

Metode mrežnega planiranja

Avtor opisuje v članku pomen metod mrežnega planiranja pri programiranju, vodenju in kontroli različnih nalog.

Posebej obravnava osnove PERT metode z opisom uporabljenih pojmov, izračunavanja časov, ugotavljanja kritične poti, izdelave terminskega plana itd.

Članek predstavlja z opisom metode osnovo za serijo nadaljnjih člankov, ki bodo opisovali uporabo PERT metode pri vodenju laboratorijskega dela in raziskovalnih nalog v železarni Ravne.

1. UVOD IN SPLOŠEN POMEN METOD MREŽNEGA PLANIRANJA

Izkoriščanje delovne sile in proizvodnih sredstev izgleda ponekod že na skrajni meji možnosti. Razvoj tehnike je silovit. Rezerve za izboljšanje produktivnosti v širšem merilu je težko iskati le v neposredni proizvodnji — ali neposredno v delu, ampak predvsem v pripravi in organizaciji proizvodnje ali kakršnega koli dela. Potrebne so moderne metode planiranja in vodenja, ki omogočajo boljše izkoriščanje proizvodnih sredstev, usklajeno in predvsem terminsko garantirano proizvodnjo. Tako kot pri vodenju in pripravi proizvodnje imajo posegi za izboljšanje organizacije z ustreznimi specialnimi metodami ogromen pomen tudi na področju investicijske gradnje, vzdrževalnih del, raziskav in dolgoročnejšega razvoja.

Večino teh metod je prinesel razvoj zadnjih dveh desetletij. Vsaka od njih je usmerjena na reševanje čisto določenih problemov. Naj samo omenimo le nekaj najvažnejših po področjih uporabe⁵:

— določanje terminov in stopnje verjetnosti pri časovnem planiranju: PERT/TIME (Program Evaluation and Review Technique),

— razpored, planiranje in kontrola stroškov: CPM (Critical Path Method), LESS (Least Cost Estimating and Scheduling), PERT/COST.

— planiranje in kontrola kapacitet:

Manpower Scheduling,

Manpower Smoothing,

RAMPS (Resource Allocation and Multiproject Scheduling).

Popolnoma razumljivo je, da časa, stroškov in kapacitet med seboj ne moremo strogo ločiti, zato je v nadaljnjem razvoju prišlo do modifikacij originalnih metod in do medsebojnega povezovanja omenjenih področij.

Osnovni cilji teh organizacijskih metod so v ugotavljanju najkrajšega časa in najmanjših stroškov z upoštevanjem kapacitet in delovnih zmogljivosti za izvedbo določenega projekta (v širšem pomenu besede), ali pa planiranje naloge na točno določen termin.

V taki obliki so te metode osnovno orodje v rokah organizacijskega vodstva pri poslovnih ekonomsko tehničnih odločitvah.

Tako nalogo ali projekt planiramo z upoštevanjem objektivnih možnosti, obenem pa dobimo vso potrebno dokumentacijo za kontrolo nad potekom naloge in opozorila za potrebno ukrepanje ob pravem času.

V nadaljnjem se bomo omejili na probleme časovnega planiranja in izvajanja nalog.

Ena izmed metod, ki omogoča delno rešitev teh problemov, je zelo poznana metoda Ganttovih diagramov, ki pa ima to pomanjkljivost, da ne more prikazati medsebojne povezanosti različnih ciljev (npr. če je za en proizvod potrebno več delov z večjim številom operacij, se na gantogramu ne vidi, kdaj je potrebno pristopiti k izdelavi posameznega sestavnega dela, da bi bil končni proizvod narejen v čim krajšem času). Za rešitev postavljene naloge je potrebno drediti roke vsem fazam in podfazam dela vključno z roki izvršitve, stroški in ostalimi proizvodnimi komponentami.

Rešitev tega problema je podana bolje z metodo PERT, ki je bila izdelana v letih 1957 do 1958 v ameriški mornarici pri planiranju proizvodnje rakete polaris. PERT je angleška kratica za Program Evaluation Review Technique, kar v prevodu pomeni Tehnika ocenjevanja programa. PERT se je hitro prenesel na industrijska tla in danes se v ZDA projekti sploh ne odobravajo, če niso obdelani po tej metodi. Za PERT lahko trdimo, da je orožje vodilnega kadra pri definiranju in sestavljanju dogodkov, ki se morajo izvesti v odrejenem času. PERT bo torej osvetlil problem rokov, lahko pokaže tudi alternative, toda vodstveni delavci se morajo odločiti za izbiro poti z namenom, da se določeni cilj doseže v želenem času.

Zelo podobna je metoda CPM, zato bomo šele kasneje, ko bomo nekoliko boljše spoznali PERT, opozorili na nekaj značilnosti CPM metode.

2. OPIS PERT METODE

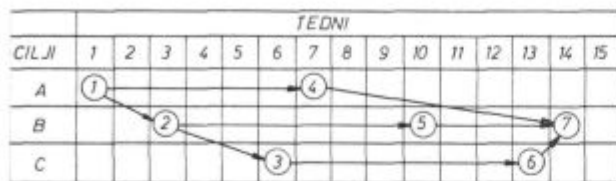
2.1 — Mrežni diagram

Pri PERT metodi je najvažnejše, da si izdelamo pregledni spisek vseh dejavnosti od začetka do konca nekega projekta ali naloge, nato pa jih pre-

gledno in pravilno prikažemo z mrežnim diagramom. Elementi mrežnega diagrama so dogodki in dejavnosti, ki jih v diagramu prikažemo z upoštevanjem medsebojnih odvisnosti in logičnega zaporedja.

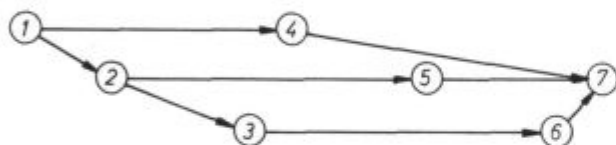
Poglejmo, kako nastane mrežni diagram:

Iz slike 1 se vidi, da obstajajo trije cilji, ki so s planom predvideni, in da je za njihovo izvršitev potreben določen, odrejen čas.



Slika 1
Časovni plan za 7 dogodkov

Obenem je na sl. 1 prikazana odvisnost dogodkov s puščicami. Vsak krog označuje mesto nekega dogodka, medtem ko puščica označuje, kje se neko delo začne in kje konča, oziroma kje se dogodek mora izvršiti pred nekim drugim dogodkom. Če sedaj izpustimo koordinatni sistem časa, dobimo PERT mrežo, kakršna je prikazana na sliki 2.

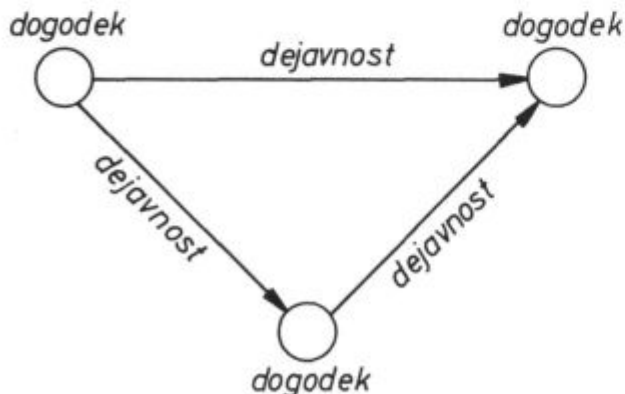


Slika 2
Primer PERT mreže za 7 dogodkov

Seveda PERT vključuje v sebi čas, toda sistem je izveden na ta način, da nam časovna os ni potrebna, pač pa je to regulirano na drug način, kar bomo videli kasneje.

Vsak dogodek v PERT mreži je prikazan s krogom in se mora zgoditi v odrejenem času.

Dva sosednja dogodka sta povezana s puščico, ki predstavlja dejavnost, omejeno z začetnim in končnim dogodkom (sl. 3).



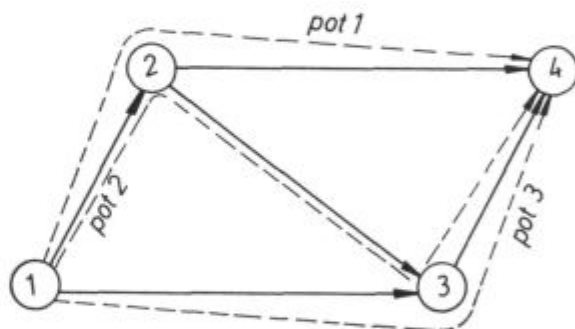
Slika 3
Povezave dogodkov in dejavnosti

Dejavnost je v PERT metodi vse, kar zahteva določen čas in sredstva za izvršitev, kot npr. pripravljanje programa neke naloge, izvrševanje naloge, nabava materiala, vodenje razgovorov, sklepanje pogodb in podobno.

PERT dogodek se dogodi ali pa je planiran, da se bo zgodil v odrejenem času in zaradi tega nima časovnega trajanja. Tak dogodek je npr. začetek dela na enem proizvodu, konec pogovorov itd. Tak dogodek dobi svojo številko, dejavnost pa dobi oznako začetnega in končnega dogodka. Npr. dejavnost 3—5 označuje, da se puščica te dejavnosti prične pri dogodku 3 in konča pri dogodku 5, kar je obenem začetni in končni dogodek dejavnosti. Vsak dogodek v PERT mreži je lahko začetni za več dejavnosti, ne samo za eno, in analogno temu je lahko tudi končni dogodek za več dejavnosti.

Dogodek, pri katerem se mreža prične, imenujemo začetni dogodek mreže, medtem ko se ta, pri katerem se mreža končuje, imenuje končni dogodek mreže. Lahko pa se dogodi, da ima mreža več končnih dogodkov.

Snop dejavnosti v PERT mreži tvori pot, ki se začne pri začetnem dogodku mreže in vodi do katerega koli dogodka v mreži. Na sliki 4 so za primer prikazane tri različne poti s črtkanimi linijami z oznako 1, 2 in 3.



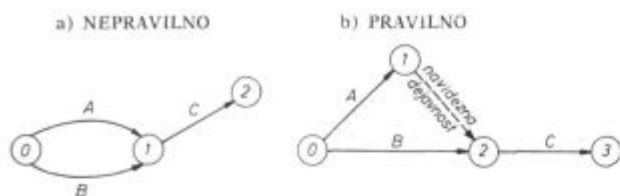
Slika 4
Poti od začetnega do končnega dogodka

Zelo važno je, da si zapomnimo, da ne more in ne sme obstajati nobena pot, ki bi privedla nazaj do enega izmed prejšnjih dogodkov. Da bi se izognili napakam, moramo brezpogojno izpolniti štiri osnovna pravila PERT tehnike:

1. v PERT mreži morajo biti prikazani vsi potrebni dogodki in vse dejavnosti;
2. niti ena dejavnost se ne more začeti, dokler se ni zgodil njen začetni dogodek;
3. niti en dogodek se ne more zgoditi, dokler niso dovršene vse dejavnosti, ki vodijo k njemu;
4. vsak dogodek se lahko zgodi samo enkrat.

V PERT mreži mnogo dejavnosti poteka v istem času. To so simultane dejavnosti, ki so med seboj neodvisne in ne vplivajo druga na drugo v času izvrševanja. Prav tako dejavnosti, ki so povezane v seriji preko enega in istega dogodka, ne vplivajo na trajanje dejavnosti.

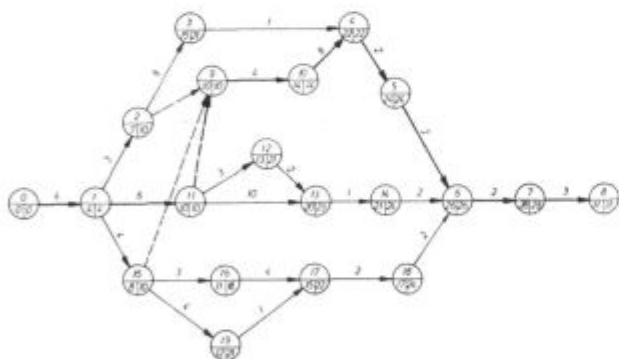
Ko smo omenili, da dejavnost v PERT mreži pomeni vse, kar zahteva določen čas in sredstva za izvršitev, moramo pripomniti, da včasih prikazujemo tudi tako imenovane navidezne dejavnosti. Za navidezno dejavnost ni potreben čas, moramo pa jo prikazati, če v mreži med dvema dogodkoma potekata dve dejavnosti, ki ju moramo posebej obravnavati in za kateri moramo prikazati dve poti. Poglejmo tak primer na sliki 5:



Slika 5
Navidezna dejavnost

Med dogodkoma 0 in 1 moramo opraviti dve različni dejavnosti A in B. Če bi prikazali ti dve dejavnosti tako, kakor kaže slika 5 a, potem poti A in B ne bi bili določeni in tudi izračun časov ne bi bil pravilen. Zato moramo v takem primeru narisati mrežo tako, kakor prikazuje slika 5 b. V tem primeru je dejavnost med dogodkoma 1 in 2 le navidezna in zanjo ne potrebujemo nobenega časa, jasno pa kaže, da dogodek 2 ne more nastopiti, oz. da se dejavnost C ne more začeti, preden nista izvršeni obe dejavnosti A in B.

Primer PERT mreže z 20 dogodki je prikazan na sliki 6 samo za ilustracijo, za razumevanje vseh oznak pa potrebujemo še razlago naslednjih točk tega poglavja.



Slika 6
PERT mreža za projekt z 20 dogodki

Pri dobrem planiranju moramo paziti tudi na preglednost mrež. Zelo veliki projekti bi s prikazovanjem vseh podrobnosti v PERT mreži postali tako nepregledni, da bi bile mreže za kontrolo poteka praktično neuporabne. Zato se tudi pri PERT sistemu poslužujemo delitve na grobo in fino planiranje. V grobem planiranju prikažemo kot okvirni plan PERT mrežo z glavnimi fazami projekta. Vsaka faza, ki je prikazana kot dejavnost med začetnim in končnim dogodkom te faze, je lahko pri finem planiranju prikazana s posebno PERT mre-

žo, ki obravnava podrobnejše dejavnosti. Začetni in končni dogodek te celotne mreže prikazujeta začetni in končni dogodek pripadajoče dejavnosti v glavnem planu oziroma eno od glavnih faz celotnega projekta.

2.2 — Določevanje časov v PERT mreži

Ko so vse dejavnosti in vsi dogodki vneseni v mrežo, je potrebno določiti trajanja posameznih dejavnosti in čase posameznih dogodkov. Pri planiranju po PERT sistemu uporabljamo kot enoto trajanja največkrat 1 teden in računamo z deli tedna, kar pa ni obvezno in je prav tako uporabna včasih pa prikladnejša enota tudi dan, izmena in podobno.

Pri določenih delih je včasih zelo težko določiti točen čas trajanja posamezne faze dela, in to iz različnih razlogov: izdelava proizvodov, ki so prvič v proizvodnem programu, sprememba dimenzij, menjanje tehnologije, nesigurnost normativov itd. V PERT sistemu je ta problem rešen na ta način, da se za vsako dejavnost določijo trije časi trajanja, in to:

- a) najverjetnejši čas, označen s črko m,
- b) optimistični čas, označen s črko a,
- c) pesimistični čas, označen s črko b.

Najverjetnejši čas predstavlja časovno trajanje neke dejavnosti, ki je v praksi najverjetnejše.

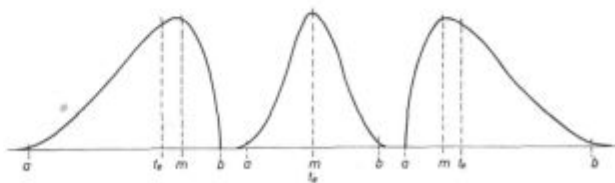
Optimistični čas predstavlja najkrajše trajanje neke dejavnosti, ki se v praksi lahko doseže v izredno ugodnih okoliščinah in kjer ne bi računali s kakšnimi težavami v proizvodnji.

Pesimistični čas predstavlja najdaljše trajanje, neke dejavnosti, ki poteka pod izredno neugodnimi okoliščinami in je verjetnost takšnega dogodka 1 odstotek. Seveda pri tem ni mišljeno, da se upoštevajo elementarne nesreče, temveč so mišljene razne nevednosti okoli procesa, dela, napake v materialu, netočni načrti glede na to, da se prvič dela določen proizvod, lom ali kvar strojev itd.

Časi a, m in b predstavljajo le ocenitev časov dejavnosti, s pomočjo katerih določimo pričakovani čas dejavnosti t_e , katerega potem uporabljamo pri izračunih rokov v PERT mreži. Pričakovani čas določimo z upoštevanjem porazdelitve verjetnosti takole:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Pomen vseh do sedaj omenjenih časov bi si lahko na osnovi znanih statističnih porazdelitev predstavljali po shemi na sliki 7, pri čemer je t_e



Slika 7
Ocene časov a, m, b, t_e

tisti čas, pri katerem je verjetnost, da bo čas dogodka krajši, enaka verjetnosti, da bo čas dogodka daljši (Verjetnost 50 % : 50 %.) V primeru normalne porazdelitve verjetnosti sta čas m in t_e enaka.

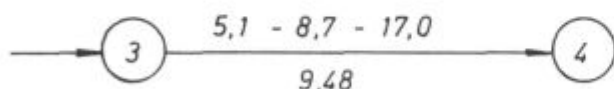
Vzemimo za primer, da smo po različnih informacijah za dejavnost 3—4 na sliki 4 ugotovili

optimistični čas $a = 5,1$ tedna,
 najverjetnejši čas $m = 8,7$ tedna,
 pesimistični čas $b = 17,0$ tedna.

Pričakovani čas t_e je torej:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} = \frac{5,1 + 4 \times 8,7 + 17,0}{6} = 9,48 \text{ tedna.}$$

Te podatke lahko vpišemo k dejavnosti v PERT mrežo, kakor kaže slika 8.

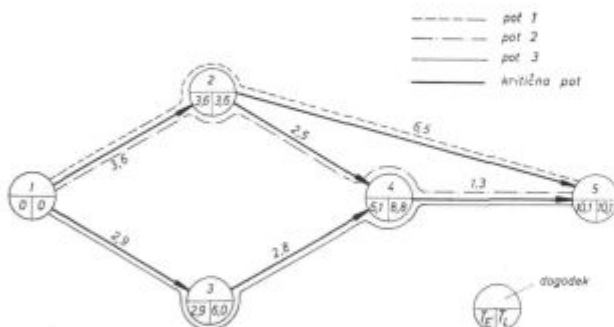


Slika 8
Vpis časov k dejavnosti v PERT mreži

V praksi srečujemo tudi tako imenovane »nula aktivnosti«, če za določeno dejavnost praktično ne potrebujemo časa, ki bi bil upoštevanja vreden. Ta primer nastane tedaj, če se neki dogodek zgodi takoj za drugim dogodkom praktično brez časovnega razmaka.

Vzemimo za primer, da mehansko obdelujemo več kosov, medtem pa moramo določena dva kosa odložiti v priročno skladišče, ker ju bomo potrebovali v eni od kasnejših dejavnosti. Vskladiščenje je v tem primeru dejavnost, ki jo moramo upoštevati in v PERT mreži nujno prikazati, praktično pa za to delo ni potreben čas. Drug tak primer nula dejavnosti je, če vžgemo motor in avto takoj odpelje, ni pa praktično nobenega trajanja. Dejavnost kot tako pa moramo upoštevati, ker avto ne more »začeti« peljati, dokler nismo »končali« vžiganja.

Kot je razvidno iz slike 4, lahko različni dogodki na različne načine vplivajo na poti znotraj PERT mreže in tako nastaja niz poti, ki vodijo od



Slika 9
Primer mreže s 5 dogodki

začetnega dogodka mreže do katerega koli znotraj mreže. Ena od osnovnih nalog PERT mreže je ta, da se ugotovi, koliko časa je potrebno, da se doseže kakršen koli dogodek znotraj mreže ali pa končni dogodek v nje.

To je zelo lahko ugotoviti. Predpostavimo, da imamo mrežo kot na slik 9, kjer so že vneseni časi t_e za vsako dejavnost in da se pojavlja vprašanje, koliko časa je potrebno, da se doseže dogodek št. 5.

Pravzaprav je potrebno odrediti pot in nato sešteti čase t_e vseh dejavnosti, ki se na tej poti nahajajo. Na sliki 9 so prikazane tri možne poti, po katerih se doseže dogodek 5.

Potrebni časi za vse tri poti so:

$$\text{Pot 1} = 3,6 + 6,5 = 10,1$$

$$\text{Pot 2} = 3,6 + 2,5 + 1,3 = 7,4$$

$$\text{Pot 3} = 2,9 + 2,8 + 1,3 = 7,0$$

Definicija PERT smatra, da se noben dogodek ni zgodil, če niso vse dejavnosti, ki peljejo k njemu, zaključene, in tako se tudi v našem primeru dogodek 5 ne bo zgodil, dokler se dejavnosti 4—5 in 2—5 ne izvršita. Z druge strani dejavnosti 4—5 in 2—5 ne bosta končani, v kolikor se ne zgodita dogodka 4 in 2, ki se pa ne moreta zgoditi, če se ne končajo dejavnosti 1—2, 2—4 in 3—4. Če želimmo vedeti, koliko časa je potrebno, da se zgodi dogodek 5, potem moramo vzeti čas najdaljše poti skozi mrežo dogodkov. V našem primeru je to pot 1.

Čas trajanja najdaljše poti od začetnega dogodka do nekega dogodka znotraj mreže dobimo na ta način, da seštevamo pričakovane čase vseh dejavnosti, ki ležijo na tej poti. Označimo ga s T_E , vpišemo pa ga v spodnjo levo četrtinko kroga pri vsakem dogodku. T_E je najkrajši možni čas ali termin nekega dogodka, nekateri pa ga imenujejo tudi kumulativni pričakovani čas. Kumulativni pričakovani čas T_E je torej največja vsota vseh t_e vrednosti od začetnega do obravnavanega dogodka v mreži, ali preprosto vsota časov t_e najdaljše poti.

Praktično računanje pri iskanju T_E časa za kateri koli dogodek si olajšamo s tabelo 1.

Tabela 1: Izračun časov za mrežo na sliki 9

Dejavnost		t_e	Σt_e	T_E	Pot
začetni dogodek	končni dogodek				
1	2	3,6	3,6	3,6	1—2
1	3	2,9	2,9	2,9	1—3
2	4	2,5	6,1	6,1	1—2—4*
3	4	2,8	5,7	6,1	1—3—4
2	5	6,5	10,1	10,1	1—2—5*
4	5	1,3	7,4	10,1	1—2—4—5

Opomba: *označuje pot do navedenega končnega dogodka z najdaljšim časom.

Seveda se v tabeli začne z začetnim dogodkom mreže in se zato najprej vpiše dejavnost 1—2 ter v 3. kolni tej dejavnosti pripadajoči čas t_e . Ker se v četrti koloni vpišuje izračunana vsota vseh t_e do končnega dogodka obravnavane dejavnosti, je v primeru prve dejavnosti čas T_E enak času t_e . Enako postopamo pri dejavnosti 1—3.

V tretji horizontali tabele je vpisana dejavnost 2—4, kjer znaša $t_e = 2,5$ in je tako izračunana vrednost vrste vseh t_e od začetnega dogodka do dogodka 4, kar znaša $3,6 + 2,5 = 6,1$, to pa pripada poti 1—2—4. Analogno je izračunan podatek za pot 1—3—4. S komparacijo podatkov poti 1—2—4 in 1—3—4 se konstatira, da je pot 1—2—4 daljša in zato na koncu to pot zaznamujemo z zvezdico. Izhajajoč iz vsega tega je to T_E za dogodek 4 in ta čas vpišemo v 5. koloni.

Do dogodka 5 vodi najdaljša pot 1—2—5, za katero smo ugotovili $T_E = 10,1$. Z dejavnostjo 4—5 bi izračunali za dogodek 5 čas 7,4, kar pa ni najkrajši možni čas za dogodek 5, ker je druga pot daljša in jo moramo zato upoštevati. Čas T_E za dogodek 5 je torej 10,1. Čas t_e vsake dejavnosti prištevamo že ugotovljenemu času T_E začetnega dogodka iste dejavnosti.

Pot, ki ima najdaljše trajanje med začetnim in končnim dogodkom mreže, imenujemo kritično pot. Torej je v primeru sl. 9 izračunana v tabeli sl. 1 kritična pot 1—2—5, njeno trajanje pa znaša 10,1 ter je ta vrednost torej T_E končnega dogodka mreže.

Vsak dogodek v PERT mreži ima svojo skrajno časovno mejo ali najkasnejši dopustni termin, T_L , ki še omogoča izpolnitev roka, katerega smo z upoštevanjem pričakovanih časov na kritični poti izračunali za končni dogodek mreže. Vsaka prekoračitev termina T_L kateregakoli dogodka v mreži povzroča zakasnitev termina končnega dogodka. V tem je bistvo učinkovitosti kontrole poteka dogodkov s PERT mrežo. Kadarkoli pri nekem dogodku ugotovimo prekoračitev termina T_L , je to opozorilo, da celoten projekt ne bo končan v predvidenem času in moramo zato v naslednjih fazah zamujeno nadoknaditi.

Vsak dogodek v PERT mreži je tako s časom T_E in T_L zelo važna in jasno definirana kontrolna točka. Uporaba PERT mreže pri kontroli poteka dejavnosti nas na vsakem »koraku« oz. v vsaki fazi opozarja na termine z ozirom na začetni dogodek — na osnovi T_E angažiramo ali izbiramo in razporejamo rezervacijo kapacitet — in enako z ozirom na termin končnega dogodka mreže, katerega lahko le na ta način z določeno gotovostjo izpolnimo.

Poglejmo si izračunavanje časov T_E in T_L ter ugotavljanje kritične poti nekoliko podrobneje:

Na sliki 9 je prikazana mreža, za katero smo v tabeli 1 izračunali čase T_E posameznih dogodkov. Čas T_E končnega dogodka 5 je bil 10,1 tedna. Če je to termin, ki ustreza našim željam ali potrebam,

potem je tudi T_L končnega dogodka 5 enak 10,1 tedna in ta čas vpišemo v desno spodnjo četrtiniko kroga.

Za dogodek 4 izračunamo T_L tako, da od T_L dogodka 5 odštejemo pričakovani čas t_e dejavnosti 4—5. Torej za dogodek 4 skrajna časovna meja $T_L = 10,1 - 1,3 = 8,8$ tedna. To vrednost T_L vpišemo k dogodku 4. Pri dogodku 4 pomeni $T_E = 6,1$, da se dogodek 4 lahko zgodi najprej 6,1 tedna po začetku celotnega projekta, to je po dogodku 1 s časom $T_E = 0$. Dogodek 4 se mora zgoditi najkasneje 8,8 tednov po začetku projekta, kajti če se bo zgodil pozneje, ne bo dovolj časa za dejavnost 4—5 in projekt ne bo mogel biti zaključen 10,1 teden po začetku projekta. Predpisani ali pričakovani termin bomo v takem primeru zamudili, v kolikor ne bomo nekaj posebnega ukrenili, da bo čas dejavnosti 4—5 lahko krajši (nadure, dodatna delovna sila, več strojev, posebna prednost, izjemni postopek in podobno).

Tako postopamo v vsakem primeru, ko moramo izračunati T_L predhodnega dogodka z upoštevanjem ene same dejavnosti.

Pri izračunu T_L za dogodek 2 pa moramo upoštevati dve dejavnosti 2—5 in 2—4. Z upoštevanjem teh dveh poti bi izračunali:

- za pot 2—5 $T_L = 10,1 - 6,5 = 3,6$
- za pot 2—4 $T_L = 8,8 - 2,5 = 6,3$

Premislek, da pridemo od dogodka 2 do končnega dogodka 5 po poteh 2—5 ali 2—4—5 nam seveda takoj pomaga k ugotovitvi skrajne časovne meje dogodka 2, ki mora zagotoviti dovolj časa za dejavnost daljše poti. Za dogodek 2 bi torej $T_L = 6,3$ povzročilo zamudo na poti 2—5 in zato je za dogodek 2 pravilna skrajna časovna meja $T_L = 3,6$ in jo vpišemo v desno spodnjo četrtiniko kroga.

Tako smo spoznali pravilo, da pri izračunavanju časov T_L posameznih dogodkov pri upoštevanju več poti, ki izhajajo iz tega dogodka upoštevamo najmanjši izračunani čas in tega vpišemo k dogodku v mrežo.

Sedaj nam preostaneta še dva dogodka za izračun T_L . Za dogodek 3 je $T_L = 8,8 - 2,8 = 6,0$ in za dogodek 1 je $T_L = 3,6 - 3,6 = 0$. Sedaj lahko s podatki v tabeli 2 za čase T_L končnih dogodkov vsake dejavnosti dopolnimo tabelo 1.

Tabela 2

Dejavnost		T_L za končni dogodek	Pot
začetni dogodek	končni dogodek		
1	2	3,6	1—2
1	3	6,0	1—3
2	4	8,8	1—2—4
3	4	8,8	1—3—4
2	5	10,1	1—2—5
4	5	10,1	1—2—4—5 (1—3—4—5)

V tej tabeli smo za T_L vpisali veljavne vrednosti — najmanjše za dani dogodek. Če primerjamo T_E in T_L posameznih dogodkov, vidimo, da so $T_E = T_L$ pri dogodkih 1, 2 in 5. To pa so dogodki na kritični poti, ki smo jo že prej ugotovili.

Naj samo omenimo, da je včasih ob predpisanim času T_L končnega dogodka ta lahko daljši ali celo krajši od izračunanega časa T_E istega dogodka. V takem primeru so tudi pri drugih dogodkih na kritični poti časi T_L daljši ali krajši od časov T_E in nastanejo tako imenovane pozitivne ali negativne značilnosti. To pa so posebni primeri, ki bi motili pri razumevanju, če bi jih obravnavali pri tej uvodni razlagi, zato jih odložimo za kasnejšo obravnavo.

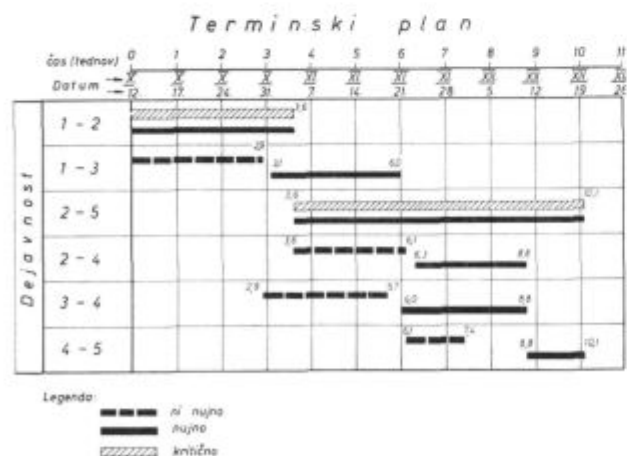
Sedaj smo izdelali z mežo na sliki 9 in s potrebnimi izračuni v tabeli 1 in 2 celotno planiranje našega miniaturnega projekta po PERT sistemu.

Zavedati se moramo, da kakršen koli pa tudi še tako dober in realen plan prav lahko propade, če njegovega poteka ne vodimo in vestno sistematično ne kontroliramo. Zato sledi do sedaj opisanemu planiranju še ena za prakso zelo pomembna faza — priprava kontrole poteka.

Ko smo se prepričali, da je plan po PERT mreži dober in predvsem realno izvedljiv — za to smo morali še enkrat preveriti in izvršiti rezervacije potrebnih kapacitet posebno na kritični poti in na nekaterih drugih važnejših poteh — si pripravimo še pregled, ki nam bo služil za tedensko ali dnevno kontrolo vseh potrebnih dejavnosti v okviru projekta in predvsem za razporejanje angažiranja posameznih kapacitet za potrebe večjega števila različnih projektov oziroma nalog.

Zelo priporočljivo je izdelati terminski plan, kakršnega kaže slika 10 za primer PERT mreže na sliki 9. Poglejmo si ta terminski plan nekoliko podrobneje:

V vodoravni smeri imamo merilo časa v enotah, ki smo jih uporabili v PERT mreži. V našem primeru so podani tedni kot absolutno merilo trajanja s časom 0 pri začetnem dogodku. K tem



Slika 10

Primer terminskega plana za kontrolo poteka dejavnosti v PERT mreži na sliki 9

časom si za določeno nalogo lahko vpišemo pripadajoče dejanske datume — mesec in dan. V našem primeru je začetek projekta 12. oktobra in zaključen naj bi bil po 10 tednih od tega začetnega datuma. Pri takem načinu planiranja se zelo pogosto namesto dejanskih datumov uporabljajo preprosto tedni po planskem koledarju. Na levi strani so navpično navedene dejavnosti, ki se nanašajo na PERT mrežo slike 9.

Dejavnost 1—2 je prva in se lahko začne takoj z začetnim dogodkom 1. Ker je zanjo pričakovano trajanje 3,6 tednov, pričakujemo, da bo v 3,6 tednih končana. Ker je ta dejavnost na kritični poti, jo moramo začeti takoj in končati v 3,6 tednih.

Dejavnost 1—3 lahko začnemo takoj, ker je vezana na začetni dogodek. V tem primeru bi bila končana 2,9 tedna po začetnem dogodku. Tega pa ne zahtevamo, ker je za izpolnitev končnega termina postavljen le pogoj, da je dejavnost 1—3 končana do konca 6. tedna. Kolikor imamo neka druga nujna dela, gotovo ne bomo dejavnosti začeli takoj, ampak jo bomo nekoliko odložili. Ta dejavnost mora biti končana 6,0 tedna po začetnem dogodku in če upoštevamo njeno pričakovano trajanje 2,9 tedna, jo moramo začeti najkasneje 3,1 teden po začetnem dogodku. Toleranca začetnega termina te dejavnosti je torej 3,1 teden in to imenujemo tudi zračnost.

Dejavnost 2—5 lahko začnemo in moramo začeti 3,6 tedna po začetnem dogodku mreže. Ker je ta dejavnost na kritični poti, ni nobene zračnosti in za zaključek projekta v 10,1 tednu sme ta dejavnost trajati 6,5 tednov.

Pri dejavnosti 2—4 je zopet na razpolago precejšnja zračnost, saj jo lahko začnemo že 3,6 tednov po začetnem dogodku, najkasneje pa jo moramo začeti 6,3 tedne po začetnem dogodku, da bi jo ob pričakovanem trajanju 2,5 tedna lahko zaključili po 8,8 tednih od začetnega dogodka in s tem še omogočili izpolnitev končnega termina celega projekta.

Podobno vidimo pri dejavnosti 3—4, da jo je mogoče začeti že 2,9 tedna po začetnem dogodku, najkasneje jo moramo začeti 6,0 tedna in končati najkasneje do 8,8 tednov po začetnem dogodku. Od te dejavnosti je neposredno odvisna dejavnost 4—5, s katero se poleg dejavnosti 2—5 projekt zaključi.

Če bomo dejavnost 3—4 zaključili s skrajnim rokom 8,8 tednov, bomo lahko dejavnost 4—5 šele takrat začeli in bo seveda zelo nujna. Če pa bo dejavnost 3—4 izvršena prej, bomo tudi dejavnost 4—5 lahko prej začeli. Zračnost začetnega termina dejavnosti 4—5 je torej neposredno odvisna od poteka dejavnosti 3—4.

V tem je razlika med obravnavanjem dejavnosti 2—4 in npr. 4—5, ki sicer v terminskem planu izgledata podobni glede zračnosti. Pri dejavnosti 2—4 lahko v celotnem intervalu poljubno izkoristimo zračnost in to dejstvo upoštevamo pri rezervaciji kapacitet. Pri dejavnostih z vezano zračnostjo pa moramo rezervacijo kapacitet zagotoviti

predvsem za kasnejši termin dejavnosti. To bo najbolj razumljivo na primeru: Vzemimo, da smo dejavnost 1—3 končali šele 6,0 tednov po začetnem dogodku. S tem smo seveda že porabili tudi vso zračnost dejavnosti 3—4 in 4—5, ki s tem postajeta kritični in smo jih prisiljeni izvajati s skrajnimi roki. Zato pa moramo imeti vsaj za ta termin zagotovljene potrebne kapacitete.

Omenili smo že, da je vrednost T_L končnega dogodka lahko tudi manjša od vrednosti T_E tega dogodka, če je zaključek celotnega dela posebej zahtevan. V takem primeru bodo vse zračnosti dogodkov na kritični poti manjše od nič.

To je znak, da ni dovolj časa, da se dejavnosti, prikazane v mreži, z normalnim delom končajo v zahtevanem roku, zato pa mora vodstvo podvzeti ustrezne ukrepe, ki bodo izvršitev v postavljenem času zagotovili. Praktična rešitev takega primera je v dodatku delovne sile, boljši delitvi dela in selekciji dejavnosti, boljši delitvi kapacitet med kritičnimi in nekritičnimi dejavnostmi, izkoriščanju prostih kapacitet, večizmenskem delu in po-

dobno. Lahko morda delo sploh drugače organiziramo in sestavimo morda boljši mrežni plan.

Ni pa priporočljivo takih problemov reševati z zmanjševanjem ocenjenih časov (a, m, b), če ni taka sprememba res opravičena, ker bi s tem dosegli le skrajšanje na papirju, računali pa bi z nerealnimi časi, prekoračevali termine ter rušili celoten plan.

2.3 — »Job-lista«

Terminski plan, kakršen je prikazan na sliki 10, je zelo primeren za vodenje in kontrolo poteka naloge, planirane po PERT metodi. Tak grafičen prikaz je zelo priporočljiv in se uporablja posebno pri planih z manjšim številom dejavnosti, ko celotno analizo izvajamo grafično in računsko brez posebnih pripomočkov.

Včasih, posebno pa pri obdelavi PERT programa z računalnikom, se izdela tako imenovana »job-lista« ali preglednica dejavnosti s termini, kakršno za mrežni plan na sliki 6 z 20 dogodki prikazuje tabela 3.

Tabela 3: »Job-lista« dejavnosti za mrežni plan na sliki 6

Dejavnost	Trajanje tednov	Najhitrejši možni		Najkasnejši dopustni		Zračnost	
		začetek	konec	začetek	konec	celotna	prosta
0— 1	4	0	4	0	4	0	0
1— 2	3	4	7	7	10	3	0
1—11	6	4	10	4	10	0	0
1—15	4	4	8	6	10	2	0
2— 3	8	7	15	13	21	6	0
3— 4	1	15	16	21	22	6	0
9—10	4	10	14	10	14	0	0
11—12	3	10	13	18	21	8	0
11—13	10	10	20	13	23	3	0
12—13	2	13	15	21	23	8	5
15—16	3	8	11	15	18	7	0
16—17	4	11	15	18	22	7	0
15—19	8	8	17	17	21	9	0
19—17	1	12	13	21	22	9	2
17—18	2	15	17	22	24	7	0
18— 6	2	17	19	24	26	7	7
13—14	1	20	21	23	24	3	0
14— 6	2	21	23	24	26	3	3
10— 4	8	14	22	14	22	0	0
4— 5	2	22	24	22	24	0	0
5— 6	2	24	26	24	26	0	0
6— 7	2	26	28	26	28	0	0
7— 8	3	28	31	28	31	0	0

Seveda lahko tudi tako »job-listo« iz protokola računalnika prikažemo grafično v obliki terminskega plana na enak način, kakor na sliki 10, ker imamo v tabeli 3 vse potrebne podatke.

Vse dejavnosti, ki imajo v tabeli 3 zračnost 0, ležijo na kritični poti, kar vidimo tudi na sliki 6.

Pri zračnosti v tabeli 3 ločimo celotno in prosto zračnost.

Celotna zračnost predstavlja prosti čas v primeru, da se vse predhodne dejavnosti začnejo z najkrajšim možnim terminom, vse sledeče dejavnosti pa z najkasnejšim dopustnim terminom.

Prosta zračnost predstavlja prosti čas v primeru, da se vse predhodne in vse sledeče dejavnosti začnejo z najkrajšim možnim terminom.

2.4 Variance dejavnosti in verjetnost posameznih dogodkov

Pri določevanju pričakovanih časov v PERT mreži smo se poslužili poleg najverjetnejšega časa še optimistične in pesimistične ocene časov.

Čimvečja je razlika med optimistično in pesimistično oceno, tem večja je negotovost pričakovanega časa. To negotovost karakterizira varianca, poznan pojem iz metod matematične statistike. Če je varianca velika, je pričakovani čas za izvršitev dejavnosti vezan na veliko negotovost, če pa je varianca majhna, je ocena časa za izvršitev dejavnosti precej natančna — pesimistična in optimistična ocena se malo razlikujeta. Za dejavnosti v PERT mreži izračunamo varianco

$$\sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6} \right)^2$$

S pomočjo varianc za dejavnosti na kritični poti lahko v slučaju posebej zahtevanih terminov (T_s) za izvršitev celotnega projekta izračunamo verjetnostni faktor (Z) in s pomočjo tabele 4 določimo verjetnost (P_R) realiziranja zahtevanega roka.

2.5 — Pregled glavnih pojmov in standardnih oznak, uporabljenih pri PERT metodi in njihov pomen

Dogodek — predstavlja začetek ali konec neke dejavnosti in zanj ni potreben niti čas niti poraba sredstev.

Dejavnost — pomeni vse, kar zahteva določen čas in sredstva za izvršitev. Dejavnost je omejena z začetnim in končnim dogodkom.

Navidezna dejavnost — v mreži povezuje dva dogodka, a za njeno izvršitev dejansko ni potreben čas.

a — optimistična ocena časa ali najkrajše trajanje dejavnosti.

m — najverjetnejša ocena časa ali najverjetnejše trajanje dejavnosti.

b — pesimistična ocena časa ali najdaljše trajanje dejavnosti.

t_e — pričakovani čas dejavnosti, ki ga izračunamo iz ocenjenih časov a, m in b.

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

σ^2 — varianca ali mera negotovosti posamezne dejavnosti.

$$\sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6} \right)^2$$

T_E — najkrajši možni termin za neki dogodek ali kumulativni pričakovani čas, ki ga dobimo kot vsoto pričakovanih časov t_e za najdaljšo pot od začetnega dogodka mreže do tega dogodka.

T_L — najkasnejši dopustni termin ali skrajna časovna meja nekega dogodka z ozirom na končni dogodek mreže. Dobimo ga z odštevanjem pričakovanih časov t_e od termina končnega dogodka v celotni mreži. Če po več poteh izračunamo več vrednosti T_L za neki dogodek, potem upoštevamo samo najmanjšo vrednost.

T_s — predpisan, želen ali kakorkoli posebej zahtevan termin končnega dogodka celotne mreže ali nekega vmesnega kontrolnega dogodka v mreži.

Zračnost ali časovna rezerva je razlika med najkasnejšim dopustnim in najkrajšim možnim terminom nekega dogodka ($T_L - T_E$). Za dogodke na kritični poti je zračnost najmanjša, večinoma enaka nič, lahko je pa tudi negativna v primeru predpisanega končnega termina. Kritična pot povezuje dogodke z najmanjšo ali najbolj negativno zračnostjo.

Z — faktor verjetnosti.

$$Z = \frac{T_s - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{TE}^2}}$$

V imenovalcu je kvadratni koren vsote varianc vseh tistih dejavnosti, ki smo jih uporabili za izračun termina T_E obravnavanega dogodka.

P_R — verjetnost, ki jo določimo s pomočjo izračunanega faktorja Z iz tabele 4.

Tabela 4: za določanje verjetnosti

Z	P _z	Z	P _z
0,0	0,5000	— 3	0,0013
0,1	0,5398	— 2,9	0,0019
0,2	0,5793	— 2,8	0,0026
0,3	0,6179	— 2,7	0,0035
0,4	0,6554	— 2,6	0,0047
0,5	0,6915	— 2,5	0,0062
0,6	0,7257	— 2,4	0,0082
0,7	0,7580	— 2,3	0,0107
0,8	0,7881	— 2,2	0,0139
0,9	0,8159	— 2,1	0,0179
1,0	0,8413	— 2,0	0,0228
1,1	0,8643	— 1,9	0,0287
1,2	0,8849	— 1,8	0,0359
1,3	0,9032	— 1,7	0,0446
1,4	0,9192	— 1,6	0,0548
1,5	0,9332	— 1,5	0,0668
1,6	0,9452	— 1,4	0,0808
1,7	0,9554	— 1,3	0,0968
1,8	0,9641	— 1,2	0,1151
1,9	0,9713	— 1,1	0,1357
2,0	0,9772	— 1,0	0,1587
2,1	0,9821	— 0,9	0,1841
2,2	0,9861	— 0,8	0,2119
2,3	0,9893	— 0,7	0,2420
2,4	0,9918	— 0,6	0,2743
2,5	0,9938	— 0,5	0,3085
2,6	0,9953	— 0,4	0,3446
2,7	0,9965	— 0,3	0,3821
2,8	0,9974	— 0,2	0,4207
2,9	0,9981	— 0,1	0,4602
3,0	0,9987	— 0,0	0,5000

3. METODI PERT IN CPM, NJUN RAZVOJ IN PRIMERJAVA

Med metodama PERT in CPM ni bistvenih razlik. Tudi namen obeh je praktično isti. PERT metodo so razvili v ZDA v glavnem za potrebe vojne industrije in za vodenje projektov, potem pa se je njena uporaba razširila ob malenkostnih modifikacijah še na področje civilne državne in privatne industrije.

Skoraj istočasno in popolnoma neodvisno sta firmi Remington Rand in Du Pont de Nemours Co. razvili CPM metodo.

Kljub tej popolni neodvisnosti v razvoju je zasnova obeh metod enaka, ker je bila osnovna ideja ista.

Obe metodi naj bi

- omogočili pregled nad časovnim potekom in medsebojno usklajenostjo posameznih dejav-
sti v okviru nekega projekta,

- odkrivali kritična mesta, od katerih je odvisno doseganje končnega cilja,

- dajali možnost izdelave alternativnih planov in objektivno osnovo za odločanje o njihovi upo-
ravnosti,

- odkrivali negotovosti pri posameznih fazah dela in jakost teh vplivov na zanesljivost iz-
vedbe celotnega projekta v določenem času.

Kasneje se je uporabnost obeh metod razširila na področje problematike stroškov in zasedanja kapacitet.

Ena od prednosti, ki jih imata metodi PERT in CPM v primerjavi s klasičnimi metodami plani-
ranja, je v tem, da je mogoče analizo strukture projekta obravnavati ločeno od analize časov, končno pa oboje, obenem s stroški in zasedanjem kapacitet kompleksno prikazati.

Analizo strukture projekta dobimo pri PERT in pri CPM metodi v obliki mrežnega plana, ki se le v načinu prikazovanja nekoliko razlikuje.

Obe metodi se razlikujeta v analizi časov, v postopku in nekoliko tudi v terminologiji.

CPM metoda je v bistvu bolj orientirana na dejavnosti, PERT metoda pa bolj na dogodke. Bistvenih razlik med obema metodama ni. V glavnem gre le za dve varianti istega postopka, zato se razlika med njima vse bolj izgublja in tudi podrobnejše obravnavanje razlik med tema metodama nima praktičnega pomena.

Prvotna koncepcija PERT in CPM metode je bila usmerjena predvsem na planiranje logičnega zaporedja dejavnosti in na izračunavanje časovnih terminov. V zadnjem času dobivajo v tehniki mrežnega planiranja vedno večji pomen še drugi faktorji planiranja — predvsem stroški, kapacitete, delovna sila. Obravnavanje odnosov med stroški in časom ter obravnavanje direktnih stroškov dejavnosti predstavlja pri mrežnem planiranju zelo velik in pomemben napredek.

Ugotavljanje kritične poti in izračunane zračnosti predstavljajo solidno osnovo za optimalno razporejanje stroškov, angažiranosti kapacitet in delovne sile, tako da so obremenitve čimbolj enakomerne in s tem posredno stroški najmanjši.

Take metode planiranja so pridobile izredno pomembnost v sistemu najrazličnejših kooperacijskih dejavnosti v proizvodnji, pri investiranju in pri raziskovalno razvojnih projektih. V zadnjem času so se močno uveljavile tudi v šolstvu pri programiranju študija in v industriji pri planiranju kadrov.

Literatura

1. Lockyer K. G.: Introduction to Critical Path Analysis, Pitman — London 1967.
2. Programmierte Einführung in PERT — R. Oldenbourg Verlag München — Wien 1969.
3. Lockyer K. G.: Critical Path Analysis — Seminar, practical exercises, British Productivity Council, London.
4. Critical Path Analysis, 18 Case histories, British Productivity Council, London.
5. Egert H.: Netzplantechnik — eine neue Planungsmethode, Maschinenmarkt 1968, 74, št. 16, str. 1—4 Vogel-Verlag Würzburg.
6. Jože Segel — Diplomsko delo — Železarna Ravne.
7. Jože Koželjnik — Diplomsko delo — Železarna Ravne.
8. Ciril Zevnik — Diplomsko delo — Železarna Ravne.
9. Jože Pšeničnik — Osvajanje orodij za valjanje vijakov — Interni elaborat raziskovalne naloge P-6703 c — Železarna Ravne.
10. Orožen P.: Industrijsko podjetje z industrijsko miselnostjo, Koroški fužinar 17 (1967) 1, str. 22—27.
11. Vili A., Skripta Zavoda za unapredjivanje produktivnosti rada, Zagreb.
12. Teodorović A.: PERT i CPM — novi instrumenti za uskladjivanje složenih radnih tokova i operacija, Automatizacija poslovanja, Beograd 1963, 1/12, str. 1—15.
13. Battersby A.: Network Analysis for Planning and Scheduling, Macmillan & Co. Ltd., London.
14. Miller R. W.: Schedule, Cost and Profit Control with PERT McGraw Hill Book Co. Inc. New York, London etc.
15. Schmitt H. L.: Netzwerkplanung als umfassende Planungs- und Kontrollmethode in der Eisen und Metall schaffenden und verarbeitenden Industrie, Bänder Bleche Röhre, Düsseldorf, 9 (1968) št. 2.
16. Schmidt J.: Methodik der Praktischen Verfahrenstechnik, Krausskops-Verlag.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel wird die Bedeutung der Methoden der Netzplantechnik beim Programmieren, Führen und der Kontrolle verschiedener Aufgaben beschrieben.

Einzeln werden die Grundlagen der PERT Methode mit der Beschreibung der angewendeten Begriffe, die Berechnung der Zeiten, die Bestimmung der kritischen Wege,

die Ausarbeitung des Terminplans u. s. w. behandelt.

Dieser Artikel stellt mit der Beschreibung der Methode die Grundlage für eine weitere Folge ähnlicher Aufsätze dar, in denen die Anwendung der PERT Methode bei der Führung der Laborarbeiten und der Forschungsaufgaben im Hüttenwerk Ravne beschrieben wird.

SUMMARY

Author describes in the paper the significance of the network analysis for planing in designing, and controlling various processes.

The fundamentals of the PERT method together with description of the used terms, time evaluation, determi-

nation of the critical path, and composing of the time plan are especially treated.

The paper presents by its description of the method the basis for a series of further papers which will describe the use of the PERT method in controlling the lab work and investigations in Ravne Steelworks.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье автор описывает значение сеткового планирования при программировании, руководстве и при контроле различных задач.

Отдельно рассмотрена основа метода PERT с описанием употребляемых понятий, вычисления времени, определения крити-

ческого направления, выработки срочного плана и пр. Статья представляет основание для целой серии новых работ в которых будет описано применение метода PERT при исполнении лабораторных работ и задач в поле исследования металлургического завода Равне.