YU — ISSN 0039-2480

STROJNIŠKI VESTNIK

LETNIK 28 LJUBLJANA, OKTOBER—DECEMBER 1982 ŠTEVILKA 10—12

UDK 65.012:658.51

Računalniško ugotavljanje ustreznosti celične strukture

JANEZ DEKLEVA — DRAGAN ŠTRANCAR — RAJKO NOVAK

1. UVOD

Naša strojno predelovalna industrija je sestavljena iz manjših proizvodnih sistemov, za katere so značilne manjše in srednje serije izdelkov. V taki industriji torej ni prostora za velikoserijsko avtomatizirano proizvodnjo, pač pa v tej malo- in srednjeserijski proizvodnji lahko postane pospeševalec za produktivnost prilagodljiva računalniška avtomatizacija. Tak razvoj že postaja realnost v nekaterih deželah razvitega zahoda (Japonska, ZDA), kjer hiter razvoj računalniško podprte proizvodnje upravičuje napovedi, po katerih bomo doživeli prototipno avtomatizirano tovarno nekje sredi osemdesetih let.

Če je naša namera o izvozni usmeritvi proizvodnje trdna in dolgoročna, potem jo bomo dosegli edino s poudarkom kakovosti, produktivnosti in prilagodljivosti.

Zgoraj nakazani val avtomatizacije nosi s seboj seveda vse tri lastnosti. Možnost kupovanja omenjene tehnologije je odvisna pač od sposobnosti akumulacije finančnih, tj. deviznih sredstev. Če smo že sposobni takšno zahtevno tehnologijo resnično izkoristiti, pa še ne bomo prerokovali. Na koncu se postavlja vprašanje, ali je poleg nakazane poti na voljo še kaka druga rešitev, po možnosti cenejša in zato prav gotovo tudi nekoliko manj učinkovita.

Malo- in srednjeserijska proizvodnja, ki nas sedaj izrecno zanimata, sta do nedavnega poznali delavniško strukturo proizvodnje. Vemo, da je zanjo značilna prilagodljivost, da dosega razmeroma visoko kakovost, vendar ni najuspešnejša glede produktivnosti. Še več: delavniška struktura je pri uvajanju računalniško podprtih postopkov najmanj uspešna, saj so le-ti razmeroma zahtevni in kompleksni.

Zato že dalj časa govorimo o prestrukturiranju delavniške proizvodnje: bodisi z definiranimi tehnološkimi skupinami ali pa s celično strukturo, kjer v posameznih celicah izdelujemo družine obdelovancev, ki še niso izrazite tehnološke skupine.

Celična struktura postaja tako tista prehodna struktura, ki ji je dodeljena vloga trasformatorja družin v tehnološke skupine, klasične tehnologije v računalniško podprto obdelavo, ročne strege in transporta v čedalje višjo stopnjo avtomatiziranosti.

Celica naj postane tudi poganjač za standardizacijo dimenzij in tehnoloških postopkov.

Seveda je skoraj nemogoče, da bi naenkrat uspešno dosegli vse naštete cilje.

Kako hitro bomo premagali to prehodno obdobje, je v celoti odvisno od delavcev, ki so odgovorni za predlagano preoblikovanje proizvodne strukture.

V tem sestavku bomo zapolnili vrzel, ki se je pokazala po uporabi modificirane incidenčne matrike pri identifikaciji celične strukture.

V članku »Celična struktura« [1] smo ugotovili, da v proizvodnih organizacijah, ki nimajo sistematično urejenih tehnoloških procesov (postopkov), odpovedo tri znane metode za identifikacijo celic. Rešitev smo našli z zgoraj omenjeno modificirano incidenčno matriko. Ta metoda pa, kakor vemo, upošteva pri gradnji celic le največ uporabljane obdelovalne stroje in izpušča tiste, ki so le redko uporabljani. Zato ostaja odprto vprašanje o ustreznosti tako dobljenih celic oziroma celične strukture za obdelavo posameznih družin obdelovancev, katere sestavljajo proizvodni program. V tem delu bomo zato predstavili metodologijo za ugotavljanje ustreznosti celične strukture. Seveda bo potrebno metodo v nadaljnjih raziskavah dopolniti z ugotavljanjem ustreznosti orodij, vpenjal, itd.

Prepričani smo, da je metoda uporabna tudi brez teh dodatkov in dopolnitev, saj so trenutno poudarjene osnovne informacije, ki so dosegljive pri komunikaciji tehnologov z računalnikom in se še nismo podali na pot avtomatizacije proizvodnje.

Z našimi članki želimo pomagati prav njim; pokazali bomo konkretne naloge in možne rešitve teh nalog.

2. OPIS STANJA

V celični proizvodni strukturi (proizvodnem sistemu) je celica enota (tj. podsistem), ki jo sestavljata družina obdelovancev (predmeti dela) in skupina strojev (sredstva dela). Družino obdelovancev in skupino strojev si lahko predstavljamo kot dve množici: kot množico obdelovancev M

$$M = \{1, 2, \ldots, m\}$$

in množico strojev S

$$S = \{1, 2, \ldots, s\}$$

Za elemente prve množice $i \in M$ so značilne informacije o tehnoloških in geometrijskih zahtevah. Prve izvirajo iz predpisanega tehnološkega postopka, druge pa iz konstrukcije, tj. iz geometrijskih dimenzij obdelovanca oziroma surovca. Obe informaciji sta dostopni v tehnološkem listu oziroma delavniški risbi. Pod pojmom tehnološke zahteve obdelovanca razumemo zahtevo po neki specifični tehnološki operaciji (npr. struženju) skupaj z zahtevano kakovostjo obdelave (npr. IT 8), geometrijska zahteva pa pove, kakšna sta npr. premer in dolžina surovca, ki ga bomo stružili. Za stroje so značilne informacije o njihovih tehnoloških zmogljivostih in geometrijskih zmogljivostih. Strojni list in tekoči kontrolni podatki o možni kakovosti obdelave pa so viri zadnjih informacij. Če imamo v neki celici npr. stružnico s kakovostjo obdelave IT 8, potem zmogljivost celice zadovoljuje zahtevam zgoraj omenjenega obdelovanca glede na tehnološko operacijo struženja z zahtevano kakovostjo IT 8 in če so geometrijske zmogljivosti stružnice večje ali enake geometrijskim zahtevam obdelovanca (surovca), je omenjeni obdelovanec v celici tudi mogoče stružiti. Podoben postopek bi stekel za vsako zahtevano operacijo na obdelovancu in za vsako pripadajočo dimenzijsko oziroma geometrijsko zahtevo. Potrebno je torej, da povežemo tehnološke zahteve z geometrijskimi zahtevami obdelovanca, pa tudi tehnološke zmogljivosti stroja z njegovimi geometrijskimi zmogljivostmi. Zgornji primer kaže, da je z operacijo struženja povezan podatek o zmogljivosti stružnice, tj. podatek geometrijskih dimenzij: možnega premera in dolžine struženja.

Z zahtevo po struženju obdelovanca pa sta v medsebojnem razmerju dolžina in premer surovca tega obdelovanca.

V razpredelnici 1 so zbrana razmerja vseh možnih tehnoloških postopkov (operacij) in pripadajočih geometrijskih parametrov, s katerimi se bomo srečevali pri študiju celične strukture, ki je predmet naših raziskav.

Elementi matrike imajo binarne vrednosti; vrednost elementa 1 (šrafirano polje v tabeli) pomeni, da ta element obstaja, vrednost elementa 0 (prazno polje v tabeli) pa pomeni, da element ne obstaja. V splošnem je naša naloga, da elemente matrike podrobneje opredelimo tako za obdelovance kakor za stroje in tako z vidika tehnoloških zahtev oziroma zmožnosti kakor z vidika geometrijskih zahtev oziroma zmogljivosti.

Pri opredeljevanju tehnoloških zahtev obdelovancev in tehnoloških zmogljivosti strojev potrebujemo naslednja pojasnila.

V razpredelnici 1 je 21 vrstic, ki pomenijo možne tehnološke postopke (operacije) v celotni celični strukturi; $n = 21$. Posamezno tehnološko operacijo označimo z indeksom $k \in N$, kjer je

$$N = \{1, 2, \ldots, n\}$$

k	q / GEOMETRIJSKI PARAMETRI (a_{iq}, x_{jq}) / TEHNOLOŠKI PARAMETRI (p_{ik}, r_{jk})	1 premer surovca	2 (x) dolžina	3 zunanji premer	4 (y) širina	5 (z) višina	6 notranji premer	7 globina brušenja	8 min. oddalj. od roba	9 premer vrtanja	10 globina vrtanja	11 imenski premer zun. navoja	12 dolžina zun. navoja	13 imenski premer not. navoja	14 globina navoja	15 premer utornega nastavka	16 premer utorne gredi	17 dolžina utorov	18 delitev ozobja	19 sila (prešanja, štancanja)	20 debelina zvara
1	razrez	■																			
2	čelno poravn., središč.	■	■																		
3	struženje	■	■																		
4	induktivno kaljenje		■	■																	
5	okroglo bruš. zun.		■	■																	
6	okroglo bruš. not.		■	■		■	■														
7	rezk., skob., peh.		■		■	■															
8	plano brušenje		■		■	■															
9	vrtanje					■			■	■	■										
10	izd. zun. navojev		■	■								■	■								
11	izd. not. navojev					■			■					■	■						
12	izd. utorov na gredi		■	■												■		■			
13	izd. utornih gredi		■	■													■	■			
14	izd. utorov v pesto		■				■														
15	izd. čelnih zobnikov, verižn.		■	■															■		
16	izd. stožč. zobnikov		■	■															■		
17	koordinatno vrtanje		■		■	■															
18	obd. na obdel. centru		■		■	■															
19	prešanje, vtisk., stisk.				■	■														■	
20	štancanje				■	■														■	
21	varjenje																				■

Razpredelnica 1

Posamezna celica, ki je element celične strukture, je zmožna opraviti n_c tehnoloških operacij, kjer je c številka celice

$$c \in C = \{1, 2, \ldots, c_s\}$$

in je c_s število vseh celic v celični strukturi.

Za določeno celico c je torej značilen tehnološki prostor T_c z razsežnostjo n_c in bazo $B = (e_1 \ldots e_{n_c})$.

V članku »Celična struktura« [1] smo opisali metodo za definiranje družin obdelovancev in njim pripadajočih skupin strojev (celic). V tam opisanem praktičnem primeru smo videli, da obstajajo obdelovanci, ki so sicer elementi določene družine obdelovancev, vendar za njihovo izdelavo ne zadoščajo le stroji pripadajoče celice, pač pa so za to potrebni nekateri stroji druge ali več drugih celic. To so izjemni obdelovanci. Ta razlog in dodatni argumenti, ki jih bomo spoznali pozneje, pa nas silijo k opisu celice v tehnološkem prostoru celotne celične strukture T, ki ima razsežnosti n in bazo $B = (e_1 \ldots e_n)$. Vsaka celica je v tem tehnološkem prostoru T opisana z ustreznim vektorjem (vektorskim podprostorom), ki ga bomo imenovali navidezni obdelovanec.

Samo tisti obdelovanci, katerih tehnološke zahteve je mogoče uresničiti v tem podprostoru, so pravi elementi celice, vsi drugi so izjemni obdelovanci.

Pojem tehnološkega podprostora, ki pripada celici, je treba dodatno modificirati. Tehnološkim zmožnostim celice oziroma posameznih strojev dodamo ustrezne podatke o možni kakovosti, ki jo lahko posamezni stroji dosegajo. Za vsak stroj j celice c definiramo vektor r_{j_c} modificiranih tehnoloških lastnosti, tako da je r_{j_c} enak

$$r_{j_c} = r_{j_c 1}\, e_1 + \ldots + r_{j_c n}\, e_n$$

kjer je

$$r_{j_c k} = \delta_{j_c k}\, ITa$$

kjer je $k \in N$

$$\delta_{j_c k} = \begin{cases} 1 & \text{če je stroj } j \text{ zmožen opraviti tehnološko operacijo } k \\ 0 & \text{če stroj } j \text{ ni zmožen opraviti tehnološke operacije } k \end{cases}$$

ITa $(a = 0, 1, \ldots, 16)$ vrednost tolerančne vrste, ki jo stroj lahko dosega

Iz komponent vektorjev vseh strojev v celici c pa naredimo matriko podatkov, ki jo rabimo v algoritmu za ugotavljanje primernosti celice za tehnološke zahteve obdelovancev, kar bomo pokazali v poglavju 3.2.

Sedaj določimo še vektorje tehnoloških zahtev (skupaj z zahtevano kakovostjo obdelave) obdelovancev p_i. Če obdelovanci pripadajo le eni celici, jih bomo imeli za prave elemente celice. Tiste, ki pripadajo več celicam, pa smo imenovali izjemne obdelovance. Definiramo jih podobno kakor vektorje strojev:

$$p_i = p_{i1}\, e_1 + \ldots + p_{in}\, e_n$$

kjer je: $p_{ik} = \delta_{ik}\, IT(a)$

$$\delta_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{če obdelovanec } i \text{ terja tehnološko operacijo } k \\ 0 & \text{če obdelovanec } i \text{ ne terja tehnološkega postopka } k \end{cases}$$

ITa $(a = 1 \ldots 16)$ vrednost tolerančne vrste, ki jo terja tehnološka operacija obdelovanca

Vektorji in matrika tehnoloških podatkov so vodilni podatki. V povezavi z njimi definiramo pripadajoče vektorje in matriko geometrijskih podatkov. Oboje potrebujemo pri ugotavljanju možnosti za realizacijo opazovanega tehnološkega postopka.

Za vsak obdelovanec i, ki pripada celici c, definiramo vektor geometrijskih zahtev x_i tako, da za vse zahtevane tehnološke operacije na obdelovancu napišemo ustrezne geometrijske veličine.

Tako npr. za operacijo $k = 3$ (tj. struženje) potrebujemo zahtevani premer surovca in dolžino. V splošnem ima vektor geometrijskih zahtev obdelovanca i naslednjo obliko:

$$x_i = x_{i1}\, e_1 + \ldots + x_{ig}\, e_g$$

kjer so:

$B_g = (e_1 \ldots e_g)$ — baza g razsežnostnega geometrijskega prostora celične strukture G

x_{iq} — velikost opazovanega geometrijskega parametra, izražena v ustreznih dimenzijskih enotah

$q \in G = \{1 \ldots g\}$ — kjer je G množica geometrijskih parametrov

Podobno formiramo za celico matriko podatkov geometrijskih zmogljivosti strojev. Elemente te matrike sestavljajo največje mogoče geometrijske vrednosti, ki jih še lahko obdelujemo ali vpenjamo, dobimo pa jih z vektorji geometrijskih zmogljivosti strojev, ki sestavljajo celico c. Tak vektor je za stroj j definiran z izrazom:

$$a_j = a_{j1}\, e_1 + \ldots + a_{jg}\, e_g$$

kjer je: a_{jq} največja možna velikost geometrijskega parametra podana z ustrezno mersko veličino; $q \in G$.

Pri geometrijskih zmogljivostih strojev izhajamo iz postavke, da so posamezni geometrijski parametri med seboj neodvisni. Dejansko vemo, da so med njimi določene funkcijske odvisnosti, ki bi terjale posebno raziskavo. Pri naši poenostavitvi pa velja, da smo predpisali za vsak geometrijski parameter na spodnji meji vrednost nič, na zgornji meji pa upoštevamo največjo zmogljivost.

3. UGOTAVLJANJE USTREZNOSTI CELIČNE STRUKTURE ZA OBDELAVO OBDELOVANCEV

Celično strukturo definirajo družine obdelovancev oziroma obdelovanci, ki so dimenzijsko oblikovno in funkcionalno podobni. Za definiranje celične strukture uporabljamo običajno vzorec obdelovancev ali pa vse obdelovance, ki se v nekem obdobju pojavljajo v proizvodnem programu. Seveda imamo poleg omenjenih obdelovancev še druge obdelovance, pa tudi vsak nov izdelek prinaša dodatne obdelovance. Ugotavljanje ustreznosti celične strukture je zato za izdelavo obdelovancev zelo pomembno. V tem poglavju bomo tej nalogi posvetili posebno pozornost. Ustreznost celične strukture oziroma posameznih celic v strukturi vrednotimo z možnostjo, da obdelovanec lahko izdelamo v eni ali več celicah. To pomeni, da sta vektor tehnoloških zahtev obdelovanca in vektor geometrijskih zahtev obdelovanca v tehnološkem prostoru T oziroma geometrijskem prostoru G celične strukture. Če vektor tehnoloških in geometrijskih zahtev obdelovanca i označimo z $o_i = o_i(p_i, x_i)$ in definiramo prostor celične strukture z $U = U(T, G)$ potem v primeru ustreznosti velja, da je

$$o_i \in U$$

oziroma je

$$p_i \in T \quad \text{in} \quad x_i \in G$$

Za ugotavljanje ustreznosti skrbi poseben računalniški program, ki ga sestavljajo glavni program in dva podprograma, tj. program za ugotavljanje tehnološke ustreznosti in program za ugotavljanje geometrijske ustreznosti.

Poglejmo najprej algoritem glavnega programa.

3.1. Algoritem glavnega programa (Diagram 1)

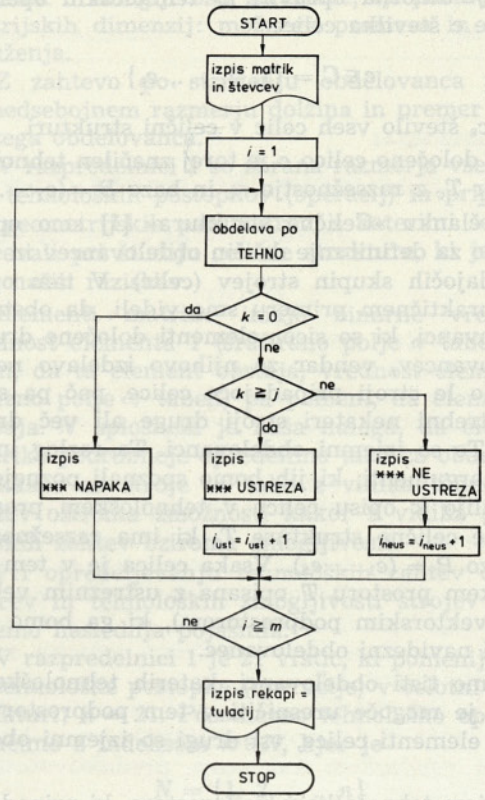
Ta algoritem krmili predvsem uporabo podprograma, ki ga bomo razložili v poglavju 3.2. z naslovom »Algoritem TEHNO« in izpisuje začetne in končne podatke.

Vgrajen ima števec, ki konča obdelavo potem, ko smo ugotovili ustreznost oziroma neustreznost sistema, tj. celične strukture za vse obdelovance.

3.2. Algoritem TEHNO (Diagram 2)

Osnovna ideja algoritma TEHNO je v tem, da za vsak posamezni obdelovanec preverimo, če razpoložljivi stroji omogočajo izvedbo zahtevanih tehnoloških postopkov. Če moramo pri izdelavi opazovanega obdelovanca uporabljati tehnološki postopek k, bo vrednost posameznega parametra p_{ik} različna od nič. Za vsak nov obdelovanec predpišemo na začetku prvega koraka vrednost ustreznosti za skupino strojev celice, ki je v tem primeru enaka nič, $U = 0$. Ustreznost dobi od nič različno vrednost le v primeru, če ima na ustreznih poprejšnjih strojih tudi od nič različno vrednost.

Diagram 1. *Algoritem glavnega programa*



Za obravnavani stroj nato ugotovimo sposobnost opravljanja zahtevanega tehnološkega postopka. Če je vrednost r_{jk} različna od nič, pomeni, da je stroj določen za obdelavo zahtevanega tehnološkega postopka. V tem primeru ima ustreznost vrednost, ki je enaka ena; $U = 1$, razen v primeru, če nismo za isti tehnološki postopek poprej dosegli višje vrednosti za ustreznost U. Če stroj ni primeren za obdelavo zahtevanega tehnološkega postopka, ima parameter r_{jk} vrednost nič in možnost za izvedbo tehnološkega postopka preverjamo na naslednjem stroju. Vrednost U, ki podaja oceno ustreznosti pa zadrži vrednost ena, dokler v nadaljnji primerjavi ne ugotovimo višje vrednosti.

Po ugotovitvi, da lahko stroj opravi zahtevani tehnološki postopek, preverjamo še kakovost obdelave, ki jo na stroju dosegamo, in njeno ustreznost zahtevam obdelovanca.

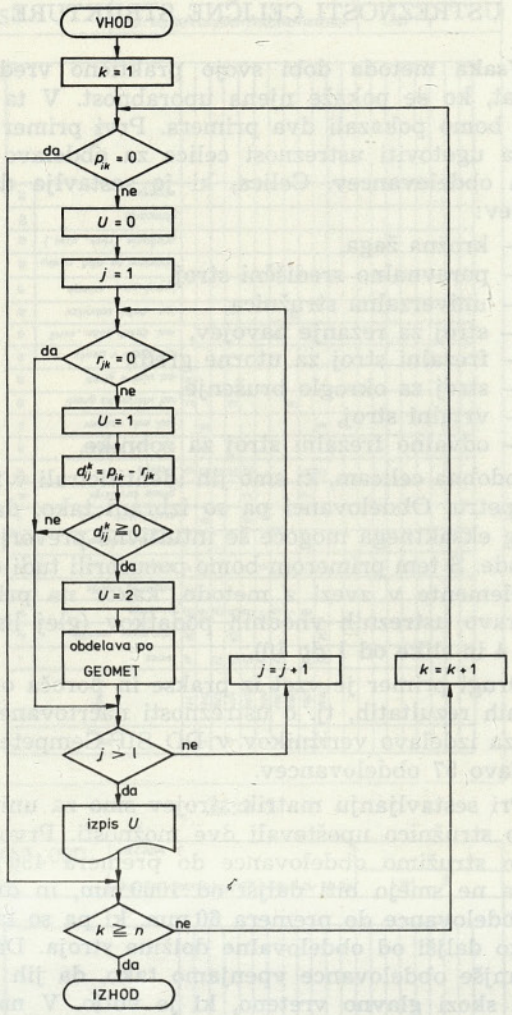
V ta namen si pomagamo z izrazom

$$d_{ij}{}^k = p_{ik} - r_{jk}$$

Če je vrednost $d_{ij}{}^k \geqslant 0$, kar pomeni, da je kakovost stroja j zadovoljiva, predpišemo merilu ustreznosti novo vrednost, $U = 2$.

V nasprotnem primeru pa obdržimo za ustreznost staro vrednost, tj. $U = 1$ in iščemo ustreznost

Diagram 2. *Algoritem TEHNO*



za izvedbo tehnološkega postopka na naslednjem stroju.

Če ugotovimo, da opazovani stroj po namenu in kakovosti ustreza zahtevam k-tega tehnološkega postopka, primerjamo še velikost obdelovanca z velikostjo delovnega območja stroja.

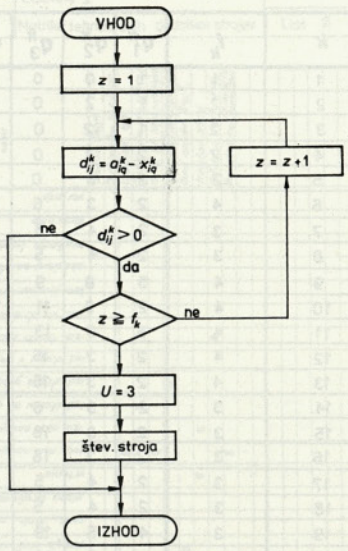
Za to primerjavo je namenjen podprogram, ki ga bomo spoznali v poglavju 3.3. z naslovom »Algoritem GEOMET«.

3.3. Algoritem GEOMET
(Diagram 3)

V poglavju 2. smo pokazali matriko (razpredelnica 1) povezav med tehnološkimi postopki, ki jih lahko opravi celična struktura, in pripadajočimi geometrijskimi parametri. To je povezava tehnološkega prostora z geometrijskim prostorom. Za prakso pa to razmeroma veliko matriko napišemo v preprostejši obliki. Izkaže se, da so v vsaki vrstici matrike največ štirje od nič različni elementi.

Zato je primernejša naslednja modificirana matrika (razpredelnica 2), ki prikazuje preprosto štirimestno odvisnost geometrijskih parametrov za

Diagram 3. *Algoritem GEOMET*



posamezne tehnološke postopke. V tej matriki dobijo od nič različni elementi vrednosti indeksov ustrezajočih baznih vektorjev. Tako bomo v vrstici $k = 11$ (tj. izdelava notranjega navoja) našli na prvem mestu 5, na drugem 8, tretjem 13 in zadnjem 14. To pomeni, da potrebujemo za ta tehnološki postopek v geometrijskem prostoru G štiri podatke, tj. vpenjalno višino obdelovanca, najmanjšo oddaljenost izvrtine od roba obdelovanca, imenski premer notranjega navoja, ki ga želimo izdelati, in globino navoja. Geometrijski prostor tega tehnološkega postopka je podprostor v geometrijskem prostoru G, njegova baza pa je:

$$B_{11} = (0, 0, 0, 0, e_5 = 1, 0, 0, e_8 = 1, 0, 0, 0, 0, e_{13} = 1, e_{14} = 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$$

Preprosto pa razmerja iz modificirane matrike napišemo (tako po zmogljivostih kakor po zahtevah) z naslednjim razmerjem:

$$\{q_1^k, q_2^k, \ldots, q_{fk}^k\} \subset \{q_1, q_2 \ldots q_g\}$$

kjer so:

$\{q_1, q_2 \ldots q_g\}$ — množica vseh geometrijskih parametrov iz prostora G

$\{q_1^k, q_2^k, \ldots, q_{fk}^k\}$ — množica f_k geometrijskih parametrov, ki so povezani s tehnološkim postopkom k. f_k je število geometrijskih parametrov, ki so povezani z določenim tehnološkim postopkom k

Podatke iz pokazane modificirane matrike (razpredelnica 2) prenesemo v algoritem GEOMET. Ustreznost za posamezne geometrijske podatke preverjamo z izrazom

$$d_{ij}^k = a_{jq}^k - x_{iq}^k$$

Razpredelnica 2

k	f_k	q_1^k	q_2^k	q_3^k	q_4^k
1	1	1	0	0	0
2	2	1	2	0	0
3	2	1	2	0	0
4	2	2	3	0	0
5	2	2	3	0	0
6	4	2	3	6	7
7	3	2	4	5	0
8	3	2	4	5	0
9	4	5	8	9	10
10	4	2	3	11	12
11	4	5	8	13	14
12	4	2	3	15	17
13	4	2	3	16	17
14	3	2	3	6	0
15	3	2	3	18	0
16	3	2	3	18	0
17	3	2	4	5	0
18	3	2	4	5	0
19	3	4	5	19	0
20	3	4	5	19	0
21	1	20	0	0	0

V primeru, da delovno območje stroja za vseh f_k dimenzij ustreza velikosti obdelovanca, predpišemo oceno ustreznosti $U = 3$, poiščemo šifro ustreznega stroja in nadaljujemo s postopkom, ki ga predpisuje algoritem TEHNO.

Če pa ena od f_k dimenzij obdelovanca presega delovno območje stroja, nadaljujemo s postopkom po algoritmu TEHNO brez spreminjanja vrednosti U.

V obeh primerih nadaljujemo preverjanje ustreznosti strojev za izvedbo k-tega tehnološkega postopka po zahtevah i-tega obdelovanca.

Po preverjanju vseh strojev izpišemo rezultate, ki vsebujejo naslednje podatke:

— šifro obravnavanega obdelovanca,
— šifro operacije,
— šifro ustreznosti, tj. vrednosti U,
pri čemer pomenijo:
$U = 0$ — obravnavana skupina strojev ni sposobna za izvedbo zahtevanega tehnološkega postopka;
$U = 1$ — obravnavani stroji ne zagotavljajo zahtevane natančnosti obdelave (kakovosti);
$U = 2$ — obdelovanec presega delovno območje stroja;
$U = 3$ — obstaja najmanj en stroj, ki lahko zadosti zahtevam obdelovanca;
— šifro ustreznih strojev.

Postopek nadaljujemo za vse zahtevane tehnološke postopke, ki so povezani z izdelavo i-tega obdelovanca in nazadnje za vse obdelovance.

Algoritem glavnega programa konča z izpisom, ki vsebuje:

— število vseh proučevanih obdelovancev,
— število ustreznih obdelovancev,
— število neustreznih obdelovancev.

4. UPORABA METODE ZA UGOTAVLJANJE USTREZNOSTI CELIČNE STRUKTURE

Vsaka metoda dobi svojo praktično vrednost takrat, ko se pokaže njena uporabnost. V ta namen bomo pokazali dva primera. Prvi primer poskuša ugotoviti ustreznost celice za obdelavo desetih obdelovancev. Celica, ki jo sestavlja devet strojev:

— krožna žaga,
— poravnalno središčni stroj,
— univerzalna stružnica,
— stroj za rezanje navojev,
— frezalni stroj za utorne gredi,
— stroj za okroglo brušenje,
— vrtalni stroj,
— odvalno frezalni stroj za zobnike,

je podobna celicam, ki smo jih identificirali v SIP-Šempetru. Obdelovanci pa so izbrani tako, da bo poleg eksaktnega mogoče še intuitivno preverjanje metode. S tem primerom bomo ponazorili tudi druge elemente v zvezi z metodo, kakor na primer pripravo ustreznih vhodnih podatkov (glej list 1, 2, 3, 4 in slike od 1 do 10).

Drugi primer je vzet iz prakse in poroča o dobljenih rezultatih, tj. o ustreznosti načrtovane celice za izdelavo verižnikov v DO SIP-Šempeter za izdelavo 57 obdelovancev.

Pri sestavljanju matrik strojev smo za univerzalno stružnico upoštevali dve možnosti. Prvo, da lahko stružimo obdelovance do premera 480 mm, ki pa ne smejo biti daljši od 1000 mm, in drugo za obdelovance do premera 60 mm, ki pa so lahko veliko daljši od obdelovalne dolžine stroja. Daljše in tanjše obdelovance vpenjamo tako, da jih vložimo skozi glavno vreteno, ki je votlo. V našem primeru smo dolžino omejili na 2000 mm.

Rezultati obdelave kažejo, da lahko obdelamo v okviru celice 3 obdelovance, medtem ko moramo za preostale poiskati dodatne zmogljivosti v drugih celicah.

Rešitev za obdelovance, ki celici ne ustrezajo, je več:

— poiščemo zmogljivosti za obdelavo zunaj celice,

— obdelovanec preselimo v drugo celico, kjer ga bomo lahko v celoti obdelali;

— celici dodamo manjkajoči stroj in tako z novimi zmogljivostmi ugodimo zahtevam obdelovancev.

Za zadnjo možnost se bomo odločili le, ko bomo z dodatnim strojem dosegli boljše ekonomske učinke kakor s prejšnjo razporeditvijo.

S primerjanjem matrik obdelovancev in strojev ugotovimo, da so navedbe v izpisu rezultatov pravilne. Tako ugotovimo na primer, da za obdelovanec 1002 nismo zagotovili frezanja, ker ga stroji v celici ne omogočajo. Podobno lahko ugotovimo za

RAZ OBD ST | CELICA 1 | Matrika tehnoloških podatkov obdelov. | List 1

zap. št.	ident št.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	naziv
1	1001	rotacija	11																					
2	1002	čelno prirez, sraščič.		10		12		12				10												
3	1003	struženje	8		9	8		8			8													
4	1004	ročno kaljenje	12			12		11			7													
5	1005	brušenje zun.	5		7			6																
6	1006	brušenje not.									6													
7	1007	rezk., žleb., perf.			8				9		7													
8	1008	plono brušenje																						
9	1009	vrtanje	5		8	8		12			8	5												
10	1010	izd. zun. navojev			8																			
11	1011	izd. not. navojev			8							6												
12	1012	izd. utorov na gredi	6			5					6													
13	1013	izd. utorne gredi	8																					
14	1014	izd. utorov v desku								6														
15	1015	izd. čelnih zobn. verig.								8														
16	1016	izd. stožč. zobnikov																						
17	1017	koordinatno vrtanje																						
18	1018	obdelava na obd. centru																						
19	1019	pregašanje (vrtak., sirak.)																						
20	1020	štancanje																						
21		vrtanje																						

List 1

RAZ OBD ST | CELICA 1 | Matrika tehnoloških podatkov strojev | List 2

zap. št.	ident št.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	naziv
1	001	rotacija	41																					Tračna žaga
2	002	čelno prirez, sraščič.		9	8																			Revolverka vert. st.
3	003	struženje			8							8												Univerzal. str.
4	004	ročno kaljenje												8										Rezk. str. za cevi
5	005	brušenje zun.									8													Stiskalnica za cevi
6	006	brušenje not.														8								Rezk. stroj za odrezg.
7	007	rezk., žleb., perf.																						Stroj za obr. žebel.
8	008	plono brušenje																						Vrtalni stroj za obr.
9	009	vrtanje																						Obkrožni stroj za obr.
10	010	izd. zun. navojev			8							8												Ulni str. konc. žebel.
11		izd. not. navojev																						
12		izd. utorov na gredi					8																	
13		izd. utorne gredi								8														
14		izd. utorov v desku																						
15		izd. čelnih zobn. verig.															8							
16		izd. stožč. zobnikov																						
17		koordinatno vrtanje																						
18		obdelava na obd. centru																						
19		pregašanje (vrtak., sirak.)																						
20		štancanje																						
21		vrtanje																						

List 2

RAZ OBD ST | CELICA 1 | Matrika geometrijskih podatkov obdel. | List 3

zap. št.	ident št.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	naziv
1	1001	premer surovca	59																					
2	1002	dolžina (x)	320	320																				
3	1003	zunanji premer	45		30																			
4	1004	širina (y)		200		200																		
5	1005	višina (z)	45				30																	
6	1006	notranji premer						25																
7	1007	globina brušenja							25															
8	1008	min. odboj od roba	23		600	15	20	15	15															
9	1009	premer vrtanja		4		8	8	12																
10	1010	globina vrtanja	45		25	15	25	12	40			40												
11	1011	min. premer zun. navoja			36																			
12	1012	dolžina zun. navoja			25																			
13	1013	min. premer not. navoja			12							40												
14	1014	globina navoja			20								30											
15	1015	premer utornega nastavka	45		42			24																
16	1016	premer utorne gredi										20												
17	1017	dolžina utorov	800				36						15	2										
18	1018	delitev ozobja								7														
19		sila (pregašanje/štancanje)																						
20		debelina zvora																						
21		—																						

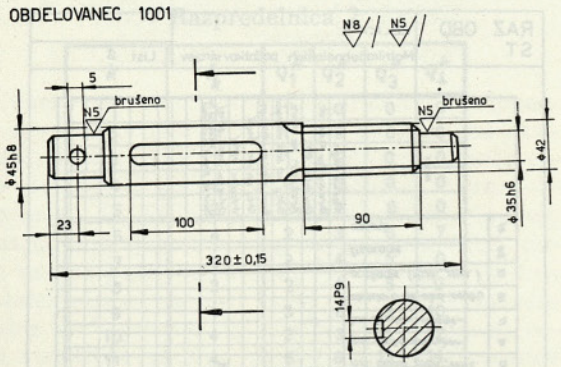
List 3

RAZ OBD ST | CELICA 1 | Matrika geometrijskih podatkov strojev | List 4

zap. št.	ident št.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	naziv
1	001	premer surovca	570																					Tračna žaga
2	002	dolžina (x)		160	160																			Revolverka vert. sh.
3	003	zunanji premer				480	480																	Univerzal. str.
4	004	širina (y)			160			160																Rezk. sh. za cevi
5	005	višina (z)				52	52																	Stroj za rez. navojev
6	006	notranji premer							160	160														Rezk. stroj za odrezg.
7	007	globina brušenja																						Stroj za obr. žebel.
8	008	min. odboj od roba									800	48												Vrtalni stroj
9	009	premer vrtanja																						Obkrožni stroj za obr.
10	010	globina vrtanja										150												Ulni str. konc. žebel.
11		min. premer zun. navoja				48/1000							60/1000											
12		dolžina zun. navoja					52		500															
13		min. premer not. navoja										160												
14		globina navoja				150																		
15		premer utornega nastavka																						
16		premer utorne gredi						150																
17		dolžina utorov					500			800														
18		delitev ozobja												25										
19		sila (pregašanje/štancanje)																						
20		debelina zvora																						
21		—																						

List 4

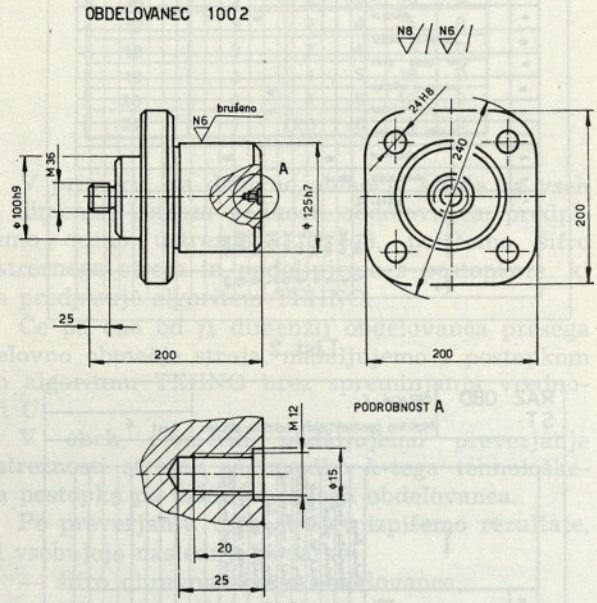
OBDELOVANEC 1001



Slika 1

Tehnologija: 1 — razrez, 2 — čelno poravnavanje, 3 — struženje, 4 — induktivno kaljenje, 5 — zunanje okroglo brušenje, 9 — vrtanje, 12 — izdelava utorov, 13 — izdelava utorne gredi

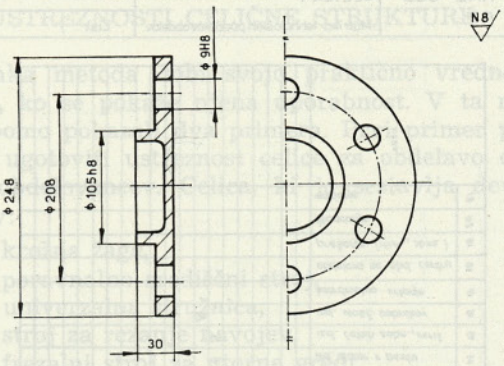
OBDELOVANEC 1002



Slika 2

Tehnologija: 3 — struženje, 5 — zunanje okroglo brušenje, 7 — frezanje, 9 — vrtanje, 10 — izdelava zunanjega navoja, 11 — izdelava notranjega navoja

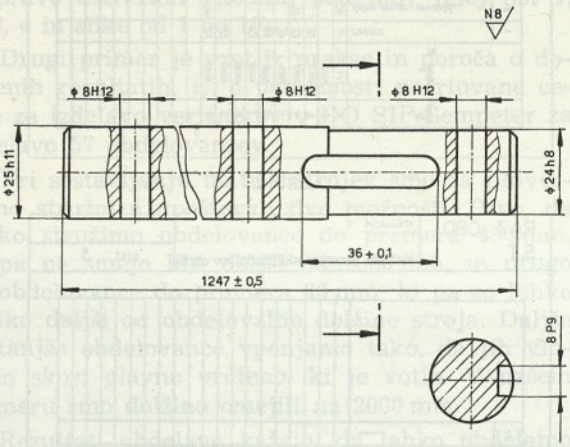
OBDELOVANEC 1003



Slika 3

Tehnologija: 1 — razrez, 3 — struženje, 9 — vrtanje

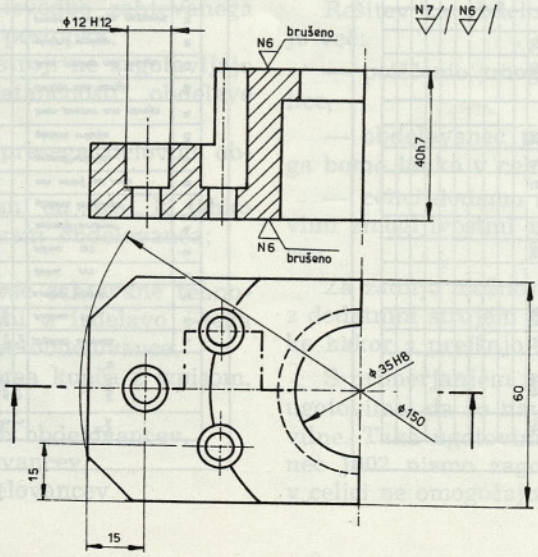
OBDELOVANEC 1004



Slika 4

Tehnologija: 1 — razrez, 2 — čelno poravnavanje, 3 — struženje, 9 — vrtanje, 12 — izdelava utora

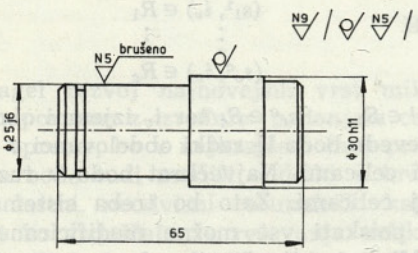
OBDELOVANEC 1005



Slika 5

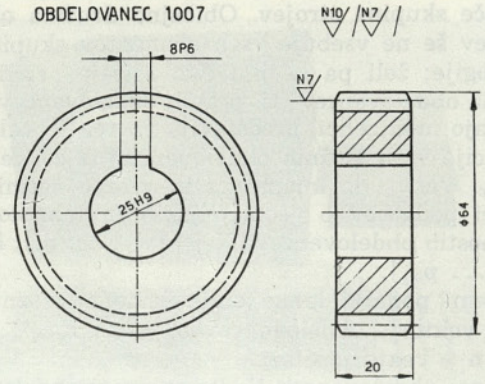
Tehnologija: 1 — razrez, 3 — struženje, 7 — frezanje, 8 — plano brušenje, 9 — vrtanje

OBDELOVANEC 1006



Slika 6
Tehnologija: 1 — razrez, 3 — struženje, 5 — zunanje okroglo brušenje

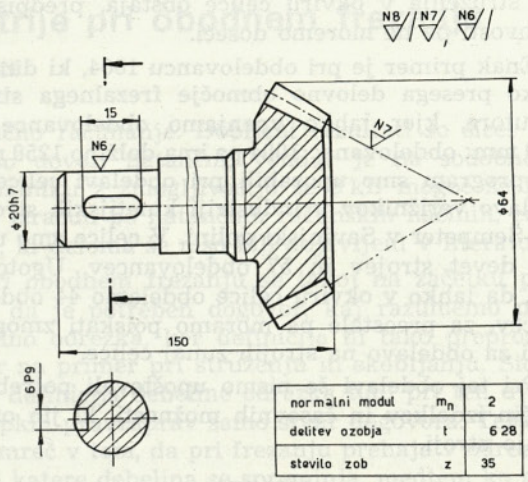
OBDELOVANEC 1007



modul ozobja	m	2
delitev ozobja	t	6,28
število zob	z	38

Slika 7
Tehnologija: 1 — razrez, 3 — struženje, 14 — izdelava utorov v pesto, 15 — izdelava valjastih zobnikov

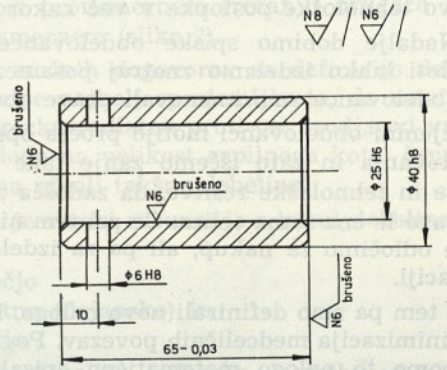
OBDELOVANEC 1008



normalni modul	m_n	2
delitev ozobja	t	6,28
število zob	z	35

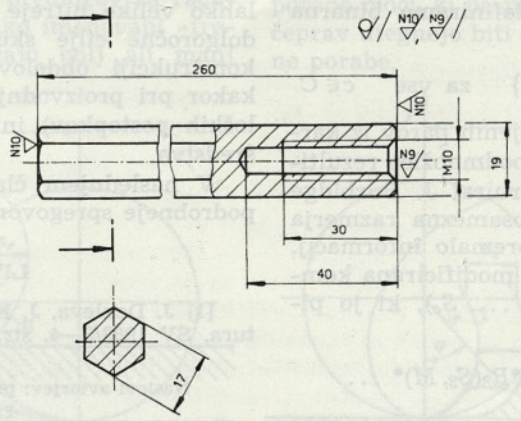
Slika 8
Tehnologija: 3 — struženje, 12 — izdelava utora, 16 — izdelava stožčastega zobnika

OBDELOVANEC 1009



Slika 9
Tehnologija: 1 — razrez, 3 — struženje, 6 — notranje okroglo brušenje, 8 — plano brušenje, 9 — vrtanje

OBDELOVANEC 1010



Slika 10
Tehnologija: 1 — razrez, 2 — čelno poravnavanje, 9 — vrtanje, 11 — izdelava notranjega navoja

obdelovanec 1008, da zahtevani tehnološki postopek struženja v okviru celice obstaja, predpisane kakovosti pa ne moremo doseči.

Enak primer je pri obdelovancu 1004, ki dimenzijsko presega delovno območje frezalnega stroja za utore, kjer lahko vpenjamo obdelovance do 1000 mm; obdelovanec 1004 pa ima dolžino 1250 mm. Isti program smo uporabili pri obdelavi celice za izdelavo verižnikov v industriji kmetijskih strojev SIP-Šempeter v Savinjski dolini. V celico smo uvrstili devet strojev in 57 obdelovancev. Ugotovili smo, da lahko v okviru celice obdelamo 44 obdelovancev, za preostale pa moramo poiskati zmogljivosti za obdelavo na strojih zunaj celice.

Pri tej obdelavi še nismo upoštevali potrebnih količin izdelkov in časovnih možnosti, ki jih omogočajo stroji.

SKLEP

Iz ugotavljanja ustreznosti celične strukture za obdelavo obdelovancev izhaja vrsta koristnih rezultatov. Med temi podatki je spisek izjemnih obdelovancev, za katere vemo, da terjajo za svojo izdelavo tehnološke postopke v več kakor eni celici.

Nadalje dobimo spiske obdelovancev, ki jih v celoti lahko izdelamo znotraj posameznih celic. Te obdelovance smo imenovali prave obdelovance.

Izjemni obdelovanci motijo proces operativnega načrtovanja in zato iščemo zanje take konstrukcijske in tehnološke rešitve, da zadošča za njihovo izdelavo le ena sama celica. Če pri tem nismo uspeli, se odločimo za nakup, ali pa za izdelavo v kooperaciji.

S tem pa smo definirali novo nalogo, katere cilj je minimizacija medceličnih povezav. Poglejmo, kako bomo to nalogo matematično opisali oziroma strukturirali.

Obdelovance v celični strukturi opišemo z množico M; $M = \{1, 2, \ldots, m\}$. Za c-to celico pa je značilna skupina strojev, ki jo opišemo z množico $S_c \subset S$; $S_c = \{1_c, 2_c, \ldots, s_c\}$.

Med množicama S_c in M definiramo binarna razmerja:

$$R_c(S_c, M) \subseteq \{(j_c, i)/(j_c, i) \in S_c \times M\} \quad \text{za vse} \quad c \in C$$

ki predstavljajo podmnožice urejenih parov iz kartezičnega produkta $S_c \times M$. Te podmnožice rezultirajo iz matrike, ki jo je konstruiral J. Burbidge za analizo celične strukture. Posamezna razmerja dajo o izjemnih obdelovancih premalo informacij. Do ustreznih informacij pa vodi modificirana kompozicija vseh razmerij $R(S_1, S_2, \ldots, S_c)$, ki jo pišemo:

$$R(S_1, S_2, \ldots, S_c) = R_1(S_1, M) * R_2(S_2, M) * \ldots * R_c(S_c, M)$$

in je definirana kot podmožica kartezičnega produkta $S_1 \times S_2 \times \ldots \times S_c$ tako, da je $(s_1^1\, s_2^2 \ldots s_c^c) \in R$, če in samo, če velja:

$$\begin{array}{c} (s_1^1, i_v) \in R_1 \\ \vdots \qquad \vdots \\ (s_c^c, i_v) \in R_c \end{array}$$

in so $s_1^1 \in S_1 \ldots s_c^c \in S_c$ ter i_v izjemni obdelovanec iz M. Seveda bodo le redki obdelovanci v razmerju z vsemi celicami. Največkrat bodo v razmerju le z nekaj celicami. Zato bo treba sistematično in skrbno poiskati vse možne modificirane kompozicije. Minimizacija števila elementov v podmnožicah, ki jih definirajo opisane modificirane kompozicije, je potem identična z minimizacijo izjemnih obdelovancev. Delo pri tej nalogi teče.

Pri oblikovanju oziroma identifikaciji celic, bodisi z analizo pretoka materiala ali z drugimi postopki, dobimo družine obdelovancev in njim pripadajoče skupine strojev. Običajno družina obdelovancev še ne vsebuje vseh elementov skupinske tehnologije; želi pa se jim čim hitreje približati. Družina obdelovancev (tj. pravih obdelovancev), ki pripadajo neki celici, predstavlja vzorec V_c celotne populacije vseh možnih obdelovancev te celice M_c; $V_c \subseteq M_c$. Vemo, da imamo za ta vzorec definirani množici podatkov o geometrijskih in tehnoloških značilnostih obdelovancev; $X_c = \{x_1 \ldots x_{m_c}\}$, $P_c = \{p_1 \ldots p_{m_c}\}$.

S temi podatki lahko oblikujemo nove značilnostne vektorje obdelovancev $o_i = t_1 x_i + t_2 p_i$, kjer sta t_1 in t_2 vektorja uteži.

Vzorec obdelovancev V_c (to so pravi obdelovanci celice c) je sedaj mogoče klasificirati. To pomeni, da klasificiramo o_i s tem, da pripada tisti skupini $o_i^{(d)}$, katere center je za o_i najbližji:

$$D(o_i, o_i^{(d)}) = \min_{e \in E} D(o_i, o_i^{(e)})$$

kjer je D mera distorzije, ki je v našem primeru Euklidska, $\{o_i^{(e)}/e \in E\}$ pa so diskretni centri skupin obdelovancev.

S to klasifikacijo, ki jo ponuja taksonometrija, lahko veliko hitreje uresničujemo kratkoročne in dolgoročne cilje skupinske tehnologije tako pri konstrukciji obdelovancev (npr. standardizaciji), kakor pri proizvodnji (npr. standardizaciji tehnoloških postopkov) in investicijah v nova delovna sredstva.

V naslednjem članku bomo o teh problemih podrobneje spregovorili.

LITERATURA

[1] J. Dekleva, J. Kušer, D. Menart: Celična struktura, SV 1982/3—4, str. 49 . . . 50.

Naslovi avtorjev: prof. dr. Janez Dekleva, dipl. inž., Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, asistent Dragan Strancar, dipl. inž., Rajko Novak, dipl. inž., oba ISKRA Avtoelektrika, Nova Gorica