

UDK 65.012.12

Problemi pri računalniški identifikaciji celične strukture

JANEZ DEKLEVA — DARKO MENART

I. SKUPINSKO TEHNOLOŠKE CELICE

1. Definicija

Do nedavnega je v maloserijski proizvodnji obstajal delavniški ali funkcionalni način proizvodnje kot najučinkovitejše načelo razporeditve strojev. Značilnost tega tipa proizvodnje je v tem, da so stroji v oddelkih razporejeni funkcionalno, to se pravi po funkcijah, ki jih opravljajo (v enem oddelku vse stružnice, v drugem vrtni stroji, itd.).

V zadnjem času se pojavljajo, predvsem kot posledica razvoja skupinske tehnologije, tudi nova načela razporeditve strojev, verjetno najzanimivejša pa je skupinsko tehnološka celica. To je skupina strojev, ki se ponavadi med seboj funkcionalno razlikuje (eno celico sestavljajo npr. stružnica, vrtni stroj, stroj za rezanje navojev, frezalni stroj, itd.).

Osnova za tvorbo celic je klasifikacija obdelovancev in klasifikacija operacij obdelovancev. Celica pa je sestavljena glede na obdelovance tako, da se elementi določene skupine obdelovancev obdelujejo na vseh strojih v celici in so po možnosti ti elementi dokončno izdelani znotraj ene celice, pri tem pa vrstni red uporabljanja strojev ni predpisan.

Posamezne celice bi morale, da bi bile njene prednosti nasproti delavniški strukturi najbolj opazne, sestavljati okoli 8 do 10 strojev.

2. Cilji

Cilji so naslednji:

— Posamezni delovni skupini prepustimo celotno izdelavo vseh obdelovancev, ki sodijo v posamezno celico. S tem povečamo zanimanje in odgovornost delavcev, ker prek izdelave bolj začutijo svojo pomembnost pri ustvarjanju, hkrati pa se zmanjšata tudi enoličnost in monotonost dela. Razporeditev delavca pa vpliva tudi na količino in kakovost opravljenega dela.

— Skrajšajo se poti obdelovancev in s tem se močno zmanjšajo tudi transportni stroški. Ta prednost ni zanemarljiva, če upoštevamo, da odpade na transportne stroške do 50, pri nekaterih panogah pa tudi do 80 % proizvodnih stroškov.

— Časi pretokov obdelovancev so krajši, mogoče pa jih je tudi natančneje določiti, kar olajša načrtovanje proizvodnje.

— Pregled nad proizvodnjo je boljši.

— Odločanje o nakupu novih strojev je lažje.

— Pregled nad porabo materiala je večji, kar omogoča lažje nabavljanje in manjšo vezavo kapitala na material v skladiščih.

— Pripravljalni časi so manjši (podobni obdelovanci potrebujejo podobna orodja in opremo).

II. ZNANI POSTOPKI ZA IDENTIFIKACIJO CELIČNE STRUKTURE*

1. **J. L. Burbidge:** Analiza produkcijskega toka temelji na predpostavki, da večina obdelovancev in strojev že pripada jasno definiranim skupinam in celicam, prav tako trdi, da ni mogoče poiskati optimalne delitve celic strojev in skupin obdelovancev, če ne poskrbimo za čimmanjši pretok materiala med oddelki.

Analiza je razdeljena na dve fazi:

a) Makroanaliza pretoka

Z njo določimo prave oddelke za izdelavo skupin obdelovancev, s čim preprostejšim pretokom. Prizadevamo si, da bi vsak obdelovanec obdelali v enem samem oddelku, tako da bi bilo čimmanj odvisnosti med oddelki.

b) Mikroanaliza pretoka

Cilj mikroanalize je doseči najpreprostejši sistem materialnega toka znotraj vsakega oddelka s tem, da definiramo celice strojev in tem celicam pripadajoče družine obdelovancev.

Da lahko to dosežemo, se moramo držati naslednjih omejitev:

— kolikor je le mogoče, moramo obdelovati vsak obdelovanec v eni sami celici,

— če je le mogoče, naj en tip stroja obstaja samo v eni celici,

— neprimerljivi procesi naj bodo v različnih celicah.

* V dodatku bo bralec našel podrobno opisan temeljni postopek za identifikacijo celične strukture, ki ga je izdelal J. L. Burbidge.

Burbidge sestavlja celice strojev in družine obdelovancev s pomočjo ročnega preurejanja matrike stroji/obdelovanci in trdi, da je uspeh mogoč, če je v proizvodnem programu do 2000 obdelovancev. Podatkovno matriko (stroji/obdelovanci) sestavlja M vrst strojev, tj. množica objektov $S = \{S_1, S_2, \dots, S_M\}$ in N kolon obdelovancev s svojimi zahtevami do posameznih strojev, ki jih karakterizirata binarna podatka 1 in 0; tj. obdelovanec za izdelavo potrebuje določen stroj ali ga ne potrebuje. Element matrike je x_{mn} , kjer pomenita $m = 1, 2, \dots, M$ in $n = 1, 2, \dots, N$.

2. McAuley analizira podatke v matriki stroji/obdelovanci s pomočjo t. i. cluster analize. Kakor že vemo, imajo elementi omenjene matrike binarni vrednosti, tj. $x_{mn} = 0$ ali 1. Zato sta zanimivi celi števili a in b , ki ju definiramo z izrazoma:

$$a = \sum_{n=1}^N \min(x_{on}, x_{mn})$$

in

$$b = \sum_{n=1}^N \min(1 - x_{on}, 1 - x_{mn})$$

Število a je enako številu obdelovancev, ki jih obdelamo na strojih o in m , število b pa številu obdelovancev, ki jih ne obdelujemo niti na stroju o in niti na stroju m . Vsota obeh števil je celo število z omejitvijo:

$$0 \leq (a + b) \leq N$$

McAuley definira koeficient podobnosti s_{om} , in sicer po Jaccardovi (oziroma Tanimotovi) definiciji

$$s_{om} = \frac{a}{N - b}$$

tako, da je $0 \leq s_{om} = s_{mo} \leq 1$.

To pomeni, da v primeru $s_{om} = 0$ stroja o in m nimata skupnega obdelovanca; v primeru $s_{om} = 1$ pa se vsi obdelovanci, ki se obdelujejo na enem stroju, obdelujejo tudi na drugem. Seveda izračunamo koeficiente sodelovanja za vse mogoče dvojice $\{S_o, S_m\}$; takih dvojic pa je $M(M - 1)/2$.

McAuley je izbral stroj z najvišjimi koeficienti, in nato ravnino sodelovanja postopoma zniževal in stroje z ustreznimi koeficienti dodajal prvotno izbranim. Te rezultate je prikazal z dendrogramom.

3. R. Rajogopalan in J. L. Batra sta razvila grafično teoretično metodo za oblikovanje skupinsko tehnoloških celic.

Prav tako kakor McAuley tudi onadva izhajata iz koeficienta sodelovanja med dvema strojema. Čeprav sta obrazec za izračun postavila nekoliko drugače, so izračunani koeficienti enaki McAuleyevim.

Naslednji korak je risanje grafa strojev z uvedbo linij za posamezne pare $\{0, m\}$; ker pa je vseh izračunanih koeficientov za oddelek M strojev kar $M(M - 1)/2$, sta se avtorja odločila samo za tisti del grafa, ki pripada koeficientom, večjim ali enakim predpostavljeni vrednosti T . Za določitev vrednosti T uporabljata diagram »koeficient sodelovanja med stroji — število povezav« in izbereta T v področju, kjer je krivulja položna ali ravna. Če ni nobenega opaznega položnega področja, priporočata T v področju najmanjšega nagiba. Ko so v grafu strojev vrisane vse povezave med stroji, za katere velja $s_{om} \geq T$, je v grafu mogoče poiskati skupine medsebojno povezanih strojev.

V teoriji grafov je klika definirana kot največji kompletni podgraf, to je torej podmnožica tistih točk v grafu, za katere obstajajo linije, ki povezujejo vsako dvojico v podmnožici. Za določanje strojev v celicah omilimo pogoj za klike tako, da lahko katera od povezav tudi manjka, v ekstremnem primeru pa se lahko dogovorimo, da mora biti stroj v celici povezan vsaj z enim strojem v isti celici.

III. OCENA METODOLOGIJ

Vse tri omenjene metode smo preizkusili v praksi v delovni organizaciji Strojna industrija Šempeter v Savinjski dolini, v oddelku mehanske obdelave. V tem oddelku je 56 strojev, na njih pa se obdeluje približno 1000 obdelovancev, povprečno pa se vsak izdela z dvema in pol operacije.

1. Pri metodi Burbidge se je prvi problem pojavil že pri urejanju obdelovancev v pakete, to se pravi pri združevanju obdelovancev, ki se obdelujejo na istih strojih. Po prvi analizi smo ugotovili, da se je le malo obdelovancev dalo združiti v pakete (še to so bili v glavnem obdelovanci z eno ali dvema operacijama), preostali pa so imeli povsem specifične tehnološke postopke obdelave. To je že bilo v nasprotju z Burbidgeovo zahtevo, da mora večina obdelovancev in strojev že pripadati jasno definiranim skupinam in celicam. Tu se postavlja vprašanje, ali opisane metode ustrezajo tudi naši precej raznovrstni industriji, ali pa pokažejo dobre rezultate le pri bolj specifičnih industrijah.

Analizo smo nadaljevali z risanjem matrike stroji/obdelovanci. To ročno preurejanje strojev in paketov je zelo zamudno, vsak naslednji korak prinese le malo napredka, obstaja velika možnost napak zaradi napačnega vrisovanja ali izpuščanja pri dolgotrajnem prepisovanju, poleg tega pa je bila tabela še precej nepregledna, ker je bila, ko smo vanjo vrisali vse obdelovance, dolga kar nekaj metrov. Kljub vsemu je bila analiza uspešna, saj je tehnolog v delovni organizaciji opozorila na precej neurejeno in raznovrstno tehnologijo.

2. Tudi metoda McAuley ima precej pomanjkljivosti, predvsem zaradi same definicije koeficienta podobnosti, ki v taki obliki ne upošteva količine obdelovancev, niti drugih podatkov, ki so pomembni pri oblikovanju celic (npr. podatke o trajanju posameznih operacij, količinah, ki jih bomo v nekem časovnem obdobju izdelali, ipd.). Prvo pripombo rešimo z uvedbo t. i. koeficienta M : $s_{om} = (a + b)/N$; druge pripombe pa bi lahko rešili, če bi modificirali koeficient podobnosti $\bar{s}_{om}$ na ta način, da bi npr. čas trajanja operacij, velikosti serij in podobno izrazili s primernimi utežmi u_n

$$\bar{s}_{om} = \sum_{n=1}^N u_n B(x_{on}, x_{mn})$$

kjer je $B(x_{on}, x_{mn}) = 1$; če je $x_{on} = x_{mn} = 1$ in nič.

Koeficienta ni mogoče izračunati, če tehnološki postopek posameznemu obdelovancu ne predpisuje obdelave na natančno določenem stroju, ampak samo na določeni vrsti stroja. Tudi če bi to skupino računali kot en sam stroj, tega stroja — zaradi velikega števila povezav in napačnega koeficienta — ne moremo nikamor razporediti, kajti ta imaginarni stroj v resnici pomeni več strojev, ki bi morali biti razporejeni po vsej verjetnosti v različnih celicah in s povezavami po možnosti samo znotraj teh celic.

Tudi risanje dendrograma v tej analizi ima precej pomanjkljivosti. Pri velikih vrednostih koeficienta podobnosti je dendrogram še nekako uporaben, ko pa vrednosti zmanjšujemo, da napačne in neuporabne podatke. Npr. iz dendrograma na sliki ne moremo razbrati, s katerimi stroji posamezen stroj v resnici sodeluje.

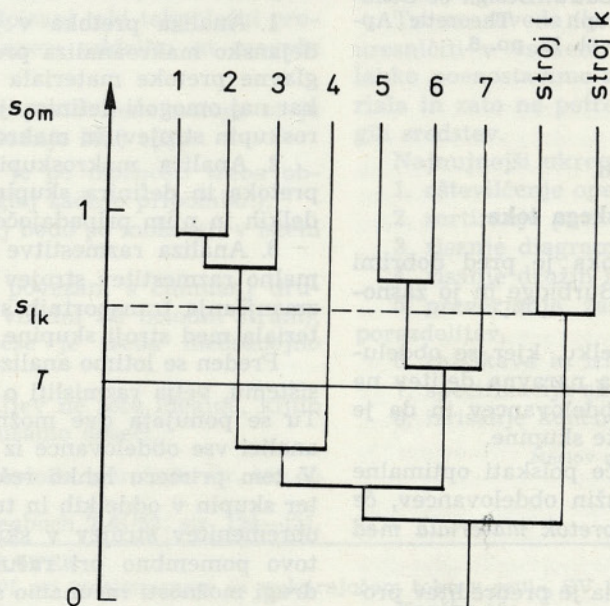
Stroj 4 sodeluje samo z enim izmed preostalih treh, lahko pa z vsemi tremi. Prav tako je razvidno iz dendrograma, da sodelujejo med seboj vsi stroji, čeprav v resnici sodeluje samo en stroj iz prve skupine (stroji 1, 2, 3, 4) z enim iz druge skupine (stroji 5, 6, 7). Na taki stopnji koeficienta postane dendrogram neuporaben, saj prikazuje, kakor da vsi naslednji stroji, ki jih še vrisujemo, sodelujejo z vsemi že vrisanimi, kar pa verjetno ne drži.

3. Tudi grafična metoda izhaja iz istega koeficienta kakor prejšnja in zanjo zato veljajo iste pripombe za koeficient sodelovanja. Prav zaradi tega nenatančnega koeficienta pa se pojavljajo tudi napačne pri risanju grafa strojev.

Praktičen primer je pokazal, da tudi ni mogoče na predpisan način določiti točke T , ker se koeficienti na primeru iz prakse niso spreminjali po zakonitostih, iz katerih je izhajal avtor.

Pri visoko izbrani stopnji koeficienta so grafi strojev sicer pregledni, zato pa se v grafu ne pojavljajo še vsi stroji (niso še prikazani s koeficienti), tako da moramo stopnjo koeficientov še zniževati. Če pa stopnjo koeficientov znižamo na raven, na kateri se pojavijo vsi stroji v grafu, postane slika že tako nepregledna, da je skoraj neuporabna.

Analiza grafa strojev je pokazala, da se pojavi v grafu na splošno veliko število klik. Teh klik ne moremo imeti za celice, ker se eni in isti stroji pojavljajo večkrat v različnih klikah. Zato smo zmanjšali pogoje za klike, kajti v nasprotnem primeru bi morali veliko število strojev podvojiti, kar pa ne bi bilo sprejemljivo niti z vidika izkoriščenosti stroja pa tudi ne z vidika novih investicij.



Slika 1

Ko smo pogoj za kliko še razširili, so bile iz grafa razvidne tri celice. Te celice so prevelike in ne upravičujejo svojega nastanka, saj so zaradi svoje velikosti tudi precej nepregledne. Kljub temu, da smo precej znižali pogoje za klike, pa se vseeno pojavlja veliko število povezav med celicami in kljub nizko izbranemu koeficientu sodelovanja še vedno niso zajeti vsi stroji.

IV. SKLEP

Če poenostavimo Burbidgeovo analizo produkcijskega toka, lahko trdimo, da želi v mikroanalizi razdeliti stroje na celice $C_1, C_2 \dots C_S$ tako, da pomeni množica $C = \{C_1, C_2 \dots C_S\}$ delitev množice S . To je ločna klasifikacija, po kateri pripada vsak stroj samo eni celici.

McAuley si pomaga s hierarhično klasifikacijo, celice dobi z drevesom, ki ga definira z dvojico (S, t) . Za vsako vrednost t ($0 \leq t \leq 1$) dobimo neko ločno množico celic $C(t)$, njena struktura pa je v glavnem odvisna od izbire vrednosti t .

Tudi R. Rajogopalan in J. L. Batra nista pripevala nobene bistvene novosti pri oblikovanju celic.

Nadaljnje raziskave bodo posvečene izboljšanju klasifikacije in koeficienta podobnosti. Dobra bo le taka klasifikacija, to je množica C , za katero bo neka vnaprej predpisana s problemom povezana kriterijska funkcija $f(C)$ dobila ekstremno vrednost.

LITERATURA

- [1] J. L. Burbidge: Production Flow Analysis. The Production Engineer; April—May 1971.
- [2] J. McAuley: Machine Grouping for Efficient Production. The Production Engineer; Febr. 1972.
- [3] R. Rajogopalan in J. L. Batra: Design of Cellular Production Systems, A. Graph — Theoretic Approach; Int. J. Prod. Res., 1975 vol. 13, no. 6.

DODATEK

Analiza produkcijskega toka

Analizo produkcijskega toka je pred dobrimi desetimi leti predlagal J. L. Burbidge in jo zasnoval na treh trditvah.

Po prvi je v vsakem oddelku, kjer se obdelujejo serije obdelovancev, neka naravna delitev na skupine strojev in družine obdelovancev in da je osnovna naloga identificirati te skupine.

Po drugi trditvi ni mogoče poiskati optimalne delitve skupin strojev in družin obdelovancev, če ne poskrbimo za čimmanjši pretok materiala med oddelki.

Tretja trditev zagotavlja, da je preureditev proizvodne strukture dokaj preprosta, če izberemo izjemne obdelovance.

Čeprav imamo opravka s trditvami, je prav, da jih skušamo pojasniti. Burbidge ima analizo pretoka v proizvodnem sistemu za metodologijo, s katero v obstoječi strukturi proizvodnega sistema izbira družine obdelovancev in njim pripadajoče skupine strojev za t.i. skupinsko (tj. celično) razporeditev.

Pri predlagani metodologiji so zanimive zato le tehnološke operacije, ne pa konstrukcija in oblika obdelovancev. Še več, z metodologijo se ne skuša spreminjati obstoječe tehnologije oz. tehnoloških procesov.

S predlagano metodologijo se torej pomakne uvajanje skupinske tehnologije na poznejši čas. Zato smo se tudi odločili, da z Burbidgeovo metodo dobljene obdelovance imenujemo aruzine in smo sinonim »skupina« prihranili za tehnološke skupine.

Burbidge meni, da bo predlagana skupinska razmestitev strojev po ekonomski učinkovitosti nekje med linijsko in delavniško strukturo. Na drugem mestu bomo to domnevo osvetlili podrobneje.

Druga trditev je logična in je posledica prve. Če drži avtorjeva trditev, da je skupinska razporeditev strojev proizvodna struktura višjega tipa, je očitno, da so obdelovanci, ki terjajo pri svoji obdelavi pretok skozi več oddelkov, tisti, ki motijo delo v celični proizvodni strukturi.

Avtor meni oz. trdi, da je vstop v novi oddelek vzrok za dodatno zadrževanje izdelka in da je razporejanje v delavniški strukturi kompleksnejše od razporejanja v skupini oz. celici. Zato predpostavlja, da je zadrževanje izdelka v celici krajše od zadrževanja izdelka v delavnici (ki je pravzaprav superpozicija celic).

Za realizacijo analize pretoka predlaga Burbidge tri faze (bistveni sta prvi dve fazi), ki so:

1. Analiza pretoka v proizvodnem sistemu je dejansko makroanaliza pretoka, ki skuša ugotoviti glavne pretoke materiala v proizvodnem sistemu, kar naj omogoči definiranje pravih oddelkov (makroskupin strojev) in makrodružine obdelovancev.

2. Analiza makroskupin pomeni mikroanalizo pretoka in definira skupine strojev (celice) v oddelkih in njim pripadajoče družine obdelovancev.

3. Analiza razmestitve pa naj poskrbi za optimalno razmestitev strojev v skupini (celici) zaradi zmanjšanja transportnih stroškov pri pretoku materiala med stroji skupine (celice).

Preden se lotimo analize pretoka v proizvodnem sistemu, velja razmisliti o pristopu k sami analizi. Tu se ponujata dve možnosti. Prva upošteva pri analizi vse obdelovance iz proizvodnega programa. V tem primeru lahko rešimo vprašanje oddelkov ter skupin v oddelkih in tudi izkoriščenost oziroma obremenitev strojev v skupinah, kar je prav gotovo pomembno pri računanju učinkovitosti. Pri drugi možnosti računamo s pomočjo vzorca. Ta pot je seveda hitrejša, vendar ne omogoča izračuna izkoriščenosti strojev.

Kakor vedno so pri analizi pretoka potrebni neki osnovni podatki, katere obsegata:

1. tehnološki list,
2. strojni list.

ad 1. Poglejmo, kaj dobimo na tehnološkem listu!¹

Tehnološki list, za katerega predpostavljamo, da obstaja za vsak posamezen obdelovanec, ki ga izdelujemo sami ali v kooperaciji, oziroma ga kupujemo, obsega:

- vse operacije proizvodnega procesa na obdelovancu od izdaje materiala pa do izgotovitve,
- označbo stroja, na katerem se posamezne operacije izdelujejo (ali tudi označbe enakovrednih strojev!),
- čase za posamezne operacije (tudi začetne in končne čase).

ad 2. Kaj obsega strojni list?²

Strojni list vsebuje:

- obvezno vse podatke o karakteristikah stroja,
- klasifikacijo stroja, ki omogoča globalno informacijo o stroju in med drugim omogoča izbiro drugega ustreznega stroja,
- podatke o stroškovnem mestu oziroma delovnem mestu.

Vrnimo se k analizi pretoka!

1. Faza — makroanaliza pretoka ima naslednjo nalogo:

S primerno premestitvijo strojev in obdelovancev poiščemo najpreprostejši pretok materiala. Drugače povedano: iščemo makroskupine strojev, tj. oddelke in makrodružine obdelovancev, ki so po možnosti v celoti izdelani v enem oddelku. (Obdelovanci potujejo iz oddelka v oddelk samo takrat, kadar so zanje predpisani taki tehnološki procesi, ki jih načelno v enem oddelku ni mogoče opravljati.)

Za uspešno reševanje postavljene naloge si je treba prizadevati za naslednje štiri cilje:

- vsak obdelovanec je po možnosti treba obdelati v enem oddelku (glej zadnjo pripombo!),
- stroji ene vrste naj bodo po možnosti v istem oddelku,
- oddelki naj bodo povezani s čimmanj drugimi oddelki (bodisi na vhodni ali izhodni strani),
- nezdružljive procese je treba medsebojno ločiti.

Reševanje naštetih ciljev ne teče idealno, kljub temu pa jih nenehno skušamo doseči.

¹ Glej npr. Strojno-tehnološki priročnik, str. 463 do 465.

² Glej npr. VDI-Taschenbuch T 61/62; str. 124—131.

Delo v prvi fazi si zamislimo nekako takole:

1. proizvodni sistem razdelimo na oddelke,
2. določimo stroje v posameznih oddelkih in ugotovimo pogostost njihove uporabe,
3. določimo pot proizvodnega procesa (PPP) za vsak obdelovanec,
4. naredimo analizo delov glede na poti proizvodnih procesov,
5. narišemo osnovni diagram pretoka/toka obdelovancev,
6. poiščemo izjemne obdelovance,
7. izjemne obdelovance izločimo,
8. ugotovimo izkoriščenost (zasedenost strojev),
9. definiramo standardni tok (pretok) med oddelki.

2. Faza — analiza skupin oz. makroanaliza pretoka ima nalogo oziroma cilj, da razdelimo obdelovance, ki se v posameznih oddelkih izdelujejo, na družine, stroje v posameznih oddelkih pa na skupine oz. celice tako, da so posamezne celice zmožne v celoti izdelati njim pripadajoče družine.

Pri tem je pomembno, da ponovno opozorimo na trditev, ki pravi, da je v obratih serijske proizvodnje vedno prirodna delitev na družine obdelovancev in skupin strojev. Naša naloga je potem omejena le na identifikacijo teh družin in skupin.

Če so in koliko so identificirane družine izdelkov tudi tehnološke skupine, bomo govorili na drugem mestu.

V drugi fazi oz. pri analizi skupin želimo poskrbeti za čim preprostejši pretok materiala v oddelku. V ta namen skrbimo:

1. da bo vsak izdelek izdelan le v enem oddelku,
2. da bo po možnosti vsaka vrsta stroja le v eni skupini (celici),
3. da bodo nezdružljivi obdelovalni procesi v različnih skupinah (celicah).

To so seveda le smernice, ki jih ni mogoče uresničiti v vsakem primeru. Z njihovo pomočjo lahko poenostavimo zgoraj omenjeni pretok materiala in zato ne potrebujemo ne finančnih ne drugih sredstev.

Najnujnejši ukrepi za analizo skupin so:

1. oštevilčenje operacij na tehnološkem listu,
2. sortiranje poti v pakete,
3. risanje diagrama paketi/stroji,
4. risanje družin in skupin,
5. preverjanje zasedenosti strojev in njihova porazdelitev,
6. raziskava in izločanje izjem,
7. specifikacija skupin in družin,
8. izrisanje končne mreže pretoka.

Naslov avtorjev: prof. dr. Janez Dekleva,
Darko Menart, dipl. ing.,
oba:
Fakulteta za strojništvo
v Ljubljani

POPRAVEK:

V članku »Prenos snovi pri stacionarnem in pulzirajočem toku v cevi«, SV 1980, št. 7/9, se glasi pravilno:

Seznam simbolov:

F — Faradayeva konstanta = $9,65 \cdot 10^7$ A s/kmol

z — število izmenjenih elektronov

Enačba 10:

$$Sh_{S(0 \rightarrow L)} = 0,275 \left(\frac{d}{L} \right)^{1/3} \cdot Re_S^{7/12} \cdot Sc^{1/3}$$