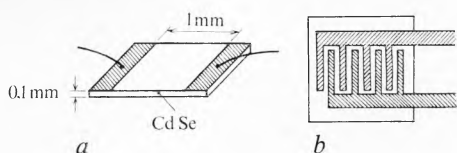


Za sinusno promjenljiv svjetlosni signal opada zato faktor pojačanja s frekvencijom, pa umnožak strujnog pojačanja i širine pojasa ovisi samo o vremenu proleta i iznosi prema (8)

$$M_0 B = \frac{1}{2\pi\tau_t} \quad (12)$$

Uz brzinu nosilaca naboja u zasićenju od 10^5 m/s i duljinu fotootpornika (duljina puta nosilaca) veću od $10 \text{ }\mu\text{m}$ taj je umnožak $M_0 B < 1 \text{ GHz}$. Fotootpornici imaju, dakle, veliku osjetljivost samo za relativno niskofrekvencijska kolebanja svjetla. Za odziv na višim frekvencijama kolebanja svjetla moraju imati kratka vremena proleta, dakle moraju biti ekstremno kratki, a narinuti napon visok. Debljina fotootpornika mora biti takva da upadno svjetlo djelotvorno apsorbira i postigne veliku kvantnu djelotvornost. Unutrašnji fotovodiči općenito veoma apsorbiraju (linearni koeficijent apsorpcije $2\alpha \approx 10^5 \dots 10^8 \text{ m}^{-1}$), pa mogu biti vrlo tanki. Vanjski fotovodiči imaju slabiju apsorpciju ($2\alpha \approx 10^2 \dots 10^3 \text{ m}^{-1}$), pa moraju biti deblji. Fotootpornici se izrađuju s jednostavnim, paralelnim elektrodama, odnosno s interdigitalnim elektrodama, između kojih nastaju vrlo kratki i široki strujni putovi za veliku osjetljivost (sl. 18).



Sl. 18. Fotootpornici: a sa dvije paralelne elektrode, b s interdigitalnim elektrodama

Unutrašnji fotovodiči imaju i pri sobnoj temperaturi dovoljnu osjetljivost, iako se dubokim hlađenjem višestruko povećava moć praćenja (brzina odziva npr. za InSb uz 77 K čak 300 puta). Time, međutim, isto tako raste vrijeme odziva. Vanjski fotovodiči imaju samo kod dubokog hlađenja dovoljnu moć praćenja (tabl. 4).

LIT.: Joint Conference on Lasers and Opto-electronics. 25.—28. 3. 1969, IERE, London. — W. K. Pratt, Laser Communication Systems. J. Wiley, New York 1969. — Laser 75, Optoelectronics, Munich 24/27, June 1975. Conference Proceedings, IPC Science and Technology Press, Guildford. — H. G. Unger, Optische Nachrichtentechnik. Elitera, Berlin 1976. — S. E. Miller, A. G. Chynoweth, Optical Fiber Telecommunications. Academic Press, New York 1979. — G. Winstel, C. Weyrich, Optoelektronik I. Springer-Verlag, Berlin 1980.

B. Kviz

ORGANIZACIJA PROIZVODNJE, znanstveno područje u oblasti tehnike koje se bavi istraživanjem, projektiranjem i usavršavanjem proizvodnog sustava (statički dio proizvodnje), te istraživanjem, projektiranjem, usavršavanjem, pripremanjem, koordiniranjem i praćenjem odvijanja tehnološkog i proizvodnog procesa (dinamički dio proizvodnje) da bi se uz optimalne troškove dobio proizvod u utvrđenom roku i u traženoj količini i kvaliteti. Pri tom se uzimaju u obzir čovjek i njegove mogućnosti, raspoloživi materijal i sredstva rada, te njihovo uzajamno djelovanje. Rješavajući tehničke probleme, organizacija proizvodnje dio je šire interdisciplinarne znanstvene oblasti koja obuhvaća i ekonomske i sociološke probleme, a naziva se *organizacija rada*.

Potreba za organiziranim načinom rada postojala je već u starih naroda. Da bi se radovi izvodili organizirano, babilonski kralj Hamurabi (—1729— —1686) uveo je planiranje rada i kontrolu proizvodnje, proračunavanje potrebnog broja radnika i radnih dana, te opis rada i zapisivanje podataka o potrebnom vremenu. Atenski vojskovođa i povjesničar Ksenofont (—430— —354) zastupa specijalizaciju u radu i podjelu rada na operacije. Leonardo da Vinci (1452—1519) utvrđuje vrijeme po zahvatima za prebacivanje zemlje lopatom, određuje predah u radu i piše o različitoj brzini rada radnika. Francuski inženjer J. R. Perronet (1708—1794) prvi u industriji snima vrijeme i raščlanjuje proces proizvodnje igala na 18 operacija. Francuski maršal i vojni inženjer S. Vauban (1633—1707) određuje potrebno vrijeme za radove,

te raspored rada i odmora u toku ljetnog i zimskog razdoblja. Engleski matematičar Ch. Babbage (1792—1871) analizira proces (1832), snima vrijeme kronometrom, postavlja principe istraživanja i razvoja, proučava smještaj tvornice s obzirom na sirovinu. Sve su to bili pojedinačni radovi, a potreba za znanstvenim pristupom i sustavnim rješavanjem problema organizacije proizvodnje javlja se u doba širenja industrijske proizvodnje. Prvi je to uočio strojarski inženjer F. W. Taylor (1856—1915) koji je svojim djelima *Shop management* i *The principles of scientific management* postavio osnovne principe u organiziranju proizvodnje, koji osiguravaju djelotvorniju proizvodnju. Taylor zastupa funkcionalni oblik organizacijske strukture. I dok je Taylor stavljao u težište svojih radova studij vremena, dotle F. B. Gilbreth (1868—1924) stavlja u prvi plan studij pokreta čovjeka koji obavlja neki posao. Uspješna suradnja njegove supruge L. M. Gilbreth (1878—1972), koja je bila psiholog, dovodi do toga da se u studij pokreta uključuju psihofiziologija rada. Američki inženjer H. L. Gantt (1861—1919) proučava elemente rada i sustav stimulacije, a razvio je 1901. grafičku metodu planiranja i praćenja proizvodnje (gantogrami). Američki inženjer Ch. Bedaux (1887—1944) razvio je novi sustav određivanja vremena rada u kojemu uzima u obzir i predah u radu. Rad tih pionira na području organizacije proizvodnje (u Americi nazvano *Industrial engineering*, za razliku od naziva *Management*) poticalo je i mnogo pomoglo Udruženje američkih strojarskih inženjera (American Society of Mechanical Engineers, ASME) koje je 1912. god. promoviralo *industrial engineering* kao znanstveno područje.

Francuski rudarski inženjer H. Fayol (1841—1925) u svom djelu *Administration industrielle et générale* izlaže svoju filozofiju i pristup organiziranju, ali ne samo proizvodnje već i cjelokupnog poslovanja u industriji, zastupajući linijski oblik organizacijske strukture.

Organizacija proizvodnje počela se intenzivnije razvijati na znanstvenim temeljima u metaloprerađivačkoj industriji, i to od inženjera koji su se, radi uspješnijeg obavljanja rada, morali baviti problemima neposredne proizvodnje. Razvijajući principe i metode prema kojima se proizvodnja može dobro organizirati, oni su postavili temelje i za djelotvorno organiziranje cjelokupnog poslovanja poduzeća, a time su omogućili da se razvije znanstveno područje organizacije rada.

I za našu je zemlju karakteristično da su inženjeri započeli i razvili područje organizacije proizvodnje i organizacije rada: P. Jušić, P. Podbrežnik, M. Pilar, D. Domanko, A. Đurašević, i poslije njih mnogi drugi.

Za vrijeme drugoga svjetskog rata u Engleskoj se, radi djelotvornijeg rješavanja ratnih problema, razvilo područje nazvano *Operativno istraživanje*, u kojemu se traži optimalno rješenje problema primjenjujući matematičko-statističke metode i teoriju vjerojatnosti. Karakteristika je operativnog istraživanja znanstveni pristup istraživanju i traženju optimuma, uzimajući u obzir sve utjecajne čimbenike i njihovu međusobnu zavisnost. Tako se nastoji izraditi model cjelovitog problema koji treba omogućiti da se odredi optimum ovisan o cilju koji se želi postići.

U operativnom je istraživanju pristup rješavanju problema drugačiji od klasičnog, tj. uočava se postojanje više čimbenika koji utječu na rješavanje problema kao i njihovo međusobno djelovanje (interakcija), uočava se djelovanje slučajja, stvara se ekipa raznorodnih stručnjaka te se uvodi pojam optimalnoga i suboptimalnoga.

Metode operativnog istraživanja brzo su se prenijele u SAD gdje su se odmah poslije rata počele primjenjivati za rješavanje problema u organizaciji industrijske proizvodnje. Te su se metode (linearno programiranje, teorija repova, teorija igara, tehnike mrežnog planiranja i druge) vrlo brzo razvijale zahvaljujući i razvoju elektroničkih računskih strojeva, pa su se počele vrlo uspješno primjenjivati i u drugim područjima.

Kao što je operativno istraživanje pomoglo da se problemi u organiziranju proizvodnje bolje i djelotvornije rješavaju, tako su i psihofiziologija rada, studij međuljudskih odnosa te u posljednje vrijeme ergonomija i biomehanika mnogo pridonijeli da se problemi organizacije rada ne promatraju samo tehnički, već i psihofiziološki i sociološki. Shvaćeno je da je proizvodnja sustav u kojemu zajednički djeluju čovjek, sredstva i radna okolina, pa je zato bitno da se njihovi međusobni odnosi tako usklade da je osigurana humanizacija rada.

Prema poslovima, zadacima i cilju organizacija proizvodnje obuhvaća projektiranje proizvodnog sustava, projektiranje tehnološkog i proizvodnog procesa, studij rada, planiranje i praćenje proizvodnje, kontrolu kvalitete, rukovanje materijalom i održavanje. Svaka je od tih disciplina u industrijskoj proizvodnji u principu poseban odjel ili stručna služba.

PROJEKTIRANJE PROIZVODNOG SUSTAVA

Zadatak je projektiranja proizvodnog sustava istraživati, projektirati, pratiti i usavršavati proizvodni sustav, nastojeći uvijek postići optimalni rezultat.

Svaka je proizvodnja složeni sustav u kojemu se odvijaju tehnološki i proizvodni procesi. Da bi se ti procesi mogli u proizvodnom sustavu tako odvijati da se rezultat proizvodnje dobije uz optimalne uvjete, potrebno je postaviti takvu organizacijsku strukturu (statički dio u organizaciji proizvodnje) koja će omogućiti neometano odvijanje procesa, pratiti njeno djelovanje i djelotvornost te je usavršavati. To zahtijeva jednoznačno određivanje svih utjecajnih faktora koji sudjeluju u proizvodnji, pridržavajući se svih prihvaćenih organizacijskih principa, jer *organizirati znači povezivati sve podsustave u jedan skladni sustav*. Pri tom se uvažavaju sljedeće polazne i temeljne postavke:

a) Čovjek je u organizaciji rada najvažniji element kojemu treba u prvom redu posvetiti punu pažnju te osigurati njegovu dobrovoljnu suradnju.

b) Pravo odlučivanja i odgovornost za donesene odluke jesu nerazdvojivi, a autoritet se ne stječe položajem, već jedino radom.

c) Potrebna je jasna i nedvosmislena odluka za koju se mora znati kakve posljedice ona donosi.

d) Točna, potpuna, pravovremena i jasna informacija potrebna je svima koji sudjeluju u procesu proizvodnje.

e) Vrijeme je jedno od osnovnih organizacijskih mjerila i zato ga treba realno odrediti.

Organizacijska struktura proizvodnog sustava mora uvijek osigurati optimalno rješenje sljedećih problema: *što* će se raditi, odnosno proizvoditi, i da li za to ima uvjeta; *tko* će obavljati poslove i uz kakvo potrebno znanje; od *kakva* materijala ili sirovine treba proizvoditi; *koliko* treba proizvoditi da bi proizvodnja bila ekonomična i rentabilna; *gdje* će se raditi da bi se postigla tražena kvaliteta; *kako* treba raditi da bi se proizvodilo uz traženu kvalitetu i uz optimalne troškove; *kojim* pomoćnim sredstvima treba biti opskrbljeno radno mjesto da se može traženo postići; *za koje vrijeme* se može i mora obaviti rad; *kada* treba započeti i završiti s radom da bi se zadovoljilo traženim rokovima.

PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKOG I PROIZVODNOG PROCESA

Zadatak je projektiranja tehnološkog i proizvodnog procesa da, optimalno s tehničko-ekonomskog i organizacijskog gledišta, oblikuje tehnološki i proizvodni proces, i to prema najnovijim dostignućima znanosti, uzimajući u obzir međusobno djelovanje sustava čovjek—radno mjesto—okolina u normalnim okolnostima.

Tehnološki proces u biti je samo proces preobrazbe, tj. obradbe i preradbe materijala promjenom njegovih fizikalnih, odnosno kemijskih svojstava, a svrha mu je izraditi proizvod određenih svojstava i kvalitete. Zapravo sadrži samo redoslijed i opis metoda rada radnih operacija. Može obuhvaćati i kontrolu kvalitete ako se želi utvrditi da li se operacija izvela u propisanim granicama koje osiguravaju upotrebnost proizvoda.

Proizvodni proces je organizacijsko rješavanje tehnoloških procesa u prostoru, dakle, određivanje proizvodne prostorne strukture, što obuhvaća razmještaj radnih mjesta i svih potrebnih površina. Zato sadrži, osim radnih postupaka operacije, još i postupke kontrole, transporta, zastoja i uskladištenja, a sastoji se od više tehnoloških procesa.

Razradba tehnološkog procesa počinje nakon dobivanja nacrt a iz konstrukcijskog ureda, a njegove djelatnosti jesu:

Analiza tehnološkičnosti konstrukcije. Tehnolog mora analizirati da li je konstrukcijska dokumentacija, koja se sastoji od sastavnih shema i crteža, sastavnica proizvoda i crteža dijelova, jasna i potpuna, a podaci jednoznačni. Konstrukcija mora biti takva da je zamišljeni proizvod pogodan za proizvodnju u konkretnim uvjetima, a tome će mnogo doprinijeti dobra suradnja tehnologa i konstruktora.

Određivanje sirovih dimenzija materijala. Dok se u konstrukciji određuje vrsta i kvaliteta materijala, u tehnološkoj se razradbi određuje oblik i količina materijala od kojeg će se neki dio ili proizvod obrađivati. Pri tom se vodi računa da kalkulativna količina materijala obuhvaća količinu sirovog materijala sa svim gubicima i otpacima koji nastaju prigradom pripremanja materijala za obradbu i prilikom obradbe, odnosno preradbe.

Određivanje broja i redoslijeda radnih postupaka. U tehnološkom i proizvodnom procesu sirovina se postupnom obradom pretvara u proizvod sljedećim radnim postupcima, a to su:

Operacija ○, radni postupak kojim se mijenja oblik ili svojstvo materijala kad se jedan predmet spaja s drugim ili se od njega odvaja, ili kad ga se priprema za neki drugi radni postupak. Obavlja se na jednom radnom mjestu. Pod operacijom

se smatra isto tako davanje ili primanje uputa, ili kad se nešto projektira ili izračunava.

Transport ⇒ radni postupak kojim se neki predmet prenosi s jednog radnog mjesta na drugo, osim ako je to dio radnog postupka na jednom radnom mjestu.

Kontrola □, radni postupak kojim se u bilo kojem obliku, ispituje kvaliteta ili količina nekog izratka.

Zastoj D, radni postupak kad okolnosti ne dopuštaju ili ne zahtijevaju da se odmah izvede neki drugi radni postupak.

Uskladištenje ▽, radni postupak kad je predmet obradbe ili izradak spremljen u skladištu da bi se osigurao od nekog nedopuštenog radnog postupka.

Za svaki dio nekog proizvoda propisuje se u koliko će se operacija izrađivati i kakav je redoslijed tih operacija. Pri tom mnogo utječe tip proizvodnje, tj. da li je proizvodnja pojedinačna, serijska ili masovna, o čemu ovisi veličina serije. Nadalje je važno odrediti i sve potrebne alate (univerzalne ili specijalne) ili naprave pomoću kojih se dio može izraditi. Zahtjev za izradbu alata ili naprava tehnolog upućuje u odjel konstrukcije alata, koji je ponekad, osobito u manjim radnim organizacijama, u sastavu pripreme rada. Za alate se mora odrediti i vrijeme ekonomičnog trajanja oštice alata. Ako je za izradbu nekog dijela potrebno nekoliko različitih operacija, tada treba propisati broj i način transporta između radnih mjesta, transportno vozilo, te potrebno vrijeme za transport.

Određivanje radnog mjesta, načina i režima rada. Budući da se operacija odvija na jednom radnom mjestu, treba odrediti takvo radno mjesto na kojem će se moći najpovoljnije, ručnim ili strojnim radom, obaviti potrebna operacija. Za svaku se operaciju točno opisuje način i režim rada, što znači da se određuju i svi uvjeti i okolnosti pod kojima materijal mijenja svoj oblik ili svojstva. O načinu i režimu rada izravno ovisi i vrijeme izradbe i kvaliteta izrađenog dijela. Pri strojnom radu tehnolog mora osobito paziti na sile pri obradbi, krutost sustava stroj—naprava—izradak—alat, točnost alatnog stroja te alata i pribora, točnost stezanja izratka i međusobno djelovanje svih faktora koji utječu na točnost obradbe.

Određivanje vremena izradbe. Nakon što su određeni način i režim rada, određuje se vrijeme potrebno za obavljanje pripremih i završnih, tehnoloških i pomoćnih radova. Podatke o vremenima tih radova tehnolog ima sredene u tablicama ili dijagramima da bi ih najjednostavnije mogao primijeniti i unijeti u operacijski list. Te podatke prikuplja, analizira, izračunava i sredi u službu studija rada.

Određivanje mjerila i načina kontrole. Da bi se osigurala kvalitetna izradba nekog dijela, mora se u toku tehnološkog i proizvodnog procesa kontrolirati kvaliteta i kvantiteta. Tehnolog zato propisuje mjerila kojima će se obavljati kontrola, te nakon koje će se operacije ona obaviti, način kontrole i vrijeme potrebno za kontrolu.

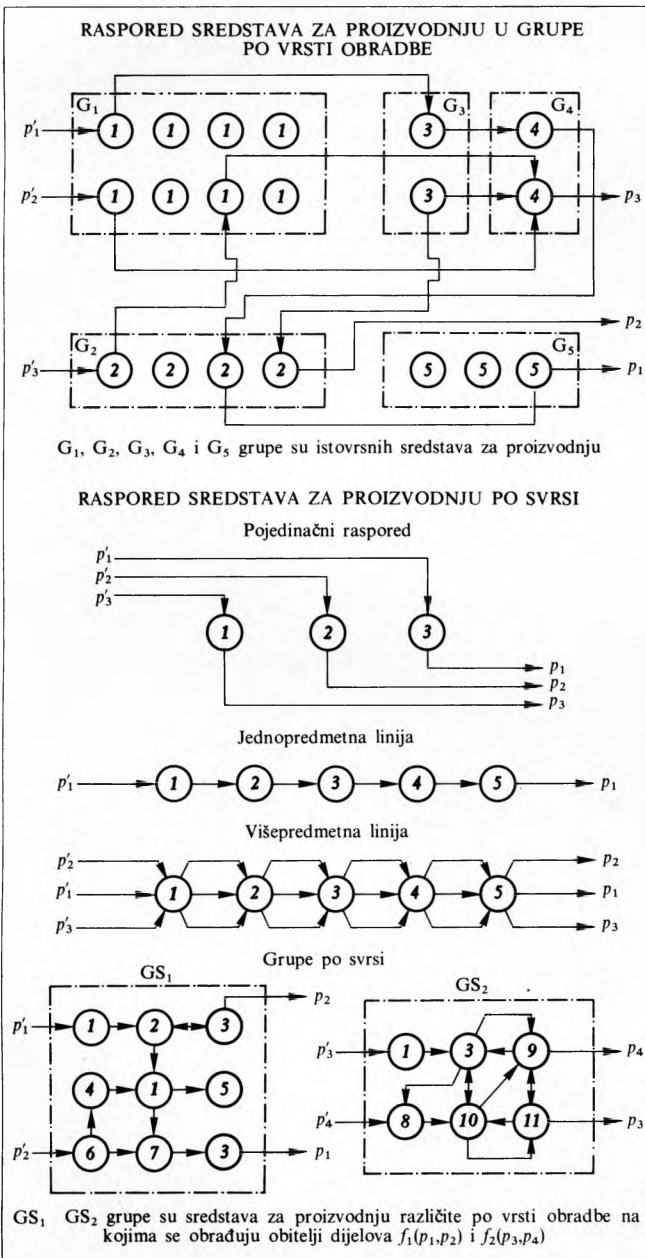
Ekonomska analiza valjanosti tehnološkog procesa. Tehnološki proces treba tako razraditi da je osigurana njegova ekonomičnost. Budući da se neki dio može izraditi na nekoliko načina, potrebno je razraditi nekoliko varijanti tehnološkog procesa. Tek se tako može odabrati, ako se uzmu u obzir svi utjecajni faktori, onaj tehnološki proces koji je najekonomičniji.

Čitav rad tehnologa odražuje se u tehnološkoj dokumentaciji, jer je to osnova odvijanja proizvodnje. Ta dokumentacija, iz koje se izrađuju svi potrebni dokumenti za proizvodnju, obuhvaća dva osnovna dokumenta: *operacijski* i *instrukcijski list*. Ta dva dokumenta sadrže sve potrebne podatke i uvjete za izvršenje operacije. Tehnologu su za njegov rad potrebna pomagala kao što su podaci o materijalima, o strojevima, o ručnim radnim mjestima, o specijalnim alatima i napravama, o standardnim alatima i napravama, o mjernim instrumentima, o dodacima za obradbu, o režimima rada i o pripremim i završnim, tehnološkim i pomoćnim vremenima.

Na osnovi razrađenog tehnološkog procesa pristupa se projektiranju proizvodnog procesa, koji se sastoji od svih radnih postupaka (operacija, kontrola, transport, zastoj i uskladištenje), a koji uzima u obzir još i opskrbu radnih mjesta

materijalom i izlaz gotovih proizvoda iz proizvodnog procesa. Da bi proizvodni proces bio najekonomičniji, mora se odrediti optimalna prostorna struktura, tj. razmještaj radnih mjesta i svih potrebnih površina.

Projektiranje proizvodnih procesa pristupa se sustavno, tj. od generalnih rješenja čitavog prostornog sustava ide se prema rješenju pojedinih detalja sustava vodeći računa o njegovoj cjelovitosti. Tako se izbjegavaju greške u koncepciji, odnosno izbjegava se uočavanje grešaka tek na kraju posla. Projektiranje proizvodnog procesa obuhvaća: *prethodnu studiju* rentabilnosti i ekonomičnosti investiranja; *idejni projekt* koji zapravo služi kao podloga za izradbu investicijskog programa; *izvodački projekt* koji daje detaljni prostorni raspored sredstava za proizvodnju uz specifikaciju sve potrebne opreme, te projektne zahtjeve za zgrade i instalacije; *izvođenje projekta i probni rad* koji služi da bi se u toku probnog rada uvidjeli eventualni propusti i da bi ih se moglo na vrijeme otkloniti.



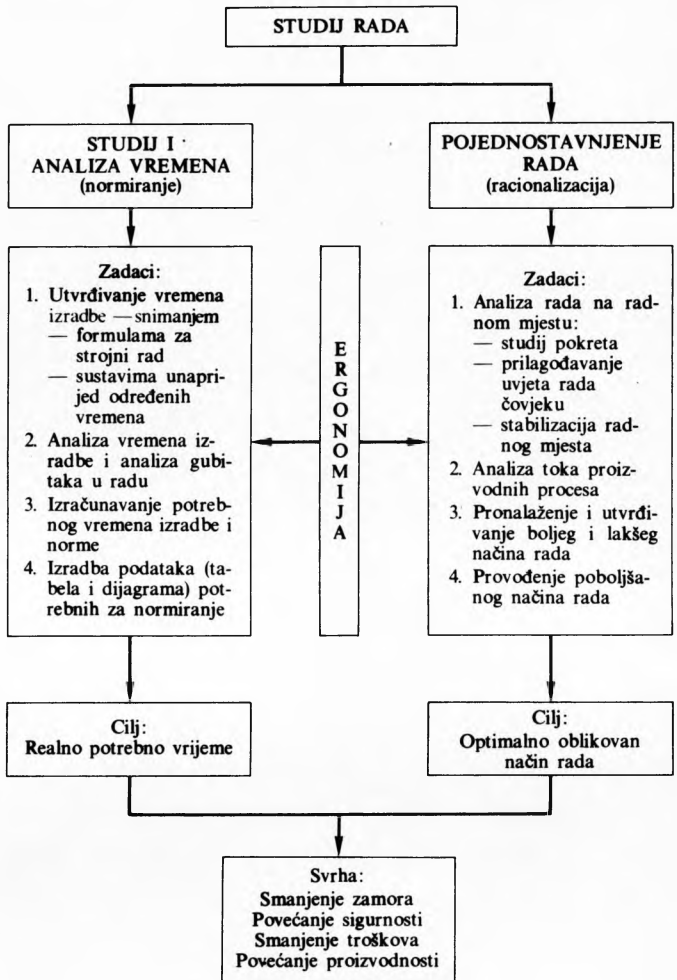
Sl. 1. Podjela prostornih struktura s osnovnim karakteristikama rasporeda sredstava za proizvodnju

Bitna je karakteristika proizvodnog procesa njegova struktura, tj. raspored radnih mjesta, za što postoji više načina

podjele. Jedna razumna podjela, prikazana na sl. 1, jest raspored u grupe prema vrsti obradbe i raspored prema svrsi.

STUDIJ RADA

Zadatak je studija rada da znanstvenim metodama, logičnim, cjelovitim i sustavnim analizama nekog rada postigne: a) optimalno oblikovan način rada, prilagođivanjem radnog mjesta, metoda i uvjeta rada čovjeku; b) realno potrebno vrijeme izradbe i ispravno izračunanu normu. Glavne djelatnosti kroz koje služba studija rada izvršava svoj zadatak te ostvaruje postavljeni cilj jesu studij i analiza vremena te pojednostavljenje rada (sl. 2).



Sl. 2. Podjela studija rada

Studij i analiza vremena dio je studija rada kojim se utvrđuje, ovisno o određenim radnim uvjetima, objektivno potrebno vrijeme da se pravilno izvrše postavljeni zadaci, uzimajući u obzir normalno zalaganje i zamor radnika.

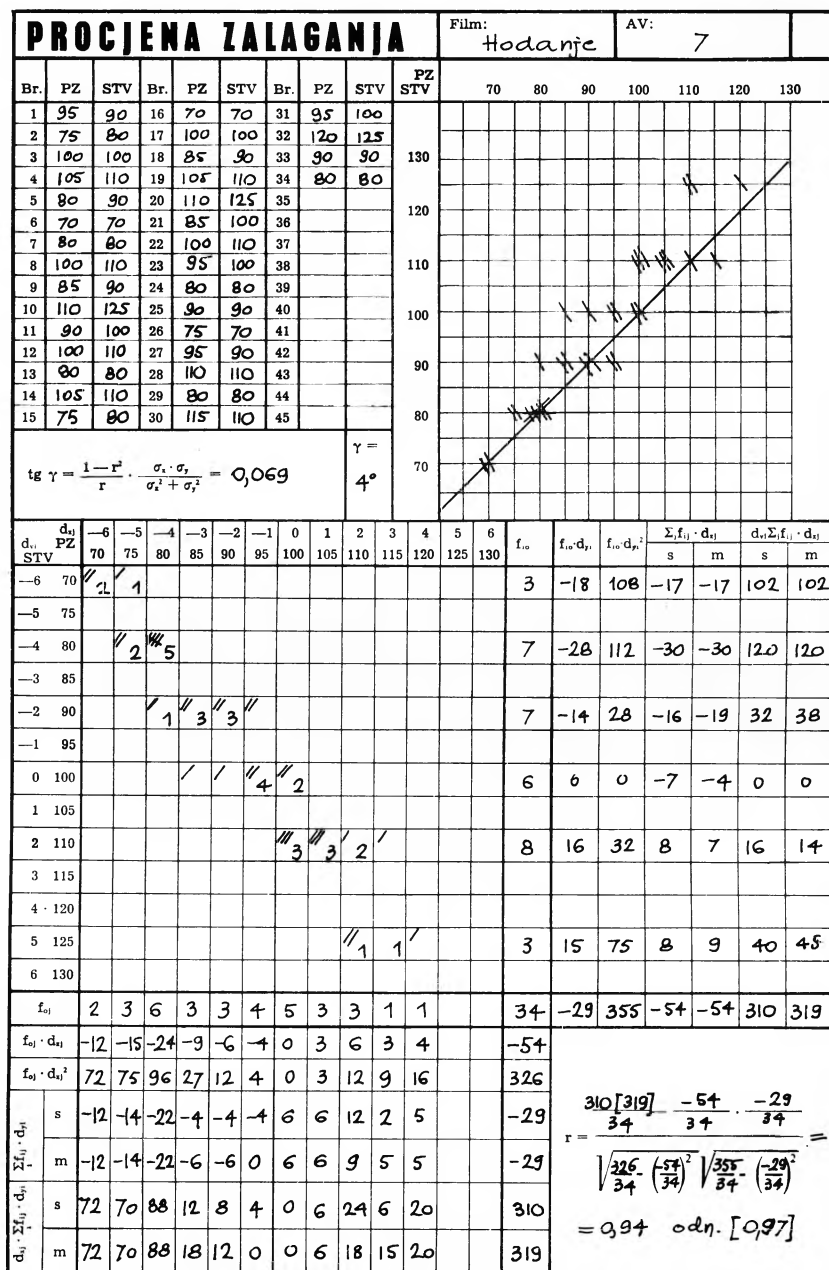
Nakon utvrđivanja i analize vremena izračunava se norma. Jedino je ispravno shvaćanje norme da je ona organizacijsko mjerilo humano oblikovanog rada. Norma je vrijeme potrebno prosječno vještom i određeno kvalificiranom radniku da u normalnim okolnostima, s propisanim sredstvima, na točno određeni način, uz normalno zalaganje i zamor, obavi točno definirani posao.

Vrijeme potrebno za neki rad sastoji se od: *pripremnog i završnog vremena* t_{pz} utrošenog da se radno mjesto pripremi za rad i da se nakon završetka rada ono opet dovede u stanje pogodno za jednaki ili drugi radni zadatak; *tehnoškog vremena* t_t , potrebnog da se obavi posao izravno povezan s promjenom oblika ili svojstava materijala; *pomoćnog vremena* t_p , koje omogućuje da se ostvari tehnološko vrijeme; *dodatnog vremena* t_d , koje nadomješta sve gubitke za koje radnik nije kriv,

a izražava se koeficijentom zamora K_n , koeficijentom djelovanja okoline K_a i dopunskim koeficijentom dodatnog vremena K_d .

Vrijeme izradbe može se odrediti: snimanjem kronometrom (povratnom ili protočnom metodom), instrumentima za registraciju vremena i filmskom kamerom, formulama za strojne radove te sustavima unaprijed određenih vremena (SUOV), tj. sustavima utvrđivanja vremena prema osnovnim pokretima ili mikropokretima.

laganje s obzirom na normalno. Normalnim zalaganjem smatra se ono koje radnik u izvršavanju svojih zadataka može održavati za vrijeme čitavog radnog dana bez bojazni za svoje zdravlje, povremeno odmarajući se pri radu. To zalaganje ovisi o brzini pokreta pri radu, preciznosti rada i poštivanju metode rada. Pouzdanost analitičara rada kad snima vrijeme i procjenjuje zalaganje može se izračunati kao funkcija točnosti, osjetljivosti i preciznosti, tj. $P = f(T, Q, \eta)$.



Sl. 3. Podaci za izračunavanje pouzdanosti snimača pri procjeni zalaganja. Kratice i oznake znače: PZ procjena zalaganja, STV stvarna procjena, r koeficijent korelacije između procjene zalaganja PZ i stvarne procjene STV, f učestalost podatka, γ kut između regresijskih pravaca, d udaljenost podatka od ishodišnog razreda, s stvarni podaci, m maksimalno mogućih podaci

Utvrđivanje vremena kronometrom uz istovremenu procjenu zalaganja još se uvijek najviše primjenjuje. Tu metodu čine pouzdanom matematičko-statistička analiza vremena i procjene zalaganja i izračunavanje pouzdanosti analitičara vremena pri procjeni zalaganja (sl. 3), te primjena matematičko-statističkih postavaka pri snimanju, analizi (sl. 4) i izračunavanju vremena izradbe i norme (sl. 5). Pod procjenom zalaganja podrazumijeva se radnja kojom izobraženi analitičar vremena, pri snimanju vremena kronometrom, procjenjuje radnikovo veće ili manje za-

Snimanje vremena kronometrom ili nekim drugim instrumentom primjenjuje se za ručne radove, jer se strojna vremena određuju pomoću već razrađenih formula koje uzimaju u obzir režime rada za pojedinu vrstu materijala, vrstu obradbe i stroj. Osim snimanja vremena kronometrom, primjenjuju se za utvrđivanje ručnih radova još i sustavi unaprijed određenih vremena (SUOV), razrađeni u razdoblju od 1940. do 1950. god. Razlika je prema snimanju kronometrom u tome što se ne snima vrijeme i ne procjenjuje zalaganje, već se snima broj i vrsta pokre-

ta koje radnik izvodi. Kad se završi snimanje, iz već gotovih tablica uzima se normalno vrijeme koje ovisi o vrsti pokreta, o udaljenosti na koju ili s koje se neki pokret izvodi, o teretu kojim radnik rukuje i o uvjetima pod kojima se pokret izvodi. Na ta se vremena moraju dodati koeficijenti dodatnog vremena ako se želi izračunati norma. Najpoznatiji su sustavi unaprijed određenih vremena MTM (Methods time measurement), WF (Work factor), te posebno za administrativne radove MCD (Master clerical data). U posljednje je vrijeme Maynard razvio sustav MOST (Maynard operation sequence technique).

Metoda trenutačnih zapažanja jest matematičko-statistička metoda promatranja pojava pomoću njihove učestalosti, što znači da se uzorci uzimlju višestruko brojenjem iz diskontinuiranih skupova, pa se tako dobiju pouzdaniji podaci. Metoda trenutačnih zapažanja provodi se tako da se u slučajno odabrana vremena obilazi radno mjesto i bilježi koja se djelatnost u tom trenutku odvija. Rezultati snimanja prikazuju se postocima koji označuju vjerojatnost pojedine djelatnosti (sl. 6).

Pojednostavnjenje rada dio je studija rada kojim se pojednostavnjuje, unapređuje i olakšava rad radnika. Pri tom se

LIST ZA ANALIZU t i PZ

Obradio: D. T.
Datum: 12.VI 1978
Broj: 196 636

t		učestalost		f	d	fd	fd²	PZ	učestalost		f	d	fd	fd²
								70						
								75						
								80						
18	///			4	-3	-12	36	85	/		1	-3	-3	9
19	///			4	-2	-8	16	90	/		1	-2	-2	4
20	///			10	-1	-10	10	95	///		6	-1	-6	6
21	///			12	0	0	0	100	///		16	0	0	0
22	///			9	1	9	9	105	///		11	1	11	11
23	///			5	2	10	20	110	///		5	2	10	20
24	//			2	3	6	18	115	///		5	3	15	45
25	/			1	4	4	16	120	//		2	4	8	32
				47		-1	125	125			47		33	127
								130						

Zahvat broj 4.1

Opis zahvata Uzima i ulaže

$$t_e = t + i \cdot \frac{\sum fd}{\sum f} = 21 + 1 \cdot \frac{-1}{47} = 20,98 \text{ VJ}$$

$$\sigma_e = 1 \sqrt{\frac{\sum fd^2}{\sum f} - \left(\frac{\sum fd}{\sum f}\right)^2} = 1 \sqrt{\frac{125}{47} - \left(\frac{-1}{47}\right)^2} = 1,63 \text{ VJ}$$

$$v_e = \frac{\sigma_e}{t_e} = \frac{1,63}{20,98} = 0,077$$

$$\overline{PZ} = PZ + i \cdot \frac{\sum fd}{\sum f} = 100 + 5 \cdot \frac{-33}{47} =$$

$$\sigma_{\overline{PZ}} = 1 \sqrt{\frac{\sum fd^2}{\sum f} - \left(\frac{\sum fd}{\sum f}\right)^2} = 1 \sqrt{\frac{127}{47} - \left(\frac{-33}{47}\right)^2} = 7,43$$

$$v_{\overline{PZ}} = \frac{\sigma_{\overline{PZ}}}{\overline{PZ}} = \frac{7,43}{103,51} = 0,072$$

$$t_e = t_e \cdot K_{\overline{PZ}} + r_e \cdot \sigma_{\overline{PZ}} = 20,98 \cdot 1,04 - 0,09 \cdot 1,63 \cdot 0,07 = 21,72 \text{ VJ}$$

$$\text{tg } \gamma = \frac{1 - r_e^2}{r_e} \cdot \frac{\sigma_e \cdot \sigma_{\overline{PZ}}}{\sigma_e^2 + \sigma_{\overline{PZ}}^2} = 0,118 \quad \gamma_e = 6^\circ 42'$$

Varijacija	K _{pn}	t _e	t _e	Varijacija	K _{pn}	t _e	t _e
V1M	100	35	35	V1Z	100	30	30
	100	30	30		100	37	37
	100	30	30				
t _e = 31,70				t _e = 33,50			

PZ d _{ti}	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	f _i	f _i d _i	f _i d _i ²	Σf _i d _i	d _i Σf _i d _i
t _{d_{ti}}	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130					
18	-3									//	//			4	-12	36	14	-42
19	-2									//	//			4	-8	16	10	-20
20	-1								//	///	///	/		10	-10	10	13	-13
21	0							///	///					12	0	0	5	0
22	1					//	///	//						9	9	9	0	0
23	2				///	//								5	10	20	-3	-6
24	3			/	/									2	6	18	-3	-9
25	4		/											1	4	16	-3	-12
f _i							1	1	6	16	11	5	2	47	-1	125	33	102
f _i · d _i							-3	-2	-6	0	11	10	8	33				
f _i · d _i ²							9	4	6	0	11	20	45	32	127			
Σf _i · d _i							4	3	11	7	-2	-7	-11	-6	-1			
d _i Σf _i · d _i							-12	-6	-11	0	-2	-14	-33	-24	-102			

$$r_s = \frac{-\frac{102}{47} - \left(\frac{-33}{47}\right) \left(\frac{1}{47}\right)}{\sqrt{\frac{127}{47} - \left(\frac{-33}{47}\right)^2} \sqrt{\frac{125}{47} - \left(\frac{-1}{47}\right)^2}} = 0,89$$

Sl. 4. Izračunavanje vremena i procjene zalaganja. Kratice i oznake znače: t vrijeme očitano na kronometru, t_0 aritmetička sredina očitnog vremena, t_n normalno vrijeme, PZ aritmetička sredina procjene zalaganja, σ standardna devijacija, V koeficijent varijacije, r_s koeficijent korelacije između vremena i procjene zalaganja, K_{pz} koeficijent procjene zalaganja; ostale oznake kao u sl. 3.

Vremenski gubici u radu određuju se pomoću slike radnog dana (SRD) i metode trenutačnih zapažanja (MTZ). Za *sliku radnog dana* primjenjuje se protočna metoda očitavanja vremena na kronometru bez procjene zalaganja, i to kroz čitav radni dan. Rezultati su izraženi u vremenskim jedinicama. Da bi se dobili realni podaci, potrebno je barem 10 do 15 dana snimanja.

ne smije težiti povećanju brzine rada, već primjeni najprikladnijeg ritma rada. Pojednostavnjenje rada zasniva se na ergonomskim načelima utvrđenim u interdisciplinarnim i multidisciplinarnim istraživanjima i tako razrađenima da ih se može primijeniti za oblikovanje radnog mjesta i načina rada (v. *Ergonomija*, TE 5, str. 349). Time se optimalno usklađuju

odnosi u sustavu čovjek—radno mjesto—okolina, vodeći računa da se rad, oprema i okolina prilagode čovjeku radi humanizacije rada.

Cilj je pojednostavnjenja rada unaprijediti i poboljšati postojeći način rada, i to u prvom redu primjenom ergonomskih načela. Pojednostavnjenje rada odvija se u sljedećim fazama:

Izbor problema je postupak koji za proučavanje odabire onaj problem što će donijeti maksimalnu korist.

postavljajući pet standardiziranih pitanja (Što? Tko? Gdje? Kada? Kako se radi?). Da bi se pronašli najbolji odgovori, postavlja se još i pitanje: Zašto? Svrha je analize da se neki zahvati ili operacije izostave, neke operacije kombiniraju, promijeni redoslijed operacija, isključi zastoj među operacijama, smanje transportni putovi i ekonomičnije razmjesti strojevi, što sve doprinosi pojednostavnjenju i usavršavanju postojećeg načina rada. Razumljivo je da se u analizi iskorišćuju sugestije i prijedlozi izvršilaca rada.

		List za Izračunavanje vremena izrade				Broj 605/2			
Izradio I. G.		Dne 10. III 63	$K_a = 1$	$K_d = 0,18$	$t_1 = 40,81(1+0,18) = 48,2 \text{ VJ} = 17,45$				
Br.	Opis zahvata	t_n	Z	$\frac{K_n}{1 + K_n K_a}$	t_s	Δt_s	f	t_i	
1	Ulaže 2 sloga u napravu	18,0	50	$0,11$ $1,11$	20,0	20,0	1	20,0	
2	Steže u napravi i odlaže	16,8	49	$0,11$ $1,11$	18,7	18,7	1	18,70	
3	Isto kao 1, ali doprema slogova rotiranjem ($V1D_{50}$)	40,0	1	$0,22$ $1,22$	48,8	$\frac{48,8}{28,8}$ $\frac{1}{50} \cdot 54$	$\frac{54}{49}$	0,64	
4	Isto kao 1, ali teško ide ($V1T$)	33,0	2	$0,11$ $1,11$	36,6	$\frac{36,6}{29,0}$ $\frac{2}{53}$		0,63	
5	Isto kao 2, ali loš materijal ($V2M$)	25,0	5	$0,11$ $1,11$	27,8	$\frac{27,8}{18,7}$ $\frac{5}{54}$		0,84	
								40,81	

Sl. 5. Izračunavanje vremena izrade i norme. Kratice i oznake znače: VJ vremenska jedinica (0,36 s), K_a koeficijent djelovanja okoline, K_d dopunski koeficijent dodatnog vremena, K_n koeficijent zamora, f učestalost podataka, t_n normalno vrijeme, t_s stvarno vrijeme, t_i vrijeme izrade, t_1 norma, Z broj podataka za izračunavanje

Snimanje postojećeg stanja obavlja se uvijek na radnim mjestima, odnosno preko kojih se odvija proizvodni proces. Tok nekog rada detaljno se opisuje u standardiziranim formularima: *redoslijed događaja* služi za upisivanje svih radnih postupaka u toku proizvodnog procesa; u *hodogramu* se u prikladnom mjerilu prikazuje tlocrt radionice s rasporedom radnih mjesta i strojeva, te transportnih putova od radnog postupka do radnog postupka; u *opisu rada* opisuju se svi zahvati na radnom mjestu i navode ključne točke i zapažene teškoće; u *snimci radnog mjesta* ucrtaavaju se svi detalji i raspored uređaja radnog mjesta, te raspored materijala, dijelova, alata i naprava kojima se radnik služi pri radu; *snimak simultanih pokreta pri radu čovjeka* (simo-snimak) sadrži popis svih pokreta ili osnovnih pokreta lijeve i desne ruke radnika dok izvršava neki rad; *snimak rada čovjek—stroj* omogućuje analizu rada radnika na jednom ili više strojeva; u *snimci rada grupe ljudi* prikazan je rad grupe radnika koji obavljaju različite radne postupke (istodobno ili postupno) povezane u jednu cjelinu.

Analiza stanja i pronalaženje boljeg načina rada. Kad se prikupe svi potrebni podaci, analizira se postojeće stanje

Primjena pojednostavnjenog načina rada. Poboljšani način rada mora se provesti u proizvodnji, pa je potrebno da se prikažu i svi troškovi i uštede koji proizlaze iz novog načina rada. Osim toga je potreban i pokusni rad da bi se vidjelo koliko je novi način rada prihvatljiv za proizvodnju i da li treba uskladiti još neke djelatnosti. Kad se donese konačni prijedlog prema kojemu se može dalje raditi, potrebno je postupak standardizirati.

PLANIRANJE I PRAĆENJE PROIZVODNJE

Zadatak je planiranja i praćenja proizvodnje predvidjeti i planirati sve djelatnosti potrebne za nesmetani tok tehnološkog i proizvodnog procesa, te pratiti odvijanje proizvodnje. Stručna služba, kojoj je to osnovni zadatak, najčešće se naziva operativna priprema.

Planiranje i evidencija slobodnih i zauzetih kapaciteta. Da bi se moglo realno planirati, potrebno je znati slobodne i zauzete kapacitete strojnih i ručnih radnih mjesta te termin kad su oni slobodni. Evidencija se vodi po grupama radnih mjesta, za svako radno mjesto, a i kombinirano. To omogućuje da se realno odredi početak i završetak radova.

ODJELJENJE					STROJ, RADNO MJESTO							SNIMAČ											
MONTAŽA					19-43 (10)															I. G.			
Datum	Vrijeme obilaska	RADI	GUBICI																				
			Obavijesti		Priprema mjesta i uvjeta rada							Čekanje		Nestašice		Ostalo							
			Službeni razgovor	Davanje podataka	Održavanje radnog mjesta	Održavanje alata	Održavanje uvjeta radne okoline	Uklanjanje nepodjednog materijala	Uzimanje pribora	Održavanje HTZ propisa	Kvar stroja	Na kontrolu	Na transportno sredstvo	Alat, naprave	Dokumentacija	Osobne potrebe			Σ				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
11. IV	6'25	/// /	/								/	/				/			10				
	7'37	////	//			/						//	/						10				
	8'54	/// ///	/								/								10				
	9'40	/// /								/				/		//			10				
	10'48	/// ///					//												10				
	11'05	//		/								//	//		/	//			10				
	12'07	///-//		///															10				
	13'30	///	//	///															10				
12. IV	6'07	/// ///									/								10				
	7'12	////							//	//						//			10				
	8'16	/// //	//						/										10				
	9'46	///-///	/																10				
	10'51	/// ///								/						/			10				
	11'45	/// /	/				/					/	/						10				
	12'17	/// ///		/												/			10				
Broj zabilježaka		97	10	8		1	3		3	4	3	6	4	1	1	9			150				
Izračunat postotak		$\frac{97}{150} \cdot 100 = 65$	6,7	5,3		0,6	2,0		2,0	2,6	2,0	4,0	2,6	0,6	0,6	6,0			100				

Sl. 6. Snimački list za metodu trenutačnih zapažanja

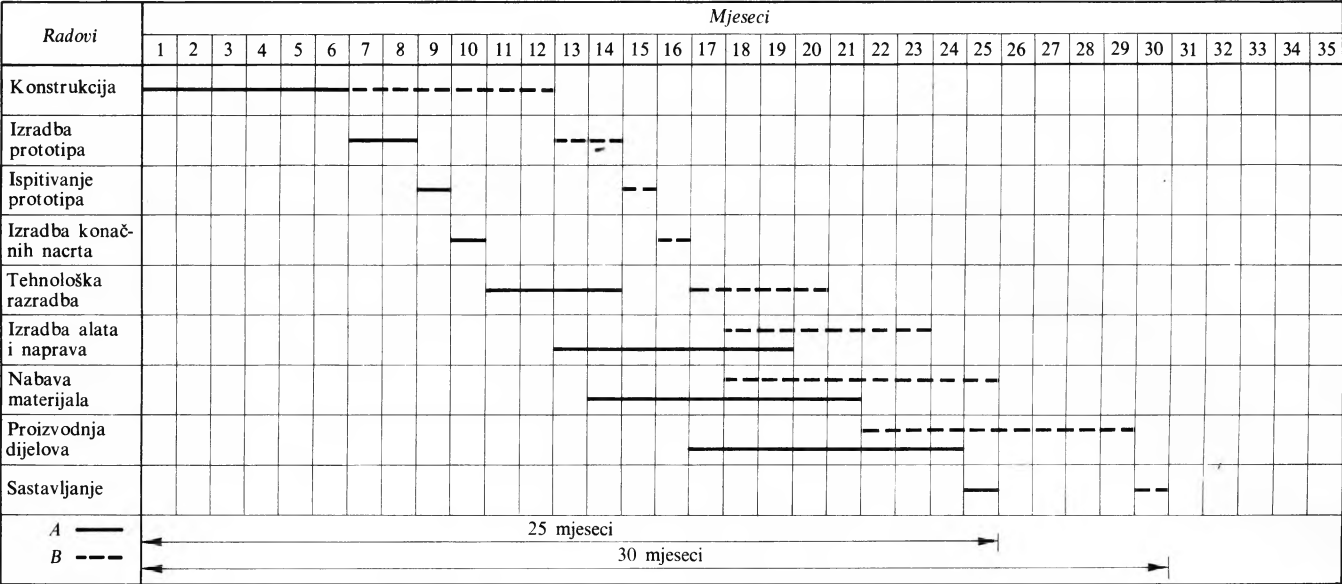
Planiranje i evidencija alata. Količina standardnih i specijalnih alata i naprava potrebnih u tehnološkom i proizvodnom procesu ovisi o tipu proizvodnje, i veća je u masovnoj i velikoserijskoj proizvodnji nego u maloserijskoj i pojedinačnoj. Zbog toga je važno da se alatima pravilno gospodari i da je dobra organizacija narudžbe, konstrukcije, izradbe te uskladištenja alata, tim više što se alati i naprave izrađuju u toku priprema za proizvodnju. To se postiže pravovremenim planiranjem, sređenom evidencijom i pravovremenom informacijom o kvalitetnom stanju alata, odnosno o toku njegove izradbe.

Planiranje materijala i zaliha. Za planiranje materijala moraju biti razrađene *specifikacije materijala* (popis materijala koji ulazi u neki proizvod sa svim potrebnim karakteristikama) i *normativi materijala* (popis poluproizvoda, pozicija ili dijelova koje je potrebno izraditi ili nabaviti). U planiranje materijala spada i određivanje signalne i minimalne zalihe za različite sustave potrošnje materijala. Budući da od trenutka planiranja materijala u operativnoj pripremi do uzimanja materijala iz skladišta prođe određeno vrijeme, potrebno je rezervirati materijal na skladištu. Radi ekonomičnosti poslovanja važno je odrediti takve zalihe materijala na skladištu da troškovi po jedinici budu minimalni, vodeći pri tom računa da se zadovolje potrebe tekuće proizvodnje. Ekonomične zalihe izračunavaju se prema različitim modelima i izrazima koji, svaki za sebe, uzimaju u obzir potrošnju u proizvodnji, količinu materijala ili poluproizvoda koji ulaze u skladište, cijenu poluproizvoda ili materijala, te troškove uskladištenja.

Terminiranje proizvoda. Cilj je te djelatnosti uskladiti mogućnosti proizvodnje i proizvodnih kapaciteta sa zahtjevima prodaje te mogućnostima nabave materijala. Usklađuje se plan prodaje i plan proizvodnje, tj. određuju se rokovi pojedinim narudžbama. Nakon što su rokovi isporuke određeni, određuju

se termini početka i završetka izradbe svih podsklopova, i to na osnovi poznavanja njihovih stvarnih proizvodnih ciklusa. Pod proizvodnim ciklusom podrazumijeva se vremensko razdoblje koje protekne od uzimanja materijala iz skladišta do predaje izradvine u skladište gotove robe.

Izradba i lansiranje radne dokumentacije. Na temelju razrađenog tehnološkog i proizvodnog procesa, planova proizvodnje i planova materijala razrađuje se dokumentacija koja je osnova za rad u proizvodnji. Oblik, izradba, kolanje i vrsta dokumentacije mogu biti različiti u različnim radnim organizacijama. Najčešća je sljedeća dokumentacija: *radni nalog*, koji označuje nosioca troškova proizvodnje; *radni list* je izvadak jedne operacije iz operacijskog lista, a njegov je zadatak prenijeti u proizvodnju sve podatke koje je tehnolog odredio za operaciju, te je ujedno i osnova za obračun zarade radnika; *izdatnica materijala* daje informaciju o količini materijala potrebnog za izradbu određenog broja dijelova ili proizvoda, a omogućuje da se ta količina materijala uzme iz skladišta; *povratnica materijala* služi da se eventualni višak materijala vrati u skladište; *predatnica* se ispisuje kada se gotovi dijelovi ili poluproizvodi predaju u skladište nakon završetka posljednje operacije; *izdatnica poluproizvoda* omogućuje da se poluproizvodi, u predviđenoj količini, uzmu iz skladišta; *narudžbenica materijala* izdaje se nabavnoj službi da naruči materijal izvan radne organizacije; *popratna karta* ima upisano kretanje proizvoda od operacije do operacije; *terminska karta* ima označene rokove pojedinih operacija; *karta alata* osigurava da se u proizvodnju dostave svi potrebni alati koji moraju biti ispravni za rad; *izvještaj o škartu* ispisuje kontrola kvalitete kad utvrdi da je neka količina proizvoda loše izrađena; *načrt* je osnovni dokument koji određuje kakav mora biti proizvod, a prilaže se radnoj dokumentaciji.



Sl. 7. Primjer gantograma. A zadatak traje 25 mjeseci, B zadatak traje 30 mjeseci

Tablica 1
POJMOVI U TEHNICI MREŽNOG PLANIRANJA

Projekt	Svaki planski zadatak koji je potrebno izvesti u nekom vremenskom razdoblju
Aktivnost	Posao koji treba obaviti u određenoj ovisnosti o drugom, tj. proteklo vremensko razdoblje između dva određena događaja. Dužina strelice nije proporcionalna trajanju aktivnosti
Događaj	Trenutačno zbivanje koje nema trajanja. Svaka aktivnost ima početni i završni događaj
Fiktivna aktivnost	Prikazuje međuovisnost pojedinih aktivnosti. Trajanje je nula
Niz aktivnosti	Skup aktivnosti koji ima karakteristiku da je završni događaj prethodne aktivnosti jednak početnom događaju sljedeće

Planiranje i praćenje proizvodnje. Proizvodnju treba planirati i pratiti zbog toga da se proizvod završi i isporuči u traženo vrijeme. Zato se taj problem počeo rješavati već

prilično davno, a u posljednje vrijeme je razvijeno nekoliko metoda planiranja i praćenja proizvodnje.

Grafičko prikazivanje planiranja proizvodnje razvio je 1901. god. američki inženjer H. L. Gantt, i njegovi se dijagrami odvijanja proizvodnje još i danas primjenjuju pod nazivom *gantogrami*. Princip je gantograma da se u nekom vremenu planira i terminski definira neki zadatak ili prati zauzetost nekog radnog mjesta, radne grupe, stroja, radionice i sl. Na gantogramu (sl. 7) prikazano je planiranje i mogućnost praćenja izradbe dvaju novih proizvoda, i to od konstrukcije do njihove isporuke. Gantogrami su zapravo vrlo jednostavni i praktični, ali se primjenjuju pretežno za manje planske zadatke koji nemaju mnogo djelatnosti. Za veće zadatke, a pogotovo za velike i složene projekte gantogrami se ne primjenjuju jer se stvara niz problema, kao npr.: gubi se preglednost odvijanja poslova, teško se prikazuju više međuovisnosti između djelatnosti, ako se pokaže da je plan nerealan, treba čitave gantograme ponovno crtati, a i malo je podataka za svaku aktivnost. Zato su se počele, za planiranje velikih projekata, primjenjivati tehnike mrežnog planiranja.

Tehnike mrežnog planiranja služe za planiranje, terminiranje i praćenje tehničkih, organizacijskih i poslovnih tokova koji, zbog zadanih redoslijeda djelatnosti, teže u logičnoj povezanosti zajedničkom cilju (v. *Gradevinsko planiranje*, TE6, str. 201). *Mrežni plan* je grafički prikaz odvijanja radova, odnosno djelatnosti, koji pokazuje njihovu međusobnu povezanost i redoslijed izvođenja, vremenski tok pojedinih djelatnosti i trajanje čitavog projekta. Danas postoji mnogo tehnika mrežnog planiranja, ali su sve više ili manje temeljene na dvjema osnovnim metodama, a to su metode CPM i PERT. U posljednje vrijeme razvijena je i tehnika PRECEDENCE-DIAGRAMMING namijenjena obradbi na elektroničkom računalu.

Tehniku mrežnog planiranja omogućila je zapravo teorija grafova koju je razvio mađarski matematičar D. König (1935), a primjenjuje se u operativnom istraživanju.

Metodu CPM (Critical path method) razradili su M. R. Walker (tvrtka DuPont) i J. E. Kelley (tvrtka Remington Rand) 1957. god. da bi omogućili optimalno planiranje gradnje i održavanja automatizirane proizvodnje.

Metodu PERT (Program evaluation and review technique) razradili su 1958. god. prilikom izradbe projekta Polaris savjetodavna tvrtka Booz, Allen i Hamilton te Lockheed Missile System Division, radi planiranja i usklađivanja rada civilnih i vojnih organa. Primjena te metode planiranja omogućila je da se projekt dovrši za godinu i pol prije nego se očekivalo.

Da bi se mogao nacrtati mrežni dijagram, treba dobro poznavati strukturu radnog procesa, i zatim treba odrediti tra-

janje pojedinih aktivnosti da bi se na osnovi toga znalo trajanje cijelog projekta. Za razumijevanje mrežnih dijagrama treba poznavati pojmove objašnjene u tabl. 1 i osnovna pravila objašnjena u tabl. 2. U mrežnim tehnikama događaji se numeriraju brojevima (sl. 8).

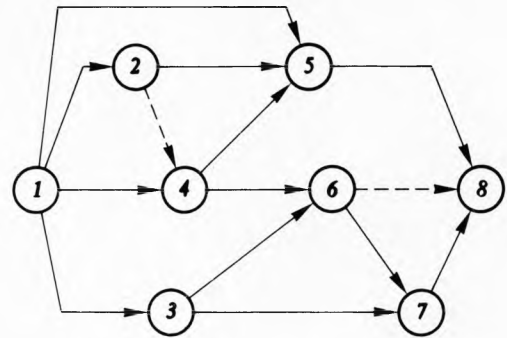
Analiza vremena metodom PERT. Za svaku aktivnost potrebne su tri procjene trajanja aktivnosti, i to *optimističko vrijeme* t_0 , tj. vrijeme koje se može ostvariti samo pod vrlo povoljnim okolnostima, *najvjerojatnije vrijeme* m , tj. vrijeme koje ima najveću vjerojatnost da se ostvari, i *pesimističko vrijeme* t_p , tj. vrijeme ako su okolnosti vrlo nepovoljne. Ta se vremena nanose iznad strelice u mrežnom dijagramu (sl. 9), a ispod strelice se nanosi očekivano vrijeme t_e , koje se dobije iz izraza $t_e = (t_0 + 4m + t_p)/6$. Osim toga, mora se odrediti *najranije*

vrijeme T_E kad može početi aktivnost koja izlazi iz događaja i , i *najkasnije vrijeme* T_L , kada ta ista aktivnost mora početi da bi se završni događaj ostvario u planiranom roku. Najranije vrijeme događaja T_E jednako je zbroju očekivanih vremena t_e svih aktivnosti na putu od početnog događaja pa do događaja i . Najkasnije vrijeme događaja T_L jednako je razlici između vremena završnog događaja i zbroja očekivanih vremena svih aktivnosti na putu od događaja i pa do završnog događaja. Razlika između najranijeg i najkasnijeg vremena događaja $S_L = T_L - T_E$ naziva se *zračnost*. *Kritični put* kroz mrežni plan povezuje događaje koji imaju zračnost $S_L = 0$.

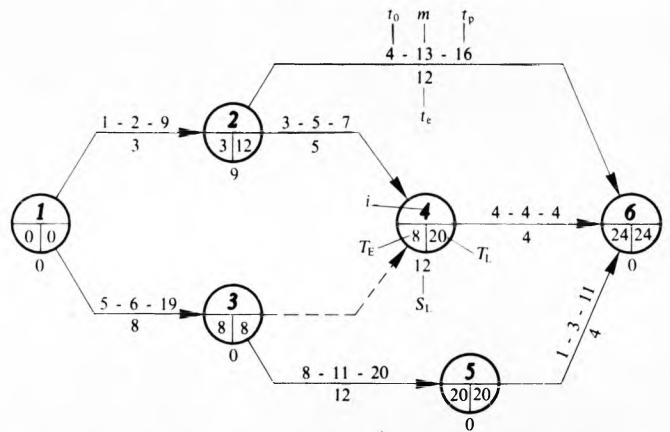
Tablica 2

OSNOVNA PRAVILA CRTANJA U TEHNICI MREŽNOG PLANIRANJA

1. Dva događaja može direktno povezivati samo jedna aktivnost
2. Ni jedan događaj ne može se dogoditi dok nisu završene sve aktivnosti koje prema njemu vode, tj. događaj 4 nije se dogodio dok nisu potpuno dovršene aktivnosti A, B i C
3. Ni jedna aktivnost ne može početi dok se nije dogodio njezin početni događaj, tj. aktivnost D počinje tek nakon što se ostvario događaj 4
4. Petlja ili zatvoren krug ne smije postojati u mreži
5. Prilikom izradbe rokovnika potrebno je posvetiti punu pažnju potpunosti mrežnog dijagrama, što znači da u njemu moraju biti sve aktivnosti predviđene projektom
6. Mrežni dijagram ima samo jedan početni i jedan završni događaj. Ako ih ima više, onda ih je potrebno fiktivnim aktivnostima spojiti u jedan početni ili završni događaj
7. Sve aktivnosti u nizu čine put. Od svih putova u mreži najzanimljiviji je onaj put koji traje najviše terminskih jedinica, jer on pokazuje koliko traje cijeli projekt



Sl. 8. Numeriranje događaja u mrežnom dijagramu



Sl. 9. Evropski način upisivanja vremena u mrežni dijagram PERT

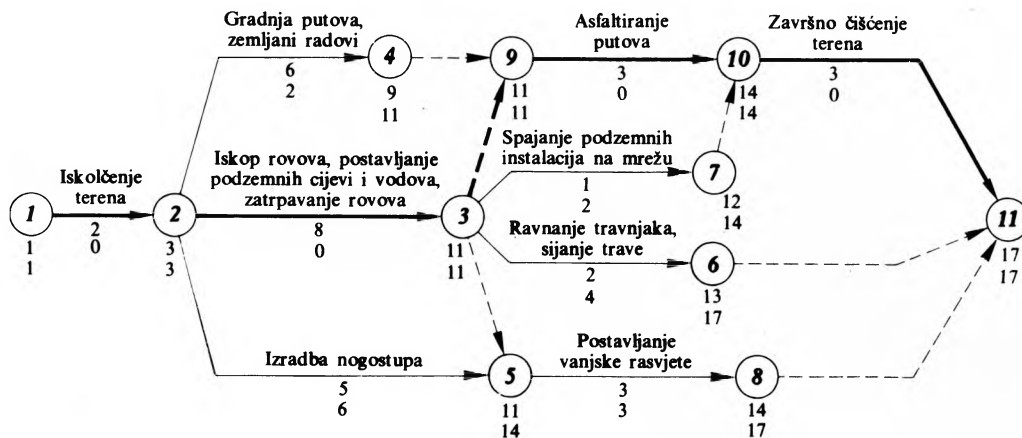
Analiza vremena metodom CPM. Osnovna je razlika između metoda CPM i PERT u tome što CPM ne primjenjuje račun vjerojatnosti, pa otpadaju i tri procjene trajanja aktivnosti. Računa se samo s jednom procjenom *trajanja aktivnosti* t_{ij} , koja se bilježi ispod strelice. Vremena T_E i T_L i ovdje se računaju, no imaju drugo značenje, tj. najraniji početak svih aktivnosti koje izlaze iz događaja i , te najkasniji završetak svih aktivnosti koje završavaju u događaju i . Umjesto zračnosti postoje četiri vremenske rezerve aktivnosti. Tablica 3 daje pregled svih pojmova i načina izračunavanja, a na sl. 10 je nacrtan primjer mreže CPM.

Tablica 3

POJMOVI I NAČIN IZRAČUNAVANJA U TEHNICI CPM

Najraniji početak aktivnosti	$RP = T_{Ei}$
Najraniji završetak aktivnosti	$RZ = T_{Ei} + t_{ij}$
Najkasniji početak aktivnosti	$KP = T_{Lj} - t_{ij}$
Najkasniji završetak aktivnosti	$KZ = T_{Lj}$
Ukupna vremenska rezerva	$R_t = T_{Lj} - (T_{Ei} + t_{ij})$
Slobodna vremenska rezerva	$R_s = T_{Ej} - (T_{Ei} + t_{ij})$
Uvjetna vremenska rezerva	$R_u = R_t - R_s$
Nezavisna vremenska rezerva	$R_n = T_{Ej} - (T_{Li} + t_{ij})$

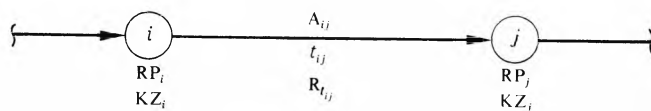
Tehnika mrežnog planiranja TRANSPAN. Ta tehnika crtanja mrežnih dijagrama u vremenskoj skali razvila se u posljednje vrijeme, ali samo za manje projekte (oko stotinjak aktivnosti).



i	j	t	Aktivnost	RP _i	RZ _j	KP _i	KZ _j	R _t
1	2	2	* Iskolčenje terena	1	3	1	3	0
2	3	8	* Iskop rovova; postavljanje podzemnih energetskih, vodovodnih i kanalizacijskih vodova; zatrpavanje rovova	3	11	3	11	0
2	4	6	Gradnja putova, zemljani radovi	3	9	5	11	2
2	5	5	Izrada nogostupa	3	11	9	14	6
3	5	0	Fiktivna aktivnost	11	11	11	14	3
3	6	2	Ravnanje travnjaka; sijanje trave	11	13	14	17	4
3	7	1	Spajanje podzemne instalacije na vanjsku i kućnu mrežu	11	12	13	14	2
3	9	0	* Fiktivna aktivnost	11	11	11	11	0
4	9	0	Fiktivna aktivnost	9	11	11	11	2
5	8	3	Postavljanje vanjske rasvjete	11	14	14	17	3
6	11	0	Fiktivna aktivnost	14	14	17	17	3
7	10	0	Fiktivna aktivnost	12	14	14	14	2
8	11	0	Fiktivna aktivnost	14	14	17	17	3
9	10	3	* Asfaltiranje putova	11	14	11	14	0
10	11	3	* Završno čišćenje terena	14	17	14	17	0

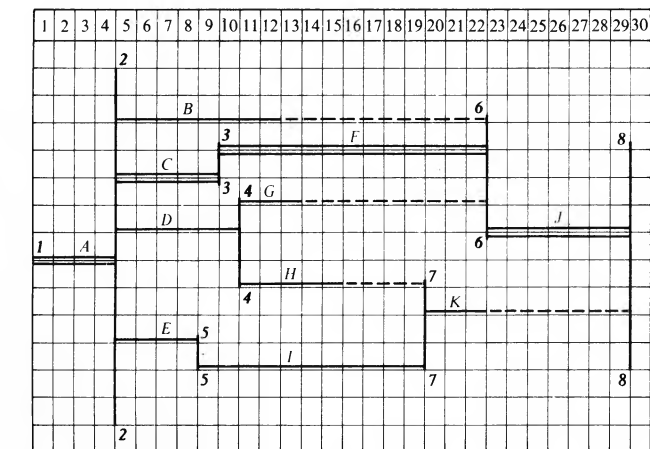
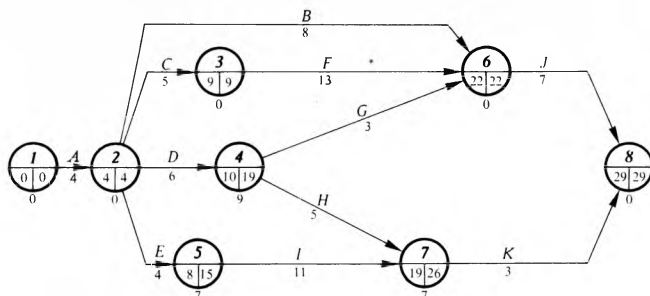
* Oznaka da je aktivnost na kritičnom putu

Tumač oznaka



A_{ij} Aktivnost između oznaka i i j
 t_{ij} Trajanje aktivnosti A_{ij}
 RP_i Rani početak aktivnosti A_{ij}
 KZ_i Kasni završetak prethodne aktivnosti; $KZ_i = KP_i$
 RP_j Rani početak naredne aktivnosti; $RP_j = RP_i + t_{ij}$
 KZ_j Kasni završetak aktivnosti A_{ij} ; $KZ_j = KP_j + t_{ij} = RP_i + t_{ij} + R_{t_{ij}}$
 $R_{t_{ij}}$ Ukupna vremenska rezerva; $R_{t_{ij}} = KZ_j - RP_i - t_{ij}$

Sl. 10. Primjer mrežnog dijagrama CPM

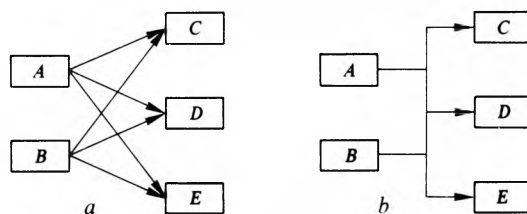


Sl. 11. Mrežni dijagram PERT (gornji dio slike) prikazan u TRANS-PLAN tehnici (donji dio slike)

U toj su tehnici na vrlo originalan način spojene karakteristike gantograma i mrežnog dijagrama. Formular za crtanje

(sl. 11) vrlo je sličan gantogramu, jedino što svaki redak na donjoj strani ima dvostruku liniju iznad koje se unosi linija aktivnosti. Kritička se aktivnost ucrtava dvostrukom linijom, tj. s donje i gornje strane dvostruke linije u retku. Crtkane linije predložuju vremenske rezerve pojedinog skupa aktivnosti, a sve se aktivnosti crtaju u svom najranijem početku. Vertikalne linije zamjenjuju događaje.

Tehnika mrežnog planiranja PRECEDENCE-DIAGRAMMING (PD). Tu je tehniku razvila tvrtka IBM na principima Metra-potencijalne metode koju je 1958. god. razvio francuski matematičar B. Roy. Aktivnosti se u ovoj tehnici prikazuju pravokutnikom, ovisnost aktivnosti strelicama, a ne postoje fiktivne aktivnosti (sl. 12). Posebnih pravila za crtanje mreže nema, proračun vremenskih podataka je direktan za aktivnosti, a ne za događaj, dok mrežni dijagram može imati više početaka i više



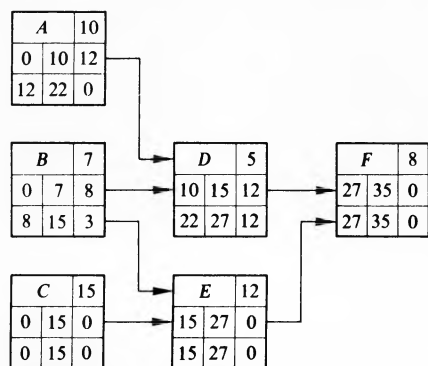
Sl. 12. Prikaz aktivnosti u tehnici PD. Mrežni se dijagram može crtati na način a ili b

Opis prethodne aktivnosti	t	Opis iduće aktivnosti	t
RP	RZ	RP	RZ
KP	KZ	KP	KZ

Sl. 13. Upisivanje podataka tehnikom PD. t trajanje aktivnosti; ostale oznake v. tabl. 3.

Tablica 4
POJMOVI I NAČIN IZRAČUNAVANJA U TEHNICI PD

Najraniji početak aktivnosti	za početnu aktivnost za iduću aktivnost kada je samo jedna prethodna za iduću aktivnost kada ima više prethodnih	$RP = 0$ $RP = RZ_p$ $RP = RZ_{p\max}$
Najraniji završetak aktivnosti		$RZ = RP + t$
Najkasniji početak aktivnosti		$KP = KZ - t$
Najkasniji završetak aktivnosti	za zadnju aktivnost za prethodnu aktivnost ako ima samo jednu iduću za prethodnu aktivnost ako ima više idućih	$KZ = RZ$ $KZ = KP_i$ $KZ = KP_{i\min}$
Ukupna vremenska rezerva		$R_t = KZ - RZ$
Slobodna vremenska rezerva	za zadnju aktivnost za prethodnu aktivnost ako ima jedna iduća za prethodnu aktivnost ako ima više idućih	$R_s = R_t$ $R_s = RP_i - RZ_p$ $R_s = RP_{i\min} - RZ_p$



Sl. 14. Primjer mrežnog dijagrama PD

završetaka. Računaju se isti podaci (tablica 4) kao i za CPM, a upisuju se u pravokutnik određenim redoslijedom (sl. 13). Mrežni dijagram u tehnici PD prikazan je na sl. 14.

KONTROLA KVALITETE

Kontrola kvalitete treba osigurati da u proizvodnju uđe materijal tražene kvalitete, da se tokom proizvodnje izradi što manje dijelova nedovoljne kvalitete, te da kvaliteta konačnog proizvoda bude primjerena zahtjevima njegove eksploatacije.

Da bi se to postiglo, kontrola se razvrstava na ulaznu kontrolu, kontrolu kvalitete i kvantitete u toku proizvodnog procesa, i na završnu, tj. izlaznu kontrolu.

Pod pojmom kontrole u tehničkom smislu podrazumijeva se postupak kojim se utvrđuje da li se izmjerena vrijednost na nekom izratku nalazi unutar zadanih granica, odnosno da li je neko unaprijed zadano svojstvo proizvoda, usluga ili procesa ostvareno ili ne. Pod pojmom kvalitete u tehničkom smislu podrazumijeva se svojstvo koje neki proizvod čini sposobnim za ispravnu eksploataciju u normalnim ili propisanim uvjetima.

Kvaliteta proizvoda, usluga ili procesa ne mjeri se, već se ocjenjuje na temelju mjerljivih i atributivnih karakteristika. Mjerljive karakteristike posve su identične mjernim veličinama, dok atributivne predstavljaju određena svojstva koja se ne mogu mjeriti, već se samo ustanovljuje da li je neko svojstvo sadržano ili ne.

Pod mjerenjem se podrazumijeva postupak kojim se uspoređuju dvije istovrsne veličine, od kojih se jedna dogovorno uzima kao jedinica mjere. Pri svakom mjerenju nastaje greška mjerenja, koja može biti sistematska (značajna) ili slučajna. Pod greškom se podrazumijeva nedozvoljeno odstupanje izmjerenih vrijednosti od zadanih.

Danas se, za razliku od ranije, pod kontrolom kvalitete podrazumijeva kompleksni sustav svih aktivnosti kojim se unapređuje kvaliteta proizvodnje u radnoj organizaciji. Informacijski je sustav osnovica takve integralne kontrole kvalitete. U njega su uključene sve faze od projektiranja i oblikovanja proizvoda i proizvodnje do završne kontrole i otpreme proizvoda na tržište.

Kvaliteta proizvoda usko je vezana uz troškove pripremnih djelatnosti za postizavanje kvalitete, troškova za održavanje kvalitete u toku proizvodnje i troškove koji su posljedica loše kvalitete izradbe. Sve troškove i zahtjeve za kvalitetom i pouzdanošću proizvoda treba uskladiti da bi se postigla optimalna kvaliteta, tj. ona koja uzima u obzir sve utjecajne elemente proizvodnje i tržišta.

Statistička je kontrola kvalitete metoda utvrđivanja kvalitete proizvoda uzimanjem uzoraka iz nekog skupa, tj. primjena teorije uzoraka matematičke statistike (v. *Statistička kontrola kvalitete*). Da li se izradba odvija u propisanim granicama, odlučuje se na temelju mjerenja, odnosno utvrđivanja svojstva uzoraka, služeći se planovima prijema i kontrolnim kartama.

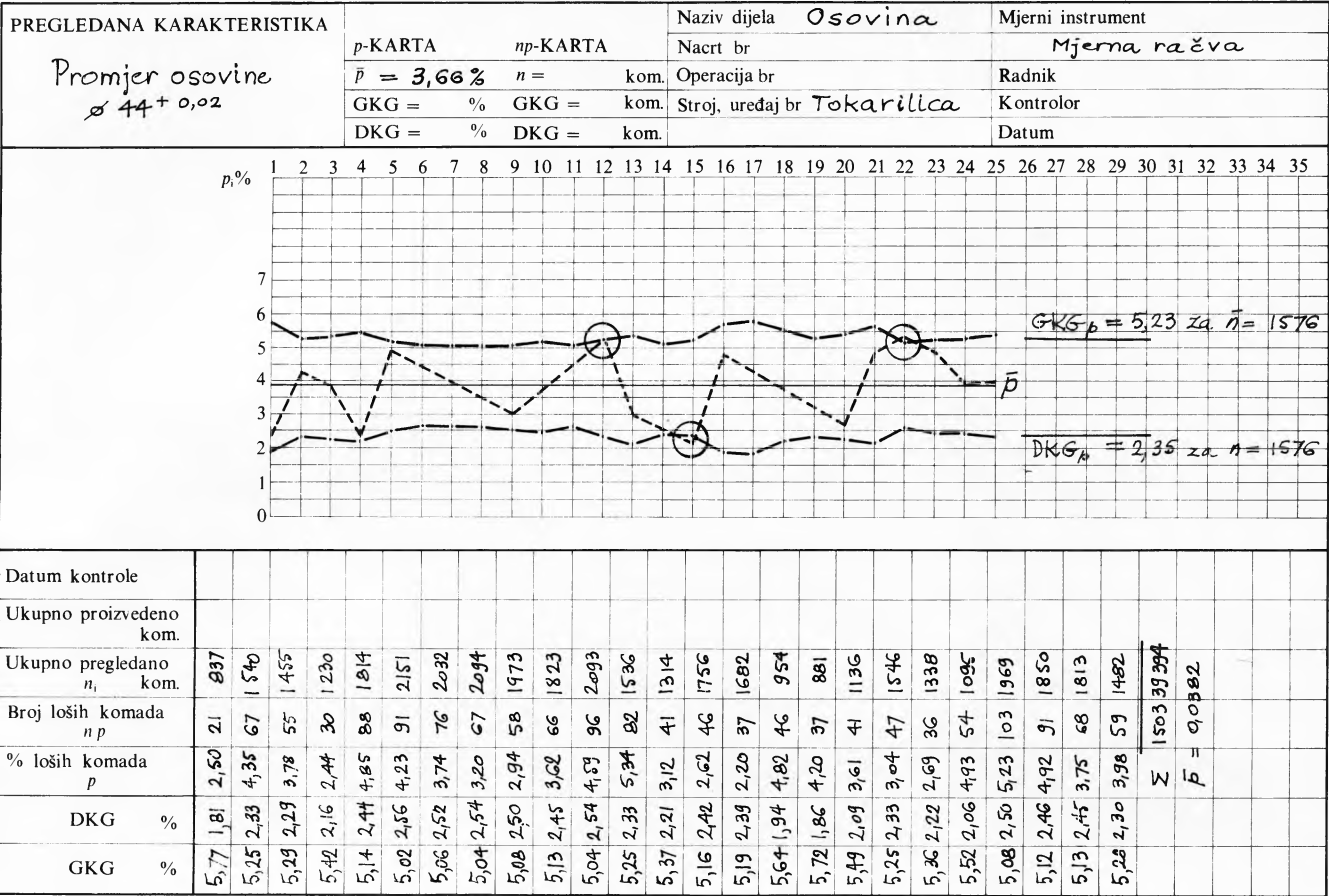
Ulazna kontrola osigurava kvalitetu sirovina, materijala, odnosno dijelova koji ulaze u radni proces. Kontrola može biti potpuna ili statistička. *Potpunom kontrolom* ispituje se sveukupni materijal ili dijelovi sadržani u isporuci, a *statistička se kontrola* obavlja na osnovi planova prijema koji propisuju količinu uzorka te kriterije za prihvaćanje ili odbacivanje isporuke. U planu prijema uzorak se može uzimati jednostrukim, dvostrukim ili višestrukim postupkom. Svaki postupak uzimanja uzoraka ima svoje prednosti i mane, pa se izbor obavlja prema uvjetima u kojima se ispituje (tabl. 5).

Tablica 5
USPOREDNI PREGLED JEDNOSTRUKOGA, DVOSTRUKOG
I VIŠESTRUKOG POSTUPKA UZIMANJA UZORAKA

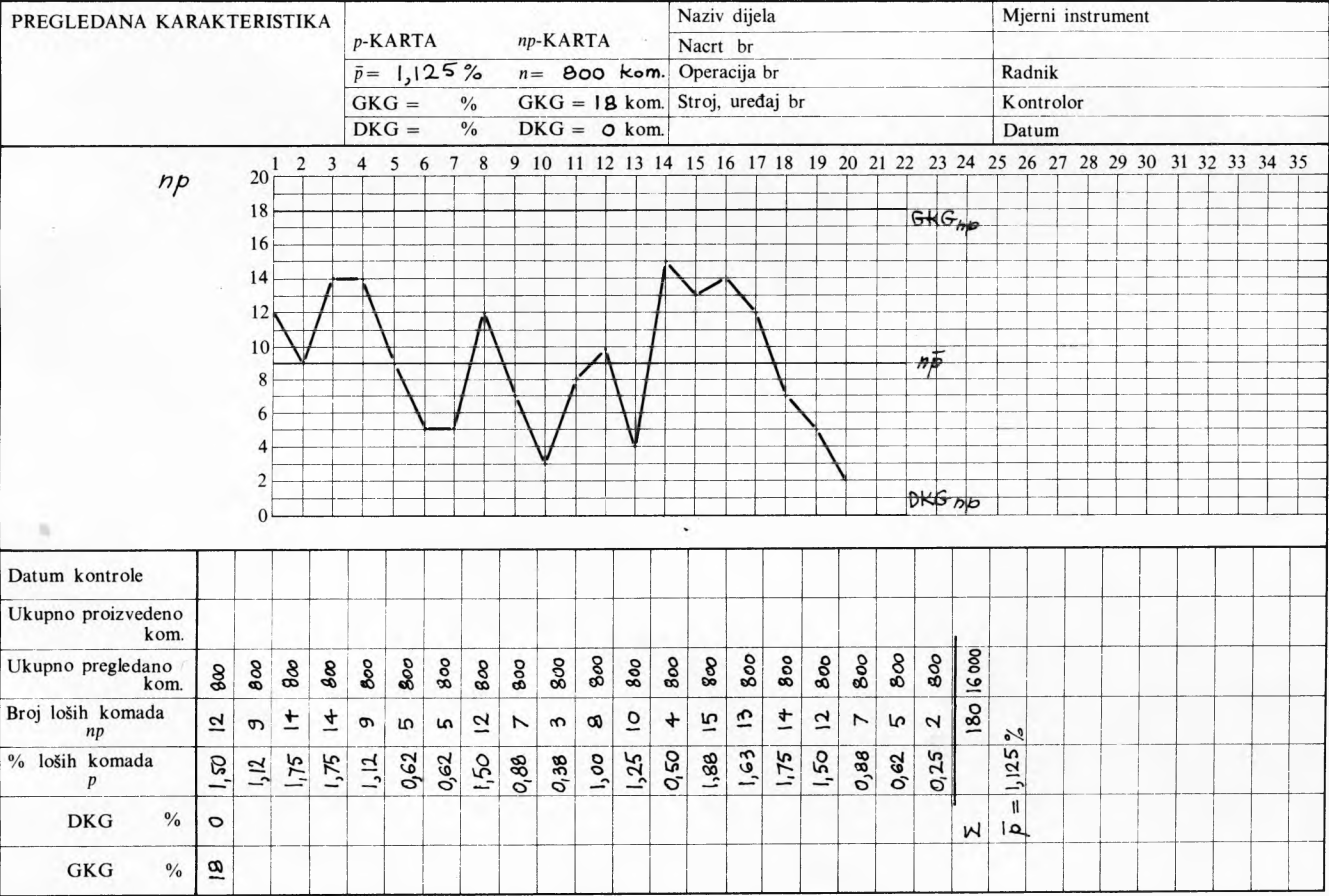
	Postupak uzimanja uzoraka		
	jednostruki	dvostruki	višestruki
Ukupna količina ispitanih uzoraka	visoka	obično niža nego za jednostruki postupak	niža nego za ostale postupke
Potreba za posebnom izobrazbom kadrova	ne postoji	postoji	veća nego za dvostruki postupak
Primjenljivost	uvijek	samo ako isporuka ostane na raspolaganju nakon uzimanja prvog uzorka	
Prikupljena informacija u vezi sa stvarnom razinom kvalitete ispitanih isporuka	dobra uz uvjet da je osigurana slučajnost	dovoljna	manjkava
Prihvatljivost od strane kupca	slaba, jer pruža samo jednu mogućnost ispitivanja	dobra (psihološki razlozi)	izložena kritici jer je previše komplicirana

Jednostrukim postupkom uzima se jedan uzorak veličine n , a plan prijema daje primjereni broj prihvaćanja, odnosno odbijanja c . Dvostrukim postupkom uzima se prvi uzorak veličine n_1 , a na temelju planom određenih brojeva prihvaćanja c_1 i odbijanja c_2 odlučuje se da li se isporuka prihvaća ili odbija, ili treba uzeti drugi uzorak n_2 . Višestrukim postupkom predviđa se mogućnost da se uzme i treći i sljedeći uzorci, a plan određuje primjerne brojeve prihvaćanja, odnosno odbijanja.

Kontrola kvalitete u toku proizvodnog procesa. Osim o upotrijebljenim materijalima, kvaliteta proizvoda ovisi i o kvaliteti rada u tehnološkom i proizvodnom procesu. Ako samo jedna od operacija predviđenih tehnološkim procesom nije korektno izvršena, nastaje škart. Zato je u toku tehnološkog i proizvodnog procesa potrebna kontrola kvalitete koja ima preventivno i korektivno djelovanje. Svrha je preventivnog djelovanja kontrole optimalno iskoristiti proizvodna sredstva, a korektivnim djelovanjem postići planiranu razinu kvalitete, uz stalno



Sl. 17. p-kontrolna karta. p omjer loših komada u uzorku, $\bar{p}$ aritmetička sredina omjera loših komada u uzorku. GKG gornja kontrolna granica. DKG donja kontrolna granica.



Sl. 18. np-kontrolna karta. Oznake kao u sl. 17

provjeravanje da radni uvjeti budu u normalnim granicama, te ograničiti škart.

Kontrolne karte služe da bi se slučajna odstupanja u proizvodnom procesu održala unutar dozvoljenih granica, odnosno, da bi se proizvodni proces korigirao kad odstupanje prijeđe te granice. Kontrolne se karte primjenjuju za mjerljive veličine i za atributivne karakteristike. Zajednička je karakteristika svih kontrolnih karata da se pomoću njih može odrediti da li izmjerene ili ocijenjene karakteristike proizvoda odgovaraju postavljenim zahtjevima, te da se, osim toga, može predvidjeti da li će te karakteristike još neko vrijeme ostati u dozvoljenim granicama ili će ih prijeći, pa se onda pojavljuje škart.

Za mjerljive karakteristike služe: kontrolna karta $\bar{x}-R$ (sl. 15) kojom se prati aritmetička sredina i raspon, tj. maksimalna i minimalna vrijednost mjerene veličine, te kontrolna karta $\bar{x}-\sigma$ (sl. 16) kojom se prati aritmetička sredina i rasipavanje mjerene veličine. Matematičko-statistička osnova tih karata jest normalna raspodjela. Kontrolne karte za atributivne karakteristike jesu *p*-kontrolna karta (sl. 17), koja prikazuje kretanje proporcije ili omjera loših komada u uzorcima; *np*-kontrolna karta (sl. 18), koja izravno pokazuje broj pronađenih škarta jedinica; *u*-kontrolna karta (sl. 19), koja prikazuje prosječan broj grešaka (ne loših komada) pronađenih u jednoj isporuci, i to po jedinici proizvoda; *c*-kontrolna karta (sl. 20), koja registrira broj defekata na jednom uzorku. Matematičko-statistička osnova tih karata jest binomna i Poissonova raspodjela.

Izlazna kontrola kvalitete. Prije nego što se proizvod isporučuje, potrebno je izvršiti izlaznu, odnosno završnu kontrolu

kvalitete, ispravnosti u radu ili pouzdanosti proizvoda. Ta se kontrola mora pridržavati pripadnih standarda, internih propisa i unaprijed zadanih karakteristika proizvoda. Postupci su završne kontrole različiti i ovise o vrsti proizvoda i traženim karakteristikama, a jedan od mogućih postupaka prikazan je dijagramom toka na sl. 21.

UKOVANJE MATERIJALOM

U organizaciji proizvodnje važni su postupci koji osiguravaju optimalno rukovanje i prenošenje sirovina, materijala ili proizvoda prilikom ulaza u skladište, u samom skladištu, u toku proizvodnog procesa i na izlazu iz skladišta. Rukovanje materijalom, kao jedna od disciplina organizacije proizvodnje, širi je pojam od unutrašnjeg transporta jer obuhvaća: rukovanje sipkim, tekućim, plinovitim i komadnim materijalom, unutrašnji transport, pakiranje, skladištenje, vanjski transport te organizaciju i unapređenje rukovanja materijalom.

U troškovima industrijske proizvodnje troškovi unutrašnjeg transporta iznose 10...50%, pa je potrebno unutrašnji transport i cjelokupno rukovanje materijalom dobro organizirati, primjenjujući znanstvene principe, da bi se osiguralo optimalno iskorištenje svih sredstava, opreme i prostora potrebnih u rukovanju materijalom. Zato je potrebno da za rješavanje problema rukovanja materijalom postoji posebna stručna služba, a ako nje nema, onda te poslove može preuzeti i obavljati vrlo dobro stručna služba studija rada.

Osnovna načela kojih se treba pridržavati u organizaciji rukovanja materijalom jesu sljedeća:

1. Odvijanje tehnološkog i proizvodnog procesa treba sadržavati što manje radnih postupaka transporta, odnosno rukovanja materijalom. Posebno treba izbjegavati nepotrebne pretovare.

2. Za određeno vrijeme, odnosno jednim radnim postupkom, treba prenijeti ili premetnuti što više komada ili tereta.

3. Čovjeka treba što više osloboditi od rada u transportu, jer od ukupnog postotka nesreća na radu do 30% nastaju prilikom transporta. Zato treba transport što više mehanizirati, vodeći računa da se odabere ono sredstvo koje će omogućiti minimalne troškove.

4. Transport treba biti primjeren radnim postupcima unutar tehnološkog ili proizvodnog procesa, nastojeći što više skratiti put prenošenja materijala i imajući u vidu da treba od radnog mjesta odvesti i otpad.

5. Tok materijala treba ići uvijek najkraćim putem, i to po mogućnosti pravocrtno, izbjegavajući nepotrebne povratne putove.

6. Uz radno mjesto treba predvidjeti prostor koji osigurava optimalni smještaj materijala i dijelova koji se obrađuju.

7. Rukovanje materijalom treba pojednostavniti primjenjujući principe studija rada, a osobitu pažnju posvetiti zaštiti na radu.

8. Kad se projektira proizvodni proces ili kad se postojeći način transporta želi pojednostavniti, osobito ako se radi o velikim teretima, treba razmotriti mogućnost da se ne kreće materijal već izvršilac rada.

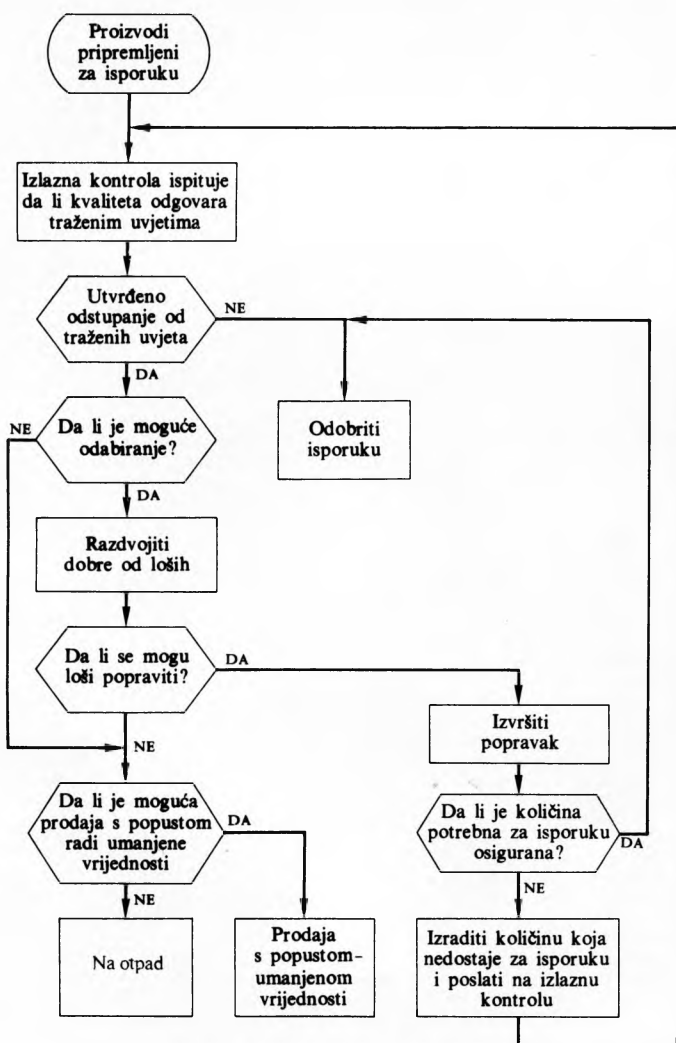
9. Kad god je to ekonomski opravdano, kretanje materijala u toku proizvodnog procesa treba biti mehanizirano ili automatizirano.

10. Materijal treba dovesti što bliže mjestu obradbe ili preradbe.

11. Transportna se sredstva i oprema moraju redovito održavati te zamijeniti čim više ne zadovoljavaju uvjete normalnog rada. Treba paziti na ekonomsku zastarjelost pojedinog sredstva ili opreme.

12. Transportne putove treba predvidjeti već u projektu proizvodnog procesa, a u proizvodnji moraju biti označeni i uvijek slobodni za prolaz.

13. Pakiranje, koje služi za zaštitu gotovih proizvoda od oštećenja i za lakše rukovanje, treba smatrati integralnim dijelom rukovanja materijalom i dobro ga organizirati. Ambalaža treba biti funkcionalna, a vrlo često i atraktivnog izgleda.



Sl. 21. Dijagram toka izlazne kontrole

14. Treba tipizirati i standardizirati sredstva za zahvat i prijenos materijala i dijelova (stalci, palete, kutije, spremnici).

15. Svrha je skladišta da uz minimalne troškove pouzdano posluje proizvodnju. Zato se problemu skladišnog prostora, skladišne opreme i organizaciji rukovanja materijalom u skladištu treba posvetiti puna pažnja, a osobito pri projektiranju proizvodnog procesa.

ODRŽAVANJE

Održavanje obuhvaća sve postupke koje treba poduzeti da sredstva za rad budu stalno u ispravnom stanju i da u predviđenom vijeku trajanja rade pouzdano, ekonomično i kvalitetno. To znači da se održavanjem trebaju spriječiti kvarovi sredstava za rad, a ako kvar ipak nastane, treba ga otkloniti. Kvarovi se sprečavaju *preventivno-planskim održavanjem*, a otklanjanju *korektivnim održavanjem*.

Služba održavanja sastoji se od sljedećih djelatnosti: *preventivnog održavanja* strojeva i uređaja (pregledi, podešavanje, podmazivanje, čišćenje, otklanjanje mogućih uzroka kvarova, izmjena dijelova), *planskog održavanja* strojeva i uređaja (mali, srednji i generalni popravci), *vanplanskog održavanja* strojeva i uređaja (otklanjanje nenadanih kvarova, popravci potrebni na osnovi preventivnog pregleda), *ostalih djelatnosti* (postavljanje i premještanje strojeva, uređaja i opreme, poboljšanja i rekonstrukcije, radovi u vezi s provođenjem zaštite, održavanje zgrada i postrojenja). U posljednje se vrijeme, osim preventivnog i korektivnog održavanja, razvilo i *održavanje prema stanju opreme*. Danas postoje moderni instrumenti i uređaji koji točno pokazuju trenutno stanje opreme, pa se prema tim pokazateljima mogu odmah poduzeti potrebni popravci. Nadalje, danas se vodi računa i o vjerojatnosti da se neki kvar može popraviti u određenom roku, tj. pazi se da je stroj ili uređaj što jednostavniji i da su svi dijelovi lako pristupačni tako da ih se može bez teškoća zamijeniti ili popraviti.

Za razliku od ostalih stručnih službi organizacije proizvodnje, stručna služba održavanja u organizacijskom je smislu nešto složenija, jer se kod održavanja ne radi samo o izmjeni nekog dijela na stroju ili uređaju, odnosno o pregledima i podmazivanjima. Vrlo je često potrebno, osobito za srednje i veće popravke, izraditi novi dio ili obaviti neke složenije radove u radionicama službe za održavanje. Tu je potrebno uključiti i konstrukcijski ured koji mora postojati u sastavu te službe, a potrebni su i stručnjaci za izradbu plana i praćenja plansko-preventivnog održavanja. Zato služba održavanja, pogotovo u srednjim i većim radnim organizacijama, ima pripremu rada održavanja u koju ulazi tehnološka i operativna priprema, a najčešće i konstrukcijski ured. Za radove postoje specijalizirane radionice (npr. strojna obradba, limarija, elektrobavarija itd.), i grupe za održavanje zgrada i terena, te skladište rezervnih dijelova potrebnih za održavanje strojeva, uređaja i opreme.

Budući da se strojevi, uređaji i sva sredstva za proizvodnju sve više mehaniziraju i automatiziraju, te da se traži da budu što pouzdaniji u radu, to se pojam održavanja u posljednje vrijeme proširio. Tako je nastala *terotehnologija* koja obuhvaća sve djelatnosti koje omogućuju dobro gospodarenje opremom i sredstvima za rad, a počinju već tokom projektiranja nekog osnovnog sredstva te se nastavljaju sve dok se to sredstvo ne otpiše. Cilj je terotehnologije optimizacija održavanja, tj. postizavanje takva režima održavanja pri kojemu je zbroj troškova održavanja i troškova zastoja zbog kvarova i radova održavanja minimalan. Te djelatnosti obuhvaćaju: sudjelovanje prilikom projektiranja ili nabave nove opreme, radova na pripremama za redovitu eksploataciju, održavanje kroz vijek eksploatacije opreme, radove na konstrukcijama i modernizaciji opreme, te sudjelovanje u donošenju odluke o otpisu opreme.

LIT.: H. Hilf, Arbeitswissenschaft. C. Hanser, München 1957. — B. Barnes, Motion and Time Study. J. Wiley, New York 1963. — F. W. Taylor, Naučno upravljanje. Rad, Beograd 1967. — C. S. George, The History of Management Thought. Prentice-Hall, London 1968. — H. B. Maynard, Industrial Engineering Handbook. McGraw-Hill, New York 1971. — D. Ta-

boršak, Studij rada. Tehnička knjiga, Zagreb 1971. — G. Kaminsky, Praktikum der Arbeitswissenschaft. C. Hanser, München 1971. — B. Madarević, Rukovanje materijalom. Tehnička knjiga, Zagreb 1972. — B. M. Radcliffe, D. E. Kaval, R. J. Stephenson, Critical Path Method. Cahners Publishing Co., Boston 1972. — D. Domainko, Ekonomika i organizacija industrijskih poduzeća. Narodne novine, Zagreb 1972. — E. Voss, Industriebetriebslehre für Ingenieure. C. Hanser, München 1973. — H. Müller-Merbach, Operations Research. Verlag Vahlen, München 1973. — E. Rejec, Terotehnologija. Informator, Zagreb 1974. — H. Kulka, Arbeitswissenschaften für Ingenieure. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1974. — REFA, Methodenlehre der Planung und Steuerung. C. Hanser, München 1974. — A. Vila, Z. Leher, Planiranje proizvodnje i kontrola rokova. Informator, Zagreb 1976.

D. Taboršak

ORGANOMETALNI SPOJEVI, vrsta spojeva u kojima je metalni atom vezan s atomom ugljika koji je u sastavu nekog organskog radikala ili molekule. Metalni cijanidi, premda zadovoljavaju ovu definiciju, ne smatraju se organometalnim spojevima, nego se već odavno, po svojim svojstvima, ubrajaju među pseudohalogenide i kompleksne spojeve metala. Metalni karbidi, premda derivati ugljikovodika, kao što su Al_4C_3 (derivat metana), Na_2C_2 ili CaC_2 (derivati acetilena), Mg_2C_3 (derivat alena), i premda sadrže vezu metal-ugljik, ne ubrajaju se među organometalne spojeve jer ne sadrže uobičajene organske radikale. Metalni karbonili, kao što su $\text{Ni}(\text{CO})_4$, $\text{Fe}(\text{CO})_5$, $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$, ne smatraju se organometalnim spojevima jer se molekula CO (ugljik-monoksid) ne ubraja među organske molekule. Složeni karbonili, kad osim molekule CO sadrže još i različite organske molekule i radikale, pripadaju kemiji organometalnih spojeva.

Ni s obzirom na prirodu metala definicija organometalnih spojeva nije jednoznačna. Budući da nema oštre granice između metala i nemetala, među organometalne spojeve ubrajaju se i spojevi s vezom ugljik-metaloid, pa organometalnim spojevima pripadaju također organski spojevi bora, silicija, germanija, arsena, antimona, telura i polonija.

Uz naziv organometalni čest je i stariji naziv metaloorganski, osobito u njemačkoj i ruskoj literaturi.

Prvi poznati organometalni spoj bila je Zeiseova sol, $\text{K}[\text{Cl}_3\text{PtC}_2\text{H}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$, što ju je godine 1827. priredio W. C. Zeise, profesor u Kopenhavenu. Budući da se držalo da je u njoj etilen vezan poput kristalne vode, ta se sol tada nije ubrajala među organometalne spojeve i njeno poznavanje nije utjecalo na razvoj kemije organometalnih spojeva. Prvi poznati organometalni spojevi u širem smislu bili su organoarsenovi spojevi kojima se oko 1840. godine bavio R. Bunsen.

Mnogi organometalni spojevi dali su se prrediti reakcijom metala s alkihlohalogenidima, pa su u sljedećih nekoliko godina priredeni alkinski spojevi žive, kadmija, kositra, antimona i bizmuta. Kada neki čisti metal nije reagirao s alkihlohalogenidom ili arilhalogenidom, upotrijebljena je legura tog metala s natrijem ili kalijem. Tako su C. J. Löwig i njegov učenik H. H. Landolt alkilirali kositar, antimon i bizmut (1851–1852), a A. Cahours (1862) priredio je tetraetilolovo djelovanjem etiljodida na leguru olova (80%) i natrija (20%). Metoda priprave s legurom imala je kasnije veliko značenje u industrijskoj proizvodnji organometalnih spojeva, posebno tetraetilolova, koje se od 1922. godine dodaje benzinu kao antidetonator.

Otkriće izravnog merkuriranja, tj. zamjene vodika na ugljiku živom, potkraj prošlog stoljeća dalo je pravo obilje organoživinih spojeva, osobito u aromatskom nizu, što je potaknulo primjenu organoživinih spojeva u kemoterapiji kao zamjenu za toksične anorganske živine preparate. U alifatskom nizu dobiveni su spojevi s više atoma žive na jednom atomu ugljika. Tek su nedavno (1974. godine) D. Grdenić i suradnici pokazali da merkarbid, što se dobije merkuriranjem etanola (K. A. Hofmann, 1898. godine) sadrži merkurirani metan i da daje spojeve tipa $\text{C}(\text{HgX})_4$.

Interes za organoarsenove (i organofosforne) spojeve poslije Bunsena obnovio je A. W. Hofmann 1855. godine, a P. Ehrlich je 1907. godine sintetizirao niz arsenobenzenovih derivata, od kojih je 606. po redu nazvan salvarsanom i uveden kao lijek protiv sifilisa (1910). Poslije uspjeha sa salvarsanom organoarsenova kemija silno se razvila. Od ~12 000 organometalnih spojeva, poznatih od 1937. godine, organoarsenovih bilo je oko 8 000, a većina od njih bila je testirana na terapijsku djelotvornost. Četrdesetih godina interes za organoarsenove spojeve naglo je opao zbog uspješne primjene antibiotika.

U drugoj polovici XIX stoljeća više se razvila i kemija organosilicijevih i organokositrenih spojeva. Za kemiju organosilicijevih spojeva prvih desetljeća ovog stoljeća posebno je zaslužan engleski kemičar F. S. Kipping, jer je obratio pažnju na siloksane, a osobito na polisiloksane, kasnije prave silikone. Silikonska ulja, smole i gume danas su tehnički veoma važne.

Osim primjenom u medicini, poljoprivredi i tehnici, izvanredne poticaje za razvoj dobila je kemija organometalnih spojeva primjenom u organskoj sintezi. Već uskoro nakon otkrića u tu su svrhu upotrijebljeni organocinkovi spojevi, ali je tek zamjena cinka magnezijem dala izvanredne rezultate. Francuski kemičar V. Grignard (1900) pokazao je da se sinteze odvijaju preko alkilmag-