $MD$ ) ( $R = L/MD$ ) odločilen parameter za izbiro načina vpenjanja. Oblikovane so bile štiri skupine ( $R_1, \dots, R_4$ ) glede na podano dolžino  $L$  in največji premer surovca  $MR$ . Ugotoviti je mogoče, da obstaja soodvisnost med načini centriranja  $C_1$  razmerjem  $R_1$  (sl. 7).

When developing system CLAMPEX it was spoken to technology experts, collected knowledge from published books and catalogues and analyzed completed clamping plans. Some pieces of the knowledge and advice could be written as:

- If turning is to be done, use a turner's lathe.
- Choose a lathe with a suitable clamping device.
- Short parts centre into the chuck, on the mandrel or collet.
- Long axes centre between centring points.
- When clamping into hard jaws, remove as much material as possible.
- Clamping methods using only outside clamping are preferred.
- Calculate deformations of thin parts.
- Process the reference surfaces in the first set-up and use them for centring in the second set-up.

In spite of non precise statements, it is possible to assume that the determination of the clamping method ( $CW_1$ ) is influenced by the:

- geometrical shape of blank and part,
- quality of the clamping surfaces,
- determination of the surfaces which are processed in a given set-up,
- required shape and position tolerances,
- slenderness and rigidity of the part,
- machining price.

It has been pointed out that the ratio ( $R$ ) between the length ( $L$ ) and maximum diameter of the blank ( $MD$ ) ( $R = L/MD$ ) is the decisive parameter for choosing the clamping method. Four groups, ( $R_1, \dots, R_4$ ) considering the given length  $L$  and maximal diameter of the blank  $MR$ , were formed. It was found that a correlation exists between the centring method  $C_1$  and the ratio  $R_1$  (Fig 7).

			$C01$	$C02$	$C03$	$C04$	$C05$	$C06$	$C07$	$C08$	$C09$
zelo kratek	very short	$L/MD = R < 0,5$	0	0	0	0	0	0	0	1	1
kratek	short	$0,5 > L/MD = R < 3$	1	1	0	0	0	0	0	1	1
dolg	long	$3 > L/MD = R < 12$	1	1	1	1	1	1	1	0	0
zelo dolg	very long	$L/MD = R > 12$	1	0	1	1	1	1	1	0	0

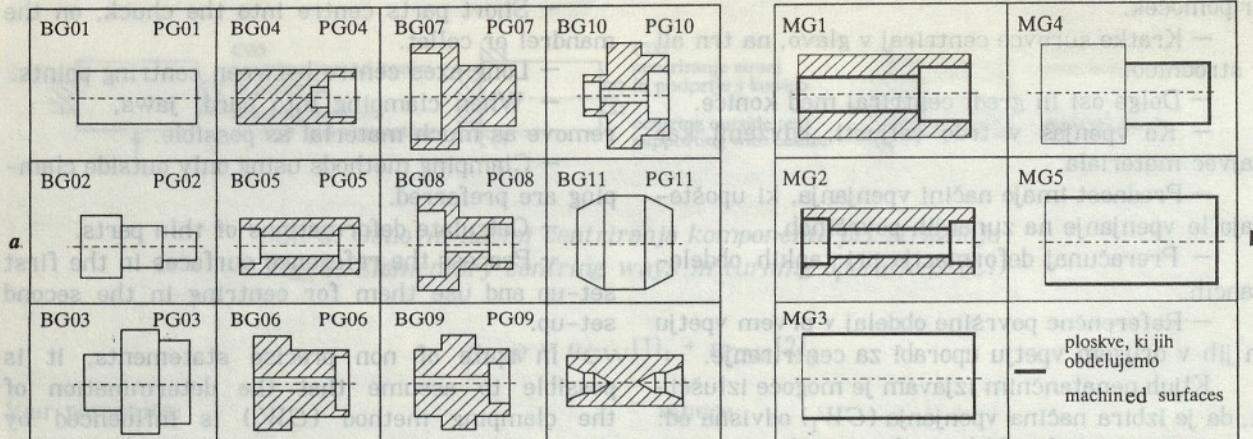
Sl. 7. Soodvisnost med načini centriranja  $C_1$  in razmerjem  $R_1$   
način centriranja je mogoč - 1 in ni mogoč - 0

Fig. 7. The correlation between  $R_1$  and centring methods  $C_1$   
1 - clamping is possible, 0 - clamping is not possible

Geometrijska oblika surovca in obdelovanca je drug vplivni parameter pri izbiri načina vpenjanja. Veliko število različnih oblik surovcev in obdelovancev povzroča dokajšen problem pri določitvi tega vpliva. Pri načrtovanju vpenjanja se je

The geometric shape of the blank and the part is the second parameter which influences the determination of the clamping method. The vast number of different blanks and parts causes a considerable problem when dealing with this question. For clamping planning purposes, grouping

pokazala smiselnost razvrščanja komponent v značilne skupine glede na možnosti vpenjanja. Tako je bilo oblikovanih nekaj značilnih skupin v katere so surovci ( $BG_i$ ) in obdelovanci ( $PG_j$ ) pred načrtovanjem avtomatično razvrščeni (sl. 8 a). Želeno obdelava je tretji kriterij, ki bistveno vpliva na izbiro načina vpenjanja. Z vidika vpenjanja je mogoče določiti pet značilnih skupin ( $MG_i$ ) (sl. 8 b).



Sl. 8. Značilne skupine oblik surovcev, obdelovancev a) in obdelav b)

Fig. 8. Parts, blanks a) and machining b) significant groups

Razpoznavanje in razvrščanje komponent in obdelave v skupine je del sistema CLAMPEX in temelji na analizi števila, dimenzijs in razporeditve geometrijskih elementov, kakovosti površine ter njihove medsebojne povezanosti, kakor tudi poznavaњa vpenjanja. Modula za razvrščanje sta grajena kot izvedenska sistema.

Geometrijska oblika surovcev ( $BG_i$ ) in obdelovancev ( $PG_j$ ) v povezavi s predvideno obdelavo ( $MG_i$ ), jasno določa mogoče načine vpenjanja.

*Primer:*

$BG01 \& PG04 \& MG1 \rightarrow CW01 \text{ ali (or)} CW08$ ,

kar pomeni: valjast surovec ( $BG01$ ) za valjast obdelovanec z enostransko luknjo ( $PG04$ ) pri obdelavi čelne ploskve in notranjih ploskev ( $MG1$ ) je lahko obdelan v enem vpetju, centriran zunaj z podpiranjem ( $CW01$ ) ali brez njega ( $CW08$ ). Z določitvijo razmerja ( $R$ ) pa dobimo le en sprejemljiv način vpenjanja, to je obdelava v enem vpetju in centriranje zunaj brez podpiranja ( $CW08$ ):

$BG01 \& PG04 \& MG1 \& \text{zelo kratek (very short)} \rightarrow CW08$ .

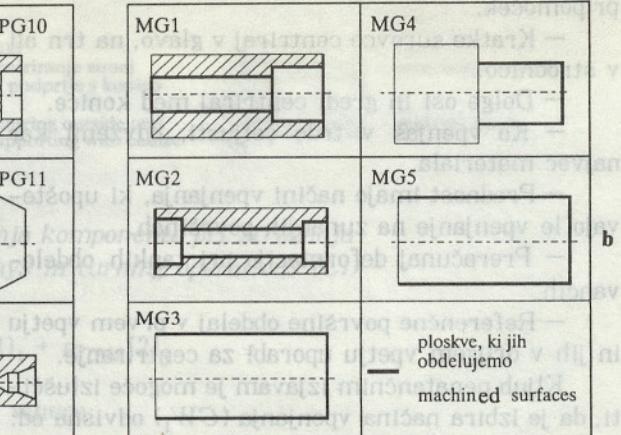
Ugotoviti je mogoče, da je skupno število mogočih oblik za posamezne cilje:

$$n = n_{BG} \cdot n_{PG} \cdot n_{MG} \cdot n_{BR}$$

kjer so:

- $n_{BG}$  — število različnih oblik surovcev
- $n_{PG}$  — število skupin obdelovancev
- $n_{MG}$  — število skupin obdelav
- $n_{BR}$  — število možnih razmerij  $R$  za surovce.

of parts according to clamping possibilities proved useful. Some characteristic groups were formed. Blanks ( $BG_i$ ) and parts ( $PG_j$ ) are automatically sorted into a few characteristic groups before the actual planning starts (Fig. 8a). The desired machining is the next parameter with a significant influence on the determination of the clamping method. From the clamping point of view, five characteristic groups can be formed ( $MG_i$ ) (Fig. 8b).



Recognition and grouping of parts and processing types is a part of the CLAMPEX system. It is based on an analysis of the number, dimensions and arrangement of the geometrical shapes, surface quality and their interconnections. However, the clamping knowledge is also implemented. The two grouping modules are built as expert systems.

Geometric shape of blanks ( $BG_i$ ) and parts ( $PG_j$ ) in connection with envisaged machining ( $MG_i$ ) clearly defines the possible clamping methods.

*Example:*

which means: a cylindrical blank ( $BG01$ ), and cylindrical part with one side hole ( $PG04$ ), in a machining operation of the front and inside surfaces ( $MG1$ ) can be machined in one set-up with centring outside and with support ( $CW01$ ) or centring outside without support ( $CW08$ ). Taking into consideration the relation ( $R$ ) gives only one acceptable clamping method: one set-up with outside centring without support ( $CW08$ ):

It was noted that the number of all possible conditions is:

$n_{BG}$  — the number of blank groups

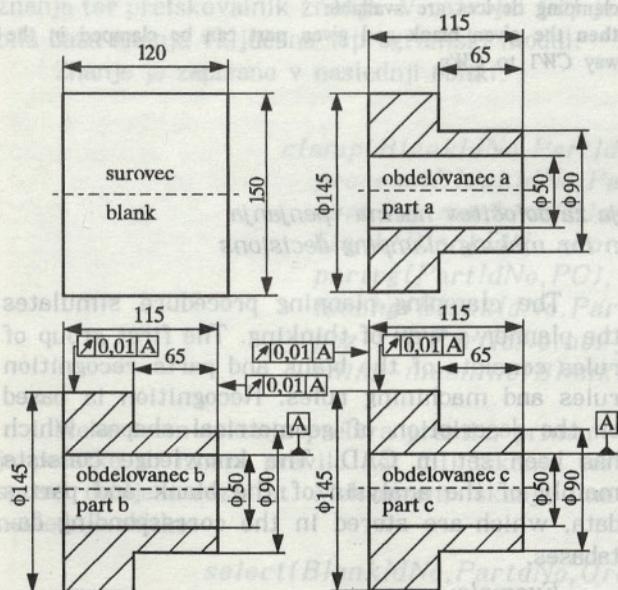
$n_{PG}$  — the number of part groups

$n_{MG}$  — the number of machining groups

$n_{BR}$  — the number of relations  $R$  groups

Za podan surovec predvidene obdelave in podana razmerja  $R$  je mogočih 876 različnih oblik za vsak način vpenjanja  $CW$ . Za zmanjšanje možnosti eksplozije so pri ustvarjanju baze znanja upoštevani le tehnološko sprejemljive dvojice  $BG&PG$ . Na primer: valjast surovec je sprejemljiv  $BG01$  za vse obdelovance, surovec skupine  $BG10$  pa le za obdelovance skupine  $PG10$ .

Tolerance lege so bistven kriterij za določitev načina centriranja pri obdelavi v dveh vpetjih ter pri določitvi vpenjalnih ploskev. Ugotoviti je treba, ali obstajajo tolerance lege obdelovanca, tip toleranc in poiskati geometrijske elemente, ki so v medsebojni tolerančni povezavi.



Sl. 9. Vpliv tolerance lege

Fig. 9. The position tolerances influence

#### 4.2 Predstavitev in procesiranje znanja

Za avtomatizacijo izdelave načrta vpenjanja je bilo nujno potrebno to znanje ustrezno urediti in predstaviti. Pri tem se je pokazalo upravičeno, zlasti tudi zaradi procesiranja znanja, zapisati znanje v obliki pravil če – potem. V splošnem so pravila, s katerimi je zapisano znanje predstavljena z grafom v obliki drevesa, kjer so na koncu vej posamezni načini vpenjanja, v členih pa pogoji ter vrednosti za pojav cilja (sl. 10). Pri razvoju sistema za določitev načina vpenjanja se je pokazalo, da je za preiskovanje znanja pomembno zaporedje oblik oziroma stopnja v drevesni strukturi pravila. Izločevanje neobetavnih poti za doseg cilja je učinkovito, če je na čim višji ravni.

For given blank, machining operations and relations groups, there are 876 different possible conditions for each clamping method  $CW$ . A knowledge base explosion was avoided by taking into account only technologically acceptable blank and part pair and groups  $BG&PG$ . For example: a cylindrical blank  $BG01$  is acceptable for all groups of parts, but blank  $BG10$  only for part  $PG10$ .

Position tolerances were significant criterion in clamping decisions, particularly when clamping in two set-ups and in determining clamping surfaces. For a given part and blank, the presence of tolerances must be checked, and what kind of tolerances they are. Further, the shapes with position tolerances have to be identified.

$BG01&PG06&MG03\&diskast$  ali  $kratek = CW32$  ali  $CW33$  ( $CW32$  obdelava v dveh vpetjih, centriranje zunaj v obeh,  $CW33$  obdeva v dveh vpetjih, centriranje zunaj v prvem in centriranje v referenčni luknji v drugem vpetju)

**obdelovanec a:** če  $CW32$  ali  $CW33$  in (TolPoz) je "no", potem  $CW32$

**obdelovanec b:** če  $CW32$  ali  $CW33$  in (TolPoz) je "yes" in je luknja z referenčno ploskvijo za ploske obdelane v drugem vpetju, potem  $CW33$

**obdelovanec c:** če  $CW32$  ali  $CW33$  in (TolPoz) je "yes" in je luknja z referenčno ploskvijo in vse povezane ploske lahko obdelamo v istem vpetju, potem  $CW32$

$BG01&PG06&MG03\&very short or short = CW32$  or  $CW33$  ( $CW32$  machining in two set-ups, centring outside in both set-ups,  $CW33$  machining in two set-ups, centring outside in first set up and centring in the reference hole in second set-up)

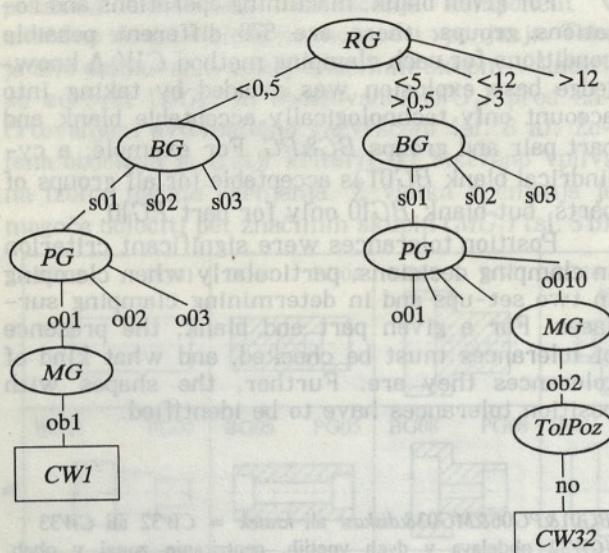
**part a:** if  $CW32$  or  $CW33$  and (TolPoz) is no, then  $CW32$

**part b:** If  $CW32$  or  $CW33$  and (TolPoz) is yes, and the hole is the reference surface for the surfaces machining in the second set-up, then  $CW33$

**part c:** If  $CW32$  or  $CW33$  and (TolPoz) is yes, and the hole is the reference surface and all related surfaces are machined in one set-up, then  $CW32$

#### 4.2 Knowledge presentation and processing

For the purposes of clamping planning, it was necessary to structure and present the knowledge in a suitable way. It proved to be practical, especially for processing, to present the knowledge in the form of production rules if – then. In general, the rules presenting the knowledge are shown in a tree pattern, where the goals – possible clamping methods – are on the tops of branches and the conditions to achieve goals are in the branches (Fig. 10). The sequence of rules in the branch pattern proved to be important for investigating the knowledge. Avoiding non promising ways is more effective if it occurs on the highest possible level.



Sl. 10. Predstavitev dela baze znanja za določitev načina vpenjanja  
Fig. 10. Knowledge base presentation for making clamping decisions

Potek določitve načina vpenjanja posnema razmišljanje tehnikoga. Prva skupina pravil so pravila za razpoznavanje surovcev, obdelovancev in obdelave. Razpoznavanje sloni na opisu komponente z oblikovnimi elementi, ki so bili uporabljeni že pri oblikovanju v CAD. Znanje obsega predvsem analizo podatkov za surovce in obdelovance, pri tem so podatki črpani iz ustreznih podatkovnih baz.

#### *Primer:*

Če je število zunanjih elementov surovca enako ena, notranjih levih in notranjih desnih enako nič, potem razvrsti surovev v skupino valjastih surovcev (*BG1*).

Če je surovev valj (*BG1*) in obdelovanec valj (*PG1*) in dolžina surovca večja od dolžine obdelovanca ter kakovost leve čelne ploskve surovca enaka hrapavosti čelne ploskve obdelovanca ter sta hrapavost desnih različni in sta premer surovevca in obdelovanca enaka, potem se predvideva obdelava samo čelne ploskve (*MG1*).

Drugo skupino sestavlja pravila za razpoznavanje delovnega okolja. Načrt vpenjanja in obdelave je mogoče določiti le, če so razpoložljivi ustrezni stroji in vpenjalni pripomočki. Tu gre predvsem za prireditev surovevca v delovni prostor strojev in pripomočkov in njihovo razpoložljivost v dejanskem času.

*Primer:* Preveri: če je za podan surovev v delavnici delovni prostor na stroju in delovni prostor vpenjala, potem je mogoče določiti način vpetja.

Če je proces *P* iz skupine (*P<sub>p</sub>,...,P<sub>d</sub>*), in je razmerje eno izmed skupin (*RG<sub>p</sub>,...,RG<sub>d</sub>*), in je surovev v eni izmed skupin (*BG<sub>p</sub>,...,BG<sub>d</sub>*) in obdelovanec spada v eno izmed skupin (*PG<sub>p</sub>,...,PG<sub>d</sub>*) in, je predvidena obdelava (*MG<sub>p</sub>,...,MG<sub>d</sub>*) in, so ali niso na obdelovancu prisotne toleranze položaja, in je na voljo stružnica z dovoljšnjim delovnim prostorom, in je vpenjalni pripomoček razpoložljiv,

potem je podan surovev za predviden obdelovanec mogoče vpeti na en izmed predvidenih načinov vpetja *CW1* do *CWn*.

If process *P* is from group (*P<sub>p</sub>,...,P<sub>d</sub>*), and the relations *RG* is one of group (*RG<sub>p</sub>,...,RG<sub>d</sub>*) and the blank belongs to one of the blank group (*BG<sub>p</sub>,...,BG<sub>d</sub>*) and, the part belongs to one of the part group (*PG<sub>p</sub>,...,PG<sub>d</sub>*) and, for given blank and part, the machining belongs to one of the machining groups (*MG<sub>p</sub>,...,MG<sub>d</sub>*) and, the position tolerances are, or are not presented, the lathe has enough working area and the clamping devices are available

then the given blank and given part can be clamped in the way *CW1* to *CWn*.

The clamping planning procedure simulates the planner's way of thinking. The first group of rules consists of the blank and parts recognition rules and machining rules. Recognition is based on the description of geometrical shapes which has been set in CAD. The knowledge consists mainly of the analysis of the blank and part's data, which are stored in the corresponding databases.

#### *Example:*

If the number of the blank's external elements is one and the number of internal left and inner right elements is zero, then the blank belongs to the group of cylindrical blanks (*BG1*).

If the blank is a cylinder (*BG1*) and the part is a cylinder (*PG1*), and the length of the blank is greater than the length of the part, and the surface quality of the left front plane is the same as the roughness of the left front plane of the part and the roughnesses of the right planes are different and the diameters of both are the same then only the machining of the right front plane is foreseen (*MG1*).

The second group consists of rules for working environment recognition. The clamping and machining plan can be set only if suitable machines and clamping devices are available. Here the blank has to be adjusted to the machine's and clamping device's working space, and their availability in real time.

*Example:* Check if: for a given blank, working space at the machine and clamping device is available in the workshop, then clamping method can be determined.

Šele, če sta opravljena prva dva koraka, to je razpoznavanje komponente ter razpoznavanje delovnega okolja, je mogoče prožiti pravila, ki vsebujejo znanje za določitev načina vpenjanja.

Za procesiranje znanja je bil uporabljen jezik T-PROLOG, ki sloni na matematični logiki in je zmožen delati skele na podlagi dejstev, zapisanih v pravilih. Razvoj sistema je mogoč brez programske lupine, kar je ugodno pri postopnem razvoju, ko še raziskovani problem ni povsem natančno določen. Mogoče je interaktivno delo, grafična predstavitev in dograjevanje znanja. Grafična predstavitev je pri načrtovanju v proizvodnji vedno pomembna, ker omogoča načrtovalcu vključitev osebnega presojanja. Programski modul je razdeljen v del za komunikacijo s tehnologom, bazo znanja ter preiskovalnik znanja. V razvojni fazи je bila baza znanja vključena v programske module.

Znanje je zapisano v naslednji obliki:

```

clamp(BlankIdNo, PartIdNo, OrdNo, CW):-
    process(BlankIdNo, PartIdNo, OrdNo, turning),
    turning-machine(BlankIdNo, PartIdNo, OrdNo, yes),
    blank(BlankIdNo, short), blankg(BlankIdNo, BG),
    partpg(PartIdNo, PG),
    machg(BlankIdNo, PartIdNo, OrdNo, MG),
    poz_tol(PartIdNo, no/yes), !,
    turning-machine(BlankIdNo, PartIdNo, OrdNo, yes)

```

Mehanizem iskanja prebira pravila, primerja podatke in izbere pravilo kot cilj iskanja ter spravi dobljeni rezultat. Mehaniزم iskanja ima naslednjo obliko:

```

select(BlankIdNo, PartIdNo, OrdNo):-
    clamp(BlankIdNo, PartIdNo, OrdNo, CW),
    assertz(clamping(BlankIdNo, PartIdNo, OrdNo, CW)), !

```

Kar pomeni: išči za podan surovec (*BlankIdNo*), podan obdelovanec (*PartIdNo*) in številko narocila (*OrdNo*), ustrezni način vpetja (*CW*), tako da preiščeš vsa pravila *clamp(BlankIdNo, PartIdNo, OrdNo, CW)* v bazi znanja in rezultat spravi v podatkovno bazo: *clamping(BlankIdNo, PartIdNo, OrdNo, CW)*.

Za podan surovec (1001), obdelovanec (1111) in naročilo (nl) (sl. 11), je način vpenjanja določen takole:

```

clamp (1001, 1111, nl, cw31):
    process(1001, 111, nl, turning),
    turning_machine(1001, 111, nl, yes),
    blank(1001, short), blankg(1001, bg01),
    partg(1111, pg10),
    machg(1001, 1111, nl, mg2),
    poz_tol(PartIdNo, reference_chole), !,
    turning_machine(1001, 1111, nl, yes):-
        bmd(1001, _, M), bexlength(1001, L),
        lathe(_, M1, L1), M < M1, L < L1, !

```

Only if these two first steps are completed, that means the blank and working environment have been identified, can the rules containing the knowledge for determination of the clamping method be applied.

The computer language T-PROLOG was used for the knowledge processing. This language is based on mathematical logic and is capable of producing conclusions based on facts described in the rules. The development of the system is possible without the programming shell, which is comfortable at step by step development, when the research problem is not yet exactly defined. Interactive work, graphic presentation and rebuilding of the knowledge base are also possible. Graphic presentation is important in manufacturing planning because it enables the planner to incorporate personal judgement. The programming module is divided into a communication part, knowledge base and interface machine. In the development phase, the knowledge base is incorporated into the program module.

The knowledge is written in the following form of rules:

The searching mechanism goes through the rules, comparing the data chooses the rule as the goal of searching and stores it. The searching mechanism has the following form:

Which means: search for given blank (*BlankIdNo*), given part (*PartIdNo*) and order (*OrdNo*), the appropriate clamping method (*CW*), by looking at all the rules *clamp(BlankIdNo, PartIdNo, OrdNo, CW)* in the knowledge base and store the results in the data base: *clamping(BlankIdNo, PartIdNo, OrdNo, CW)*.

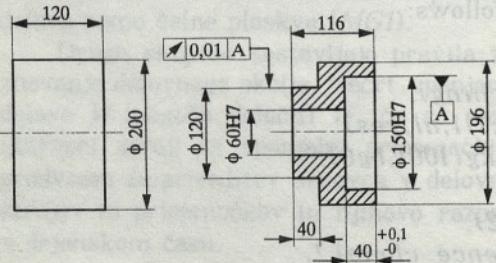
For a given blank (1001), part (1111) and order number (nl), the clamping method is determined as follows:

*blank(1001,short):-  
br(1001,R)R>0.5,R<3.!.  
poz-tol(1111,reference\_chole):-  
ptolpoz(1111,TolName,pint11,\_pext,5,\_),TolName=centric,!.*

Kar pomeni: podan surovec (1001) za podan obdelovanec (1111) in naročilo (n1), je mogoče vpeti na način CW31, kar pomeni obdelavo v dveh vpetjih v prvem vpetju centriranje zunaj (C08) in v drugem vpetju centriranje znotraj (C09) (sl. 11).

CLAMPEX vključuje še druge programske module, ki avtomatično in delno interaktivno pomagajo načrtovalcu izbrati mesto vpetja in vpenjalni pripomoček. Za podan primer je izdelano še vmesno stanje obdelovanca za prvo vpetje in surovec za drugo vpetje. Glede na način vpetja so izbrane vpenjalne površine ter vpenjala zanke. Programska modul ponuja načrtovalcu več vpenjalnih glav ter ustrezne trde ali mehke čeljusti, glede na stanje površine surovca. Ničelna točka spredaj na obdelovalu je izračunana avtomatično po podatkih o vpenjalu, vpenjalnih čeljusti in podatkih o surovcu ter obdelovalu. Največja sila vpenjanja je odvisna od pojavljajočih se rezalnih sil, ki so izračunljive avtomatično na podlagi podatkov, ki jih poda tehnolog, ter obdelovalnega materiala.

Blank No:	ShNo:	Name:	D1:	D2:	L:	R1:	R2:
1002	1	cyl.	200	200	120	0,063	0,063
Relation Rb=D/L: 1,67							
Ex_Shapea_No: 1							
Maximal diameter: 200							
Ex_Length: 120							
Int_Left_Length: 0							
Int_Right_Length: 0							
Int_Left_Shapes_No: 0							
Int_Right_Shapes_No: 0							
Blank_Part_Group: bg01							
Part_No: Ex_ShNo: Name: D1: D2: L: R1: R2:							
1112	1	cyl	120	120	40	0,016	0,016
1112	2	cyl	196	196	76	0,016	0,016
Part_No: IntRShNo: Name: D1: L:							
1112	1	cyl	150	40			
1112	2	cyl	60	76			
Relation Rp=D/L: 1,68							
Ex_Shapes_No: 2							
Maximal diameter: 196							
Ex_Length: 116							
Int_Left_Length: 0							
Int_Right_Length: 116							
Int_Left_Shapes_No: 0							
Int_Right_Shapes_No: 1							
Part_Group: pg10							



Which means: for a given blank (1001), part (1111) and order number (n1), a possible clamping method is CW31, which means machining in two set-ups, in the first set-up centring is outside (C08) and in the second, centring is inside (C09) (Fig.11).

Clampex includes some other programme modules which help the planner automatically or partially interactively to choose the clamping point and clamping device. For the given example, an intermediate part is generated which is the part for the first and a blank for the second set-up. For the chosen clamping method the clamping surfaces and corresponding clamping device are selected. The programming module offers the planner various chocks with suitable hard or soft jaws, depending on the blanks surface condition. The zero point on the front of the part is calculated automatically according to clamping, chuck jaws, blank and part data. The maximal clamping force is a function of the cutting forces, which can be automatically calculated according to data provided by the technology expert and material data.

#### First set up!

Jaw chucks in database:

No: Min\_Ex\_Diameter: Max\_Ex\_Diameter:

102 147 257

193 197 313

Clamping diameter: 200

Chosen jaw chuck No: 102

Part reference point for No: 1012 : T(0,236,25)

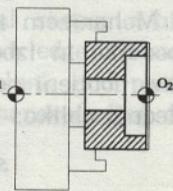
Jaw chuck No: 102

Body No: 11

Jaw No: 1

Material: Č.0545

Clamping Force: 9368N



#### Second set up!

No of Clamping shap: 1

Jaw chucks in database:

No: Min\_Ex\_Diameter: Max\_Ex\_Diameter:

103 108 222

104 72 180

Clamping diameter: 150

Chosen jaw chuck No: 104

Part reference point for No 1111 : T(0,238)

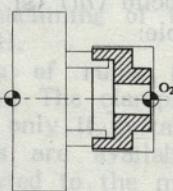
Jaw chuck No: 104

Body No: 11

Jaw No: 2

Material: Č.0545

Clamping Force: 7910N



Sl. 11. Primer vpetja za surovec (1101) in obdelovanec (1111) ter naročilo (n1)  
Fig. 11. Example of clamping for blank (1101) and part (1111) and order (n1)

## 5 SKLEP

Razvoj računalniško podprtih sistemov za načrtovanje vpenjanja pri različnih postopkih obdelave terja poleg izdelave računalniških programov še ustrezni opis komponente stroja, postavitev celotnega poteka načrtovanja ter zbiranje in obdelavo znanja o obravnavani domeni. Rezultat raziskovalnega dela je modularno grajen programski paket CLAMPEX, ki delno avtomatično in delno interaktivno podpira načrtovalca pri sprejemanju odločitev o vpenjanju pri struženju ter pri določanju parametrov obdelave. V osnutku je predvidena povratna povezava s CAD, kjer bodo podatki o možnostih vpenjanja avtomatično dostopni tudi konstrukterju.

Povzeti je mogoče, da je:

- opis komponente stroja z geometrijskimi oblikami primeren tudi za načrtovanje vpenjanja;
- pri obdelavi v več vpetjih treba nujno izdelati še podatkovno bazo za vmesno stanje komponente stroja;
- podatke, ki jih avtomatično prenesemo iz CAD, treba dopolniti še s podatki, ustreznimi za vpenjanje in za obvladovanje neskončnega števila različnih strojnih komponent, je bilo primerno razvrščanje v skupine, enako velja za obdelavo;
- sistematično zbiranje in obdelava tehnološkega znanja bila nujno potrebna;
- za izdelavo optimalnega načrta vpenjanja nujno potrebno še usklajeno načrtovanje obdelave,
- predstavitev znanja s proizvodnimi pravili ustrezena in je T-PROLOG primeren za procesiranje znanja.

Raziskovalno delo je finančno podprlo Ministerstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije.

## 5 CONCLUSION

The development of a CA clamping planning system requires in addition to the computer program also a suitable part description, determination of the complete planning procedure and collecting and processing of knowledge for the actual domain. The result of the research work is the modular computer software C LAMPEX, which is able to support the planner automatically and partially interactively to select the clamping method and to determine the machining parameters. A feedback to CAD is foreseen in the concept, providing that data about possible clamping methods is automatically accessible for the designer.

The following conclusions emerged:

- a description of the part by geometrical shape is also suitable for the planning of clamping,
- when machining in more than one set-up, it is necessary to create a data base for the intermediate part,
- the data automatically transferred from CAD has to be supplemented by relevant clamping data and to keep the infinite multitude of different parts manageable, a suitable grouping is necessary, the same is true for machining,
- systematical collection and processing of the technological knowledge was absolutely necessary,
- for optimal clamping, planning synchronised machining planning is necessary,
- knowledge presentation by production rules is appropriate and T-PROLOG is suitable for knowledge processing.

The research work was supported by the Ministry for Science and Technology of the Republic of Slovenia.

## 6 LITERATURA 6 REFERENCES

- [1] Tuffentsammer, K.: Automatic Loading of Machining System and Automatic Clamping of Workpieces. Annals of the CIRP Vol. 30 1981/2, 553–558.
- [2] Eversheim, W.-Buchholz, G.: Rechnerunterstützte Konstruktion von Baukastenvorrichtungen. VDI-Z. Bd.129, 1987, 59–66.
- [3] Boerma, J.R.-Kals, H.J.: FIXES, a System for Automatic Selection of Set-Ups and Design of Fixtures. Annals of the CIRP Vol. 37 1988/1.
- [4] Peklenik, J.: Development of a CAD-System Based on Part Engineering Model and Binary Coding

- Matrix. Annals of the CIRP Vol. 37 1988/1, 135–138.
- [5] Logar, B.: Feature Based Design and Geometric Reasoning – an Interface Between CAPP and CAD. International Seminar on CA-Design. Ljubljana 1990, 1–16.
- [6] Noe, D.: Računalniško podprto načrtovanje vpenjanja pri struženju. Doktorska disertacija, Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, 1991.
- [7] Noe, D.-Peklenik, J.: A Knowledge Based Planning of Clamping in Turning Operations Computer Integrated Manufacturing ICCIM 91. Singapur, 1991 530–533.

**Author's Address:** Dr. Dragica Noe, Dipl. Ing.  
Faculty of Mechanical Engineering  
University of Ljubljana  
Aškerčeva 6  
61000 Ljubljana, Slovenia

Avtoričin naslov: dr. Dragica Noe, dipl. inž.  
Fakulteta za strojništvo  
Univerze v Ljubljani  
Aškerčeva 6  
61000 Ljubljana

Prejeto: 13.9.1994  
Received: 21.12.1994

Sprejeto: 21.12.1994  
Accepted: 21.12.1994