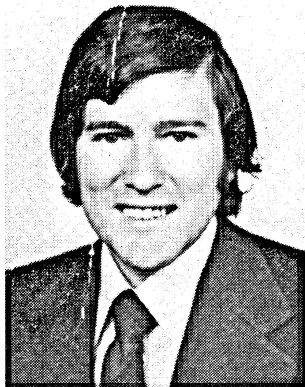


'N BESPREKING OOR LYNBALANSERINGSTEGNIEKE*



Dr. P.G. Steyn, Pr. Ing.
Senior Lektor, Dept. Bedryfseconomie,
Universiteit van Suid-Afrika.

The problem of balancing assembly lines has been studied by many researchers of operations management. Most of the analytical techniques developed have failed to provide a practical solution. The heuristic methods however have proved most useful in arriving at practical solutions. This article concentrates on the heuristic methods which were developed for assembly line balancing.

1. ALGEMENE AGTERGROND VAN DIE ONTWIKKELING VAN LYNBALANSERINGS- TEGNIEKE*

Sedert 1954 het verskeie navorsers die probleem van produksie-lynbalansering aangepak omdat hulle die moontlikheid tot verbetering in die industrieë raakgesien het. Indien daar slegs 'n verbetering van een persent vermag kan word deur beter balanseringstegniese toe te pas, sou dit al 'n noemenswaardige verhoging van 'n land se produktiwiteit kon meebring wanneer dit op alle produkte toegepas word wat volgens die produksielynmetode vervaardig word.

Sommige navorsers het tegnieke ontwikkel wat wel tot 'n absolute optimum lynbalans lei, maar vanweë die streng akademiese benadering wat gevolg is, het die nut van die tegnieke slegs beperk gebly tot sekere klein probleme en is die praktiese waarde daarvan ook beperk. Sodra die probleem 'n praktiese grootte bereik, faal hierdie akademiese tegnieke deurdat dit of die probleem nie kan hanteer nie, of die wiskundige stellings vanweë hul gekompliseerdheid nie opgelos kan word nie. Mao Tse Tung stel dit treffend: "Knowledge begins with practice, reaches the theoretical level through practice, and then returns to practice"¹

In die praktyk is dan ook gevind dat die heuristiese modelle 'n uitmuntende metode bied om probleme van praktiese aard op te los en daar is van die suiwer wiskundige modelle afgesien wanneer praktiese lynbalansering gedoen word. Die eerste tegnieke wat in die vroeë vyftigerjare ontwikkel is, was deur middel van die dinamiese programmeringsbenadering en later die liniêre programmeringsbenadering. Albei hierdie metodes word vandag glad nie meer in hul suiwer

vorm gebruik nie en het ook nie by skepping enige praktiese toepassingsmoontlikhede gehad nie.

2. DIE HEURISTIESE PROGRAMMERINGSTEG- NIEKE

2.1 Definisie van die heuristiese begrip

Met heuristies word bedoel enige beginsels wat daartoe lei dat die oplossing van 'n probleem in die kortste moontlike tyd sal geskied op so 'n wyse dat die beste antwoord met die minimum moeite gegenerer kan word. Buffa² verwys na heuristiese metodes as "aiding in, or guiding to discover", en beskryf verder: "in its common managerial meaning, it refers to a rigorous set of rules or guides to decisions which, though not necessarily optimal, are applied consistently, are efficient and avoid a lot of complicated problem solving".

Die heuristiese reël vind sy oorsprong by 'n groot verskeidenheid bronne. Hierdie bronne kan wissel van praktiese ondervinding tot afleidings gemaak nadat 'n wiskundige model van 'n sisteem ontwikkel is. Die betrokke afleidings kan dan gebruik word om toekomstige modelle van dieselfde of verwante sisteme te vereenvoudig deurdat dit 'n kortpad na die oplossing moontlik maak wanneer die reël toegepas word. Die toepassing van heuristiese programmering is 'n kuns wat 'n analitiese vermoë van die gebruiker verg. Die woord "heuristic" word in Webster³ beskryf as "serving to discover or reveal".

2.2 Navorsingswerk ten opsigte van die heuris- tiese programmeringsmetode van produksie- lynbalansering

Tonge⁴ se toepassing van die heuristiese benadering op die produksielynbalanseringsprobleem was die

baanbrekerwerk op hierdie gebied. Hierdie benadering bepaal dat vir 'n gegewe montasieproses wat uit 'n aantal elemente met bekende dienstye en rangskikkingsvolgorde bestaan, die minimum aantal werkstasies gegenereer moet word vir enige bepaalde produksietempo.

Tonge se werk is in 1960 gepubliseer en spruit voort uit navorsing vir 'n doktrale proefskrif waarvoor hy die Ford Foundation-toekenning ontvang het. Sy benadering bestaan uit drie stadiums:

Herhaalde vereenvoudiging van die aanvanklike probleem deur die samevoeging van aangrensende elemente tot 'n saamgestelde taak.

Die oplossing van die probleem wat nou vereenvoudig is deur die take toe te deel aan werkstasies sonder om die saamgestelde take weer in hul elemente te verdeel, of deur die minimum van sodanige verdelings.

Die verryking van die balans deur die wedersydse wisseling van elemente tussen werkstasies totdat die werkstasietye so gelyk as moontlik aan mekaar is.

Tonge beweer dat hy hom tot die heuristiese metodes gewend het omdat die suiwer wiskundige programmeringsbenadering gefaal het om enige probleem van praktiese waarde op te los. Sy basiese uitgangspunt is om die minimum aantal werkstasies te genereer wat teen 'n gegewe produksietempo moontlik is. Andersom gestel, dat die maksimum produksietempo gevind moet word wanneer die aantal werkstasies gegewe is. In sy navorsing konsentreer hy egter op die eersgenoemde benadering van die probleem.

Die waarde van die heuristiese prosedure spruit hoofsaaklik voort uit die relatiewe eenvoud waarmee groot praktiese probleme opgelos kan word. Hoewel hierdie metode nie altyd tot 'n absolute optimum oplossing lei nie, lewer dit nogtans oplossings wat (in die praktyk) naby genoeg is aan die ideale toestand. Die omvattende metodes, soos dinamiese programmering, genereer soms 'n absolute optimum oplossing vir sulke probleme, maar is in die suiwer vorm nie toepasbaar by groot probleme nie, terwyl die ordegrootte van die beter oplossing wat daardeur verkry word, nie die addisionele moeite regverdig nie.

Die eerste stap van Tonge se heuristiese benadering behels die groepering van elemente in sogenaamde "sets", "chains" en "z"-elemente. Die aantal elemente in die voorgangermatriks word hierdeur tot 'n minimum beperk en vergemaklik die toedelingsprobleem by werkstasies, wat die tweede stap van die heuristiese model is.

Die saamgestelde take wat in die eerste stadium van die model ontwikkel word, word in die derde stadium tussen die werkstasies verwissel sonder dat die voorgangersonde van die elemente of saamgestelde take geskaad word. Tonge vergelyk sy heuristiese

model met die liniêre en dinamiese programmeringsbenadering van Salvesson, en Jackson⁶ deur 'n identiese probleem deur middel van al drie metodes op te los.

In alle gevalle het die heuristiese benadering tot 'n orde van 2,5 keer gouer 'n antwoord verskaf terwyl die resultate ewe goed was. Namate die probleem in grootte toeneem, verbeter die relatiewe doeltreffendheid van die heuristiese metode meervoudig.

Tonge sluit af deur te sê dat sy navorsingswerk 'n breër inslag het as bloot die ontwikkeling van 'n heuristiese produksielynbalanseringsmetode, maar dat dit ook 'n ondersoek insluit na die toepasbaarheid van syferrekenaartegniese op die model wat hy ontwikkel het. 'n Syferrekenaarprogram is ontwikkel en getoets op die Johniac-rekenaar. Die program het 'n redelike lang looptyd en Tonge betwyfel dit of dit wel 'n kostebesparing in die tegniek van lynbalansering meebring, maar is van mening dat ander voordele daaruit voortvloei, soos die spoedige verkryging van verskillende balanse oor 'n groot aantal produksietempo's en die feit dat dit bedryfsingenieurs en -ekonome vrystel om meer analitiese ontwikkelingswerk te doen.

'n Latere publikasie van Tonge⁷ wat in 1965 verskyn het bespreek die toepassing van 'n waarskynlikheidskombinasie van heuristiese. Daar is hoofsaaklik gebruik gemaak van die volgende reëls:

Kies die taak met die grootste elementtyd.

Kies die taak met die meeste onmiddellike opvolgers.

Kies 'n taak toevalsgewys.

Die uitgangspunt van Tonge se prosedure is dat 'n oplossing gesoek word deur die toepassing van 'n volgorde van eenvoudige reëls; die besondere stel reëls is afhanklik van die besondere stadium van oplossing wat bereik is. Die optimum toestand volgens Tonge is nog steeds om die lynbalanseringsmodel so te ontwikkel dat daar 'n minimum aantal werkstasies is.

Hy bevind dat om die probleem deur middel van die waarskynlikheidsprosedure van heuristiese reëls te benader 'n nuttige oplossing bied om produksielyne in die praktyk te balanseer, aangesien dit goeie oplossings in relatiewe kort tye genereer. Hy meld dat hierdie benadering ook toegepas kan word op gevalle waar sonering van die produksielyn plaasvind of verskeie modelle op dieselfde lyn monteer word, hoewel sulke probleme nie deur hom ondersoek is nie.

Helgeson & Birnie⁸ formuleer die probleem as die minimalisering van die aantal werkstasies vir 'n gegewe siklustyd en die minimalisering van die siklustyd vir 'n gegewe aantal werkstasies. Die tweede formulering beskou hulle as die gewenste aangesien 'n beter oplossing volgens hulle altyd sodanig is dat 'n gelyke verdeling van werk tussen die werkstasies bewerkstellig word.

Hulle beweer dat die beste oplossing vir die probleem die vasstelling van alle voortreflike kombinasies van elementtoedelings aan werkstasies is, waaruit die beste stel kombinasies wat die minimum ontoegeedeelde tyd verteenwoordig, gekies moet word. So 'n prosedure is egter onprakties omdat die matriks wat ontwikkel word onoplosbaar groot is en die toepassing daarvan beperk is tot baie klein probleme. Daar moet liever van heuristiese prosedures gebruik gemaak word om sodoende optimum oplossing in 'n baie kort tyd te verkry. Hulle volg dus dieselfde redenasie as Tonge.

Helgeson en Birnie stel 'n heuristiese prosedure voor waarby die verskillende elemente van die taak 'n beswaarde posisie volgens elementtipe en voorgangersonde toegeken word nadat 'n voorgangermatriks van die verskillende elemente eers ontwikkel is. Die volgende stap van die tegniek is die toedeling van die werkelemente aan werkstasies nadat 'n bepaalde siklustyd eers gekies is. Hierdie toedeling vind plaas deur voorkeur te gee aan die werkeenhede met die hoogste beswaarde posisie, sonder dat die voorgangersonde aangetas word. Verder geld die normale reëls, soos dat die gegewe siklustyd nie oorskry mag word nie en dat 'n minimum ledige tyd by elke werkstasie moet voorkom.

Wanneer die beste oplossing vir die eerste werkstasie gevind is, word oorgegaan tot toedeling van elemente aan die tweede werkstasie deur weer eens te begin met die ontoegeedeelde element wat die hoogste beswaarde posisie beklee. Op hierdie wyse word 'n balans spoedig gevind. Die ander benadering wat deur dieselfde skrywers voorgestel word, is die vasstelling van 'n minimum siklustyd vir 'n gegewe aantal werkstasies.

'n Aanwysing vir die gemiddelde siklustyd kan gevind word deur die totale taakinhoud volgens tyd te deel deur die gekose aantal werkstasies. Dieselfde prosedure as voorheen kan gebruik word om die elemente aan die verskillende werkstasies toe te deel en die werkstasie met die maksimum taakinhoud wat op so 'n wyse gegeneer word, bepaal dan die werklike produksietempo van die lyn.

'n Poging kan daarna aangewend word om die siklustyd van hierdie werkstasie te verminder deur die verwisseling van elemente met 'n ander werkstasie, wat sal verseker dat die produksietempo van die lyn verhoog word. Hierdie verwisselingsprosedure kan voortgesit word totdat daar geen vermindering in siklustyd meer moontlik is nie. In 'n hipotetiese voorbeeld wat deur die navorsers volgens hul voorgestelde prosedure uitgevoer is, is 'n balans gevind vir 'n tweewerkstasie-, driewerkstasie- en vierwerkstasie-produksielyn. Deur die siklustyd by elke werkstasie geleidelik te verminder, word 'n maksimum nuttigheidsgraad volgens ledige tyd gevind.

Helgeson en Birnie sluit af deur aan te voer dat hoewel hul voorgestelde tegniek nie 'n optimum oplossing verseker nie, die logika daarvan 'n eenvoudige oplossing voorstel wat ekonomies deur die syferrekenaar toegepas kan word en dit skep die moontlikheid om verskeie alternatiewe balanse in 'n kort tyd te bewerkstellig. Dit bied ook geleentheid om die kenmerke van produksielyne onder 'n verskeidenheid van toestande te ondersoek.

Die lynbalanseringsnavorsing wat deur Kilbridge en Wester, gedoen is, het 'n positiewe bydrae gelewer tot die oplossing van praktiese probleme. Die eerste artikel, "The balance delay problem", is in 1961 gepubliseer. Daarin word die probleem van lynbalansering volgens empiriese en analitiese metodes benader. Die empiriese studies toon aan dat 'n hoë ledige tyd geassosieer is met 'n groot veldwydte in werkelementtipe en 'n hoë mate van lynmeganisering. Die analitiese studie stel 'n algemene algebraïese metode daar om ledige tyd te minimaliseer deur die behoorlike keuse van siklustye. Die verskillende ledigheidsfunksies wat ontwikkel is, word grafies voorgestel en toon dat die toestande van perfekte balans ooreenstem met die nulpunte van hierdie funksies.

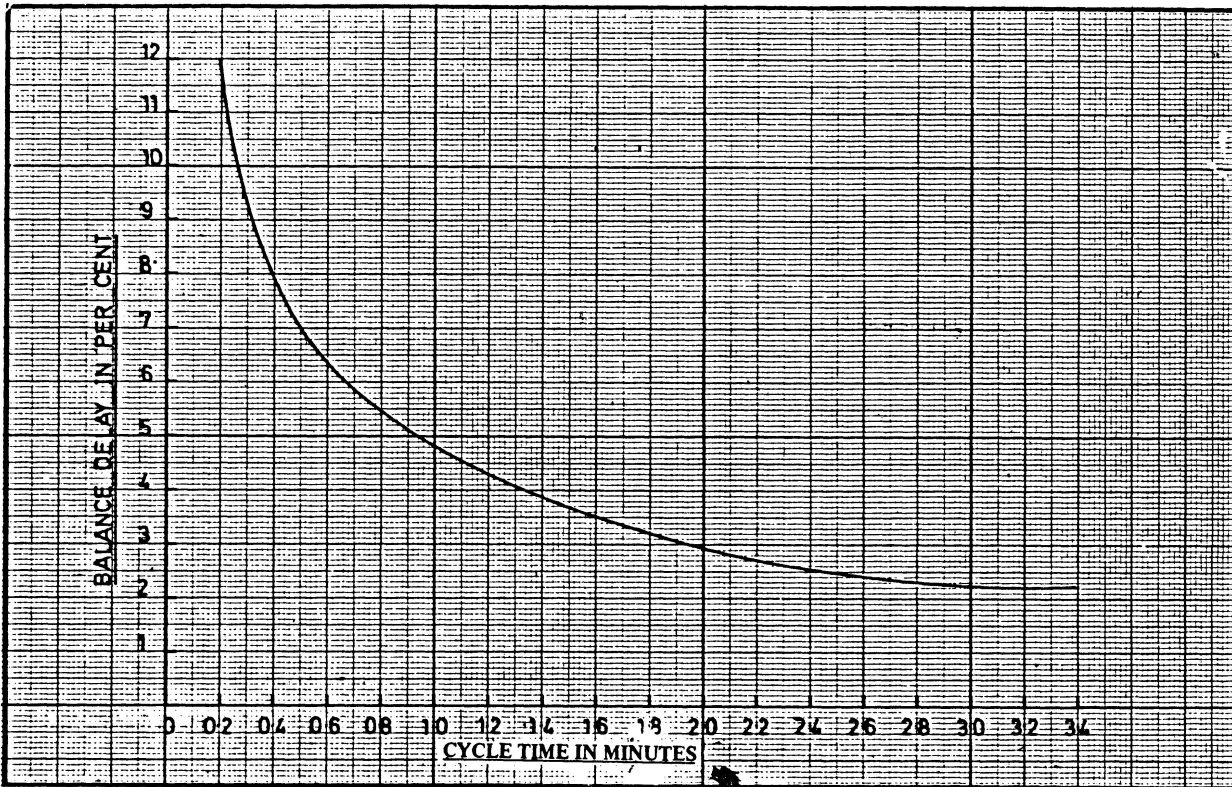
Vir Kilbridge en Wester is die probleem die keuse van 'n siklustyd om die optimum mate waarin die montasietask verdeel word, te verbeter, en die toedeling van die elemente aan werkstasies sonder dat die siklustydbeperking oortree word, terwyl 'n minimum ledige tyd oor die hele lynlengte ontstaan.

Drie tipes beperkings word voorgestel, nl. die volgorde van elemente, vaste fasiliteitebeperkings en beperkings van posisie. Die eerste beperking gaan bloot oor die voorgangermatriks, die tweede het betrekking op toebehore soos masjiene, prosesse en ander fasiliteite, terwyl die derde betrekking het op die relatiewe posisie van 'n werkstuk tot die werker.

'n Ondersoek van verskeie praktiese lynbalanseringstoestande het aan die lig gebring dat namate die siklustyd van die werkstasies vergroot, 'n beter benutting ondervind word. Figuur 1 toon 'n tipiese kurwe van die resultaat.

In 'n spesifieke geval het die persentasie ledige tyd van die lyn gedaal tot 'n sekere minimum en toe weer begin styg namate die siklustyd van die werkstasies vergroot is. Die rede hiervoor is die feit dat die vaste fasiliteitebeperking van die produksielyn oorskry is deurdat meer elemente aan sommige werkstasies toegedeel is as wat hulle kon behartig. Die resultaat van hierdie bevinding word in fig. 2 geïllustreer. In al die gevalle wat ondersoek is, is 'n skerp toename in ledige tyd ondervind by klein siklustye.

Kilbridge en Wester beskryf in 'n verdere artikel¹¹ 'n heuristiese programmeringsmodel waarmee optimum balans van 'n montasielyn verkry word. Die voorbeeld wat gedemonstreer word, is hoogs hipoteties maar illustreer die metode goed. Wiskundige uitdrukkings



Figuur 1¹⁰ Die invloed wat 'n toename in siklustyd op die ledige tyd van die produksielyn uitoeven

word tesame met die heuristiese reëls toegepas om 'n optimum oplossing te vind. Weer eens word van die voorgangersdiagram gebruik gemaak en elemente word van links na regs volgens voorgangersonde in kolomme gerangskik. Elemente in die eerste kolom word dan aan die eerste werkstasie toegedeel, beginnende by die elemente met die langste dienstyd. Dit verseker dat die voorgangersonde nie aangetas word nie en dat die laaste elemente wat aan 'n werkstasie toegeken word altyd van 'n klein tydsorde is om 'n perfekte balans deur uitruiling met 'n ander element te vergemaklik. Elemente kan ook regs beweeg word na ander kolomme, maar slegs totdat die voorgangersonde bereik word.

Hierdie tegniek bied 'n praktiese metode om montasielyne te balanseer, maar verg 'n oordeelkundige oordeelsvermoë van die gebruiker. Die probleem word opgelos binne die beperkings van voorgangersonde, vaste fasiliteite en relatiewe posisie van werker tot werkstuk.

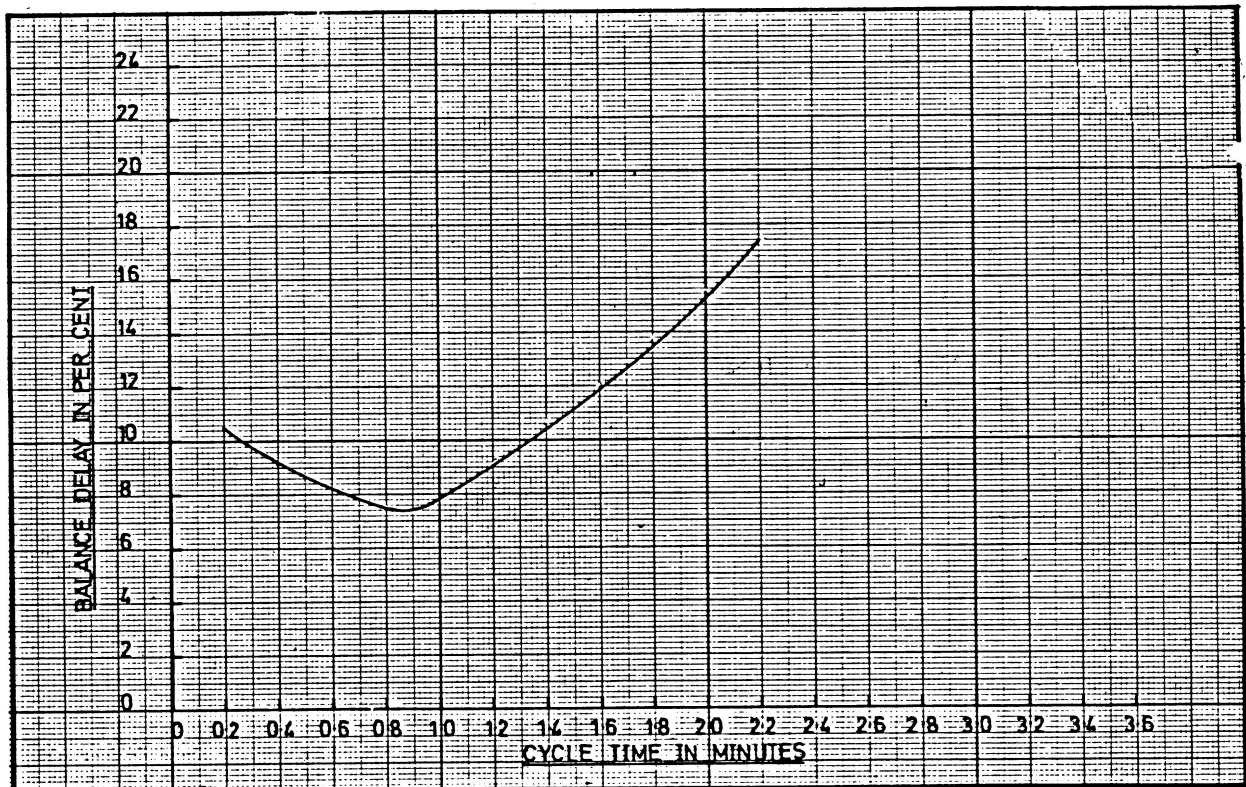
In 'n latere publikasie van die navorsers¹³ word aangetoon hoedat 'n produksielyn van praktiese aard deur die voorgestelde metode gebalanseer word. Hier word die rol wat beperkings op die lynbalans speel duidelik gedemonstreer. In 'n oorsig van die verskillende analitiese metodes van lynbalansering trek die navorsers die praktiese toepasbaarheid van die liniêre en dinamiese programmeringstegnieke sterk in twyfel.¹⁴ Die mening word geopper dat die heuristiese tegnieke die beste oplossingsmetode bied vir die probleem.

3. GEMENGDE-MODEL-LYNBALANSERING

3.1 Bespreking van Thomopoulos se voorgestelde tegniek

Die enigste gepubliseerde navorsing wat naby aan 'n multi-model-produksieproses kom, is die werk van Thomopoulos.¹⁵ Hy stel die probleem van gemengde-model-produksie as 'n lynbalanseringsprobleem en 'n modelvolgordeprobleem. Lynbalansering beskou hy as 'n prosedure waarby werkelemente aan operateurs toegedeel word op so 'n wyse dat daar 'n eweredige verdeling van take volgens tyd geskied en 'n minimum aantal operateurs vir die doel gebruik word. Die modelvolgordeprobleem ontstaan vanweë die feit dat die taakinhoud van verskillende modeltipes onderling verskil en 'n oneweredige taaktoedeling by die verskillende werkstasies in die lyn veroorsaak. As gevolg van die ingewikkelde aard van die toedelingsprobleem gebeur dit maklik dat te veel operateurs aan die produksielyn toegedeel word. Die doel van Thomopoulos se voorgestelde modelvolgordeprosedure is om die volgordeangskikking van modeltipes te vind waarby die optimum benutting van die arbeidsmag behaal kan word.

Hy gaan voort deur die arbeidsmag te verdeel in sogenaamde werkgroepe (labour groups) wat slegs verantwoordelik is vir verwante take op elke model tipe. Thomopoulos wyk af van die standaardmetode van siklustydbepaling, aangesien hy 'n gemiddelde vervoerbandsnelheid bepaal deur gebruik te maak van die totale werkinhoud van die verskillende



Figuur 2¹² Die invloed wat fisieke beperkings op die werkstasie op die ledige tyd van die produksielyn uitoefen

modeltipes wat gedurende 'n skof van 450 minute vervaardig moet word.

Wiskundig kan sy model nie baie duidelik voorgestel word nie en dit word die beste gedemonstreer deur 'n praktiese voorbeeld in sy publikasie. Take word aan operateurs toegedeel op 'n skofbasis en vir die lynbalansering gebruik hy die voorgestelde heuristiese tegniek van Kilbridge en Wester met sekere aanpassings om die gemengde-modelgeval te akkommodeer. Hy maak ook gebruik van die voorgestelde kolommetode soos deur Prenting en Bataglin¹⁶ beskryf, twee navorsers wat vir Kilbridge en Wester bygestaan het.

Die totale prosedure is soos volg: Die totale tyd van alle take wat op alle modeltipes verrig word binne 'n arbeidsgroep word gesommeer en deur die totale skoftyd gedeel. Dit lewer die minimum aantal operateurs (dus werkstasies) wat binne 'n besondere arbeidsgroep voorkom. Hierdie syfer moet afgerond word na 'n hoër heelgetal. Deur hierdie heelgetal in die totale tyd in te deel, word die gemiddelde tyd per werkstasie per skof bepaal en kan die verskillende take aan die werkstasies toegedeel word. 'n Beter balans van take word verkry deur onderlinge uitruiling mits die voorgangersonde nie oortree word nie. Die beperkte siklustyd word verkry deur die formule:

$$= \frac{\text{Totale werkinhoud van 'n arbeidsgroep}}{\text{Aantal werkstasies} \times \text{aantal eenhede vervaardig per skof}}$$

Die arbeidsgroep waarvoor bogenoemde uitdrukking 'n maksimum is, word die beperkende arbeidsgroep op

die lyn en genoemde siklustyd (y) word gebruik om die vervoerbandsnelheid (v) te bepaal wanneer die spasiëring (d) van eenhede op die lyn bekend is, deur die formule

$$v = \frac{d}{Y} \text{ meter per minuut.}$$

Om die modelvolgordeprosedure uit te voer, spesifiseer Thomopoulos vier verskillende oneffektiwiteitstye waaraan 'n koste geheg word om as norm te dien. Die doel van die prosedure is dan om die laaivolgorde van modeltipes sodanig uit te voer dat die ondoeltreffendheidskoste 'n minimum per skoftyd is. Ondoeltreffendhede word gedefinieer as ledigheid, onderbesetting, utiliteitswerk en oorbesetting. Tesame met genoemde vier ondoeltreffendhede word vier werkstasies geklassifiseer, nl. 'n oopwerkstasie, 'n toewerkstasie, 'n toe-na-regs oop-na-links werkstasie en 'n oop-na-regs toe-na-links werkstasie. Beweging is van links na regs.

Ledigheid kan in al vier tipes werkstasies ontstaan wanneer 'n operateur wag dat 'n eenheid sy werkstasie binnekom. Onderbesetting kom voor in 'n oop- en oop-na-links werkstasie wanneer die eenheid so stadig beweeg dat alle werk daarop voltooi kan word en 'n operateur uit sy werkstasie moet beweeg om aan die volgende eenheid te begin. Utiliteitswerk kom voor in al vier tipes werkstasies en word gedoen wanneer die eenheid der die grens van 'n werkstasie beweeg sonder dat alle aktiwiteite daarop voltooi is en 'n utiliteitswerker ingespan moet word om bystand te verleen.

Oorbsetting kom voor in 'n oop- en oop-na-regs werkstasie wanneer die eenheid deur die regtergrens van die werkstasie beweeg voordat alle aktiwiteite daarop voltooi is en die operateur verplig word om sy werkstasie te verlaat.

Deur 'n eenheid van elke modeltipe wat vervaardig word beurtelings teoreties deur die gebalanseerde produksielyn te loods en telkens die ondoeltreffendheidskoste te bepaal en die laagste daarvan te kies, kan 'n modelvolgorderangskikking geskep word wat die totale ondoeltreffendheidskoste vir die skof minimaliseer. Die metode is betreklik eenvoudig en Thomopoulos maak daarop aanspraak dat 'n byna optimum oplossing daardeur gegenereer word. 'n Verdere publikasie van Thomopoulos¹⁷ beskryf dieselfde tegniek deur 'n eenvoudiger voorbeeld nadat 'n kort bespreking oor lynbalansering gelewer is.

3.2 Kommentaar op die navorsing van Thomopoulos

Die lynbalanserings- en modelvolgorderprosedure soos voorgestel deur Thomopoulos is betreklik eenvoudig om uit te voer maar konsentreer slegs daarop om maksimum benutting van arbeidskragte te vind en versuim om 'n algehele optimalisering van die produksieprobleem te vind. Maksimum benutting van arbeidskragte is inderdaad 'n belangrike onderdeel van die totale produksieprobleem deurdat die ledige tyd wat ontstaan tot 'n minimum beperk word, maar sy voorstel versuim om ander faktore, soos kapitaal belê in toerusting, onvoltooide werk, voorraad in bewerking en in klaarvoorraad, in aanmerking te neem.

Hy wend geen poging aan om die lengte van die produksielyn te minimaliseer nie, aangesien hy die totale daaglikse aanvraag as grondslag gebruik om die lengte van die produksielyn te bepaal. Dit beteken dat die lengte van die produksielyn sal wissel namate die markaanvraag na die produkte toe- of afneem.

Die optimum modelvolgorderangskikking soos dit op die werklike produksielyn voorkom, is 'n funksie van al die eenhede wat voor elke besondere eenheid op die vervoerband geplaas is. Sou 'n onderbreking in die produksieproses ontstaan deurdat die vervoerband tot

stilstand kom, sal alle werkers nog steeds voortgaan om die nodige take op die eenheid in sy werkstasie te verrig totdat dit voltooi is. By hervatting van die vervoerbandbeweging sal die hele skedule omvergewerp wees aangesien dit van die begin tot die einde van die besondere tydstop afhang waarop die operateur se taak op 'n nuwe eenheid in elke werkstasie 'n aanvang neem.

Uit skrywer se eie ondervinding kan tereg gesê word dat sulke ophou dikwels voorkom. Vir 'n produksielyn wat geskeduleer is volgens Thomopoulos se metode sal dit derhalwe elke keer 'n indeling vereis as die bewegende band tot stilstand gedwing word, of andersins sal dit 'n geruime tyd duur voordat die gestadige toestand weer bereik is.

'n Verdere ernstige praktiese probleem wat voortspruit uit die voorgestelde metode is die sekondêre komplikasies daarvan op produksiebeplanning, veral ten opsigte van die voorraaditems wat by elke werkstasie in die lyn voorsien moet word. Die ruimte by alle werkstasies is altyd beperk sodat daar noukeurig aandag gegee moet word aan die lewering van die korrekte voorraaditems by elke werkstasie aangesien daar nie altyd genoeg ruimte is om 'n item van elke modeltipe wat benodig word in voorraad te hou nie. Onmiddellik kompliseer dit die materiaalhanteringsfunksie aangesien elke werkstasie dikwels met klein hoeveelhede voorraaditems voorsien sal moet word.

Daar bestaan geen ritme in 'n produksieproses wat volgens Thomopoulos se voorgestelde metode geskied nie, aangesien die modeltipes te veel wissel, sowel as die verskillende take wat 'n operateur op elkeen moet verrig. Dit is juis noodsaaklik dat take wat deur montasie verrig word so ritmies as moontlik sal geskied – 'n beginsel van bewegingseconomie.

Die ander nadeel wat hieruit voortvloei is die leerproses of sogenaamde leerkurwe (learning curve). 'n Werker wat 'n te groot verskeidenheid take, al is hulle verwant aan mekaar, op te veel verskillende modeltipes toevalsgewys uitvoer, bereik moeilik indien ooit sy maksimum peil op die kurwe, of stabiliseer op 'n laer peil van doeltreffende uitvoering.

* Met enkele wysigings, 'n herdruk uit *Dynamica*, deel XVII, met die toestemming van die Redakteur.

¹ Mao Tse-Tung, *On Practice* (1937)

² Buffa, E.S. *Basic production management*. New York: Wiley, 1971, p. 71.

³ Webster's *third international dictionary*.

⁴ Tonge, F.M. "Summary of a heuristic line balancing procedure", *Management Science*, October 1960, pp. 21-39.

⁵ Salvendy, M.E. "The assembly line balancing problem", *Journal of Industrial Engineering*, May-June 1955, pp. 18-25.

⁶ Jackson, J.R. "A computing procedure for a line balancing problem", *Management Science* 2, 1956, pp. 261-271.

⁷ Tonge, F.W. "Assembly line balancing using probabilistic combinations of heuristics", *Management Science*, Vol. II, No 7, 1965, pp. 727-735.

- ⁸ Helgeson, W.B. & Birnie, D.P. "Assembly line balancing using the ranked positional weight technique", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 12, No 6, 1961, pp. 394-398.
- ⁹ Kilbridge, M. & Wester, L. "The balance delay problem", *Management Science*, October 1961, pp. 69-84.
- ¹⁰ Kilbridge & Wester, *op. cit.*, p. 76.
- ¹¹ Kilbridge, M. & Wester, L. "A heuristic method of assembly line balancing", *Journal of Industrial Engineering*, Volume XII, No 4, 1961, pp. 292-298.
- ¹² Kilbridge & Wester, *op. cit.*, p. 77.
- ¹³ Kilbridge, M. & Wester, L. "Heuristic line balancing: A case", *Journal of Ind. Eng.*, May-June, 1962, pp. 139-149.
- ¹⁴ Kilbridge, M. & Wester, L. "A review of analytical systems of line balancing", *Management Science*, 1963, pp. 626-637.
- ¹⁵ Thomopoulos, Nic, T. "Line balancing-sequencing for mixed-model assembly", *Management Science*, Vol. 14, No 2, October 1967, pp. B59-B75.
- ¹⁶ Prenting & Bataglin. "The precedence program: A tool for analysis in assembly line balancing," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. XV, 1964, pp. 208-213.
- ¹⁷ Thomopoulos, N.T., "Some analytical approaches to assembly line problems", *The Production Engineer*, July, 1968, pp. 345-351.