

EUGENIUSZ MARKIEWICZ

WPŁYW MECHANIZACJI I WIELKOŚCI KOPALNI  
NA WYDAJNOŚĆ PRACY

Streszczenie. Na przykładzie 74 górnośląskich kopalń węgla kamiennego, przy zastosowaniu metod statystyczno-matematycznych ustalono, że wielkość kopalni i stosunek węgla załadowanego mechanicznie do ogólnego wydobywania, mają zasadnicze znaczenie dla wydajności ogólnej. Wpływ wymienionych czynników na wydajność pracy opisuje funkcja:

$$W = 943 + 6 \cdot x_1 + 0,045 \cdot x_2$$

gdzie:

- W - wydajność ogólna kg/pdn,
- $x_1$  - % mechanicznego ładowania,
- $x_2$  - dobowe wydobywanie kopalni t/d.

## 1. CEL BADAŃ

Wśród licznych prac badawczych traktujących [4, 10, 11, 12, 16] o związkach zachodzących w górnictwie pomiędzy czynnikami naturalnymi i organizacyjnymi a wynikami ekonomicznymi, które są konsekwencją tych czynników, brak jest badań prowadzonych na szerszą skalę celem ustalenia wpływu mechanizacji urabiania i ładowania na wydajność pracy i koszt własny. Obserwacje zjawisk zachodzących w tym zakresie w górnictwie oraz przeprowadzone badania [11-13] pozwoliły wysunąć następującą hipotezę:

W górnictwie węgla kamiennego istnieje ścisły związek pomiędzy mechanizacją i wielkością kopalni a wydajnością pracy. Wzrost mechanizacji i wielkości wydobywania kopalni powoduje wzrost wydajności pracy, przy czym wpływ mechanizacji ładowania jest znacznie większy aniżeli mechanizacji urabiania.

Ustalenie wpływu mechanizacji i wielkości kopalni na wydajność pracy ma istotne znaczenie dla określenia czynników decydujących o rentowności procesu dobywania węgla [8, 10].

Zmierzenie tego wpływu poprzez rozeznanie wagi poszczególnych czynników kształtujących wydajność pracy i w dalszej konsekwencji koszt własny tony urobku może stać się narzędziem polityki inwestycyjnej w przekroju kopalni, Zjednoczeń i Resortu.

Znalezienie funkcji, która by w sposób możliwie dokładny opisywała zależność wydajności ogólnej od przyjętych do analizy zmiennych niezależnych, może mieć znaczenie dla praktyki górniczej w analizie działalności gospodarczej kopalni jak również w projektowaniu.

## 2. ZAKRES I METODA BADAŃ

Dla udowodnienia tezy przeprowadzono badania, którymi objęto 74 kopalnie węgla kamiennego za lata 1957-1960.

Kopalnie będące przedmiotem badań tworzą z punktu widzenia teorii statystyki [1, 3, 5, 7] próbę pobraną z populacji generalnej, którą stanowią wszystkie górnośląskie głębinowe kopalnie węgla kamiennego. Poszczególne kopalnie stanowiące elementy tej populacji, są scharakteryzowane zmiennymi zależnymi i niezależnymi [15]. Jako zmienne zależne w badaniach przyjęto wydajność węglową i ogólną; jako zmienne niezależne dla wydajności przyjęto: wielkość dobowego wydobycia kopalni, wskaźnik maszynowego urabiania i ładowania, wysokość frontu eksploatacyjnego oraz udział wydobycia z robót przygotowawczych i ze ścian w ogólnym wydobyciu kopalni.

Ponieważ w badanej populacji podstawowym miernikiem opisującym wyniki techniczno-ekonomiczne jest wydajność ogólna, główną uwagę zwrócono na badanie czynników kształtujących ten miernik.

Analizę oparto na materiale statystycznym zebranych z rocznej statystyki MG i E. Wszystkie prace rachunkowe, obejmujące kilkadziesiąt tysięcy działań arytmetycznych wykonano na zwykłych arytмомetrach elektrycznych.

Analizę przeprowadzono w 3 następujących etapach:

- analiza struktury wydobycia urobionego i załadowanego mechanicznie oraz wydobycia wg wielkości kopalni,



- analiza współzależności pomiędzy wydajnością węglową i ogólną a mechanizacją urabiania, ładowania i wielkością kopalni,
- zmierzenie występujących prawidłowości.

Kopalnie, stanowiące elementy badanej zbiorowości uporządkowane rosnąco, stanowią ciąg wartości spełniający nierówność:

$$x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots x_n$$

Dzieląc całą próbę na szeregi rozdzielcze otrzymano obraz struktury oraz współzależności pomiędzy zmienną zależną tj. wydajnością węglową, ogólną - a zmiennymi niezależnymi.

Analiza średnich ważonych wartości, otrzymanych dla poszczególnych podzbiorów pozwala na stwierdzenie istnienia względnie braku związku zachodzącego pomiędzy badanymi cechami populacji generalnej.

Badanie zależności jedynie pomiędzy dwoma cechami a więc mechanizacją a wydajnością oraz wielkością kopalni a wydajnością, bez uwzględnienia innych cech, mających istotne znaczenie dla tego podstawowego miernika pracy, mogłoby prowadzić do wyciągnięcia wniosków fałszywych nie znajdujących potwierdzenia w praktyce górniczej.

Stąd kształtowanie się wydajności będzie zbadane nie tylko na tle mechanizacji urabiania i ładowania oraz wielkości dobowego wydobycia ale również równolegle na tle wysokości frontu eksploatacyjnego, stosowanych systemów eksploatacyjnych oraz udziału wydobycia z robót przygotowawczych w ogólnym wydobyciu.

Badanie wydajności na tle systemów eksploatacyjnych ograniczono do badania udziału wydobycia ze ścian w całkowitym wydobyciu kopalni, co pozwala ocenić czy w badanej grupie kopalń miała miejsce przewaga systemu ścianowego czy zabierkowego.

Przyjęto założenie, że próba ma rozkład w przybliżeniu normalny [6, 14]. Za normalnością rozkładu przemawia duży dobór obserwacji. Badania przeprowadzono na wielu próbach pobranych z tej samej populacji, bez jej praktycznego uszczuplenia [1]. Krzywe rozkładu mają z wyjątkiem maszynowego urabiania przebieg w zasadzie symetryczny. Rozrzut punktów na wykresach korelacyjnych jest z reguły symetryczny i wykazuje rosnący trend zależności. Można więc założyć, że rozkład obserwacji jest prostoliniowy [3, 6].

Ponieważ wnioskowanie statystyczne jest uwarunkowane znajomością charakteru rozkładu z próby, dlatego hipotezę o normalności rozkładu weryfikowano przy pomocy testów statystycznych [5, 7]. Wstępne badania przeprowadzone dla głównych cech, przy pomocy odchylenia standardowego pozwalają przyjąć hipotezę o normalności rozkładu w próbie. Uzyskane wyniki we wszystkich przypadkach były dodatnie, co pozwoliło równocześnie zweryfikować tezę, że próby spełniają warunki losowego doboru analizowanych spostrzeżeń. Stwierdzenia te mają istotne znaczenie z punktu widzenia doboru metod badania, oraz możliwości przeniesienia wniosków uzyskanych z próby na populację, której średnie mają zawsze rozkład Gaussa [6].

Zespół badanych kopalń z punktu widzenia klasyfikacji statystycznej jest zbiorowością jakościowo niejednorodną, w której badane cechy jak również współzależności występujące w tej zbiorowości - kształtują się pod wpływem różnorodnych zespołów przyczyn głównych i ubocznych. Zbiorcza charakterystyka liczbowa takiej zbiorowości byłaby jedynie wypadkową różnorodnego zespołu przyczyn działających niejednokrotnie przeciwstawnie [2]. Dla uzyskania zbiorów jakościowo jednorodnych podzielono populację na kilka podzbiorów - jednorodnych z punktu widzenia oddziaływania głównej przyczyny. Niezależnie od tego działanie przyczyn głównych zbadano w tych samych podzbiórach w różnych okresach czasu, przy badaniu dynamicznym.

Cecha zależna jest determinowana szeregiem zmiennych niezależnych [9]. Przy pomocy analizy wielorakiej można określić w jakim stopniu pojedyncza zmienna niezależna, determinuje zmienną zależną a więc wydajność pracy, koszt własny. Zastosowanie współczynników korelacji pozwoli określić stopień zależności.

Stopień ścisłości związku może odnosić się do pojedynczej pary zmiennych - korelacja całkowita lub do grupy zmiennych niezależnych, skorelowanych z badaną cechą, przy wyeliminowaniu wpływu pozostałych zmiennych - korelacja cząstkowa i wreszcie stopień ścisłości może odnosić się do grupy zmiennych niezależnych skorelowanych z indywidualną zmienną - korelacja wieloraka. Badanie tymi etapami pozwoli ustalić siłę i wagę oddziaływania pojedynczych zmiennych jak i zespołu zmiennych na wydajność pracy.

Ta metoda badań winna w pewnym zakresie zastąpić eksperyment, który w warunkach górniczych i dla badanych związków jest niemożliwy do przeprowadzenia w tak szerokim zakresie, jaki pozwalałby na uogólnienie wniosków.



Najwłaściwszą metodą dla wyeliminowania wpływu któregośkolwiek czynnika działającego na wydajność pracy wydaje się metoda korelacji cząstkowej i wielorakiej.

Przez zastosowanie analizy wielorakiej i równań wielorakich ustalono w jakim stopniu na wydajność ogólną wpływa maszynowe ładowanie a w jakim wielkość dobowego wydobycia kopalni.

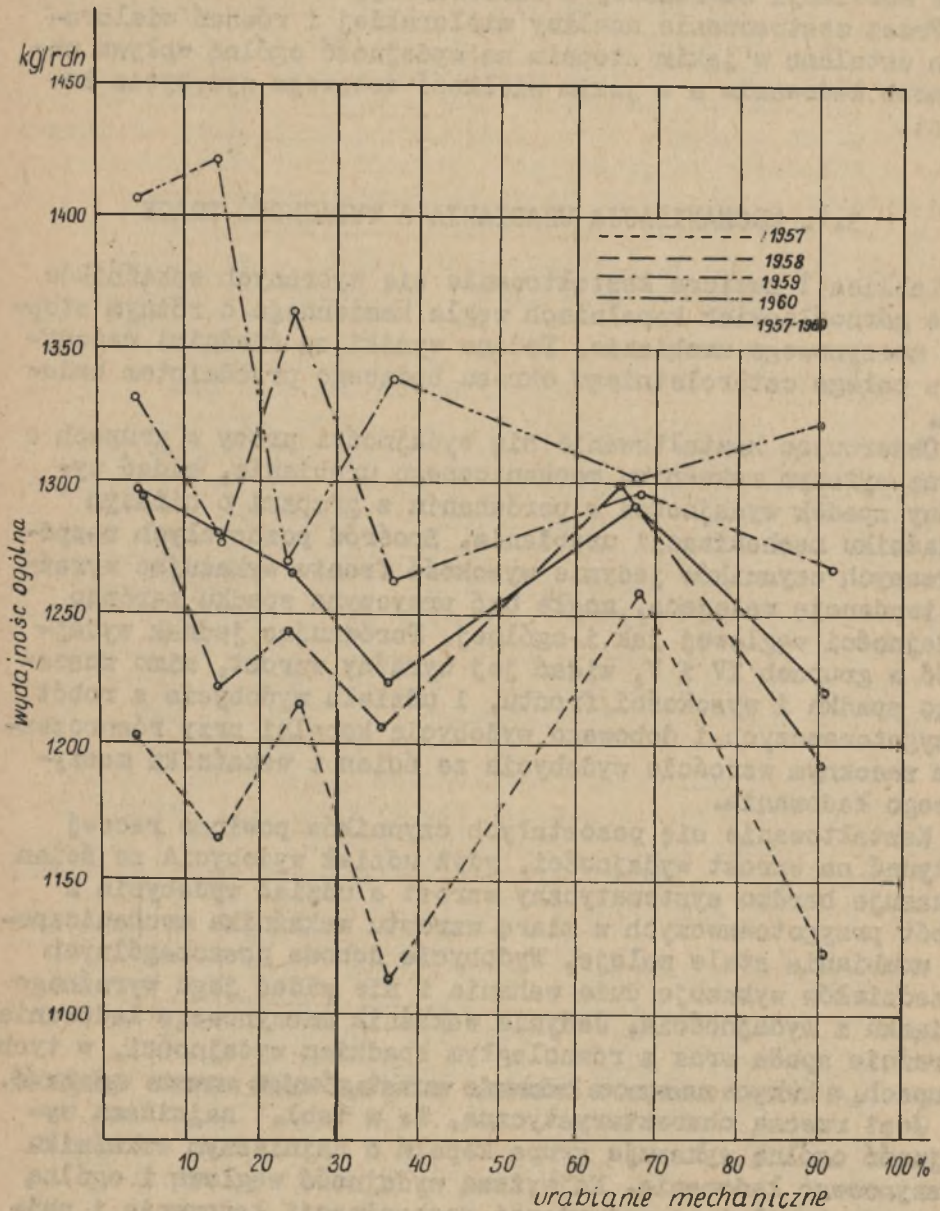
### 3.1. MECHANIZACJA URABIANIA A WYDAJNOŚĆ PRACY

Tablica 1 zawiera kształtowanie się wybranych wskaźników w 74 górnośląskich kopalniach węgla kamiennego o różnym stopniu maszynowego urabiania. Podane wyniki są średnimi ważonymi z całego czteroletniego okresu będącego przedmiotem badania.

Obserwując kształtowanie się wydajności pracy w grupach o coraz wyższym wskaźniku mechanicznego urabiania, widać wyraźny spadek wydajności w porównaniu z grupami o niższym wskaźniku mechanizacji urabiania. Spośród pozostałych rozpatrywanych czynników jedynie wysokość frontu wykazując wyraźną tendencję malejącą, mogła być przyczyną spadku zarówno wydajności węglowej jak i ogólnej. Porównując jednak wydajność w grupach IV i V, widać jej wyraźny wzrost, mimo znacznego spadku i wysokości frontu, i udziału wydobycia z robót przygotowawczych i dobowego wydobycia kopalni przy równoczesnym znacznym wzroście wydobycia ze ścian i wskaźnika maszynowego ładowania.

Kształtowanie się pozostałych czynników powinno raczej wpłynąć na wzrost wydajności, gdyż udział wydobycia ze ścian wykazuje bardzo systematyczny wzrost a udział wydobycia z robót przygotowawczych w miarę wzrostu wskaźnika mechanicznego urabiania stale maleje. Wydobycie dobowe poszczególnych przedziałów wykazuje duże wahania i nie widać jego wyraźnego związku z wydajnością. Jedynie wskaźnik maszynowego ładowania wyraźnie spada wraz z równoległym spadkiem wydajności, w tych grupach, w których maszynowe ładowanie wzrasta, również wzrasta wydajność.

Jest rzeczą charakterystyczną, że w tabl.1 najniższą wydajność ogólną wykazuje grupa kopalń o najniższym wskaźniku maszynowego ładowania. Najwyższą wydajność węglową i ogólną wykazują kopalnie o najwyższej mechanizacji ładowania i najwyższym froncie eksploatacyjnym ale przy najniższym udziale wydobycia ze ścian i względnie wysokim udziale wydobycia z robót przygotowawczych.



Rys.1. Wydajność ogólna w zależności od urabiania mechanicznego w kopalniach Zagłębia Górnośląskiego w latach 1957-1960



Tablica 1

Wybrane wskaźniki kopalń o różnym stopniu mechanicznego urabiania w latach 1957-1960 Zagłębie Górnośląskie

Grupa kopalń	Wskaźnik mehan. urabiania %	Wydajność		Dobowe wydoby- cie z kopalni t/d	Maszynowe ładowanie %	Wydobycie %		Wysokość frontu m
		węglowa	kg/pdn ogólna			z robót przygo- tow.	ze ścian	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
I	do 10,0	8048	1308	4309	25,81	20,48	48,12	2,46
II	10,1-20,0	7320	1271	3819	24,73	20,24	48,70	2,23
III	20,1-30,0	7209	1256	4872	21,17	22,32	48,34	2,15
IV	30,1-50,0	7030	1213	4426	18,67	17,18	60,10	1,90
V	50,1-80,0	7134	1277	3611	20,50	13,77	75,01	1,60
VI	80,1-100	6380	1245	4006	18,95	12,40	74,83	1,48
0 g ó ł e m		7223	1265	4107	22,25	18,37	57,01	2,03

Dobór większej ilości zmiennych dałby niewątpliwie bardziej wszechstronny obraz występujących współzależności, lecz zwiększenie ilości badanych cech utrudniłoby w poważnym stopniu zastosowanie korelacji wielorakiej, której pracochłonność wzrasta niewspółmiernie w przypadku powiększania liczby zmiennych.

### 3.2. MECHANIZACJA ŁADOWANIA A WYDAJNOŚĆ PRACY

Szczegółowe badania przeprowadzone dla poszczególnych czterech rocznych okresów w zakresie związku zachodzącego pomiędzy stopniem maszynowego ładowania, mierzonym stosunkiem wielkości wydobywania załadowanego maszynowo do wydobywania ogólnego - a wydajnością pracy wykazują ścisłą zależność przyczynową pomiędzy tymi dwoma zmiennymi.

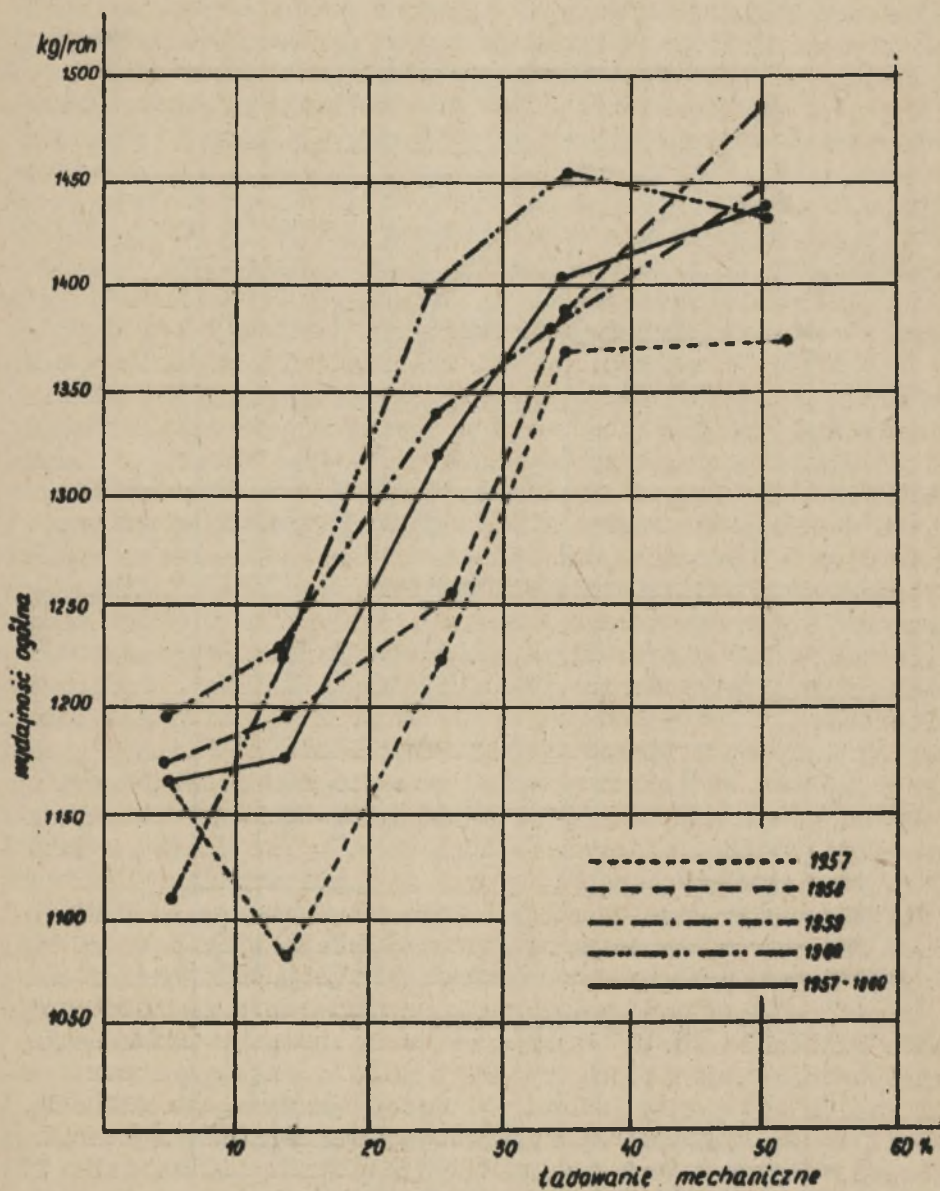
Stwierdzenie to jednak jest oparte jedynie na badaniu związku dwóch cech i sprowadzeniu całego złożonego zagadnienia wydajności pracy do maszynowego ładowania. Dlatego konieczne jest zbadanie przyczyn różnego poziomu wydajności ogólnej na tle innych istotnych parametrów związanych w sposób mniej lub więcej ścisły z parametrem zasadniczym, będącym przedmiotem dociekań.

Podobnie jak przy badaniu mechanicznego urabiania metodą średniej ważonej wyliczono kształtowanie się przyjętych zmiennych, dla różnych poziomów maszynowego ładowania. Ponieważ badaniem objęta jest czterokrotnie większa próba, aniżeli przy szczegółowych badaniach rocznych ujętych w tablicach analitycznych reprezentatywność wyników zawarta w tablicy 2 wydaje się bardziej bliska średnim z populacji. Tablic analitycznych dotyczących okresów rocznych nie zakłada się, ze względu na ograniczone rozmiary artykułu.

Najniższą wydajność wykazują kopalnie o wskaźniku maszynowego ładowania do 10% - najwyższą kopalnie o wskaźniku maszynowego ładowania powyżej 30 i 40%.

Z tablicy 2 wynika jednak, że wzrostowi wskaźnika mechanizacji ładowania towarzyszy równocześnie wzrost wydobywania dobowego, którego krzywa wykazuje zupełnie wyraźny trend rosnący. Jedyne zakłamanie krzywej trendu widać w grupie kopalń o wskaźniku maszynowego ładowania 30-40%. Poza tym krzywa ma przebieg zupełnie wyraźny i prostoliniowy. Wskaźnik mechanicznego urabiania wykazuje wyraźną tendencję malejącą, co znajduje potwierdzenie w ustaleniach dotyczących wpływu mechanicznego urabiania na kształtowanie się wydajności węglowej i ogólnej.





Rys. 2. Wydajność ogólna w zależności od ładowania mechanicznego w kopalniach Zagłębia Górnośląskiego w latach 1957-1960

Tablica 2

Wybrane wskaźniki kopalń o różnym stopniu maszynowego ładuowania  
w latach 1957-1960 r. Zagłębie Górnośląskie

Grupa Kopalń	Wskaźnik ma- szynowego ła- dowania %	Wydajność kg/pdn		Wydobycie dobowe kopalni t	Mechanicz- ne urabia- nie %	Wydobycie %		Wysokość frontu m
		węglowa	ogólna			z robót przygo- towa- czych	ze ścian	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
I	do 10,0	5566	1130	3219	53,19	21,10	46,88	1,64
II	10,1-15,0	6805	1199	3850	30,22	21,66	45,65	2,05
III	15,1-20,0	7580	1303	4190	28,50	18,64	51,66	2,01
IV	20,1-30,0	7734	1277	4750	33,91	15,10	67,28	2,03
V	30,1-40,0	8334	1413	4310	29,27	16,88	66,35	2,22
VI	pow. 40,0	9209	1409	5348	30,39	14,95	68,72	2,28
	0 g ó ł e m	7223	1265	4107	33,95	18,37	57,01	2,03



Wydobycie z robót przygotowawczych wykazuje trend wyraźnie malejący. Spadek udziału wydobycia z robót przygotowawczych niewątpliwie wpływa na wzrost wydajności ogólnej kopalni ale wydaje się rzeczą wątpliwą, aby ten spadek mógł wywołać tak wysoki wzrost wydajności jaki widać w tablicy 2.

Z badań bardziej szczegółowych zawartych w tablicach dla poszczególnych rocznych okresów wynika, że wszystkie kopalnie o udziale wydobycia z robót przygotowawczych wynoszącym 15-20% oraz 20-25% mają w porównaniu z wszystkimi kopalniami o udziale wydobycia z robót przygotowawczych do 10%, wyższą wydajność ogólną o 40 kg/pdn. w pierwszym przypadku, a o 13 kg/pdn w 2 przypadku, przy braku zasadniczej zmiany w innych parametrach.

Można więc z dużą ufnością przyjąć stwierdzenie, że determinatorem wzrostu wydajności wykazanym w tablicy 2 nie był spadek wydobycia z robót przygotowawczych. Nie oznacza to oczywiście negowania wpływu tych robót na wydajność ogólną.

Następnym czynnikiem wykazanym w tablicy 2 jest udział wydobycia ze ścian, który wykazuje stały wzrost. Wobec znanego faktu, że system ścianowy wykazuje wyższą wydajność ogólną aniżeli zabierkowy, wzrost udziału systemu ścianowego w ogólnym wydobyciu niewątpliwie oddziałuje na badaną zmienność zależną. Badania szczegółowe nie wykazują ścisłej zależności między badanymi parametrami, a zależność która niewątpliwie istnieje ma charakter krzywoliniowy o dość nieregularnym przebiegu. Można więc na razie założyć, że również i ten czynnik nie miał istotniejszego znaczenia dla badanych zależności. Wpływ ten i jego waga zostaną zbadane przy pomocy korelacji wielorakiej.

Ostatnim spośród badanych czynników, jest średnia wysokość frontu eksploatacyjnego, który wykazuje w tablicy 2 stały wzrost a więc również wpływa dodatnio na wydajność w poszczególnych przedziałach maszynowego ładowania.

Analiza wydajności na tle wysokości frontu wykazuje korelację dodatnią lecz o niskim stopniu ścisłości związku. Wyrzka stąd, że wysokość frontu podobnie jak udział wydobycia ze ścian i robót przygotowawczych mają mniejsze znaczenie dla wydajności ogólnej aniżeli stopień maszynowego ładowania.

Dotychczasowe rozważania wykazują, że w górnictwie węgla kamiennego między wskaźnikiem maszynowego ładowania, a wydajnością pracy istnieje zależność przyczynowa. Równocześnie wiadać, że między mechanizacją urabiania i wydajnością są te węglową są ogólną zależność ta nie występuje.

Zależność wydajności i mechanizacji ładowania jest dodatnia, gdyż wzrastającej mechanizacji ładowania odpowiada wzrastająca wydajność węglowa i ogólna.

Z danych szczegółowych zawartych w tablicy ilustrującej kształtowanie się wydajności w zależności od wskaźnika mechanicznego ładowania wynika, że zależność między mechanizacją a wydajnością w przybliżeniu jest prostoliniowa. Przeprowadzone badania potwierdzają tę część hipotezy, która mówi, że wpływ mechanizacji ładowania na wydajność jest dodatni oraz że na kształtowanie wydajności ogólnej ma znacznie większy wpływ mechanizacja ładowania aniżeli mechanizacja urabiania.

Równocześnie jednak analiza wykazuje, że obok mechanicznego ładowania decydującą rolę dla wydajności ogólnej ma wielkość kopalni. Stąd konieczność dalszych badań nad zależnością wydajności od tego czynnika.

### 3.3. WIELKOŚĆ KOPALNI A WYDAJNOŚĆ PRACY

Tablica 3 ilustruje kształtowanie się wydajności pracy w zależności od wielkości kopalni, mierzonej dobowym wydobywaniem kopalni.

Z tablicy 3 wynika, że wydajność wykazuje wyraźnie rosnący trend odpowiadający wzrostowi dobowego wydobywania, przy czym wzrost wydajności ogólnej jest bardziej regularny aniżeli wydajności węglowej.

Poza wzrostem dobowego wydobywania na wzrost wydajności mógł działać, jak widać z tablicy 3, wskaźnik maszynowego ładowania, który również wykazuje wzrost i co więcej w obu przypadkach załamania się krzywej wzrostu maszynowego ładowania - widać załamanie się krzywej wydajności ogólnej. Zmniejszający się udział wydobywania z robót przygotowawczych w ogólnym wydobywaniu, mógł również wpłynąć w sposób istotny na kształtowanie się wydajności, gdyż jak to wynika z badań szczegółowych spadek udziału wydobywania z robót przygotowawczych powoduje wzrost wydajności. Udział wydobywania ze ścian, poza grupą kopalni o wydobywaniu 4-5 tys. t/d nie wykazuje większych odchyżeń od przeciętnego udziału wszystkich 74 kopalni, w ogólnym wydobywaniu przemysłu węglowego.

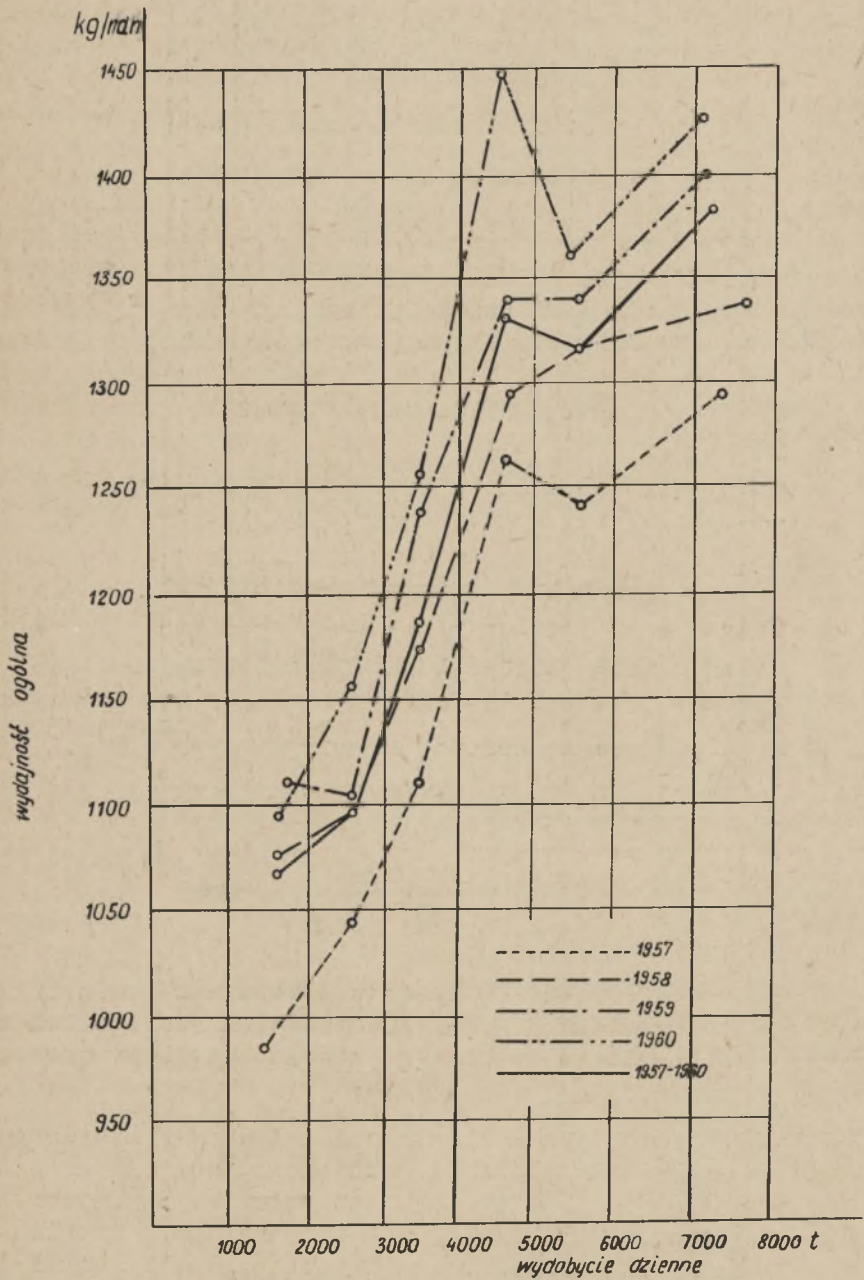
Z badań nad kształtowaniem się wydajności na tle udziału wydobywania ze ścian, nie wynika wyraźna zależność pomiędzy tymi dwoma parametrami, gdyż stosunkowo wysoką wydajność uzyskują kopalnie o niskim jak i wysokim udziale wydobywania ze ścian i odwrotnie.



Tablica 3

Wybrane wskaźniki kopalni o różnej wielkości dobowego wydobycia w latach 1957-1960. Zagłębie Górnosląskie

Grupa kopalni	Dobowe wydobycie w tys. t	Wydajność w kg/pdn		Wskaznik maszynowego w %	Wydobycie %		Wysokość frontu m	
		węglowa	ogólna		z robot przyzotaw.	ze ścian		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
I	do 2	5950	1086	54,55	12,17	21,50	53,96	1,94
II	2 - 3	6106	1085	29,42	12,04	22,29	42,79	1,94
III	3 - 4	6984	1200	31,17	19,90	21,42	52,79	2,08
IV	4 - 5	8719	1334	29,16	29,18	15,75	66,87	1,96
V	5 - 6	6447	1278	38,82	22,44	17,01	58,78	1,97
VI	pow. 6	8269	1398	33,51	24,46	17,15	56,39	2,15
0 5 0 1 e m		7223	1265	33,95	22,25	18,37	57,01	2,03



Rys.3. Wydajność ogólna w zależności od wydobywania z kopalni w kopalniach Zagłębia Górnośląskiego w latach 1957-1960



W świetle tych przesłanek można wydaty się stwierdzić, że tablica 3 nie daje dostatecznie przekonywującego dowodu, że na wydajność miał istotny wpływ udział wydobywania ze ścian. To samo można powiedzieć o średniej wysokości frontu eksploatacyjnego.

Na podstawie analizy tablicy 3, uzupełnionej bardziej szczegółową analizą w zakresie wpływu systemu ścianowego na wydajność można w rezultacie stwierdzić, że wydajność pracy kształtuje się w zależności od wielkości dobowego wydobywania przy nieobojętym wpływie maszynowego ładowania i wysokości frontu eksploatacyjnego.

Reasumując należy stwierdzić, że: badania w zakresie zależności wydajności pracy od wielkości kopalni wykazują:

- wielkość kopalni ma bezpośredni wpływ na poziom wydajności pracy,
- kopalnie małe mają niską wydajność zarówno węglową jak i ogólną. W miarę wzrostu wielkości kopalni wzrasta również wydajność; najwyższą wydajność uzyskują kopalnie o najwyższym dobowym wydobywaniu tj. kopalnie duże,
- wydajność ogólna kopalń o wydobywaniu ponad 6000 t/d w porównaniu z wydajnością kopalń o wydobywaniu poniżej 2000 t/d jest wyższa o 312 kg/pdn czyli o 29% a w porównaniu z średnią wydajnością wszystkich 74 kopalń jest wyższa o 133 kg/pdn czyli o 11%.

#### 4.0. WYNIKI BADAŃ

Badania przeprowadzone w oparciu o obserwacje wszystkich górnośląskich kopalń węgla kamiennego i ich szczegółową analizę przy zastosowaniu metod statystyczno-matematycznych, pozwalają na następujące uogólnienia:

1. Pomiedzy stopniem mechanizacji urabiania, mierzonym stosunkiem urobku mechanicznie urobionego do ogólnego wydobywania, a wydajnością pracy brak jest związku przyczynowego.

Kopalnie o wysokich wskaźnikach mechanicznego urabiania mają na ogół niższą wydajność od kopalń o niskich wskaźnikach mechanizacji urabiania mimo, korzystniejszego stosunku wydobywania z robót przygotowawczych i ze ścian do ogólnego wydobywania.

Kopalnie o niskich wskaźnikach mechanicznego urabiania a wysokiej wydajności charakteryzują się wysokimi wskaźnikami frontu eksploatacyjnego, maszynowego ładowania i wydobywania z robót przygotowawczych, niskim natomiast udziałem wydobywania ze ścian. Wzrostowi wskaźnika mechanicznego urabiania towarzyszy z jednej strony spadek: maszynowego ładowania, udziału wydobywania z robót przygotowawczych oraz wysokości frontu a z drugiej strony wzrost udziału wydobywania ze ścian.

Pomimo więc wzrostu wskaźnika mechanicznego urabiania oraz wzrostu wydobywania ze ścian i przy równoczesnym malejącym wydobywaniu z robót przygotowawczych - wydajność ogólna spada równolegle ze spadkiem wskaźnika maszynowego ładowania oraz średniej wysokości frontu (tablica 1).

2. Liczbowym miernikiem ścisłości związku pomiędzy mechanizacją urabiania a wydajnością ogólną jest bardzo niski i ujemny współczynnik korelacji całkowitej, który dla badanych cech wynosi  $r_{13} = -0,18$ , a więc znacznie zbliża się do zera. Przyjęto następujące oznaczenia: 1 - wydajność ogólna, 2 - mechaniczne ładowanie, 3 - mechaniczne urabianie, 4 - dobowe wydobywanie, 5 - wysokość frontu, 6 - udział wydobywania z robót przygot., 7 - ze ścian. Oznacza to, że pomiędzy mechanizacją urabiania a wydajnością ogólną brak jest współzależności, gdyż stopień rozproszenia punktów wydajności ogólnej wokół linii regresji dla urabiania jest bardzo wysoki.

3. Współzależność pomiędzy mechanizacją urabiania a pozostałymi zmiennymi jest również bardzo niska i w każdym przypadku ujemna. Szczególnie charakterystyczny jest współczynnik dla mechanizacji urabiania i dobowego wydobywania, który wynosi  $r_{34} = -0,08$  a więc oznacza brak jakiegokolwiek zależności. W konsekwencji współczynnik korelacji cząstkowej dla mechanizacji urabiania i dobowego wydobywania przy wyeliminowaniu wpływu maszynowego ładowania wynosi  $r_{34,2} = -0,01$  co oznacza brak jakiegokolwiek związku pomiędzy tymi zmiennymi.

4. Pomiedzy mechanizacją ładowania a wydajnością pracy w kopalniach węgla kamiennego istnieje ścisły związek przy czynowy. Miernikiem ścisłości tego związku jest współczynnik korelacji całkowitej wynoszący  $r_{12} = 0,57$ . Najniższą wydajność zarówno węglową jak i ogólną wykazują kopalnie o najniższym wskaźniku maszynowego ładowania jak również o najniższym dobowym wydobywaniu.



5. Obok tych dwóch czynników na niską wydajność złożyły się również i niski front i niski udział wydobywania ze ścian oraz wysoki udział wydobywania z robót przygotowawczych. Sumaryczny wpływ tych zmiennych, jak wykazały badania w poziomie oraz przy zastosowaniu regresji wielorakiej nie mogły przezwyciężyć wpływu dwóch zasadniczych czynników jakimi są niska mechanizacja ładowania oraz niskie dobowe wydobywanie.

6. W miarę wzrostu wskaźnika maszynowego ładowania i wielkości wydobywania wydajność pracy wykazuje trend rosnący, w przybliżeniu prostoliniowy.

7. Najwyższą wydajność wykazują kopalnie o najwyższych wskaźnikach maszynowego ładowania i wysokim wydobywaniu dobowym. W kopalniach tych na korzystne kształtowanie się wydajności wpłynęły ponadto wysokie wskaźniki frontu jak i wydobywania ze ścian przy niskim udziale wydobywania z robót przygotowawczych.

7.1. Analiza wydajności w zależności od wysokości frontu wykazuje korelację dodatnią lecz o niskim stopniu ścisłości  $r_{15} = 0,37$ , wpływ tego czynnika - jakkolwiek niewątpliwy ma mniejsze znaczenie od wpływu maszynowego ładowania. Potwierdzeniem tego wniosku wynikającego z badań przeprowadzonych na 5 liczących próbach obejmujących 74 kopalnie, jest współczynnik korelacji cząstkowej pierwszego rzędu, wykazujący że wyeliminowanie wpływu wysokości frontu na wydajność ogólną, nie zmienia w sposób istotny ani zależności pomiędzy maszynowym ładowaniem a wydajnością ogólną ani zależności pomiędzy dobowym wydobywaniem a wydajnością. W pierwszym przypadku  $r_{12} = 0,57$  a po wyeliminowaniu wpływu frontu  $r_{12.5} = 0,49$ .

W przypadku wydobywania i wydajności  $r_{14} = 0,58$  a  $r_{14.5} = 0,59$ .

7.2. Pomiędzy udziałem wydobywania ze ścian a wydajnością ogólną występuje zależność krzywoliniowa mimo niewątpliwej tendencji wzrostu wydajności wraz ze wzrostem udziału wydobywania systemem ścianowym w ogólnym wydobywaniu. Wyrazem tej tendencji jest współczynnik rang wynoszący [7]  $r_{17} = 0,23$ . Badania przy pomocy korelacji cząstkowej wykazały, że stabilizując korzystny wpływ udziału wydobywania ze ścian na wydajność ogólną, ścisłość związku zachodzącego pomiędzy maszynowym ładowaniem a wydajnością zmienia się minimalnie - z  $r_{12} = 0,57$  na  $r_{12.7} = 0,54$ .

Wynika stąd, że również i czynnik udziału wydobywania ze ścian nie mógł wpłynąć na tak istotną zmianę w poziomie wy-

dajności występującą w związku ze zmianami wskaźnika maszynowego ładowania.

7.3. Kopalnie o niskiej wydajności i o niskim wskaźniku maszynowego ładowania mają z reguły wysoki udział wydobywania z robót przygotowawczych, który maleje w miarę wzrostu wskaźnika maszynowego ładowania. Są to kopalnie o najniższym udziale wydobywania ze ścian a więc o przewadze systemu żabierkowego, który powoduje większe roboty przygotowawcze aniżeli system ścianowy. Zależność wydajności od udziału wydobywania z robót przygotowawczych jest ujemna, współczynnik korelacji dla tych dwóch zmiennych wynosi  $r_{16} = -0,18$ . Ta niska wartość nie może wpłynąć na istotną zmianę współczynnika korelacji cząstkowej wyrażającego zależność wydajności od maszynowego ładowania, który przy tym samym poziomie wydobywania z robót przygotowawczych wynosi  $r_{12.6} = 0,56$ .

8. Badanie przy pomocy współczynników korelacji cząstkowej drugiego rzędu a więc przy wyeliminowaniu wpływu dwóch zmiennych, wykazały że najniższą wartość współczynnika dla maszynowego ładowania i wydajności daje wyłączenie łącznego wpływu dobowego wydobywania i wysokości frontu. W tym przypadku  $r_{12.45} = 0,36$ , co oznacza, że na wydajność pracy istotny wpływ obok maszynowego ładowania mają wielkość kopalni i wysokość frontu, z tym jednak, że wpływ frontu eksploatacyjnego wynika z wysokiej jego interkorelacji z maszynowym ładowaniem. Związek bowiem frontu z mechanizacją ładowania wynosi  $r_{25} = 0,41$ .

Tak wysoka wartość współczynnika potwierdza znany fakt braku odpowiednich rozwiązań w zakresie konstrukcji maszyn ładujących dostosowanych do niskich pokładów. Wynika stąd, że warunkiem wzrostu wydajności pracy w kopalniach o niskim froncie, jest uniezależnienie stopnia mechanizacji od wysokości frontu a w konsekwencji uzyskanie dla współczynnika  $r_{25}$ , wartości zbliżonej do zera. Dopóki współzależność tych dwóch zmiennych będzie tak wysoka, maszynowe ładowanie nie może wpłynąć w tej grupie kopalń na wzrost wydajności ogólnej.

W pozostałych grupach wpływ ten jest bezsporny.



9. Badania przy zastosowaniu równań regresji dla płaszczyzny dwuwymiarowej wykazały, że

$$W = 8,21 x_1 + 1082$$

gdzie:

$W$  = wydajność ogólna kg/pdn

$x_1$  = wskaźnik maszynowego ładowania t/d.

Równanie regresji wykazuje, że wydajność ogólna kopalni w warunkach będących przedmiotem analizy wzrasta średnio o 8,21 kg/pdn na każdy 1% wzrostu wskaźnika maszynowego ładowania.

10. Obok mechanizacji ładowania drugim podstawowym czynnikiem mającym decydujący wpływ na wydajność ogólną kopalni jest wielkość kopalni mierzona jej dobowym wydobyciem. Wyrazem liczbowym ścisłości związku zachodzącego pomiędzy wydobyciem a wydajnością ogólną jest współczynnik korelacji całkowitej wynoszący  $r_{14} = 0,58$ .

11. Najniższą wydajność węglową i ogólną wykazują kopalnie o niskim wydobyciu. W miarę wzrostu dobowego wydobywania wydajność wzrasta. Najwyższą wydajność wykazują kopalnie o najwyższym średnim wydobyciu znajdującym się w przedziale wydobywania ponad 6000 t/d. Wzrastającemu wydobywaniu odpowiada równoległy wzrost wskaźnika maszynowego ładowania oraz tendencja spadku wydobywania z robót przygotowawczych. Pozostałe czynniki na tle wzrastającego wydobywania nie wykazują wyraźnej tendencji ani rosnącej ani malejącej.

12. Wielkość wydobywania wykazuje brak współzależności z wysokością frontu, poza grupą kopalń o wysokości frontu do 1,25 m które charakteryzują się najniższym wydobywaniem. Kopalnie mające front w granicach 1,25-1,50 m mają z reguły wyższe wydobywanie aniżeli kopalnie o wysokości frontu 1,50-1,80 oraz 1,80-2,20 a nieznacznie tylko niższe, bo o 65 t/d, od kopalń o średniej wysokości frontu powyżej 2,50 m. W rezultacie  $r_{45} = 0,10$  co oznacza brak jakiegokolwiek współzależności pomiędzy wielkością wydobywania a wysokością frontu, co widać jeszcze wyraźniej przy wyeliminowaniu z  $r_{45}$  wpływu wydajności:  $r_{45.2} = -0,07$  to jest ujemną korelację pomiędzy wielkością wydobywania i wysokością frontu przy tym samym poziomie maszynowego ładowania.

13. Kopalnie o wydobyciu powyżej 4000 t/d mają z reguły wyższą wydajność od średniej wszystkich 74 kopalń i odwrotnie. Prawidłowość ta jest charakterystyczną dla wszystkich 5 badanych prób. Wynika stąd, że m.in. warunkiem wzrostu wydajności jest uzyskanie z kopalń obecnie najmniejszych, minimum wydobywania rzędu 4000 t/d. Z tego stwierdzenia wynika dalszy wniosek, że optimum wydobywania znajduje się znacznie powyżej tego przedziału a nawet znacznie powyżej najwyższego wydobywania obecnie uzyskiwanego. Przemawia za tym przeprowadzona analiza wydajności w zależności od wydobywania oraz wysoki stopień ścisłości tej zależności.

14. Analiza przy zastosowaniu regresji cząstkowej pierwszego i drugiego rzędu wykazała, że wpływ wielkości wydobywania na wydajność jest tak wysoki, że nawet eliminacja tych zmiennych, które z wydajnością są skorelowane w sposób dodatni - nie zmieniają stopnia istotności wyliczonych współczynników regresji cząstkowych.

15. Istotną zmianę wartości współczynnika określającego związek wydajności z wielkością wydobywania wywołuje stabilizacja maszynowego ładowania. Eliminacja jedynie tej zmiennej niezależnej, powoduje obniżenie się  $r_{14} = 0,58$  na  $r_{14.2} = 0,48$ . Badania przy pomocy korelacji wyższych rzędów wykazują, że dobór większej ilości zmiennych a następnie ich stabilizacja nie powodują znaczniejszych zmian w stopniu ścisłości badanego związku. Stąd, jak również z badań opartych na danych empirycznych wynika, że maszynowe ładowanie i wielkość wydobywania są decydującymi czynnikami dla kształtowania się wydajności ogólnej kopalni. Wpływ pozostałych cech uwzględnionych w analizie jest drugorzędny i w każdym przypadku mniejszy od tych dwóch podstawowych.

16. Równanie regresji opisujące zależność wydajności jako funkcję wielkości wydobywania wykazuje, że:

$$W = 0,0622 \cdot x_2 + 995$$

gdzie:

$W$  = wydajność ogólna kg/pdn

$x_2$  = wielkość dobowego wydobywania kopalni t/d.

Powyższa funkcja wykazuje, że wydajność ogólna wzrasta w warunkach będących przedmiotem analizy o 6,22 kg na każde 100 t wzrostu dobowego wydobywania kopalni.



17. Badania omówionych zależności przy pomocy metody analizy wielorakiej, wykazały że łączny wpływ maszynowego ładowania i wielkości dobowego wydobycia na wydajność ogólną wyrażony współczynnikiem korelacji wielorakiej wynosi  $R_{1.24} = 0,69$  a więc zbliża się do jedności. Uwzględniając więc te dwie zmienne niezależne, poza analizą znajduje się 0,31 ogółu czynników decydujących o kształtowaniu się wydajności ogólnej w kopalni węgla kamiennego. Oznacza to, że programowanie wydajności ogólnej oparte na tych dwóch zmiennych będzie obarczone błędem przewidywania mieszczącym się w granicach różnicy  $R$  wielorakiego i jedności.

18. Współczynnik determinacji dla wariacji  $R_{1.24}$ , będącej średnim kwadratem sumy kwadratów pojedynczych odchyśleń od średniej, wynosi  $R^2 = 0,4761$  z czego wynika, że 47,61% wariacji wydajności ogólnej jest determinowanych maszynowym ładowaniem i wielkością dobowego wydobycia.

19. Równanie regresji wielorakiej pozwoliło ustalić następującą zależność:

$$W = 6 \cdot x_1 + 0,045 \cdot x_2 + 943$$

Powyższa funkcja wykazuje, że:

- a) wydajność ogólna ( $W$ ) wzrasta o 6 kg na każdy 1% wzrostu wskaźnika maszynowego ładowania ( $x_1$ ) przy tym samym poziomie dobowego wydobycia ( $x_2$ ), oraz że
- b) wydajność ogólna wzrasta o 4,5 kg na każde 100 t wzrostu dobowego wydobycia przy tym samym poziomie maszynowego ładowania.

20. Uwzględnienie wysokości frontu obok maszynowego ładowania i wielkości wydobycia podwyższa współczynnik korelacji wielorakiej dla wydajności ogólnej o 3 punkty.  $R_{1.245} = 0,72$ . Wynika stąd, że te trzy parametry stanowią blisko  $\frac{3}{4}$  sumy wszystkich czynników mających wpływ na wydajność ogólną kopalni węgla kamiennego. Wzrost tego współczynnika nastąpił jak już wspomniano na skutek wysokiej interkorelacji pomiędzy wysokością frontu a mechanizacją ładowania przy raczej obojętnym wpływie wysokości frontu na wielkość wydobycia.

## 5.0. ZAKOŃCZENIE

Powyższe wnioski wynikają z analizy 5 prób pobranych z populacji generalnej. Próby były dostatecznie duże a więc ustalone związki i zależności oparte na tych próbach odnoszą się do populacji o tyle o ile ich dobór uznać za reprezentatywny dla populacji generalnej. Liczebność prób, ich badanie statyczne i dynamiczne, badanie przeprowadzone w płaszczyźnie 2 wymiarowej i w przestrzeni wielowymiarowej, obejmującej 6 zmiennych - nie licząc wydajności węglowej - uzasadniają i potwierdzają wniosek ogólny, że w kopalniach węgla kamiennego na wydajność ogólną w decydujący sposób wpływają 2 zasadnicze czynniki tj. stopień maszynowego ładowania i wielkość dobowego wydobycia.

Dodatni i ujemny wpływ pozostałych czynników będących przedmiotem badania, a prawdopodobnie i innych nieobjętych badaniem jest niewspółmiernie niższy w porównaniu z tymi dwoma zasadniczymi.

Badania wykazały równocześnie, że na podstawie znajomości tych dwóch parametrów można z dużym stopniem dokładności przewidywać kształtowanie się wydajności ogólnej w całym przemyśle węgla kamiennego oraz z dużym stopniem dokładności można przewidywać wydajność ogólną dla poszczególnych kopalń.

Przewidywanie oparte na równaniu regresji wyrażającym wydajność ogólną jako funkcję wskaźnika maszynowego ładowania i wielkości dobowego wydobycia jest obarczone błędem z reguły niższym od 10%. W bardzo wielu przypadkach błąd ten jest niższy od 5%. Tylko w bardzo nielicznych przypadkach błąd ten jest większy od 10% w stosunku do wydajności przewidywanej.

Błędy te mieszczą się w granicach dopuszczalnych przy projektowaniu budowy nowych kopalń oraz projektach rekonstrukcji istniejących kopalń.

Możliwość programowania wydajności na dwóch prostych parametrach, które są znane i ustalone przy projektowaniu, pozwala z wystarczającą ścisłością określić wydajność ogólną w różnych stadiach budowy kopalni i różnych stadiach rekonstrukcji kopalń.

Znaleziona funkcja pozwala porównać rzeczywistą wydajność z wydajnością programowaną jaką powinna uzyskać kopalnia przy danej wielkości wydobycia i danym wskaźniku maszynowego ładowania.



Funkcja ta może więc być wystarczająco dokładnym narzędziem analizy działalności gospodarczej kopalni. Jeżeli bowiem w znalezionym równaniu podstawimy dowolny wskaźnik maszynowego ładowania oraz wielkości dobowego wydobywania, możemy określić z dużą dokładnością przewidywaną wydajność ogólną pod warunkiem, że te dowolne wartości znajdą się w granicach obszaru zmienności cech niezależnych, których funkcją jest przewidywana zmienna zależna.

Znalezione przy pomocy metod statystyczno-matematycznych zależności zostały poprzedzone szczegółową analizą jakościową. Wydaje się, że analiza ta, dotycząca czteroletniego okresu przeprowadzona w płaszczyźnie dwuwymiarowej oraz w przestrzeni wielowymiarowej, w której uwzględniono badania zależności wydajności na tle wielu zmiennych, dostarczyła przekonującego materiału jakościowego dla udowodnienia hipotezy, że pomiędzy maszynowym ładowaniem oraz wielkością kopalni istnieje związek przyczynowy, w którym wydajność ogólna jako zmienna zależna jest realizacją dwóch zmiennych niezależnych tj. mechanizacji ładowania i dobowego wydobywania.

#### LITERATURA

- [1] Allen R.D.G.: *Ekonomia matematyczna*. PWN Warszawa 1961.
- [2] Bettelheim Ch.: *Zagadnienia teorii planowania*. PWE Warszawa 1961 r.
- [3] Czerwiński Z.: *Wstęp do teorii programowania liniowego z elementami algebry wyższej*. PWN Poznań 1961.
- [4] Evely R., Little M.: *Concentration in British Industry*. Cambridge 60 University Press s.XVI.
- [5] Guilford J.P.: *Podstawowe metody statystyczne w psychologii i pedagogice*. PWN Warszawa 1960.
- [6] Kelley T.: *Fundamentals of Statistics*. Cambridge 1947.
- [7] Kendall M.G.: *Rank Correlation Methods*. London 1948.
- [8] Krupiński B., Hurysz J.; Neuman B.: *Charakterystyka systemów eksploatacji węgla w związku z mechanizacją robót górniczych. Dostosowanie systemów eksploatacji do mechanizacji w polskich kopalniach*. PWT. Katowice 1953r.

- [9] Lisowski A.: Koncentracja a wydajność głębinowych kopalń węgla kamiennego. Referat na Zjazd Górniczy 1960r.
- [10] Lisowski A.: Pojęcie koncentracji i jej związek z pracochłonnością. Referat na konferencję naukowo-techniczną na temat "Koncentracja produkcji w górnictwie węglowym." SITG. Katowice 1962.
- [11] Markiewicz E.: Analiza zależności wydajności pracy i kosztu własnego od stopnia mechanizacji ładowania w kopalniach węgla kamiennego. Biuletyn ZKOPW Przegląd Górniczy nr 11/1961.
- [12] Markiewicz E.: Wpływ koncentracji wydobywania w oddziałach na pracochłonność i koszty własne oddziału. Przegląd Górniczy nr 4/1962.
- [13] Markiewicz E.: Wpływ koncentracji wydobywania w kopalniach węgla kamiennego na kształtowanie się kosztów własnych. Referat na konferencję naukowo-techniczną na temat "Koncentracja produkcji w górnictwie". W.SITG. Katowice 1962.
- [14] Neter J.: Fundamentals Statistics for Business and Economic. Allyn and Bacon. Inc. Boston 1961.
- [15] Trinbergen J.: Wprowadzenie do ekonometrii. PWN. Warszawa 1957 r.
- [16] Rose E., Strzeszewski W.: Analiza wydajności w polskich kopalniach węgla. Komunikat GIG. Nr 200. Katowice 1957.

Wpłynęło do redakcji w marcu 1963 r.



**Einfluss der Mechanisierung und Förderungsgrosse  
auf die Gesamtleistung einer Schachtanlage**

Am Hand von 74 Steinkohlenbergwerken stellte man unter Heranziehung statistisch-mathematischer Methoden fest, dass die Zechengrösse und das Verhältnis der mechanisch geladenen Kohle zur Gesamtförderung für die Gesamtleistung einer Schachtanlage von grundsätzlicher Bedeutung ist.

Den Einfluss dieser Faktoren umschreibt die Funktion:

$$W = 943 + 6x_1 + 0,045x_2$$

wobei:

W - Gesamtleistung der Schachtanlage kg/Ms

$x_1$  - % mechanischer Ladearbeit

$x_2$  - Tagesförderung der Zeche

**Summary**

**The Influence of Mechanization and the Size  
of Production upon the Productiveness of Labour**

By applying statistical and mathematical methods it has been stated that the size of the colliery and the ratio of mechanically loaded coal to the total extraction are of basic significance to the total productiveness. The influence of the mentioned factors upon the productiveness of labour is described by the function:

$$W = 943 + 6x_1 + 0,045x_2$$

wherein:

W - total output in kg per manshift

$x_1$  - per cent of mechanical loading

$x_2$  - daily extraction of the colliery.