

Ryszard SAWWA
Stanisław DWOJAK
Przemysłowy Instytut Automatyki
i Pomiarów MERA-PIAP
W a r s z a w a

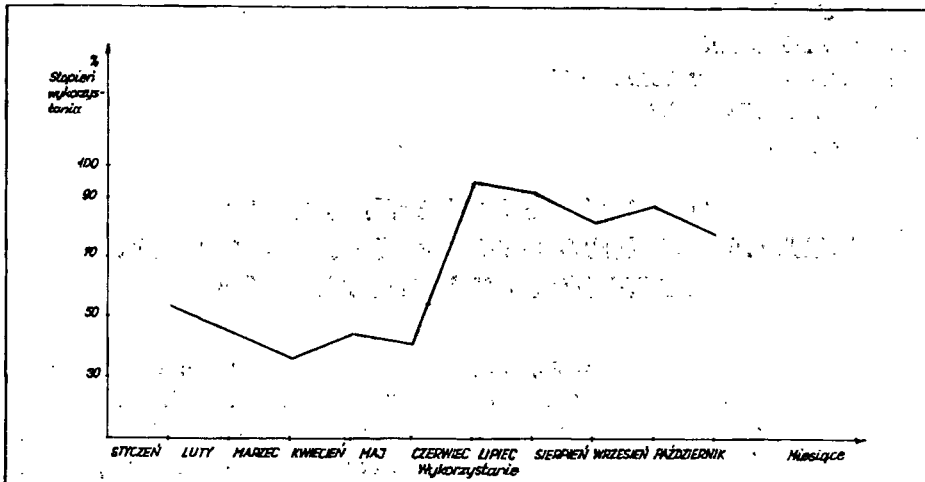
O OCENIE EKSPLOATACYJNEJ ZAUTOMATYZOWANYCH-ZROBOTYZOWANYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH

W artykule przedstawiono metodę oceny zautomatyzowanych-zrobotyzowanych systemów produkcyjnych i oceny dyspozycyjności czynników technicznych i organizacyjnych tworzących te systemy. W szczególności rozpatrzono przypadek takich systemów, których stopień wykorzystania uznaje się jako dobry, jeśli wyraża się on wartością około 0,5. Możliwie obiektywna ocena tego rodzaju systemów ma ustalone znaczenie zarówno w okresie jej uruchamiania i dochodzenia do założonej zdolności produkcyjnej, jak i w okresie ich eksploatacji.

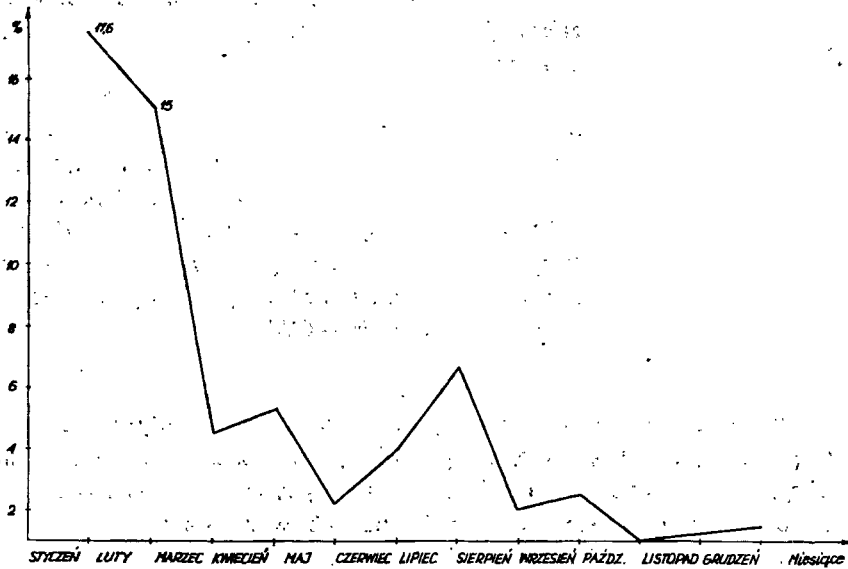
W artykule przedstawiono kilka możliwych wskaźników oceny. Podano także przykłady obliczeniowe w oparciu o badania przeprowadzone na zautomatyzowanym-zrobotyzowanym systemie, który był uruchamiany w jednej z fabryk w Polsce.

Ocena poszczególnych czynników systemu jest jednym z istotnych elementów umożliwiających stale usprawnianie procesu produkcyjnego i powinna być częścią komputerowo zintegrowanego wytwarzania — CIM.

Gdy w Polsce nastąpi przełamanie recesji i wzrost gospodarczy, gdy przedsiębiorstwa będą miały pieniądze, które będą mogły przeznaczyć na rozwój techniki i produkcji, zacznie tworzyć się i stabilizować wolny rynek środków wytwarzania. Będzie wówczas tworzyć się i rozszerzać zapotrzebowanie na środki automatyki i pomiarów, w tym także na środki robotyki, na ich coraz szersze zastosowania. Będzie to długo oczekiwany, normalny proces związany z dążeniem do wzrostu jakości produkowanych wyrobów, produktywności środków produkcji, wydajności i w rezultacie do obniżenia kosztów produkcji, jako wynik konkurencji wielu firm krajowych i zagranicznych. Rozszerzy się wówczas współpraca producentów-dostawców



Rys. 1. Średniomiesięczny stopień wykorzystania zautomatyzowanej/zrobotyzowanej linii pras w okresie rocznym od chwili jej uruchomienia



Rys. 2. Średniomiesięczny udział procentowego czasu przestoju zautomatyzowanej zrobotyzowanej linii pras spowodowanych usterkami technicznymi w okresie rocznym od chwili uruchomienia

środków automatyki, w tym robotyki, z przedsiębiorstwami, które uznają za celowe i niezbędne zastosowanie tych środków w procesach technologicznych. Jedną z podstawowych form tej kooperacji będzie modernizacja istniejącego parku maszynowego i istniejących linii technologicznych, szczególnie w procesach dyskretnych, które są szeroko stosowane w wielu przedsiębiorstwach. Automatyzowane, w tym robotyzowane, będą obiekty różnego rodzaju jak np.:

- gniazda lub linie spawania i zgrzewania,
- gniazda, linie lub systemy maszyn sterowanych numerycznie,
- linie montażu zespołów i wyrobów drobnych,
- linie montażu samochodów,
- gniazda lub linie pras.

Jednym z najbardziej istotnych etapów kooperacji mającej na celu zautomatyzowanie-zrobotyzowanie dużego obiektu, a w szczególności linii i systemów produkcyjnych, w których pracuje kilka, kilkanaście lub więcej robotów przemysłowych, jest okres uruchamiania i osiągnięcia projektowanej zdolności produkcyjnej. W okresie tym zwykle ujawniają się różne niesprawności zarówno w dostarczonym sprzęcie i oprogramowaniu automatyki (robotyki), jak i w zastosowanych maszynach i ich oprzyrządowaniu technologicznym, w transporcie międzyoperacyjnym, wydziałowym i między wydziałami fabryki i w wielu innych urządzeniach i procesach. Wszystkie te niesprawności obniżają efektywność pracy zautomatyzowanego systemu produkcyjnego. Jednakże nie wolno zapominać, że nieefektywna praca takiego systemu może być także spowodowana niedostatecznie sprawną pracą personelu, który ją obsługuje i nadzoruje. Przyczyny przestoju z tego powodu mogą być różne, np.:

- brak materiałów lub detali na wejściu,
- brak sprawnego odbioru na wyjściu,
- niesprawne przebrojenie systemu w przypadku zmiany produkowanego asortymentu części (np. w tłoczni),
- niesprawny serwis w przypadku niezbędnej wymiany, napraw lub regulacji i
- wiele innych.

Dla obiektywnej oceny czasów przestoju systemu oraz lokalizacji ich przyczyn niezbędne jest automatyczne ich wykrywanie, sygnalizacja i rejestrowanie np. przez komputer nadrzędny kierujący pracą systemu, co nie jest przecież trudne do realizacji.

Ta obiektywna ocena ma dwojakie znaczenie:

- powoduje sprawniejsze usuwanie przyczyn awarii,
- umożliwia zobiektywizowaną ocenę realizacji kontraktu między właścicielem automatyzowanego systemu i dostawcą sprzętu automatyki (robotyki).

W tłoczni f-my Mercedes-Benz AG, Bremen, przy ocenie wpływu różnych czynników na stopień wykorzystania zautomatyzowanego systemu wydzieliła się siedem grup rodzajowych przyczyn postojów. Są to wg poz. [1] literatury:

- przebrojenie linii pras,
- awarie w zakresie transportu blach między prasami,
- naprawa pras,
- naprawa narzędzi pras,
- brak materiałów,
- brak personelu i brak zamówień,
- przyczyny niezidentyfikowane.

Natomiast w szczegółowej analizie przyczyn czasów przestoju tłoczni firma Fiat uwzględniła aż 92 przyczyny.

Pomimo dużej dbałości firm zachodnich o wysoką jakość stosowanego sprzętu, oprzyrządowania i oprogramowania sprzętu produkcyjnego, stopień wykorzystania zautomatyzowanych systemów w dyskretnych procesach technologicznych jest różny. I tak dla dobrze pracującego elastycznego systemu produkcyjnego obróbki skrawaniem dyspozycyjność techniczna powinna osiągać 90-95 procent nominalnego czasu pracy, a współczynnik wykorzystania systemu powinien mieścić się w granicach 80-88 procent tego czasu (2). Ale dla zautomatyzowanych linii pras w dobrych tłoczniach europejskich współczynnik wykorzystania obiektu wynosi średnio rocznie 45-55 procent nominalnego czasu pracy (1).

Na rys. 1 pokazany jest średniomiesięczny stopień wykorzystania, w okresie 10 miesięcy, zautomatyzowanej-zrobotyzowanej przez zachodnioeuropejską firmę linii pras od chwili jej uruchomienia w jednej z fabryk w Polsce. Natomiast średniomiesięczny udział procentowy czasów przestoju tej linii, spowodowanych usterekami technicznymi, od chwili jej uruchomienia w czasie rocznej eksploatacji — przedstawia rys. 2.

Na początku procesu eksploatacji zautomatyzowanego systemu, współczynnik jego wykorzystania jest z reguły zasadniczo niższy niż w czasie normalnej eksploatacji, a czas przestoju — odwrotnie, jest zasadniczo wyższy.

Wpływ przyczyn przestoju na współczynnik wykorzystania systemu można oceniać analizując udział poszczególnych przyczyn w ogólnym czasie przestoju.

Czas przestoju systemu może być spowodowany trzema generalnymi przyczynami, które nazywać będziemy czynnikami systemu. Są to:

- sprzęt automatyki i robotyki,
- sprzęt technologiczny,
- praca personelu obsługi i nadzoru, co nazwiemy krótko czynnikiem organizacyjnym.

Do pierwszych dwóch czynników należy włączyć odpowiednio właściwe maszyny, urządzenia, transport, osprzęt i oprogramowanie, odpowiednio do ich merytorycznej przynależności do automatyki lub technologii, dostarczone dla systemu przez różne firmy, jak też dostarczone własnymi siłami przedsiębiorstwa, w którym system jest uruchamiany.

W początkowym okresie eksploatacji zautomatyzowanego-zrobotyzowanego systemu, zwłaszcza gdy jego wykorzystanie jest niedostateczne wskutek dużej ilości zatrzymań i przestojów, ujawnia się potrzeba możliwie obiektywnej oceny nie tylko stopnia wykorzystania całego systemu, ale również oddzielnie oceny automatyki-robotyki (w skrócie automatyki) oraz maszyn i urządzeń technologicznych (w skrócie technologii), jak również organizacyjnego czynnika przestojów, bowiem on także powoduje sytuacje, że system nie pracuje, pomimo że jest technicznie sprawny, że jest do dyspozycji. Podobnie, istnieją sytuacje, że obiekt nie pracuje tylko dlatego, że nie jest sprawna technologia, podczas gdy automatyka jest sprawna — dyspozycyjna. Może też być sytuacja odwrotna, że automatyka jest niesprawna a technologia jest w stanie pełnej zdolności do produkcji, jest technicznie dyspozycyjna.

Ww. przypadki są zjawiskiem częstym. Dlatego nie wystarczające jest obliczanie jedynie stopnia wykorzystania systemu, ale również bardzo celowe jest obiektywne określanie dyspozycyjności całego systemu oraz oddzielnie — dyspozycyjności automatyki, technologii oraz sprawności organizacyjnej. Jest to tym bardziej celowe jeśli się zauważy, że czas wykorzystania automatyki i czas wykorzystania technologii są zawsze równe czasowi wykorzystania produkcyjnego całego obiektu co jest oczywiste.

Można też rozpatrywać przypadek oceny stopnia wykorzystania i dyspozycyjności systemu w podziale na dwie grupy:

- automatyka,
- technologia i organizacyjne przyczyny przestojów.

Odpowiada to sytuacji, gdy technologia i organizacja leżą całkowicie w gestii gospodarza systemu, a chodzi głównie o ocenę dostaw automatyki-robotyki.

Warto zwrócić uwagę na istotny fakt, że z reguły podczas uruchamiania i próbnej eksploatacji zautomatyzowanego-zrobotyzowanego systemu, technologia, kiedy musi pracować rytmicznie w trybie automatycznym, wykazuje subiektywnie niższą dyspozycyjność (więcej awarii) niż przed modernizacją, podczas obsługi ręcznej. Wynika to m.in. stąd, że przy obsłudze ręcznej wiele odchyłek czy usterek w działaniu technologii kompensowanych jest przez elastyczne działanie człowieka, lub są one bagatelizowane przez obsługę. Mogą być też niedostrzegane lub wręcz świadomie nie rejestrowane. Prowadzi to do zwiększenia awaryjności technologii, do zwiększenia zagrożenia człowieka, wypadkowości i obniżenia ilości i jakości produkcji.

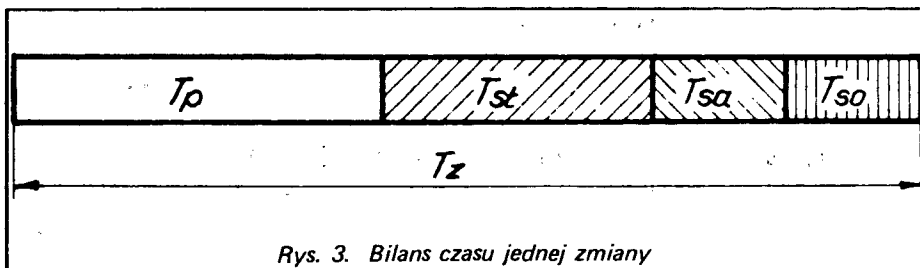
Natomiast w prawidłowo zautomatyzowanym systemie każde odchylenie od normy wybranych do kontroli i nadzorowanych parametrów technologicznych oraz niewłaściwa praca urządzeń, powinny wywoływać automatyczną sygnalizację, alarm aż do zatrzymania pracy systemu włącznie, ze wskazaniem przyczyny awarii.

Obiektywna i ujednoczona ocena dyspozycyjności poszczególnych czynników systemu jak automatyka czy technologia oraz ocena efektywności działania odpowiednich służb powodują bardziej sprawne i efektywne usuwanie przyczyn

przebojów. Ocena taka ułatwia bowiem wywołanie przekonania tych służb odnośnie konieczności realizowania przez nie właśnie odpowiednich działań.

Sterownik lub komputer nadrzędny systemu może obliczać na bieżąco oraz dla zmian dziennych, dni i miesięcy wskaźniki wykorzystania i dyspozycyjności systemu oraz wskaźniki dyspozycyjności i wykorzystania dla automatyki i technologii lub też dyspozycyjności większej ilości czynników, np. siedmiu (tak się czyni w ww. tłoczni f-my Mercedes-Benz AG).

Wskaźniki oceny wykorzystania systemu i optymistyczne wskaźniki oceny jego czynników



W przypadku uwzględnienia trzech przyczyn przebojów systemu, czas jednej zmiany T_z , jako najmniejszy celowy okres analizy, dzieli się na cztery części (rys. 3).

Oczywiste jest, że:

$$T_z = T_p + T_{st} + T_{sa} + T_{so} \quad /1/$$

gdzie:

T_p — czas pracy zautomatyzowanego-zrobotyzowanego systemu [min],

T_{st} — czas przeboju systemu spowodowany przez usterki technologii i ich usuwanie [min],

T_{sa} — czas przeboju systemu spowodowany przez usterki automatyki i ich usuwanie [min],

T_{so} — czas przeboju systemu spowodowany przez wady organizacji i nadzoru [min].

Stopień wykorzystania obiektu, zgodnie z rys. 3, można określić następująco:

$$W = \frac{T_z - (T_{sa} + T_{st} + T_{so})}{T_z} = \frac{T_p}{T_z} = \frac{T_p}{T_p + (T_{sa} + T_{st} + T_{so})} \quad /2/$$

Ma on również charakter sprawności, bowiem określa stosunek czasu efektywnej pracy obiektu do czasu dostępnego; tj. czasu jednej zmiany, a jednocześnie stosunek czasu pracy obiektu do sumy tego czasu i czasów przebojów.

Jeśli w równaniu /2/ wydzielimy część dotyczącą postojów systemu z przyczyn

organizacyjnych, to możemy je napisać następująco:

$$W = \frac{T_z - (T_{sa} + T_{st})}{T_z} - \frac{T_{so}}{T_z} \quad /3/$$

wtedy wyrażenie:

$$\frac{T_z - (T_{sa} + T_{st})}{T_z} = D \quad /4/$$

określa dyspozycyjność techniczną D systemu. Wskaźnik ten określa jaką część dostępnego czasu T_z systemu pozwala wykorzystać dla efektywnej pracy technika tj. technologia i automatyka.

Wyrażenia:

$$\frac{T_z - T_{sa}}{T_z} = D_{1a} \quad /5/$$

$$\frac{T_z - T_{st}}{T_z} = D_{1t} \quad /6/$$

określają odpowiednio dyspozycyjność techniczną automatyki D_a i technologii D_t .

Analogicznie, wyrażenie:

$$\frac{T_z - T_{so}}{T_z} = D_o \quad /7/$$

określa dyspozycyjność organizacyjną.

Wyrażenia: $\frac{T_{sa}}{T_z}$ oraz $\frac{T_{st}}{T_z}$ można nazwać odpowiednio niedyspozycyjnością tech-

niczną automatyki N_a i technologii N_t .

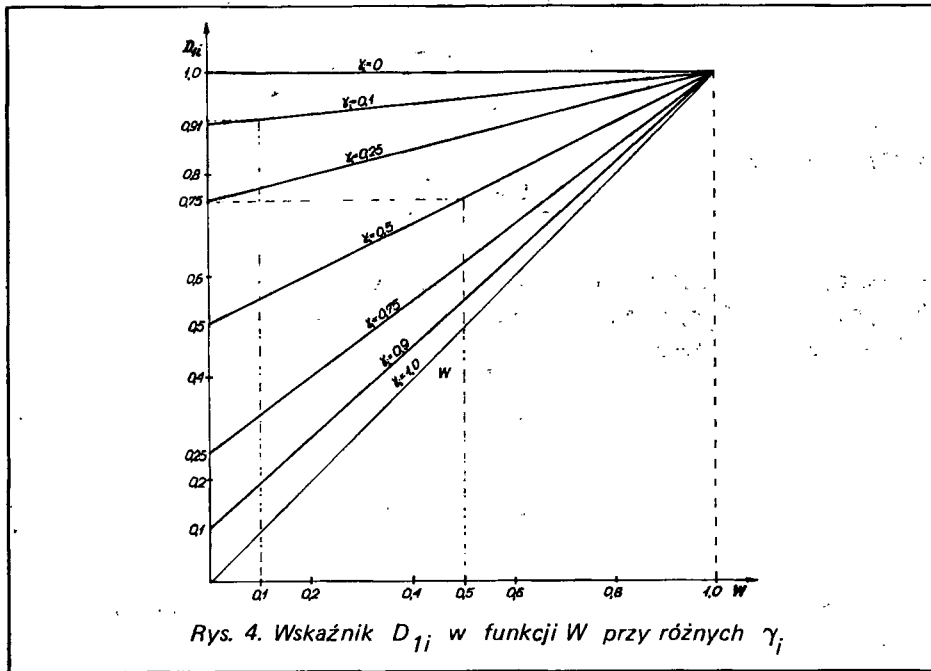
Jeśli analogicznie $\frac{T_{so}}{T_z}$ nazwiemy niedyspozycyjnością organizacyjną N, to:

$$W = D - N \quad /8/$$

Tak więc stopień wykorzystania obiektu jest równy różnicy między jego dyspozycyjnością techniczną i niedyspozycyjnością organizacyjną.

Napiszmy równania /5/, /6/ i /7/ w ogólnej postaci. Wtedy

$$D_{1i} = \frac{T_z - T_{si}}{T_z} = 1 - \frac{T_{si}}{T_z} \quad /9/$$



Mnożąc drugi człon równania /9/ przez: $\frac{\sum_{i=1}^n T_{si}}{\sum_{i=1}^n T_{si}}$ i uwzględniając, że $\sum_{i=1}^n T_{si} = T_z$

— T_p po przekształceniach otrzymamy, że

$$D_{1i} = 1 - \frac{T_{si}}{\sum_{i=1}^n T_{si}} \left(1 - \frac{T_p}{T_z}\right)$$

Jeśli przez γ_i oznaczymy stosunek $\frac{T_{si}}{\sum_{i=1}^n T_{si}}$ i uwzględnimy, że $\frac{T_p}{T_z} = W$ to ostatecznie

otrzymamy, że

$$D_{1i} = 1 - \gamma_i(1 - W) \quad /10/$$

gdzie γ_i stanowi udział przestoju spowodowanego czynnikiem i -tym w całkowitym czasie przestoju w okresie jednej zmiany, przy czym $\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1$

Równanie /9/ pozwala na określenie, że wskaźnik dyspozycyjności technicznej D_{1i} i -tego czynnika systemu równy jest stosunkowi różnicy czasu zmiany i czasu przerw w pracy obiektu spowodowanych przez ten czynnik w okresie danej zmiany do czasu tej zmiany.

Natomiast równanie /10/ pozwala na poglądowe przedstawienie zależności wskaźnika D_{1j} od wskaźnika wykorzystania obiektu W przy różnych γ_j , co pokazuje rys. 4.

Uprzednio przyjęliśmy założenie, że jeśli jedna z przyczyn spowoduje zatrzymanie i przerwę w pracy obiektu to cały czas przerwy zaliczany jest na rachunek tej przyczyny. Oznacza to przyjęcie milczącego założenia, że w czasie tej przerwy, gdyby obiekt pracował, inne przyczyny nie spowodowałyby przerwy w pracy obiektu. Przykładowo oznacza to, że jeśli przerwę w pracy obiektu spowodowała technologia, to w czasie tej przerwy automatyka i organizacja były w pełni sprawne, były dyspozycyjne. Co więcej, oznacza to w konsekwencji, że gdyby technologia pracowała (gdyby nie było przerwy), to automatyka i organizacja także pracowałyby sprawnie. Otóż to milczące założenie nie jest oczywiste i nie ma żadnej pewności, że tak by było. W rezultacie prowadzi do takiego skutku, że w początkowym okresie eksploatacji zautomatyzowanego-zrobotyzowanego systemu, kiedy wskaźniki wykorzystania obiektu W są małe z powodu różnych czynników, kiedy przerw w pracy jest dużo, a szczególnie gdy są one długie, na ogół uzyskuje się zawyżone, zbyt optymistyczne wskaźniki dyspozycyjności. Szczególny przypadek przy niskich W stanowi sytuacja, w której małe wykorzystanie obiektu powodowałby głównie jeden czynnik. Wówczas wskaźniki dyspozycyjności byłyby raczej obiektywne, bowiem przerwy w pracy systemu powodowane przez inne czynniki byłyby bliskie zera.

Z tego co powiedzieliśmy wyżej wynika jednocześnie, że wskaźniki dyspozycyjności D_a , D_t , D_o są tym bardziej obiektywne im wyższe są wskaźniki wykorzystania systemu W , gdy czas pracy obiektu T_p jest bliski czasowi T_z .

Pesymistyczne wskaźniki oceny czynników systemu.

Skorygujmy diskutowane wyżej założenie w sposób skrajnie pesymistyczny tzn., że w okresie będącym równym odpowiednikiem czasu przestoju systemu z powodu jednego z czynników (np. automatyki) inne czynniki (a więc technologia i organizacja) też mogłyby spowodować przestój, gdyby w okresie tym system pracował. I dalej: jednak faktycznie nie wiemy, czy w czasie przestoju z powodu np. automatyki, technologia lub organizacja byłyby sprawne, czy mogły by pracować przez cały okres przerwy czy też przez część tego okresu. Prowadzi to do konkluzji, że jeśli chcemy uniknąć tej niepewności przy obliczaniu dyspozycyjności technicznej danego czynnika systemu, czas stracony na przerwę z powodu tego czynnika należy odnosić do czasu zmiany pomniejszonego o straty z powodu innych czynników. Zobaczmy do

jakich rezultatów na podstawie takiej korekty pierwotnego założenia dojdziemy. W tym celu napiszmy równania /5/, /6/ i /7/ w nieco zmienionej postaci:

$$D_{1a} = \frac{T_z - T_{sa}}{T_z} = 1 - \frac{T_{sa}}{T_z},$$

$$D_{1t} = \frac{T_z - T_{st}}{T_z} = 1 - \frac{T_{st}}{T_z},$$

$$D_{1o} = \frac{T_z - T_{so}}{T_z} = 1 - \frac{T_{so}}{T_z}.$$

Zgodnie z przedstawionym wyżej założeniem dla przypadku trzyparametrowego równania /5/, /6/ i /7/ napiszemy tak:

$$D_{2a} = 1 - \frac{T_{sa}}{T_z - T_{so} - T_{st}} \quad /11/$$

$$D_{2t} = 1 - \frac{T_{st}}{T_z - T_{so} - T_{sa}} \quad /12/$$

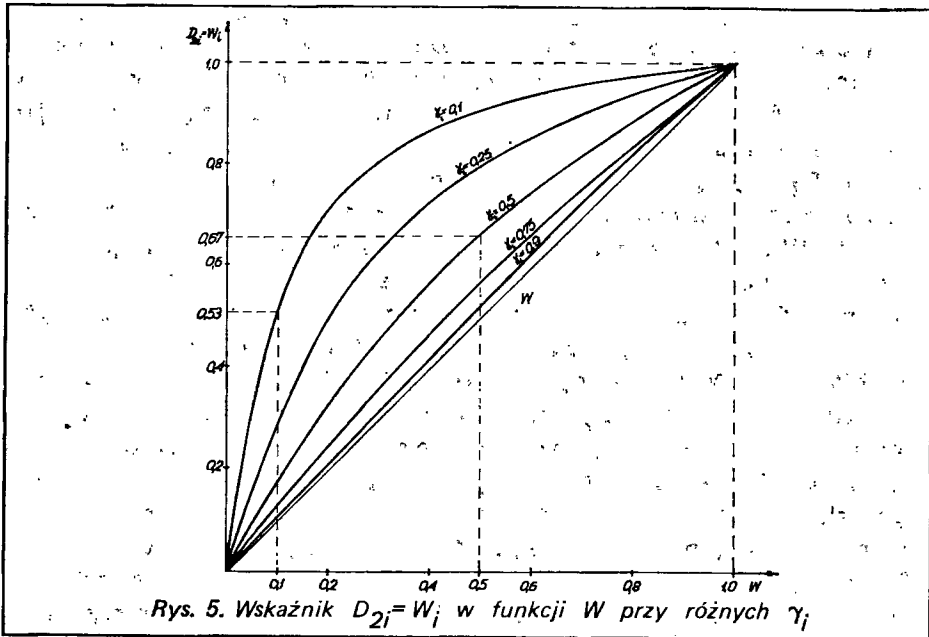
$$D_{2o} = 1 - \frac{T_{so}}{T_z - T_{sa} - T_{st}} \quad /13/$$

Następnie w oparciu o równanie /1/ z równań /11/, /12/ i /13/ po przekształceniach otrzymamy:

$$D_{2a} = \frac{T_p}{T_p + T_{sa}} = W_a \quad /14/$$

$$D_{2t} = \frac{T_p}{T_p + T_{st}} = W_t \quad /15/$$

$$D_{2o} = \frac{T_p}{T_p + T_{so}} = W_o \quad /16/$$



Rys. 5. Wskaźnik $D_{2i} = W_i$ w funkcji W przy różnych γ_i

Ogólna postać równań /14/, /15/ i /16/ dla i -tego czynnika jest następująca:

$$D_{2i} = \frac{T_p}{T_p + T_{si}} = W_i \quad /17/$$

Porównując równania /14/, /15/ i /16/ z równaniem /2/ widzimy, że otrzymaliśmy wynik, którym nie powinniśmy być zaskoczeni przy ww. korekcie założenia podczątkowego, że wskaźnik dyspozycyjności technicznej danego czynnika systemu wyraża się stosunkiem czasu pracy systemu w okresie jednej zmiany do tegoż czasu powiększonego o przerwy w pracy systemu w okresie tej zmiany, spowodowane przez ten czynnik. I dalej, że ten wskaźnik dyspozycyjności technicznej równa się wskaźnikowi wykorzystania tego czynnika.

Jeśli do równania /17/ zastosujemy podobne przekształcenia, jakie wykonano dla wyprowadzenia równania /10/, to otrzymamy, że

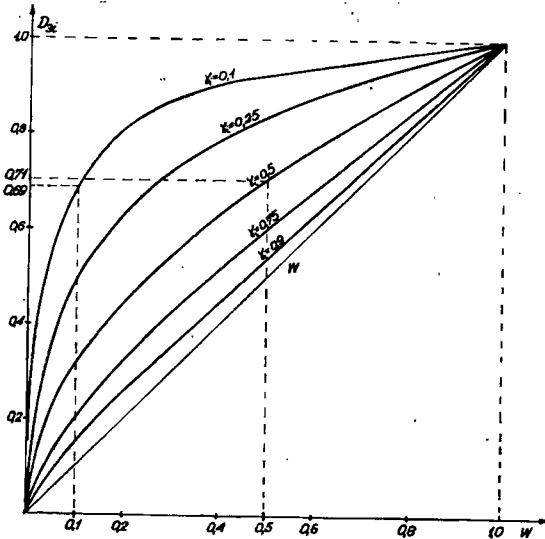
$$D_{2i} = \frac{W}{W + \gamma_i(1 - W)} = W_i \quad /18/$$

Rys. 5 przedstawia zależność wskaźnika dyspozycyjności technicznej i -tego czynnika i wykorzystania tego czynnika przy założeniu skorygowanym pesymistycznie w zależności od wskaźnika wykorzystania obiektu W przy różnych γ_i .

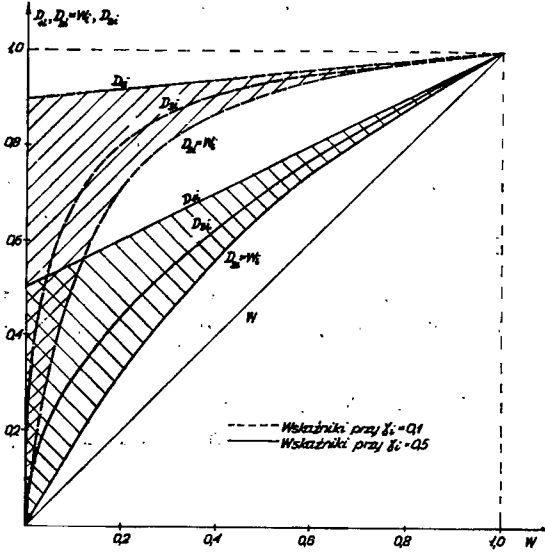
Z porównania rys. 4 i rys. 5 wyraźnie widać, że przy dużych wskaźnikach wykorzystania W , przy skrajnie skorygowanym założeniu początkowym (że nic nie wiemy o zachowaniu się innych czynników systemu w okresie przerwy w pracy obiektu spowodowanej przez i -ty czynnik), przy tych samych γ_i wartości wskaźników dyspozycyjności technicznej D_{2i} danego czynnika niewiele różnią się od wartości D_{1i} przy założeniu nie skorygowanym. Dla $W > 0,5$ oceny eksploatacyjne dawane przez wskaźniki D_{1i} i D_{2i} są bliskie i coraz bliższe, im większe jest W oraz im mniejsze jest γ_i . Dlatego dla obiektów o wysokim średniookresowym W można stosować obydwa wskaźniki. W praktyce wygodniejszy jest do stosowania wskaźnik D_{1i} , bowiem pozwala on na bezpośrednie sumowanie w okresach dłuższych niż jedna zmiana i także bezpośrednie sumowanie dla czynników drugiego rzędu np. dla poszczególnych maszyn, co stosuje się przy ocenie FMS obróbki skrawaniem. Natomiast przy małych W i małych γ_i różnice te są znaczne i przy $W=0,1$ i $\gamma_i=0,1$ wielkość wskaźnika dyspozycyjności technicznej D_{2i} jest około dwukrotnie mniejsza od D_{1i} . Zauważmy, że rozbieżności te powiększają się szczególnie szybko jeżeli wskaźnik wykorzystania obiektu $W \ll 0,5$. Uniemożliwia to analizę jakości czynników takiego zautomatyzowanego systemu, jak tłocznia, nawet dobrze pracująca. Ogólnie możemy stwierdzić, że dla systemów, których długookresowy średni wskaźnik wykorzystania wynosi około 0,5, w początkowym okresie eksploatacji stosowanie wskaźników D_{1i} oraz D_{2i} jest szczególnie kontrowersyjne dla oceny eksploatacyjnej poszczególnych czynników obiektu, bowiem wskaźniki dyspozycyjności technicznej D_{1i} dają oceny zbyt optymistyczne, a wskaźniki D_{2i} dają oceny zbyt pesymistyczne.

Uśrednione geometrycznie wskaźniki oceny czynników systemu

Powyższe skłania nas do podjęcia następnej próby znalezienia rozwiązania bardziej zbliżonego do rzeczywistości eksploatacyjnej systemów, które analizujemy, a szczególnie dla tych systemów, dla których długookresowy wskaźnik wykorzystania obiektu wynosi około 0,5. W tym celu powrócimy na chwilę do założenia początkowego w formie skorygowanej. Otóż, w chwili gdy i -ty czynnik powoduje przerwę w pracy obiektu, pozostałe czynniki obiektu są sprawne. Z dużą dozą prawdopodobieństwa możemy więc powiedzieć, że te sprawne czynniki co najmniej przez pewną część tej przerwy są dyspozycyjne technicznie. Jednak przy $W \leq 0,5$ prawdopodobieństwo, że żaden z tych sprawnych czynników nie spowodowałby przerwy w pracy obiektu, przez cały okres przerwy spowodowanej przez i -ty czynnik, jest stosunkowo małe, bowiem prowadziłoby to do W większego od 0,5. Konieczne jest więc rozwiązanie pośrednie dające wyniki leżące pomiędzy optymistycznym D_{1i} i pesymistycznym D_{2i} . Najprościej możemy to osiągnąć uśredniając te wskaźniki geometrycznie, wykorzystując równania /9/ i /17/. Wtedy oznaczając ten uśredniony



Rys. 6. Wskaźnik D_{3i} w funkcji W przy różnych γ_i



Rys. 7. Wskaźniki $D_{1i}, D_{2i} = W_i, D_{3i}$ w funkcji W przy $\gamma_i = 0.1$ i $\gamma_i = 0.5$

wskaźnik i-tego czynnika przez D_{3i} otrzymamy, że

$$D_{3i} = \sqrt{\frac{T_z - T_{si}}{T_z} \cdot \frac{T_p}{T_p + T_{si}}} = \sqrt{\frac{T_p}{T_z} \cdot \frac{T_z - T_{si}}{T_z - (\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si})}}$$

$$D_{3i} = \sqrt{\frac{T_p}{T_z} \cdot \frac{T_z - T_{si}}{T_z} \cdot \frac{T_z}{T_z - (\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si})}} \quad /19/$$

lub

$$D_{3i} = \sqrt{W \frac{D_{1i}}{D_{1ir}}} \quad /20/$$

gdzie $D_{1ir} = \frac{T_z - (\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si})}{T_z}$ oznacza sumaryczny wskaźnik dyspozycyjności wszystkich poza i-tym czynnikiem.

Jeśli uśrednimy geometrycznie równanie /10/ i /18/, to otrzymamy, że:

$$D_{3i} = \sqrt{W \frac{1 - \gamma_i(1 - W)}{W + \gamma_i(1 - W)}} \quad /21/$$

Rys. 6 przedstawia uśredniony wskaźnik dyspozycyjności technicznej D_{3i} w funkcji W przy różnych γ_i .

Rys. 7 przedstawia wskaźniki dyspozycyjności technicznej: optymistyczny, pesymistyczny i uśredniony, w zależności od wskaźnika wykorzystania systemu W przy $\gamma_i=0,1$ i $\gamma_i=0,5$. Współczynniki γ_i dobrano tak, aby możliwe było dobre zilustrowanie obszaru naszych rozważań oraz uzyskane dotychczas rezultaty. Widać wyraźnie, że dla tych systemów, których wartość długookresowego wskaźnika wykorzystania wynosi około 0,5 lub mniej, dla określenia wskaźników dyspozycyjności technicznej każdego z czynników obiektu, bardziej celowe jest stosowanie równania /19/ lub /21/ określających uśrednioną wartość wskaźnika tej dyspozycyjności.

Pesymistyczne skorygowane wskaźniki oceny czynników systemu

Przypomnijmy jednak, że pesymistyczne oceny wynikły z tej okoliczności, którą wyraża równanie /17/, tzn., że analizując D_{2i} i-tego czynnika odrzuciliśmy czas przerw spowodowany przez inne czynniki, tzn. czas $\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si}$, wówczas nie znaleźliśmy odpowiedzi na pytanie, czy czas tych przerw potrafimy uwzględnić w logicznie uzasadniony sposób, jeśli chodzi o stan zdolności technicznej i-tego czynnika. Jest to istotne, bowiem czas tych przerw uzyskuje się w wyniku konkretnych pomiarów dokonywanych w okresie T_z . Są one wzięte z praktyki i jako takie nie powinny być pomijane. Ich uwzględnienie mogłoby zbliżyć nas do uzyskania ocen bardziej obiektywnych, bez posługiwania się prostym geometrycznym uśrednieniem skrajnych wskaźników dyspozycyjności technicznej optymistycznego D_{1i} i pesymistycznego D_{2i} . Wydaje się, że odpowiedź na to kluczowe pytanie powinna być następująca: w celu uzyskania możliwości obliczenia wskaźnika dyspozycyjności i-tego czynnika na podstawie wyników pomiarów przerw pracy systemu, spowodowanych przez poszczególne czynniki, do czasu pracy T_p systemu należy dodać przerwy w pracy systemu w okresie T_z danej zmiany, spowodowane przez pozostałe czynniki, tzn. $\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si}$ w takim stopniu, w jakim i-ty czynnik był wykorzystany w okresie T_z danej zmiany, tzn. w stopniu W_i wskaźnika wykorzystania i-tego czynnika, który także możemy obliczyć na podstawie pomiarów.

Z tej odpowiedzi wynika, że do czasu pracy T_p systemu należy dodać iloczyn $W_i(\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si})$. Wtedy w oparciu o równanie /17/ otrzymamy, że dwukrotnie skorygowany wskaźnik dyspozycyjności technicznej i-tego czynnika wyraża się równaniem:

$$D_{4i} = \frac{T_p + W_i(\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si})}{T_p + T_{si} + W_i(\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si})} \quad /22/$$

Uwzględniając także, iż przy założeniu skorygowanym pesymistycznie $W_i = D_{2i}$, to równanie /22/ możemy również napisać w postaci:

$$D_{4i} = \frac{T_p + D_{2i}(\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si})}{T_p + T_{si} + D_{2i}(\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si})} \quad /23/$$

I dalej w celu przedstawienia D_{4i} w zależności od wskaźnika wykorzystania

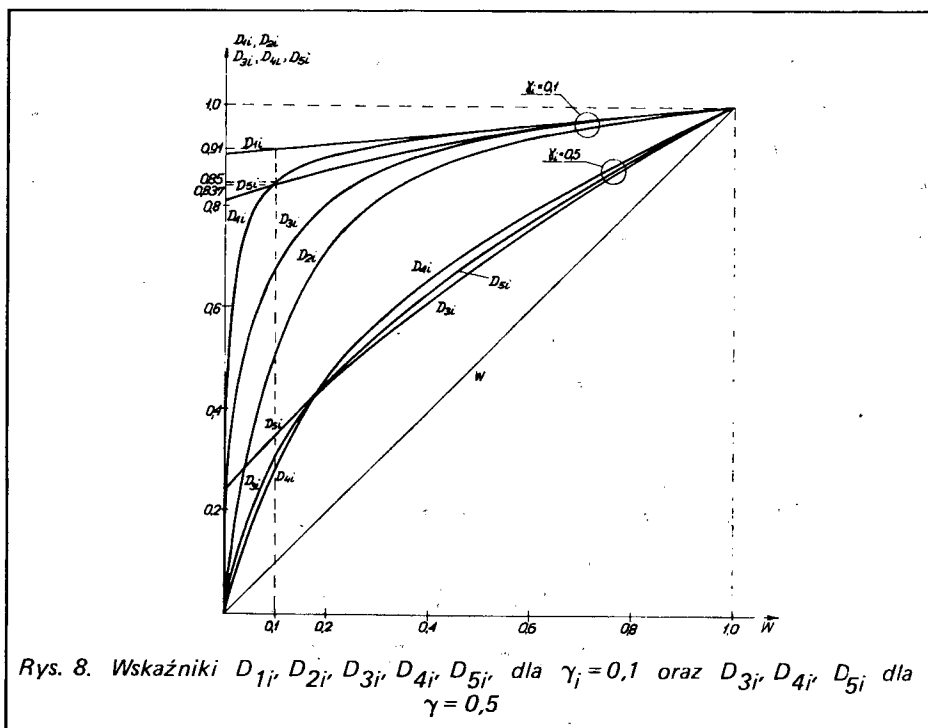
systemu W i współczynnika γ_i stosujemy podobne przekształcenia jak poprzednio i otrzymujemy, że

$$D_{4i} = \sqrt{\frac{W}{\gamma_i + W[1 + \gamma_i^2(1 - W) - \gamma_i(2 - W)]}} \quad /24/$$

Na rys. 8 przedstawiono pesymistyczne, skorygowane wskaźniki dyspozycyjności technicznej i -tego czynnika D_{4i} w funkcji wskaźnika wykorzystania systemu W przy różnych γ_i w porównaniu z innymi wskaźnikami.

Wracając do równania /22/ możemy określić, że wskaźnik dyspozycyjności technicznej D_{4i} i -tego czynnika systemu równy jest stosunkowi:

- sumy czasu pracy T_p systemu oraz iloczynu stopnia wykorzystania W_i tego czynnika (przy założeniu skorygowanym pesymistycznie) w czasie T_z jednej zmiany i sumy przerw w pracy systemu w czasie tej zmiany, spowodowanych przez pozostałe czynniki do
- sumy czasu pracy T_p , czasu przerw spowodowanych przez i -ty czynnik w czasie T_z oraz iloczynu stopnia wykorzystania W_i tego czynnika w tym czasie T_z i sumy ww. przerw w pracy systemu, spowodowanych przez pozostałe czynniki.



Rys. 8. Wskaźniki D_{1i} , D_{2i} , D_{3i} , D_{4i} , D_{5i} dla $\gamma_i = 0,1$ oraz D_{3i} , D_{4i} , D_{5i} dla $\gamma = 0,5$

Wspomniany iloczyn występujący w liczniku i mianowniku równania /22/ poprzez wartość (stopień) wykorzystania i -tego czynnika określa tę część sumy przerw w pracy systemu, spowodowanej przez inne czynniki, w czasie której z dużym prawdopodobieństwem możemy twierdzić, że i -ty czynnik jest zdolny do pracy, lub inaczej pracowałby gdyby system jako całość pracował sprawnie. To prawdopodobieństwo jest tym większe, im więcej mamy pomiarów, tzn. im dla większej ilości zmian dokonano pomiarów czasów T_p i przerw spowodowanych przez wszystkie czynniki systemu, które w badaniach i obliczeniach uwzględniamy. Oznacza to jednocześnie, że niewielki jest sens obliczania wskaźnika wykorzystania systemu i wskaźników wykorzystania jego czynników oraz wskaźników ich dyspozycyjności technicznej (w tym sprawności organizacyjnej) w okresie jednej zmiany. Dlatego w praktyce, oprócz bieżącej analizy zachowania się różnych czynników systemu prowadzonej dla każdej zmiany na podstawie pomiarów interesujących nas czasów, ww. wskaźniki powinno obliczać się dla okresów dłuższych, np. dla każdego miesiąca lub co miesiąc narastająco. Zależy to zresztą od ilości zmian w pracy systemu na dobę.

Patrząc na rys. 8 przyznać musimy, że sami jesteśmy zaskoczeni tym, że wychodząc z pesymistycznie skorygowanego założenia, w oparciu o wskaźnik wykorzystania W_i i -tego czynnika obliczany na podstawie pomiarów, otrzymaliśmy, jak się wydaje, że najbardziej obiektywny jest wskaźnik dyspozycyjności technicznej D_{4i} , który aż do wartości $W \sim 0,3$ przy $\gamma_i = 0,1$ leży blisko wartości optymistycznej D_{1i} , a dla wartości $W = 0,1$ przy $\gamma_i = 0,1$ różni się od D_{1i} około 10%.

Wskaźnik dyspozycyjności technicznej D_{4i} przedstawiony równaniami /22/, /23/ i /24/ umożliwia bardziej zobiektywizowaną ocenę czynników systemu (automatyka, technologia, sprawność zarządzania oraz obsługi i inne) w całym zakresie wykorzystania systemu. Chcemy zwrócić uwagę, że nawet jeśli system pracuje dobrze, celowe jest dążenie do zwiększenia jego wydajności przez zmniejszenie przerw pracy. Wymaga to jednak bardziej szczegółowej analizy pracy systemu. Wówczas czynników głównych powinno być więcej niż te trzy, na których skupiliśmy naszą uwagę, a ponadto należy je rozłożyć na czynniki drugiego czy trzeciego rzędu np. poszczególne maszyny (prasy), ich oprzyrządowanie, poszczególne roboty przemysłowe (ich układy sterowania, części manipulacyjne robotów, chwytaki), sterowniki nadrzędne, czujniki zainstalowane w systemie poza maszynami i robotami przemysłowymi itd. To rozczłonkowanie powinno być tym dalej idące, im lepsza jest praca systemu. Pozwala to bowiem na stopniowe wyodrębnianie tych czynników, które są istotnymi spraw-

camii awarii i podejmowanie właściwych decyzji odnośnie ich naprawy, wymiany lub np. zmiany dostawcy, lub też usprawnienia organizacji i zarządzania systemem, jeśli ten czynnik nie jest dostatecznie sprawny.

Optymistyczne skorygowane wskaźniki oceny czynników systemu

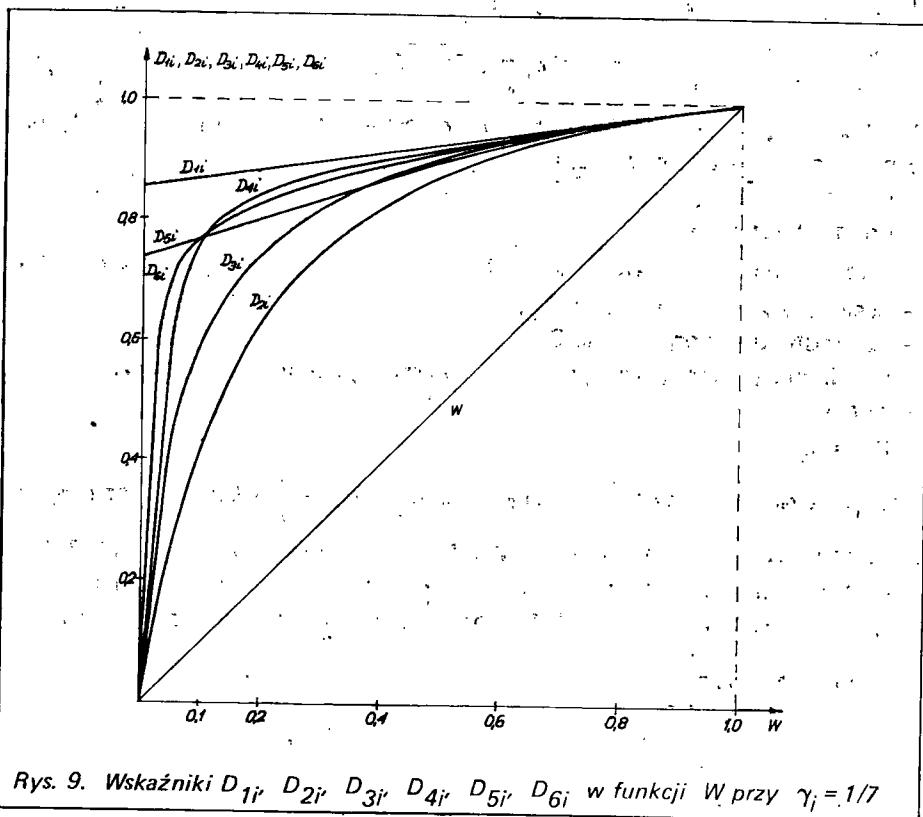
Zbliżając się do zakończenia naszych rozważań, chcemy podkreślić, że nie myślimy, iż problem, który przedstawiliśmy został przez nas wyczerpany. Wręcz odwrotnie, widzimy dalsze możliwości poszukiwań, które również mogą dawać interesujące wyniki. Dla poparcia tej tezy przedstawimy następną logiczną możliwość. W tym celu wróćmy do początkowego założenia, którego skutek wyraża równanie /9/. Przedstawiony tym równaniem optymistyczny wskaźnik dyspozycyjności technicznej i -tego czynnika może być skorygowany w ten sposób, że na rachunek i -tego czynnika należy zaliczyć tę część strat czasu T_z spowodowanych przez inne czynniki, którą spowodowałby także czynnik i -ty, gdyby system mógł pracować. Część ta równa się różnicy sumy czasów - strat spowodowanych przez inne czynniki $(\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si})$ oraz iloczynu tej sumy i optymistycznego wskaźnika dyspozycyjności technicznej $(\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si})D_{1i}$. Tak więc zakładamy w konsekwencji dodatkowo, że w czasie określonym przez ten iloczyn, czynnik i -ty nie spowodowałby strat, ponieważ byłby sprawny i system jako całość mógłby pracować w czasie określonym przez ten iloczyn, gdyby inne czynniki były sprawne. To jednocześnie oznacza, że w czasie określonym przez ww. różnicę czynnik i -ty spowodowałby przerwę w pracy systemu. Uwzględniając powyższe możemy napisać tak:

$$D_{5i} = \frac{T_z - T_{si} - [(\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si}) - (\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si})D_{1i}]}{T_z} \quad /25/$$

To samo można wyrazić krócej, a mianowicie, że gdyby system mógł pracować i -ty czynnik oprócz przerw określonych przez T_{si} , spowodowałby w czasie T_z dalsze przerwy określone przez jego niedyspozycyjność, co możemy napisać następująco

$$D_{5i} = \frac{T_z - T_{si} - [(1 - D_{1i})(\sum_{i=1}^n T_{si} - T_{si})]}{T_z} \quad /26/$$

Stosując do równań /25/ i /26/ przekształcenia podobne do wykonanych wcześniej



otrzymamy, że optymistyczne wskaźniki dyspozycyjności technicznej skorygowane, można także wyrazić równaniem:

$$D_{5i} = \gamma_i W(1 - W) + [1 - \gamma_i(1 - W)]^2 \quad /27/$$

Wcześniej wspomniany rys. 8 przedstawia także optymistyczne, skorygowane wskaźniki dyspozycyjności technicznej czynników systemu D_{5i} .

Uśrednione geometrycznie wskaźniki pesymistyczne skorygowane i optymistyczne skorygowane oceny czynników systemu

Jeśli określiliśmy pesymistyczne skorygowane i optymistyczne skorygowane wskaźniki oceny czynników systemu, to analogicznie, jak to uczyniliśmy w stosunku do wskaźników bez korekty, narzuca się możliwość geometrycznego ich uśrednienia,

ozn. że można określić kolejny wskaźnik

$$D_{6i} = \sqrt{D_{4i} \cdot D_{5i}} \quad /28/$$

Rys. 9 przedstawia wszystkie ujęte w tej pracy wskaźniki oceny dyspozycyjności technicznej czynników systemu, tzn.:

- optymistyczne D_{1i} ,
- pesymistyczne D_{2i} ,
- uśrednione geometrycznie, pesymistyczne i optymistyczne $D_{3i} = \sqrt{D_{1i} \cdot D_{2i}}$,
- pesymistyczne skorygowane D_{4i} ,
- optymistyczne skorygowane D_{5i} ,
- uśrednione geometrycznie pesymistyczne skorygowane i optymistyczne skorygowane

$$D_{6i} = \sqrt{D_{4i} \cdot D_{5i}}$$

w funkcji wskaźnika wykorzystania systemu W przy $\gamma_i = \frac{1}{7} = 0,14286$ (przy $\gamma_i = 0,5$ przebieg sześciu wskaźników byłby praktycznie nieczytelny). Rysunek ten może przedstawiać hipotetyczny przypadek zautomatyzowanej-zrobotyzowanej np. tłoczni, dla oceny pracy, której wyodrębniono 7 czynników systemu i dla jednego z nich, lub dla każdego $\gamma_i = \frac{1}{7}$.

Przykłady z praktyki

Przykład 1 przedstawia rzeczywiste wyniki pomiarów uzyskane w czasie uruchamiania zautomatyzowanego-zrobotyzowanego systemu dla 2 czynników systemu tj. automatyki i technologii. Wyniki pomiarów w [min], obliczenia współczynników γ_i oraz od nich pochodnych technicznej zawarte są w tabl. 1, a wartości wskaźników wykorzystania systemu i wskaźników oceny dyspozycyjności w tabl. 2.

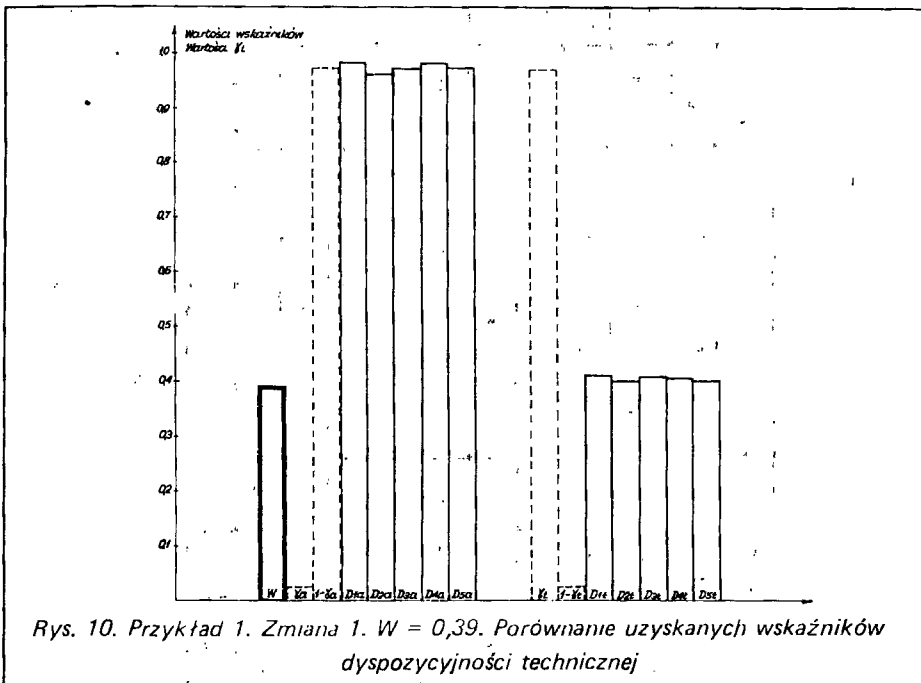
Tabl. 1

zmiana	T_{sa}	T_{st}	$T_{sa} + T_{st}$	T_p	γ_a	$1 - \gamma_a$	γ_t	$1 - \gamma_t$
1	8	283	291	189	0,027	0,973	0,973	0,027
2	135	291	426	54	0,317	0,683	0,683	0,317

Tabl. 2

zmiana	W	D ₁		D ₂		D ₃		D ₄		D ₅	
		D _{1a}	D _{1t}	D _{2a}	D _{2t}	D _{3a}	D _{3t}	D _{4a}	D _{4t}	D _{5a}	D _{5t}
1	0,39	0,98	0,41	0,96	0,40	0,97	0,41	0,98	0,40	0,97	0,40
2	0,11	0,72	0,39	0,29	0,16	0,45	0,25	0,50	0,21	0,55	0,22

Rysunek 10 przedstawia wyniki obliczeń w formie graficznej dla zmiany 1, a rys. 11 dla zmiany 2.



Przykład 2. Tablica 3 zawiera pomiary i obliczenia dla czasu $T_z = 3 \times 480 = 1440$ [min] (praca na trzy zmiany) dla 10 dób, z rzeczywistej eksploatacji zautomatyzowanego-zrobotyzowanego systemu, w okresie dochodzenia do założonej zdolności produkcyjnej. Obliczenia wskaźników dyspozycyjności technicznej wykonano dla 5 czynnika.

W formie graficznej na rys. 12 przedstawiono wartości współczynników wykorzystania systemu W oraz wskaźników dyspozycyjności technicznej D_1 , D_2 , D_3 , D_4 oraz D_5 .

Tablica 3

Lp. doby	T _{sj} w ciągu doby dla poszczególnych czynników							Wartości dla doby (1440 min)					Wartości poszczególnych wskaźników dla 5. czynnika				
	T _{s1}	T _{s2}	T _{s3}	T _{s4}	T _{s5}	T _{s6}	T _{s7}	γ ₅	ΣT _{sj}	T _p	W	D ₁₅	D ₂₅	D ₃₅	D ₄₅	D ₅₅	
1	0	0	25	711	110	0	0	0,13	846	594	0,413	0,924	0,844	0,883	0,917	0,885	
2	0	0	0	425	900	0	0	0,68	1325	115	0,080	0,375	0,113	0,206	0,154	0,191	
3	8	7	165	45	935	0	10	0,80	1170	270	0,188	0,351	0,224	0,280	0,257	0,245	
4	14	20	17	48	760	0	0	0,88	859	581	0,404	0,472	0,433	0,452	0,451	0,436	
5	40	0	421	15	215	0	10	0,31	701	739	0,513	0,851	0,775	0,812	0,838	0,800	
6	0	0	142	70	880	0	0	0,81	1092	348	0,242	0,389	0,283	0,332	0,317	0,299	
7	0	20	0	260	860	20	15	0,73	1175	265	0,184	0,403	0,236	0,308	0,283	0,272	
8	160	41	85	25	85	0	0	0,22	396	1044	0,725	0,941	0,925	0,933	0,940	0,928	
9	0	84	81	120	325	145	0	0,43	755	685	0,476	0,774	0,678	0,725	0,750	0,707	
10	0	15	75	745	295	0	0	0,26	1130	310	0,215	0,795	0,512	0,638	0,714	0,676	

Tablica 4

Podział systemu na dwa czynniki

Lp.	Wskaźnik wyrażony jako funkcja elementów bilansu czasu	Wskaźnik wyrażony jako funkcja W oraz γ_a i γ_t	Równania wiążące
1	$D_{1a} = \frac{T_z - T_{sa}}{T_z}$ $D_{1t} = \frac{T_z - T_{st}}{T_z}$	$D_{1a} = 1 - \gamma_a(1 - W)$ $D_{1t} = 1 - \gamma_t(1 - W)$	$W = D_{1a} + D_{1t} - 1$
2	$D_{2a} = \frac{T_p}{T_p + T_{sa}}$ $D_{2t} = \frac{T_p}{T_p + T_{st}}$	$D_{2a} = \frac{W}{W + \gamma_a(1 - W)}$ $D_{2t} = \frac{W}{W + \gamma_t(1 - W)}$	$\frac{1}{W} = \frac{1}{D_{2a}} + \frac{1}{D_{2t}} - 1$ $D_{2t} = \frac{W}{W + (1 - D_{1t})}$ $W = D_{1a} \cdot D_{2t} = D_{1t} \cdot D_{2a}$
3	$D_{3a} = \sqrt{\frac{T_p}{T_z} \cdot \frac{T_z - T_{sa}}{T_p + T_{sa}}}$ $D_{3t} = \sqrt{\frac{T_p}{T_z} \cdot \frac{T_z - T_{st}}{T_p + T_{st}}}$	$D_{3a} = \sqrt{\frac{1 - \gamma_a(1 - W)}{W \cdot (W + \gamma_a(1 - W))}}$ $D_{3t} = \sqrt{\frac{1 - \gamma_t(1 - W)}{W \cdot (W + \gamma_t(1 - W))}}$	$W = D_{3a} \cdot D_{3t}$ $D_{3t} = \sqrt{\frac{D_{1t} \cdot D_{2t}}{D_{3a}}}$
4	$D_{4a} = \frac{T_p + D_{2a} \cdot T_{st}}{T_p + T_{sa} + D_{2a} \cdot T_{st}}$ $D_{4t} = \frac{T_p + D_{2t} \cdot T_{sa}}{T_p + T_{st} + D_{2t} \cdot T_{sa}}$	$D_{4a} = \frac{W}{\gamma_a^2 + W(1 + \gamma_a(1 - W) - \gamma_a^2(2 - W))}$ $D_{4t} = \frac{W}{\gamma_t^2 + W(1 + \gamma_t(1 - W) - \gamma_t^2(2 - W))}$	$D_{4t} = \frac{W}{(1 - D_{1t})^2 + W(2 - D_{1t})}$
5	$D_{5a} = \frac{T_z - T_{sa} - (1 - D_{1a}) \cdot T_{st}}{T_z}$ $D_{5t} = \frac{T_z - T_{st} - (1 - D_{1t}) \cdot T_{sa}}{T_z}$	$D_{5a} = [1 - \gamma_a(1 - W)]^2 + \gamma_a \cdot W \cdot (1 - W)$ $D_{5t} = [1 - \gamma_t(1 - W)]^2 + \gamma_t \cdot W \cdot (1 - W)$	$W \approx 1,5 - \sqrt{2,25 - (D_{5a} + D_{5t})}$ $D_{5t} = D_{5a}^2 + W(1 - D_{1t})$

Tablica 5

Podział systemu na trzy czynniki

Lp.	Wskaźnik wyrażony jako funkcja elementów bilansu czasu	Wskaźnik wyrażony jako funkcja W oraz $\gamma_a, \gamma_t, \gamma_o$	Równania wiążące
1	$D_{1a} = \frac{T_z - T_{sa}}{T_z}$ $D_{1t} = \frac{T_z - T_{st}}{T_z}$ $D_{1o} = \frac{T_z - T_{so}}{T_z}$	$D_{1a} = 1 - \gamma_a(1 - W)$ $D_{1t} = 1 - \gamma_t(1 - W)$ $D_{1o} = 1 - \gamma_o(1 - W)$	$W = D_{1a} + D_{1t} + D_{1o} - 2$
2	$D_{2a} = \frac{T_p}{T_p + T_{sa}}$ $D_{2t} = \frac{T_p}{T_p + T_{st}}$ $D_{2o} = \frac{T_p}{T_p + T_{so}}$	$D_{2a} = \frac{W}{W + \gamma_a(1 - W)}$ $D_{2t} = \frac{W}{W + \gamma_t(1 - W)}$ $D_{2o} = \frac{W}{W + \gamma_o(1 - W)}$	$\frac{1}{W} = \frac{1}{D_{2a}} + \frac{1}{D_{2t}} + \frac{1}{D_{2o}} - 2$ $D_{2i} = \frac{W}{W + (1 - D_{1i})}$ $W = (D_{1t} + D_{1o} - 1) \cdot D_{2a}$ $W = (D_{1a} + D_{1o} - 1) \cdot D_{2t}$ $W = (D_{1t} + D_{1a} - 1) \cdot D_{2o}$
3	$D_{3a} = \sqrt{\frac{T_p \cdot T_z - T_{sa}}{T_z \cdot T_p + T_{sa}}} = \sqrt{D_{1a} \cdot D_{2a}}$ $D_{3t} = \sqrt{\frac{T_p \cdot T_z - T_{st}}{T_z \cdot T_p + T_{st}}} = \sqrt{D_{1t} \cdot D_{2t}}$ $D_{3o} = \sqrt{\frac{T_p \cdot T_z - T_{so}}{T_z \cdot T_p + T_{so}}} = \sqrt{D_{1o} \cdot D_{2o}}$	$D_{3a} = \sqrt{\frac{W(1 - \gamma_a(1 - W))}{W + \gamma_a(1 - W)}}$ $D_{3t} = \sqrt{\frac{W(1 - \gamma_t(1 - W))}{W + \gamma_t(1 - W)}}$ $D_{3o} = \sqrt{\frac{W(1 - \gamma_o(1 - W))}{W + \gamma_o(1 - W)}}$	$D_{3i} = \sqrt{D_{1i} \cdot D_{2i}}$

Tablica 5 c.d.

Lp.	Wskaźnik wyrażony jako funkcja elementów bilansu czasu	Wskaźnik wyrażony jako funkcja W oraz $\gamma_a, \gamma_t, \gamma_o$	Równania wiążące
4	$D_{4a} = \frac{T_p + D_{2a}(T_{st} + T_{so})}{T_p + T_{sa} + D_{2a}(T_{st} + T_{so})}$ $D_{4t} = \frac{T_p + D_{2t}(T_{sa} + T_{so})}{T_p + T_{st} + D_{2t}(T_{sa} + T_{so})}$ $D_{4o} = \frac{T_p + D_{2o}(T_{sa} + T_{st})}{T_p + T_{so} + D_{2o}(T_{sa} + T_{st})}$	$D_{4a} = \frac{W}{\gamma_a^2 + W(1 + \gamma_a(1 - W) - \gamma_a^2(2 - W))}$ $D_{4t} = \frac{W}{\gamma_t^2 + W(1 + \gamma_t(1 - W) - \gamma_t^2(2 - W))}$ $D_{4o} = \frac{W}{\gamma_o^2 + W(1 + \gamma_o(1 - W) - \gamma_o^2(2 - W))}$	$D_{4i} = \frac{W}{(1 - D_{1i})^2 + W(2 - D_{1i})}$
5	$D_{5a} = \frac{T_z - T_{sa} - (1 - D_{1a})(T_{st} + T_{so})}{T_z}$ $D_{5t} = \frac{T_z - T_{st} - (1 - D_{1t})(T_{sa} + T_{so})}{T_z}$ $D_{5o} = \frac{T_z - T_{so} - (1 - D_{1o})(T_{sa} + T_{st})}{T_z}$	$D_{5a} = [1 - \gamma_a(1 - W)]^2 + \gamma_a \cdot W \cdot (1 - W)$ $D_{5t} = [1 - \gamma_t(1 - W)]^2 + \gamma_t \cdot W \cdot (1 - W)$ $D_{5o} = [1 - \gamma_o(1 - W)]^2 + \gamma_o \cdot W \cdot (1 - W)$	$W \approx 1,5 - \sqrt{2,25 - (D_{5a} + D_{5t} + D_{5o} - 1)}$ $D_{5i} = D_{1i}^2 + W(1 - D_{1i})$

Podział systemu na n czynników

Tablica 6

Lp.	Wskaźnik wyrażony jako funkcja elementów bilansu czasu	Wskaźnik wyrażony jako funkcja W oraz γ_i	Równania wiążące
1	$D_{1i} = \frac{T_z - T_{si}}{T_z}$	$D_{1i} = 1 - \gamma_i(1 - W)$	$W = \sum_{i=1}^n D_{1i} - (n-1)$
2	$D_{2i} = \frac{T_p}{T_p + T_{si}}$	$D_{2i} = \frac{W}{W + \gamma_i(1 - W)}$	$\frac{1}{W} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{D_{2i}} - (n-1)$ $D_{2i} = \frac{W}{W + (1 - D_{1i})}$ $W = (1 - D_{1i}) \frac{D_{2i}}{1 - D_{2i}}$
3	$D_{3i} = \sqrt{\frac{T_p}{T_z} \frac{T_z - T_{si}}{T_z + T_{si}}} = \sqrt{D_{1i} \cdot D_{2i}}$	$D_{3i} = \sqrt{W \frac{1 - \gamma_i(1 - W)}{W + \gamma_i(1 - W)}}$	$D_{3i} = \sqrt{D_{1i} \cdot D_{2i}}$
4	$D_{4i} = \frac{T_p + D_{2i}(\sum_{j=1}^n T_{sj} - T_{si})}{T_p + T_{si} + D_{2i}(\sum_{j=1}^n T_{sj} - T_{si})}$	$D_{4i} = \frac{W}{\gamma_i^2 + W(1 + \gamma_i(1 - W)) - \gamma_i^2(2 - W)}$	$D_{4i} = \frac{W}{(1 - D_{1i})^2 + W(2 - D_{1i})}$
5	$D_{5i} = \frac{T_z - T_{si} - (1 - D_{1i})(\sum_{j=1}^n T_{sj} - T_{si})}{T_z}$	$D_{5i} = 1 - \gamma_i(1 - W) ^2 + \gamma_i \cdot W(1 - W)$	$W \approx 1,5 - \sqrt{2,25 - [\sum_{j=1}^n D_{5j} - (n-2)]}$ $D_{5i} = D_{1i}^2 + W(1 - D_{1i})$

n – ilość parametrów (czynników); j – numer (oznaczenie) czynnika

Sądzymy, że mamy podstawy do zauważenia, że uzyskane w obydwu przykładach wyniki potwierdzają rozważania przedstawione w niniejszej pracy.

Sądzymy także, że uzyskane w tej pracy rezultaty mogą być stosowane dla oceny czynników takich systemów, w których istnieje współdziałanie wielu czynników wzajemnie zależnych, które decydują o sprawności działania całych systemów i które to systemy w wyniku niedostatecznej dyspozycyjności lub sprawności czynników są wykorzystywane w stopniu mniejszym niż 0,5, lub których wykorzystanie (wskutek malej lub znacznie zmniejszającej się dyspozycyjności lub sprawności czynników systemu) zmienia się w szerokich granicach od zera do jedności.

Dla wygody tych Czytelników, którzy będą mieli możliwości i uznają za celowe skorzystanie z wyników tej publikacji, załączamy następujące tablice, które ułatwiają dokonywanie obliczeń:

- tablica 4 zawiera wskaźniki D_1 , D_2 , D_3 , D_4 oraz D_5 dla przypadku podziału systemu na dwa czynniki (np. automatyka, technologia) jako funkcje elementów bilansu czasu jednej zmiany oraz jako funkcje wskaźnika wykorzystania systemu W i współczynników γ ; tablica 4 zawiera także równania wiążące ze sobą poszczególne wskaźniki,
- tablica 5 ujmuje ww. wskaźniki i ich równania wiążące dla przypadku trzech czynników systemu (np. automatyka, technologia i organizacja),
- tablica 6 ujmuje ww. wskaźniki i ich równania wiążące dla przypadku podziału systemu na n czynników.

Literatura

- [1] R. Hamann, S. Geyer. *Hohere Verflugbarkeit von Umformmaschinen. Werkstatt und Betrieb*. 122 (1989) 11.
- [2] *Flexible Manufacturing Systems in Practice. Planning. Introduction. Operation. Economy. User Symposium. December, 1-2, 1988 Berlin. Published by WERNER und KOLB.*
- [3] D. Zeyfang. *Produktivität älterer Pressenstrassen für Karosserieteile erhöht. Werkstatt und Betrieb*. 122 (1989) 5.
- [4] H. Meretz. *Flexible Manufacturing Systems in Practice — a Never-Ending Story. Report on the users symposium in Berlin on December 1 and 2. 1988.*