Octrooiraad

(12)A **Terinzagelegging** (11) **9001062**

Nederland (19) **NL**

(54) **Toewijzingsafhankelijke productiemiddelenbestemmingswerkwijze.**

(51) Int.Cl[5].: G06F 15/21, G06F 15/31.

(71) Aanvrager: Hewlett-Packard Company te Palo Alto, Californië, Ver. St. v. Am.

(74) Gem.: Ir. F.X. Noz c.s.
Algemeen Octrooibureau
Boschdijk 155
5612 HB Eindhoven.

(21) Aanvrage Nr. 9001062.

(22) Ingediend 3 mei 1990.

(32) Voorrang vanaf 3 mei 1989.

(33) Land van voorrang: Ver. St. v. Am. (US).

(31) Nummer van de voorrangsaanvrage: 346850 .

(62) - -

(43) Ter inzage gelegd 3 december 1990.

De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en).

Korte aanduiding: Toewijzingsafhankelijke productiemiddelenbestemmingswerkwijze.

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op het produceren en, meer in het bijzonder, op de bestemming van productiemiddelen bij de fabricage van producten.

Een belangrijke uitdaging voor het produceren is de optimale bestemming van productiemiddelen voor de productie van meervoudige producten wanneer er vele keuzen voor een dergelijke bestemming zijn. Aan productiemiddelenbestemmingsproblemen moet periodiek, b.v. dagelijks, wekelijks, maandelijks, aandacht worden besteed door een complexe productie-omgeving. Productiemiddelenbestemmingsproblemen zijn geformaliseerd door het voor elk product definiëren van een verzameling van bewerkingen, alsmede vereiste productiemiddelen voor het uitvoeren van deze bewerkingen, die voor zijn vervaardiging moeten worden uitgevoerd. Naar één formalisering wordt verwezen als de GAP-formalisering, waarbij "GAP" staat voor "Generalized Assignment Problem"(veralgemeniseerd toewijzingsprobleem). Bij de GAP-formalisering worden bedrijfskosten en een bedrijfstijd toegewezen aan het resultaat van een gegeven bewerking op een gegeven productiemiddel, d.w.z. aan een gegeven bewerking-productiemiddeltweetal. Dan wordt een oogmerk, zoals kostenminimalisering gekozen. Alternatief kunnen toewijzingen worden gemaakt met het oogmerk van het minimaliseren van de totale productietijd. Algemener wordt zowel met tijd als kosten rekening gehouden. Bij bijvoorbeeld een "capaciteitbeperkt productiemiddelprobleem" kunnen toewijzingen worden gemaakt met het oogmerk van het minimaliseren van kosten, maar het voltooien van de productie voor een uiterste leverdatum.

Het veralgemeniseerde toewijzingsprobleem is zeer uitgebreid bestudeerd. Het is oplosbaar onder gebruikmaking van rechttoe-rechtaan-technieken, vooropgesteld dat het aantal variabelen klein is of wanneer capaciteitbeperkingen afwezig of zo gering zijn dat ze verwaarloosbaar zijn. Het is bijvoorbeeld onpraktisch om een capaciteitbeperkt veralgemeniseerd toewijzingsprobleem optimaal op te lossen wanneer er bijvoorbeeld 20 of meer productiemiddelen zijn, 500 of meer producten, een gemiddelde van 10 of meer bewerkingen per product, en een gemiddelde van 5 of meer productiemiddelen die verenigbaar met elke bewerking zijn. Gegeven een probleem van deze omvang zou een typische productietijdlimiet kunnen verstrijken voordat

een computer de optimale oplossing heeft opgewekt.

Een fundamenteler probleem is dat de formalisering van een werkelijke productiesituatie als een veralgemenisereerd toewijzingsprobleem een oververeenvoudiging is, die aanzienlijke fouten kan introduceren tussen de berekende oplossing en de feitelijke optimale toewijzing. Neem om dit te illustreren een situatie in beschouwing, waarin een bewerking dient te worden uitgevoerd op een productiemiddel dat net is gebruikt om de voorafgaande bewerking voor hetzelfde product te voltooien. Vergelijk dit met de situatie waarin de bewerking op een ander maar identiek productiemiddel moet worden uitgevoerd. In het ene geval is het product reeds op zijn plaats voor de uit te voeren bewerking, in het andere geval moet het product worden bewogen en geconfigureerd voor het tweede productiemiddel. De beweging brengt kosten met zich mee, die niet teweeg worden gebracht wanneer een enkel productiemiddel wordt gebruikt voor achtereenvolgende bewerkingen. Dit toont aan dat de kosten van het uitvoeren van een bewerking op een productiemiddel kan afhangen van welke andere bewerkingen aan dat productiemiddel zijn toegewezen. Het veralgemeniseerde toewijzingsprobleem houdt geen rekening met deze afhankelijkheid, en aldus zijn zijn oplossingen potentieel compromissen. Hoewel er ad hoc benaderingen kunnen zijn om dit compromis te behandelen, hebben dergelijke werkwijzen geen elegante optimale of nagenoeg optimale oplossingen verschaft.

Wat nodig is, is een verbeterde werkwijze voor het toewijzen van productiemiddelen. De verbeterde werkwijze dient een formalisering te omvatten, die rekening houdt met afhankelijkheden in de tijd en kosten van de toewijzing van een bewerking aan een productiemiddel. Specifiek dient de formalisering rekening te houden met afhankelijkheden van een toewijzing van andere toewijzingen van bewerkingen aan productiemiddelen. Verder dient de werkwijze het mogelijk te maken problemen van realistische complexiteit in een redelijke tijd op te lossen onder gebruikmaking van te veroorloven rekensysteemelementen.

In overeenstemming met de onderhavige uitvinding combineert een verbeterde productiemiddelenbestemmingswerkwijze een toewijzingsafhankelijke formalisering met een iteratieve heuristiek met minimale penaliteit die een herevaluatiestap omvat. Naar de werkwijze volgens de uitvinding wordt verwezen als de "toewijzingsafhankelijke productiemiddelenbestemmingswerkwijze" ofte wel "ADRAM", wat staat voor "assignment-dependent

resource allocation method". Deze werkwijze benadert in een redelijke tijd een optimale oplossing van een formalisering die aanspreekt op de beperkingen die zijn gerapporteerd door gebruikers van de veralgemeniseerde toewijzingsprobleemformalisering.

Aangezien de onderhavige uitvinding wiskundige bewerkingen met zich meebrengt, die in zeer uiteenlopende maar wiskundig equivalente uitdrukkingen kunnen worden gegoten, is de strekking van de onderhavige uitvinding gedefinieerd in termen van equivalenten van een bepaalde uitdrukking. Vaklui op dit gebied van de techniek zullen inzien dat equivalente formaliseringen verschillende aantallen stappen kunnen gebruiken, verschillende combinaties van bewerkingen met stappen, en verschillende uitdrukkingen voor bewerkingen. Enige van deze zijn door het onderstaande voorbeeld onderzocht. Wiskundige technieken kunnen echter ondubbelzinnig de kwestie van wiskundige gelijkwaardigheid van werkwijzen voor het doel van het bepalen van de strekking van de onderhavige uitvinding oplossen.

ADRAM deelt zekere formele karakteristieken met de veralgemeniseerde toewijzingsprobleemformalisering. Meervoudige producten moeten op meervoudige productiemiddelen worden vervaardigd. Een respectieve verzameling van één of meer bewerkingen moet worden uitgevoerd op de productiemiddelen voor het vervaardigen van het product. Elke bewerking is verenigbaar met, d.w.z. kan worden uitgevoerd op, ten minste één productiemiddel. Het oogmerk van ADRAM is om alle bewerkingen toe te wijzen aan verenigbare productiemiddelen om één of ander doel te verwezenlijken of één of andere parameter te optimaliseren.

Complexe kosten kunnen worden gebruikt bij het formaliseren van een ADRAM-probleem. In een typisch gekwalificeerd productiemiddelenbestemmingsprobleem is het oogmerk om kosten te minimaliseren met zekere productiemiddelbeschikbaarheidsbeperkingen die in de tijd zijn uitgedrukt. ADRAM is echter even goed toepasbaar op het minimaliseren van tijd binnen vastgestelde geldkostenbeperkingen. In deze zin zijn kosten en tijd formeel uitwisselbaar. Alternatief kan een probleem worden gesteld in termen van het minimaliseren van een combinatie van tijd en geld onder zowel tijd- als geldbeperkingen. Deze beperkingen zijn opgenomen in de parameterdefinitie voor de heuristiek die in de ADRAM wordt gebruikt. Hoewel ADRAM-problemen kunnen worden geformaliseerd in termen van complexe kosten, is er altijd een alternatieve formalisering waarbij tijd en geld afzonderlijk worden be-

handeld.

In ADRAM worden bewerkingen één per keer aan productiemiddelen toegewezen. Op een gegeven tijdstip zijn de bewerkingen in twee verzamelingen geclassificeerd: een toegewezen verzameling die bewerkingen omvat, die reeds zijn toegewezen aan productiemiddelen, en een niet-toegewezen verzameling die bewerkingen bevat, die nog niet aan productiemiddelen zijn toegewezen. Eén van de verzamelingen kan leeg zijn, wanneer de andere alle bewerkingen bevat. Typisch is de toegewezen verzameling in het begin leeg. Zodra alle bewerkingen zijn toegewezen, is de niet-toegewezen verzameling leeg en is een oplossing bereikt. Elke toewijzing van een bewerking aan een productiemiddel resulteert in een bewerking-productiemiddeltweetal. Elk bewerking-productiemiddeltweetal heeft een bijbehorend product-productiemiddeltweetal dat het product bevat, waartoe het toegewezen productiemiddel behoort en de bewerking waaraan dit werd toegewezen.

Een eerste stap in een zeven-staps ADRAM-heuristiek brengt het toekennen van complexe kosten aan elke potentiële toewijzing van een niet-toegewezen bewerking aan een productiemiddel met zich mee. "Complexe kosten" is een uitdrukking voor een twee-parametergrootheid, waarbij de ene parameter kosten en de andere tijd is. Behalve wanneer gekwalificeerd door "complexe" of wanneer anderszins hierin aangegeven, verwijst "kosten" naar eenvoudige kosten, waarnaar eveneens wordt verwezen als "geldkosten" en "kosten in geld". Naar tijd wordt eveneens verwezen als "kosten in tijd", gesteld tegenover geldkosten als een component van complexe kosten. Het toekennen van complexe kosten is hetzelfde als het toekennen van geldkosten en tijd aan elk bewerking-productiemiddeltweetal. Toekenning van complexe kosten is ook een stap in het veralgeminiseerde toewijzingsprobleem, ofschoon dit gebruikelijk niet op deze wijze wordt uitgedrukt. Het oogmerk van ADRAM is complexe rendabiliteit, d.w.z. productie-effectiviteit te maximaliseren door rekening te houden met zowel totale kosten als totale productietijd.

In ADRAM is de toekenning van complexe kosten toewijzingsafhankelijk, terwijl dit in GAP niet zo is. De term "toekenning" wordt gebruikt om arbitraire toewijzingen en berekeningen te omvatten, waarvan beide kunnen worden gebruikt om de complexe kosten af te leiden, die worden toegewezen. Toewijzingsafhankelijkheid impliceert dat er ten minste één bewerking-productiemiddeltweetal is dat ten minste twee verschillende com-

plexe kosten heeft, die daaraan afhankelijk van de inhoud van de geldend toegewezen verzameling kunnen worden toegekend. Aangezien de toegewezen verzameling een afbeelding van bewerkingen op productiemiddelen definieert, komt elke toegewezen verzameling overeen met een respectief toewijzingsoverzicht. Aldus impliceert toewijzingsafhankelijkheid dat complexe kosten variëren als een functie van het geldende toewijzingsoverzicht. Een andere benadering van toewijzingsafhankelijkheid is dat de complexe kosten van een potentiële toewijzing afhangen van de voorafgaande geschiedenis van toewijzingen. Bovendien impliceert toewijzingsafhankelijkheid dat complexe kosten voor een gegeven potentieel bewerking-productiemiddeltweetal gegeven de geldende toewijzing goed is gedefinieerd.

In GAP zijn kosten- en tijdtoekenning niet toewijzingsafhankelijk. Elk bewerking-productiemiddeltweetal heeft bedrijfskosten en een bedrijfstijd die onafhankelijk van de andere toewijzingen zijn. In zekere zin vertegenwoordigt GAP een gedegenereerd geval van de ADRAM-formalisering; ofschoon deze gedegenereerde van de strekking van de onderhavige uitvinding is uitgesloten, aangezien er geen variaties door toewijzingsoverzicht zijn. De degeneratiebetrekking helpt echter de superioriteit van de ADRAM-formalisering te verklaren doordat wordt voorzien in een overeenstemming met de werkelijkheid; ADRAM heeft een aanvullende vrijheidsgraad, die van het specificeren hoe complexe kosten afhangen van eerdere toewijzingen.

De ADRAM-formalisering maakt het bijvoorbeeld mogelijk rekening te houden met toewijzingsafhankelijke opbouwkosten en opbouwtijden bij het optimaliseren van productiemiddelenbestemming, terwijl GAP dit niet mogelijk maakt. Hierbij zijn kosten waarnaar gebruikelijk wordt verwezen als "opbouw"-kosten, maar die niet toewijzingsafhankelijk zijn, opgenomen in bedrijfskosten. Op dezelfde wijze zijn toewijzingsafhankelijke opbouwtijden opgenomen in bedrijfstijden. Hieronder verwijst "opbouw" uitsluitend naar toewijzingsafhankelijke opbouwkosten en tijden.

In een tweede stap worden potentiële toewijzingen geëvalueerd in overeenstemming met een parameter die verband houdt met productie-effectiviteit. De parameter, die een functie van complexe kosten moet zijn, kan kosten, tijd, een functie van kosten alleen, een functie van tijd alleen of een functie van zowel kosten als tijd zijn. Indien bijvoorbeeld kosten de parameter is, kan elke potentiële toewijzing worden geëvalueerd om haar kosten te bepalen. In het geval van kosten, is deze evaluatie zeer eenvou-

dig: kosten is eenvoudigweg de eerste component van complexe kosten. De parameter kan capaciteitbeperkingen reflecteren door toewijzing van een hoge of oneindige tijdcomponentwaarde wanneer het gebruik van een productiemiddel zijn beschikbaarheidsdrempelwaarde overschrijdt. In het algemeen resulteert evaluatie van een potentiële toewijzing in overeenstemming met een gekozen parameter in een parameterwaarde.

In een derde stap worden een effectiefst productiemiddel en een op één na effectiefst productiemiddel voor elke bewerking bepaald. De parameter wordt zo gekozen dat deze negatief met effectiviteit is gecorreleerd. Verhoogde kosten en toegenomen tijd komen bijvoorbeeld overeen met een minder effectieve bestemming van productiemiddelen. Voor een gegeven bewerking is het productiemiddel dat behoort bij de laagste parameterwaarde het effectiefste productiemiddel R_1, d.w.z. het beste productiemiddel voor het uitvoeren van die bewerking, waarbij andere beperkingen worden genegeerd. Op dezelfde wijze is het productiemiddel dat behoort bij de op één na laagste parameterwaarde het op één na effectiefste productiemiddel R_2. De schade die wordt teweeggebracht door het kiezen van het op één na effectiefste productiemiddel voor een gegeven bewerking ten gunste van het effectiefste productiemiddel definieert de "penaliteit" die bij die bewerking behoort.

In een vierde stap wordt de niet-toegewezen bewerking die behoort bij de maximale penaliteit geïdentificeerd. Behorend bij de gekozen parameter is een vergelijkingsfunctie. Wanneer de gekozen parameter lineair met effectiviteit varieert, kan de vergelijkingsfunctie een verschil (aftrekking) opleveren. Anders kan een quotiënt (deling) of één of andere vergelijkingsfunctie worden gebruikt. De vergelijkingsfunctie wordt gebruikt om een vergelijkingswaarde voor elke bewerking op te wekken door het vergelijken van de laagste en op één na laagste parameterwaarden daarvan. Deze vergelijkingswaarde is een maat voor de penaliteit die van toepassing zou zijn op de keuze van het op één na effectiefste productiemiddel in plaats van het effectiefste productiemiddel voor een gegeven parameter. De grootste vergelijkingswaarde komt overeen met de grootste penaliteit; de bijbehorende bewerking is in deze stap gedefinieerd als de bewerking met maximale penaliteit.

In een vijfde stap wordt de bewerking met maximale penaliteit toegewezen aan het effectiefste productiemiddel ervan. Deze toewijzing vermijdt de grootste penaliteit. Toewijzing van de bewerking met maximale pe-

naliteit beweegt deze vanaf de niet-toegewezen verzameling naar de toegewezen verzameling. Een nieuw toewijzingsoverzicht, dat is voorzien van het nieuwe bewerking-productiemiddeltweetal, wordt tot stand gebracht.

In een zesde stap worden eventuele vereiste bijstellingen in complexe kosten die zijn toegekend aan potentiële toewijzingen gemaakt. Veranderingen in complexe kosten vereisen bijstelling in parameterwaarden. Deze veranderingen kunnen incrementeel zijn, of in het geval van een capaciteitbeperking die is benaderd, dramatisch. Toewijzingsafhankelijkheid vereist dat zo een bijstelling ten minste één maal gedurende de reeks van toewijzingen die leidt tot een oplossing optreedt. Sommige toewijzingen kunnen echter geen enkele bijstelling vereisen. Daarom kan herevaluatie voorwaardelijk voor een gegeven bewerking worden beschouwd, ofschoon deze ten minste één maal gedurende de uitvoering van de werkwijze is vereist.

In een zevende stap worden de derde tot en met zesde stappen geïtereerd. Iteratie houdt op wanneer alle bewerkingen zijn toegewezen aan productiemiddelen, in welk geval een eindtoewijzingsoverzicht wordt gerapporteerd. Bovendien kan een som van de parameterwaarden die behoren bij elke toewijzing worden gerapporteerd als een maat voor de totale effectiviteit van de oplossing die door het eindtoewijzingsoverzicht wordt vertegenwoordigd. Iteratie kan ook worden gestopt wanneer een bewerking is bepaald onverenigbaar met beschikbare productiemiddelen te zijn. In dit geval kan de onverenigbaarheid worden gerapporteerd.

Het belangrijkste verschil tussen de ADRAM-probleemformalisering en de GAP-probleemformalisering is toewijzingsafhankelijkheid. De onderhavige uitvinding koppelt de ADRAM-formalisering met de beschreven heuristiek met minimale-maximale, "minimax"-penaliteit om te voorzien in een praktiseerbare oplossing. Hoewel heuristieken met minimax-penaliteit en verband daarmee houdende "minimale spijt" bekend zijn, past de onderhavige uitvinding de heuristieken aan door de herevaluaties op te nemen die zijn vereist door toewijzingsafhankelijkheid.

De ADRAM-oplossing zal niet altijd strikt optimaal zijn. Het zal echter een praktisch te bereiken oplossing zijn, die dient als een goede benadering van het optimum. Simulaties met monstergegevens geven aan dat voor het merendeel van de problemen ADRAM voorziet in een oplossing binnen 2% van het optimum. Verder is oplossingstijd in principe lineair afhankelijk van het aantal uit te voeren bewerkingen. Dit is in tegenstelling met

op geheeltallige programmering gebaseerde benaderingen, waarbij oplossingstijd exponentieel met het aantal bewerkingen toeneemt. Daardoor worden de voordelen van de onderhavige uitvinding aanzienlijker, wanneer de grote problemen worden behandeld, die in de praktijk worden ontmoet.

De combinatie van de toewijzingsafhankelijke formalisering en de heuristiek met minimale penaliteit levert een productiemiddelenbestemmingswerkwijze op, die voorziet in een betere overeenstemming met de werkelijkheid en snelle oplossingen. De betere overeenstemming is het gevolg van de extra vrijheidsgraad die inherent aan toewijzingsafhankelijkheid is. De snellere oplossing is het gevolg van de rechttoe-rechtaan sequentiële toewijzing van bewerkingen aan productiemiddelen, hetgeen weinig vraagt in termen van wiskundige complexiteit in vergelijking met oplossing op basis van geheeltallige programmering. Capaciteitbeperkingen worden eenvoudig behandeld door achtereenvolgende heuristieken die respectieve parameters van variërende gevoeligheid op deze capaciteitbeperkingen toepassen. Deze en andere kenmerken en voordelen van de onderhavige uitvinding blijken uit de onderstaande beschrijving onder verwijzing naar de tekening die bestaat uit een enkele figuur die een stroomschema in overeenstemming met de werkwijze van de onderhavige uitvinding is.

Een toewijzingsafhankelijke productiemiddelenbestemmingswerkwijze 10 kan worden gekenmerkt door een reeks van stappen 11-17 die een iteratieve lus 18 belichamen. De eerste stap 11 is complexe kosten toe te kennen aan potentiële toewijzingen van niet-toegewezen bewerkingen aan beschikbare productiemiddelen. Uitdrukking van de werkwijze hoeven niet expliciet te verwijzen naar complexe kosten: een equivalente formulering kent kosten en tijd toe aan elke potentiële toewijzing. De tweede stap 12 brengt evaluatie van potentiële toewijzingen in overeenstemming met een parameter met zich mee, die een functie van complexe kosten is, d.w.z. een functie van kosten en/of tijd. De derde stap 13 is het effectiefste en op één na effectiefste productiemiddel voor elke niet-toegewezen bewerking te bepalen. De vierde stap 14 is het identificeren van de bewerking met maximale penaliteit. De vijfde stap 15 is de bewerking met maximale penaliteit toe te wijzen aan het effectiefste productiemiddel ervan. De zesde stap 16 is het opnieuw evalueren van potentiële toewijzingen in het licht van de toewijzing in de voorafgaande stap. De zevende stap 17 initieert iteratieve lus 18 naar derde stap 13 zolang als er niet-toegewezen bewerkingen en beschikbare, ver-

enigbare productiemiddelen zijn. Zodra alle bewerkingen zijn toegewezen, wordt het eindtoewijzingsoverzicht gerapporteerd. De voorkeur hebbend wordt ook de onverenigbaarheid van een niet-toegewezen productiemiddel met welke beschikbare bewerking dan ook gerapporteerd als een mislukking tot een oplossing te komen.

Om de bij ADRAM betrokken concepten te definiëren, wordt een eenvoudig voorbeeld geboden. P_1 en P_2 zijn twee te vervaardigen producten. De vervaardiging van P_1 vereist de uitvoering van drie bewerkingen Q_{11}, Q_{12} en Q_{13}. De vervaardiging van P_2 vereist de uitvoering van twee bewerkingen Q_{21} en Q_{22}. Beschikbaar voor het vervaardigen van producten P_1 en P_2 zijn drie productiemiddelen R_1, R_2 en R_3. Welke bewerking dan ook kan worden uitgevoerd op welk productiemiddel dan ook met de beperking dat Q_{11} niet op R_2 kan worden uitgevoerd en Q_{22} niet op R_3 kan worden uitgevoerd.

De uitvoering van bewerking Q_{11} op productiemiddel R_1 kost drie dollar en duurt vier minuten. Dit kan worden uitgedrukt als $M^o_{111}=3$ en $T^o_{111}=4$, waarbij M staat voor geldkosten en T staat voor tijdkosten. Algemener staat M^o_{pqr} voor de bedrijfskosten van het uitvoeren van de q-de bewerking van het p-de product op het r-de productiemiddel en staat T^o_{pqr} voor de bedrijfstijd voor het uitvoeren van dezelfde actie. Samen definiëren M^o_{111} en T^o_{111} complexe bedrijfskosten $C^o_{111}=(3,4)$. Algemener definiëren M^o_{pqr} en T^o_{pqr} complexe bedrijfskosten C^o_{pqr}.

Hierin gebruiken wiskundige uitdrukking vette letters "P", "Q" en "R" om reële entiteiten te vertegenwoordigen, b.v. producten, bewerkingen en productiemiddelen, alsmede variabelen die dergelijke reële entiteiten vertegenwoordigen. Getallen die de totale telwaarde of het totaal vertegenwoordigen, overeenkomend met een reële entiteit laten de met die entiteit overeenkomende letter normaal zien. Er zijn bijvoorbeeld P producten P_p, waarbij P = 2 en p een index is die gelijk aan 1 of 2 kan zijn. Gelijksoortigerwijze zijn er R=3 productiemiddelen R_r in het voorgaande voorbeeld. Indexvariabelen zijn in de kleine letterversie van de entiteit waarnaar ze verwijzen, getoond. Q_{pq} vertegenwoordigt de q-de bewerking die behoort bij het p-de product.

De kosten van het vervaardigen van producten P_1 en P_2 omvatten complexe bedrijfskosten voor elke bewerking. De som van de complexe kosten is echter niet gelijk aan de totale vervaardigingskosten. In het algemeen zijn er efficiënties bij het uitvoeren van verscheidene bewerkingen voor

één product of een enkel productiemiddel. Het complement daarvan is dat er kosten zijn die behoren bij het gebruiken van meervoudige productiemiddelen om een enkel product te fabriceren. In het bijzonder zijn er opbouwkosten M^s_{11} van tien dollar om product P_1 op productiemiddel R_1 op te bouwen en een opbouwtijd T^s_{11} van vijf minuten die nodig is om product P_1 op productiemiddel R_1 op te bouwen. Met andere woorden zijn er complexe opbouwkosten $C^s_{11} = (10,5)$ die behoren bij het opbouwen van product P_1 op productiemiddel R_1. Algemener zijn er complexe opbouwkosten $C^s_{pr} = (M^s_{pr}, T^s_{pr})$ die behoren bij het opbouwen van product P_p op productiemiddel R_r. Deze complexe opbouwkosten worden alleen gemaakt, wanneer ten minste één bewerking voor product P_p op productiemiddel R_r wordt uitgevoerd en worden ten hoogste één maal gemaakt, zelfs wanneer meervoudige bewerkingen van product P_p op productiemiddel R_r worden uitgevoerd.

Initieel is geen bewerking aan welk productiemiddel dan ook toegewezen. Het productiemiddelenbestemmingsprobleem is opgelost wanneer alle bewerkingen aan productiemiddelen zijn toegewezen. ADRAM benadert de oplossing iteratief. iedere iteratie brengt toewijzing van één bewerking aan een verenigbaar productiemiddel met zich mee. In het onderhavige voorbeeld zullen er vijf iteraties zijn, omdat er vijf toe te wijzen bewerkingen zijn. ADRAM vereist herevaluaties gedurende ten minste enige iteraties om de waarde van complexe kosten bij te stellen, die toewijzingsafhankelijk zijn. De complexe bedrijfskosten en complexe opbouwkosten, die hierboven zijn gedefinieerd, zijn niet toewijzingsafhankelijk. Bedrijfs- en opbouwkosten worden echter als volgt op een toewijzingsafhankelijke manier gecombineerd om toewijzingsafhankelijke complexe kosten op te leveren.

Gecombineerde complexe kosten $C_{pqr} = (M_{pqr}, T_{pqr})$ behoren bij de toewijzing van bewerking Q_{pq} aan productiemiddel R_r. $C_{pqr} = C^o_{pqr} + C^s_{pr}$ indien Q_{pq} de eerste bewerking van product P_p is, die aan productiemiddel R_r moet worden toegewezen. $C_{pqr} = C^o_{pqr}$ wanneer een andere bewerking van product P_p is toegewezen aan productiemiddel R_r. Aldus zijn de gecombineerde complexe kosten C_{111} voor de eerste bewerking van product P_1 wanneer deze wordt uitgevoerd op productiemiddel R_1 (13,9), tenzij voorafgaand hetzij Q_{12} hetzij Q_{13} aan productiemiddel R_1 is toegewezen. In het laatste geval $C_{111} = C^o_{111} = (3,4)$. Aldus zijn gecombineerde complexe kosten C_{111} toewijzingsafhankelijk.

Productiemiddelenbestemmingswerkwijzen pogen om te voorzien in

een optimale bestemming van productiemiddelen. Het criterium voor "optimaal" is situatie-afhankelijk. Het kan optimaal zijn om totale vervaardigingsgeldkosten te minimaliseren. Het kan optimaal zijn om vervaardigingstijd te minimaliseren. Gewoonlijker moeten zowel tijd als geld in beschouwing worden genomen voor de definitie van optimaal. Optimaal kan bijvoorbeeld het vervaardigen van producten binnen een vaste hoeveelheid tijd voor minimale kosten betekenen. In het voorbeeld worden minimale geldkosten gezocht, met de voorwaarde dat de totale productietijd één uur niet overschrijdt. Indien de laagste kostentoewijzing meer tijd dan één uur vereist, is zij niet optimaal; anders is zij optimaal.

Zodra een criterium is gekozen, vereist ADRAM dat dit wordt vertegenwoordigd door een parameter V. Deze parameter V is een functie van gecombineerde complexe kosten die kan worden gebruikt om een unieke waarde V_{apqr} toe te wijzen aan de toewijzing van een bewerking Q_{pq} aan productiemiddel R_r gegeven een bestaand toewijzingsoverzicht A_a. V kan gecombineerde geldkosten, gecombineerde tijd, het product van gecombineerde geldkosten en gecombineerde tijd, geldkosten gedeeld door tijd die overblijft voor een tijdslimiet- of productiemiddelcapaciteitoverschrijding, of welk aantal andere parameters dan ook zijn. Voor het vereenvoudigde voorbeeld is de parameter gecombineerde geldkosten.

Zodra parameter V is gekozen, kan het iteratieve toewijzingsproces beginnen. Typisch, en in het onderhavige geval, zijn er in het begin geen toewijzingen. Alternatief kan ADRAM worden toegepast op het geval waarin enige toewijzingen opgedragen zijn. In ieder geval is er een oorspronkelijk toewijzingsoverzicht A_0. In het typische geval is toewijzingsoverzicht A_0 niet voorzien van toewijzingen. De eerste iteratie brengt het eerste toewijzingsoverzicht A_1 tot stand. Het onderschrift kan het aantal voltooide iteraties aangeven, en typisch het aantal toegewezen bewerkingen.

Aangezien er in het voorbeeld vijf bewerkingen moeten worden uitgevoerd bij het vervaardigen van producten P_1 en P_2, zullen er vijf iteraties van de heuristiek zijn. Toewijzingsoverzicht A_5 zal de ADRAM-oplossing zijn, terwijl toewijzingsoverzichten A_1-A_4 deeloplossingen vertegenwoordigen. Elke toewijzing wordt gekozen op basis van parameterwaarden V_{apqr} die behoren bij elk van de bewerking-productiemiddeltweetallen. Aangezien tijd van secundair belang is voor het voorbeeldprobleem, is de volgende tabel voorzien van bedrijfsgeldkosten en opbouwgeldkosten die worden

gebruikt om gecombineerde kosten te berekenen. Algemener zou zo een tabel ook tijden bevatten.

Opbouw- en bedrijfskosten voor P_1 en P_2

	Product P_1				Product P_2		
	P_1	Q_{11}	Q_{12}	Q_{13}	P_2	Q_{21}	Q_{22}
R_1	10	4	3	6	20	6	8
R_2	30	X	4	3	20	5	2
R_3	30	4	1	4	10	2	X

X geeft aan dat een bewerking niet op een productiemiddel kan worden uitgevoerd. Opbouwkosten zijn opgenomen in kolommen met de koppen P_1 en P_2, terwijl bedrijfskosten zijn opgenomen in de "Q-kolommen". Deze tabel voorziet in de toekenning van complexe kosten die vereist zijn in eerste stap 11. Merk op dat het niet noodzakelijk is de complexe kosten te berekenen om deze toe te kennen. Al wat nodig is, is dat de gegevens en procedure voor het berekenen van complexe kosten zijn gedefinieerd.

De "complexe kosten"-tabel kan worden gebruikt om een tabel voor gecombineerde geldkosten M_{pqr} voor elk toewijzingsoverzicht op te wekken. In dit voorbeeld is gecombineerde geldkosten de parameter V waarnaar is verwezen in tweede stap 12. De tabel V_0 voor parameter V, gegeven het begintoewijzingsoverzicht A_0, is:

Tabel V_0					
	Product P_1			Product P_2	
	Q_{11}	Q_{12}	Q_{13}	Q_{21}	Q_{22}
R_1	14	13	16	26	28
R_2	X	34	33	25	22
R_3	34	31	34	12	X
D	20	18	17	13	6

waarbij het begintoewijzingsoverzicht is:

Toewijzingsoverzicht A_0	
Q_{11}	niet-toegewezen
Q_{12}	niet-toegewezen
Q_{13}	niet-toegewezen
Q_{21}	niet-toegewezen
Q_{22}	niet-toegewezen

In overeenstemming met derde stap 13 kan bewerking Q_{11} worden uitgevoerd op productiemiddel R_1 tegen de laagste gecombineerde geldkosten van 14 dollar. Het niet-uitvoeren van Q_{11} op R_1 zou resultaatgeldkosten met zich meebrengen van ten minste 34 dollar op R_3. De penaliteit voor het niet-toewijzen van Q_{11} aan het productiemiddel met de laagste kosten daarvan is 20 dollar, zoals aangegeven door het verschil D in de bovenstaande tabel voor toewijzingsoverzicht A_0. De penaliteiten voor elk van de bewerkingen zijn opgenomen. De penaliteit van twintig dollar die behoort bij bewerking Q_{11} is de grootste van de penaliteiten die behoren bij de bewerkingen. Aldus is Q_{11} de bewerking met maximale penaliteit van vierde stap 14. Het minimaliseren van penaliteit betekent in feite het vermijden van de

grootste penaliteiten. De heuristiek met minimale penaliteit wijst dus de bewerking Q_{11} met grootste penaliteit toe aan het productiemiddel R_1 met de laagste kosten ervan.

De toewijzing van bewerking Q_{11} aan productiemiddel R_1 brengt een nieuw toewijzingsoverzicht A_1 tot stand, dat deze toewijzing als het enige element ervan bevat. Deze toewijzing maakt eveneens een herziening van de tabel voor gecombineerde geldkosten nodig:

Tabel V_1

	Product P_1		Product P_2	
	Q_{12}	Q_{13}	Q_{21}	Q_{22}
R_1	3	6	26	28
R_2	34	33	25	22
R_3	31	34	12	X
D	28	27	13	6

waarbij het overeenkomstige toewijzingsoverzicht A_1 is:

Toewijzingsoverzicht A_1

Q_{11}	R_1
Q_{12}	niet-toegewezen
Q_{13}	niet-toegewezen
Q_{21}	niet-toegewezen
Q_{22}	niet-toegewezen

Tabel V_1 verschilt van tabel V_0 in twee belangrijke opzichten. Ten eerste is er geen kolom voor Q_{11} die is toegewezen en daarom niet in aanmerking voor de volgende toewijzing kan komen. Ten tweede zijn de gecom-

bineerde kosten die behoren bij de toewijzingen van Q_{12} en Q_{13} aan productiemiddel R_1 opnieuw geëvalueerd in overeenstemming met zesde stap 16 om rekening te houden met de in overzicht A_1 vertegenwoordigde toewijzing. In het bijzonder zijn opbouwtijden van de overeenkomstige tabelingangen afgetrokken.

Zevende stap 17 initieert dan iteratieve lus 18. Nieuw toewijzingsoverzicht A_1 en de overeenkomstige gecombineerde kosten worden dan gebruikt bij de tweede iteratie van stap 13. De veranderingen in gecombineerde kosten verhogen de gunstigheid van het toewijzen van een product P_1-bewerking aan productiemiddel R_1 om additionele opbouwtijd te vermijden. Onderzoek van de verschilrij D geeft aan dat een toewijzing van Q_{12} aan productiemiddel R_1 minimale penaliteit teweegbrengt.

Toewijzing van Q_{12} aan R_1 doet de kolom die overeenkomt met Q_{12} verwijderd worden in de tabel voor overzicht A_2. Nieuwe ingangen in rij R_1 worden veranderd. De rij R_1-kolom Q_{13} wordt niet veranderd omdat opbouwtijd niet in deze ingang is opgenomen. Rij R_1-kolommen Q_{21} en Q_{22} worden niet veranderd omdat ze bewerkingen van product P_2 vertegenwoordigen, in plaats van product P_1 waarbij toegewezen bewerking Q_{12} behoort. Bij deze iteratie is dus geen herberekening vereist. Hoewel de uitvinding waardebijstellingen voor ten minste één stap vereist, zijn bijstellingen niet bij iedere stap vereist. Tabel V_2 vertegenwoordigt het resultaat na twee iteraties van de heuristiek.

Tabel V_2

	Product P_1	Product P_2	
	Q_{13}	Q_{21}	Q_{22}
R_1	6	26	28
R_2	33	25	22
R_3	34	12	X
D	27	13	6

Het overeenkomstige toewijzingsoverzicht A_2 is:

Toewijzingsoverzicht A_2	
Q_{11}	R_1
Q_{12}	R_1
Q_{13}	niet-toegewezen
Q_{21}	niet-toegewezen
Q_{22}	niet-toegewezen

Tot nu toe is het voorbeeldgeval behanderd alsof er geen tijdbeperkingen waren. Bij een gekwalificeerd productiemiddelenbestemmingsprobleem zijn er tijdbeperkingen. R_1 kan een productiemiddel zijn dat slechts een deel van de tijd beschikbaar is ten gevolge van onderhoud of om een andere reden. Indien Q_{11} en Q_{12} teveel van de tijd die beschikbaar is op R_1 hebben gebruikt, dan zou Q_{13} onverenigbaar met R_1 worden. Dit is in de onderstaande herziene tabel V_2' aangegeven:

Tabel V_2'			
	Product P_1	Product P_2	
	Q_{13}	Q_{21}	Q_{22}
R_1	X	26	28
R_2	33	25	22
R_3	34	12	X
D	1	13	6

Deze tabel dicteert een toewijzing van Q_{21} aan R_3, hetgeen resulteert in tabel V_3:

Tabel V_3		
	Product P_1	Product P_2
	Q_{13}	Q_{22}
R_1	X	28
R_2	33	22
R_3	34	X
D	1	6

met het overeenkomstige toewijzingsoverzicht A_3:

Toewijzingsoverzicht A_3	
Q_{11}	R_1
Q_{12}	R_1
Q_{13}	niet-toegewezen
Q_{21}	R_3
Q_{22}	niet-toegewezen

Dit is geen herberekening aangezien Q_{22} onverenigbaar is met het productiemiddel waaraan Q_{21} was toegewezen. Bij deze vierde iteratie wordt Q_{22} toegewezen aan haar productiemiddel R_2 met de laagste kosten, hetgeen resulteert in toewijzingsoverzicht A_4.

Toewijzingsoverzicht A_4	
Q_{11}	R_1
Q_{12}	R_1
Q_{13}	niet-toegewezen
Q_{21}	R_3
Q_{22}	R_2

Bij de vijfde iteratie wordt Q_{13} toegewezen aan R_2. De oplossing is het eindoverzicht A_5:

Toewijzingsoverzicht A_5		
Bewerking	Productiemiddel	Kosten
Q_{11}	R_1	14
Q_{12}	R_1	3
Q_{13}	R_2	33
Q_{21}	R_3	12
Q_{22}	R_2	22
Totaal		84

In overeenstmeming met zevende stap 17 wordt toewijzingsoverzicht A_5 gerapporteerd. De totale kosten van het vervaardigen van producten P_1 en P_2 is $84.

Hoewel het voorgaande voorbeeld illustratief voor zekere van haar facetten is, wordt de onderhavige uitvinding het voordeligst gebruikt bij problemen waarbij veel meer variabelen betrokken zijn. In de de voorkeur hebbende uitvoeringsvorm van de onderhavige uitvinding worden zowel tijd als kosten bijgehouden bij elke toewijzing. Tijd dient om capaciteitbeperkeningen voor de productiemiddelen te definiëren. De heuristiek met

minimale penaliteit wordt meervoudige keren toegepast onder gebruikmaking van verschillende parameters en de resultaten worden vergeleken.

FORMALISERING: GEKWALIFICEERD PROBLEEM MET OPBOUW

Een de voorkeur hebbende formalisering voor een gekwalificeerd productiemiddelenprobleem definieert een optimale productiemiddelenbestemming als een die totale geldkosten minimaliseert, terwijl capaciteitsbeperkingen op productiemiddelen worden geobserveerd en rekening wordt gehouden met opbouwkosten en -tijden samen met bedrijfskosten en -tijden. Met andere woorden is het oogmerk V te minimaliseren, waarbij:

$$V = \sum_{p=1}^{P} \sum_{q=1}^{Q} \sum_{r=1}^{R} M^{O}_{pqr} X_{pqr} + \sum_{p=1}^{P} \sum_{r=1}^{R} M^{S}_{pr} Y_{pr} \qquad (1)$$

onderworpen aan:

$$\sum_{q=1}^{Q} \sum_{p=1}^{P} T^{O}_{pqr} X_{pqr} + \sum_{p=1}^{P} T^{S}_{pr} Y_{pr} \leq B_r \quad \text{voor alle } r \qquad (2)$$

$$\sum_{r=1}^{R} X_{pqr} = 1 \quad \text{voor alle } p, q \qquad (3)$$

$$X_{pqr} \leq Y_{pr} \quad \text{voor alle } p, q, r \qquad (4)$$

$$X_{pqr} = 0 \text{ of } 1 \qquad (5)$$

$$X_{pr} = 0 \text{ of } 1 \qquad (6)$$

Uitdrukking 1 beschrijft de totale productiekosten inclusief bedrijfskosten en opbouwkosten. De symbolen van uitdrukking 1 worden als volgt gebruikt:

p is de productindex;

P is het totale aantal producten;

q is de bewerkingsindex; een term met deze index is nul wanneer q het aantal bij het product behorende bewerkingen overschrijdt;

Q is het maximale aantal bij welk product dan ook behorende bewerkingen;

r is de productiemiddelindex;

R is het aantal productiemiddelen;

M^{O}_{pqr} vertegenwoordigt de bedrijfsgeldkosten die behoren bij het resultaat van de q-de bewerking van product p op productiemiddel r.

M^{S}_{pr} vertegenwoordigt de opbouwgeldkosten die behoren bij de opbouw van product p op productiemiddel r. Dit is een toewijzingsafhankelijk variabele en onderscheidt zich van een opbouwkostencomponent van bedrijfsgeldkosten, die niet toewijzingsafhankelijk zijn.

X_{pqr} is de geheeltallige bewerking-productiemiddelenbestemmingsvariabele die een waarde 1 aanneemt, wanneer bewerking q van product p is toegewezen aan productiemiddel r en anders een waarde 0 aanneemt; het binaire karakter van deze variabele is in uitdrukking 5 gedefinieerd; en

Y_{pr} is de geheeltallige product-productiemiddelenbestemmingsvariabele die een waarde 1 aanneemt, wanneer welke bewerking dan ook van product p is toegewezen aan productiemiddel r en anders een waarde 0 aanneemt; het binaire karakter van deze variabele is in uitdrukking 6 gedefinieerd.

Uitdrukking 2 vereist dat wordt voldaan aan productiemiddelcapaciteitbeperkingen. Hoewel opgenomen als een vergelijking, verdient het de voorkeur de betrekking zoals groter dan "$\geq$" in een optimale iteratieve oplossingsprocedure te behandelen. Andere variabelen die in uitdrukking 2 zijn opgenomen, dan die zojuist zijn gedefinieerd, zijn als volgt gedefinieerd:

T^{O}_{pqr} is de bedrijfstijd die behoort bij het resultaat van de q-de bewerking van product p op productiemiddel r;

T^{S}_{pr} is de opbouwtijd die behoort bij het resultaat van welke bewerking dan ook van product p op productiemiddel r; en

B_r is de voor productiemiddel r beschikbare totale productietijd.

Uitdrukking 3 vereist dat alle bewerkingen worden uitgevoerd. Uitdrukking 4 vereist dat opbouwkosten worden toegekend wanneer een product voor het eerst aan een productiemiddel wordt toegewezen. Merk op dat hoewel complexe kosten niet expliciet in deze formalisering zijn gemaakt, deze impliciet in het gebruik van de componenten daarvan is: geldkosten en tijd. Zoals echter de heuristieken duidelijk maken, treedt de toewijzingsafhankelijkheid op in de vorm van de herberekeningen nadat elke toewijzing is gemaakt.

Zoals hierboven is aangegeven vereist ADRAM selectie van een parameter (d.w.z. kosten, tijd, kosten-tijdproduct) om mogelijke bewerking-productiemiddelparingen te evalueren. Aangezien het moeilijk kan zijn a priori te bepalen welke parameter zal resulteren in de beste oplossing, is er voorzien in vijf verschillende parameters. De heuristiek kan worden toegepast op dezelfde gegevens onder gebruikmaking van elk van de parameters om verschillende resultaten te verkrijgen. De resultaten kunnen worden vergeleken om een beste resultaat te selecteren. De vijf parameters vertegenwoordigen respectievelijk: geldkosten, tijd, een kosten-tijdquotiënt, een kosten-tijdproduct en kosten-en-overblijvende-capaciteit. De toepassing van deze parameters wordt hieronder beschreven.

V = Kosten

De op kosten gebaseerde heuristiek poogt totale productiegeldkosten, zoals in uitdrukking 1 gedefinieerd, te minimaliseren door het één voor één toewijzen van bewerkingen aan productiemiddelen. De eerste toegewezen bewerking is die waarvoor een mislukking om te worden toegewezen aan haar rendabelste productiemiddel de grootste penaliteit teweeg zou brengen. Zodra deze eerste toewijzing is gemaakt, wordt een tweede toewijzing gemaakt voor de overblijvende bewerkingen en productiemiddelen. Dit toewijzings- en herevaluatieproces wordt geïtereerd totdat alle bewerkingen zijn toegewezen, waarbij rendabiliteit voor zover noodzakelijk wordt hergeëvalueerd na elke toewijzing. Deze op kosten gebaseerde heuristiek kan formeler als volgt worden beschreven.

Stap 1. Het toewijzen van bedrijfskosten en een bedrijfstijd aan

elk bewerking-productiemiddeltweetal; op dezelfde wijze het toekennen van opbouwkosten en een opbouwtijd aan elk product-productiemiddeltweetal. Dit is gelijkwaardig aan het toekennen van complexe kosten aan elke potentieel bewerking-productiemiddeltweetal. De complexe kosten worden vertegenwoordigd door de vectorsom van gecombineerde kosten en een gecombineerde tijd voor elk bewerking-productiemiddeltweetal. De gecombineerde kosten zijn gelijk aan de bedrijfskosten plus de opbouwkosten voor een gegeven bewerking-productiemiddeltweetal wanneer geen andere zelfde productbewerking voorafgaand is toegewezen aan hetzelfde productiemiddel. Anders zijn gecombineerde kosten gelijk aan bedrijfskosten. Aldus zijn gecombineerde kosten toewijzingsafhankelijk, zelfs ofschoon bedrijfskosten en opbouwkosten dat niet zijn. Een gelijksoortige betrekking geldt voor gecombineerde tijd. Aldus is de vectorsom van gecombineerde kosten en gecombineerde tijd, dat wil zeggen complexe kosten, toewijzingsafhankelijk.

Stap 2M. Het evalueren van initieel gecombineerde kosten door het optellen van de opbouwkosten bij bedrijfskosten voor alle verenigbare bewerking-productiemiddeltweetallen:

$$M_{pqr} = M^{O}_{pqr} + M^{S}_{pr}$$

en het toewijzen van oneindige (zeer grote) kosten aan onverenigbare bewerking-productiemiddel- en product-productiemiddeltweetallen.

Stap 2T. Het evalueren van een initiële gecombineerde tijd door het optellen van de opbouwtijd bij bedrijfstijd voor alle verenigbare bewerking-productiemiddeltweetallen:

$$T_{pqr} = T^{O}_{pqr} + T^{S}_{pr}$$

en het toewijzen van oneindige (zeer grote) tijd aan onverenigbare bewerking-productiemiddel- en product-productiemiddeltweetallen.

In een gekwalificeerd productiemiddelenbestemmingsprobleem, d.w.z. een waarbij er tijdbeperkingen met betrekking tot productiemiddelbeschikbaarheid zijn, zijn gecombineerde kosten een functie van tijd alsmede van kosten. Aldus het vereiste van stap 2T. Eerdere toewijzingen beïnvloeden de tijd die op een gegeven productiemiddel beschikbaar is. Wanneer deze tijd daalt onder die, welke is vereist opdat een gegeven niet-toegewezen

bewerking op dat productiemiddel kan worden uitgevoerd, beïnvloedt de resulterende onverenigbaarheid de volgende toewijzing. De heuristiek kan de onverenigbaarheid vertegenwoordigen door een onverenigbaarheidsstatusvlag, b.v. "X" in bovenstaande tabel A_0, of door het instellen van gecombineerde kosten op een oneindig of een of ander zeer groot getal.

Bij een capaciteitbeperkt probleem heeft de parameter werkelijk drie potentiële componenten, bedrijfskosten, opbouwkosten en met beschikbare capaciteit verbonden kosten. De parameter kan worden beschouwd als capaciteitgekwalificeerde gecombineerde kosten. De laatste kosten kunnen nul of oneindig zijn, afhankelijk van of capaciteit beschikbaar is. Tussenwaarden kunnen eveneens worden verschaft wanneer er wordt voorzien in een formule voor het met elkaar vergelijken van tijd en geld.

Stap 3. Het bepalen van de effectiefste en op één na effectiefste productiemiddelen voor elke niet-toegewezen bewerking. In dit geval is effectiefst gelijkwaardig aan de laagste kosten.

Stap 4. Het vinden van het kostenverschil ($M_{pq2} - M_{pq1}$) tussen het productiemiddel met minimale kosten en het productiemiddel met de op één na minimale kosten voor alle bewerkingen. Het vinden van het maximale verschil van alle bewerkingen vanaf stap 3. Dit is de maximale penaliteit, en de bijbehorende bewerking is de bewerking met maximale penaliteit. "M_{pq1}" geeft de geldkosten aan, die behoren bij het productiemiddel met de laagste kosten voor bewerking q van product p. Op dezelfde wijze geeft "M_{pq2}" de geldkosten aan, die behoren bij het productiemiddel met de op één na laagste kosten voor bewerking q van product p.

Stap 5. Het toewijzen van de bewerking met maximale penaliteit aan het productiemiddel ervan met de maximale effectiviteit, d.w.z. minimale kosten.

Stap 6. Het voor alle andere bewerkingen, die betrekking hebben op het product waartoe de toegewezen bewerking behoort en die op het toegewezen productiemiddel kunnen worden uitgevoerd, gelijkzetten van de gecombineerde kosten aan de bedrijfskosten en het gelijkzetten van gecombineerde tijd aan bedrijfstijd. Het reduceren van de beschikbare capaciteit voor het toegewezen productiemiddel met de hoeveelheid tijd die door de toegewezen bewerking in beslag wordt genomen. Het controleren op capaciteittekort voor alle overblijvende bewerkingen van alle producten die verenigbaar met dit productiemiddel zijn. Het toewijzen van oneindige (of zeer grote) kosten en

tijd aan bewerking-productiemiddeltweetallen voor bewerkingen die niet langer kunnen worden uitgevoerd binnen de capaciteitbeperkingen van dit productiemiddel. Het verwijderen van de toegewezen bewerking voor verdere beschouwing voor toewijzing in het iteratieve proces.

Stap 7. Het herhalen van stappen 3-6 totdat alle bewerkingen zijn toegewezen of totdat een onuitvoerbaarheid wordt gedetecteerd, d.w.z. geen productiemiddel beschikbaar is voor het uitvoeren van een gegeven bewerking. In het laatstgenoemde geval is de heuristiek er niet in geslaagd een oplossing te verschaffen. In het eerstgenoemde geval zijn alle bewerkingen toegewezen aan productiemiddelen en capaciteitsbeperkingen. De oplossing dient nabij minimale kosten te zijn. Een er niet in slagen een oplossing te bereiken ten gevolge van gebrek aan productiemiddelcapaciteit geeft aan dat een parameter dient te worden gekozen die gevoeliger voor capaciteitsbeperkingen is. Natuurlijk zal geen parameter resulteren in een oplossing indien het probleem werkelijk onuitvoerbaar is.

V = Tijd

Het gebruiken van tijd als de parameter leidt tot het minimaliseren van fabricagetijd. Tijd is aldus een betere parameter dan geld voor problemen met krappe capaciteitsbeperkingen. Bewerkingen worden één voor één aan productiemiddelen toegewezen, net zoals bij de op kosten gebaseerde heuristiek. Het oogmerk van elke toewijzing is echter tijdpenaliteiten te vermijden, in plaats van kostenpenaliteiten. De op tijd gebaseerde heuristiek kan formeler als volgt worden beschreven.

Stap 1. Het aanbieden van opbouw- en bedrijfsgegevens die kunnen worden gebruikt om complexe kosten toe te kennen. Dit is hetzelfde als voor de V = kosten-uitvoeringsvorm en de drie volgende uitvoeringsvormen.

Stap 2. Tel de opbouwtijd op bij bedrijfstijd voor alle verenigbare bewerking-productiemiddeltweetallen en opbouwkosten bij bedrijfskosten zoals bij de op kosten gebaseerde heuristiek. De parameter van belang is capaciteitgekwalificeerde gecombineerde tijd, waarbij de capaciteitskwalificatie impliciet in de term "verenigbaar" is.

Stap 3. Het bepalen van het productiemiddel met de kortste tijd (effectiefste) en op één na kortste tijd voor elke niet-toegewezen bewerking.

Stap 4. Het vinden van het tijdverschil ($T_{pq2} - T_{pq1}$) tussen productiemiddel met minimale tijd en productiemiddel met op één na minimale tijd voor alle bewerkingen. Het vinden van het maximale verschil om de bewerking met maximale penaliteit te bepalen.

Stap 5. Het toewijzen van de bewerking met maximale penaliteit aan het productiemiddel ervan met minimale tijd.

Stap 6. Het voor alle andere bewerkingen, die betrekking hebben op het product waartoe de toegewezen bewerking behoort en die kunnen worden uitgevoerd op het toegewezen productiemiddel, gelijkzetten van de gecombineerde kosten aan bedrijfskosten en het gelijkzetten van gecombineerde tijd aan bedrijfstijd. Het reduceren van de beschikbare capaciteit voor het toegewezen productiemiddel met de hoeveelheid tijd die de toegewezen bewerking kost. Het controleren op capaciteitstekort voor alle overblijvende bewerkingen van alle producten die verenigbaar met dit productiemiddel zijn. Het toewijzen van oneindige tijd aan bewerking-productiemiddeltweetallen voor bewerkingen die niet langer binnen de capaciteitsbeperkingen van dit productiemiddel kunnen worden uitgevoerd. Het verwijderen van de toegewezen bewerking van verdere beschouwing voor toewijzing in het iteratieve proces.

Stap 7. Het herhalen van stappen 3-6 totdat alle bewerkingen zijn toegewezen of totdat een onuitvoerbaarheid wordt gedetecteerd, d.w.z. geen productiemiddel beschikbaar is om een gegeven bewerking uit te voeren. In het laatstgenoemde geval is de heuristiek er niet in geslaagd om in een oplossing te voorzien, waarschijnlijk omdat het probleem onoplosbaar is. In het eerstgenoemde geval zijn alle bewerkingen toegewezen aan productiemiddelen en capaciteitsbeperkingen. De oplossing dient nabij minimale tijd te zijn.

V = Kosten-tijdquotiënt

De op kosten gebaseerde en op tijd gebaseerde heuristieken die hierboven zijn beschreven, zijn in zekere zin uitersten. In het eerste geval worden kosten beschouwd zonder veel gevoeligheid voor tijd en in het tweede geval wordt tijd beschouwd zonder op kosten te letten. In vele situaties dient zowel met tijd als kosten rekening te worden gehouden bij het vinden van een optimale productie-oplossing. Het kiezen van een parameter die rekening houdt met zowel tijd als geld kan voorzien in een optimale op-

lossing, wanneer capaciteitsbeperkingen van middelmatige zwaarte zijn. Dienovereenkomstig kan een kosten-tijdquotiëntheuristiek als volgt worden geformaliseerd.

Stap 1. Presentatie van opbouw- en bedrijfskosten en tijdgegevens waaruit complexe kosten kunnen worden toegekend.

Stap 2. Het berekenen van de gecombineerde geldkosten en gecombineerde tijd voor alle bewerkingen. Opnieuw is de complexe parameter capaciteitsgekwalificeerd.

Stap 3. Het bepalen van het productiemiddel met de laagste gecombineerde kosten voor elke bewerking.

Stap 4. Het berekenen van de vergelijking $D_{pq}=(M_{pq2}-M_{pq1})/T_{pq1}$ voor alle bewerkingen. T_{pq1} is de bedrijfstijd die behoort bij bewerking q van product p en het productiemiddel met de laagste gecombineerde kosten voor bewerkingen die bij product p behoren. Het vinden van het maximale verschil D_{pq}; de bijbehorende bewerking is de bewerking met maximale penaliteit.

Stap 5. Het toewijzen van de bewerking met maximale penaliteit aan het productiemiddel ervan met minimale gecombineerde geldkosten.

Stap 6. Het voor alle andere bewerkingen, die betrekking hebben op het product waarbij de toegewezen bewerking behoort en die kunnen worden uitgevoerd op het toegewezen productiemiddel, gelijkzetten van gecombineerde kosten aan bedrijfskosten en gelijkzetten van gecombineerde tijd aan bedrijfstijd. Het reduceren van de beschikbare capaciteit voor het toegewezen productiemiddel met de hoeveelheid tijd die de toegewezen bewerking in beslag neemt. Het controleren op capaciteittekort voor alle overblijvende bewerkingen van alle producten die verenigbaar met dit productiemiddel zijn. Het zetten van een onverenigbaarheidsvlag of het toewijzen van oneindige of een zeer lange tijd aan bewerking-productiemiddeltweetallen voor bewerkingen die niet langer binnen de capaciteitsbeperkingen van dit productiemiddel kunnen worden uitgevoerd. Het verwijderen van de toegewezen bewerking van verdere in beschouwingneming voor toewijzing in het iteratieve proces.

Stap 7. Het herhalen van stappen 3-6 totdat alle bewerkingen zijn toegewezen of totdat een onuitvoerbaarheid wordt gedetecteerd, d.w.z. geen productiemiddel beschikbaar is om een gegeven bewerking uit te voeren. In het laatstgenoemde geval is de heuristiek er niet in geslaagd om een oplossing te verschaffen. In het eerstgenoemde geval zijn alle bewerkingen

toegewezen aan productiemiddelen en capaciteitsbeperkingen. Het eindtoewijzingsoverzicht wordt gerapporteerd.

V = Kosten-tijdproduct

Zoals bij de kosten-tijdquotiëntheuristiek houdt de kosten-tijdheuristiek rekening met zowel tijd als kosten, maar met toegenomen nadruk op tijd. Derhalve is in de praktijk de op het kosten-tijdproduct gebaseerde heuristiek gelijksoortiger aan de op tijd gebaseerde heuristiek dan aan de op kosten gebaseerde heuristiek, en is deze het best geschikt voor situaties met zeer zware capaciteitsbeperkingen. Formeel is deze heuristiek dezelfde als de kosten-tijdquotiëntheuristiek behalve dat de vergelijking D die in stap 4 wordt opgewekt, voor alle bewerkingen $(M_{pq2} \times T_{pq2}) - (M_{pq1} \times T_{pq1})$ is, waarbij de aftrekker het op één na minimale capaciteitsgekwalificeerde product is en het aftrektal het minimale capaciteitsgekwalificeerde product voor elke bewerking is.

V = Kosten gekwalificeerd door overblijvende capaciteit

In de kostencapaciteitheuristiek worden kostenverschillen gewogen door capaciteitbeperkingen, die variëren terwijl toewijzingen worden gemaakt. De resultaten van deze heuristiek komen dichter bij minimale kosten dan bij minimale tijd. Aangezien deze heuristiek zowel kosten als tijd (capaciteit) in beschouwing neemt, is deze procedureel gezien gelijksoortig aan de kosten-tijdquotiëntheuristiek. Het verschil zit hem in de vergelijking die in stap vier wordt toegepast:

$$\frac{(M_{pq2}-M_{pq1})(B_1 - \sum_{\rho=1}^{P} \sum_{\varrho=1}^{Q} T_{\rho\varrho 1} X_{\rho\varrho 1})}{(T_{pq1})}$$

B_1 vertegenwoordigt de begincapaciteit van het productiemiddel met de laagste kosten voor bewerking a van product p. De dubbele som in de teller vertegenwoordigt de totale tijd die door andere bewerkingen in beslag wordt genomen, die zijn toegewezen aan dit productiemiddel met de laagste kosten. Aldus vertegenwoordigt de rechter uitdrukking in de teller de overblijvende

capaciteit die beschikbaar is voor het productiemiddel met de laagste kosten. Merk op dat de indices P en q in de dubbele som schuin zijn gedrukt om ze te onderscheiden van de indices p en q buiten de dubbele som.

Het combineren van resultaten

In het algemeen wekken de hierboven beschreven vijf parameters en heuristieken vijf verschillende oplossingen op. Aangezien sommige van de heuristieken er niet in kunnen slagen een bestaande oplossing te vinden, verhoogt het gebruik van meervoudige parameters de waarschijnlijkheid dat ten minste één oplossing zal worden gevonden. Natuurlijk zal indien het probleem onoplosbaar is, geen van de heuristieken een oplossing leveren. Bovendien verhoogt het gebruik van meervoudige heuristieken de waarschijnlijkheid dat een nagenoeg optimale oplossing zal worden gevonden. Elke oplossing zal resulteren in bijbehorende totale geldkosten en een totale tijd, hetgeen het kiezen van een beste resultaat onder de vijf tamelijk rechttoe-rechtaan maakt. Geen ad hoc gegoochel met resultaten is vereist om deze keuze te maken.

Veralgemeniseerde ADRAM-heuristiek

De voorgaande heuristieken zijn geformaliseerd in de vorm die het best geschikt is voor het doel van het minimaliseren van uitdrukking 1. Een andere formalisering is echter vereist om te voorzien in de volledige algemeniteit van de ADRAM. De eerste stap is om alle bewerkingen in twee verzamelingen te verdelen, toegewezen bewerkingen en niet-toegewezen bewerkingen. Elk van deze verzamelingen heeft op elk gegeven tijdstip een geheel aantal elementen. Elke toewijzing van een bewerking aan een productiemiddel brengt één bewerking over vanaf de niet-toegewezen verzameling naar de toegewezen verzameling. De toegewezen verzameling komt overeen met een toewijzingsoverzicht A_a van bewerking-productiemiddeltweetallen A_{pqr}. De toewijzing van een gegeven niet-toegewezen bewerking aan een productiemiddel heeft bijbehorende complexe kosten C_{apqr}, die een functie zijn van het geldende toewijzingsoverzicht A_a, de q-de bewerking van product p, en het productiemiddel r waaraan de bewerking is toegewezen. Complexe kosten zijn zoals hierboven is aangegeven tweedimensionaal geconstrueerd om geldkosten en

tijdkosten te omvatten. Aldus kan een equivalente formalisering complexe kosten impliciet aanpakken door te verwijzen naar eenvoudige kosten en tijd.

In de hierboven gegeven voorbeelden zijn de toegewezen verzamelingen en de toewijzingsoverzichten ongeordend geweest. Met andere woorden hangt de afhankelijkheid van de met effectiviteit verband houdende parameter alleen af van de inhoud van het toewijzingsoverzicht. De uitvinding voorziet ook in toewijzingsafhankelijkheid wanneer de parameter niet alleen een functie van de inhoud van het toewijzingsoverzicht is, maar eveneens van de volgorde waarin de bewerking-productiemiddeltweetallen in het toewijzingsoverzicht werden ingevoerd.

De optimalisering die door ADRAM wordt bereikt, hangt af van de parameter die wordt gekozen om bewerking-productiemiddeltweetallen te evalueren, de intrabewerkingsvergelijkingsfunctie die wordt gebruikt om verschillen te meten tussen tweetallen die behoren bij dezelfde bewerking en de interbewerkingsvergelijkingsfunctie die wordt gebruikt om een te vermijden "ernstigste" penaliteit te selecteren.

De parameter wordt gekozen om een functie van complexe kosten te zijn. Als zodanig kan deze een functie van alleen geld kosten, alleen tijd, of een combinatie van tijd en geld zijn. Verder dient de parameter zo te worden gekozen, dat een beste en op één na beste waarde kan worden geïdentificeerd. In alle voorgaande voorbeelden was de laagste waarde de beste waarde. ADRAM werkt echter even goed door de inverse van elke waarde te nemen en de hoogste waarde als de beste te kiezen. Algemener kan de beste of "profijtelijkste" waarde andere posities aannemen dan hoogste of laagste. In ieder geval kan welke parameter dan ook, waarvoor beste waarden kunnen worden bepaald, worden omgezet in een parameter, waarin de beste waarden de laagste zijn. Derhalve is het voldoende te vereisen dat de parameter zo wordt gekozen dat het beste het laagste is, waarbij alternatieve formaliseringen worden vereist die wiskundig gelijkwaardig zijn.

Parameterselectie bepaalt welk productiemiddel het beste productiemiddel is en welk het op één na beste productiemiddel is. Selectie van de vergelijkingsfunctie bepaalt hoe de ernstigste penaliteit wordt bepaald. De eerste vergelijking is een intrabewerkingsvergelijkingsfunctie die wordt gebruikt om de penaliteit te meten, die is betrokken bij het selecteren van het op één na beste productiemiddel in plaats van het beste productiemiddel

voor een gegeven bewerking. Hierboven wordt aftrekking gebruikt in combinatie met de hierboven besproken tijd-, kosten-, en tijd-kostenproductparameters. Hoewel aftrekking gebruikelijk wordt beschouwd als een bewerking in plaats van een functie, kan zij als een functie van de vorm $z = f(x,y)$ worden beschouwd, waarbij y het aftrektal is, x de aftrekker en z het verschil. De vergelijkingsfuncties voor de kosten-over-opbouwtijd- en de kosten-en-overblijvende-capaciteitheuristieken werden gebruikt met complexere intrabewerkingsvergelijkingsfuncties.

Zodra de intrabewerkingsvergelijkingen zijn gemaakt, is het noodzakelijk de interbewerkingsvergelijking te kiezen die overeenkomt met de grootste penaliteit. Bij geschikte keuze van de parameter en de intrabewerkingsvergelijking zal dit eenvoudigweg de grootste intrabewerkingsvergelijkingswaarde zijn. Anderzijds is het mogelijk andere interbewerkingsvergelijkingen te gebruiken dan een maximum om slechte penaliteit te bepalen. Er kan echter worden aangetoond dat formuleringen die dergelijke interbewerkingsvergelijkingen gebruiken, wiskundig equivalent zijn aan de onderhavige formaliseringen onder gebruikmaking van slechts maxima.

De hierboven beschreven werkwijzen worden toegepast op productiemiddelenbestemming. Ze kunnen worden toegepast gedurende een planningsperiode of voor een verzameling taken. De snelheid en economie waarmee een oplossing kan worden bereikt, maakt hun toepassing op korte termijn planningsproblemen mogelijk, die eerder niet konden worden opgelost onder gebruikmaking van conventionele werkwijzen. Bovendien kunnen langere termijnproblemen die te duur zijn om op te lossen, economisch door ADRAM worden aangepakt.

De onderhavige uitvinding kan eveneens worden gebruikt voor verscheidene andere samenhangende doelen. De werkwijzen zijn bijvoorbeeld bruikbaar voor het bepalen welke productiemiddelen dienen te worden aangeschaft. Kapitaalverwervingsbeslissingen kunnen worden geïmplementeerd door in de beginkosten, die behoren bij een bewerking-productiemiddeltweetal de aanschafprijs van een productiemiddel, b.v. een machine, op te nemen. Zodra dat productiemiddel daaraan een bewerking heeft toegewezen gekregen, wordt de aanschafprijs van het productiemiddel buiten beschouwing gelaten bij het bepalen van maximale penaliteiten bij de toewijzing van andere bewerkingen. Aldus brengt ADRAM "vaste-kosten"-beschouwingen onder, alsmede opbouwkosten. Op een grotere schaal kan ADRAM worden gebruikt voor fabriekontwerp.

9001062

Bovendien kan ADRAM worden gebruikt om te kiezen tussen het maken en kopen van zekere producten.

Naast het behandelen van relatief conventionele formaliseringen, waarbij kosten dienen te worden geminimaliseerd, onderworpen aan tijdcapaciteitbeperkingen, behandelt de uitvinding eveneens andere probleemdefinities. Tijd kan bijvoorbeeld worden geminimaliseerd, onderworpen aan kostenbeperkingen met betrekking tot het gebruik van bepaalde productiemiddelen. De voorgaande uitvoeringsvormen, modificaties daarvan en variaties daarop worden verschaft door de onderhavige uitvinding, waarvan de strekking slechts is beperkt door de volgende conclusies.

9001062

Conclusies.

1. Werkwijze voor het bestemmen van productiemiddelen om complexe rendabiliteit te maximaliseren, waarbij meervoudige producten, die elk ten minste één bewerking vereisen, op meervoudige productiemiddelen moeten worden gefabriceerd, waarbij elk van de bewerkingen op ten minste één van de productiemiddelen kan worden uitgevoerd, waarbij elk van de bewerkingen op een gegeven tijdstip behoort tot één van twee verzamelingen, een toegewezen verzameling en een niet-toegewezen verzameling, waarbij de toegewezen verzameling alle bewerkingen omvat, die aan productiemiddelen zijn toegewezen, waarbij de niet-toegewezen verzameling alle bewerkingen omvat, die niet aan productiemiddelen zijn toegewezen, waarbij de toegewezen verzameling een geheel aantal elementen omvat, waarbij de niet-toegewezen verzameling een geheel aantal elementen omvat, waarbij de toegewezen verzameling een toewijzingsoverzicht bepaalt, waarvan de elementen bewerking-productiemiddeltweetallen zijn, waarbij elk bewerking-productiemiddeltweetal een bewerking omvat en het productiemiddel, waaraan zij is toegewezen; waarbij de werkwijze de volgende reeks stappen en wiskundige equivalenten daarvan omvat:

1) het toekennen van complexe kosten aan elke potentiële toewijzing van een niet-toegewezen bewerking aan een productiemiddel, waarbij de complexe kosten geldkosten en tijdkosten omvatten, waarbij de complexe kosten voor elk bewerking-productiemiddeltweetal een functie is van en varieert in overeenstemming met het toewijzingsoverzicht dat ten tijde van de potentiële toewijzing bestaat;

2) het evalueren van potentiële toewijzingen in overeenstemming met een parameter om een respectieve parameterwaarde te verkrijgen, waarbij de grootte van de parameterwaarde omgekeerd verband houdt met de rendabiliteit, waarbij de parameter een functie van complexe kosten is, waarbij de parameter een bijbehorende vergelijkingsfunctie heeft, die kan worden gebruikt om twee parameterwaarden te vergelijken, zodat een vergelijkingswaarde wordt verkregen, waarbij de grootte van de vergelijkingswaarde voorziet in een maat voor verschillen in rendabiliteit;

3) het bepalen van een rendabelst productiemiddel voor elk van de niet-toegewezen bewerkingen, waarbij het rendabelste productiemiddel het productiemiddel is, dat behoort tot de potentiële toewijzing met de laagste parameterwaarde voor een gegeven bewerking, waarbij eveneens een op één na

rendabelst productiemiddel voor elk van de niet-toegewezen bewerkingen wordt geïdentificeerd, waarbij het op één na rendabelste productiemiddel het productiemiddel is, dat behoort tot de potentiële toewijzing met de op één na laagste parameterwaarde voor een gegeven bewerking;

4) het identificeren van een bewerking met maximale penaliteit door het vergelijken van parameterwaarden van het rendabelste productiemiddel en het op één na rendabelste productiemiddel voor elke bewerking in overeenstemming met de vergelijkingsfunctie om een respectieve vergelijkingswaarde te verkrijgen, dan het selecteren van de bewerking die behoort bij de maximale vergelijkingswaarde;

5) het toewijzen van de bewerking met maximale penaliteit aan haar rendabelste productiemiddel, het veranderen van toewijzingsoverzichten door het veranderen van de status van de bewerking met maximale penaliteit van niet-toegewezen in toegewezen;

6) het opnieuw evalueren van die van de parameterwaarden die zijn beïnvloed door veranderingen in complexe kosten ten gevolge van de onmiddellijk voorafgaande verandering in toewijzingsoverzichten; en

7) het itereren van stappen 3-6 totdat alle bewerkingen zijn toegewezen, en het dan rapporteren van het eindoverzicht.

2. Werkwijze voor het bestemmen van meervoudige productiemiddelen bij de fabricage van meervoudige producten, waarbij meervoudige bewerkingen voor de fabricage van de producten zijn vereist, waarbij elk van de producten ten minste één bijbehorende bewerking van de bewerkingen vereist, waarbij elk van de bewerkingen behoort tot één van de producten, waarbij de bewerkingen op een gegeven tijdstip kunnen worden geclassificeerd in twee verzamelingen die een toegewezen verzameling van bewerkingen, die zijn toegewezen aan productiemiddelen om bewerking-productiemiddeltweetallen te bepalen, en een niet-toegewezen verzameling van bewerkingen, die niet aan productiemiddelen zijn toegewezen, omvat, waarbij de toegewezen verzameling een respectief toewijzingsoverzicht van bewerking-productiemiddeltweetallen bepaalt, waarbij elk bewerking-productiemiddeltweetal respectieve bedrijfskosten en een respectieve bedrijfstijd heeft, waarbij elk bewerking-productiemiddeltweetal een bijbehorend product-productiemiddeltweetal heeft, waarbij de bewerking van het bewerkings-productiemiddeltweetal behoort tot het product van het bijbehorende product-productiemiddeltweetal, waarbij elk product-productiemiddeltweetal respectieve opbouwkosten en een

respectieve opbouwtijd heeft, waarbij de werkwijze omvat:

1) het toekennen van gecombineerde kosten en een gecombineerde tijd aan elke potentiële toewijzing van een niet-toegewezen bewerking, waarbij de gecombineerde kosten voor een gegeven bewerking-productiemiddeltweetal de som van de respectieve bedrijfskosten en de bij het bijbehorende product-productiemiddeltweetal behorende opbouwkosten zijn, tenzij een andere bewerking, die tot dat product behoort, voorafgaand aan het productiemiddel is toegewezen, in welk geval de gecombineerde kosten voor het gegeven bewerking-productiemiddeltweetal gelijk is aan zijn bedrijfskosten, waarbij de gecombineerde tijd voor een gegeven bewerking-productiemiddeltweetal de som van de respectieve bedrijfstijd en de bij het bijbehorende product-productiemiddeltweetal behorende opbouwtijd is, tenzij een andere bewerking, die bij dat product behoort, voorafgaand aan het productiemiddel is toegewezen, in welk geval de gecombineerde tijd voor het gegeven bewerking-productiemiddeltweetal gelijk is aan zijn bedrijfstijd;

2) het evalueren van elk potentieel bewerking-productiemiddeltweetal in overeenstemming met een parameter die een functie is van en positief correleert met ten minste één van kosten en tijd, waarbij de evaluatie van elk potentieel bewerking-productiemiddeltweetal een respectieve parameterwaarde oplevert, waarbij de parameterwaarde een overeenkomstige vergelijkingsfunctie heeft voor het vergelijken van parameterwaarde, waarbij de vergelijkingsfunctie een vergelijkingswaarde oplevert, wanneer deze op een tweetal parameterwaarden wordt toegepast;

3) het bepalen van een productiemiddel met een laagste waarde en een productie met de op één na laagste waarde voor elke bewerking, waarbij het productiemiddel met de laagste waarde voor een gegeven bewerking het productiemiddel is, dat behoort bij het potentiële bewerking-productiemiddeltweetal dat de laagste parametewaarde van de parameterwaarden voor bewerking-productiemiddeltweetallen inclusief de gegeven bewerking heeft, waarbij het productiemiddel met de op één na laagste waarde voor een gegeven bewerking het productiemiddel is, dat behoort bij het potentiële bewerking-productiemiddeltweetal, dat de op één na laagste parameterwaarde van de parameterwaarden voor bewerking-productiemiddeltweetallen inclusief de gegeven bewerking heeft;

4) het identificeren van een bewerking met maximale penaliteit door het vergelijken van de laagste en op één na laagste parameterwaarden

voor elk productiemiddel in overeenstemming met de vergelijkingsfunctie om een vergelijkingswaarde voor elke niet-toegewezen bewerking op te leveren, waarbij de maximale vergelijkingswaarde van alle niet-toegewezen bewerkingen de bewerking met maximale penaliteit identificeert en daartoe behoort;

5) het toewijzen van de bewerking met maximale penaliteit aan het productiemiddel met de laagste kosten daarvan, het overbrengen van de bewerking met maximale penaliteit van de niet-toegewezen verzameling naar de toegewezen verzameling, en het dienovereenkomstig herzien van het toewijzingsoverzicht;

6) het opnieuw evalueren van de overblijvende potentiële bewerking-productiemiddeltweetallen in overeenstemming met de parameter zoals vereist door de toewijzing van stap 5; en

7) het serieel toewijzen van bewerkingen aan productiemiddelen door het itereren van stappen 3-6 totdat alle bewerkingen aan productiemiddelen zijn toegewezen, waarbij het eindtoewijzingsoverzicht wordt gerapporteerd wanneer alle bewerkingen aan productiemiddelen zijn toegewezen.

3. Werkwijze volgens conclusie 2, met het kenmerk, dat de parameter capaciteitgekwalificeerde gecombineerde kosten is.

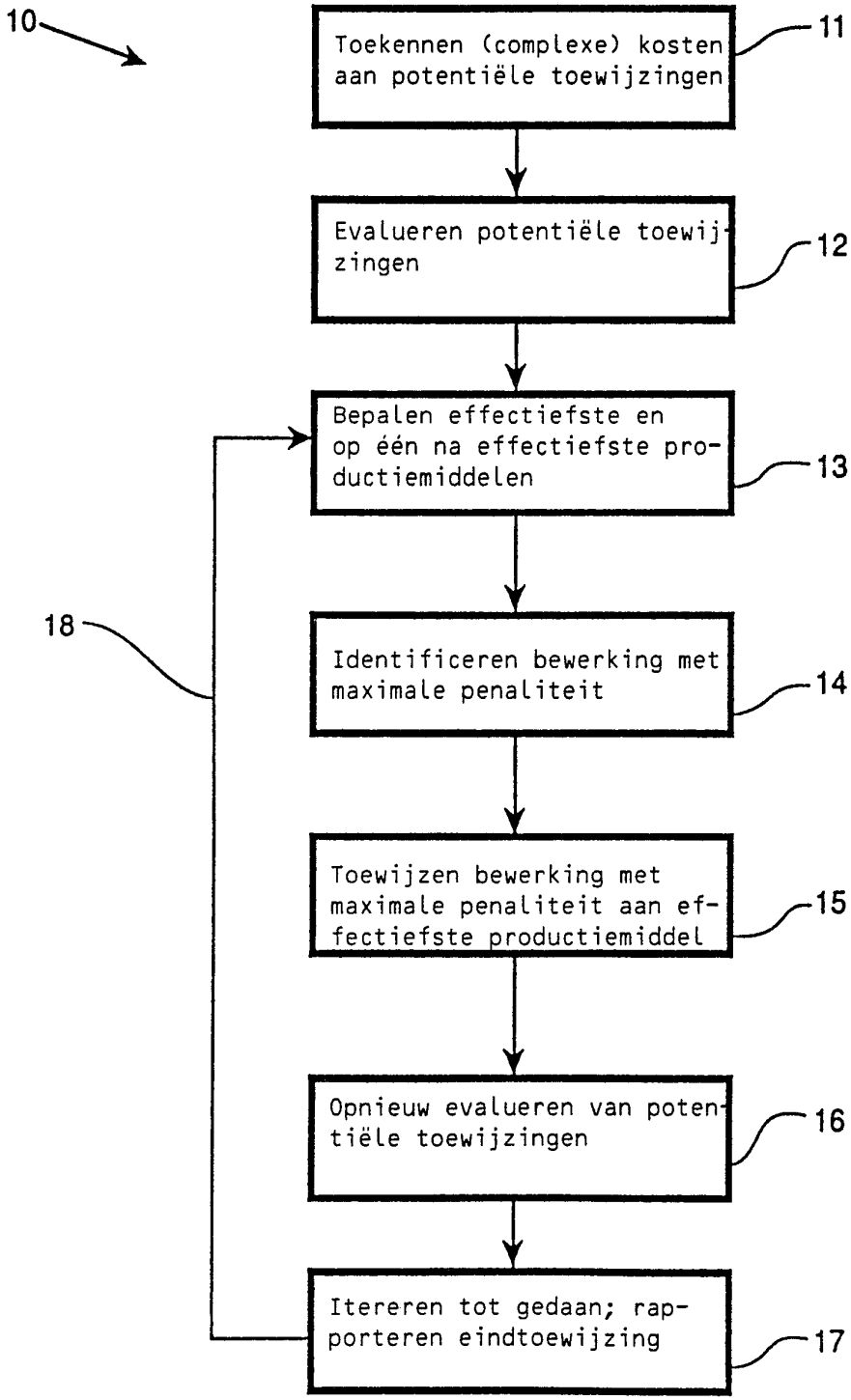
4. Werkwijze volgens conclusie 3, met het kenmerk, dat de vergelijkingsfunctie een verschil in parameterwaarden oplevert.

5. Werkwijze volgens conclusie 3, met het kenmerk, dat de vergelijkingsfunctie een door een bedrijfstijd gedeeld verschil in parameterwaarden oplevert.

6. Werkwijze volgens conclusie 2, met het kenmerk, dat de parameter capaciteitgekwalificeerde gecombineerde tijd is en de vergelijkingsfunctie een verschil in parameterwaarden oplevert.

7. Werkwijze volgens conclusie 2, met het kenmerk, dat de parameter een capaciteitgekwalificeerde product van kosten en tijd is en de vergelijkingsfunctie een verschil in parameterwaarden oplevert.

Eindhoven, mei 1990.


10
Toekennen (complexe) kosten aan potentiële toewijzingen
11
Evalueren potentiële toewijzingen
12
Bepalen effectiefste en op één na effectiefste productiemiddelen
13
18
Identificeren bewerking met maximale penaliteit
14
Toewijzen bewerking met maximale penaliteit aan effectiefste productiemiddel
15
Opnieuw evalueren van potentiële toewijzingen
16
Itereren tot gedaan; rapporteren eindtoewijzing
17