NETWERKPLANNINGTECHNIEKEN III
Netwerkplanning en de controle op de uitvoering

door Drs. A. Bosman en Drs. K. Wezeman

7 Inleiding

In het voorgaande artikel werd de tijdbepaling bij CPS behandeld. Tevens werden een tweetal methoden, waarop de noodzakelijke berekeningen konden worden uitgevoerd, besproken. In het derde artikel zal aandacht worden besteed aan de vraag in hoeverre de voortgangscontrole en de voor- en nacalculatie aan een netwerk kunnen worden gekoppeld. Verder zal in dit artikel een begin worden gemaakt met de bespreking van een andere variant van de netwerkplanningtechnieken, nl. PERT.

8 De voortgangscontrole; voor- en nacalculatie

Een van de punten die tot nu toe bij behandeling van de netwerkplanningtechnieken buiten beschouwing is gelaten, is de toepassing van deze technieken bij de besturing van de uit te voeren activiteiten[1]). Meer in het bijzonder gaat het hier om de vraag of bij de voortgangscontrole en de voor- en nacalculatie van de hiervoor beschreven netwerktechniek kan worden gebruik gemaakt. In het algemeen kan worden gesteld dat dit zeer goed mogelijk is, hetgeen naar onze mening voor een belangrijk deel de grote vlucht, die deze technieken de laatste jaren hebben genomen, verklaart.

Voor een zinvolle voortgangscontrole is het noodzakelijk dat aan een aantal voorwaarden wordt voldaan, zoals bijv. een duidelijke omschrijving der uit te voeren werkzaamheden, alsmede een duidelijke aanduiding van het moment waarop, waar en door wie de desbetreffende werkzaamheden moeten worden uitgevoerd. Aan deze voorwaarden wordt door de technieken van de netwerkplanning goed voldaan. Immers de activiteiten in het netwerk zijn de scherp omschreven deelwerkzaamheden die ter bereiking van een bepaald doel, in het algemeen de voltooiing van een zeker project, moeten worden verricht. Zoals bij de bespreking van de grondslagen van deze technieken reeds werd gesteld, vindt de onderscheiding der activiteiten geheel naar technische maatstaven plaats, zoals ook de opeenvolgingsrelatie der activiteiten technisch is bepaald. Dit betekent dat voor de uitvoering van een activiteit of groep van activiteiten een bepaalde persoon verantwoordelijk kan worden gesteld. Ook aan de overige genoemde voorwaarden wordt voldaan. Zo resulteren uit de tijdbepaling de tijdstippen, waarop de verschillende activiteiten moeten zijn voltooid, terwijl voor andere activiteiten, met name de kritische, tevens de startmomenten eenduidig zijn bepaald. Gezien deze werkwijze van de netwerkplanning mag worden verwacht dat de leiding de voor de voortgangscontrole benodigde informatie zal kunnen verkrijgen van de personen, die voor de uitvoering verantwoordelijk zijn. Deze

[1]) Onder besturing wordt hier verstaan, het geven van aanwijzingen welke maatregelen moeten worden genomen indien de uitvoering gaat afwijken van die, welke in het plan is vastgelegd. Het verschaffen van deze aanwijzingen kan automatisch geschieden, waarmee het begrip besturen eenzelfde betekenis krijgt als sturen in bijv. de cybernetica. Ontbreekt dit automatisme, zoals in de bedrijfseconomie veelal het geval is, dan moet worden aangegeven hoe het stuurmechanisme werkt en welke functie het vervult.

periodieke informatie zal een opgave omvatten van de reeds voltooide activiteiten met het tijdstip van voltooiing en een opgave van de in uitvoering zijnde activiteiten met de daarbijbehorende tijdschattingen. De leiding van het project zal hieruit kunnen opmaken of de stand van de uitvoering aan de gestelde eisen voldoet. Het is voorts mogelijk deze informatie zodanig te verwerken dat zij kan worden aangepast aan de behoeften van de verschillende niveau's in de organisatie. Daartoe is het slechts noodzakelijk tot een integratie van verschillende activiteiten, uitgaande van het meest gedetailleerde netwerk, over te gaan. Gezien de structuur van het netwerk is een dergelijke integratie, van een uitvoeringsstandpunt gezien, geen probleem.

De taak waarvoor de leiding staat is er voor zorg te dragen dat het project op een bepaald moment is voltooid. Voortdurend moet worden nagegaan of deze norm in gevaar wordt gebracht of niet. Dit laatste zal zeker het geval zijn wanneer de kritieke activiteiten vertraging ondervinden, terwijl tevens moet worden gesignaleerd of de speelruimten der niet-kritieke activiteiten kleiner of gelijk nul worden. In dat geval zal door de leiding moeten worden aangegeven welke wijzigingen in het netwerk moeten worden aangebracht teneinde de gestelde norm, of eventueel de aangepaste norm, alsnog veilig te stellen. Juits hier ligt naar onze mening de grote betekenis van de voortgangscontrole bij CPS. Immers de mogelijkheid ontstaat nu met behulp van de bij de voortgangscontrole verkregen informatie in de uitvoering van het project in te grijpen teneinde het project bij te sturen. Bij dit bijsturen is het van veel belang, aangezien een automatisme ontbreekt, dat gebruik kan worden gemaakt van een selectieprocedure bij de informatieverwerking, anders gesteld dat het principe van management by exception kan worden toegepast. Juist bij planningproblemen, waarbij gebruik wordt gemaakt van een netwerk komt dit principe goed tot zijn recht. De maatregelen die door de leiding moeten worden getroffen, en die in het algemeen neerkomen op aanpassing van het netwerk of op een nieuwe allocatie der produktiefactoren, kunnen immers op hun effectiviteit worden getoetst door het netwerk opnieuw door te rekenen. Door zich bovendien te beperken tot de nadere analyse van de kritieke activiteiten en van de activiteiten met een kleine speelruimte wordt reeds een selectie in het totaal van de activiteiten aangebracht. Het grote voordeel hierbij is dat volledig rekening wordt gehouden met de samenhang der in het netwerk voorkomende activiteiten, hetgeen bijv. bij de toepassing van een Ganntchart in veel mindere mate het geval is. De hier beschreven procedure verschaft de leiding de mogelijkheid zeer snel nieuwe directieven voor de uitvoering van het onderhanden zijnde project te geven. Op deze wijze ontstaat een nauwe relatie tussen mens en model, hetgeen naar onze mening van essentieel belang is voor de toepassing van het besturingsprincipe[2]).

Het is, behalve voor de voortgangscontrole, mogelijk van het netwerk gebruik

---

[2]) De hier bedoelde beslissingen zullen meestal niet worden genomen op het laagste niveau in de organisatie. Dit zal in het algemeen de taak zijn van degene die met de supervisie van het project is belast. Hierarchisch zal deze persoon veelal gesteld zijn boven de verschillende afdelingen, die aan de uitvoering van het project deelnemen. Hiervoor zijn twee redenen. In de eerste plaats zal het inzicht in de samenhang van het gehele netwerk op dit niveau volledíger zijn dan op het laagste niveau, waar men in het algemeen met deeltaken is belast. De tweede reden is dat de uitvoerder meestal niet over de middelen beschikt ter beïnvloeding van de activiteitsduren. Bovendien kan men op dat niveau niet beslissen waar een eventueel surplus van deze middelen het beste kan worden ingezet.

te maken ten behoeve van de voorcalculatie. Dit zal een voorcalculatie per activiteit of groep van activiteiten kunnen zijn. Het inrichten van een dergelijke voorcalculatie zal niet op grote moeilijkheden behoeven te stuiten. Voor elke uit te voeren activiteit wordt immers een tijdsduur voor de uitvoering vastgesteld. Dit impliceert per activiteit een bepaald beslag op de beschikbare produktiefactoren. Is dit beslag op de produktiefactoren bekend dan is daarmee het probleem van de voorcalculatie opgelost. Ook het verkrijgen van informatie ten behoeve van de nacalculatie zal niet moeilijk zijn. In het algemeen kan men stellen dat indien een voorcalculatie per activiteit mogelijk is een nacalculatie per activiteit eveneens kan worden uitgevoerd. Hiervoor zal men moeten weten welke produktiefactoren, voor welke activiteit en welke hoeveelheden, werden aangewend. Bij een juist opgezette administratie zal deze informatie kunnen worden verkregen.

Het doel van de vergelijking van voor- en nacalculatie in het kader van CPS is een controle op de uitvoering. Een dergelijke controle is pas zinvol, indien er lering uit kan worden getrokken voor de toekomst. Dit zal bij de toepassingen waarvoor CPS wordt gebruikt in het algemeen niet het geval zijn, en wel om twee redenen.

1. Indien men wil leren moet er iets zijn aan de hand waarvan dit kan plaats vinden. In het onderhavige geval zou dit moeten gebeuren m.b.v. de afwijkingen tussen voor- en nacalculatie. Wil men hieruit iets afleiden dan zullen de voor- en nacalculatie tot respectievelijk hoeveelheidstandaards en verbruikte hoeveelheden moeten kunnen worden herleid. Dit is bij de gebruikelijke opzet van CPS niet mogelijk.

2. Bij een leerprocedure is het bovendien vereist dat er een herhaling plaats heeft van de objecten waarvan men iets wenst te leren. Het is zeer de vraag of bij de huidige toepassingen kan worden gesproken van een herhaling in de uitvoering van overeenkomstige activiteiten. Dit is bij de zgn. projecten veelal niet het geval. Wat wel wordt herhaald zijn de verschillende taken waaruit de activiteiten zijn opgebouwd. Zou men dus leren willen gebruiken, dan zullen de activiteiten in een netwerk verder moeten worden onderverdeeld naar de taken waaruit ze bestaan. Gegeven het feit dat dit leidt tot een enorme groei in de omvang van het netwerk, waardoor de planning- en tijdbepalingfunctie ervan aanzienlijk in waarde zullen afnemen mag worden aangenomen dat de nadruk bij de toepassing zal blijven liggen op de beide laatstgenoemde functies. Om die redenen heeft, naar onze mening, de uitvoering van een voor- en nacalculatie in het raam van de klassieke netwerkplanningtechnieken weinig zin.

9 PERT

De tweede variant der netwerkplanningtechnieken, die wij in deze artikelen-serie zouden behandelen, staat bekend onder de naam PERT. Deze variant heeft zo mogelijk nog meer aandacht gekregen dan CPS. Dit vindt waarschijnlijk zijn oorzaak in het feit dat bij PERT tegemoet wordt gekomen aan één van de zwakke punten van CPS. Het typerend verschil tussen CPS en PERT is nl. dat men bij de laatste variant geen gebruik maakt van gedetermineerde maar van stochastische tijdsduren - hetgeen wil zeggen dat de tijdsduur van een activiteit geen vaststaand

aantal tijdsperioden is, maar een variabel aantal dat wordt bepaald door een kansverdeling. De tijdsduren zijn bij PERT derhalve aan een bepaalde verdelingsfunctie onderworpen. De ratio van het werken met stochastische tijdsduren is gelegen in de overweging dat het in de praktijk, vooral bij eenmalige projecten, zeer moeilijk zal zijn de voor de uitvoering nodige perioden vooraf exact te bepalen. Het is wel mogelijk de voor de uitvoering verantwoordelijke functionarissen schattingen te laten maken van mogelijke tijdsduren voor elke activiteit. Voor het overige maakt men bij PERT gebruik van dezelfde instrumenten als bij CPS. Dit betekent o.a. dat men voor de bepaling van het kritieke pad de tijdsduren der activiteiten zal moeten sommeren. Daartoe berekent men bij PERT de zgn. verwachtingswaarde, $E(t_{ij})$, van de tijdsduren van een activiteit. Deze verwachtingswaarde is een gemiddelde van de geschatte tijdsduren van elke activiteit. Naast de verwachtingswaarde zal men echter ook rekening moeten houden met de spreiding, omdat de schattingen een verschillende nauwkeurigheid zullen hebben afhankelijk van deze spreiding. Het moet echter als een onuitvoerbare opgave worden beschouwd een functionaris naast de geschatte tijdsduren van een activiteit ook de spreiding ervan te laten aangeven. Voor deze moeilijkheid wordt bij PERT de volgende oplossing toegepast.

Ten behoeve van de tijdbepaling worden door de verantwoordelijke functionarissen een drietal geschatte tijdsduren opgegeven, nl.

a) de meest waarschijnlijke tijdsduur - m_{ij} -
b) de optimistisch geschatte tijdsduur - a_{ij} -
c) de pessimistisch geschatte tijdsduur - b_{ij} -

Men veronderstelt in de meest eenvoudige variant van PERT dat de beide laatstgenoemde tijdsduren in werkelijkheid slechts in één op de honderd gevallen zullen voorkomen. Om de verwachtingswaarde, $E(t_{ij})$, en de spreiding van de tijdsduren te kunen berekenen, baseert men zich bij PERT op een bêta-verdeling van deze duren over het eindige interval (a_{ij} — b_{ij}). Hierbij neemt men aan dat de meestwaarschijnlijke tijdsduur, m_{ij}, de modus van deze verdeling weergeeft. Bovendien veronderstelt men dat de standaarddeviatie kan worden gelijkgesteld aan 1/6 van de variatiebreedte. Uitgaande van deze benaderingen, kan men de verwachtingswaarde en de spreiding van elke activiteit en van de knooppuntmomenten bepalen. Voor de bepaling van de verwachtingswaarde en de spreiding per activiteit gelden de volgende formules.

$$E(t_{ij}) = 1/6\,(a_{ij} + 4.m_{ij} + b_{ij}) \qquad (1)$$
$$\sigma(t_{ij}) = 1/6\,(b_{ij} - a_{ij}) \qquad (2)$$

Nadat men voor elke activiteit $E(t_{ij})$, $\sigma(t_{ij})$ en $\sigma^2(t_{ij})$ heeft vastgesteld, kan worden overgegaan tot de berekening van het *vroegst* mogelijke en het *laatst toelaatbare knooppuntmoment*. Hierbij kan men tevens de variantie van deze knooppuntmomenten als volgt berekenen. Men sommeert de varianties van de activiteiten en wel de varianties van die activiteiten, die de waarden van t^l en t^e bepalen. Voor het hiervoor bij CPS reeds behandelde voorbeeld zullen de nodige berekeningen worden uitgevoerd. In tabel V zijn de tijdschattingen en de daaruit direct te berekenen grootheden opgenomen. De berekening van het *vroegst mogelijke* en het *laatst toelaatbare knooppuntmoment* vindt op dezelfde wijze plaats als reeds werd beschreven bij CPS. Men zie hiervoor tabel VI.

Tabel V

Activiteit	a_{ij}	m_{ij}	b_{ij}	$E(t_{ij})$	$\sigma(t_{ij})$	$\sigma^2(t_{ij})$	Activiteit	a_{ij}	m_{ij}	b_{ij}	$E(t_{ij})$	$\sigma(t_{ij})$	$\sigma^2(t_{ij})$
0,1	1	4	7	4,0	1,00	1,00	8,10	1	2	4	2,50	0,83	0,69
0,2	1	4	10	4,5	1,50	2,25	9,11	1	2	5	2,33	0,66	0,44
1,2	1	2	3	2,0	0,33	0,11	10,12	0,1	0,5	2	0,68	0,31	0,10
2,3	2	5	8	5,0	1,00	1,00	11,13	0,5	1	2	1,08	0,25	0,06
2,4	1	5	12	5,5	1,83	3,36	12,14	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2,5	1	5	10	5,16	1,50	2,25	13,14	0,3	0,5	0,8	0,51	0,08	0,00
3,4	1	1	2	1,16	0,16	0,02	14,15	2	5	8	5,0	1,00	1,00
3,5	0	0	0	0,0	0,00	0,00	14,16	1	3	0	3,83	1,50	2,25
4,6	1	3	5	3,0	0,66	0,44	15,18	1	2	4	2,16	0,50	0,25
5,7	1	3	7	3,33	1,00	1,00	16,17	1	2	6	2,5	0,83	0,69
6,7	0	0	0	0,0	0,00	0,00	17,19	1,5	1	7	2,08	0,91	0,84
6,8	1	2	7	2,66	1,00	1,00	18,19	0	0	0	0,0	0,00	0,00
7,9	1	4	7	4,0	1,00	1,00	19,20	1	2,5	4	2,5	0,50	0,25

Uit tabel VI blijkt dat het kritieke pad bestaat uit de activiteiten (0,1), (1,2), (2,3), (3,4), (4,6), (6,7), (7,9), (9,11), (11,13), (13,14), (14,16), (16,17), (17,19) en (19,20). Ook de berekening van de verschillende speelruimten vindt bij PERT op dezelfde wijze plaats als bij CPS.

Hoewel PERT en CPS voor wat de berekeningstechniek betreft veel overeenkomsten vertonen, moet toch op een principieel verschil worden gewezen, dat voor de toepassing van deze techniek van groot belang is. Dit punt van verschil, dat in het voorgaande reeds globaal ter sprake kwam, is dat de bij PERT berekende verwachtingswaarden der activiteiten stochastische grootheden zijn. Voor elke activiteit worden de gemiddelde tijdsduur en de variantie berekend. Dit impliceert tevens dat de verwachtingswaarde nimmer als standaardtijd mag worden beschouwd. Hieruit vloeien andere verschillen voort, nl. dat de bij PERT berekende knooppuntmomenten geen absolute grootheden zijn, in die zin dat men kan aangeven op welk tijdstip een bepaald knooppunt moet worden bereikt. Bij PERT wordt de grootte van de kans berekend dat een zeker knooppunt op een bepaald tijdstip zal worden bereikt. Voor de berekening van deze kans gaat men ervan uit dat de afwijking van de knooppuntmomenten - die bestaan uit sommaties van verwachtingswaarden der activiteitsduren - normaal zullen zijn verdeeld. Dit is mogelijk indien men veronderstelt dat de tijdsduren der activiteiten onafhankelijk van elkaar zijn, terwijl daarnaast het aantal activiteiten vrij groot moet zijn.

$\sigma^{2,e}_{(t_i)}$	t^e_i	i \ j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	0	0	0																				
1,0	4,0	1		(1,0) 4,0	(2,25) 4,5 (0,11) 2,0	(1,0) 5,0	(3,36) 5,5 (0,02) 1,16	(2,25) 5,16 (0,0) 0,0	(0,44) 3,0														
1,11	6,0	2								(1,0) 3,33 (0,0) 0,0	(1,0) 2,66											
2,11	11,0	3										(1,0) 4,0											
2,13	12,1	4											(0,69) 2,5										
3,36	11,1	5												(0,44) 2,33									
2,57	15,1	6													(0,10) 0,68								
2,57	15,1	7														(0,06) 1,08							
3,57	17,7	8															(0,0) 0,0						
3,57	19,1	9															(0,0) 0,51						
4,26	20,3	10																(1,0) 5,0	(2,25) 3,83				
4,02	21,5	11																		(0,69) 2,5			
4,37	21,0	12																			(0,25) 2,16		
4,09	22,5	13																				(0,84) 2,08 (0,0) 0,0	
4,09	23,1	14																					(0,25) 2,5
5,09	28,1	15																					
6,34	26,9	16																					
7,04	29,4	17																					
5,34	30,2	18																					
7,88	31,5	19																					
	t^1_i		0	4,0	6,0	11,0	12,1	12,1	15,1	15,1	19,9	19,1	22,4	21,5	23,1	22,5	23,1	29,3	26,9	29,4	31,5	31,5	34,0
	$\sigma^2(t^1_i)$		8,13	7,13	7,02	6,02	5,99	6,54	5,54	5,54	4,82	4,53	4,13	4,09	4,03	4,03	4,03	0,50	1,78	1,09	0,25	0,25	0
	$t^1_i - t^e_i$		0	0	0	0	0	1	0	0	2,2	0	2,1	0	2,1	0	0	1,2	0	0	1,3	0	

[3]) Mogelijke verschillen in de berekening van t^e en t^1_j worden veroorzaakt door afrondingen.

[4]) De tussen haakjes opgenomen getallen geven de variantie weer van de betreffende verwachtingswaarden der activiteiten.

In het algemeen zijn bij de planning en tijdbepaling bij PERT twee uitgangspunten mogelijk. In het eerste geval kan de leiding de projectduur, λ, gelijkstellen aan de lengte van het kritieke pad. Uitgaande hiervan kan men vervolgens voor alle in het netwerk voorkomende knooppunten streefdata vaststellen. Vervolgens berekent men de kans dat een bepaalde streefdatum wordt gehaald. Hiervoor berekent men eerst een gestandaardiseerde waarde x volgens de formule

$$x = \frac{t_i^p - t_i^e}{\sigma(t_i^e)} \qquad (3)$$

Hierin is t_i^p de streefdatum van het knooppunt. Zou de leiding voor bijv. knooppunt 6 een streefdatum van 16 dagen vaststellen, dan resulteert hieruit $x = \frac{16 - 15{,}1}{\sqrt{2{,}57}} = 0{,}56$.

Hierbij behoort een kans van $\pm$ 70%, dat knooppunt 6 in 16 dagen zal worden gehaald[5]).

In de tweede plaats kan de leiding het probleem ook op de omgekeerde wijze benaderen. In dat geval wordt voor het bereiken van een knooppunt op een zeker tijdstip een kans vastgesteld die men acceptabel acht. Hierbij moet dan λ worden berekend. Op deze wijze kan de projectduur worden bepaald waarbij de leiding een bepaalde mate van zekerheid heeft dat het project binnen de tijdsduur zal worden voltooid. Men neemt wel aan dat een kans tussen 0,4 en 0,65 acceptabel is[6]). Bij een $P < 0{,}4$ acht men het gevaar dat niet aan de tijdbepaling wordt voldaan te groot, zodat dan tot herplanning wordt overgegaan. Een $P > 0{,}65$ vindt men niet acceptabel, omdat in dat geval het gevaar te groot is dat de planning te ruim is opgezet.

Uit het voorgaande volgt tevens dat, indien de berekende knooppuntmomenten geen exacte grootheden zijn, ook de speelruimten bij PERT een stochastisch karakter hebben. Dit betekent dat de speelruimte bij PERT negatief kan worden. Het is voor de interpretatie van de uitkomsten van de tijdbepaling van groot belang de kans dat de speelruimte negatief wordt te kennen.

Deze wordt berekend met behulp van de gestandaardiseerde x, die als volgt wordt vastgesteld:

$$x = \frac{t_i^l - t_i^e}{\sqrt{\sigma^2(t_i^e) + \sigma^2(t_i^l)}} \qquad (4)$$

Deze x geeft weer het aantal malen dat de speelruimte op het knooppunt i groter is dan de totale spreiding op dat knooppunt. Met behulp van de normale verdeling kan nu de kans P worden bepaald horende bij de berekende x. De kans behorende bij formule (4) noemen wij P_y. De grootte van deze kans zal voor de knooppunten in ons voorbeeld in het volgende artikel worden gegeven.

---

[5]) In dit geval, evenals bij de bepaling van de grootte van de kans dat de speelruimte negatief wordt, betekent een $x = 0$ een kans $P = 50\%$ dat de streefdatum niet zal worden gehaald, en tevens een $P = 50\%$ dat deze wel zal worden gehaald. De kans dat het precies het aantal perioden zal zijn dat de streefdatum weergeeft is dan 0%. Dit laatste is uiteraard niet geheel juist, omdat de streefdatum niet een moment maar ook een periode vaststelt. Om de kans te vinden dat een knooppunt op de aangegeven datum zal worden bereikt, moet men in dit geval de x berekenen voor $t_i^p = 15$ en 17 dagen en het verschil tussen beide in een kans omzetten.

[6]) *PERT ... dynamic project planning and central method*, I.B.M. General Information Manual, zonder jaartal.

Door de nadruk, die er bij de PERT berekening wordt gelegd op de knooppuntmomenten, neemt in dit geval de afhankelijke speelruimte de rol van de totale speelruimte bij CPS over. Dit laatste bovendien omdat, zoals reeds eerder werd opgemerkt, de totale speelruimte niet direct aan een activiteit, en in het geheel niet aan een knooppunt, kan worden toegerekend. Veronderstelt men echter dat de activiteitsduren onafhankelijk zijn, zoals in de netwerkplanningtechnieken gebruikelijk is, dan kan men de kans van het al of niet voorkomen van totale speelruimte per activiteit wel berekenen[7]). De gestandaardiseerde x voor het bepalen van deze kans wordt dan als volgt vastgesteld:

$$x = \frac{t_j^l - (t_i^e + t_{ij})}{\sqrt{\sigma^2(t_j^l) + \sigma^2(t_i^e) + \sigma^2(t_{ij})}}$$

Bij de toepassing van PERT is het van essentieel belang dat men zich goed rekenschap geeft van de geheel andere interpretatie der instrumenten dan bij CPS het geval is. Vooral met betrekking tot dit punt is een aantal aanvullingen op de conventionele PERT-techniek noodzakelijk. Hierop zal in het laatste artikel worden teruggekomen.

Het zal duidelijk zijn dat het stochastische karakter van de berekende grootheden ook gevolgen heeft voor de vraag of het mogelijk is de voortgangsontrole en de voor- en nacalculatie aan deze variant van de netwerkplanningtechnieken te verbinden. Het stochastische karakter van de tijdsduren heeft tot gevolg dat een voortgangscontrole op een geheel andere wijze dan bij CPS moet geschieden. Immers bij deze laatste betekent het overschrijden van de activiteitsduur van één of meer van de kritieke activiteiten automatisch dat de projectduur langer wordt met de grootte van de overschrijdingen. Bij PERT behoeft dit niet het geval te zijn. Bij de planning gaat men er reeds van uit dat de activiteitsduren - de gemiddelden - niet zullen worden gehaald. De sommatie van die activiteitsduren - de knooppuntmomenten - zullen dus voortdurend moeten worden gecontroleerd op het feit of de kans dat er een negatieve speelruimte ontstaat nog kan worden geaccepteerd. Met behulp van de uitkomsten van deze berekening kan de leiding van het project al of niet bepaalde maatregelen nemen. Bij het nemen van deze maatregelen doet zich echter het grote probleem voor dat er bij PERT geen, voor de planning der afzonderlijke activiteiten, logisch verband bestaat tussen knooppuntmomenten en activiteitsduren. De eerste krijgen een zekere betrouwbaarheid bij de sommatie van een voldoende groot aantal activiteitsduren, een betrouwbaarheid die de activiteitsduren afzonderlijk niet bezitten. Daarnaast moet er op worden gewezen dat het zowel in het geval van de planning als de voortgangscontrole ongebruikelijk is te werken met variabele tijdsduren. Nog ongebruikelijker echter en bovendien in strijd met de uitgangspunten van de planning is het werken met variabele momenten waarop de uitvoering van een bepaalde activiteit ter hand moet worden genomen. Juist een dergelijke variabiliteit maakt het onder meer onmogelijk

---

[7]) De sommatie van de σ^2 levert in dit geval gezien de veronderstelling van de onafhankelijkheid der activiteitsduren en het feit dat σ^2 eindig is - gegeven de wijze van bepaling ervan - geen problemen op. De vraag rijst wel of men altijd mag veronderstellen dat $(t_i^e + t_{ij})$ normaal verdeeld zal zijn. In het geval van de activiteiten op het kritieke pad doet men dit wel, omdat dan geldt dat $t_i^e + t_{ij} = t_j^e = t_j^l$. Eenvoudigheidshalve gaan wij ervan uit dat dit ook geldt voor de andere activiteiten.

de produktiefactoren aan de activiteit toe te rekenen of andere aanwijzingen over de uitvoering van de activiteiten te geven.

De PERT-variant van de netwerkplanningtechnieken is daarom naar onze mening geen geslaagde techniek om de planning van de afzonderlijke activiteiten op te lossen. Deze techniek is alleen toepasbaar indien men wil nagaan of het project binnen een zekere tijdsduur gereed kan komen bij gegeven kansen voor het tijdig bereiken der knooppuntmomenten, terwijl tevens voldoende produktiefactoren aanwezig moeten zijn om elke mogelijke combinatie van activiteiten per periode te kunnen uitvoeren. Zou men PERT toch willen gebruiken bij de planning en de voortgangscontrole dan verdient het, naar onze mening, aanbeveling te overwegen of niet beter gebruik kan worden gemaakt van m_{ij} inplaats van $E(t_{ij})$. Immers de m_{ij} heeft per definitie de grootste kans om te worden gerealiseerd, een omstandigheid die bij het nemen van maatregelen in het raam van de planning en de voortgangscontrole niet kan en mag worden verwaarloosd.

Evenals bij CPS kan aan de voor- en de nacalculatie in het raam van PERT weinig waarde worden toegekend. De problemen die zich in dit verband bij PERT voordoen zijn nog groter dan die, hiervoor genoemd, bij CPS. Een van de bijkomende complicaties is dat men met betrekking tot de produktietechniek twee uiteenlopende veronderstellingen kan maken nl. òf dat een verdelingsfunctie van een activiteitsduur geldt bij de aanwending van een gegeven hoeveelheid produktiefactoren en voor een gegeven produktiefunctie - òf dat voor bepaalde delen van deze verdelingsfunctie andere hoeveelheden der produktiefactoren gelden. Beide standpunten worden verdedigd, de laatste is echter naar onze mening alleen houdbaar. Men moet er vanuit gaan dat de drie schattingen ontstaan omdat mogelijke veranderingen in externe omstandigheden - bijv. het weer - tot een verschillende graad van efficiëncy in het gebruik van dezelfde hoeveelheden produktiefactoren leiden. Huldigt men het andere standpunt, dan kan men de gedachte van een voorcalculatie wel laten vallen omdat het dan van het toeval zou gaan afhangen welke hoeveelheden produktiefactoren men zal gaan gebruiken. De vele PERT-cost systemen, die in de V.S. in omloop zijn, zijn daarom niet veel meer dan administratieve procedures waaraan in vele gevallen alleen zinvolle informatie voor de financiering van een project kan worden ontleend.