

**ZESZYTY
NAUKOWE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ**

CZESŁAW POTOCKI

**STEROWANIE PROCESAMI WYDOBYWCZYMI
W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO
W UJĘCIU SYSTEMOWYM**

GÓRNICTWO

**Z. 169
GLIWICE
1988**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 954

SEKRETARZ REDAKCYI
REDAKTOR GŁÓWNY
REDAKTOR TECHNICZNY
KOLEGIUM REDAKCYI

CZESŁAW POTOCKI

STEROWANIE PROCESAMI WYDOBYWCZYMI W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO W UJĘCIU SYSTEMOWYM

OPINIODAWCY

Prof. dr inż. Adam Szczurowski
Doc. dr hab. inż. Jan Stachowicz

KOLEGIUM REDAKCYJNE

REDAKTOR NACZELNY — Prof. dr hab. inż. Jan Węgrzyn
REDAKTOR DZIAŁU — Prof. dr hab. inż. Mirosław Chudek
SEKRETARZ REDAKCJI — Mgr Elżbieta Stinzing

OPRACOWANIE REDAKCYJNE

Mgr Aleksandra Kłobuszowska

Wydano za zgodą

Rektora Politechniki Śląskiej

PL ISSN 0372-9508

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej
ul. Kujawska 3, 44-100 Gliwice

Nakł. 170+85	Ark. wyd. 12	Ark. druk. 10,75	Papier offset. kl. 70x100. 70g
Oddano do druku 6.06.88	Podpis. do druku 4.07.88	Druk ukończ. w sierpniu 1988	
Zam. 441 88 C-24			Cena zł 240,—

Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

SPIS TREŚCI

	str.
1. WPROWADZENIE	9
2. CEL I ZAKRES PRACY	12
3. PODSTAWY METODOLOGICZNE PROWADZONYCH PRAC BADAWCZYCH	15
3.1. Analizy i syntezy systemów złożonych	15
3.2. Typy modeli systemów złożonych	19
3.3. Istota modeli obiektów o stałej strukturze	20
3.4. Istota modeli obiektów o zmiennej strukturze	20
3.5. Klasyfikacja modeli obiektów o zmiennej strukturze	21
3.6. Zasady budowy modeli o zmiennej strukturze na bazie in- formacji o grupie obiektów	23
4. METODY WYBORU ZBIORU POTENCJALNYCH I ISTOTNYCH ZMIENNYCH OB- JAŚNIAJĄCYCH PROCESY WYDOBYWCZE	25
4.1. Opis metody grupowej oceny ekspertów	25
4.1.1. Uogólniona opinia grupy ekspertów	27
4.1.2. Stopień zgodności opinii ekspertów	28
4.1.3. Aktywność i kompetentność ekspertów	31
4.1.4. Analiza wpływu czasu na ocenę określonego zdarze- nia	33
4.1.5. Udziały wagowe różnych ocen ekspertów	34
4.2. Metody analizy czynnikowej i głównego czynnika	35
4.2.1. Istota analizy czynnikowej	35
4.2.2. Metoda głównego czynnika	40
5. DOBÓR POTENCJALNYCH ORAZ ISTOTNYCH ZMIENNYCH OBJAŚNIAJĄCYCH PROCESY WYDOBYWCZE	42
5.1. Organizacja badań w kopalniach węgla kamiennego	42
5.2. Opracowanie wyników badań	45
5.3. Wykorzystanie metody analizy czynnikowej i głównego czyn- nika do określenia zbioru istotnych zmiennych objaśniają- cych	61
5.4. Ocena kompetentności ekspertów oraz jej wpływ na oceny ekspertów	64
5.5. Wnioski	79

	Str.
6. PODZIAŁ KOPALNI WĘGLA NA GRUPY TYPOLOGICZNE	83
6.1. Metoda zmiennych losowych wielowymiarowych	83
6.2. Zbiory typologiczne kopalni węgla	85
6.3. Wnioski	89
7. OKREŚLENIE ZALEŻNOŚCI ANALITYCZNYCH DLA ZMIENNYCH OBJAŚNIANYCH W PROCESACH WYDOBYWCZYCH	90
7.1. Dobór materiału statystycznego oraz ocena wiarygodności danych wejściowych	90
7.2. Określenie postaci powiązań zmiennych objaśniających	93
7.3. Opracowanie modeli cząstkowych procesów wydobywczych dla kopalni węgla	96
7.4. Opracowanie modeli cząstkowych procesów wydobywczych dla przodków wybierkowych	104
7.5. Analiza dokładności uzyskanych modeli	112
7.6. Wnioski	117
8. WYZNACZENIE RACJONALNEJ STRATEGII STEROWANIA PROCESAMI WYDO- BYWCZYMI W KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO	118
8.1. Objekt i przedmiot sterowania	118
8.2. Warunki skutecznego sterowania	119
8.3. Zasady doboru optymalnych wartości zmiennych sterujących w procesach wydobywczych	122
9. WYKORZYSTANIE OPACOWANEJ METODY DO STEROWANIA PROCESAMI WYDO- BYWCZYMI W WYBRANEJ KOPALNI WĘGLA	127
9.1. Charakterystyka obiektu badań	127
9.2. Określenie strategii sterowania dla badanego obiektu	129
9.3. Określenie optymalnych wartości zmiennych sterujących dla ścian węglowych badanej kopalni węgla	135
9.4. Dyskusja wyników obliczeń	137
9.5. Powiązanie modeli globalnych z cząstkowymi dla badanej kopalni węgla	138
9.6. Wykorzystanie opracowanej metody w praktyce przemysłu węglowego	139
10. WNIOSKI KOŃCOWE	143
LITERATURA	146
ZALĄCZNIK 1. Wykaz symboli identyfikujących gwarectwa i kopalnie PW	151
STRESZCZENIA	154

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. ВВЕДЕНИЕ	9
2. ЦЕЛЬ И ОБЪЕМ РАБОТЫ	12
3. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОВОДИМЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ	15
3.1. Анализ и синтез сложных систем	15
3.2. Типы моделей сложных систем	19
3.3. Сущность моделей объектов с постоянной структурой	20
3.4. Сущность моделей объектов с переменной структурой	20
3.5. Классификация моделей объектов с переменной структурой	21
3.6. Основы построения моделей с переменной структурой на основе информации о группе объектов	23
4. МЕТОД ВЫБОРА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ МНОЖЕСТВ И ВАЖНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ВЫСНЯЮЩИХ ПРОЦЕСС ДОБЫЧИ	25
4.1. Опись метода групповой оценки экспертов	25
4.1.1. Обобщенное мнение группы экспертов	27
4.1.2. Степень согласованности мнений экспертов	28
4.1.3. Активность и компетентность экспертов	31
4.1.4. Анализ влияния времени на оценку определённого события	33
4.1.5. Удельный вес различных экспертов	34
4.2. Методы факторного анализа и главного фактора	35
4.2.1. Сущность факторного анализа	35
4.2.2. Метод главного фактора	40
5. ПОДБОР ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ И ВАЖНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ВЫСНЯЮЩИХ ПРОЦЕСС ДОБЫЧИ	42
5.1. Организация испытаний в каменноугольных шахтах	42
5.2. Обработка результатов испытаний	46
5.3. Использование методов факторного анализа и главного фактора для определения множества важных высняющих переменных	61
5.4. Оценка компетентности экспертов и её влияние на мнение экспертов	64
5.5. Выводы	79
6. РАЗДЕЛЕНИЕ УГОЛЬНЫХ ШАХТ НА ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ	83
6.1. Метод многомерных случайных переменных	83
6.2. Типологические множества шахт	85
6.3. Выводы	89

	Стр.
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ВЫЯСНЯЮЩИХ ПЕРЕМЕННЫХ В ПРОЦЕССАХ ДОБЫЧИ	90
7.1. Подбор статистических материалов и оценка достоверности входных данных	90
7.2. Определение видов связей выявляющих переменных	93
7.3. Определение частичных моделей процессов добычи для угольных шахт	96
7.4. Определение частичных моделей процессов добычи для очистных забоев	104
7.5. Анализ точности полученных моделей	112
7.6. Выводы	117
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ДОБЫЧИ В УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ	118
8.1. Объект и предмет управления	118
8.2. Условия успешного управления	119
8.3. Основы подбора оптимальных величин управляющих переменных в процессах добычи	122
9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗРАБОТАННОГО МЕТОДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДОБЫЧИ В ИЗБРАННОЙ УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ	127
9.1. Характеристика объектов исследования	127
9.2. Определение стратегии управления для испытываемого объекта .	129
9.3. Определение оптимальных величин управляющих переменных лавы исследуемой угольной шахты	135
9.4. Обсуждение результатов расчётов	137
9.5. Связь глобальных моделей с частичными для исследуемой угольной шахты	138
9.6. Использование разработанного метода в практике угольной промышленности	139
10. ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ	143
ЛИТЕРАТУРА	146
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	151
РЕЗЮМЕ	154

CONTENTS

	Page
1. INTRODUCTION	9
2. THE AIM AND SCOPE OF THE PAPER	12
3. THE METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF THE INVESTIGATIONS TO BE CARRIED OUT	15
3.1. Analyses and syntheses of complex systems	15
3.2. Types of models of complex systems	19
3.3. The essence of models of plants with a stable structure	20
3.4. The essence of models of plants with a varying structure	20
3.5. Classification of models of plants with a varying structure	21
3.6. Principles of the construction of models with a varying structure, basing on information concerning some group of plants	23
4. METHODS OF SELECTING A SET OF POTENTIAL AND ESSENTIAL VARIABLES EXPLAINING THE MINING PROCESSES	25
4.1. The method of group evaluation by experts	25
4.1.1. The generalized opinion of a group of experts	27
4.1.2. The degree of compatibility of the experts opinions	28
4.1.3. The activity and competence of the experts	31
4.1.4. Analysis of the effect of time on the evaluation of some given event	33
4.1.5. Mass fractions of various experts opinions	34
4.2. Factor analysis and main-factor methods	35
4.2.1. The essence of the factor analysis	35
4.2.2. The method of the main factor	40
5. THE CHOICE OF POTENTIAL AND VARIABLES EXPLAINING THE MINING PROCESS	42
5.1. The arrangement of tests in hard-coal collieries	42
5.2. The processing of test results	46
5.3. Application of the factor analysis and main factor method for the purpose of determining a set of essential explanatory variables	61
5.4. Evaluation of the experts competence and its influence on the experts opinion	64
5.5. Conclusions	79

	Page
6. CLASSIFICATION OF COLLIERIES INTO TYPOLOGICAL GROUPS	83
6.1. The method of multi-dimensional stochastic variables	83
6.2. Typological sets of collieries	85
6.3. Conclusions	89
7. DETERMINATION OF ANALYTICAL DEPENDENCES FOR VARIABLES EXPLAINED IN MINING PROCESSES	90
7.1. Choice of statistical material and evaluation of the veracity of input data	90
7.2. Determination of the shape of the connection of explanatory variables	93
7.3. The preparation of models of partial mining processes in collieries	93
7.4. Preparation of models of partial mining processes in stops	104
7.5. Analysis of the accuracy of the obtained models	112
7.6. Conclusions	117
8. DETERMINATION OF A RATIONAL STRATEGY OF CONTROLLING MINING PROCESSES IN COLLIERIES	118
8.1. The object of control	118
8.2. Conditions of effective control	119
8.3. Principles of the choice of optimal values of variables controlling a mining process	122
9. THE APPLICATION OF THE DISCUSSED METHOD FOR THE PURPOSE OF CONTROLLING THE MINING PROCESS IN A SELECTED COLLIERY	127
9.1. Characteristics of the object of investigations	127
9.2. Determination of the strategy of controlling the investigated object	129
9.3. Determination of the optimal values of controlling variables in the case of coal-faces in the investigated colliery	135
9.4. Discussion of the results of calculations	137
9.5. The connection of global models with partial models in the investigated colliery	138
9.6. Application of the developed method in full-scale practice in the mining industry	139
9.7. Conclusions	142
10. FINAL CONCLUSIONS	143
LITERATURE	146
FOOTNOTE 1. Schedule of symbols identifying the mining companies and collieries	151
SUMMARIES	154

1. WPROWADZENIE

Aktualny stan polskiego górnictwa węglowego jest wynikiem osiągnięć nauki i doświadczeń praktycznych przemysłu węglowego. Poziom rozwoju górnictwa determinowany jest z jednej strony przez tendencje światowe w mechanizacji i automatyzacji górnictwa, z drugiej strony warunki górnictwo-geologiczne polskiego górnictwa. Opracowane i realizowane programy intensyfikacji produkcji górniczej, stanowiące zasadniczą treść zamierzeń gospodarczych przemysłu węglowego, ukierunkowane są na wypracowanie właściwych metod gospodarowania i technologii górniczej. Celem rozwoju tych metod i technologii produkcji jest wzrost efektywności ekonomicznej i organizacyjnej gospodarowania oraz humanizacji pracy w całym przemyśle węglowym.

Efektywność ekonomiczna i organizacyjna gospodarowania na obecnym etapie rozwoju górnictwa - to przede wszystkim optymalne wykorzystanie zdolności eksploatacyjnych istniejących kopalń w celu zapewnienia niezbędnego poziomu wydobycia węgla, wynikającego z krajowego bilansu paliwowo-energetycznego. Ze względu na posiadane środki finansowe wzrost zdolności eksploatacyjnych musi być dokonany przy ograniczonych możliwościach rozszerzenia kapitałnych inwestycji górniczych, a więc metodami intensywnymi.

Dalszy rozwój polskiego górnictwa węglowego, jak wykazały przeprowadzone badania i analizy, będzie wymagać rozwiązania wielu problemów technicznych i organizacyjnych. Do ważnych zagadnień wymagających aktualnie rozwiązania należą między innymi:

- utrzymanie obecnego poziomu wydobycia węgla przy jednoczesnym sięganiu do coraz głębiej zalegających pokładów węgla poniżej 1000 m,
- lepsze wykorzystanie zasobów kopalń czynnych,
- wzrost wydajności pracy, który od wielu lat w istniejących warunkach górnictwo-geologicznych uległ zahamowaniu,
- obniżenie kosztów wydobycia węgla mimo stałego pogarszania się warunków górnictwo-geologicznych.

Jedynym wyjściem dla dalszego rozwoju górnictwa węglowego jest poszukiwanie nowych rozwiązań technologiczno-organizacyjnych zwiększających wydajność pracy, poprzez maksymalne wykorzystanie możliwości dyspozycyjnego wyposażenia technicznego, które w konsekwencji wpłyną na obniżkę kosztów wydobycia przy jednoczesnym utrzymaniu istniejącego poziomu wydobycia węgla.

Jedną z realnych propozycji w zakresie nowych rozwiązań organizacyjnych jest zagadnienie sterowania procesami wydobywczymi w kopalni, problem bardzo istotny dla całokształtu zarządzania kopalnią węgla. Od jego rozwiązania zależą zarówno efektywne gospodarowanie samą kopalnią, jak i możliwości wpływu na realizację wielu ważnych zadań o charakterze produkcyjnym, organizacyjnym i ekonomicznym.

Niniejsza praca jest propozycją rozwiązania powyższego problemu i wynika z faktycznych potrzeb górnictwa węglowego.

We współczesnej literaturze fachowej najczęściej ujęcie problematyki sterowania procesami wydobywczymi występuje w świetle tylko jednej wielkości - wydobywania. Stosunkowo szeroko, choć również w sposób niepełny, ujmowane są oddzielnie zagadnienia dotyczące sterowania np. wydajnością pracy oraz kosztami wydobywania. Niniejsza praca ujmuje powyższe zagadnienia wielowymiarowo i wielokryterialnie. Takie ujęcie problematyki sterowania procesami wydobywczymi w kopalni węgla i w przodkach wybierkowych z uwzględnieniem działań efektywnościowych, organizacyjnych i ekonomicznych powoduje konieczność:

- uwzględnienia cech występujących zależności pomiędzy zmiennymi w czasie charakteryzującymi procesy wydobywcze,
- analizowania i badania procesów wydobywczych w kategoriach systemów szczególnie złożonych.

Zatem podejście systemowe i wielokryterialne ujęcie problematyki sterowania procesami wydobywczymi pozwala na wypracowanie właściwych rozwiązań techniczno-organizacyjnych niezbędnych dla rozwoju górnictwa węglowego.

Badacze systemów złożonych zwracają uwagę, że przeniesienie doświadczeń w operowaniu systemami prostymi do systemów szczególnie złożonych jest bezużyteczne i prowadzi do błędów o nieodwracalnych konsekwencjach. Oczekiwanie, że w przypadku dysponowania pełniejszymi danymi i informacjami uda się wyjaśnić zachowanie się systemu złożonego, jest rozumowaniem błędnym.

Aktualnie eksploatowane przez kopalnie węgla informatyczne systemy zarządzania umożliwiają zbieranie, gromadzenie i przetwarzanie informacji o zaszczościach gospodarczych, w tym o procesach wydobywczych w poszczególnych przodkach wybierkowych. Możliwości wykorzystania opracowanych i eksploatowanych systemów informatycznych do sterowania procesami wydobywczymi w kopalniach węgla i w przodkach wybierkowych są znacznie utrudnione.

W pracy wykazano, że zbiór zmiennych objaśnianych i objaśniających procesy wydobywania w kopalni węgla i w przodku wybierkowym jest ograniczony do skończonej liczby zmiennych, ale wystarczający do opisu zachowania się tych procesów dla celów sterowania.

W pracy przyjęto tezę, że wypracowane w ramach podejścia systemowego metody i techniki umożliwiają opracowanie zalgorytmizowanych sposobów sterowania procesami wydobywczymi oraz pozwalają na zbudowanie modeli matematycznych opisujących te procesy na poziomie kopalni i przodka wybierkowego.

Zweryfikowana w pracy teza pozwoliła na wypracowanie metod skutecznego sterowania wydobywaniem węgla, pracochłonnością i kosztem jednostkowym dla procesów wydobywczych zachodzących w kopalni węgla i przodkach wybierkowych. Opracowanie niniejsze jest kontynuacją i uogólnieniem dotychczas badań autora w zakresie sterowania procesami wydobywczymi opublikowanymi w pracach [65], [67], [72], [73], [74]. Całość opracowania składa się zasadniczo z trzech części:

W pierwszej części przedstawiono podstawy metodologiczne przeprowadzonych badań, w których podano zasadnicze cechy systemów złożonych oraz zasady budowy modeli o zmiennej strukturze, opartych na informacjach o grupie obiektów dostosowanych do specyfikacji przebiegu procesów wydobywczych w kopalniach węgla.

Część druga pracy zawiera omówienie przeprowadzonych badań w kopalniach węgla kamiennego dotyczących doboru potencjalnych zmiennych objaśniających procesy wydobywcze na poziomie kopalni węgla oraz przodków wybierkowych metodą grupowej oceny ekspertów. Metodami matematycznymi, tj. analiza czynnikową oraz głównego czynnika przeprowadzono redukcję zbioru potencjalnych zmiennych w zbiór istotnych zmiennych. Ze względu na możliwości i ograniczenia występujące w sterowaniu procesami wydobywczymi dokonano metodą zmiennych losowych wielowymiarowych podziału kopalń węgla na grupy statystycznie jednorodne. W ramach wyszczególnionych grup typologicznych kopalń, metodami analizy regresji wyznaczono modele matematyczne - trzyrównaniowe dla wielkości objaśnianych, tj. wielkości wydobywania, pracochłonności dla grupy pracowników przemysłowych oraz kosztów jednostkowych wydobywania.

Analiza jednorodności danych statystycznych pozwoliła na określenie rodziny typów modeli ze względu na stosowane rodzaje obudów zmechanizowanych, maszyn urabiająco-kadujących oraz systemu wybierania. Uzyskane modele matematyczne poddano analizie dokładności.

W części trzeciej opisano sposób wyznaczenia racjonalnej strategii sterowania procesami wydobywczymi, który został przedstawiony w postaci algorytmicznej. Podano zasady wykorzystania opracowanej metody do sterowania procesem wydobywczym w kopalniach węgla i przodkach wybierkowych, które zilustrowano przykładem dla wybranej kopalni.

Opracowanie poprzedzono wstępem, podano cel i tezę pracy oraz zakończono wnioskami odnoszącymi się do przedstawionej metody i praktyki górniczej.

2. CEL I ZAKRES PRACY

Skuteczne sterowanie procesem produkcyjnym uzależnione jest przede wszystkim od cech obiektów sterowalnych. Wyróżniamy trzy podstawowe cechy obiektów sterowalnych:

- identyfikowalność,
- obserwowalność,
- sterowalność.

L. Amey [2] definiuje identyfikację jako jednoznaczne ustalenie parametrów, które mają być estymowane. Wydaje się, że przez identyfikację obiektu sterowanego należałoby rozumieć nie tylko estymację parametrów. Bowiem R. Kulikowski [51] mówi zarówno o estymacji parametrów, jak też o rozpoznaniu charakterystyki obiektu. Oznacza to, że chodzi tu zarówno o znajomość struktury, a więc zmiennych występujących w sterowanym procesie jak i relacji, jakie między nimi występują, a także hierarchicznej budowy sterowanego obiektu. Zatem rozszerzona interpretacja pojęcia identyfikacji procesów obejmuje ich ujęcie systemowe.

W górnictwie węglowym przeprowadzenie identyfikacji jest pierwszą czynnością analizy danego zagadnienia lub jedną z technik rozwiązywania danego problemu. Są to:

- problemy diagnozy, oceny, analizy oraz kategoryzacji kopalń i zachodzących w kopalni procesów,
- budowa modeli decyzyjnych procesów produkcji górniczej,
- konstruowanie wariantowych rozwiązań techniczno-organizacyjnych układów mechanizacyjnych procesów produkcyjnych i pomocniczych,
- projektowanie i planowanie procesów produkcyjnych.

Identyfikacja poprzedza zawsze sterowanie procesami wydobywczymi na poziomie kopalni lub pojedynczych przodków wybierkowych. Mówiąc o zakresie identyfikacji należy mieć na uwadze dobór zmiennych objaśnianych oraz objaśniających badany proces lub zdarzenia, a także graniczne wartości tych zmiennych. Ponieważ w procesach produkcyjnych górniczych przeważają zjawiska o charakterze stochastycznym, więc zmienne identyfikujące procesy wydobywcze zależne są od występujących w badanej kopalni:

- zróżnicowanych warunków górniczo-geologicznych,
- struktury przestrzennej dołu kopalni,
- stosowanych technologii wybierania węgla,
- organizacji robót, pracy i systemów pracy.

Uważa się, że system jest w pełni obserwowalny, jeśli pomiary wyjść systemu dokonane w określonym przedziale czasu zapewniają informację wystarczającą do całkowitego i pełnego zidentyfikowania systemu. Zagadnienie obserwowalności procesu ma podstawowe znaczenie dla skutecznego sterowania tym procesem. Sterowanie, według H. Greniewskiego [32], polega na uzyskaniu zamierzonych i celowych zmian w sytuacji. W rozumieniu niniejszej pracy obiektem sterowania jest proces wydobywczy. W kopalniach węgla kamiennego proces wydobywczy z natury swojej ma charakter dynamiczny, stąd też rozpatrywany będzie w kategoriach systemu dynamicznego.

W sterowaniu systemy dynamiczne opisuje się za pomocą:

- 1) wektora stanu systemu w momencie t , dla n -zmiennych,
- 2) funkcji określającej wartość wektora stanu w dowolnej chwili t .

Do powyższych własności systemów dynamicznych należą również wielkości zadane, ustalone przez określonego decydenta, aby mogło zachodzić sterowanie, które można określić wektorem stanu sterowania w dowolnym momencie t . Zatem proces sterowania można opisać w dowolnym przedziale czasu za pomocą wektorów stanu oraz funkcji, która zależy od obu wektorów.

Praca niniejsza jest propozycją skutecznego sterowania wydobywaniem, pracochłonnością i kosztem jednostkowym w odniesieniu do procesów wydobywczych kopalni węgla kamiennego w ujęciu systemowym.

Podstawowym celem pracy jest opracowanie zalgorytmizowanej metody identyfikacji procesów produkcyjnych, opierając się na obserwowalności zachodzących zjawisk, która umożliwi skuteczne sterowanie procesami wydobywczymi w kopalni węgla kamiennego. Z powyższego określonego podstawowego celu wynikają następujące cele szczegółowe:

- opracowanie metody pozwalającej określić zbiór potencjalnych oraz istotnych zmiennych objaśniających procesy wydobywcze w kopalni węgla kamiennego,
- określenie relacji jakościowych i ilościowych pomiędzy zmiennymi objaśniającymi proces wydobywczy a wybranymi zmiennymi objaśnianymi,
- opracowanie klasy modeli matematycznych opisujących proces wydobywczy na poziomie kopalni oraz przodka wybierkowego,
- wykazanie możliwości sterowania procesami wydobywczymi ze względu na wydobywanie, pracochłonność i koszt jednostkowy węgla.

Wyżej wymienione cele pozwalają na przyjęcie i sformułowanie tezy pracy, co poprzedzono wykonaniem badań i analiz w kopalniach węgla kamiennego oraz przeprowadzeniem wywiadów w służbach kopalń, a mianowicie:

- pionu głównego inżyniera górniczego,
- pionu głównego inżyniera ds. energomaszynowych,
- pionu zastępcy dyrektora ds. ekonomicznych,
- działu techniczno-organizacyjnego.

Podstawowym celem tych badań było określenie wpływu wybranych zmiennych objaśniających oraz wielkości wskaźników statycznych na poziom wydobywania, zatrudnienia, koszty jednostkowe węgla, a także wpływu różnych wariantów technologii i organizacji wybierania oraz wyposażenia technicznego przodków na rytmiczność wykonywania zadań planowych przez poszczególne przodki wybierkowe i całą kopalnię. W przeprowadzonych badaniach istotną sprawą było również wyspecyfikowanie rodzajów zakłóceń występujących w procesach wydobywczych.

Wyniki wstępnych badań i analiz w kopalniach węgla kamiennego pozwalają na sformułowanie następującej tezy pracy: Wypracowane w ramach podejścia systemowego koncepcje metod i technik umożliwiają opracowanie załgorytymizowanych sposobów sterowania procesami wydobywczymi oraz zbudowanie modeli matematycznych opisujących te procesy na poziomie kopalni węgla i przodka wybierkowego.

W celu uzasadnienia tezy pracy opracowano lub zaadaptowano wiele metod badawczych, a mianowicie:

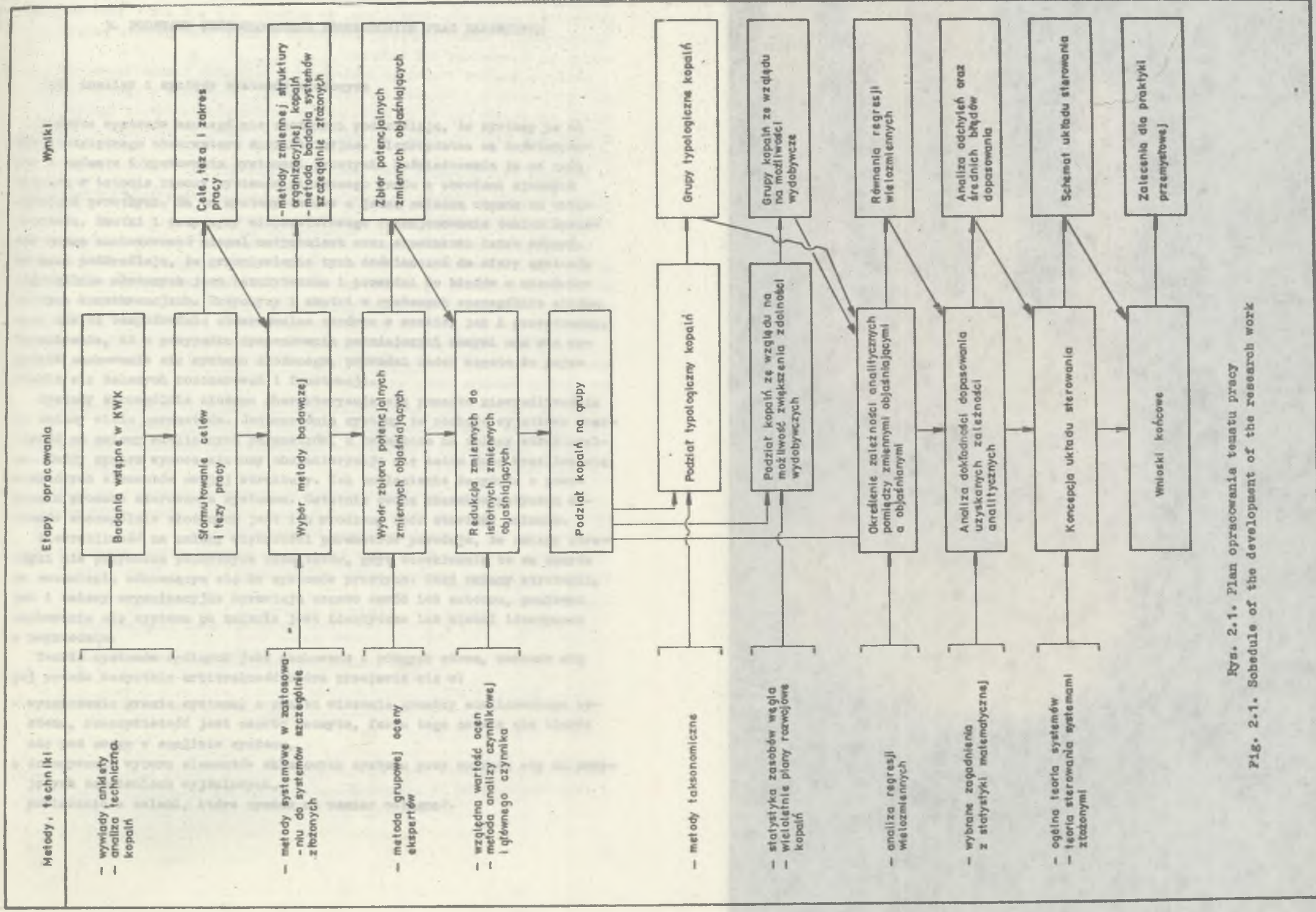
- metodę heurystyczną: ocena grupowa ekspertów do doboru zbioru potencjalnych zmiennych objaśniających procesy wydobywcze w kopalni węgla kamiennego i w przodku wybierkowym,
- metody analizy czynnikowej i głównego czynnika dla wyboru istotnych zmiennych objaśniających ze zbioru potencjalnych zmiennych objaśniających,
- metody taksonomiczne z podziałem zbioru obiektów z nieznaną liczbą kias dla określenia grup typologicznych kopalń,
- analizę regresji wielu zmiennych dla określenia zależności funkcyjnej pomiędzy badaną zmienną objaśnianą a istotnymi zmiennymi.

Badaniami i analizą objęto zbiór kopalń węgla kamiennego także z podziałem na możliwości wydobywcze:

- kopalnie rozwojowe,
- kopalnie o ustabilizowanym wydobywaniu,
- kopalnie o zanikających zasobach.

Za podstawę prowadzonych prac badawczych posłużyła koncepcja zmiennej struktury systemów organizacyjnych przemysłu węglowego oraz wypracowane etapy badania systemów szczególnie złożonych w ramach ogólnej teorii systemów.

Dane statystyczne niezbędne do przeprowadzenia badań oraz weryfikacji opracowanych metod objęły lata 1982-1986. Tok opracowania tematu dla przyjętych celów oraz sformułowanej tezy pracy przedstawiono na rys. 2.1.



rys. 2.1. Sobeudle of the development of the research work

3. PODSTAWY METODOLOGICZNE PRAC BADAWCZYCH

3.1. Analizy i syntezy systemów złożonych

Badacze systemów szczególnie złożonych podkreślają, że systemy te są dla przeciętnego obserwatora antyintuicyjne. Nieprzydatne są doświadczenia w badaniu i operowaniu systemami prostymi. Doświadczenia te na ogół dotyczą w istocie rzeczy systemów pierwszego rzędu z obwodami ujemnych sprzężeń zwrotnych. Są to systemy celowe z jedną zmienną uznana za priorytetowa. Skutki i przyczyny nieprawidłowego funkcjonowania takich systemów można zaobserwować niemal natychmiast oraz stosunkowo łatwo odkryć. Badacze podkreślają, że przeniesienie tych doświadczeń do sfery systemów szczególnie złożonych jest bezużyteczne i prowadzi do błędów o nieodwracalnych konsekwencjach. Przyczyny i skutki w systemach szczególnie złożonych nie są bezpośrednio obserwowalne zarówno w czasie, jak i przestrzeni. Oczekiwanie, iż w przypadku dysponowania pełniejszymi danymi uda się wyjaśnić zachowanie się systemu złożonego, prowadzi nader często do pojawienia się dalszych rozczarowań i frustracji.

Systemy szczególnie złożone charakteryzują się ponadto niewrażliwością na zmiany wielu parametrów. Jednocześnie systemy te cechuje wyjątkowa wrażliwość na zmiany nielicznych parametrów, a zwłaszcza na zmiany strukturalne. Każdy system wysoce złożony charakteryzuje się zatem dużą wrażliwością niektórych elementów swojej struktury. Ich znalezienie decyduje o powodzeniu procesu sterowania systemem. Ostatnią cechą charakterystyczną systemów szczególnie złożonych jest ich wrodzony opór stawiany zmianom.

Niewrażliwość na zmiany większości parametrów powoduje, że zmiany strategii nie przynoszą pożądaných rezultatów, gdyż oczekiwania te są oparte na rozumieniu odnoszącym się do systemów prostych. Stąd zmiany strategii, jak i zmiany organizacyjne sprawiają często zawód ich autorom, ponieważ zachowanie się systemu po zmianie jest identyczne lub niemal identyczne z poprzednim.

Teoria systemów ogólnych jest atakowana z różnych stron, zarzuca się jej przede wszystkim arbitralność która przejawia się w:

- wyznaczeniu granic systemu; z punktu widzenia granicy analizowanego systemu, rzeczywistość jest często rozmyta, faktu tego często nie bierze się pod uwagę w analizie systemu,
- dokonywaniu wyboru elementów składowych systemu przy oparciu się na przyjętych założeniach wyjściowych,
- powiązaniu z celami, które system ma zamiar osiągnąć.

Wyżej przedstawione "zarzuty" nie mogą być odniesione do samej teorii systemów ogólnych, ale do postępowania tych, którzy się posługują metodą systemową w analizach. Wydaje się, że pojęcie **s y s t e m** jest pojęciem koncepcyjnym w ramach przyjętej konwencji a zatem jako pojęcie relatywne zależy od obserwatora czy badacza.

Metodyka analizy i syntezy systemowej w ostatnich latach (przełom lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych) została opracowana w sposób doskonały niż dzieło się to na początku lat siedemdziesiątych, a zasługą tego byli tacy autorzy, jak: G. Klir [42], R. Cavallo [14] oraz W. Sadowski [85].

Metodyka rozwiązywania tych problemów wiąże się z:

- instrumentami służącymi do rozwiązywania problemów systemów ogólnych,
- ogólnym obrazem systemu.

Koncepcja takiego podejścia składa się z sekwencji kroków pokazanych na rys. 3.1. Na początku badacz rozpoznaje określony obiekt nadający się do zbadania i opisuje go od strony metodologicznej przez wyszczególnienie pewnych cech (atrybutów, własności) obiektu, które uważa za istotne z punktu widzenia celu swoich badań.

W rezultacie powstaje lista wyspecyfikowanych cech ze względu na zamiar i cel badawczy oraz selekcję w otoczeniu obiektu.

Nie jest to zadanie łatwe ze względu na:

- stopień identyfikacji cech, od łatwo i jednoznacznie rozpoznawalnych do rozmytych oraz bardzo trudno dających się identyfikować,
- problem mierzalności własności w odniesieniu do sposobów i ich przejawiania się.

Następnym krokiem jest przekształcenie systemu - obiektu - na ogólny obraz systemu. Wybrany obiekt i ogólny obraz systemu tworzą razem system, który nazywa się systemem źródłowym lub początkowym.

W ujęciu formalnym R. Cavallo przedstawia warunki wyboru obiektu i zdefiniowanie ogólnego obrazu systemu następująco:

- wybór obiektu

$A = \{a_i / i \in J_n\}$ zbiór "n" cech podstawowych

$B = \{b_j / j \in J_n\}$ zbiór "n" cech pomocniczych

$F_B = \{A_i / i \in I_n\}$ zbiory przejawiania się każdej

$F_S = \{B_j / j \in J_n\}$ cechy

Étapy badania systemu
szczególnie zózonego

poziomy

poziom episte -
mologiczny 0

- cechy
- zmienne podstawowe i pomocnicze
- sposoby przejawiania się zmiennych

system bez
danych

poziom episte -
mologiczny 1

- wyniki obserwacji ze stanów zmiennych
- macierz zmiennych wejściowych i wyjściowych

system z da-
nymi

poziom episte -
mologiczny 2

- procedury określające relacje między zbiórami wartości zmiennych

zachowanie
się systemu

poziom episte -
mologiczny 3

- identyfikacja struktury systemu
- zbiór wyróżnionych podsystemów ze względu na kryteria i relacje między zmiennymi

ogólny obraz
systemu

Rys. 3.1. Schemat ideowy analizy i syntezy systemów szczególnie zózonych
Fig. 3.1. An outline of the analysis and synthesis of particularly complex systems

- określenie obrazu systemu

$V = \{V_i / i \in J_n\}$	zbiór zmiennych podstawowych
$W = \{W_j / j \in J_m\}$	zbiór zmiennych pomocniczych
$G_B = \{V_i / i \in J_n\}$	zbiór zbiorów wartości zmiennych V_i
$G_S = \{W_j / j \in J_m\}$	zbiór zbiorów wartości zmiennych W_j

gdzie:

J_n, J_m - są zbiorami indeksów n oraz m .

W tak sformalizowanym ujęciu:

1) zapewniona jest odpowiedniość każdej cechy z każdą zmienną przy przejściu od A do V oraz od B do W .

2) dla każdej cechy i zmiennej podstawowej oraz pomocniczej istnieje przejście za pomocą macierzy $L_i(L_j)$ ze zbioru $A_i(B_j)$ do zbioru $V_i(W_j)$.

Jeżeli powyższe zbiory cech i zmiennych będą określone i zapewniona zostanie także odpowiedzialność wraz z przechodzeniem ze zbioru cech do zbioru zmiennych, to można uznać system źródłowy za w pełni zdefiniowany i opisany. Taki opis systemu obiektu i jego ogólny obraz nie zawiera informacji pochodzących z obserwacji lub pomiarów. Na poziomie epistemologicznym 0 (zero) R. Cavallo umieścił system bez danych. Dopóki znane są jedynie cechy, zmienne podstawowe i pomocnicze oraz zbiory przejawiania się za pomocą stanów, dopóty system pozostaje na tym poziomie badań.

Przejście do pierwszego poziomu epistemologicznego oznacza przekształcenie rozpatrywanego systemu w system z danymi. Najlepszą formą reprezentującą taki system jest macierz pozwalająca zestawić wyniki wszystkich obserwacji cech a_i ze zmiennej V_i dla wszystkich wartości parametrów w przestrzeni. Następne kroki dotyczą przekształcenia pierwszego poziomu epistemologicznego (z danymi) w drugi - związany z zachowaniem się systemu, przez zastosowanie procedur służących do określenia relacji między zbiorami wartości zmiennych oraz kolejnego przekształcenia w poziom trzeci. Ten ostatni poziom polega na identyfikacji struktury systemu, czyli zbiorów podsystemów wyróżnionych ze względu na przyjęte kryteria i relacje zachodzące między nimi.

Wydaje się, że tak określone ramy badania systemu złożonego pozwalają na rozważanie problemów na różnych poziomach epistemologicznych poczynając od cech, zmiennych podstawowych i pomocniczych, zbiorów i relacji na tych zbiorach, wreszcie układu obserwacji i pomiarów, badania zachowania się systemu i kończąc na analizie strukturalnej systemu.

3.2. Typy modeli systemów złożonych

Problem opisu dynamiki obiektów kopalń węgla z jednoczesnym uwzględnieniem zmian w czasie istniejących złożonych zależności pomiędzy cechami charakteryzującymi daną kopalnię węgla jest obecnie jednym z najbardziej złożonych problemów modelowania. Problem ten do tej pory nie doczekał się zadowalającego rozwiązania. Z interesujących propozycji metodologicznych dających dotychczas najlepsze rozwiązanie tego problemu jest metoda modelowania oparta na stosowaniu modeli obiektów o zmiennej strukturze. Podstawę budowania tych modeli stanowią informacje o obiekcie uzyskane w pewnym okresie poprzez obserwację jego cech oraz uzyskiwanych wskaźników uznanych za wynikowe. Aby uzyskany w ten sposób obraz obiektu był jak najwierniejszy, traktuje się obiekty jako "systemy złożone". Analizowanie i badanie systemów techniczno-organizacyjnych przemysłu węglowego w kategoriach systemów złożonych wymaga uwzględnienia w badaniach i opisie dynamiki następujących ich cech ogólnych:

- stochastycznego charakteru zachowania się systemu; oznacza to niemożliwość jednoznacznego określenia przyszłych wartości wskaźników wynikowych na podstawie informacji o ich wielkościach z przeszłości oraz na podstawie wartości informacji wejściowych. Decyduje o tym niepełna nasza wiedza o badanym obiekcie, losowe zachowanie się określonych wejściowych czynników, jak np. warunki geologiczno-górniczne i wreszcie niescisłości danych statystycznych,
- sterowalności, tj. możliwości celowego kierowania pewnymi wartościami wejściowymi parametrów systemu. Oznacza to, że część wejściowych zmiennych można poddać regulacji w pewnym dopuszczalnym zakresie,
- inercyjności, tj. zależności stanu systemu w danej chwili od stanów poprzedzających (przyszłych). Uwarunkowana jest ona niemożnością zmiany w przedziale krótkiego okresu technologicznej struktury procesów produkcyjnych w kopalniach węgla kamiennego. Przyczynami tego są między innymi opóźnienia w uzyskiwaniu informacji o konieczności przyjęcia nowych rozwiązań sterujących, opóźnienia reakcji sterowania na zmianę sytuacji zewnętrznej systemu. Stopień inercyjności systemu jest tym większy, im wyższe jest miejsce danego obiektu w poziomie hierarchicznym obowiązującego systemu techniczno-organizacyjnego.

Uwzględnienie tych cech skłania do podziału budowanych obrazów obiektów kopalń węgla na dwa podstawowe typy:

- modele obiektów o stałej strukturze,
- modele obiektów o zmiennej strukturze.

Przez strukturę modelu obiektu rozumie się tu zbiór wejściowych oraz wyjściowych zmiennych, zbiór parametrów modelu oraz zbiór relacji zachodzących pomiędzy elementami tych zbiorów.

3.3. Istota modeli obiektów o stałej strukturze

Modele obiektów o stałej strukturze są zorientowane głównie na badania własności statycznych obiektu. Pozwalają one opisać przyszłe stany obiektu za pomocą ekstrapolacji pewnych wskaźników w oparciu o ich zachowanie się w przeszłości. Zakłada się wtedy, że zachowanie się systemu w całym analizowanym okresie czasu można opisać tym samym procesem losowym. Cechą, która skłania do stosowania tego typu modeli obiektu jest inercyjność. Modele obiektów o stałej strukturze nie mają zastosowania do celów sterowania, bowiem nie oddają w pełni obrazu zachodzących zmian wielkości objaśnianych pod wpływem wymuszonych zmian wielkości sterowanych oraz nie uwzględniają zmian jakościowych w zachowaniu się obiektów. Stąd w niniejszej pracy przy budowaniu obrazów obiektów kopalń węgla wykorzystano modele o zmiennej strukturze.

3.4. Istota modeli obiektów o zmiennej strukturze

Modele obiektów o zmiennej strukturze zorientowane są na dostarczenie informacji o możliwych stanach obiektu w zależności od przyjętych różnych rozwiązań techniczno-organizacyjnych z uwzględnieniem zmian jakościowych w zachowaniu się obiektu. Cechami, które przemawiają za stosowaniem tego typu modeli obiektu, są stochastyczność i sterowalność.

Wybór typu modelu zależy więc od stopnia inercyjności, sterowalności i stochastyczności zachowania się danego obiektu.

Modele o stałej strukturze stosuje się dla obiektów, w których badane procesy mają charakter stacjonarny lub są zbliżone do stacjonarnego. Zgodnie z tezą o zmieniającej się efektywności wykorzystania zasobów górniczych oraz faktem, że im dłuższy jest okres obserwacji zdarzeń w kopalni węgla, to tym bardziej chwiejna okazuje się stacjonarność badanych procesów produkcyjnych górniczych, a w szczególności wydobywczych, modele ze zmienną strukturą dają bardziej prawdopodobny obraz badanych kopalń węgla.

W literaturze często spotyka się podejście traktujące modele o zmiennej strukturze jako szeroką klasę modeli zawierającą zbiór modeli o stałej strukturze. Takie podejście uzasadnione jest tym, że na zachowanie się każdego obiektu wywierają wpływ następujące czynniki:

- postęp naukowo-techniczny,
- etap rozwoju badanego obiektu,
- warunki naturalne związane z procesem produkcyjnym realizowanym przez obiekt.

Postęp naukowo-techniczny, rozumiany jako doskonalenie środków, przedmiotów i produktów pracy, technologii, organizacji i kierowania jest kluczowym czynnikiem intensywnego rozwoju obiektu, gwarantującym wzrost efektywności bez ponoszenia dużych nakładów.

Przez etap rozwoju obiektu uważa się jeden z trzech podstawowych okresów w "historii" działalności obiektu:

- rozruch - okres od chwili oddania obiektu do eksploatacji aż do momentu uzyskania planowanej mocy produkcyjnej,
- praca stabilna - okres od chwili osiągnięcia pełnej planowanej mocy produkcyjnej do momentu spadku osiąganych wyników produkcyjno-ekonomicznych,
- starzenie się - okres od chwili spadku osiąganych wyników produkcyjno-ekonomicznych do chwili całkowitego przerwania działalności obiektu.

Na każdym etapie rozwoju obiektu inna jest dynamika osiąganych efektów techniczno-ekonomicznych oraz inne są funkcje obrazujące zależność osiąganych wyników od ponoszonych nakładów. Wiadomo, że w pierwszym i w trzecim okresie następują szybkie zmiany wskaźników ekonomicznych przy małej efektywności, a w drugim okresie sytuacja jest odwrotna.

Warunki naturalne wywierają decydujący wpływ na rozwój obiektów przemysłu węglowego. Każdy model dowolnego obiektu powinien uwzględniać możliwość zmiany struktury obiektu, co oznacza zmienność struktury modelu i ostatecznie obraz badanego obiektu można uzyskać poprzez model o zmiennej strukturze.

3.5. Klasyfikacja modeli obiektów o zmiennej strukturze

Metodologia postępowania przy budowie tej klasy modeli uwarunkowana jest głównie dwoma kryteriami:

- bazą informacji wejściowych,
- rodzajem obiektów.

W związku z tym można wyróżnić następujące modele obiektów w zmiennej strukturze:

- jednokryterialne modele pojedynczego obiektu,
- wielokryterialne modele pojedynczego obiektu,
- wielokryterialne modele zbudowane na bazie informacji o grupie obiektów.

Dla scharakteryzowania poszczególnych typów modeli przyjęto następujące oznaczenia:

- n - liczba badanych obiektów, kopalń węgla,
- Y_{it} - wartość i -tego modelowania wskaźnika i -tego obiektu w t -tym okresie czasu,
- X_{it} - wartość r -tej zmiennej wejściowej i -tego obiektu w t -tym okresie czasu,

gdzie:

$$\begin{aligned}i &= 1, \dots, n; \\r &= 1, \dots, p; \\l &= 1, \dots, k; \\t &= 1, \dots, T.\end{aligned}$$

Jednokryterialne modele pojedynczego obiektu ($n=1, k=1, p=1, t > 1$) stosuje się jako narzędzie analizy zmiennych wejściowych i wyjściowych oraz do prognozowania ich wartości. Dla budowania tego typu modeli wykorzystuje się metody i techniki takie, jak: analizę regresji, programowanie liniowe, analizę trendów metodami uzmienniania średnich. Stosowność tego typu modeli jest ograniczona tym, że uzyskane prognozy oparte są na wartościach modelowania wskaźnika z przeszłości, bez uwzględnienia przyczyn zmian tych wartości. Zakłada się tu, że dynamika kształtowania się wskaźnika zostanie zachowana w przyszłości. Prognozy takie są więc prostą ekstrapolacją danego czynnika.

Założenia o zachowaniu się dynamiki w przyszłości można przyjąć bez większej szkody dla modelu, gdy ma się do czynienia z tradycyjną masową produkcją. Przy tworzeniu obrazu obiektu rozumianego jako system złożony, powyższe założenie jest zbyt wielkim uproszczeniem. Modele te nie pozwalają na prognozowanie zachowania się nowo powstałych obiektów.

Wielokryterialne modele pojedynczego obiektu ($n=1, k > 1, p \geq 1, t > 1$) budowane są na podstawie dynamicznych szeregów wskaźników opisujących zachowanie się obiektu. Szeregi te występują jako funkcje wielokryterialne dynamicznych szeregów czynników opisujących procesy realizowane przez obiekt. Funkcje te uwzględniają momenty skokowych zmian wartości wskaźników i zmiennych.

Ogólna postać funkcji jest następująca:

$$Y(t) = f[t, y(t-1), \dots, y(t-\tau), x_1(t-1), \dots, x_1(t-\xi_1), \\ x_n(t), x_n(t-1), \dots, x_n(t-\xi_n)] + \varepsilon_t$$

gdzie:

τ - momenty skokowych zmian wartości wskaźników,

ε_t - losowe zaburzenia w chwili t .

Wielokryterialne szeregi czynników umożliwiają znalezienie przyczyn skokowych zmian wskaźników, co stwarza możliwości uzyskania pełniejszego obrazu obiektu. Nie można jednak zastosować ich do prognozowania zachowania się innych obiektów, nawet obiektów podobnych.

Wielokryterialne modele zbudowane na bazie informacji o grupie obiektów ($n > 1, k > 1, p > 1, t > 1$) są typami modeli nadających się do prognozowania, analizy i oceny działalności obiektów przemysłu wydobywczego. Podstawowa różnica między procesem fizycznym a ekonomicznym z punktu

widzenia statystyki wynika z tego, że proces fizyczny poprzez doświadczenia można powtarzać żadaną ilość razy z zachowaniem tych samych warunków eksperymentu. Dysponuje się wtedy informacjami dotyczącymi wielokrotnej realizacji tego samego procesu, co w konsekwencji pozwala na optymalny wybór struktury modelu i opisu danego procesu. W sytuacji, gdy proces ekonomiczny realizowany jest przez jeden obiekt, dysponuje się danymi dotyczącymi tylko jednej realizacji danego procesu bez możliwości jego powtórzenia dla tych samych warunków. Idea stosowania modeli obiektu o zmiennej strukturze, na podstawie bazy informacji, dla grupy obiektów polega na potraktowaniu realizacji procesu przez podobne obiekty w ustalonym przedziale czasu jako różnych wariantów realizacji tego samego procesu przez pojedynczy obiekt. Wydziela się wtedy z badanych obiektów odpowiednie grupy jednorodne obiektów na tym samym etapie rozwoju. Każda z grup traktuje się jako możliwy etap rozwoju pojedynczego obiektu. Otrzymane dane dla grupy jednorodnych obiektów uznaje się z kolei za wielokrotne realizacje tego samego procesu. Wiadomo, że w praktyce pojedynczy obiekt nigdy nie realizuje danego procesu w pełni. Zatem skupiając się na tym obiekcie można pominąć dużą grupę realizacji w całym systemie. Posługując się w badaniach modelem opartym na grupie obiektów, błąd powyższy eliminuje się prawie zupełnie. W wyniku takiego rozumowania otrzymuje się dokładny opis możliwych zachowań obiektu oraz różne możliwe jego stany, które pozwalają zastosować wspomniany model dla celów prognostycznych i identyfikacyjnych.

3.6. Zasady budowy modeli o zmiennej strukturze na bazie informacji o grupie obiektów

Budowanie tego typu modeli polega na wydzieleniu klas obiektów jednorodnych pod względem typu dynamiki procesu i zbudowania dla każdej klasy tzw. modelu wewnątrzklasowego. Proces modelu przebiega etapowo, a mianowicie:

1. Wyznaczenie krzywych rozwoju każdego obiektu wg przyjętych kryteriów, np. wielkości produkcji, pracochłonności robót, kosztów materialnych itd. Podział tej krzywej wg etapów rozwoju obiektu przedstawia się następująco:

- obiekty będące w stanie "rozruchu",
- obiekty będące w stanie "pracy stabilnej",
- obiekty "starzejące się".

2. Wyznaczenie krzywej dynamiki modelowanego wskaźnika każdego obiektu. Krzywe te tworzą zbiór możliwych realizacji przebiegu dynamiki danego wskaźnika.

3. Dokonanie metodami taksonomicznymi podziału uzyskanych realizacji na grupy jednorodne pod względem ich wartości.

4. Opis każdej grupy za pomocą informacji wejściowych (objaśniających). Każda grupę charakteryzuje się średnimi wartościami zmiennych objaśniających oraz odchyleniami od średnich w danej grupie.

5. Na podstawie analizy grupowej (czynnikowej) dokonuje się wyboru zmiennych wywierających istotny wpływ na kształtowanie się wskaźnika modelowanego oraz ustala się wagi poszczególnych zmiennych.

6. Dokonanie podziału zbioru obiektów na grupy jednorodne pod względem wartości istotnych zmiennych objaśniających.

7. Przeprowadzenie metodami identyfikacji dla każdej grupy typologicznej kopalni analizy tendencji zachowania się zmiennych objaśniających i wskaźników.

Końcowy model grupy obiektów ma następującą postać ogólną:

$$y(-t) = \begin{cases} f_1 [t, y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-k)] & X \in A_1 \\ \vdots \\ f_m [t, y(t-1), y(t-1), \dots, y(t-k)] & X \in A_m \end{cases}$$

Uzyskany model ma strukturę zmienną w zależności od przynależności obiektu do grupy A_1 oraz czasu t .

4. METODY WYBORU ZBIORU POTENCJALNYCH I ISTOTNYCH ZMIENNYCH OBJAŚNIAJĄCYCH PROCESY WYDOBYWCZE

4.1. Opis metody grupowej oceny ekspertów

U podstaw większości metod heurystycznych, w tym także metody grupowej oceny ekspertów, leży ankieta - kwestionariusz pytań, zawierająca pytania związane z centralnym zadaniem badań. Sformułowania poszczególnych pytań powinny zabezpieczać jednoznaczność odpowiedzi oraz wyrażenie ich w postaci ilościowej, liczbowej oceny. W literaturze wyrażony jest pogląd, że ankieta powinna być tak skonstruowana, aby można uzyskać:

- 1) ilościowe określenie odpowiedzi na przedłożone ekspertom pytania,
- 2) sformułowanie wiadomości o charakterze źródeł argumentacji, a także o stopniu wpływu każdego ze źródeł na odpowiedź każdego eksperta,
- 3) ilościową ocenę stopnia znajomości przez eksperta danej dziedziny, do której odnoszą się sformułowane pytania.

Pierwsze wymaganie związane jest z następującymi zagadnieniami:

- oceną względnej ważności różnych cech lub zmiennych, ważnych dla rozwiązania badanego problemu,
- określeniem uogólnionej opinii grupy ekspertów oraz stopniem zgodności opinii ekspertów.

Oceny wyraża się w odpowiednich jednostkach w wybranej skali dogodnej dla przeprowadzenia pomiarów.

Drugie wymaganie będzie spełnione, gdy eksperci wskazą źródło argumentacji, którym posługiwali się w udzielaniu odpowiedzi. Ponadto chodzi tu o określenie wpływu każdego źródła argumentacji na opinię eksperta i oszacowanie tego wpływu, przykładowo w skali: wysoki, średni, niski.

Trzecie wymaganie uzyskuje się, gdy eksperci przeprowadzą samoocenę swojego stopnia znajomości danej dziedziny będącej przedmiotem badań. Zaleca się, aby pomiar samooceny określony był w skali punktowej.

Punktem wyjściowym w metodzie grupowej oceny ekspertów jest określenie względnej ważności ocen poszczególnych ekspertów. W poniżej opisanej metodzie obiektem oceny może być zmienna, cecha, zdarzenie. W przedmiotowych badaniach jako obiekt oceny przyjęto poszczególne zmienne opisujące procesy wydobywcze.

Wiadomo, że dla każdego obiektu znany jest zestaw ocen, wyrażonych przez każdego eksperta w postaci odpowiedzi na pytania wyszczególnione w kwestio-

neriuszu. Jeżeli oceny te wyrażone są w skali punktowej, np. od 0 do 100, wówczas można mówić o względnej ważności cech lub problemów w ocenie całego obiektu. Względna ważność ocen można także zinterpretować jako "wagi" poszczególnych cech charakteryzujących dany obiekt.

Aby przedstawić sposoby opracowywania ocen wyrażonych przez ekspertów, przyjęto następujące oznaczenia:

- m - liczba ekspertów biorących udział w ocenie grupowej
1,2,3,... 1,...m - kolejne numery ekspertów,
- n - liczba obiektów objętych oceną,
1,2,3,... j,...n - kolejne numery ocenianych obiektów,
- m_j - liczba ekspertów oceniających j-ty obiekt,
- $m_{100,j}$ - liczba maksymalnie możliwych ocen (100 punktów) przydzielonych j-temu obiektowi,
- $c_{i,j}$ - względna ważność oceny (w punktach) wyrażona przez i-tego eksperta dla j-tego obiektu,
- m_j - liczba ekspertów oceniających co najmniej jeden obiekt.

Opisana metodyka uwzględnia także przypadki, gdy niektórzy eksperci, uważając siebie za niedostatecznie kompetentnych w odpowiedzi na dane pytanie, nie wyrażają swoich ocen. Wyniki przeprowadzonych badań ujęto w tabelicy 4.1 przedstawiającej zestawienie ocen ekspertów. W tabelicy tej kolumny odpowiadają ocenom poszczególnych obiektów, zaś wiersze przedstawiają ekspertów biorących udział w ocenie grupowej.

Tablica 4.1

Zestawienie ocen ekspertów - macierz ocen

Ekspert- ci	Oceniane zmienne objekty										
	1	2	3	.	.	.	j	.	.	.	n
1	$c_{1,1}$	$c_{1,2}$	$c_{1,3}$				$c_{1,j}$				$c_{1,n}$
2	$c_{2,1}$	$c_{2,2}$	$c_{2,3}$				$c_{2,j}$				$c_{2,n}$
3	$c_{3,1}$	$c_{3,2}$	$c_{3,3}$				$c_{3,j}$				$c_{3,n}$
.											
.											
i	$c_{i,1}$	$c_{i,2}$	$c_{i,3}$				$c_{i,j}$				$c_{i,n}$
.											
.											
m-1	$c_{m-1,1}$	$c_{m-1,2}$	$c_{m-1,3}$				$c_{m-1,j}$				$c_{m-1,n}$
m	$c_{m,1}$	$c_{m,2}$	$c_{m,3}$				$c_{m,j}$				$c_{m,n}$

W celu przeprowadzenia analizy względnej ważności ocen ekspertów, niezbędnym jest zdefiniowanie następujących ilościowych wskaźników charakteryzujących:

- uogólniona opinia grupy ekspertów odnośnie do względnej ważności badanych obiektów,
- stopień zgodności opinii ekspertów,
- aktywność ekspertów, tj. ich udział w wyrażaniu opinii, w ocenie badanych obiektów,
- kompetentność ekspertów w zakresie każdego sformułowanego pytania.

4.1.1. Uogólniona opinia grupy ekspertów

Wskaźnik uogólnionej opinii grupy ekspertów dla określonego obiektu można wyrazić za pomocą średniej statystycznej M_j , wartości ocen wyrażonych w punktach. Wskaźnik M_j oblicza się wg wzoru:

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} c_{i,j}}{m_j} \quad (4.1)$$

Wskaźnik M_j pozwala określić uogólnioną opinię ekspertów dla każdego z "n" obiektów. Wielkość M_j może przyjmować wartości w przedziale od 0 do 100 punktów. Dolna wartość przedziału odpowiada przypadkowi, w którym eksperci podali minimalne z możliwych ocen, zaś górna wartość - maksymalne z możliwych ocen dla danego obiektu. Im większa jest wartość M_j , tym większe znaczenie ma j-ty obiekt w grupie obiektów poddanych ocenie ekspertów.

Częstość ocen $k_{100,j}$ określa ilość maksymalnie możliwych ocen (100 punktów) dla j-tego kierunku badań (dla j-tego obiektu), wyrażonych przez wszystkich ekspertów.

Wielkość ta określona jest wzorem:

$$k_{100,j} = \frac{n_{100,j}}{R_j} \quad (4.2)$$

Wielkość tę oblicza się dla każdego z "n" obiektów i może ona przyjmować wartość z przedziału 0 - 1.

Dolne wartości odpowiadają przypadkowi, gdy wśród wyrażonych ocen dla j-tego obiektu nie wystąpiły maksymalne możliwe oceny (100 punktów), zaś górne wartości oznaczają, że wszystkie oceny j-tego obiektu są maksymalnie możliwe. Ważność j-tego obiektu rośnie ze wzrostem $k_{100,j}$ od 0 do 1. Wskaźnik częstości ocen $k_{100,j}$ należy uważać za dopełniający do podstawowego wskaźnika, jakim jest M_j . Wskaźnik $k_{100,j}$ charakteryzuje zależność

ność j-tego obiektu od liczby otrzymanych "pierwszych miejsc" w przeprowadzonych badaniach. Na równi ze wskaźnikami: M_j - średniej statystycznej i $k_{100,j}$ - częstości maksymalnych możliwych ocen, istotne znaczenie dla wnioskowania o względnej ważności danego kierunku badań ma suma rang ocen S_j dla j-tego kierunku badań. Wielkość S_j wykorzystuje się także do określenia stopnia zgodności opinii ekspertów.

Sumę rang ocen S_j wyznacza się w następujący sposób:

Rangowanie przeprowadza się dla różnych ocen każdego obiektu, wyrażanych przez każdego eksperta. Każdą ocenę danego obiektu wyrażoną przez i-tego eksperta przedstawia się za pomocą liczb naturalnych w taki sposób, że liczbie 1 przypisuje się maksymalną ocenę, zaś liczbie "n" (liczba obiektów) - minimalną. Jeżeli wszystkie n-oceny są różne, to ciąg kolejnych liczb naturalnych odpowiada rangom ocen i-tego eksperta. O ile wśród ocen wyrażonych przez i-tego eksperta występują różne oceny, wówczas nadaje się im jednakowe rangi, równe średniej arytmetycznej odpowiednich liczb w ciągu liczb naturalnych. W przypadku, gdy dany ekspert uważa siebie za niewystarczająco kompetentnego do oceny danego obiektu oraz nie wyraził swojej oceny o wybranym obiekcie, wówczas do rangowania wielkości oceny przyjmuje się średnią statystyczną M_j wartości ocen tego obiektu. Z przypadku tego wyłącza się te sytuacje, w których ekspert nie dał żadnej oceny.

Jeżeli m_j oznacza liczbę ekspertów, którzy podali swoje oceny chociażby jednemu obiektowi, to suma ocen S_j dla j-tego obiektu wynosi:

$$S_j = \sum_{i=1}^{m_j} R_{ij} \quad (4.3)$$

gdzie:

R_{ij} - ranga oceny i-tego eksperta dla j-tego obiektu.

W analizie porównawczej ważności różnych obiektów ze względu na S_j najbardziej ważne są te obiekty, które charakteryzują się najmniejszą wartością S_j .

4.1.2. Stopień zgodności opinii ekspertów

Obok wskaźników względnej ważności oceny istotne znaczenie ma stopień zgodności opinii ekspertów. Znajac wariancję σ_j^2 ocen dla danego kierunku badań (j-tego obiektu) oraz średniokwadratowe odchylenie ocen \bar{c}_j , można obliczyć współczynnik zmienności ocen v_j następująco:

$$\sigma_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} (c_{ij} - \bar{c}_j)^2}{m_j} \quad (4.4)$$

$$\delta_j = \sqrt{6_j^2} \quad (4.5)$$

$$v_j = \frac{\delta_j}{W_j} \quad (4.6)$$

Współczynnik zmienności v_j oblicza się dla każdego kierunku badań. Charakteryzuje on stopień zgodności opinii ekspertów ze względu na ważność j -tego obiektu. Im mniejsza jest wartość v_j , tym wyższy jest stopień zgodności opinii ekspertów o do względnej ważności j -tego obiektu w grupie obiektów.

Stopień zgodności opinii ekspertów w odniesieniu do względnej ważności zestawu ocen dla wszystkich badanych obiektów określa współczynnik konkordacji W . Współczynnik ten określa się dla każdego pytania typu "ocena ważna" poprzez obliczanie następujących wskaźników:

a) średniej arytmetycznej sumy rang ocen $M[S_j]$ dla wszystkich badanych obiektów

$$M[S_j] = \frac{\sum_{j=1}^n S_j}{n} \quad (4.7)$$

b) odchylenia d_j sumy rang ocen j -tych obiektów do średniej arytmetycznej sumy rang ocen dla wszystkich badanych obiektów

$$d_j = S_j - M[S_j] \quad (4.8)$$

c) wskaźnika T_1 rang łączonych ocen wyrażonych przez i -tego eksperta. Jeżeli wszystkie "n" rangi ocen wyrażone przez i -tego eksperta są różne, to $T_1=0$. O ile występują jednakowe rangi ocen, wówczas

$$T_1 = \sum_{l=1}^{\alpha} (t_l^3 - t_l) \quad (4.9)$$

gdzie:

α - ilość grup rang łączonych,

t_l - ilość rang łączonych w l -tej grupie.

stąd współczynnik konkordacji W obliczyć można wzorem:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^n d_j^2}{m_1^2(n^3-n) - m_1 \sum_{l=1}^{\alpha} T_l} \quad (4.10)$$

Współczynnik konkordacji W może przyjmować wartości w przedziale od 0 do 1. Wartość jego określa się dla każdego pytania typu "ocena względnej ważności". Przy pełnej zgodności opinii ekspertów $W=1$. Zmiana W od 0 do 1 odpowiada wzrostowi stopnia zgodności opinii ekspertów.

Zaznaczyć trzeba, że przedstawiona metoda pozwala określić grupy ekspertów, wewnątrz których zgodność opinii jest duża, a także ujawnić ekspertów mających oryginalne punkty widzenia, różniące się od opinii większości. Jeżeli wartości współczynnika konkordacji W są niewielkie, oznacza to, że słaba jest zgodność opinii ekspertów. Przyczyny tego stanu mogą być różne. W celu określenia grupy ekspertów, która odznacza się dużą zgodnością opinii, można zalecić następujący sposób postępowania: Ze zbioru ekspertów wyklucza się jednego eksperta, zaś dla pozostałych oblicza się współczynnik konkordacji W_1 . Jeżeli współczynnik konkordacji W_1 jest większy od W obliczonego dla całego zbioru ekspertów, to tego eksperta eliminuje się z dalszych rozważań. Jeżeli zaś okaże się, że W_1 jest mniejsze od W , to danego eksperta pozostawia się w dalszej analizie. Obliczenia przeprowadza się kolejno dla każdego eksperta. W rezultacie obliczeń dla pozostających w zbiorze ekspertów uzyskuje się podwyższenie stopnia zgodności opinii.

Stopień zgodności opinii każdego eksperta, w porównaniu z resztą ekspertów, przedstawić można poglądowi w postaci wykreślenia wieloboku. Wierzchołkom wieloboku odpowiadają poszczególni eksperci, zaś proste łączące dany wierzchołek z pozostałymi wierzchołkami przedstawiają tzw. współczynnik korelacji rangowania parami.

Współczynnik korelacji rangowania parami pomiędzy ocenami dwóch dowolnych ekspertów α oraz β wyznaczyć można wzorem:

$$\rho_{\alpha, \beta} = \frac{\sum_{j=1}^n \phi_j^2}{6(n^2 - n) - \frac{1}{2}(T_\alpha - T_\beta)^2} \quad (4.11)$$

gdzie:

ϕ_j - wartość różnicy (absolutna) rang ocen dla j -tego kierunku badań wyrażonych przez ekspertów α oraz β

$$\phi_j = (R_{\alpha j} - R_{\beta j}) \quad (4.12)$$

T_α, T_β - wskaźniki rang łączonych ocen ekspertów α oraz β .

Współczynnik korelacji rangowania parami może przyjmować wartości $-1 \leq \rho \leq 1$. Wartość $\rho = +1$ odpowiada pełnej zgodności opinii dwóch ekspertów. Wartość $\rho = -1$ wskazuje, że opinia danego eksperta jest przeciwstawna opinii drugiego.

Wielobok ocen pozwala także określić grupy ekspertów, wewnątrz których zgodność opinii jest duża oraz ujawnić występowanie niezgodności pomiędzy poszczególnymi grupami ekspertów. Im niższy jest poziom statystycznej istotności wskaźnika zgodności opinii ekspertów, tym większe jest prawdopodobieństwo tego, że występuje nieprzypadkowa zgodność opinii ekspertów.

Metodę określania poziomu istotności, ze względu na kryterium kwadratowego powiązania χ^2_R , można sformułować następująco:

- 1) określa się wartość χ^2_R wg wzoru:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot \sum_{j=1}^n d_j^2}{m_1 \cdot n(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{m_1} T_i} \quad (4.13)$$

- 2) oblicza się liczbę stopni swobody ν

$$\nu = n - 1$$

3) z tablic χ^2 dla danej liczby stopni swobody znajduje się najbliższą do określonej wzorem (4.13) wartość liczbowa,

- 4) wyznacza się poziom istotności.

4.1.3. Aktywność i kompetentność ekspertów

Aktywność ekspertów w przeprowadzanych badaniach można wyrazić wskaźnikiem aktywności następująco:

$$k_{ae,j} = \frac{m_i}{m} \quad (4.14)$$

Im większą wartość przyjmuje wskaźnik aktywności $k_{ae,j}$, tym większa liczba ekspertów bierze udział w opracowywaniu oceny grupowej j-tego obiektu.

Wskaźnik $k_{ae,j}$ można także uważać za pewnego rodzaju miarę kompetencji ekspertów do oceny j-tego obiektu. W literaturze dotyczącej wykorzystania oceny grupowej ekspertów można spotkać próby określania kompetencji ekspertów. W tym celu wskaźnik kompetentności ekspertów zdefiniowano następująco:

$$k_k = \frac{k_z + k_a}{2}$$

(4.15)

gdzie:

- k_k - współczynnik kompetentności eksperta,
- k_z - współczynnik określający u eksperta stopień znajomości ocenianego problemu,
- k_a - współczynnik argumentowalności.

Współczynnik k_z - stopnia znajomości, określa sam ekspert poprzez samocenę. Zalecić można w przeprowadzeniu badań dziesięciopunktową skalę samoceny. Na podstawie dostępnej literatury w tabelicy 4.2 podano odpowiednie wartości punktowe, które były pomocne w przeprowadzeniu samoceny przez eksperta.

Tablica 4.2

Skala punktowa samoceny służąca do wyznaczania współczynnika k_z - stopnia znajomości ocenianego problemu przez eksperta

Stopień znajomości zagadnienia	Skala punktowa
1. Ekspert nie zna danego zagadnienia lub problemu	0
2. Ekspert posiada słabe rozeznanie w danym problemie. Jednak badany i oceniany problem znajduje się w sferze jego osobistego zainteresowania	1,2,3
3. Ekspert zadowolająco opanował i zna dany problem, ale nie bierze bezpośredniego udziału w jego praktycznym rozwiązaniu	4,5,6
4. Ekspert posiada dobre rozeznanie w danym problemie i uczestniczy w jego praktycznym rozwiązaniu	7,8,9
5. Oceniany problem wchodzi w zakres specjalizacji eksperta.	10

Samocena dotyczy stopnia znajomości danego zagadnienia, a więc związana jest z oceną poszczególnych obiektów. Samocena eksperta wyrażona w punktach i przemnożona przez wartość 0,1 daje w wyniku współczynnik k_z .

Współczynnik argumentowalności k_a uwzględnia strukturę źródeł argumentowania, jaką posługują się eksperci przy wyrażaniu swojej opinii. Ogólnie można wyróżnić kilka źródeł argumentacji, które zestawiono w tabelicy 4.3.

Tablica 4.3

Skala punktowa źródeł argumentowania dla oceny kompetentności ekspertów

Źródła argumentacji	Stopień argumentacji		
	wysoki	średni	niski
1. Analiza teoretyczna	0,3	0,2	0,1
2. Doświadczenia przemysłowe	0,5	0,4	0,2
3. Synteza oraz uogólnienia opracowań autorów krajowych	0,05	0,05	0,05
4. Synteza oraz uogólnienia opracowań autorów zagranicznych	0,05	0,05	0,05
5. Osobista znajomość stanu oceny opracowań zagranicznych	0,05	0,05	0,05
6. Intuicja	0,05	0,05	0,05

Ekspersi w trakcie badań powinni zaznaczyć, posługując się wartościami podanymi w tabelicy 4.3, sposoby argumentowania, np. przez podkreślenie odpowiednich pozycji w tej tabelicy - dla poszczególnych ocenianych obiektów bądź dla całej grupy badań. Tę kwestię powinno się rozstrzygnąć w fazie organizacji badań. Współczynnik argumentowalności k_a wyznacza się dla każdego eksperta i jest sumą wartości liczbowych odpowiednich pozycji tabelicy.

Konstruuując tabelicę, wzięto pod uwagę następujące założenia:

- a) współczynnik k_a nie powinien być większy od 1,
- b) wartości $k_a = 1$ powinien odpowiadać wysoki stopień wpływu wszystkich źródeł argumentacji na wyrażenie opinii przez eksperta.

Dla $k_a = 0,8$ - średni stopień wpływu źródeł argumentacji,

$k_a = 0,5$ - niski stopień wpływu wszystkich źródeł argumentacji wyszczególnionych w tabelicy.

- c) wartości współczynnika k_a powinny się zmniejszać, przechodząc od "doświadczeń przemysłowych" do "analizy teoretycznej" oraz od "analizy teoretycznej" do pozostałych źródeł argumentacji.

4.1.4. Analiza wpływu czasu na ocenę określonego zdarzenia

Metoda grupowej oceny ekspertów, jak wiadomo, składa się z kilku przeprowadzonych ocen badań, które kolejno po sobie następują. Stąd interesujący jest rozkład ocen ekspertów na skali czasu, w kolejnych rundach wyrażania opinii. Zaleca się, wzorem statystycznego opracowania podobnych

zagadnień, przyjęcie takich wielkości, jak: górny i dolny kwartyl oraz mediana dla danego rozkładu ocen.

Przyjęto następujące oznaczenia:

- t_0 - wartości ocen najwcześniejsze,
- $t_{0,25}$ - wartości ocen oddzielające 25% najwcześniejszych ocen ze wszystkich posiadanych - dolny kwartyl,
- $t_{0,5}$ - wartości ocen, które dzielą na uporządkowanej osi czasu zestaw wszystkich ocen na dwie równe części pod względem ilości median,
- $t_{0,75}$ - wartości ocen oddzielające 25% najpóźniejszych ze wszystkich posiadanych - górny kwartyl,
- $t_{1,0}$ - wartości najpóźniejszych ocen.

Określenie wielkości $t_{0,25}$, $t_{0,5}$, $t_{0,75}$ przeprowadza się następująco:

- najpierw należy wszystkie oceny uporządkować na osi czasu,
- środkowy człon przedstawiający $t_{0,5}$ ma tę własność, że ilość ocen najwcześniejszych i najpóźniejszych jest jednakowa, ale różna od $t_{0,5}$,
- następnie określa się wartość $t_{0,25}$ oraz $t_{0,75}$, przy czym 25% ocen będzie się znajdować pomiędzy $t_{0,25}$ i $t_{0,5}$ oraz 25% między $t_{0,5}$ i $t_{0,75}$,
- wielkość $t_{0,25}$, $t_{0,5}$, $t_{0,75}$ dzieli cały zestaw ocen na 4 równoliczebne grupy,
- wartość $t_{0,5}$ przyjmuje się za wskaźnik uogólnionej opinii ekspertów ze względu na czas, w którym przeprowadzono oceny zdarzeń.

Wartości $t_{0,25}$, $t_{0,75}$, t_0 oraz $t_{1,0}$ charakteryzują stopień zgodności opinii ekspertów ze względu na czas przeprowadzonej oceny ekspertów. Im mniejsza jest różnica pomiędzy $t_{1,0} - t_0$ oraz $t_{0,75} - t_{0,25}$, tym większa jest zgodność opinii ekspertów, biorąc pod uwagę czas przeprowadzonej oceny.

4.1.5. Udziały wagowe różnych ocen ekspertów

Analiza statystyczna obróbki danych jakiegoś problemu sprowadza się m.in. do tego, że oceny można przedstawić na skali procentowej w przedziale od 0 do 100%. Stąd wynika, że wystarczająco pełne przedstawienie charakteru rozkładu opinii ekspertów można dokonać wykreślając histogram rozkładu. W tym celu skalę 0-100% dzieli się na 5 równych części, tj. przedziałów po 20%. Wysokości słupków histogramu odpowiadają procentowym udziałom z liczby ocen mieszczących się w danym przedziale.

Przy obliczaniu liczby ocen dla danego zakresu należy wyróżnić dwa przypadki:

- 1) gdy nie uwzględnia się kompetentności ekspertów - wówczas współczynnik kompetentności $k_k = 1$ dla każdej z ocen,

- 2) gdy uwzględnia się współczynnik kompetentności ekspertów - w tym przypadku przyjmuje się wyznaczone wartości współczynnika k_k dla każdego eksperta i rozpatrywanego problemu.

Wartości ocen w poszczególnych przedziałach sumuje się. Następnie określa się procentowy udział sumy wartości ocen w poszczególnych przedziałach do sumy wartości ocen dla całego problemu. Wyniki obliczeń przedstawia się wykreslinnie w postaci histogramu.

4.2. Metoda analizy czynnikowej i głównego czynnika

4.2.1. Istota analizy czynnikowej

Podejmowanie prawidłowych decyzji związanych z realizacją procesu produkcyjnego w znacznym stopniu utrudnia duża liczba zmiennych w potencjalnym zbiorze zmiennych objaśniających. Dlatego też należy ograniczyć liczbę zmiennych, przy równoczesnej nieznacznej stracie wnoszonej ilości informacji, do stosunkowo nielicznego podzbioru cech istotnych, którego elementy w sposób możliwie pełny charakteryzują badany problem. Powyższe wymagania odnośnie do własności cech diagnostycznych są spełnione pod następującymi warunkami:

1. Zmienne ujmują konieczne i istotne właściwości procesu produkcyjnego, a więc są to tylko zmienne niezbędne.
2. Zmienne charakteryzują się wysoką zmiennością wśród wszystkich kopalń badanego zbioru.
3. Zmienne są względnie stałe w czasie.
4. Zmienne są wzajemnie nieskorelowane lub tylko słabo skorelowane.
5. Zmienne są silnie skorelowane ze zmiennymi nie wchodzącymi w skład zespołu zmiennych diagnostycznych.

Ponieważ najważniejszą rolę odgrywiają warunki ujęte w punktach 1, 4, 5, dlatego też w opracowaniu przyjęto do dalszych badań metody, które zapewniają spełnienie przede wszystkim tych właściwości.

Procedura testowa, która pozwala wyspecyfikować minimalną liczbę źródeł współzmienności w zbiorze charakterystyk, jest analiza czynnikowa. Jest ona metodą analizy wielowymiarowej, w której - według definicji - zakłada się, że p zmiennych losowych można wyrazić za pomocą $m < p$ czynników f_1 oraz losowych składników resztowych. Analiza czynnikowa daje nam możliwość zastąpienia znacznej liczby zmiennych, mniejszą liczbą ich wspólnych przyczyn. Według J. Okonia [57], "(...) analiza czynnikowa wskazuje nam, że niektóre zmienne można łączyć w grupy na tej podstawie, że zachowują się podobnie oraz jakie czynniki wpływają na tworzenie się tych ugrupowań (...) - przy jej pomocy poszukuje się ładu lub struktury, która leży u podłoża zmienności zjawisk".

W przedmiotowej pracy zbiór zmiennych istotnych wyodrębniono za pomocą metody analizy czynnikowej i głównego czynnika. Podstawowe założenia i zasady wspomnianych metod poparte są następującymi argumentami: Zakładamy, że dany jest zbiór N kopalń węgla i dla każdej z nich zmierzono "k" cech (właściwości) opisujących realizację procesu produkcyjnego. Dane charakteryzujące kopalnie i ich właściwości można zapisać w postaci macierzy o N -wierszach i k -kolumnach:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{Nk} \end{pmatrix} \quad (4.16)$$

Dane pomiarowe stanowią zbiór k -wektorów zmiennych dla każdej kopalni w przestrzeni euklidesowej N -wymiarowej E^N w postaci:

$$\underline{X}_j = [x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{Nj}] \quad (4.17)$$

$j = 1, 2, \dots, k$

Między zmiennymi (4.17) istnieją zależności, które charakteryzują tzw. współczynniki korelacji.

$$r_{jl} = \frac{\mu_{jl}^2}{\sigma_j \cdot \sigma_l} \quad (4.18)$$

$j, l = 1, 2, \dots, k$

gdzie:

- μ_{jl}^2 - kowariancja między j -tą i l -tą zmienną,
- σ_j, σ_l - odchylenie standardowe zmiennych odpowiednio dla j oraz l .

Współczynniki korelacji (4.18) tworzą macierz R współczynników korelacji, która nie ulega zmianie, jeżeli od zmiennych \underline{X}_j przejdzie się przez normalizację do zmiennych standardowych w przestrzeni E^N :

$$\underline{Z}_j^T = z_{1j}, z_{2j}, \dots, z_{Nj} \quad (4.19)$$

$j = 1, 2, \dots, k$

Wiadomo, że zmienne (4.19) charakteryzują się średnią równą zero oraz wariancją równą jedności. Istnienie korelacji między zmiennymi pozwala przypuszczać, że występują określone czynniki wpływające na zmienne wyszczególnione w macierzy wyjściowej (4.16).

Powyższy wniosek można matematycznie sformułować następująco: każda zmienna (4.19) zależy w sposób liniowy od pewnej liczby czynników:

$$Z_j = a_{j1}F_1 + a_{j2}F_2 + \dots + a_{jm}F_m + a_{jv}V_j \quad (4.20)$$

$$j = 1, 2, \dots, k$$

przy czym

$$F_i = [f_{1i}, f_{2i}, \dots, f_{ki}] \quad (4.21)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

nazywamy czynnikami wspólnymi, natomiast

$$V_j = [v_{1j}, v_{2j}, \dots, v_{kj}] \quad (4.22)$$

$$j = 1, 2, \dots, k$$

czynnikami swoistymi.

Współczynniki $a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jm}$ nazywa się ładunkami, zaś a_{j1} oznacza ładunek 1-tego czynnika wspólnego F_1 w j -tej zmiennej Z_j . Natomiast a_{jv} stanowi ładunek j -tego czynnika swoistego w zmiennej Z_j .

Korzystając z właściwości, że czynniki wspólne i swoiste są nieskorelowane i unormowane, otrzymuje się równanie modelu (4.20), które w zapisie macierzowym ma następującą postać:

$$\{Z\} = \{A\} \cdot \{F\} + \{a\} \cdot \{V\} \quad (4.23)$$

przy czym $\{A\}$, $\{a\}$ oznaczają macierze ładunków, natomiast $\{Z\}$, $\{F\}$, $\{V\}$ stanowią macierze utworzone z wartości zmiennych, czynników wspólnych i czynników swoistych.

Znając dany model (4.20), można obliczyć współczynniki korelacji r_{j1} dla zmiennych Z_j ($j = 1, 2, \dots, k$).

Zatem macierz korelacji w zapisie macierzowym ma postać:

$$\{R\} = \{A\} \cdot \{A\}^T + \{a\}^2 \quad (4.24)$$

Współczynniki korelacji jako elementy macierzy $\{R\}$ są równe wartościom obliczonym ze wzoru (4.18). Zadaniem analizy czynnikowej jest wyznaczenie ładunków $a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj}$ występujących w modelu (4.20), czyli wyznaczenie macierzy $\{A\}$ oraz $\{a\}$ spełniających równanie (4.24) przy zadanej macierzy współczynników korelacji $\{R\}$. Macierz (4.24) można zapisać w innej postaci. W tym celu wprowadzono nowe zmienne:

$$h_j^2 = a_{j1}^2 + a_{j2}^2 + \dots + a_{jm}^2 \quad (4.25)$$

$$j = 1, 2, \dots, k$$

które nazywamy zasobami zmienności wspólnej oraz przyjęto oznaczenia:

$$r'_{jj} = h_j^2 \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (4.26)$$

$$r'_{j1} = r_{j1} \quad ; \quad j, 1 = 1, 2, \dots, k$$

Z równań (4.25) oraz (4.26) otrzymujemy:

$$r_{j1} = h_j^2 + a_{j1}^2 = r'_{j1} + a_{j1}^2 = 1 \quad (4.27)$$

$$j = 1, 2, \dots, k$$

Wielkości występujące we wzorach (4.26), (4.27) z uwzględnieniem (4.25) można przedstawić w zapisie macierzowym następująco:

$$\begin{aligned} \{R'\} &= \{a\} \cdot \{A^T\} \\ \{R\} &= \{R'\} + \{a^2\} \end{aligned} \quad (4.28)$$

Macierz $\{R'\}$, zwana zredukowaną macierzą współczynników korelacji, różni się od macierzy $\{R\}$ tym, że w miejscu jedynej na głównej przekątnej ($r_{jj} = 1$) występują zasoby zmienności wspólnej $h_j^2 < 1$ ($j=1, 2, \dots, k$).

Z zależności (4.27) lub (4.28) wynika, że w macierzy ładunków $\{a\}$ na głównej przekątnej występują wielkości:

$$\sqrt{1 - h_j^2} \quad \text{dla} \quad j = 1, 2, \dots, k$$

zaś pozostałe elementy są równe zero.

Zgodnie z twierdzeniem o wyznaczeniu rzędu macierzy zachodzi równość rzędów spełniających równość (4.28), tzn:

$$\text{rzęd } \{R\} = \text{rzęd } \{A\} = m < k \quad (4.29)$$

Gdy zadana została liczba "m" czynników wspólnych, wówczas zadanie analizy czynnikowej polega na dobraniu takich zasobów zmienności wspólnej h_j^2 , aby rząd macierzy $\{R\}$ był równy zadanej liczbie "m" i wyznaczeniu macierzy ładunków $\{A\}$ rzędu m spełniającej równania (4.28).

Mając dane h_j można wyznaczyć macierz $\{a\}$. Zatem zadanie analizy czynnikowej w tym przypadku sprowadza się do doboru zasobów zmienności wspólnej (4.25) i wyznaczenia macierzy $\{A\}$.

Zasadniczą sprawą jest także wyznaczenie tzw. ogólnej zmienności wspólnej, będącej sumą wszystkich zasobów zmienności wspólnej, tzn:

$$V = \sum_{j=1}^k h_j^2 = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m a_{ji}^2 \quad (4.30)$$

Z zależności (4.25) wynika, że wartości h_j^2 są znane wtedy, gdy określona jest macierz $\{a\}$ o współczynnikach a_{ij} ($i=1,2,\dots,m$, $j=1,2,\dots,k$).

Przy rozwiązywaniu zadania analizy czynnikowej, polegającej na wyznaczeniu macierzy $\{A\}$ spełniającej równanie (4.28), muszą być znane wartości h_j^2 , aby określić macierz $\{R\}$ rzędu m. Zadanie to rozwiązuje się następująco:

Założmy, że znana będzie metoda wyznaczenia macierzy $\{A\}$ spełniająca równanie (4.28), zaś wartości h_j^2 można wyznaczyć iteracyjnie. Przybliżone początkowe wartości zasobów zmienności wspólnej przedstawimy w jednym z następujących wzorów:

$$h_j^{(0)2} = \max_{i, i \neq j} r_{ji} \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (4.31)$$

lub

$$h_j^{(0)2} = \frac{1}{k-1} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^k r_{ji} \quad (4.32)$$

Wzór (4.31) oznacza maksymalny element z wyjątkiem jedynki na przekątnej macierzy $\{R\}$. We wzorze (4.32) przyjmuje się średnia z każdego wiersza macierzy $\{R\}$.

Znając $h_j^{(0)2}$ można wyznaczyć macierz $\{R\}$ ze wzoru (4.30), a następnie wyznaczyć macierz ładunków $\{A\}$ spełniając równanie (4.28). Po wyznaczeniu macierzy można obliczyć zasoby zmienności wspólnej według wzoru:

$$h_j^{(1)2} = \sum_{i=1}^m a_{ji}^2 \quad (4.33)$$

oraz sprawdzić różnicę między wartościami $h_j^{(0)2}$ i $h_j^{(1)2}$.
Jeżeli spełniony jest warunek:

$$\sum_{j=1}^k (h_j^{(0)2} - h_j^{(1)2})^2 < \varepsilon \quad (4.34)$$

przy zajanej dokładności ε , wówczas można uznać wyznaczoną macierz $\{A\}$ za rozwiązanie ostateczne. Jeżeli zależność (4.34) nie zachodzi, proces iteracyjny należy kontynuować do chwili spełnienia nierówności (4.34).

4.2.2. Metoda głównego czynnika

Zastosowanie analizy głównego czynnika pozwala na wyeliminowanie cech (zmiennych) współzależnych w zbiorze zmiennych objaśniających procesy wydobywcze. Podstawowe równanie analizy czynnikowej (4.28) wykazuje niejednoznaczność wyznaczenia macierzy $\{A\}$. Niechaj funkcja k-zmiennych wyrażona przez sumę kwadratów ładunków czynnika \underline{Z}_1 we wszystkich zmiennych Z_j ($j=1, 2, \dots, k$) wynosi:

$$u_1 = a_{11}^2 + a_{21}^2 + \dots + a_{k1}^2 \quad (4.35)$$

Wiedomo, że udział czynnika \underline{Z}_1 w ogólnej zmienności wspólnej (4.30) ma być największy. Wynika stąd, że współczynniki a_{ij} występujące w (4.20) muszą być tak dobrane, aby funkcja (4.35) osiągnęła maksimum dla wyrażenia:

$$r'_{j1} = \sum_{p=1}^m a_{jp} \cdot a_{1p} \quad (4.36)$$

Do maksymalizacji (4.35) oraz (4.36) można wykorzystać metodę mnożników Lagrange'a. Znalazienie maksimum (4.35) sprowadza się do rozwiązania układu równości, który w zapisie wektorowo-macierzowym można przedstawić następująco:

$$\{R'\} \cdot \bar{x} = \lambda_1 \cdot \bar{x} \quad (4.37)$$

gdzie:

$$\lambda_1 = \sum_{j=1}^k a_{j1}^2 \quad (4.38)$$

Ponieważ λ_1 jest jednocześnie równa funkcji (4.33), to za u_1 należy przyjąć największą wartość własną wyznaczoną z równania (4.37).

Na podstawie współczynników macierzy $\{A\}$ można stwierdzić zależność między czynnikami F_i ($i=1,2,\dots,m$) a zmiennymi Z_j ($j=1,2,\dots,k$) czyli dokonać interpretacji otrzymanych czynników. Wszystkie współczynniki a_{ji} ($j=1,2,\dots,k; i=1,2,\dots,m$) mają wartości z przedziału $(-1, 1)$, co wynika ze wzoru (4.27). Duża wartość ładunku a_{ji} stojącego przy czynniku F_i oznacza duży wpływ tego czynnika na zmienną Z_j . Aby ułatwić określenie najważniejszych czynników, dokonuje się tzw. rotacji ortogonalnych. Rotacje ortogonalne polegają na ortogonalnym przekształceniu macierzy $\{A\}$ na nową macierz ładunków $\{A'\}$. Współczynniki znaczące mają po rotacji wartości bliskie jedynce, natomiast mało znaczące są bliskie zera. Przekształcenie macierzy można przedstawić następująco:

$$\{A'\} = \{A\} \cdot \{T\} \quad (4.39)$$

przy czym:

- $\{A\}$ - dana macierz ładunków,
- $\{T\}$ - macierz ortogonalna przekształcenia,
- $\{A'\}$ - macierz ładunków po przekształceniu.

Doświadczalnie stwierdzono, że dobre efekty daje zastosowanie metody VARIMAX Kaisera. W metodzie tej dobierane są współczynniki macierzy $\{A'\}$ w taki sposób, aby funkcja:

$$F = k \sum_{p=1}^m \sum_{j=1}^k \left[\frac{a_{jp}}{h_j} \right]^4 - \sum_{p=1}^m \left[\sum_{j=1}^k \left[\frac{a'_{jp}}{h_j} \right]^2 \right]^2 \quad (4.40)$$

osiągała maksymalną wartość. Zależność (4.40) stanowi wariancję kwadratów ładunków podzielonych przez zasoby zmienności wspólnej.

Przedstawione w zarysie metody analizy czynnikowej i głównego czynnika oprogramowano na maszynie cyfrową ODRA 1325 w postaci pakietu programowego.

5. DOBÓR POTENCJONALNYCH ORAZ ISTOTNYCH ZMIENNYCH OBJAŚNIAJĄCYCH PROCESY WYDOBYWCZE

5.1. Organizacja badań w kopalniach węgla kamiennego

Celem tych badań było wyznaczenie zbioru potencjalnych zmiennych objaśniających procesy wydobywcze na szczeblu kopalni oraz w przodku wybierkowym (ścianie). Zadania, jakie obejmowały badania, sprowadzały się do określenia potencjalnych zmiennych objaśniających:

a) w przypadku KWK:

- wydobywania kopalni w węglu handlowym,
- pracochłonności (grupy przemysłowej) w węglu handlowym,
- kosztów jednostkowych wydobywania węgla handlowego w kopalni, przy uwzględnieniu rodzaju stosowanej technologii eksploatacji węgla, wykorzystującej do kierowania stropem: zawał, podsadzkę hydrauliczną oraz podsadzkę suchą:

b) w przypadku przodka wybierkowego:

- wydobywanie ściany w urobku,
- pracochłonność w ścianie w urobku,

przy uwzględnieniu typu maszyny urabiającej i stosowanej obudowy ścianowej.

Przedmiotowa literatura z zakresu problemu podaje kilka sposobów określenia zbioru zmiennych objaśniających, opisujących dany obiekt lub proces, wyróżniających jednak trzy zasadnicze podejścia, a mianowicie:

- zbiór zmiennych określony jest w sposób aprioryczny na podstawie dotychczasowych badań,
- zbiór zmiennych jest ustalony na podstawie opinii ekspertów,
- ze zbioru zmiennych dokonuje się wyboru tych zmiennych, które gwarantują dostatecznie mały rząd wahań losowych modelu.

W pracy, do wyboru zmiennych objaśniających realizację procesu wydobywczego w KWK i w przodku wybierkowym, posłużono się metodą heurystyczną oceny grupowej ekspertów, kierując się przeświadczeniem o największej przydatności tej metody do analizy badanego zjawiska, zgodnie z postawioną tezą pracy. Metoda ta pozwala bowiem na:

- wyczerpująca specyfikację zmiennych oraz ich redukcję (najpierw do zbioru zmiennych potencjalnych, a potem istotnych) bez zbierania statystycznej informacji o ich wartości,
- ustalenie wagi dla każdej ze zmiennych wg jej znaczenia.

Ponadto metoda ta umożliwia wykorzystanie uogólnionych doświadczeń specjalistów, inżynierów górników oraz inżynierów innych specjalności w przedmiotowych badaniach. Metoda umożliwia również uwzględnienie kompetencji ekspertów wyrażających swoją opinię.

Równolegle do metody heurystycznej, wyrażającej względną ważność ocen ekspertów, przeprowadzona została analiza przedmiotowego problemu z wykorzystaniem metod matematycznych, opierających się na materiale statystycznym: metody analizy czynnikowej i głównego czynnika, które przedstawiono w punkcie 5.3.

Analiza porównawcza obu metod stała się źródłem wniosków zamieszczonych w punkcie 5.5.

Określenia zbioru potencjalnych zmiennych objaśniających realizację procesu wydobywczego dokonano, wykorzystując opinie 250 ekspertów rekrutujących się z 40 kopalń, co stanowi 60% całej populacji kopalń węgla kamiennego o stażu pracy w górnictwie od 10 do 25 lat. Badaniami objęto specjalistów zajmujących stanowiska kierowników, zastępców kierowników oraz głównych specjalistów w służbach kopalń działów techniczno-organizacyjnych i eksploatacyjnych, a także wybranych naczelnych inżynierów i głównych inżynierów.

Wykaz przedstawionych ekspertom do oceny 34 zmiennych ujmował je w trzy zbiory:

- a) zbiór zmiennych geologicznych,
- b) zbiór zmiennych techniczno-technologicznych,
- c) zbiór zmiennych organizacyjnych.

Zmienne naniesione były na specjalną ankietę, w której podano szczegółowo cel przeprowadzonych badań. Ekspertów byli proszeni i ewentualne uzupełnienie listy dodatkowymi zmiennymi oraz o wyrażenie własnej oceny dotyczącej każdej zmiennej.

Dalszymi problemami, które wymagały rozstrzygnięcia, były:

- sposób wyrażenia opinii przez ekspertów o zmiennych,
- sposób badania kompetencji ekspertów.

W przeprowadzonych badaniach zastosowano ujęcie dopuszczające graniczne przyporządkowanie wszystkich punktowych ocen jednej zmiennej lub przydzielenie jednakowej liczby punktów każdej z nich. W odniesieniu do kompetencji przyjęto zasadę, że zespół ekspertów powinien być umiarkowanie zgodny.

Każdy ekspert dysponował $k+1$ punktami ($k = 34$ - liczba zmiennych w ankiecie badań). Jeżeli ekspert uznał, że lista zmiennych nie obejmuje jednej lub większej liczby ważnych zmiennych, to dopisywał te dodatkowe zmien-

ne do listy. Według uznania ekspert rozdzielał $k+1$ punktów z tym, że o ile wprowadzał na listę dodatkową zmienną, to powinien jej być przydzielił dodatkową liczbę punktów.

Po uzyskaniu wypełnionych ankiet sporządzono zbiorczą tablicę badań ankietowych, w której oprócz opinii indywidualnych, naniesiono sumę punktów przyporządkowanych każdej zmiennej przez wszystkich ekspertów.

Następny etap badań obejmował:

- ocenę stopnia zgodności odpowiedzi ekspertów w odniesieniu do każdej zmiennej oddzielnie i łącznie dla całej listy zmiennych,
- wyodrębnienie, gdy występowały istotne rozbieżności w odpowiedziach, grup ekspertów o zbliżonych poglądach na temat znaczenia poszczególnych zmiennych,
- wykrycie przyczyn zróżnicowania poglądów, określenie wpływu charakterystyk ekspertów na treść odpowiedzi,
- uporządkowanie zmiennych w jednakowych grupach, włączając w to zmienne łączone, tj. takie, na które składają się zmienne o jednakowych rangach.

W celu zbadania kompetencji ekspertów wykorzystano:

- współczynnik zgodności uporządkowań wielokrotnych, tzw. współczynnik konkordacji,
- oceny odległości opinii ekspertów.

Dla uzyskania zbioru zmiennych objaśniających przyjęto hipotezę, że częstości f_j - liczby punktów nadanych każdej zmiennej przez kompetentny zespół ekspertów, są jednakowe dla $j=1,2,3,\dots,k$, gdzie j - zmienna objaśniająca. W celu zweryfikowania tej hipotezy wykorzystano test χ^2 (test Pearsona). W przypadku odrzucenia hipotezy eliminowano z listy te zmienne, które miały liczbę punktów równą

$$f_j < \frac{1}{k} \cdot F, \quad (5.1)$$

gdzie:

F - suma punktów nadanych przez wszystkich ekspertów wszystkim zmiennym, równa

$$F = \sum_{j=1}^{k+1} \sum_{i=1}^n f_{ij}, \quad (5.2)$$

gdzie:

n - całkowita liczba ekspertów, $n = 250$,

f_{ij} - liczba punktów nadanych przez i -tego eksperta j -tej zmiennej.

W wyniku przeprowadzonych w ten sposób badań otrzymano zbiór potencjalnych zmiennych objaśniających realizację procesu produkcyjnego w KWK i w przodku wybierkowym, które przedstawiono w tabelicy 5-1.

Tablica 5-1

Zestawienie potencjalnych zmiennych objaśniających realizację procesu produkcyjnego w KWK i w przodku wybierkowym

Zmienna	Nazwa zmiennej	Wymiar
Zbiór zmiennych geologicznych		
x_{11}	miąższość pokładu	m
x_{12}	urabialność węgla	skala f
x_{13}	nachylenie pokładu	stopnie
x_{14}	głębokość eksploatacji	m
x_{15}	rodzaj zagrożeń geologicznych	-
Zbiór zmiennych techniczno-technologicznych		
x_{21}	udział wydobycia węgla handlowego w ogólnym wydobyciu	%
x_{22}	średnia dzienna liczba ścian czynnych z produkcją	-
x_{23}	rodzaj stosowanej technologii urabiania	-
x_{24}	typ maszyny urabiającej	-
x_{25}	typ obudowy	-
x_{26}	długość ściany	m
x_{27}	wysokość ściany	m
Zbiór zmiennych organizacyjnych		
x_{31}	średnie dzienne wydobycie ze ścian czynnych z produkcją	t/d
x_{32}	średnia dzienna długość frontu ścianowego z produkcją	m/d
x_{33}	wskaźnik awaryjności ogólnej na 1000 t wydobycia	min/ 1000 t
x_{34}	Liczba przodkodni z produkcją	rdn
x_{35}	średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcją	m/d

Badania te pozwoliły zatem zredukować znaczną liczbę ekspertów biorących udział w badaniach, a także znaczną liczbę rozpatrywanych zmiennych, do liczby 40 ekspertów najbardziej zgodnych w swych opiniach oraz zbioru potencjalnych zmiennych objaśniających liczącego 17 cech.

5.2. Opracowanie wyników badań

Badania przeprowadzone zgodnie z metodyką podaną w podrozdziale 4.1 niniejszej pracy.

Zestawienie wyników badań przeprowadzonych wśród ekspertów, tzn. macierz ocen dla poszczególnych zmiennych zawiera tablica 5.2 (w przypadku KWK) oraz tablica 5.3 (w przypadku przodka wybierkowego). Oceny ekspertów wyrażono w punktach, w skali od 0 do 100.

W dalszej kolejności określono wskaźniki uogólnionej opinii ekspertów dla poszczególnych zmiennych, a mianowicie średniej statystycznej M_j , wartości ocen (obliczonej wg wzoru 4.1), częstości maksymalnych ocen $k_{100,j}$ (obliczonej wg wzoru 4.2) oraz sumy rang ocen S_j (obliczonej wg wzoru 4.3). Wartości te oraz inne wielkości pomocne do ich obliczenia zestawiono w tablicy 5.4 (w przypadku KWK) i 5.5 (w przypadku ściany - przodka wybierkowego). W tablicach tych uszeregowano także te wskaźniki wg ich ważności dla uogólnionej opinii ekspertów. Natomiast macierz rang ocen R_{ij} , na podstawie których wyznaczono sumy rang, podano w tablicy 5.6 (dla KWK) i tablicy 5.7 (dla ściany).

W tablicy 5.8 zaprezentowano współczynnik konkordacji W mówiący o stopniu zgodności opinii ekspertów (obliczony wg wzoru 4.10), a także wartość, tablicową i obliczoną wg wzoru 4.13, kryterium kwadratowego powiązania χ^2 (test Pearsona) oraz liczbę stopni swobody; tablica prezentuje to w odniesieniu do KWK i ściany.

Omawiane badania obejmowały także obróbkę statystyczną ocen wystawionych przez ekspertów (zawartych w tablicy 5.2 i 5.3) w postaci opracowania histogramów. Histogramy te, wykreślone dla KWK i przodka wybierkowego, przedstawiono na rysunku 5.1, natomiast tablica 5.9 przedstawia wyniki obliczeń wykorzystanych do wykreślenia histogramów.

Wyniki obliczeń z tablicy 5.9 posłużyły także do nadania wag rozpatrywanym przez ekspertów zmiennym, które przedstawiono w tablicy 5.10.

Zakończeniem tego etapu badań jest tablica 5.11, w której zestawiono wyselekcjonowane istotne zmienne objaśniające (tak dla KWK, jak i ściany), wraz z przypisanymi im przez ekspertów wagami. Doboru tych zmiennych dokonano na podstawie porównania uszeregowania wskaźników uogólnionej opinii ekspertów z przypisanymi tym zmiennym wagami.

Należy nadmienić, że przedstawione tu badania nie uwzględniają kompetencji ekspertów. Dokonano tego w podrozdz. 5.4. Warto również podkreślić, że w przeprowadzonych badaniach eksperci wykazali maksymalną aktywność, uczestnicząc w ocenie wszystkich zmiennych. Świadczy o tym wartość współczynnika aktywności $k_{20,j} = 1$, obliczona wg wzoru 4.14.

Tablica 5.2

Wyniki badań - zestawienie wyjściowe dla KWK

Eksperti	Zmienne objaśniające - cechy																
	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅	x ₂₁	x ₂₂	x ₂₃	x ₂₄	x ₂₅	x ₂₆	x ₂₇	x ₃₁	x ₃₂	x ₃₃	x ₃₄	x ₃₅
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	10	20	30	15	20	50	65	55	40	45	20	30	75	80	70	15	90
2	20	10	30	15	40	60	50	70	45	35	25	0	80	55	80	10	70
3	10	25	20	35	30	50	60	75	40	45	15	10	65	70	80	20	55
4	20	10	15	30	35	45	50	70	40	5	0	15	50	80	90	45	50
5	20	20	35	30	10	60	75	80	30	5	40	10	90	70	85	40	65
6	20	10	30	25	15	50	60	70	20	5	40	15	55	60	70	10	80
7	10	10	35	20	15	45	50	60	10	5	40	15	65	45	55	20	70
8	10	15	30	20	25	70	60	50	5	15	40	15	80	90	100	30	75
9	15	20	25	30	35	100	80	70	15	10	40	15	60	75	90	45	80
10	5	10	20	30	35	60	70	85	25	10	30	15	90	100	55	10	50
11	5	10	25	30	35	70	100	80	35	10	30	15	60	65	50	0	45
12	5	10	25	30	35	100	90	70	40	5	30	15	65	80	75	20	55
13	5	10	20	30	35	90	85	100	30	20	30	25	70	65	60	35	75
14	10	15	20	30	35	70	60	75	20	20	20	25	80	85	90	30	80
15	15	20	25	30	10	55	60	70	10	35	20	25	70	45	80	40	90
16	25	20	30	5	10	60	70	100	5	35	20	25	75	80	55	20	60
17	25	20	30	5	10	85	80	90	15	35	20	40	70	60	65	10	95
18	35	20	30	25	10	70	50	100	25	40	20	30	55	60	75	15	65
19	35	20	30	25	10	90	95	80	35	40	20	30	60	70	75	20	50
20	40	30	25	35	20	65	60	100	45	40	30	40	70	75	80	30	80

od. tablicy 5.2

21	40	30	25	5	20	70	60	85	40	20	30	20	80	90	95	35	50
22	40	25	20	10	5	50	65	55	10	10	10	20	70	75	80	10	60
23	45	25	20	10	5	90	80	95	20	20	15	30	60	50	65	15	40
24	35	15	25	10	30	80	85	90	30	20	15	30	60	70	65	20	50
25	25	15	20	10	30	60	50	70	40	10	25	30	75	80	55	25	90
26	25	15	15	20	30	95	90	85	10	10	25	25	70	85	80	40	60
27	25	20	30	10	5	70	60	80	20	10	25	35	85	55	65	45	50
28	25	15	30	10	5	80	85	90	30	20	25	45	60	70	50	10	65
29	15	15	10	5	20	55	60	100	45	20	30	25	70	65	80	20	50
30	10	20	15	25	30	65	70	95	35	15	30	35	75	80	55	30	50
31	10	20	15	25	30	70	80	100	25	25	10	35	90	65	60	40	55
32	10	20	15	25	5	65	75	90	10	25	10	35	80	85	100	5	50
33	10	20	15	25	30	55	60	100	5	25	10	35	65	50	70	15	75
34	30	10	20	5	15	75	65	55	25	25	10	20	70	80	50	25	60
35	30	10	20	15	25	80	75	65	30	30	10	20	70	100	55	35	60
36	35	20	25	15	30	80	85	100	40	30	5	20	70	60	55	45	50
37	35	10	30	15	5	70	60	75	45	30	5	20	65	55	50	10	80
38	35	20	30	15	5	100	90	80	20	30	5	20	95	70	60	15	55
39	45	10	30	15	20	65	70	100	10	30	5	20	80	85	60	20	55
40	45	20	30	10	25	70	80	90	5	40	5	10	75	65	60	25	85

Tablica 5.3

Wyniki badań - zestawienie wyjściowe dla przodka wybierkowego

Eksperol	Zmienne objaśniające - cechy																	
	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₂₆	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅	X ₂₆	X ₂₇	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	X ₃₅	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	20	30	60	40	45	50	10	5	70	75	80	65	20	25	30	90	95	
2	10	20	70	35	40	45	50	45	80	85	100	90	25	10	20	60	65	
3	20	15	70	30	25	10	15	45	100	80	85	75	40	20	15	60	50	
4	30	15	65	20	10	5	40	0	55	60	100	70	40	45	10	80	90	
5	10	20	70	15	5	15	25	10	50	60	65	80	40	35	30	85	90	
6	5	20	65	25	10	15	30	35	60	70	90	100	40	45	45	50	55	
7	10	20	80	25	5	15	30	35	90	50	100	65	30	15	5	60	75	
8	25	30	70	20	10	15	35	5	75	80	85	90	10	5	10	55	50	
9	30	20	80	15	20	25	35	5	80	85	90	70	25	25	30	50	60	
10	40	30	85	10	30	35	20	5	70	80	95	100	40	45	50	55	60	
11	20	10	70	15	25	5	30	5	75	60	100	85	55	40	35	60	50	
12	15	10	90	20	25	5	30	25	65	60	85	70	35	40	45	50	55	
13	10	5	70	15	25	20	30	35	55	60	75	70	40	45	50	65	45	
14	10	5	60	15	25	20	30	35	90	80	100	75	45	40	10	55	50	
15	20	10	60	30	35	25	15	5	70	80	90	75	10	15	40	50	55	
16	30	25	50	45	35	20	15	5	80	75	65	100	40	10	0	60	55	
17	15	20	60	40	10	25	5	30	85	80	90	70	35	10	25	65	50	
18	25	20	65	40	10	30	5	35	75	70	100	60	20	25	30	80	90	
19	35	20	70	30	10	25	5	25	70	50	80	90	40	45	55	60	65	
20	35	20	65	15	5	10	30	40	70	80	95	60	45	30	25	50	55	

od. tablicy 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
21	30	25	65	10	5	15	25	35	85	75	80	50	45	30	25	60	50
22	20	15	60	10	5	25	30	35	70	75	100	80	40	50	45	90	55
23	25	5	55	5	35	20	25	30	75	85	80	70	40	50	45	60	50
24	30	10	70	20	15	5	35	25	60	75	90	70	40	45	55	65	50
25	15	20	75	5	10	15	20	25	70	80	60	45	35	30	40	50	55
26	10	15	65	5	20	25	30	35	80	85	90	70	40	45	55	50	60
27	15	20	55	10	10	5	25	5	50	60	100	70	40	35	30	80	85
28	20	25	70	25	30	35	20	15	80	85	90	100	5	10	40	60	65
29	25	20	55	25	35	45	40	30	75	80	95	70	15	20	10	60	50
30	30	25	50	20	15	5	10	20	70	60	90	80	40	50	10	65	55
31	35	30	60	40	25	10	15	25	95	90	100	80	55	20	10	70	50
32	20	15	60	40	45	30	35	10	65	75	90	70	20	15	15	180	150
33	25	20	70	45	40	35	30	10	85	90	80	100	20	15	5	60	50
34	10	5	75	40	45	30	25	10	70	80	90	95	55	35	20	60	50
35	5	10	60	5	15	20	40	45	70	90	100	80	50	30	25	50	60
36	10	5	55	55	15	35	45	40	60	70	80	90	30	25	20	50	75
37	10	5	50	25	45	40	30	35	85	50	90	80	20	15	5	60	70
38	25	20	60	25	5	10	50	40	70	55	80	85	35	30	15	50	65
39	30	25	60	10	45	40	35	20	85	65	75	80	15	10	5	50	60
40	40	35	55	30	25	20	15	10	85	80	100	70	5	20	50	65	60

Tablica 5.4

Zestawienie wskaźników uogólnionej opinii ekspertów dla KWK

Zmienna	Wskazniki											
	n_j	$\sum \sigma_j$	M_j	ważność zmien- nej wg M_j	$n_{100,j}$	$k_{100,j}$	S_j	ważność zmien- nej wg S_j	σ_j^2	δ_j	v_j	ważność zmien- nej wg v_j
x_{11}	40	910	22,75	12	0	0,00	506	12	158,69	12,60	0,55	17
x_{12}	40	680	17,00	17	0	0,00	572	17	32,25	5,68	0,33	9
x_{13}	40	970	24,25	9	0	0,00	488	10	39,44	6,28	0,26	8
x_{14}	40	775	19,38	16	0	0,00	540	15	87,73	9,37	0,48	11
x_{15}	40	840	21,00	14	0	0,00	522	14	126,50	11,25	0,54	15
x_{21}	40	2790	69,75	6	3	0,08	173	6	232,44	15,25	0,22	6
x_{22}	40	2815	70,38	4	1	0,02	168	5	184,23	13,57	0,19	4
x_{23}	40	3250	81,25	1	9	0,22	113	1	218,44	14,78	0,18	2
x_{24}	40	1025	25,63	8	0	0,00	486	8	171,48	13,10	0,51	12
x_{25}	40	900	22,50	13	0	0,00	516	13	147,50	12,14	0,54	15
x_{26}	40	835	20,88	15	0	0,00	541	16	127,36	11,29	0,54	15
x_{27}	40	940	23,50	11	0	0,00	487	9	92,75	9,63	0,41	10
x_{31}	40	2850	71,25	2	0	0,00	159	3	107,19	10,35	0,15	1
x_{32}	40	2845	71,13	3	2	0,05	159	3	186,86	13,67	0,19	4
x_{33}	40	2790	69,75	6	2	0,05	164	5	209,94	14,49	0,21	5
x_{34}	40	950	23,75	10	0	0,00	504	11	153,44	12,39	0,52	13
x_{35}	40	2550	63,75	7	0	0,00	199	7	212,19	14,57	0,23	7

Tabela 5.5

Zestawienie wskaźników uogólnionej opinii ekspertów dla przodka wyberkowego

Zmienne	W s k a ź n i k i											
	m_j	$\sum \sigma_{1j}$	M_j	ważność zmien- nej wg M_j	$m_{100,j}$	$k_{100,j}$	S_j	ważność zmien- nej wg S_j	δ_j^2	δ_j	v_j	ważność zmien- nej wg v_j
x ₁₁	40	845	21,13	16	0	0,00	530	16	93,11	9,65	0,46	11
x ₁₂	40	715	17,88	17	0	0,00	564	17	63,61	7,98	0,45	10
x ₁₃	40	2600	65,00	5	0	0,00	201	5	83,75	9,15	0,14	2
x ₁₄	40	950	23,75	12	0	0,00	505	12	165,94	12,88	0,54	13
x ₁₅	40	890	22,25	14	0	0,00	525	14	181,19	13,46	0,60	16
x ₂₁	40	880	22,00	15	0	0,00	529	15	151,00	12,29	0,56	14
x ₂₂	40	1045	26,63	11	0	0,00	488	10	130,48	11,42	0,43	9
x ₂₃	40	920	23,00	13	0	0,00	517	13	187,25	13,68	0,59	15
x ₂₄	40	2950	73,75	3	1	0,02	148	4	133,44	11,55	0,16	4
x ₂₅	40	2925	73,12	4	0	0,00	148	4	133,36	11,55	0,16	4
x ₂₆	40	3530	88,25	1	11	0,28	69	1	110,69	10,52	0,12	1
x ₂₇	40	3095	77,38	2	5	0,12	129	2	176,23	13,28	0,17	5
x ₃₁	40	1320	33,00	8	0	0,00	438	8	178,50	13,36	0,40	8
x ₃₂	40	1145	28,62	9	0	0,00	475	9	187,48	13,69	0,48	12
x ₃₃	40	1075	26,87	10	0	0,00	489	11	279,61	16,72	0,62	17
x ₃₄	40	2475	61,88	6	0	0,00	219	6	132,11	11,49	0,19	6
x ₃₅	40	2430	60,75	7	0	0,00	228	7	170,69	13,06	0,22	7

Tablisa 5.6

Matriks rang R_{ij} ooen dia KWK

Eksperol	Rangi R_{ij}																	
	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}	x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{34}	x_{35}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	17	14	11	16	14	7	5	6	9	8	14	11	3	2	4	16	1	
2	13	16	11	14	9	5	7	4	8	10	12	17	2	6	2	16	4	
3	17	12	14	10	11	7	5	2	9	8	8	17	4	3	1	14	6	
4	12	15	14	11	10	8	6	3	9	16	17	14	6	2	1	8	6	
5	14	14	10	12	16	7	4	3	12	17	9	16	1	5	2	9	6	
6	12	16	9	10	14	7	5	3	12	17	8	14	6	5	3	16	1	
7	16	16	9	11	13	7	5	3	16	17	8	13	2	7	4	11	1	
8	16	15	10	12	11	5	6	7	17	15	8	15	3	2	1	10	4	
9	16	13	12	11	10	1	3	6	16	17	9	16	7	4	2	8	6	
10	17	16	12	10	8	5	4	3	11	16	10	13	2	1	6	16	7	
11	16	15	12	11	9	3	1	2	9	15	11	13	5	4	6	17	7	
12	17	15	12	11	9	1	2	5	8	17	11	14	6	3	4	13	7	
13	17	16	15	12	9	2	3	1	12	15	12	13	5	6	7	9	4	
14	17	16	15	10	8	6	7	5	15	15	15	11	4	2	1	10	4	
15	15	14	12	10	17	6	5	4	17	9	14	12	4	7	2	8	1	
16	11	14	9	17	15	5	4	1	17	8	14	11	3	2	6	14	7	
17	11	13	10	17	16	3	4	2	14	9	13	8	5	7	6	16	1	
18	9	15	11	13	17	3	7	1	13	8	15	11	6	5	2	16	4	
19	10	16	12	13	17	2	1	3	10	8	16	12	6	5	4	16	7	
20	11	15	16	12	17	6	7	1	8	11	15	11	5	4	3	15	3	

od. tablicy 5.6

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
21	9	12	12	17	16	5	6	3	9	16	12	16	4	2	1	10	7
22	8	9	11	16	17	7	4	6	16	16	16	11	3	2	1	16	5
23	7	10	13	16	17	2	3	1	13	13	15	9	5	6	4	15	8
24	8	16	12	17	11	3	2	1	11	14	16	11	6	4	5	14	7
25	13	15	14	17	10	5	7	4	8	17	13	10	3	2	6	13	1
26	12	15	15	13	9	1	2	4	17	17	12	12	6	4	5	8	7
27	12	14	10	16	17	3	5	2	14	16	12	9	1	6	4	8	7
28	12	14	10	16	17	3	2	1	10	13	12	8	6	4	7	16	5
29	15	15	16	17	13	6	5	1	8	13	9	10	3	4	2	13	7
30	17	14	16	13	12	5	4	1	9	16	12	9	3	2	6	12	7
31	17	14	15	13	10	4	3	1	13	13	17	9	3	2	6	8	7
32	15	11	12	10	17	6	5	2	15	10	15	8	4	5	1	17	7
33	16	12	14	11	9	6	5	1	17	11	16	8	4	3	3	14	2
34	8	16	13	17	14	2	4	6	11	11	16	13	3	7	7	11	5
35	10	17	14	15	12	2	3	5	10	12	17	14	4	1	7	8	6
36	10	15	13	16	12	3	2	1	9	12	17	15	4	5	6	8	7
37	9	15	11	13	17	3	5	2	8	11	17	12	4	6	7	15	1
38	8	13	10	15	17	1	3	4	13	10	17	13	2	5	6	15	7
39	8	16	10	14	13	5	4	1	16	10	17	13	3	2	6	13	7
40	8	13	10	15	12	5	3	1	17	9	17	15	4	6	7	12	2

Tablice 5.7

Macierz rang R_{ij} ocen dla przodka wybierkowego

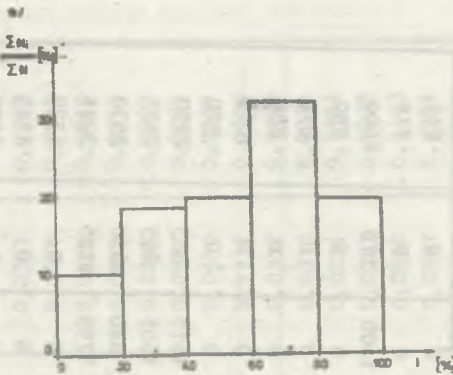
Ekspert	Rang R_{ij}																
	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}	x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{34}	x_{35}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2	15	12	7	10	9	8	16	17	5	4	3	6	15	13	12	2	1
3	17	15	5	12	10	9	8	12	4	3	1	2	13	17	15	7	6
4	13	16	5	10	11	17	16	8	1	3	2	4	9	13	16	6	7
5	11	13	5	12	15	16	10	17	7	6	1	4	10	8	15	3	2
6	16	12	4	14	17	14	11	16	7	6	5	3	8	9	10	2	1
7	17	14	4	13	16	15	12	11	5	3	2	1	10	9	9	7	6
8	15	12	3	11	17	14	10	8	2	7	1	5	10	14	17	6	4
9	10	9	5	11	15	12	8	17	4	3	2	1	15	17	15	6	7
10	10	15	4	16	15	13	8	17	4	2	1	5	13	13	10	7	6
11	11	14	3	16	14	12	15	17	5	4	2	1	11	9	8	7	6
12	13	15	4	14	12	17	11	17	3	6	1	2	7	9	10	6	8
13	15	16	1	14	13	17	11	13	4	5	2	3	10	9	8	7	6
14	16	17	3	15	13	14	12	11	6	5	1	3	10	9	7	4	9
15	16	17	5	14	12	13	11	10	2	3	1	4	8	9	16	6	7
16	12	16	5	10	9	11	14	17	4	2	1	3	16	14	8	7	6
17	11	12	7	8	10	13	14	16	2	3	4	1	9	15	17	5	6
18	14	13	6	8	16	12	17	10	2	3	1	4	9	16	12	5	7
19	13	15	6	8	16	11	17	9	4	5	1	7	15	13	11	3	2
20	11	15	4	12	16	14	17	14	4	8	2	1	10	9	7	6	5
20	10	14	4	15	17	16	12	9	3	2	1	5	8	12	13	7	6

od. tablioy 5.7

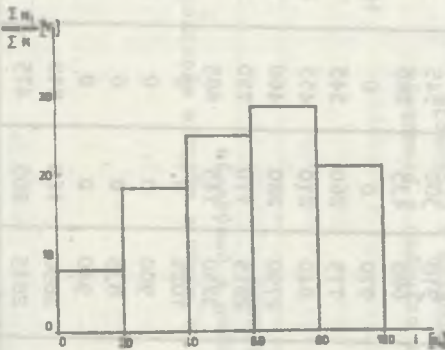
21	11	14	3	4	2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
22	14	15	6	6	16	17	17	13	12	11	5	2	1	5	8	12	13	7	6
23	14	17	6	6	17	11	15	14	14	3	3	4	1	4	10	8	9	2	7
24	12	16	4	4	14	15	17	11	13	6	6	2	1	4	10	9	7	5	8
25	15	13	2	2	17	16	15	13	11	3	3	1	4	7	9	10	8	6	5
26	16	15	5	5	17	14	13	12	11	3	3	2	1	4	10	9	7	8	6
27	13	12	6	6	15	15	17	11	17	7	7	5	1	4	8	9	10	8	2
28	14	12	5	5	12	10	9	14	15	4	4	3	2	1	17	16	8	7	6
29	13	15	6	6	13	10	8	9	11	3	3	2	1	4	16	15	17	5	7
30	10	11	8	8	13	14	17	16	13	3	3	5	1	2	9	8	16	4	6
31	10	11	6	6	9	13	17	15	13	2	2	3	1	4	7	14	17	5	8
32	13	15	6	6	9	8	11	10	16	5	5	3	1	4	13	15	17	2	7
33	12	14	5	5	8	9	10	11	16	3	3	2	4	1	14	15	17	6	7
34	16	17	4	4	10	9	12	13	16	5	5	3	2	1	7	11	14	6	8
35	17	15	6	6	17	14	13	10	9	4	4	2	1	3	8	11	12	8	6
36	16	17	7	7	7	15	11	9	10	5	5	4	2	1	12	13	14	8	3
37	15	17	7	7	12	8	9	11	10	2	2	7	1	3	13	15	17	5	4
38	13	14	5	5	13	17	16	8	9	3	3	6	2	1	10	11	15	8	4
39	11	12	6	6	16	8	9	10	13	1	1	4	3	2	14	16	17	7	6
40	9	10	7	7	11	12	14	15	16	2	2	3	1	4	17	14	8	5	6

... ..

a)



b)



Rys. 5.1. Histogram ocen ekspertów bez uwzględnienia kompetentności a) dla kopalni węgla, b) dla przodka wybiórkowego

Fig. 5.1. Bar chart of the experts evaluations not taking into account their competence

a) for collieries, b) for stoping faces

Tablica 5.8

Zestawienie zbiorcze parametrów zgodności opinii ekspertów

P a r a m e t r	Wartość parametru	
	dla KWK	dla przodka
Współczynnik konkordacji W	0,74962	0,76551
Wartość obliczona testu χ^2	479,76	489,93
Wartość tablicowa testu χ^2	26,30	26,30
Liczba stopni swobody ν	16	16

Tablica 5.9

Zestawienie zbiorcze do budowy histogramu (dla KWK i przodka wybiorkowego) bez uwzględnienia kompetentności ekspertów

Geoby	Przedziały histogramu i										N
	dla KWK					dla przodka wybiorkowego					
	1 0-20	2 21-40	3 41-60	4 61-80	5 81-100	N	1 0-20	2 21-40	3 41-60	4 61-80	
x11	235	540	135	0	0	910	300	545	0	0	845
x12	545	135	0	0	0	680	435	280	0	0	715
x13	280	690	0	0	0	970	0	0	1025	1400	2600
x14	260	515	0	0	0	775	260	545	145	0	950
x15	240	600	0	0	0	840	210	455	225	0	890
x21	0	0	755	1285	750	2790	280	460	140	0	880
x22	0	0	910	1100	805	2815	170	750	145	0	1065
x23	0	0	275	1180	1795	3250	145	685	90	0	920
x24	210	635	180	0	0	1025	0	0	390	1675	2950
x25	265	545	90	0	0	900	0	0	625	1605	2925
x26	270	565	0	0	0	835	0	0	60	840	3530
x27	310	585	45	0	0	940	0	0	215	1755	3095
x31	0	0	520	1880	450	2850	160	810	350	0	1320
x32	0	0	595	1530	720	2845	205	475	465	0	1145
x33	0	0	885	1255	650	2790	175	405	495	0	1075
x34	310	460	180	0	0	950	0	0	1495	715	2475
x35	0	40	1110	950	450	2550	0	0	1500	480	2430
ΣN _i	2925	5310	5680	9180	5620	28715	2340	5410	7365	8470	29810
%	10,19	18,49	19,78	31,97	19,57	100,00	7,85	18,15	24,71	28,41	100,00

Wagi potencjalnych zmiennych objaśniających bez uwzględnienia kompetencji ekspertów

Zmienna	Nazwa zmiennej potencjalnej	Waga zmiennej	
		KWK	przodek
x11	miąższość pokładu	0,0317	0,0283
x12	urabialność węgla	0,0237	0,0240
x13	nachylenie pokładu	0,0338	0,0872
x14	głębokość eksploatacji	0,0270	0,0319
x15	rodzaj zagrożeń górniczych	0,0292	0,0299
x21	udział wydobycia węgla handlowego ze ścian w ogólnym wydobyciu	0,0972	0,0295
x22	średnia dzienna liczba ścian czynnych z produkcji	0,0980	0,0357
x23	rodzaj stosowanej technologii urabiania	0,1132	0,0309
x24	typ maszyny urabiającej	0,0357	0,0990
x25	typ obudowy	0,0313	0,0981
x26	długość ściany	0,0291	0,1184
x27	wysokość ściany	0,0327	0,1038
x31	średnie dzienne wydobycie ze ścian czynnych z produkcji	0,0992	0,0443
x32	średnia dzienna długość frontu ścianowego z produkcji	0,0991	0,0384
x33	wskaźnik awaryjności ogólnej na 1000 t wydobycia	0,0972	0,0361
x34	liczba przodkodni z produkcji	0,0331	0,0830
x35	średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcji	0,0888	0,0815

Tablica 5.11

Istotne zmienne objaśniające, wraz z wagami, wyselekcjonowane metodą heurystyczną
(bez uwzględnienia kompetencji ekspertów)

Zmienna	Nazwa zmiennej istotnej dla KWK	Waga zmiennej
x21	udział wydobycia węgla bandlowego ze ścian w ogólnym wydobyciu	0,0972
x22	średnia dzienna liczba ścian czynnych z produkcji	0,0980
x23	rodzaj stosowanej technologii urabiania	0,1132
x31	średnie dzienne wydobycie ze ścian czynnych z produkcji	0,0992
x32	średnia dzienna długość frontu ścianowego z produkcji	0,0991
x33	wskaźnik awaryjności ogólnej na 1000 t wydobycia	0,0972
x35	średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcji	0,0888
dla przodka wybierkowego		
x13	naobalenie pokładu	0,0872
x24	typ maszyny urabiającej	0,0990
x25	typ obudowy	0,0981
x26	długość ściany	0,1184
x27	wysokość ściany	0,1038
x34	liczba przodkodni z produkcji	0,0830
x35	średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcji	0,0815

Zmienna	Nazwa zmiennej istotnej	Waga zmiennej
x21	udział wydobycia węgla bandlowego ze ścian w ogólnym wydobyciu	0,0972
x22	średnia dzienna liczba ścian czynnych z produkcji	0,0980
x23	rodzaj stosowanej technologii urabiania	0,1132
x31	średnie dzienne wydobycie ze ścian czynnych z produkcji	0,0992
x32	średnia dzienna długość frontu ścianowego z produkcji	0,0991
x33	wskaźnik awaryjności ogólnej na 1000 t wydobycia	0,0972
x35	średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcji	0,0888
dla przodka wybierkowego		
x13	naobalenie pokładu	0,0872
x24	typ maszyny urabiającej	0,0990
x25	typ obudowy	0,0981
x26	długość ściany	0,1184
x27	wysokość ściany	0,1038
x34	liczba przodkodni z produkcji	0,0830
x35	średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcji	0,0815

5.3. Wykorzystanie metody analizy czynnikowej i głównego czynnika do określenia zbioru istotnych zmiennych objaśniających

Wykorzystanie w obliczeniach na maszynie cyfrowej metody analizy czynnikowej, metody głównego czynnika oraz rotacji ortogonalnej do tzw. struktury prostej metoda VARIMAX przyporządkowano potencjalnym zmiennym objaśniającym realizację procesu wydobywczego w kopalni węgla kamiennego i w przodku wybierkowym związki istotne pozytywne, tzn. współczynniki korelacji zmiennych z danym czynnikiem (ładunki czynnikowe) oraz zasób zmienności wspólnej, tj. procent wariancji zmiennej wyjaśnionej łącznie przez wszystkie czynniki. Poszczególne zmienne potencjalne, ich nazwy oraz obliczone dla nich związki istotne pozytywne i zasób zmienności wspólnej przedstawiono w tablicy 5.12. Z zestawienia tego łatwo można wyselekcjonować istotne zmienne objaśniające, które prezentuje tablica 5.13.

Posługując się odmianą metody głównego czynnika, tzn. metodą VARIMAX, uzyskano w przypadku KWK trzy czynniki: $y_{01}^{(1)}$, $y_{02}^{(1)}$, $y_{03}^{(1)}$. Spośród nich czynnik $y_{01}^{(1)}$ okazał się czynnikiem głównym. Wyjaśnił on 95,6% zmiennych objaśniających i był kombinacją liniową zmiennych istotnych, jak podano poniżej:

$$y_{01}^{(1)} = b_1 \cdot x_{21} + b_2 \cdot x_{22} + b_3 \cdot x_{31} + b_4 \cdot x_{32} + b_5 \cdot x_{33} + b_6 \cdot x_{35},$$

gdzie:

b_1, b_2, \dots, b_6 - współczynniki proporcjonalności

Czynniki $y_{02}^{(1)}$ i $y_{03}^{(1)}$ wyjaśniły pozostałe 4,4% zmiennych objaśniających.

W przypadku przodka wybierkowego obliczono dwa czynniki: $y_{01}^{(2)}$ i $y_{02}^{(2)}$. Głównym czynnikiem był czynnik $y_{01}^{(2)}$, który wyjaśnił 97,3% zmiennych objaśniających i był kombinacją liniową zmiennych istotnych, jak podano niżej:

$$y_{01}^{(2)} = c_1 \cdot x_{13} + c_2 \cdot x_{26} + c_3 \cdot x_{27} + c_4 \cdot x_{34} + c_5 \cdot x_{35},$$

gdzie:

c_1, c_2, \dots, c_5 - współczynniki proporcjonalności.

Wyznaczenie istotnych zmiennych objaśniających realizację procesu wydobywczego w KWK i w przodku wybierkowym metodami matematycznymi oparte było na materiale statystycznym, dotyczącym zmiennych objaśniających i objaśnianych, ze wszystkich kopalń węgla kamiennego.

Tablica 5.12

Wyniki badań przeprowadzonych metodami matematycznymi
(związki istotne pozytywne i zasób zmienności wspólnej dla zmiennych potencjalnych)

Zmienna	Nazwa zmiennej potencjalnej	Związki istotne pozytywne		Zasób zmienności wspólnej	
		KWK	przodek wybierk.	KWK	przodek wybierk.
x ₁₁	miąższość pokładu	0,2852	0,2799	0,2922	0,2867
x ₁₂	urabialność węgla	0,2150	0,2370	0,2203	0,2427
x ₁₃	nachylenie pokładu	0,2999	0,9112	0,3073	0,9476
x ₁₄	głębokość eksploatacji	0,2387	0,3204	0,2446	0,3281
x ₁₅	rodzaj zagrożeń górniczych	0,2642	0,2979	0,2707	0,3051
x ₂₁	udział wydobycia węgla handlowego ze ścian w ogólnym wydobyciu	0,8715	0,2934	0,9004	0,3005
x ₂₂	średnia dzienna liczba ścian czynnych z produkcją	0,8320	0,3603	0,8576	0,3689
x ₂₃	rodzaj stosowanej technologii urabiania	0,9670	0,3054	0,9405	0,3127
x ₂₄	typ maszyn urabiających	0,3196	0,9150	0,3275	0,9903
x ₂₅	typ obudowy	0,2749	0,9148	0,2817	0,9743
x ₂₆	długość ściany	0,2669	0,9841	0,2734	0,9950
x ₂₇	wysokość ściany	0,2955	0,9416	0,3027	0,9906
x ₃₁	średnie dzienne wydobycie ze ścian czynnych z prod.	0,9186	0,4441	0,9403	0,4548
x ₃₂	średnia dzienna długość frontu ścianowego z prod.	0,9067	0,3842	0,9229	0,3935
x ₃₃	wskaźnik awaryjności ogólnej na 1000 t wydobycia	0,8731	0,3563	0,9216	0,3649
x ₃₄	liczba przodkodni z produkcją	0,2914	0,9108	0,2986	0,9442
x ₃₅	średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcją	0,8116	0,9006	0,8382	0,9341

Tablica 5.13

Istotne zmienne objaśniające wraz ze związkami istotnymi pozytywnymi i zasołami zmienności wspólnej, wyselekcjonowane metodami matematycznymi

Zmienna	Nazwa zmiennej istotnej	Związki istotne pozytywne	Zasoł zmienności wspólnej
dla KWK			
x ₂₁	udział wydobycia węgla handlowego ze ścian w ogólnym wydobyciu	0,8715	0,9004
x ₂₂	średnia dzienna liczba ścian czynnych z produkcji	0,8320	0,8576
x ₂₃	rodzaj stosowanej technologii urabiania	0,9670	0,9405
x ₃₁	średnie dzienne wydobycie ze ścian czynnych z produkcji	0,9186	0,9403
x ₃₂	średnia dzienna długość frontu ścianowego z produkcji	0,9067	0,9229
x ₃₃	wskaźnik awaryjności ogólnej na 1000 t wydobycia	0,8731	0,9216
x ₃₅	średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcji	0,8116	0,8382
dla przodka wybiłkowego			
x ₁₃	nachylenie pokładu	0,9112	0,9476
x ₂₄	typ maszyny urabiającej	0,9150	0,9903
x ₂₅	typ obudowy	0,9148	0,9743
x ₂₆	długość ściany	0,9841	0,9950
x ₂₇	wysokość ściany	0,9416	0,9906
x ₃₄	liczba przodkodni z produkcji	0,9108	0,9442
x ₃₅	średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcji	0,9006	0,9343

5.4. Ocena kompetentności ekspertów oraz jej wpływ na oceny ekspertów

Ważną rolę w metodzie grupowej oceny ekspertów odgrywa kompetencja (kompetentność) ekspertów. Jej wpływ na oceny dawane przez poszczególnych ekspertów oraz na uogólnioną opinię ekspertów może być nieraz znaczny. Wystarczy zauważyć, że w przypadku, gdy np. mało kompetentny ekspert zawiąza sztucznie swe oceny i również gdy wysoce kompetentny ekspert zaniża swe oceny, prowadzić to może do uzyskiwania fałszywych wyników.

Ten etap badań uzupełnia badania przeprowadzone w podrozdziale 5.2 o wpływ na oceny ekspertów ich kompetencji. Badania przeprowadzono również zgodnie z metodyką podaną w podrozdziale 4.1.3, a odnoszącą się do badania kompetentności ekspertów.

W celu określenia współczynnika kompetentności posłużono się wzorem 4.15.

Poproszono również ekspertów, by przy wyrażaniu swoich ocen (tablica 5.2 i 5.3) dokonali samooceny oraz wskaźnika źródeł argumentacji, którymi się posługiwali przy ocenie zmiennych. Samooceny dokonali eksperci posługując się dziesięciopunktową skalą przedstawioną w tablicy 4.1. Wyniki samooceny ekspertów w punktach oraz wynikający z nich współczynnik stopnia znajomości ocenianego problemu k_{zi} zamieszczono w tablicy 5.14. Wskazania źródeł argumentacji dokonali eksperci na podstawie tablicy 4.2, która zawiera punktową skalę źródeł argumentowania. Zestawienie współczynników argumentowalności dla poszczególnych ekspertów i poszczególnych zmiennych zawiera tablica 5.15 (dla KWK) oraz tablica 5.16 (dla ściany). Tablice te zawierają też uśrednione współczynniki argumentowalności dla każdej ze zmiennych, przy uwzględnieniu źródeł argumentacji wszystkich ekspertów (k_{aj}). Natomiast współczynniki argumentowalności k_{ai} dla każdego z ekspertów, przy uwzględnieniu źródeł argumentacji, z których korzystali eksperci przy ocenie wszystkich zmiennych, przedstawiono w tablicy 5.14.

W dalszej kolejności współczynniki k_{zi} oraz k_{ai} posłużyły do wyznaczenia współczynnika kompetentności k_{ki} . (Wprowadzony tu indeks "i" oznacza przypisanie wielkości poszczególnym ekspertom, których oznaczono również indeksem "i"). Zestawienie współczynników kompetentności ekspertów przedstawiono w tablicy 5.14 (tak w przypadku KWK, jak i ściany). Z tego, że zmienność współczynnika znajomości $k_{zi} = 0,0-1,0$, a współczynnika argumentowalności $k_{ai} = 0,05-0,5$, wynika wniosek, że zmienność współczynnika kompetentności $k_{ki} = 0,025-0,750$. Ciekawe może być zatem procentowe ujęcie kompetencji eksperta, a więc określenie, w jakim stopniu jest on kompetentny (nazwijmy tę wielkość "udziałem kompetencji" - u_{ki}) poprzez określenie, w którym punkcie przedziału zmienności współczynnika k_{ki} znajduje się jego współczynnik kompetentności. Ponadto uszeregowanie ekspertów wg malejącego udziału kompetencji może prowadzić do ciekawych wniosków. Zestawienie tych wielkości, przedstawione dla

Tablica 5.14

Zestawienie zbiorcze samooceny s_i , stopnia znajomości k_{zi} , współczynnika argumentowalności k_{ai} , współczynnika kompetentności k_{ki} , udziału kompetencji u_{ki} oraz pozycji w badaniach dla poszczególnych ekspertów biorących udział w ocenie grupowej zmiennych (dla KWK i przodka wybiorkowego)

Eksperci	Samoocena ekspertów s_i		Stopień znajomości k_{zi}		Współczynnik argumentowalności k_{ai}		Współczynnik kompetentności k_{ki}		Udział kompetencji u_{ki} %		Pozycja eksperta w badaniach	
	KWK	przodek	KWK	przodek	KWK	przodek	KWK	przodek	KWK	przodek	KWK	przodek
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	6	4	0,6	0,4	0,18	0,16	0,39	0,28	50,34	35,17	22	38
2	7	5	0,7	0,5	0,20	0,14	0,45	0,32	58,62	40,69	18	36
3	8	6	0,8	0,6	0,21	0,11	0,51	0,36	66,90	46,21	12	28
4	3	7	0,3	0,7	0,23	0,15	0,27	0,43	33,79	55,86	30	20
5	2	8	0,2	0,8	0,19	0,17	0,20	0,49	24,14	64,14	37	12
6	5	8	0,5	0,8	0,22	0,21	0,36	0,51	46,21	66,90	25	10
7	6	8	0,6	0,8	0,27	0,24	0,44	0,52	57,24	68,29	19	9
8	10	9	1,0	0,9	0,18	0,17	0,59	0,54	77,93	71,03	4	5
9	7	10	0,7	1,0	0,24	0,21	0,47	0,61	61,38	80,69	15	1
10	9	10	0,9	1,0	0,23	0,21	0,57	0,61	75,17	80,69	5	1
11	8	9	0,8	0,9	0,24	0,21	0,52	0,56	68,28	73,79	9	4
12	2	9	0,2	0,9	0,24	0,14	0,22	0,52	26,90	68,28	35	9
13	1	9	0,1	0,9	0,22	0,18	0,16	0,54	18,62	71,03	40	5
14	3	8	0,3	0,8	0,22	0,15	0,26	0,48	32,41	62,76	33	14
15	2	6	0,2	0,6	0,24	0,20	0,22	0,40	26,90	51,72	35	22
16	1	6	0,1	0,6	0,21	0,14	0,16	0,37	18,62	47,59	40	27
17	4	6	0,4	0,6	0,23	0,19	0,32	0,40	40,69	51,72	28	23
18	5	7	0,5	0,7	0,21	0,16	0,36	0,43	46,21	55,86	25	20
19	6	5	0,6	0,5	0,22	0,18	0,41	0,34	53,10	43,45	20	31

cd. tablicy 5.14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
20	7	5	0,7	0,5	0,24	0,20	0,47	0,35	61,38	44,83	15	29
21	8	5	0,8	0,5	0,23	0,18	0,52	0,34	68,28	43,45	9	31
22	9	5	0,9	0,5	0,24	0,14	0,57	0,38	75,17	42,07	5	34
23	10	6	1,0	0,6	0,22	0,15	0,61	0,38	80,69	48,97	3	25
24	10	4	1,0	0,4	0,23	0,16	0,62	0,28	82,07	35,17	1	38
25	10	4	1,0	0,4	0,24	0,17	0,62	0,29	82,07	36,55	1	37
26	8	4	0,8	0,4	0,23	0,14	0,52	0,27	68,28	33,79	9	40
27	8	5	0,8	0,5	0,24	0,17	0,52	0,34	68,28	43,45	9	31
28	8	6	0,8	0,6	0,24	0,16	0,52	0,38	68,28	48,97	9	25
29	7	6	0,7	0,6	0,24	0,19	0,47	0,40	61,38	51,72	15	23
30	7	7	0,7	0,7	0,24	0,17	0,47	0,44	61,38	57,24	15	16
31	7	7	0,7	0,7	0,23	0,18	0,47	0,44	61,38	57,24	15	16
32	5	8	0,5	0,8	0,23	0,18	0,37	0,49	47,59	64,14	23	12
33	4	8	0,4	0,8	0,25	0,16	0,33	0,48	42,07	62,76	27	14
34	3	8	0,3	0,8	0,24	0,19	0,27	0,50	33,79	65,52	30	11
35	3	9	0,3	0,9	0,23	0,14	0,27	0,52	33,79	68,28	30	9
36	2	10	0,2	1,0	0,23	0,19	0,22	0,60	26,90	79,31	35	3
37	1	7	0,1	0,7	0,23	0,16	0,17	0,43	20,00	55,86	38	20
38	3	6	0,3	0,6	0,21	0,16	0,26	0,38	32,41	48,97	33	25
39	4	5	0,4	0,5	0,28	0,16	0,34	0,33	43,35	42,07	26	34
40	6	5	0,6	0,5	0,21	0,18	0,41	0,34	43,45	43,45	20	31

Zestawienie współczynników argumentowalności ekspertów dla KWK

Ekspert	Zmienne objaśniające - cechy																
	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅	x ₂₁	x ₂₂	x ₂₃	x ₂₄	x ₂₅	x ₂₆	x ₂₇	x ₃₁	x ₃₂	x ₃₃	x ₃₄	x ₃₅
1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,3	0,4	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,3	0,3	0,05	0,3
2	0,05	0,05	0,05	0,2	0,05	0,4	0,2	0,5	0,05	0,2	0,05	0,05	0,2	0,4	0,4	0,1	0,5
3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,1	0,4	0,1	0,05	0,3	0,05	0,4	0,5	0,5	0,05	0,4
4	0,05	0,1	0,2	0,2	0,05	0,4	0,2	0,5	0,05	0,2	0,05	0,2	0,5	0,4	0,4	0,05	0,4
5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,2	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,4	0,4	0,05	0,4
6	0,1	0,2	0,05	0,05	0,05	0,3	0,2	0,4	0,05	0,05	0,2	0,05	0,4	0,5	0,5	0,1	0,5
7	0,3	0,05	0,2	0,05	0,2	0,3	0,4	0,3	0,05	0,3	0,05	0,4	0,4	0,5	0,5	0,05	0,5
8	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,3	0,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,4	0,4	0,05	0,4
9	0,05	0,3	0,05	0,3	0,05	0,4	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,4	0,4	0,05	0,5
10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,3	0,5	0,1	0,05	0,3	0,05	0,5	0,4	0,5	0,05	0,5
11	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,5	0,4	0,5	0,05	0,05	0,05	0,2	0,4	0,5	0,5	0,05	0,4
12	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	0,4	0,4	0,05	0,3	0,05	0,05	0,4	0,5	0,5	0,2	0,4
13	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	0,5	0,1	0,05	0,05	0,05	0,5	0,4	0,5	0,05	0,5
14	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,3	0,05	0,05	0,2	0,05	0,5	0,4	0,4	0,05	0,4
15	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,4	0,4	0,5	0,05	0,2	0,05	0,05	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4
16	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,4	0,4	0,5	0,1	0,05	0,05	0,05	0,4	0,5	0,4	0,05	0,4
17	0,05	0,2	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	0,4	0,05	0,05	0,1	0,05	0,5	0,5	0,5	0,05	0,5
18	0,2	0,05	0,1	0,05	0,05	0,4	0,4	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,4	0,4	0,1	0,4
19	0,1	0,05	0,05	0,3	0,05	0,4	0,4	0,2	0,05	0,2	0,05	0,1	0,5	0,3	0,5	0,05	0,5
20	0,05	0,2	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,4	0,4	0,2	0,4

od. tablicy 5.15

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
21	0,1	0,05	0,3	0,05	0,05	0,05	0,3	0,4	0,5	0,05	0,2	0,05	0,05	0,5	0,5	0,4	0,05	0,4
22	0,05	0,3	0,05	0,05	0,05	0,1	0,3	0,5	0,4	0,2	0,05	0,05	0,1	0,5	0,5	0,5	0,05	0,4
23	0,1	0,5	0,2	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	0,4	0,2	0,4
24	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,4	0,05	0,05	0,1	0,05	0,5	0,5	0,4	0,05	0,5
25	0,05	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,4	0,1	0,05	0,05	0,2	0,5	0,4	0,5	0,05	0,4
26	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,4	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	0,5	0,2	0,5
27	0,05	0,05	0,3	0,05	0,05	0,1	0,5	0,5	0,4	0,05	0,05	0,2	0,05	0,5	0,5	0,4	0,05	0,4
28	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	0,5	0,1	0,05	0,05	0,3	0,4	0,4	0,5	0,3	0,5
29	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,5	0,05	0,05	0,3	0,05	0,5	0,5	0,4	0,05	0,4
30	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,2	0,4	0,4	0,5	0,05	0,1	0,05	0,05	0,4	0,4	0,5	0,2	0,5
31	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,3	0,05	0,05	0,05	0,1	0,5	0,5	0,4	0,05	0,5
32	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,5	0,2	0,4
33	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	0,5	0,2	0,05	0,4	0,05	0,4	0,5	0,5	0,05	0,5
34	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2	0,5	0,5	0,4	0,05	0,1	0,05	0,2	0,5	0,4	0,4	0,2	0,4
35	0,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,4	0,05	0,4
36	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	0,5	0,05	0,1	0,05	0,05	0,4	0,4	0,5	0,2	0,5
37	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2	0,4	0,3	0,5	0,2	0,05	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,05	0,5
38	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,3	0,4	0,5	0,3	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,2	0,05	0,3
39	0,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,4	0,5	0,5	0,05	0,05	0,1	0,2	0,5	0,5	0,5	0,2	0,5
40	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,5	0,4	0,5	0,05	0,2	0,05	0,1	0,4	0,4	0,2	0,05	0,4
k _{aj}	0,09	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08	0,42	0,39	0,44	0,08	0,09	0,10	0,09	0,45	0,44	0,44	0,10	0,42

Zestawienie współczynników argumentowalności ekspertów dla przodka wybierkowego

Eks- per- oi	Zmiennie objaśniające - cechy																	
	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅	x ₂₁	x ₂₂	x ₂₃	x ₂₄	x ₂₅	x ₂₆	x ₂₇	x ₃₁	x ₃₂	x ₃₃	x ₃₄	x ₃₅	
1	0,1	0,2	0,5	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,2	0,3	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	
2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2	0,2	0,4	0,05	0,05	0,05	0,3	0,2	
3	0,1	0,1	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,4	0,05	0,05	0,05	0,2	0,3	
4	0,1	0,1	0,2	0,1	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	0,1	0,2	0,05	0,1	0,4	
5	0,2	0,2	0,2	0,1	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,3	0,4	0,4	0,05	0,05	0,05	0,1	0,5	
6	0,3	0,3	0,3	0,1	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,5	0,4	0,4	0,3	0,05	0,05	0,5	0,4	
7	0,3	0,3	0,4	0,1	0,05	0,3	0,05	0,05	0,05	0,5	0,3	0,3	0,05	0,3	0,4	0,4	0,3	
8	0,05	0,05	0,4	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,3	0,05	0,2	0,1	0,3	0,1	
9	0,05	0,05	0,4	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,4	0,3	0,05	0,5	0,3	0,2	0,4	
10	0,05	0,05	0,4	0,1	0,05	0,4	0,05	0,05	0,05	0,2	0,4	0,5	0,05	0,4	0,4	0,2	0,2	
11	0,05	0,05	0,4	0,05	0,4	0,05	0,5	0,05	0,05	0,5	0,4	0,05	0,2	0,05	0,05	0,4	0,4	
12	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,3	
13	0,05	0,05	0,1	0,05	0,3	0,05	0,3	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,2	0,05	0,2	0,3	0,3	
14	0,05	0,05	0,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,3	
15	0,05	0,05	0,4	0,05	0,05	0,5	0,3	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,2	0,05	0,2	0,2	
16	0,05	0,05	0,4	0,05	0,05	0,5	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,2	0,05	0,2	0,2	
17	0,05	0,05	0,4	0,05	0,2	0,05	0,05	0,3	0,05	0,5	0,4	0,05	0,3	0,3	0,05	0,2	0,2	
18	0,05	0,05	0,4	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	0,05	0,2	0,05	0,05	0,4	0,4	
19	0,05	0,05	0,4	0,05	0,05	0,2	0,05	0,3	0,05	0,4	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	
20	0,05	0,05	0,3	0,05	0,05	0,05	0,3	0,05	0,05	0,4	0,4	0,05	0,3	0,05	0,3	0,5	0,5	

ed. tablitsy 5.16

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
21	0,05	0,05	0,3	0,05	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4
22	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,05	0,06	0,3	0,3
23	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,1	0,05	0,3	0,3
24	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4
25	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,2	0,05	0,05	0,4	0,4
26	0,05	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05	0,4	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4
27	0,05	0,05	0,2	0,05	0,2	0,05	0,4	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,3
28	0,2	0,05	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,3
29	0,05	0,05	0,5	0,05	0,2	0,3	0,3	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,1	0,05	0,2	0,2
30	0,1	0,05	0,3	0,05	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4
31	0,05	0,1	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,1	0,05	0,05	0,4	0,4
32	0,05	0,05	0,3	0,3	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05	0,4	0,4	0,05	0,05	0,3	0,05	0,4	0,4
33	0,3	0,05	0,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4
34	0,05	0,05	0,3	0,05	0,2	0,05	0,05	0,3	0,05	0,4	0,4	0,05	0,05	0,2	0,05	0,4	0,5
35	0,05	0,05	0,3	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5
36	0,05	0,05	0,3	0,05	0,05	0,4	0,05	0,2	0,05	0,3	0,3	0,05	0,3	0,05	0,05	0,5	0,5
37	0,05	0,05	0,4	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,3	0,05	0,05	0,2	0,05	0,5	0,5
38	0,05	0,05	0,4	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,3	0,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5
39	0,05	0,05	0,4	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,4	0,4
40	0,05	0,05	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2	0,3	0,4	0,05	0,4	0,05	0,4	0,4	0,4
кв.	0,08	0,08	0,31	0,08	0,09	0,12	0,11	0,08	0,05	0,41	0,41	0,13	0,10	0,11	0,09	0,34	0,36

Дирекция государственного управления по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций
 МОСКВА - 2010

Zestawienie ocen ekspertów skorygowanych współczynnikiem kompetentności k_{ki} w przypadku KWK

Eks- per- ci	C e c h y																
	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅	x ₂₁	x ₂₂	x ₂₃	x ₂₄	x ₂₅	x ₂₆	x ₂₇	x ₃₁	x ₃₂	x ₃₃	x ₃₄	x ₃₅
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	3,9	7,8	11,7	5,9	7,8	19,5	25,4	21,5	15,6	17,6	7,8	11,7	29,3	31,2	27,3	5,9	35,1
2	9,0	4,5	13,5	6,8	18,0	27,0	22,5	31,5	20,3	15,8	11,3	0	36,0	24,8	36,0	4,5	31,5
3	5,1	12,8	10,2	17,9	15,3	35,5	30,6	38,3	20,4	23,0	7,7	5,1	33,2	25,7	40,8	10,2	28,1
4	5,4	2,7	4,1	8,1	9,5	12,2	13,5	18,9	10,7	1,4	0	4,1	13,5	21,6	24,3	12,2	13,5
5	4,0	4,0	7,0	6,0	2,0	12,0	15,0	16,0	6,0	1,0	8,0	2,0	18,0	14,0	17,0	8,0	13,0
6	7,2	3,6	10,8	9,0	5,4	18,0	21,6	25,2	7,2	1,8	14,4	5,4	19,8	21,6	25,2	3,6	28,8
7	4,4	4,4	15,4	8,8	6,6	19,8	22,0	26,4	4,4	2,2	17,6	6,6	28,6	19,8	24,2	8,8	30,8
8	5,9	8,9	17,7	11,8	14,8	41,3	35,4	29,5	3,0	8,0	23,6	8,9	47,2	53,1	59,0	17,7	44,3
9	7,1	9,4	11,8	14,1	16,5	47,0	37,6	32,9	7,1	4,7	18,8	7,1	28,2	35,3	42,3	21,2	32,9
10	2,9	5,7	11,4	17,1	20,0	34,2	39,9	48,5	14,3	5,7	17,1	8,6	51,3	57,0	31,4	5,7	28,5
11	2,6	5,2	13,0	15,6	18,2	36,4	52,0	41,6	18,2	5,2	15,6	7,8	31,2	33,8	26,0	0	23,4
12	1,1	2,2	5,5	6,6	7,7	22,0	19,8	15,4	8,8	1,1	6,6	3,3	14,3	17,6	16,5	4,4	12,1
13	0,8	1,6	3,2	4,8	5,6	14,4	13,6	16,0	4,8	3,2	4,8	4,0	11,2	10,4	9,6	5,6	12,0
14	2,6	3,9	5,2	7,8	9,1	18,2	15,6	19,5	5,2	5,2	5,2	6,5	20,8	22,1	23,4	7,8	20,8
15	3,3	4,4	5,5	6,6	2,2	12,1	13,2	15,4	2,2	7,7	4,4	5,5	15,4	9,9	17,6	8,8	19,8
16	4,0	3,2	4,8	0,8	1,6	9,6	11,2	16,0	0,8	5,6	3,2	4,0	12,0	12,8	8,8	3,2	8,0
17	8,0	6,4	9,6	1,6	3,2	27,2	25,6	28,8	4,8	11,2	6,4	12,8	22,4	19,2	20,8	3,2	30,4
18	12,6	7,2	10,8	9,0	3,6	25,2	18,0	36,0	9,0	14,4	7,2	10,8	19,8	21,6	27,0	5,4	23,4
19	14,4	8,2	12,3	10,3	4,1	36,9	39,0	32,8	14,4	16,4	8,2	12,3	24,6	28,7	30,8	8,2	20,5
20	18,8	14,1	11,8	16,5	9,4	30,6	28,2	47,0	21,2	18,8	14,1	18,8	32,9	35,3	37,6	14,1	37,6

od. tablicy 5.17

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
21	20,8	15,6	13,0	2,6	10,4	36,4	31,2	44,2	20,8	10,4	15,6	10,4	41,6	46,8	19,4	18,2	26,0	
22	22,8	14,3	11,4	5,7	2,9	28,5	37,1	31,4	5,7	5,7	5,7	11,4	39,9	42,8	45,8	5,7	34,2	
23	27,5	15,3	12,2	6,1	3,1	54,9	48,8	56,0	12,2	12,2	9,2	18,3	36,6	30,5	39,7	9,2	24,4	
24	21,7	9,3	15,5	6,2	18,6	49,6	52,7	55,8	18,6	12,4	12,4	18,6	37,2	43,4	40,3	12,4	31,0	
25	15,5	9,3	12,4	6,2	18,6	37,2	31,0	43,4	24,8	6,2	15,5	18,6	46,5	49,6	34,1	15,5	55,8	
26	13,0	7,8	7,8	10,4	15,6	49,4	46,8	44,2	5,2	5,2	13,0	13,0	36,4	44,2	41,6	20,8	31,2	
27	13,0	10,4	15,6	5,2	2,6	36,4	31,2	41,6	10,4	5,2	13,0	18,2	44,2	28,6	33,8	23,4	26,0	
28	13,0	7,8	15,6	5,2	2,6	41,6	44,2	46,8	15,6	10,4	13,0	23,4	31,2	36,4	26,0	5,2	33,8	
29	7,1	7,1	4,7	2,4	9,4	25,9	28,2	47,0	21,2	9,4	14,1	11,8	32,9	30,6	37,6	9,4	23,5	
30	4,7	9,4	7,1	11,8	14,1	30,6	32,9	44,7	16,5	7,1	14,1	16,5	35,3	37,6	25,9	14,1	23,5	
31	4,7	9,4	7,1	11,8	14,1	32,9	37,6	47,0	11,8	11,8	4,7	16,5	42,3	30,6	28,2	18,8	25,9	
32	3,7	7,4	5,6	9,3	1,9	24,1	27,8	33,3	3,7	9,3	3,7	13,0	29,6	31,5	37,0	1,0	18,5	
33	3,3	6,6	5,8	8,3	9,9	18,2	19,8	33,0	1,7	8,3	3,3	11,6	21,5	16,5	23,1	5,0	24,8	
34	8,1	2,7	5,4	1,4	4,1	20,3	17,6	14,9	6,8	6,8	2,7	5,4	18,9	21,6	13,5	6,8	16,2	
35	8,1	2,7	5,4	4,1	6,8	21,6	20,3	17,6	8,1	6,8	2,7	5,4	18,9	27,0	14,9	9,3	16,2	
36	7,7	4,4	5,5	3,3	6,6	17,6	18,7	22,0	8,8	6,6	1,1	4,4	15,4	13,2	12,1	9,9	11,0	
37	6,0	1,7	5,1	2,6	0,9	11,9	10,2	12,8	7,7	5,1	0,9	3,4	11,1	9,4	8,5	1,7	13,6	
38	9,1	5,2	7,8	3,9	1,3	26,0	23,4	20,8	5,2	7,8	1,3	5,2	24,7	18,2	15,6	3,9	14,3	
39	15,3	3,4	10,2	5,1	6,8	22,1	23,8	34,0	3,4	10,2	1,7	6,8	27,2	28,9	20,4	6,8	18,7	
40	18,5	8,2	12,3	4,1	10,3	28,7	32,8	36,9	2,1	16,4	2,1	4,1	30,8	26,7	24,6	10,3	34,9	

Dokumentacja techniczna do projektu budowlanego, etap: projekt wykonawczy, rok: 2014, strona: 72

Tablica 5.18

Zestawienie ocen ekspertów skorygowanych współczynnikiem kompetentności k_k
w przypadku przodka wybierkowego

Ex- per- ci	Geo h y																
	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅	x ₂₁	x ₂₂	x ₂₃	x ₂₄	x ₂₅	x ₂₆	x ₂₇	x ₃₁	x ₃₂	x ₃₃	x ₃₄	x ₃₅
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	5,6	8,4	16,8	11,2	12,6	14,0	2,8	1,4	19,6	21,0	22,4	18,2	5,6	7,0	8,4	25,2	26,6
2	3,2	6,4	22,4	11,2	12,8	14,4	16,0	11,2	25,6	27,2	32,0	28,8	8,0	3,2	6,4	19,2	20,8
3	7,2	5,4	25,2	10,8	9,0	3,6	5,4	16,2	36,0	28,8	30,6	27,0	14,4	7,2	5,4	21,6	18,0
4	12,9	6,5	28,0	8,6	4,3	2,2	17,2	0	23,7	25,8	43,0	30,1	17,2	19,4	4,3	34,4	38,7
5	4,9	9,8	34,3	7,4	2,5	7,4	12,3	4,9	24,5	29,4	31,9	39,2	19,6	17,2	14,7	41,7	44,1
6	2,6	10,2	33,2	12,8	5,1	7,7	15,3	17,9	30,6	35,7	45,9	51,0	20,4	23,0	23,0	25,5	28,1
7	5,2	10,4	41,6	13,0	2,6	7,8	15,6	18,2	46,8	26,0	52,0	33,8	15,6	17,8	2,6	31,2	39,0
8	13,5	16,2	37,8	10,8	5,4	8,1	18,9	2,7	40,5	43,2	45,9	48,6	5,4	2,7	5,4	29,7	27,0
9	18,3	12,2	48,8	9,2	12,2	15,3	21,4	3,1	48,8	51,9	54,9	42,7	15,3	15,3	18,3	30,5	36,6
10	24,4	18,3	51,9	6,1	18,3	21,4	12,2	3,1	42,7	48,8	58,0	61,0	24,4	27,5	30,5	33,6	36,6
11	11,2	5,6	39,2	8,4	14,0	2,8	16,8	2,8	42,0	33,6	56,0	47,6	30,8	22,4	19,6	33,6	28,0
12	7,8	5,2	46,8	10,4	13,0	2,6	15,6	13,0	33,8	31,2	44,2	36,4	18,2	20,8	23,4	26,0	28,6
13	5,4	2,7	37,8	8,1	13,5	10,8	16,2	18,9	29,7	32,8	40,5	37,8	21,6	24,3	27,0	35,1	24,3
14	4,8	2,4	28,8	7,2	12,0	9,6	14,4	16,8	43,2	38,4	48,0	36,0	21,6	19,2	4,8	26,4	24,0
15	8,0	4,0	24,0	12,0	14,0	10,0	6,0	2,0	28,0	32,0	36,0	30,0	4,0	6,0	16,0	20,0	22,0
16	11,1	9,3	18,5	16,7	13,0	7,4	5,6	1,9	29,6	27,8	24,1	37,0	14,8	3,7	0	22,2	20,4
17	6,0	8,0	24,0	16,0	4,0	10,0	2,0	12,0	34,0	32,0	36,0	28,0	14,0	4,0	10,0	26,0	20,0
18	10,8	8,6	28,0	17,2	4,3	12,0	2,2	15,1	32,3	30,1	43,0	25,0	8,6	10,8	12,9	34,4	38,7
19	11,9	6,8	23,8	10,2	3,4	8,5	1,7	8,5	23,8	17,0	27,2	30,6	13,6	15,3	18,7	20,4	22,1
20	12,3	7,0	22,8	5,3	1,8	3,5	10,5	14,0	24,5	28,0	33,3	21,0	15,8	10,5	8,8	17,5	19,3

od. tabličky 5.18

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
21	10,2	8,5	22,1	3,4	1,7	5,1	8,5	11,9	28,9	25,5	27,2	17,0	15,3	10,2	8,5	20,4	18,7
22	6,6	5,8	19,8	3,3	1,7	8,3	9,9	11,6	23,1	24,8	33,0	26,4	13,2	16,5	14,9	29,7	18,2
23	9,5	1,9	20,9	1,9	13,3	7,6	9,5	11,4	28,5	32,3	30,4	26,6	15,2	19,0	17,1	22,8	19,0
24	8,4	2,8	19,6	5,6	4,2	1,4	9,8	7,0	16,8	21,0	25,2	19,6	11,2	12,6	15,4	18,2	14,0
25	4,4	5,8	21,8	1,5	2,9	4,4	5,8	7,3	20,3	23,2	17,4	13,1	10,2	8,7	11,6	14,5	16,0
26	2,7	4,1	17,6	1,4	5,4	6,8	8,1	9,5	21,6	23,0	24,3	18,9	10,8	12,2	14,9	13,5	16,2
27	5,1	6,8	18,7	3,4	3,4	1,7	8,5	1,7	17,0	20,4	34,0	23,8	13,6	11,9	10,2	27,2	28,9
28	7,6	9,5	26,6	9,5	11,4	13,3	7,6	5,7	30,4	32,3	34,2	38,0	1,9	3,8	15,2	22,8	24,7
29	10,0	8,0	22,0	10,0	14,0	18,0	16,0	12,0	30,0	32,0	38,0	28,0	6,0	8,0	4,0	24,0	20,0
30	13,2	11,0	22,0	8,8	6,6	2,2	4,4	8,8	30,8	26,4	39,6	35,2	17,6	22,0	4,4	28,6	24,2
31	15,4	13,2	26,4	17,6	11,0	4,4	6,6	11,0	41,8	39,6	44,0	35,2	24,2	8,8	4,4	30,8	22,0
32	9,8	7,4	29,4	19,6	22,1	14,7	17,2	4,9	31,9	36,8	44,1	34,3	9,8	7,4	2,5	39,2	24,5
33	12,0	9,6	33,6	21,6	19,2	16,8	14,4	4,8	40,8	43,2	38,4	48,0	9,6	7,2	2,4	28,8	24,0
34	5,0	2,5	37,5	20,0	22,5	15,0	12,5	5,0	35,0	40,0	45,0	47,5	27,5	17,5	10,0	30,0	25,0
35	2,6	5,2	31,2	2,6	7,8	10,4	20,8	23,4	36,4	46,8	52,0	41,6	26,0	15,6	13,0	26,0	31,2
36	6,0	3,0	33,0	33,0	9,0	21,0	27,0	24,0	36,0	42,0	48,0	54,0	18,0	15,0	12,0	30,0	45,0
37	4,3	2,2	21,5	10,8	19,4	17,2	12,9	15,1	36,6	21,5	38,7	34,4	8,6	4,3	2,2	25,8	30,1
38	9,5	7,6	22,8	9,5	1,9	3,8	19,0	15,2	26,6	20,9	30,4	32,3	13,3	11,4	5,7	19,0	24,7
39	9,9	8,3	19,8	3,3	14,9	13,2	11,6	6,6	28,1	21,5	24,8	26,4	5,0	3,3	1,7	16,5	19,8
40	13,6	11,9	18,7	10,2	8,5	6,8	5,1	3,4	28,9	27,2	34,0	23,8	1,7	6,8	17,0	22,1	20,4

Zestawienie zbiorcze do budowy histogramu (dla KWK i przódka wybierkowego)
z uwzględnieniem kompetencji ekspertów

Cechy	Przedziesiąty histogram 1											
	dla KWK					dla przódka wybierkowego						
	1 0-20	2 21-40	3 41-60	4 61-80	5 81-100	$\sum N_i$	1 0-20	2 21-40	3 41-60	4 61-80	5 81-100	$\sum N$
x11	273,9	92,8	0	0	0	366,7	328,5	24,4	0	0	0	352,9
x12	278,2	0	0	0	0	278,2	297,7	0	0	0	0	297,7
x13	380,0	0	0	0	0	380,0	149,5	780,1	189,1	0	0	1118,7
x14	300,8	0	0	0	0	300,8	355,0	54,6	0	0	0	409,6
x15	341,2	0	0	0	0	341,2	334,1	44,6	0	0	0	378,7
x21	183,5	635,7	283,8	0	0	1103,0	329,7	42,4	0	0	0	372,1
x22	186,2	685,1	244,5	0	0	1115,8	394,1	69,2	0	0	0	463,3
x23	162,5	514,3	609,8	0	0	1286,6	336,6	47,4	0	0	0	384,0
x24	280,1	128,7	0	0	0	408,8	53,4	849,2	346,6	0	0	1249,2
x25	321,2	23,0	0	0	0	344,2	17,0	948,2	275,9	0	0	1241,1
x26	325,1	23,6	0	0	0	348,7	17,4	725,7	764,5	0	0	1507,6
x27	357,9	23,4	0	0	0	381,3	86,8	805,9	381,0	61,0	0	1334,7
x31	188,3	670,5	273,1	0	0	1131,9	371,1	196,5	0	0	0	567,6
x32	161,0	641,7	336,9	0	0	1139,6	349,5	140,0	0	0	0	489,5
x33	134,1	664,4	319,0	0	0	1117,5	343,4	103,9	0	0	0	447,3
x34	301,4	65,4	0	0	0	366,8	138,4	864,0	41,7	0	0	1044,1
x35	186,9	711,0	100,1	0	0	998,0	199,2	741,2	89,1	0	0	1029,5
$\sum N_1$	4362,3	4879,6	2167,2	0	0	11409,1	4101,4	6437,3	2087,9	61,0	0	12687,6
%	39,24	42,76	19,00	0	0	100,00	32,33	50,73	16,46	0,48	0	100,00

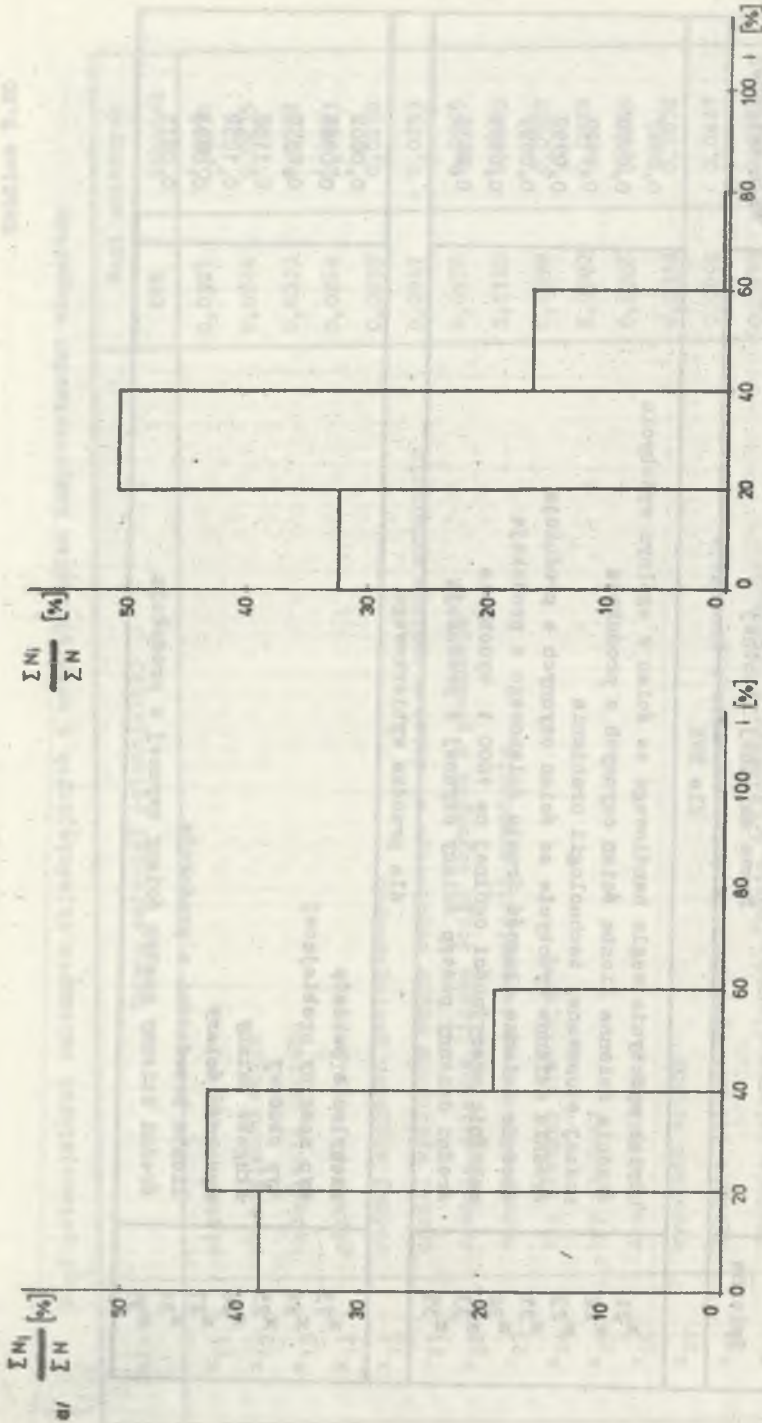
Tablica 5.20

Wagi potencjalnych zmiennych objaśniających z uwzględnieniem kompetencji ekspertów

Zmienne	Nazwa zmiennej potencjalnej	Wagi zmiennych	
		KWK	przodek
x ₁₁	miąższość pokładu	0,0321	0,0278
x ₁₂	urabialność węgla	0,0244	0,0235
x ₁₃	nachylenie pokładu	0,0333	0,0882
x ₁₄	głębokość eksploatacji	0,0264	0,0323
x ₁₅	rodzaj zagrożeń geologicznych	0,0299	0,0298
x ₂₁	udział wydobycia węgla handlowego ze ścian w ogólnym wydobyciu	0,0967	0,0293
x ₂₂	średnia dzienna liczba ścian czynnych z produkcją	0,0978	0,0365
x ₂₃	rodzaj stosowanej technologii urabiania	0,1128	0,0303
x ₂₄	typ maszyn urabiających	0,0358	0,0985
x ₂₅	typ obudowy	0,0302	0,0978
x ₂₆	długość ściany	0,0306	0,1188
x ₂₇	wysokość ściany	0,0334	0,1052
x ₃₁	średnie dzienne wydobycie ze ścian czynnych z produkcją	0,0992	0,0447
x ₃₂	średnia dzienna długość frontu ścianowego z produkcją	0,0999	0,0386
x ₃₃	wskaźnik swarżności ogólnej na 1000 t wydobycia	0,0379	0,0353
x ₃₄	liczba przodkodni z produkcją	0,0321	0,0823
x ₃₅	średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcją	0,0875	0,0811

Istotne zmienne objaśniające, wraz z wagami, wyselekcjonowane metodą heurystyczną (z uwzględnieniem kompetencji ekspertów)

Zmienna	Nazwa zmiennej istotnej	Waga zmiennej
dla KWK		
x21	udział wydobycia węgla handlowego ze ścian w ogólnym wydobyciu	0,0967
x22	średnia dzienna liczba ścian czynnych z produkcji	0,0978
x23	rodzaj stosowanej technologii urabiania	0,1128
x31	średnie dzienne wydobycie ze ścian czynnych z produkcja	0,0992
x32	średnia dzienna długość frontu ścianowego z produkcja	0,0999
x33	wskaźnik awaryjności ogólnej na 1000 t wydobycia	0,0979
x35	średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcja	0,0875
dla przodka wybierkowego		
x13	nachylenie pokładu	0,0882
x24	typ maszyny urabiającej	0,0985
x25	typ obudowy	0,0978
x26	długość ściany	0,1188
x27	wysokość ściany	0,1052
x34	liczba przodkodni z produkcja	0,0823
x35	średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcja	0,0811



Rys. 5.2. Histogram ocen ekspertów z uwzględnieniem kompetentności

a) dla kopalni węgla, b) dla przodka wybiorkowego
 Fig. 5.2. Bar chart of the experts' evaluations, taking into account their competence
 a) for collieries, b) for stopping faces

kopalni i ściany w tablicy 5.14, wskazuje na to, że bardzo niewielu ekspertów uważa siebie za tak samo kompetentnych na szczeblu kopalni jak i przodka wybierkowego. Świadczy to o prawidłowym wyborze ekspertów na poziomie kopalni oraz na poziomie ściany. Przeprowadzone uszeregowanie ekspertów, z uwagi na udział kompetencji, może zatem określać pozycję danego eksperta w przeprowadzonych badaniach.

W celu określenia wpływu kompetentności na oceny ekspertów, należy przemnożyć oceny wyrażone przez danego eksperta przez jego współczynnik kompetentności, a następnie na nowo określić wagi skorygowanych ocen i wykreślić histogram. Tak więc nowe oceny, otrzymane po korekcie, prezentowane są w tablicy 5.17 (dla KWK) i tablicy 5.18 (dla przodka). Dane potrzebne do wykreślenia histogramu zebrano w tablicy 5.19. Posłużyły one także do wyliczenia nowych wag zmiennych podanych z kolei w tablicy 5.20. Wyselekcjonowane na podstawie otrzymanych wag zmienne istotne zamieszczono w tablicy 5.21. Histogramy wykreślone dla KWK i przodka przedstawiono na rysunku 5.2.

5.5. Wnioski

Przeprowadzone badania upoważniają do sformułowania następujących wniosków:

1. Za pomocą metody grupowej oceny ekspertów w dwóch po sobie następujących etapach dobrano zmienne objaśniające procesy wydobywcze na poziomie kopalni węgla i przodka wybierkowego, a mianowicie:

I etap badań obejmował dobór zbioru potencjalnych zmiennych objaśniających,

II etap badań pozwolił na redukcję ilości zmiennych objaśniających do zbioru istotnych zmiennych.

2. Przeprowadzona analiza porównawcza (tablica 5.22) dotycząca wyboru zmiennych objaśniających metodami:

- heurystycznej grupowej oceny ekspertów z uwzględnieniem ich kompetencji oraz bez uwzględnienia stopnia kompetencji ekspertów (tablica 5.11 oraz 5.13),

- matematycznie i analizą czynnikową głównego czynnika (tablica 5.21), wykazała pełną zgodność wyboru.

3. Z przeprowadzonej analizy porównawczej i zgodności uzyskanych wyników badań można wnioskować, że metoda grupowej oceny ekspertów służy także do wyboru istotnych zmiennych objaśniających. Wiadomo, że metody matematyczne są bardziej pracochłonne od metod heurystycznych, bowiem wymagają stosunkowo dużej ilości danych statystycznych w realizacjach poszczególnych zmiennych.

Tablica 5.22

Analiza porównawcza wyników badań uzyskanych metodą grupowej oceny ekspertów oraz metodami matematycznymi

Zmienna	Nazwa zmiennej istotnej	Metody badawcze			
		heurystyczna		statystyczna	
		wagi ocen eks- plotacji eks- perta bez uwz- ględnienia k_{ki}	wagi ocen eks- plotacji eks- perta z uwz- ględnieniem k_{ki}	zwiazki istotne pozytywne	zasób zmienności wspólnej
dla KWK					
X ₂₁	udział wydobycia węgla handlowego ze ścian w ogólnym wydobyciu	0,0972	0,0967	0,8715	0,9004
X ₂₂	średnia dzienna liczba ścian czynnych z produkcją	0,0980	0,0978	0,8320	0,8576
X ₂₃	rodzaj stosowanej technologii urabiania	0,1132	0,1128	0,9670	0,9405
X ₃₁	średnie dzienne wydobycie ze ścian czynnych z produkcją	0,0992	0,0992	0,9186	0,9403
X ₃₂	średnia dzienna długość frontu ścianowego z produkcją	0,0991	0,0999	0,9067	0,9229
X ₃₃	wskaźnik awaryjności ogólnej na 1000.t wydobycia	0,0972	0,0979	0,8731	0,9216
X ₃₅	średni dzienny postęp ścian czynnej z produkcją	0,0888	0,0875	0,8116	0,8382
dla przodka wybiernkowego					
X ₁₃	nachylenie pokładu	0,0872	0,0882	0,9112	0,9476
X ₂₄	typ maszyny urabiającej	0,0990	0,0995	0,9150	0,9903
X ₂₅	typ obudowy	0,0981	0,0978	0,9148	0,9743
X ₂₆	długość ściany	0,1184	0,1188	0,9841	0,9950
X ₂₇	wysokość ściany	0,1038	0,1052	0,9416	0,9906
X ₃₄	liczba przodkoni z produkcją	0,0830	0,0823	0,9108	0,9442
X ₃₅	średni dzienny postęp ściany czynnej z pro- dukcją	0,0815	0,0811	0,9006	0,9341

Rozwiązanie ogólne zęgnięcia objaśnienia realizacji procesu produkcyjnego w KWK i w przodku wybierkowym

Postacie ogólne rozwiązania dla KWK		
technologia urabiania stosująca zwał stropu (z)	technologia urabiania stosująca podszatkę hydrauliczną (ph)	technologia urabiania stosująca podszatkę suchą (ps)
$\gamma_{1,z}^{mf}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{35})$	$\gamma_{1,ph}^{mf}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{35})$	$\gamma_{1,ps}^{mf}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{35})$
$\gamma_{2,z}^{mf}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{35})$	$\gamma_{2,ph}^{mf}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{35})$	$\gamma_{2,ps}^{mf}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{35})$
$\gamma_{3,z}^{mf}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{35})$	$\gamma_{3,ph}^{mf}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{35})$	$\gamma_{3,ps}^{mf}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{35})$
dla przodka wybierkowego		
typ maszyny urabiającej (m)	typ obudowy (o)	
$\gamma_{1,m}^{mf}(x_{13}, x_{26}, x_{27}, x_{34}, x_{35})$	$\gamma_{1,o}^{mf}(x_{13}, x_{26}, x_{27}, x_{34}, x_{35})$	
$\gamma_{2,m}^{mf}(x_{13}, x_{26}, x_{27}, x_{34}, x_{35})$	$\gamma_{2,o}^{mf}(x_{13}, x_{26}, x_{27}, x_{34}, x_{35})$	

4. Znajomość istotnych zmiennych objaśniających realizację procesów wydobywczych ma podstawowe znaczenie dla optymalizacji, a przede wszystkim dla sterowania tymi procesami.

5. Zbiór istotnych zmiennych objaśniających procesy wydobywcze daje możliwość przedstawienia modeli tych procesów w postaci ogólnej, a mianowicie:

a) w odniesieniu do kopalni dla następujących zmiennych objaśnianych:

- y_1 - wydobywanie węgla handlowego,
- y_2 - pracochłonność grupy przemysłowej w węglu handlowym,
- y_3 - koszty jednostkowe wydobycia węgla handlowego.

Ponieważ jako istotna zmienna objaśniająca występuje technologia wybierania, więc modele cząstkowe ogólne mają postać, jak w tabelicy 5.22.

b) w odniesieniu do przodka wybierkowego dla następujących zmiennych objaśnianych:

- y_1 - wydobywanie przodkowe,
- y_2 - pracochłonność przodkowa.

Z uwagi na stosowany typ maszyny urabiającej i obudowy, modele cząstkowe przyjmują postać, jak w tabelicy 5.23.

6. Uzyskane w wyniku badań modele cząstkowe w postaci ogólnej są podstawą do wyznaczenia zależności analitycznych pomiędzy zmiennymi objaśnianymi a zmiennymi objaśniającymi.

6. PODZIAŁ KOPALNÍ WĘGLA NA GRUPY TYPOLOGICZNE

6.1. Metoda zmiennych losowych wielowymiarowych

Metoda zmiennych losowych wielowymiarowych umożliwia dokonanie:

- podziału kopalnÍ na grupy, w ramach których wnioskowanie statystyczne jest bardziej sÅkuszne aniÅżeli w odniesieniu do caÅłej populacji kopalnÍ przemysÅu wÅglowego,
- okreÅlenie wzglÅdnych rÅżnic miÅdzy kopalniami.

ZaÅłożono, Åe obserwacji podlega N- obiektÅw, tj. kopalnÍ wÅgla. KaÅdzy z tych N obiektÅw opisano ze wzglÅdu na przyjÅte cele badaÅ, za pomocÅ m = 7 istotnych zmiennych objaÅniajÅcych procesy wydobywcze w kopalni wÅgla, przedstawionych w tablicy 5.11. Zmienne te w dalszych rozwaÅaniach nazwano cechami.

W analizowanym modelu matematycznym kaÅdzy obiekt przyjÅto jako zmiennÅ losowÅ wielowymiarowÅ w postaci

$$X_j(x_{j1}, x_{j2}, x_{j3}, \dots, x_{jm}) \quad (6.1)$$

gdzie:

- $j = 1, 2, 3, \dots, N$ - kolejne obiekty obserwacji,
- $x_{j1}, x_{j2}, x_{j3}, \dots, x_{jm}$ - cechy opisujÅce badany obiekt.

Cechy jako informacje wyjÅciowe dla obserwowanych N obiektÅw tworzÅ macierz w postaci:

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & x_{N3} & \dots & x_{Nm} \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

Ze zbioru N wartoÅci zmiennych losowych wielowymiarowych moÅna utworzyÅ L grup takich, aby w zakresie kaÅdej z tych grup nie wystÅpowaÅ miÅdzy nimi istotne rÅżnice. Na kaÅdym kroku grupowania obliczono wariancjÅ miÅdzygrupowÅ s_{mg} odlegÅÅci.

$$\sigma_{ng}^2 = \frac{1}{L-1} \sum_{j=1}^L N_{Gj} X_{(Gj)}^2 - x_1^2 \quad (6.3)$$

Wariancja wewnątrzgrupowa σ_{wg}^2 odległości ma postać:

$$\sigma_{wg}^2 = \frac{1}{N-L} \sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^{N_{Gj}} \sum_{i=1}^m (X_{jki} - X_{(Gj)})^2 \quad (6.4)$$

gdzie:

k - przybiera numery zmiennych losowych wchodzących w skład rozpatrywanej grupy.

Obliczone wartości wariancji wewnątrz grupowej i międzygrupowej pozwalają sprawdzić hipotezę o równości środków utworzonych grup, a mianowicie:

1) hipoteza zerowa H_0

$$\sigma_{ng}^2 = \sigma_{wg}^2 \quad (6.5)$$

2) alternatywna hipoteza H_1

$$\sigma_{ng}^2 > \sigma_{wg}^2 \quad (6.6)$$

Obliczając wartość zmiennej

$$F = \frac{\sigma_{ng}^2}{\sigma_{wg}^2} \quad (6.7)$$

można ją porównać z wielkością F_{α} z tablic Fishera - Snedecora na poziomie istotności α przy stopniach swobody $s_1 = L - 1$ oraz $s_2 = N - L$. W przypadku, gdy $F < F_{\alpha}$ można stwierdzić, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 głoszącej, że współrzędne środków grup nie różnią się od siebie w sposób statystycznie istotny. Wskazuje to na jednorodność zbioru utworzonego z tych grup. Jeżeli $F > F_{\alpha}$, przyjętą hipotezę należy odrzucić, gdyż odchylenia międzygrupowe nie mieszczą się w granicach wyznaczonych przez rozrzut w obrębie badanego materiału statystycznego.

Następny etap badań obejmował przygotowanie materiału statystycznego. W celu wyeliminowania wpływu wyboru jednostek miary poszczególnych cech przeprowadzono ich standaryzację według wzoru:

$$\bar{x}_{1k} = \frac{x_{1k} - \bar{x}_k}{s_k} \quad (6.8)$$

gdzie:

x_{ik} - wartość k-tej współrzędnej dla i-tej zmiennej

$i = 1, 2, 3, \dots, N$

$k = 1, 2, 3, \dots, m$

\bar{x}_k - średnia wartość zmiennej o współrzędnej k ,

S_k - odchylenie standardowe współrzędnej k .

W obliczeniach uwzględniono wielkości wejściowe charakteryzujące kopalnię węgla kamiennego z punktu widzenia przedmiotu badań tj. warunków sterowania procesem wydobywczym. Wiadomo, że na szczeblu kopalni węgla tworzone są warunki techniczno-organizacyjne do sterowania procesem wydobywczym w przodkach wybierkowych, bowiem:

- większość z tego, co dzieje się w kopalniach węgla, ma organizacyjną genezę,
- opis i wyjaśnienie organizacyjnej rzeczywistości jest podstawą modeli przewidywań i sterowania.

6.2. Zbiory typologiczne kopalń węgla

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano 66 podziałów kopalń dla kolejnych stopni swobody od 1 do 66. Dla sprawdzenia istotności podziału porównano wartości F z wartościami F_{α} na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ przy stopniach swobody,

$$s_1 = L - 1$$

$$s_2 = N - L$$

Podany w punkcie 6.1 algorytm umożliwia obserwację przemieszczania się i łączenia elementów i podzbiorów w grupy typologiczne jednorodne. Opierając się na testach statystycznych wyróżniono dla każdej analizy przedziały różniące się jednorodnością podzbiorów, tzn. podział 1 przedstawia grupy typologiczne bardziej jednorodne niż podział 2 itd.

Miara istotności typologicznego podziału zbioru kopalń węgla jest wartość stosunku zmiennej F do wielkości F_{α} . Podział optymalny otrzymano przy spełnieniu warunku:

$$\frac{F}{F_{\alpha}} = \max \quad (6.9)$$

dla określonych stopni swobody s_1 oraz s_2 .

Gdy dana grupa typologiczna stanowi podzbiór jedno- lub dwuelementowy, z macierzy informacji wyjściowych 6.2 wyszukano najbliższego "sąsiada" i obliczono wskaźnik podobieństwa następująco:

$d_{kT, ks}$ - zestandaryzowana cecha od 1 do m,

k_T - indeks cechy badanej kopalni w podzbiorze jedno- lub dwuelementowym,

k_s - indeks cechy "sąsiada" wobec badanej kopalni.

Jeżeli $d_{kT, ks} > 0,8$, to "sąsiad" może być wzorcem dla badanej kopalni. W przypadku, gdy $d_{kT, ks} < 0,8$, wówczas badana kopalnia charakteryzuje się tak specyficznymi warunkami, że musi być indywidualnie rozpatrywana i analizowana.

Wyniki obliczeń podziału typologicznego kopalń węgla kamiennego, ze względu na istotne zmienne objaśniające warunki sterowania procesem wydobywczym, przedstawiono w tabelicy 6.1.

Analiza tabelicy 6.1 wskazuje, że: otrzymano podział na 4 grupy typologiczne o liczebności:

- grupa I - 37 elementowa,
- grupa II - 16 elementowa,
- grupa III - 7 elementowa,
- grupa IV - 6 elementowa.

Grupa I obejmuje 56% kopalń węgla kamiennego.

Tradycyjnie przyjmowano w przemyśle węglowym, że wielkość dobowego wydobycia węgla jest miarą wielkości kopalni. Analiza wielkości wydobycia dobowego kopalni za rok 1985 przedstawia się następująco:

- wydobycie do 6000 t/dobę - 11 kopalń,
- wydobycie od 6000-10000 t/dobę - 27 kopalń,
- wydobycie od 10000-15000 t/dobę - 19 kopalń,
- wydobycie powyżej 15000 t/dobę - 9 kopalń.

Ponieważ na zachowanie się każdego obiektu wywierają wpływ:

- postęp naukowo-techniczny, który wyraża się w doborze rozwiązania techniczno-organizacyjnego danego procesu wydobywczego,
- etap rozwoju badanego obiektu,
- warunki naturalne związane z procesem wydobywczym ujęte w istotnych zmiennych objaśniających dla podziału typologicznego kopalń,

następny etap badań obejmował podział kopalń w ramach utworzonych grup typologicznych na fazy rozwojowe. Wiadomo, że na każdym etapie rozwoju obiektu (kopalni węgla) inna jest dynamika osiągniętych efektów techniczno-ekonomicznych oraz inne są funkcje obrazujące zależność osiąganych wyników od ponoszonych nakładów.

Podział kopalń węgla na grupy statystycznie jednorodne

Symbol grupy	Liczebność grupy	Kody identyfikacyjne kopalń w grupie					
I	37	1106,	1108,	1109,	1131,	1201,	1202,
		1207,	1210,	1211,	1213,	1214,	1311,
		1313,	1314,	1315,	1322,	1411,	1413,
		1414,	1415,	1417,	1418,	1426,	1513,
		1604,	1606,	1615,	1605,	1522,	1526,
		1101,	1114,	1419,	1521,	1523,	1609,
		1611					
II	16	1105,	1107,	1112,	1231,	1316,	1317,
		1318,	1412,	1427,	1425,	1527,	1607,
		1610,	1612,	1613,	1614,		
III	7	1204,	1209,	1212,	1312,	1512,	1601,
		1602.					
IV	6	1327,	1524,	1701,	1702,	1703,	1705,

Wykaz kodów kopalń węgla podano w przypisie 1.

Wyróżniono tu trzy fazy rozwoju obiektów, a mianowicie:

- 1) rozruchu,
- 2) ustabilizowane,
- 3) zanikające.

Powyższy podział związany jest także z zasobami węgla w obszarze nadania kopalni i ich gospodarowaniem.

W pierwszej i trzeciej fazie rozwoju kopalń, jak wykazały przeprowadzone badania, następują dosyć znaczne zmiany wskaźników techniczno-ekonomicznych przy małej efektywności, zaś w drugiej fazie sytuacja jest odwrotna.

Wyniki przeprowadzonych badań opartych na analizach statystyk kopalń węgla oraz planów rozwoju wydobywania kopalń za lata 1975-1985 pozwoliły na utworzenie w ramach grup typologicznych odpowiednich podziałów, które przedstawiono w tablicy 6.2.

Podział kopalń na fazy rozwoju w ramach typologicznych grup

Symbol grupy	Oznaczenia fazy rozwoju	Liczebność dla danej fazy	Kody identyfikacyjne kopalń
I	1°	14	1106, 1131, 1213, 1214, 1313, 1314, 1414, 1513, 1615, 1522, 1101, 1114, 1419, 1609
	2°	14	1108, 1109, 1207, 1210, 1311, 1315, 1415, 1426, 1604, 1606, 1605, 1526, 1523, 1611
	3°	9	1201, 1202, 1211, 1322, 1411, 1413, 1417, 1418, 1521
II	1°	8	1112, 1317, 1318, 1412, 1610, 1612, 1613, 1614
	2°	5	1105, 1231, 1417, 1527, 1607
	3°	3	1107, 1316, 1425
III	1°	-	-----
	2°	4	1204, 1212, 1312, 1601
	3°	3	1209, 1512, 1602
IV	1°	-	-----
	2°	2	1327, 1524
	3°	4	1701, 1702, 1703, 1705

6.3. Wnioski

Dokonany podział kopalń na grupy jednorodne oraz na fazy rozwoju obiektów pozwala na określenie modeli matematycznych dla celów sterowania procesami wydobywczymi na poziomie:

- kopalni węgla - wielokryterialnych zbudowanych na bazie informacji w grupach typologicznych z uwzględnieniem faz rozwoju poszczególnych kopalń,
- przodków wybierkowych - wielokryterialnych zbudowanych na bazie informacji w grupach typologicznych kopalń.

Ze względu na szczególną złożoność procesów wydobywczych, występowanie sprzężeń zwrotnych wyższego rzędu w tych procesach, stochastycznego zachowania się systemów oraz występującej inercyjności wielokryterialne modele o zmiennej strukturze zbudowane na podstawie informacji w grupie obiektów powinny dawać bardziej prawdopodobne obrazy tych procesów.

Zaproponowana metoda podziału typologicznego kopalń węgla prowadzi do budowy tych modeli jako podstawowych elementów sterowania procesami wydobywczymi.

7. OKREŚLENIE ZALEŻNOŚCI ANALITYCZNYCH DLA ZMIENNYCH OBJAŚNIANYCH W PROCESACH WYDOBYWCZYCH

7.1. Dobór materiału statystycznego oraz ocena wiarygodności danych wejściowych

Opracowanie modeli matematycznych niezbędnych do sterowania procesami wydobywczymi poprzedzono dla wybranych zmiennych objaśniających:

- statystyczno-matematyczna ocena wiarygodności danych wejściowych,
- przyjęciem hipotezy o powiązaniach zmiennych.

Dokonując wyboru zmiennych objaśniających, przyjęto, że:

- zmienne będące przedmiotem badania muszą być logicznie uzasadnione,
- są najbardziej istotne ze względu na zmiany stanów obiektu,
- zmienne nie mogą wchodzić w związki funkcjonalne między sobą, a więc powinny być niezależne,
- wszystkie zmienne wchodzące do budowanego modelu powinny być ilościowo wymierne.

Z przeprowadzonych rozważań w punkcie 5 wynika, że wszystkie zmienne objaśniające są ilościowo wymierne z wyjątkiem:

- dla kopalni węgla: rodzaj stosowanej technologii wybierania,
- dla przodka wybierkowego: typ maszyny urabiającej i typ obudowy.

Uwzględnienie zmiennych jakościowych w modelach procesów wydobywczych przeprowadzono poprzez odpowiednie grupowanie danych rzeczywistych oraz za pomocą wprowadzonych odpowiednich współczynników korekcyjnych.

Wiadomo, że materiał statystyczny wykorzystywany do budowy modeli matematycznych powinien stanowić jakościowo jednorodną całość i w dostatecznym stopniu odzwierciedlać dany proces. Wstępnym warunkiem szacowania funkcji regresji jest sprawdzenie jednorodności statystycznej materiału podlegającego opracowaniu i wydzielenie jednorodnych zbiorów. Aby równanie funkcji regresji prawidłowo i pełniej odzwierciedlały rzeczywistość, trzeba wyodrębnić zbiory jednorodne, zaś nie uwzględnione w równaniach czynniki wprowadzić do funkcji poprzez współczynniki korygujące.

W celu zweryfikowania jednorodności danych oraz ich zależności od pozostałych zmiennych wykorzystano metodę analizy wariancji.

Dla porównania wariancji różnych prób wykorzystano zależność:

$$e = \frac{n_1(n_2 - 3)}{n_2(n_1 - 1)} \cdot \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \quad (7.1)$$

gdzie:

n_1, n_2 - odpowiednia liczebność próby pierwszej i drugiej porównywanych między sobą ($n_1 < n_2$),

σ_1^2, σ_2^2 - odpowiednie wariancje dla pierwszej i drugiej próby.

Przyjęto, że próba jest jednorodna, gdy spełniona jest zależność:

$$\frac{(e - 1)}{\delta(e)} < 3 \quad (7.2)$$

gdzie:

$$\delta(e) = \frac{2(n_1 + n_2 - 4)}{(n_1 - 1)(n_2 - 5)} \quad (7.3)$$

Dla wszystkich dobranych istotnych zmiennych objaśniających sprawdzono jednorodność danych. W wyniku przeprowadzonych obliczeń polegających na sprawdzeniu jednorodności danych uzyskano następujące grupy jednorodne, dla których należy opracować oddzielne modele matematyczne:

A. Dla kopalni węgla:

- model wydobycia w węglu handlowym dla poszczególnych grup typologicznych kopalń,
- model pracochłonności pracowników grupy przemysłowej dla poszczególnych grup typologicznych kopalń,
- model kosztów wydobycia węgla dla poszczególnych typologicznych kopalń.

W powyższych modelach, ze względu na jednorodność danych statystycznych, trzeba uwzględnić fazy rozwojowe kopalń, tzn. kopalnie rozwojowe, o ustabilizowanych zasobach oraz o zanikających zasobach.

B. Dla przodków wybierkowych:

- model wydobycia przodkowego,
- model pracochłonności przodkowej.

W ramach wyszczególnionych grup typologicznych kopalń węgla oraz następujących obudów wchodzących w zestaw odpowiednich ścianowych kompleksów zmechanizowanych, a to:

GLINIK 08-22-0_z
FAZOS 12-18-0_z

FAZOS 15-31-0_z
 FAZOS 12-28-0_z
 FAZOS 25-45-0_z
 FAZOS 19/37/P_p

oznaczenia modeli cząstkowych procesów wydobywczych dla kopalni węgla oraz przodka wybierkowego podano w tablicach 7.1. i 7.2.

Tablica 7.1

Oznaczenie modeli cząstkowych procesów wydobywczych dla kopalni węgla

Grupa typologiczna	Podgrupy kopalń		
	rozwojowych	ustabilizowanych zasobach	zanikających zasobach
I	K11	K12	K13
II	K21	K22	K23
III	-	K32	K33
IV	-	K42	K43

Tablica 7.2

Oznaczenie modeli cząstkowych procesów wydobywczych dla przodków wybierkowych

Grupa typologiczna	Rodzaj obudowy zmechanizowanej					
	GLINIK 08-22-0 _z	FAZOS 12-18-0 _z	FAZOS 15-31-0 _z	FAZOS 12-28-0 _z	PIOMA 25-45-0 _z	FAZOS 19/37/P _p
I	P11	P12	P13	P14	P15	P16
II	P21	P22	P23	P24	P25	P26
III	P31	P32	P33	P34	P35	P36
IV	P41	P42	P43	P44	P45	P46

Warunkiem koniecznym przy budowaniu wielowymiarowych modeli jest przyjęcie wystarczającej ilości danych wejściowych. Wystarczająca i konieczna ilość obserwacji dla przeprowadzenia badań określono wykorzystując rachunek prawdopodobieństwa.

Liczebność próby określono układem równań:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= t \frac{\delta}{\sqrt{n}} \\ p &= 2\phi(t) \end{aligned} \right\} \quad (7.4)$$

gdzie:

- ε - odchylenie średniej z próby (populacji) od średniej danej obserwacji. Wielkość ta określa błąd dopuszczalny, którego wartość nie jest większa niż 10%,
- t - skala znormalizowana. Wielkość ta wskazuje, o ile średnie odchylenie kwadratowe dla danej zmiennej różni się od średniej wartości badanej zmiennej,
- δ - średnie odchylenie kwadratowe,
- n - liczebność próby,
- p - prawdopodobieństwo występowania obserwacji w próbie ogólnej (w obliczeniach przyjęto $p > 0,9$),
- $\phi(t)$ - funkcja rozkładu normalnego.

Z powyższego układu równań wynika, że minimalna liczebność próby powinna wynosić:

$$n = \left(\frac{t \cdot \delta}{\varepsilon} \right)^2 \quad (7.5)$$

W tabelicy 7.3 przytoczono informacje o ilości danych wejściowych oraz niezbędnych obserwacji, obliczonych powyższym wzorem dla wyróżnionych modeli cząstkowych.

7.2. Określenie postaci powiązań zmiennych objaśniających

Jednym z kryteriów prawidłowości wyboru formy powiązań istotnych zmiennych objaśniających ze zmienną objaśnianą] jest adekwatność funkcji celu (kryterium wyrażone przez zmienną objaśnianą) otrzymanej w wyniku estymacji wartości rzeczywistych z praktyki przemysłowej.

Matematycznie rozwiązanie tego problemu można sformułować następująco: należy znaleźć analityczną funkcję wskazującą, w jaki sposób wielkość y (objaśniana) zależy od wielkości x_1, x_2, \dots, x_n (objaśniających), tzn. należy znaleźć funkcję w postaci ogólnej:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Tablica 7.3

Zestawienie ilości obserwacji potrzebnych do budowy regresyjnych wielowymiarowych modeli procesów wydobywczych

Poziom	Oznaczenie modelu	Ilość obserwacji wejściowych	Niezbędna (minimalna) ilość obserwacji
1	2	3	4
Kopalnia węgla	K11	67	62
	K12	68	64
	K13	58	52
	K21	68	55
	K22	71	58
	K23	69	63
	K32	70	64
	K33	67	62
	K42	75	58
K43	71	62	
Przodek wybierkowy	P11	228	102
	P12	158	113
	P13	167	121
	P14	174	128
	P15	132	110
	P16	148	122
	P21	153	110
	P22	164	108
	P23	210	124
	P24	198	125
	P26	215	143
	P31	222	151
	P32	237	147
	P25	189	126
	Przodek wybierkowy	P33	242
P34		287	143
P35		186	152
P36		195	138
P41		182	154
P42		175	128
P43		194	156
P44		245	125
P45		212	212
P46		201	132

Zadanie matematyczne polega na określeniu charakteru i stopnia wpływu argumentów na jej wartość. Można wykazać, że da się utworzyć nieskończoną ilość funkcji, które dla wartości x_1 będą przedstawiać wartość funkcji y . Ważne tu jest, aby dobrana funkcja mogła być zinterpretowana w zależności od opisanego procesu wydobywczego.

Dla modeli procesów wydobywczych przyjęto założenie, że funkcja:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

może być wyrażona iloczynem szeregu funkcji, z których każda zależy tylko od jednej zmiennej, to znaczy:

$$y = \bar{y} \prod_{i=1}^n f_i(x_i) \quad (7.6)$$

gdzie:

\bar{y} - średnia wartość zmiennej objaśnianej.

Dla przyjętego założenia rozwiązanie zadania sprowadza się do znalezienia wielkości i analitycznej postaci funkcji:

$$f_i(x_i) \quad (7.7)$$

Kolejność rozwiązania przedstawia się następująco:

- normalizuje się wartość y według wzoru:

$$y_0 = \frac{y}{\bar{y}} \quad (7.8)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

gdzie:

n - ilość obserwacji,

- oblicza się analityczną postać zależności y_0 od x_1 , tj. $f_1(x_1)$ i określa się umowną wielkość dla każdej obserwacji

$$y_1 = \frac{y_0}{f_1(x_1)} \quad (7.9)$$

przy czym y_1 jest funkcją wielkości x_2, x_3, \dots, x_n

$$y_1 = \frac{y}{\bar{y} \cdot f_1(x_1)} = f_2(x_2) \cdot f_3(x_3) \dots f_n(x_n) \quad (7.10)$$

- oblicza się analityczną postać zależności y_1 od x_2 , tzn. $f_2(x_2)$ i określa się ułowną wielkość

$$y_2 = \frac{y_1}{f_2(x_2)} \quad (7.11)$$

Obliczenia kontynuuje się do momentu, w którym będzie określona analityczna postać funkcji $f_n(x_n)$.

W trakcie wstępnego badania ustalono możliwe związki dla każdej funkcji w postaci zależności: liniowej, parabolicznej, hiperbolicznej. Wyżej przedstawiony w skrócie algorytm został oprogramowany na EMC ODRA 1325. Obliczenia wykonane na maszynie cyfrowej przedstawiono w punkcie 7.3 i 7.4.

7.3. Opracowanie modeli czastkowych procesów wydobywczych dla kopalni węgla

Procesy wydobywcze na poziomie kopalni węgla scharakteryzowano za pomocą trzech zmiennych objaśnianych, które w sterowaniu tymi procesami spełniają istotną rolę, a mianowicie:

- wydobyte w węglu handlowym y_1 ,
- pracochłonność grupy przemysłowej pracowników w węglu handlowym y_2 ,
- koszty wydobycia węgla y_3 .

Istotnymi zmiennymi objaśniającymi powyżej podanych zmiennych objaśnianych dobranych metodami grupowej oceny ekspertów oraz metodami statystyczno-matematycznymi są:

- x_{21} - udział wydobycia węgla handlowego ze ścian w ogólnym wydobyciu,
- x_{22} - średnia dzienna liczba ścian czynnych z produkcją,
- x_{31} - średnie dzienne wydobyte ze ścian czynnych z produkcją,
- x_{32} - średnia dzienna długość frontu ścianowego z produkcją,
- x_{33} - wskaźnik awaryjności ogólnej na 1000 t wydobycia,
- x_{35} - średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcją.

Jako zmienne ilościowe oraz zmienne jakościowe - rodzaj stosowanej technologii urabiania.

W przeprowadzonych rozważaniach w zmiennej - rodzaj stosowanej technologii urabiania - uwzględniono technologie:

- z zawalem stropu,

- z podsadzką hydrauliczną,
- z podsadzką suchą.

Udział tej zmiennej w równaniach analitycznych określono za pomocą odpowiednich współczynników korekcyjnych dla wyróżnionych technologii, a wartość ich wyznaczono w sposób następujący:

$$\sum_{j=1}^n y_j = \xi_1 \sum_{j=1}^n y_{jest} \quad (7.12)$$

stąd:

$$\xi_1 = \frac{\sum_{j=1}^n y_j}{\sum_{j=1}^n y_{jest}} \quad (7.13)$$

gdzie:

- y_j - wartości obserwowane danej zmiennej objaśnianej,
- n - liczba obiektów obserwacji dla danego rodzaju stosowanej technologii urabiania,
- y_{jest} - wartości zmiennej objaśnianej uzyskane z odpowiednich równań regresji.

Wartości współczynników korekcyjnych ξ_1 w zależności od stosowanej technologii urabiania przedstawiono w tabelicy 7.4.

Ponieważ w rozważaniach przyjęto trzy zmienne objaśniane, a mianowicie:

- wydobycie w węglu handlowym ($k=1$),
- pracochłonność grupy przemysłowej ($k=2$),
- koszt wydobycia węgla ($k=3$),

więc współczynnik korekcyjny oznaczono jako $\xi_1(k)$,

gdzie:

- dolny indeks i - oznacza rodzaj technologii urabiania,
- górnny indeks k - daną zmienną objaśnianą.

Wiadomo, że zmienne objaśniane powinny być możliwie silnie skorelowane ze zmiennymi objaśniającymi wchodzącymi do modelu, wówczas taka kombinację uznaje się za najlepszą z punktu widzenia budowy modelu. Wielkościami, które charakteryzują te zależności, są współczynniki korelacji r_{ij} . Wartości współczynników korelacji r_{ij} dla pozostałych zmiennych x_i wchodzącymi w skład rozpatrywanej kombinacji zmiennych powinny być jak naj-

Tablica 7.4

Wartość współczynników korekcyjnych $\xi_1(k)$
w zależności od stosowanej technologii urabiania węgla

Ozna- czenie modelu	Zmienna objaś- niana	Rodzaj stosowanej technologii urabiania		
		z zawałem stropu 1(k)	z podsadzką hydrauliczną 2(k)	z podsadzką suchą 3(k)
k11	k=1	1,03	0,81	0,85
	k=2	0,97	1,23	1,14
	k=3	1,01	1,26	1,20
k12	k=1	1,04	0,83	0,84
	k=2	0,98	1,27	1,15
	k=3	1,02	1,26	1,21
k13	k=1	1,01	0,87	0,86
	k=2	0,98	1,31	1,13
	k=3	1,02	1,27	1,22
k21	k=1	1,00	0,83	0,85
	k=2	0,97	1,29	1,17
	k=3	1,01	1,28	1,22
k22	k=1	1,03	0,81	0,83
	k=2	0,96	1,31	1,28
	k=3	1,02	1,29	1,30
k23	k=1	1,04	0,79	0,80
	k=2	0,97	1,12	1,21
	k=3	1,08	1,17	1,19
k32	k=1	1,02	0,78	0,82
	k=2	0,99	1,13	1,12
	k=3	1,10	1,21	1,19
k33	k=1	1,06	0,82	0,85
	k=2	1,00	1,21	1,19
	k=3	1,08	1,18	1,13
k42	k=1	1,00	0,80	0,83
	k=2	1,01	1,15	1,12
	k=3	1,02	1,20	1,17
k43	k=1	1,01	0,82	0,85
	k=2	1,00	1,14	1,12
	k=3	0,99	1,19	1,15

Tablica 7-6

Modele cząstkowe zmiennych objaśnianych dla I grupy typologicznej kopalń typu

$$y_k = \xi_i [a_0 + a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} + a_{31}x_{31} + a_{32}x_{32} + a_{33}x_{33} + a_{35}x_{35}]$$

Człon- czenie modelu	Zmienna objaś- niana	Współczynnik równania regresji								Współczynnik korelacji r
		a ₀	a ₂₁	a ₂₂	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₅		
k11	y ₁	265007,23	-11839,51	1059,67	19675,82	270,76	-31507,82	475,91	0,984	
	y ₂	12,18	5,07	33,20	31,02	29,02	12,01	-10,07	0,987	
	y ₃	9000,72	-2,61	-3,55	167,69	-1,61	-110,19	9,51	0,989	
k12	y ₁	241021,27	-10745,41	1017,78	20121,87	320,51	-3124,2	562,01	0,981	
	y ₂	27,82	6,07	41,02	31,01	20,51	-10,21	17,79	0,973	
	y ₃	8726,71	-4,32	4,56	127,17	-5,89	-102,10	10,78	0,991	
k13	y ₁	185412,37	-9873,74	1012,24	321,87	20182,41	-3000,0	262,87	0,997	
	y ₂	37,94	7,02	38,72	28,01	15,42	-7,81	32,17	0,989	
	y ₃	8076,28	-4,27	3,93	201,71	-6,74	-101,91	15,79	0,991	

Tablica 7.7

Modele ostatekowe zmiennych objaśnianych dla II grupy typologicznej kopalców typu

$$y_k = \sum_{i=0}^k [a_0 + a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} + a_{31}x_{31} + a_{32}x_{32} + a_{33}x_{33} + a_{35}x_{35}]$$

Oznaczenie modelu	Zmienna objaśniana	Współczynniki równania regresji						Współczynnik korelacji r	
		a ₀	a ₂₁	a ₂₂	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃		a ₃₅
k21	y ₁	49006,49	2,931	3744,33	-35661,84	1310,06	-0,16	-4365,55	0,991
	y ₂	80,21	10,03	25,42	-12,05	-8,30	3,02	-4,39	0,987
	y ₃	4658,46	32,62	-1,46	-664,01	2,31	-290,11	4,66	0,993
k22	y ₁	101556,26	470,78	680,20	15321,57	-220,21	-4062,64	1065,12	0,947
	y ₂	73,97	-4,02	0,00	32,30	-1,23	5,21	7,02	0,968
	y ₃	1420,98	48,23	-0,54	-183,69	0,71	-126,67	5,42	0,990
k23	y ₁	32520,53	-8500,60	469,59	11509,78	20,01	2174,87	2,03	0,996
	y ₂	111,28	2,18	0,45	-19,08	0,11	5,49	1,21	0,993
	y ₃	6238,18	4,42	-2,30	-128,31	0,33	401,03	0,36	0,987

Tablica 7.8

Modele oznakowe zmiennych objaśnianych dla III grupy typologicznej kopali typu

$$y_k = \sum_{i=0}^k [a_0 + a_1x_{21} + a_2x_{22} + a_3x_{31} + a_3x_{32} + a_3x_{33} + a_3x_{35}]$$

Oznaczenie modelu	Zmienna objaśniana	Współczynniki równania regresji						Współczynnik korelacji r	
		a ₀	a ₂₁	a ₂₂	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃		a ₃₅
K32	y ₁	495421,79	-10203,19	655,73	6248,30	-89,76	1791,25	114,61	0,937
	y ₂	154,77	-0,98	-11,02	-5,91	10,21	16,58	-1,5	0,981
	y ₃	17858,42	-146,94	11,67	-639,89	1,84	225,29	-15,27	0,972
K33	y ₁	2453,49	-7850,01	480,17	2461,94	33,19	921,34	-26,92	0,991
	y ₂	65,20	2,11	-3,02	29,41	-0,42	12,71	-11,21	0,981
	y ₃	3617,37	18,34	-1,19	232,40	-2,78	21,28	7,56	0,987

Tablica 7.3

Modele czastkowe zmiennych objaśnianych dla IV grupy typologicznej kopalców typu $\sum_{k=1}^k \epsilon_k$ [a₀ + a₂₁x²¹ + a₂₂x²² + a₃₁x³¹ + a₃₂x³² + a₃₃x³³ + a₃₅x³⁵]

Oznaczenie modelu	Zmienna objaśniana	Współczynniki równania regresji							Współczynnik regresji r
		a ₀	a ₂₁	a ₂₂	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₅	
k42	y ₁	10892,04	-1897,02	1000,02	1872,46	72,69	35,78	98,70	0,982
	y ₂	5,21	84,52	-57,42	42,23	-5,76	7,89	-12,02	0,973
	y ₃	28472,52	-164,52	-21,92	301,81	-2,07	4,05	7,62	0,897
k43	y ₁	10449,07	-1763,82	1080,73	2332,68	-89,69	50,61	-102,73	0,975
	y ₂	4,09	85,02	63,42	-34,21	4,05	-6,07	10,2	0,923
	y ₃	30645,54	-184,44	-22,40	284,97	-1,88	2,03	5,72	0,994

7.4. Opracowanie modeli cząstkowych procesów wydobywczych dla przodków wybierkowych

Proces wydobywczy w przodkach wybierkowych scharakteryzowano za pomocą dwóch zmiennych objaśnianych:

- wydobywania urobku,
- pracochłonności.

Opierając się na przeprowadzonych badaniach opisanych w punkcie 5 dobrano następujące zmienne objaśniające w modelach regresji:

- x_{13} - nachylenie pokładu,
- x_{26} - długość ściany,
- x_{27} - wysokość ściany,
- x_{34} - liczba przodkodni z produkcją,
- x_{35} - średni dzienny postęp ściany czynnej z produkcją.

Powyższe dane mają charakter zmiennych ilościowych zaś zmienne jakościowe, to:

- x_{24} - typ maszyny urabiającej,
- x_{25} - typ obudowy.

Zmienne objaśniające, jakościowe w modelach regresyjnych uwzględniono poprzez odpowiednie współczynniki korelacyjne. Biorąc pod uwagę jednorodność danych statystycznych dla zmiennych objaśniających w poszczególnych grupach typologicznych kopalń węgla wyróżniono 6 typów modeli cząstkowych ze względu na typ stosowanej obudowy zmechanizowanej. Wiadomo, że z danym typem obudowy zmechanizowanej mogą współpracować różne typy maszyn urabiających. Opierając się na danych statystycznych z kopalń węgla kamiennego za lata 1983-1986 w tablicy 7.10 przedstawiono informacje o typach stosowanych obudów zmechanizowanych i współpracujących z nimi maszyn urabiających. Zatem w ramach poszczególnych modeli cząstkowych obliczono odpowiednie współczynniki korekcyjne $\xi_{ij}^{(1)}$ dla wyszczególnionych maszyn urabiających. Górny wskaźnik 1 współczynnika korekcyjnego wskazuje zmienną objaśnianą, zaś dolny indeks:

- i - oznaczenie modelu w ramach grup typologicznych kopalń ($i = 1, 6$),
- j - oznaczenie maszyny urabiającej dla opracowanego modelu cząstkowego (tablica 7.10).

Współczynniki korekcyjne obliczono opierając się na twierdzeniu Lindberga-Levy'ego [59] na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ jako porównanie wartości estymowanych i faktycznie uzyskanych dla dostatecznie dużej próby $n > 60$.

Wartości liczbowe poszczególnych współczynników korekcyjnych $\xi_{ij}^{(1)}$ przedstawiono w tablicy 7.11.

Opierając się na zebranych danych statystycznych opisanych algorytmem obliczeń w punkcie 7.2 uzyskano postacie modeli cząstkowych dla każdej zmiennej objaśnianej, tj.:

- wydobyte w urobku - y_1 ,
- pracochłonność na jednostkę urobku - y_2 .

Rodzinę modeli cząstkowych przedstawiono w tabelicy 7.12. Zatem każda grupa typologiczna kopalń oraz typ zastosowanej obudowy charakteryzuje się innymi parametrami strukturalnymi modelu. Dla każdego typu modelu obliczono dziedziny wyspecyfikowanych zmiennych objaśniających ujętych w modelu. Ponieważ współczynniki korelacji dla obliczonych modeli były większe od 0,87, więc pominięto je w tabelicy 7.12.

Tablica 7.10

Stosowane typy obudów zmechanizowanych i maszyn urabiających w przodkach wybierkowych

Typ obudowy zmechanizowanej	Typ maszyny urabiającej	Wskaźnik dla współczynnika	System eksploatacji
GLINIK 08-22-0z	KWB-3RNSZ	1	ścianowy z kierowaniem stropu z zawałem
	KWB-3RNS	2	
	KWB-3RDUS	3	
	WB-3RDUN	4	
	KWB-3DU	5	
FAZOS 12-18-0z	KWB-3RDUS	1	--
	KWB-3RDUN	2	
FAZOS 15-31-0z	KWB-3RDUS	1	--
FAZOS 12-28-0z	KWB-3RDUS	1	--
	KWB-3RDUN	2	
	KWB-3RDUN	3	
	K -3RDUNP	4	
	K -3RDUSP	5	
	KWB-3RDB	6	
PIOMA 25-45-0z	KWB-3RDUN	1	--
	KWB-6	2	
FAZOS 19/37/Pp	KWB-3RDUWIB	1	ścianowy z podładką

Tablica 7.11

Zestawienie współczynników korekcyjnych $\xi_{ij}^{(1)}$ dla przodków wybierkowych

Oznaczenie modelu	Współczynnik korekcyjny ξ_{ij}		Wartość współczynników korekcyjnych $\xi_{ij}^{(1)}$ dla zmiennych objaśnianych	
	i	j	y_1	y_2
1	2	3	4	5
p11	1	1	1,05	0,98
	1	2	0,97	1,12
	1	3	0,87	1,05
	1	4	1,11	0,84
	1	5	1,03	1,13
p21	1	1	0,82	1,03
	1	2	0,78	1,00
	1	3	1,18	1,02
	1	4	1,05	0,75
	1	5	1,12	0,97
p31	1	1	1,02	1,03
	1	2	0,79	0,85
	1	3	1,12	1,04
	1	4	1,26	1,30
	1	5	0,94	0,95
p41	1	1	0,87	1,05
	1	2	0,74	1,07
	1	3	0,94	1,04
	1	4	1,00	0,98
	1	5	0,83	1,12
p12	1	1	0,92	1,11
	1	2	1,17	0,98
p22	2	1	0,94	1,03
	2	2	1,11	1,02
p32	2	1	1,05	0,98
	2	2	0,97	1,12
p42	2	1	1,05	1,02
	2	2	0,95	0,98
p13	3	1	1,00	1,00
p23	3	1	1,00	1,00
p33	3	1	1,00	1,00
p43	3	1	1,00	1,00

cd. tablicy 7.11

1	2	3	4	5
p14	4	1	0,97	1,11
	4	2	1,24	0,98
	4	3	1,13	0,99
	4	4	0,87	1,01
	4	5	0,93	1,04
	4	6	1,11	0,97
p24	4	1	1,07	0,98
	4	2	1,13	1,09
	4	3	1,24	1,32
	4	4	0,87	1,05
	4	5	0,75	1,01
	4	6	1,06	1,05
p34	4	1	1,07	1,21
	4	2	0,87	0,96
	4	3	1,11	1,02
	4	4	0,74	0,98
	4	5	0,96	1,02
	4	6	1,02	1,08
p44	4	1	0,98	1,02
	4	2	0,88	1,10
	4	3	1,09	1,07
	4	4	0,75	1,02
	4	5	1,13	0,98
	4	6	1,08	0,92
p15	5	1	0,74	1,05
	5	2	0,98	1,12
	5	3	1,21	0,97
p25	5	1	0,98	1,02
	5	2	1,01	1,08
	5	3	1,05	0,96
p35	5	1	0,94	1,03
	5	2	1,05	0,97
	5	3	1,13	1,08
p45	5	1	0,94	1,05
	5	2	1,12	1,03
	5	3	0,96	0,98
p16	6	1	1,00	1,00
p26	6	1	1,00	1,00
p36	6	1	1,00	1,00
p46	6	1	1,00	1,00

Modele czastkowe dla przedków wybierkowych

$$y_1 = \sum_{i,j}^{(1)} [a_0 + a_{13}x_{13} + a_{26}x_{26} + a_{27}x_{27} + a_{34}x_{34} + a_{35}x_{35}]$$

Oznaczenie modelu	Zmienna objaśniana	Wartości współczynników regresji							Współczynnik korelacji r
		a ₀	a ₁₃	a ₂₆	a ₂₇	a ₃₄	a ₃₅		
	2	3	4	5	6	7	8	9	
p11	y ₁	-12516,86	-366,49	197,92	13,71	558,95	10099,96	0,941	
	y ₂	16,55	-2,82	-24,96	-1,15	167,69	605,87	0,972	
p12	y ₁	-11026,75	-402,52	205,46	17,65	602,93	9874,05	0,912	
	y ₂	25,64	-8,72	-30,07	1,27	189,45	504,02	0,983	
p13	y ₁	10504,87	-302,51	201,97	15,67	602,07	9025,06	0,970	
	y ₂	20,21	-4,05	-27,71	-2,01	201,01	807,05	0,992	
p14	y ₁	8972,04	-392,05	215,32	15,82	602,42	8742,31	0,914	
	y ₂	32,16	-1,92	-25,41	2,18	456,82	654,32	0,932	
p15	y ₁	7244,02	-302,07	198,92	18,54	542,28	7242,42	0,923	
	y ₂	41,02	-2,92	-31,04	1,15	201,01	450,02	0,942	

cd. tablloiy 7.1E

	2	3	4	5	6	7	8	9
p16	Y1	9421,32	-402,00	201,93	14,15	602,01	7242,10	0,992
	Y2	42,01	-3,86	-32,01	3,14	192,87	501,92	0,981
p21	Y1	5428,32	-324,05	201,78	18,16	601,00	6892,42	0,931
	Y2	54,01	-2,92	-33,01	3,04	182,78	456,01	0,942
p22	Y1	4981,32	402,87	198,05	21,07	504,84	7002,91	0,974
	Y2	49,89	-1,94	-40,17	32,02	206,74	398,07	0,899
p23	Y1	3921,81	389,72	202,02	25,08	491,91	6972,40	0,921
	Y2	54,42	-3,04	-38,42	40,07	187,45	502,01	0,932
p24	Y1	2974,74	402,54	192,42	32,08	504,10	6234,51	0,942
	Y2	48,48	-2,94	-41,01	51,07	201,21	432,67	0,932
p25	Y1	3280,21	400,51	178,61	28,09	489,92	4934,13	0,956
	Y2	51,42	-4,54	-29,17	52,09	189,31	504,01	0,975

cd. tablicy 7.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
p26	y1	1400,13	413,27	208,08	37,71	513,17	5467,97	0,923
	y2	100,2	-4,87	-40,75	62,23	202,17	356,67	0,981
p31	y1	3287,64	397,04	208,71	28,09	514,01	4897,12	0,943
	y2	54,83	-2,45	-30,10	48,07	201,72	489,89	0,937
p32	y1	5427,00	400,01	215,45	34,14	432,15	3870,01	0,911
	y2	63,87	-3,87	-29,29	54,04	145,15	289,77	0,921
p33	y1	3456,73	386,86	302,72	28,89	501,17	5426,76	0,940
	y2	57,77	-2,45	-30,01	48,05	189,70	301,86	0,964
p34	y1	4875,65	287,54	401,45	32,74	468,82	4767,67	0,921
	y2	58,67	-1,98	-27,45	51,02	128,41	298,75	0,962
p35	y1	5486,17	325,46	187,92	42,02	387,47	6333,42	0,945
	y2	64,72	-3,87	-11,00	28,01	132,67	198,61	0,954

04-1095743-1-12

od. tablioy 7.12

	2	3	4	5	6	7	8	9
p36	Y1	4874,15	297,92	201,92	54,54	362,52	5545,55	0,987
	Y2	72,14	-2,13	-38,10	29,43	128,77	217,82	0,947
p41	Y1	4213,42	287,87	198,10	48,47	277,77	3456,89	0,910
	Y2	51,12	-1,94	-17,14	18,07	100,75	198,74	0,902
p42	Y1	3827,13	327,49	214,14	39,72	314,14	3497,97	0,907
	Y2	38,17	-4,15	-18,27	-12,42	98,72	204,17	0,900
p43	Y1	4213,78	298,53	287,68	48,62	514,32	4287,13	0,912
	Y2	42,42	-1,19	-21,01	12,65	78,45	134,33	0,899
p44	Y1	3242,06	300,02	158,06	29,07	247,51	3874,13	0,907
	Y2	49,47	-3,92	-28,07	51,02	128,28	327,94	0,905
p45	Y1	2798,67	302,01	162,92	28,04	274,51	4871,32	0,911
	Y2	52,61	-4,28	-27,04	48,42	131,31	389,87	0,903
p46	Y1	2978,78	245,62	178,67	32,06	397,97	5474,67	0,897
	Y2	49,58	-2,10	-21,04	32,87	120,47	457,27	0,901

7.5. Analiza dokładności uzyskanych modeli

Jakość wyznaczonych modeli zestawionych w tablicach 7.8 oraz 7.12 charakteryzuje ich ocena statystyczna, na którą składają się:

- współczynnik korelacji wielokrotnej,
- średni błąd dopasowania modelu,
- weryfikacja poprawności specyfikacji zmiennych objaśniających w modelach,
- stabilność parametrów strukturalnych modelu.

Powyższe charakterystyki w sposób istotny wpływają na sterowanie zmiennych objaśnianych za pomocą zmiany zmiennych objaśniających w dopuszczalnych granicach ich zmienności. Ilościowy wpływ każdej wyspecyfikowanej zmiennej objaśniającej na zmienną objaśnianą charakteryzuje, między innymi, współczynnik korelacji wielokrotnej.

Współczynnik korelacji wielokrotnej obliczono wzorem:

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_1)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_1)^2}} \quad (7.14)$$

gdzie:

- \hat{y}_i - obliczeniowe wartości poszczególnych zmiennych objaśnianych uzyskane z równań regresyjnych,
- \bar{y}_1 - średnie obliczeniowe wartości poszczególnych zmiennych objaśniających,
- y_i - rzeczywiste wartości zmiennych objaśnianych,
- n - liczba obserwacji.

Dokładność uzyskanych modeli matematycznych w porównaniu z rzeczywistymi wartościami poszczególnych zmiennych objaśnianych określono za pomocą średniego błędu dopasowania modelu, który zdefiniowano następująco:

$$\epsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7.15)$$

Założono tu, że wielkość średniego błędu dopasowania nie powinna przekraczać 10%. W zależności od rodzaju postaci powiązania danej zmiennej objaśniającej ze zmienną objaśnianą, w kolejnych krokach iteracji uzyskano żądaną dokładność dopasowania. Kwadrat współczynnika korelacji wielokrotnej określa średnią ważoną wpływu danej zmiennej spośród wyspecyfikowanych zmiennych na badaną zmienną objaśnianą.

Współczynniki dopasowania dla opracowanych modeli oraz kwadraty współczynników korelacji wielokrotnej dla zmiennych objaśniających przedstawiono w tabelicy 7.13.

Tabelica 7.13

Wybrane charakterystyki analizy dokładności opracowanych modeli regresyjnych

Oznaczenie modelu	Średni błąd dopasowania ϵ [%]			Współczynnik korelacji wielokrotnej R			Średnia ważona wpływu zmiennych objaśniających [ϵ]		
	y_1	y_2	y_3	y_1	y_2	y_3	y_1	y_2	y_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k11	7,21	6,34	5,87	0,95	0,94	0,91	90,2	88,4	82,8
k12	6,91	8,21	7,94	0,87	0,91	0,90	75,7	82,8	81,0
k13	5,94	6,87	8,02	0,96	0,92	0,94	92,2	84,6	88,4
k21	5,52	8,78	7,05	0,90	0,89	0,87	81,0	79,2	75,7
k22	5,40	6,94	6,41	0,94	0,91	0,96	88,4	82,8	92,2
k23	7,87	7,94	8,00	0,91	0,92	0,90	82,8	84,6	81,0
k32	8,27	6,32	5,43	0,97	0,93	0,90	94,1	86,5	81,0
k33	5,67	6,80	5,41	0,89	0,92	0,97	79,2	84,6	94,1
k42	5,94	6,67	8,39	0,92	0,91	0,94	84,6	82,8	88,4
k43	5,47	6,81	8,09	0,90	0,90	0,97	86,5	81,0	94,1
p11	6,92	5,02	-	0,91	0,89	-	82,8	79,2	-
p12	7,80	6,93	-	0,94	0,96	-	88,4	92,2	-
p13	5,55	4,95	-	0,87	0,93	-	75,7	86,5	-
p14	4,76	7,32	-	0,90	0,86	-	81,0	74,0	-
p15	4,95	5,86	-	0,87	0,92	-	75,7	84,6	-
p16	4,60	6,62	-	0,96	0,92	-	92,2	84,6	-
p21	4,93	5,27	-	0,91	0,94	-	82,8	88,4	-
p22	5,02	5,09	-	0,94	0,89	-	88,4	79,2	-
p23	4,87	6,73	-	0,97	0,92	-	94,1	84,6	-
p24	5,32	6,00	-	0,91	0,93	-	82,8	86,5	-
p25	5,65	4,72	-	0,93	0,94	-	86,5	88,4	-
p26	7,42	7,03	-	0,96	0,90	-	92,2	81,0	-
p31	6,81	5,45	-	0,87	0,86	-	75,7	74,0	-
p32	5,87	7,47	-	0,90	0,89	-	81,0	79,2	-
p33	6,70	4,73	-	0,91	0,93	-	82,8	86,5	-
p34	7,79	4,62	-	0,87	0,89	-	75,7	79,2	-
p35	7,03	5,81	-	0,95	0,96	-	90,0	92,2	-
p36	5,03	6,47	-	0,92	0,88	-	84,6	77,4	-
p41	6,73	4,92	-	0,93	0,89	-	86,5	79,2	-
p42	5,37	6,21	-	0,89	0,94	-	79,2	88,4	-
p43	6,24	4,97	-	0,95	0,92	-	90,2	84,6	-
p44	5,72	5,08	-	0,88	0,96	-	77,4	92,2	-
p45	7,02	5,68	-	0,94	0,90	-	88,4	81,0	-
p46	7,02	5,68	-	0,94	0,90	-	88,4	81,0	-

Analiza danych zawartych w tabelicy 7.13 dostarcza następujących informacji:

- średni błąd dopasowania opracowanych modeli zawarty jest w przedziale:
 - a) dla kopalń węgla [5,41% - 8,78%],
 - b) dla przodków wybierkowych [4,60% - 7,80%],
- współczynnik korelacji wielokrotnej opracowanych modeli jest większy od wartości:
 - a) dla kopalń węgla $R \geq 0,87$,
 - b) dla przodków wybierkowych $R \geq 0,86$,
- średnia ważona wpływu zmiennych objaśniających na daną zmienną objaśnianą w opracowanych modelach jest nie mniejsza od wartości:
 - a) dla kopalń węgla $W \geq 75,7\%$,
 - b) dla przodków wybierkowych $W \geq 74,0\%$.

Wynika stąd, że opracowane modele charakteryzują się dobrą dokładnością i pozwalają na wyznaczenie poszczególnych zmiennych objaśnianych.

Następny etap badań obejmował weryfikację poprawności specyfikacji zmiennych objaśniających opracowanych modeli cząstkowych. Weryfikację przeprowadzono opierając się na wybranych testach ekonometrycznych. Podstawową ideą budowy testów umożliwiającą wykrycie błędów w specyfikacji modelu jest wykorzystanie wpływu złej specyfikacji na właściwości rozkładu składnika losowego.

W badaniach tych wykorzystano następujące testy:

- BLUS (best linear unbiased square), który został zdefiniowany przez H. Theila [31], [96],
- RESET (regression specification error test) omówiony w pracy J.B. Ramseya [57],
- test Bartletta [59].

Wiadomo, że testy RESET oraz Bartletta dla małych prób są testami mocnymi.

Obliczenia weryfikujące przeprowadzone powyższymi testami potwierdziły poprawność dokonanych specyfikacji zmiennych w modelach. Wspomniane procedury testowe dotyczące błędów specyfikacji modelu są podstawą wyboru modelu oraz jego zachowania się w obrębie próby. Ponieważ modele zbudowano dla celów sterowania i predykcji wielkości objaśnianych, więc istotna jest stabilność parametrów strukturalnych modelu, bowiem od wartości oceny stabilności parametrów modelu zależy wynik predykcji.

W celu zbadania stabilności parametrów strukturalnych modeli wykorzystano dwie procedury:

- 1) całą próbę podzielono na dwie części; pierwszą część stanowiła podstawę estymacji parametrów, a druga część została wykorzystana do porównania dokładności predykcji,

2) obserwacje w celu opracowania modeli podzielono na dwie próby równoliczne i przeprowadzono testowanie hipotezy o niezmienności ocen parametrów, testami χ^2 , statystyką F.

Wyniki badań i obliczeń potwierdziły stabilność parametrów strukturalnych poszczególnych modeli dla kopalni węgla (tablica 7.14) oraz przodków wybierkowych (tablica 7.15).

Tablica 7.14

Wyniki badania stabilności parametrów strukturalnych modeli dla kopalni węgla

Oznaczenie modelu	Procentowe odchylenie względne wartości parametrów modeli regresji						
	a_0	a_{21}	a_{22}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{35}
k11	2,31	1,09	2,38	1,89	2,01	0,98	1,15
k12	3,05	1,82	2,01	0,95	1,27	1,28	2,03
k13	0,87	2,02	1,57	1,45	1,62	2,03	1,13
k21	3,14	2,07	1,42	1,27	1,07	1,23	2,14
k22	2,94	1,87	1,25	3,01	2,87	1,47	2,00
k23	1,57	1,88	2,13	3,14	2,05	1,84	1,32
k33	1,69	1,57	2,15	1,38	1,92	1,92	2,15
k42	2,12	1,38	1,47	2,28	1,78	1,62	1,45
k43	1,72	0,87	1,36	2,25	2,05	1,81	1,78

Tablica 7.15

Wyniki badania stabilności parametrów strukturalnych modeli dla przodków wybierkowych

Oznaczenie modelu	Procentowe odchylenie względne wartości parametrów modeli regresji					
	a_0	a_{13}	a_{26}	a_{27}	a_{34}	a_{35}
p11	1,05	1,27	2,01	1,92	1,81	1,12
p12	2,07	1,28	1,98	1,12	1,72	1,17
p13	0,97	1,32	1,97	1,74	1,72	1,63
p14	1,15	1,07	1,87	1,62	1,88	1,99
p15	1,26	1,17	1,76	2,01	0,98	2,09
p16	1,27	1,87	1,81	1,05	1,17	2,05
p21	1,32	1,92	1,84	1,17	1,28	1,98
p22	1,09	1,32	1,52	1,87	1,84	1,80
p23	1,87	1,87	1,57	1,64	1,67	1,71
p24	1,31	1,56	1,67	1,75	1,02	1,91
p25	1,27	1,27	1,87	1,82	1,19	1,74
p26	1,47	1,42	1,81	1,74	1,28	1,32
p31	2,13	1,13	1,57	1,22	1,45	1,75
p32	2,07	1,14	1,55	1,64	1,89	2,15
p33	1,54	1,15	1,43	2,87	1,45	1,05
p34	1,42	1,27	1,42	1,78	1,66	1,77
p35	1,13	1,26	1,42	1,39	1,54	1,59
p36	1,12	1,21	1,82	2,01	2,45	2,01
p41	1,33	1,24	1,66	1,20	1,37	1,93
p42	1,42	1,27	1,57	1,28	1,47	1,87
p43	1,51	1,32	1,46	1,82	2,02	1,97
p44	1,17	1,97	1,43	2,06	2,13	2,04
p45	1,19	1,87	1,44	1,87	1,87	1,81
p46	1,29	1,77	1,30	1,80	1,74	1,45

7.6. Wnioski

1. Jak wykazały przeprowadzone badania, zbiór informacji niezbędny do budowy modeli procesów wydobywczych w kopalni węgla i w przodkach wytierkowych jest ograniczony do skończonej liczby zmiennych objaśnianych i objaśniających, ale wystarczający do uzyskania obrazów tych procesów, w których została ujęta łącznie specyfika procesów realnych i informacyjno-regulacyjnych.

2. Opracowane wielorównaniowe i wieloczynnikowe modele zmiennych objaśnianych budowane na bazie informacji o grupie jednorodnych obiektów z uwzględnieniem ich zmiennej struktury umożliwiają dokonanie opisu możliwych zachowań i zróżnicowanych stanów przebiegu analizowanego procesu wydobywczego. Stąd uzyskane obrazy procesów wydobywczych dla kopalń węgla i przodka wybierkowego umożliwiają przeprowadzenie skutecznego sterowania poszczególnymi zmiennymi sterowalnymi, co w konsekwencji prowadzi do otrzymania żądanych wielkości wynikowych.

8. WYZNACZENIE RACJONALNEJ STRATEGII STEROWANIA PROCESAMI WYDOBYWCZYMI W KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO

8.1. Obiekt i przedmiot sterowania

Wokół problematyki sterowania i regulacji narosło w miarę tworzenia cybernetyki ekonomicznej, a także teorii systemów ogólnych wiele nieporozumień i różnorodnych interpretacji podstawowych pojęć. Dotyczą one zarówno przedmiotów sterujących, jak i obiektów sterowania.

S t e r o w a n i e, według H. Greniewskiego [32], polega na uzyskiwaniu zmian w sytuacji. Należy dodać, iż chodzi o zmiany zamierzone i celowe.

W świetle postulatów charakterystycznych dla teorii aksjomatycznej, jaką jest cybernetyka, nie może być wątpliwości, że sterowanie wiąże się z przekształceniem zasileń materialno-energetycznych. Zatem para zasileń: $W_e \rightarrow W_Y$ zasileniowe jest dominanta, zaś para $W_E \rightarrow W_Y$ informacyjna jest wtórna. Pewne kontrowersje budzi natomiast to, czy przedmiotem sterowania są systemy, czy też procesy o charakterze zasileń. Greniewski H. formułuje całą kwestię tak, że nie należy mieć wątpliwości, iż chodzi o proces jako obiekt sterowania. Mynarski S. [56] w pracy poświęconej teorii systemów i cybernetyce jedynie w dwóch przypadkach identyfikuje obiekt sterowany. Czyni to wówczas, gdy analizuje różnice w sposobie oddziaływania sterownika na obiekt: bezpośrednio, kiedy funkcję sterowania pełni człowiek i pośrednio, kiedy steruje urządzenie techniczne. Objaśnia przy tym, że obiektem sterowanym może być zarówno proces, jak i maszyna. Ten sam autor jednoznacznie identyfikuje obiekt sterowania z procesem. W Małym Słowniku Cybernetycznym [75] przez sterowanie rozumie się celowe oddziaływanie jednego systemu na drugi w celu uzyskania określonych zmian w przebiegu procesów zachodzących w układzie sterowanym. Zatem sterowanie - to proces polegający na manipulowaniu zasileniami w taki sposób, by zmienił nie zadowalający nas stan systemu sterowanego na bardziej odpowiedni i jest związany ze zmianą układu w czasie. Są to naturalnie systemy dynamiczne.

W sterowaniu systemy dynamiczne opisuje się za pomocą pary, na którą składają się:

- wektor stanu systemu w momencie t , tzn.: $\bar{X}(t) = [x_1(t_0), \dots, x_n(T)]$
dla liczby n zmiennych w n -wymiarowej przestrzeni stanów,

- funkcja określająca wartość wektora stanu w dowolnej chwili t , $t \in [t_0, T]$, przy czym wyznacza ona trajektorię $X(t)$ w danej n -wymiarowej przestrzeni stanów.

Do tych własności systemów dynamicznych dodać należy wielkości zadane i ustalone przez określonego decydenta, bowiem wtedy zachodzi sterowanie. Wielkości te oznaczają wektor stanu sterowania w dowolnym momencie czasu t . Stąd proces sterowania można opisać w dowolnym ciągłym przedziale czasu za pomocą:

- wektora stanu,
- wektora sterowania,
- funkcji, która zależy od obu wymienionych stanów.

8.2. Warunki skutecznego sterowania

W literaturze można doszukać się generalnie dwóch warunków, które decydują o skutecznym sterowaniu, a mianowicie:

- potrzeba podejścia systemowego,
- zbadania pętli sprzężeń zwrotnych wyższych rzędów.

Aby odpowiedzieć na pytanie: w jakim stopniu sterowanie procesami wydobywczymi w kopalni węgla kamiennego jest możliwe? należy wyjaśnić trzy aspekty skutecznego sterowania. W istocie są to cechy obiektów sterowanych, a mianowicie:

- identyfikowalność,
- obserwowalność,
- sterowalność.

Wyżej podane terminy są dość sztuczne w języku polskim, używane jako odpowiedniki pojęć stosowanych w literaturze anglosaskiej (identifiability, observability, controllability). Identyfikację obiektów sterowania rozumie się w systemach czysto technicznych stosunkowo prosto. Natomiast w systemach organizacyjno-technicznych, jakim jest proces wydobywczy, R. Kulikowski [5] oraz L. Amey [2] mówią zarówno o estymacji parametrów, jak też o rozpoznaniu charakterystyki obiektu. Oznacza to, że chodzi tu również o znajomość struktury, a więc zmiennych występujących w sterowanym procesie i relacji, jakie między nimi występują, a także hierarchicznej budowy stosowanego obiektu. Taki pogląd reprezentuje również J. Gościński [29].

Stopień identyfikacji procesu zależy od wielu czynników. Istotne znaczenie ma tu wielkość sterowanego procesu, rozumiana jako liczba elementów składowych (podprocesów) i sprzężeń występujących między nimi, a w szczególności:

- wielopoziomowość tych sprzężeń i pętli,
- liczba powiązań wyższych rzędów.

Zasadnicze znaczenie ma różnorodność systemów przejawiająca się w repertuarze jako odpowiedzi na zdarzenia zachodzące w sterowanych procesach i ich otoczeniu. Złożoność struktur systemów szczególnie złożonych, a takimi są systemy kopalni węgla, podlega zasadzie niezbędnej różnorodności (R. Ashby). Różnorodność zależna jest od łącznej liczby różnorodnych wejść i wyjść.

W celu omówienia pojęć obserwowalności i sterowalności można posłużyć się definicjami pochodzącymi z teorii regulacji i automatyki powołując się na pozycje: T. Kaczorek [40], S. Węgrzyn [102]. Wymienieni autorzy uważają, że proces jest obserwowalny, jeżeli istnieje taki moment t_k , w którym znając funkcje sterowania U i odpowiedni y systemu w przedziale czasu (t_0, t_k) można wyznaczyć stan początkowy procesu w t_0 .

L. Amey [2] uważa, że system jest w pełni obserwowalny, jeśli pomiary wyjść systemu dokonane w pewnym skończonym przedziale czasu zapewniają informacje wystarczające do całkowitego pełnego zidentyfikowania stanu systemu. Zauważyć należy, że definicja L. Ameya pojęcia obserwowalności powstała na gruncie analizy systemów techniczno-organizacyjnych.

Pierwsza z przytoczonych definicji ma charakter retrospektywny i wiąże obserwowalność z możliwością określenia stanu początkowego systemu (procesu). W drugim przypadku takiego warunku nie ma, a przez to można założyć, że chodzi o stan systemu w aktualnym momencie. W obu tych określeniach chodzi w istocie rzeczy o możliwość określenia stanu wcześniejszego na podstawie późniejszych obserwacji wyjść i znajomości funkcji sterowania. Otwartą sprawą pozostaje, jak ocenić obserwowalność procesów w świetle bardzo ostrych warunków przyjętych w definicjach, tzn. czy można określić stan na podstawie odpowiednich informacji czy nie. Czy pośredni przypadek, tzn. częściowa obserwowalność procesów, wchodzi z systemowego punktu widzenia w rachubę, czy też nie? Sformułowanie L. Ameya daje pewne rozluźnienie warunków, ponieważ w definicji użyto określeń: w pełni i całkowicie. Oznaczałoby to, że częściowa obserwowalność jest możliwa na podstawie pewnych informacji nie wystarczających do całkowitego opisu procesu sterowanego i jego stanu.

Zagadnienie obserwowalności ma istotne znaczenie dla skuteczności sterowania procesami. T. Kaczorek określa jako sterowalny taki system, który spełnia warunek następującej definicji: "Stan układu x_0 w chwili t_0 nazywać będziemy sterowalnym, jeżeli stosując ograniczone przedziałami sterowanie ciągle można go przeprowadzić w skończonym czasie t_k do zadanego stanu końcowego".

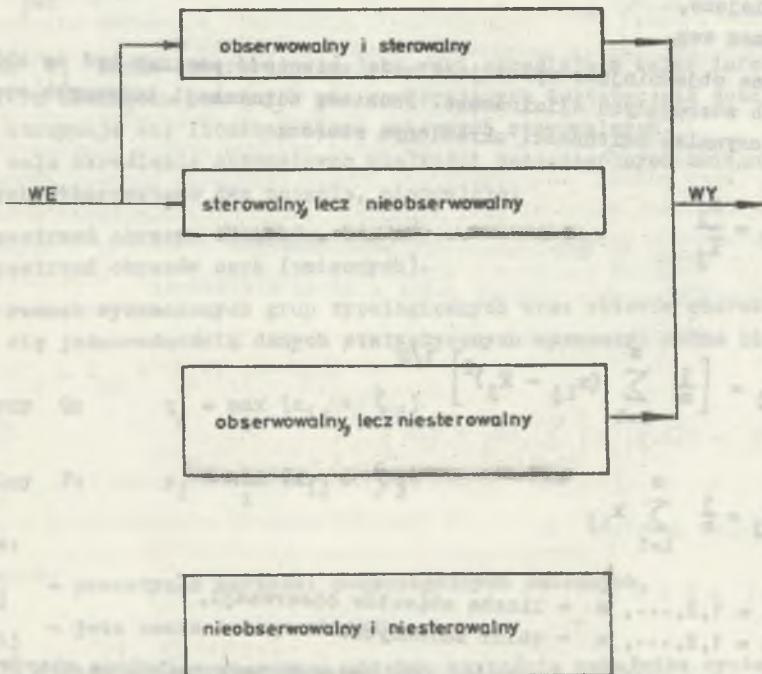
L. Amey [2] proponuje następującą definicję: "System jest w pełni sterowalny, jeżeli możliwe jest ustawienie zmiennych sterujących w taki sposób, aby zmusić system do przejścia z jednego arbitralnego stanu do innego arbitralnie ustalonego stanu w skończonym czasie".

Zatem dla obu tych definicji nie ma w ogóle różnic semantycznych. Sądzić można, że pojęcie częściowej sterowalności jest logicznie uzasadnione oraz można mówić o pełnej sterowalności systemów i procesów.

W modelach przestrzeni stanów stosuje się testy pozwalające odpowiedzieć na pytanie, czy dany system jest obserwowalny i sterowalny, czy też nie. Kryterium sterowania procesami techniczno-organizacyjnymi opracował i podał Aoki M. [3]. Powiązanie obserwowalności i sterowalności możliwe jest dla 4 przypadków, przedstawionych na rys. 8.1.

W systemach techniczno-organizacyjnych sterowalność a dokładniej jej ograniczenia zależą od poprawności funkcji sterowania. Jeżeli zbiór norm sterujących nie jest poprawny, albo zmiany wielkości tych norm nie są wystarczająco elastyczne, wówczas może się okazać, że wymuszenie zmiany stanu na bardziej pożądanym będzie w określonym czasie niemożliwe i na odwrót.

System, który jest nie sterowalny w zadowalającym stopniu, można uczynić sterowalnym pod warunkiem zwiększenia liczby zmiennych sterujących. Zwiększenie sterowalności można też osiągnąć poprzez zmodyfikowanie zmiennych występujących w funkcji sterowania.



Rys. 8.1. Kombinacja obserwowalności i sterowalności systemu

Fig. 8.1. The contrivance of the system s ability to be observed and controlled

Wreszcie można przeprojektować "urządzenie" sterujące tak, aby nie osiągając, co prawda, pełnej sterowalności uzyskać takie działanie sterujące, które umożliwi oscylowanie zmiennych sterowanych w pewnej przestrzeni uznanej za możliwą do zaakceptowania.

Wybór drugi postępowania zależy od wyniku tzw. testu Gilberta służącego do badania stopnia sterowalności systemu.

8.3. Zasady doboru optymalnych wartości zmiennych sterujących w procesach wydobywczych

Przyjęto założenie, że zmienne sterujące muszą posiadać odpowiedni poziom zmienności w czasie lub w przestrzeni, który jest podstawą sterowania procesami wydobywczymi. Zagadnienie powyższe związane jest z budową wskaźników odnoszących się do poszczególnych istotnych zmiennych objaśniających, w szczególności z:

- pomiarem zasobu informacji dostarczanej przez poszczególne zmienne objaśniające,
- problemem wag.

Zmienne objaśniające wykazujące małą zmienność powinny być ze zbioru zmiennych sterujących eliminowane. Podstawę eliminacji zmiennych oparto na współczynniku zmienności określonym wzorem:

$$v_j = \frac{s_j}{\bar{x}_j} \quad (8.1)$$

gdzie:

$$s_j = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \right]^{1/2}$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$$

$i = 1, 2, \dots, m$ - liczba obiektów obserwacji,

$j = 1, 2, \dots, n$ - zbiór zmiennych.

Eliminacji podlegają zmienne, dla których jest spełniona nierówność:

$$v_j < \varepsilon \quad (8.2)$$

gdzie: ϵ - ustalona, mała liczba dodatnia, $\epsilon < 0,1$ liczby v_j , przyporządkowane obrazom cech x_{0j} są miernikami absolutnej wartości informacyjnych cech. W przypadku gdy wartość ta jest mniejsza od liczby progowej 0,1, cechę uważa się za quasi-stałą i eliminuje z dalszych rozważań. Dla zmiennych odznaczających się współczynnikiem zmienności $> 0,1$ obliczyć można mierniki względnej wartości informacyjnej cech:

$$w_j = \frac{v_j}{\sum_{j=1}^n v_j} \quad (8.3)$$

gdzie:

n - liczba elementów zbioru cech po odrzuceniu cech quasi-stałych.

Ponieważ:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad \text{oraz} \quad w_j > 0 \quad (8.4)$$

przeto w_j można interpretować jako wagi określające walor informacyjny cech. Po usunięciu zmiennych nie zawierających dostatecznie dużo informacji, otrzymuje się liczebną listę zmiennych sterowalnych.

W celu określenia optymalnych wielkości poszczególnych zmiennych sterowalnych wykorzystano dwa pojęcia, mianowicie:

- przestrzeń obrazów obiektów,
- przestrzeń obrazów cech (zmiennych).

W ramach wyznaczonych grup typologicznych oraz zbiorów charakteryzujących się jednorodnością danych statystycznych wyznaczyć można bieguny:

- górny Q: $q_j = \max_1 (x_{1j} \in \xi_j)$
 - dolny P: $p_j = \min_1 (x_{1j} \in \xi_j)$
- (8.5)

gdzie:

ξ_j - przestrzeń wartości poszczególnych zmiennych,

x_{1j} - j-ta cecha i-tego obiektu.

Dla obrazu wielowymiarowego obiektu wartością wskaźnika syntaktycznego D przyporządkowaną obiektowi ω_1 oraz jego obrazowi x_1 jest liczba:

$$d_1 = \left[\sum_{j=1}^n (x_{1j} - q_j)^2 \right]^{1/2} \quad (8.6)$$

zaś ważoną cechą zbiorczą ξ , czyli ważonym wskaźnikiem syntetycznym jest wielkość:

$$D = \left[\sum_{j=1}^n w_j (x_{0j} - q)^2 \right]^{1/2} \quad (8.7)$$

Wartością ważonego wskaźnika syntetycznego D przyporządkowaną obiektowi ω_1 oraz jego obrazowi x_1 jest liczba:

$$d_1 = \left[\sum_{j=1}^n w_j (x_{1j} - q_j)^2 \right]^{1/2} \quad (8.8)$$

gdzie:

w_j - waga zmiennej.

Wartością wskaźnika Δ - rozwoju obiektu jest liczba:

$$\Delta_1 = 1 - \frac{d_1}{\|D\|} \quad (8.9)$$

gdzie:

$\|D\|$ - norma D dla obrazu wielowymiarowego.

Jako normę $\|D\|$ można przyjąć jedną z dwóch wielkości:

- odległość między biegunami:

$$\|D\| = d(P, Q) = \left[\sum_{j=1}^n (p_j - q_j)^2 \right]^{1/2} \quad (8.10)$$

- statystyczne maksimum D

$$\|D\| = \bar{d} + 2 S_d \quad (8.11)$$

gdzie:

$$\bar{d} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d_i$$

$$S_d = \left[\sum_{i=1}^m (d_i - \bar{d})^2 \right]^{1/2}$$

Wartości Δ_1 umożliwiają porządkowanie obiektów ω_1 według poziomu osiągniętego przez nie rozwoju, tj. doświadczeń uzyskanych ze sterowania procesem wydobywczym.

Liczbę niemalejącego ciągu:

$$\Delta^{(m)} < \Delta^{(m-1)} < \dots < \Delta^{(1)} \quad (8.12)$$

wyznaczają miejsce, czyli rangę obiektu ω_1 na skali rozwoju.

Ze względu na wielowymiarowe obrazy obiektów, poszczególne obiekty mogą zajmować w stosunku do wspólnego środka, jakim jest górny biegun Q, różne położenia. Stąd dla każdego obiektu da się wyznaczyć jego położenie optymalne odnośnie do sterowanych zmiennych. Można to uczynić, bowiem najkrótszą drogą łączącą dolny biegun P z górnym biegunem Q jest oś zbioru przestrzeni obrazów obiektów. Oś ta wyznacza w przestrzeni obrazów cech tzw. optymalną ścieżkę sterowania.

Optymalną strategią sterowania, hipotetyczną, jest punkt przecięcia sfery odpowiadającej danemu obiektowi, ze ścieżką optymalnego sterowania (rys. 8.2). Punkty A', B', C', D', E', F' oznaczają optymalne strategie sterowania w obiektach A, B, C, D, E, F. Optymalne strategie sterowania obiektami wyznaczone metodą analizy porównawczej może być oczywiście sprawdzona a posteriori po uzyskaniu danych statystycznych. Wynika stąd, że ta optymalna strategia sterowania niezbędna jest do celów analiz i porównań badawczych w procesach wydobywczych kopalni i przodkach wybiórkowych.

Współrzędne x'_{1j} strategii sterowania optymalnej względem x_{1j} otrzymuje się ze wzoru:

$$x'_{1j} = \hat{x}_{qj} - \lambda_1 (\hat{x}_{qj} - \hat{x}_{pj}) \quad (8.13)$$

gdzie:

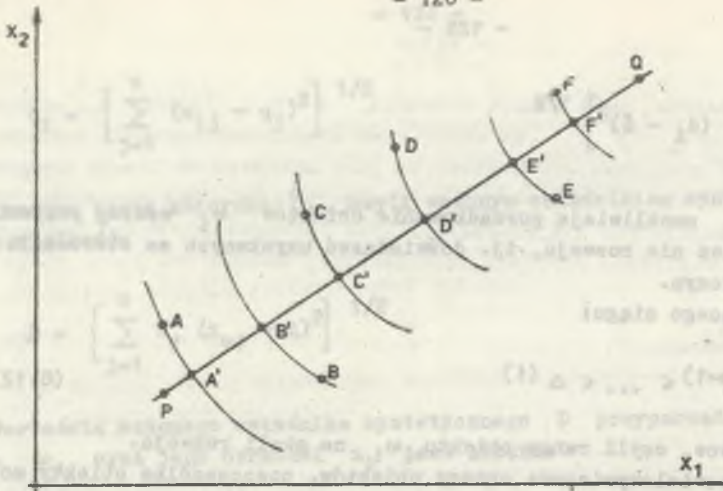
x_{qj} - j-ta składowa bieguna górnego Q,

x_{pj} - j-ta składowa bieguna dolnego P.

przy czym:

$$\hat{x}_{qj} = \frac{x_{qj} - \bar{x}_j}{s_j}$$

$$\hat{x}_{pj} = \frac{x_{pj} - \bar{x}_j}{s_j}$$



O - górny biegun (środek izokwant)

P - dolny biegun

Rys. 8.2. Ścieżka optymalnego sterowania dla grupy obiektów jednorodnych
 Fig. 8.2. Optimal controlling track for a group of homogeneous plants

$$\lambda_i = \frac{d_i}{\|D\|} \quad (8.14)$$

$$d_i = \left[\sum_{j=1}^n (x_{ij} - q_j)^2 \right]^{1/2} \quad (8.15)$$

$$\|D\| = \left[\sum_{j=1}^n (p_j - q_j)^2 \right]^{1/2} \quad (8.16)$$

gdzie:

n - liczba cech.

Wielkość x_{ij} jest niemiianowana. Aby otrzymać wielkość miianowaną, korzysta się z podstawień:

$$x'_{ij} = \hat{x}_{ij} \cdot S_j + \bar{x}_j \quad (8.17)$$

gdzie:

$$S_j = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \right]^{1/2}$$

- 12 -

9. WYKORZYSTANIE OPRACOWANEJ METODY DO STEROWANIA PROCESEM WYDOBYWCZYM
WYBRANEJ KOPALNI WĘGLA

9.1. Charakterystyka obiektu badań

Przedmiotem badań były procesy wydobywcze w kopalni węgla kamiennego, która charakteryzowała się następującymi wielkościami:

- wydobywaniem węgla handlowym $Y_1 = 239550$ t/mies.,
- pracochłonnością w grupie przemysłowej pracowników $Y_2 = 326\,477$ rdn/1000 t,
- kosztami własnymi wydobycia węgla $Y_3 = 2691,7$ zł/t,
- z udziałem wydobycia ze ścian $X_{21} = 91,1\%$,
- średnim dziennym wydobywaniem ze ściany czynnej z produkcją $X_{31} = 1592,9$ t/dobę,
- średnią dzienną liczbą ścian czynnych z produkcją $X_{22} = 6,0$,
- średnią dzienną długością frontu ścianowego z produkcją $X_{32} = 923,4$ m/dobę,
- średnim dziennym postępowaniem ściany czynnej z produkcją $X_{35} = 2,6$ m/dobę,
- wskaźnikiem awaryjności ogólnej na 1000 t wydobycia węgla $X_{33} = 10,7$ min/1000 t.

Przedmiotowa kopalnia węgla ze względu na realizację zmiennych objaśnianych i objaśniających procesy wydobywcze należy do drugiej grupy typologicznej oraz do kopalni rozwojowych biorąc pod uwagę zasoby węglowe i możliwości wzrostu wydobycia węgla. Ponadto w analizowanej kopalni węgla czynnych jest aktualnie osiem ścian węglowych, których wielkości charakteryzujące przedstawiono w tabelicy 9.1. Z dalszej analizy wynika, że dobowe planowane wydobycie węgla w badanej kopalni wynosiło 12 000 t.

Wielkości: wydobywanie, pracochłonność oraz koszt własny wydobycia węgla z badanej kopalni opisuje model trzyrównaniowy, który w niniejszej pracy oznaczono symbolem K-21. Dla poszczególnych ścian węglowych następujące modele cząstkowe opisują zmienne objaśniane:

- urobek węglowy i pracochłonność pracowników w grupie przemysłowej:
 - p21 - dla ścian wyposażonych w obudowę GL-08-22-0z,
 - p23 - dla ścian wyposażonych w obudowę FAZOS 15-31-0z,
 - p25 - dla ścian wyposażonych w obudowę PIOMA 25-45-0z.

9.2. Określenie strategii sterowania dla badanego obiektu

W celu określenia strategii sterowania dla badanego obiektu, tj. kopalni węgla, zdefiniowano za pomocą 9 cech obiektu badań przyporządkowane do drugiej grupy typologicznej. Wyróżniona druga grupa typologiczna obejmuje 16 obiektów, które przedstawiono w tabelicy 9.2. Zestawienie poszczególnych cech obiektów, bieguny dolny i górny, średnie poszczególnych cech, średnie odchylenie kwadratowe zebrano w tabelicy 9.3 dla podgrupy kopalń rozwojowych w ramach drugiej grupy typologicznej. Poszczególne wartości cech są wartościami średnimi kwartału za rok 1986.

Punktem wyjściowym do badań jest zmierzenie wartości informacyjnej wektorów x_{0j} za pomocą wzorów przedstawionych w punkcie 8.3 niniejszej pracy. Ponieważ zmienne: pracochłonność, koszt własny wydobycia oraz wskaźnik awaryjności ogólnej są destymulantami, więc przekształcono je na stymulanty wg wzorów:

$$y_2^* = 1000 - y_2$$

$$y_3^* = 10000 - y_3$$

$$y_{33}^* = 200 - x_{33}$$

Wartości informacyjne cech i ich wagi dla analizowanych obiektów kształtują się następująco:

Nr	$V(j)$	W_j
y_1	0,39	0,17
y_2	0,23	0,10
y_3	0,20	0,10
x_{21}	0,03	0,01
x_{31}	0,32	0,14
x_{22}	0,29	0,12
x_{32}	0,33	0,14
x_{35}	0,33	0,14
x_{33}	0,18	0,08
suma:	2,20	1,00

Jak widać, wartości $V(j)$ posiadają dostateczną zmienność, aby można było je uznać za wartościowe nośniki informacji. Zaś wagi W_j różnią się między sobą dosyć znacznie. Najcenniejszymi cechami pod względem informacji oraz ze względu na sterowanie procesami wydobywczymi na poziomie kopalni są cechy: x_{22} , x_{32} , x_{35} oraz x_{31} .

Tablica 9.2

Charakterystyka obiektów - kopalni węgla II grupy typologicznej

	y_1	y_2	y_3	x_{21}	x_{31}	x_{22}	x_{32}	x_{35}	x_{33}
1	288300	581.590	6642.310	89.200	1283.000	8.600	9.800	2.350	200.000
2	299000	504.214	5902.300	93.600	1013.500	12.000	21.740	2.070	165.350
3	638900	700.688	7724.230	91.700	1658.600	15.200	18.790	3.470	181.030
4	107355	153.260	3511.990	86.000	478.500	9.300	10.310	0.880	91.670
5	186100	541.495	6046.130	92.700	1249.800	5.800	8.940	3.250	189.630
6	370750	601.435	7039.240	91.200	1321.400	10.800	19.210	1.740	116.570
7	445250	559.632	6966.980	92.800	1861.800	9.500	16.940	2.820	122.720
8	239550	673.523	7308.300	91.100	1592.900	6.000	9.230	2.600	130.020
9	215575	592.170	7538.270	85.900	1136.300	7.100	11.540	1.260	191.140
10	346870	579.479	6834.200	93.400	1408.400	10.000	13.360	2.420	188.010
11	405937	648.383	6948.720	94.300	1292.600	13.000	21.320	2.520	162.320
12	386600	615.680	7804.360	87.400	1052.500	14.100	21.770	2.220	179.620
13	233970	464.381	4837.460	88.800	858.900	10.600	13.860	1.190	184.870
14	280580	532.710	4737.230	91.600	907.800	12.300	17.980	1.680	184.960
15	237450	514.563	5002.100	94.200	703.700	13.900	23.770	1.730	144.390
16	269230	449.945	5007.790	90.600	631.900	16.900	26.520	1.810	177.530
P	107355	153.260	3511.990	85.900	478.500	5.800	8.940	0.880	91.670
Q	638900	700.688	7804.360	94.300	1861.800	16.900	26.520	3.470	200.000
x_{6r}	309463.562	550.822	6234.476	90.906	1153.050	10.944	16.568	2.126	166.864
B	120167.531	124.681	1240.169	2.655	370.675	3.127	5.484	0.701	30.596

Tablica 9.3

Charakterystyka obiektów podgrupy kopalcń rozwojowych w ramach II grupy typologicznej

	y_1	y_2	y_3	x_{21}	x_{31}	x_{22}	x_{32}	x_{35}	x_{33}
1	638900	700.688	7724.230	91.700	1658.600	15.200	18.790	3.470	181.030.
2	370750	601.435	7039.240	91.200	1321.400	10.800	19.210	1.740	116.570
3	445250	659.632	6966.980	92.800	1861.800	9.500	16.940	2.820	122.720
4	239550	673.523	7308.300	91.100	1592.900	6.000	9.230	2.600	190.020
5	233970	464.381	4837.460	88.800	858.900	10.600	13.860	11.190	184.870
6	280580	532.710	4737.230	91.600	907.800.	12.300	17.980	1.680	184.960
7	237450	514.563	5002.100	94.200	703.700	13.900	23.770	1.730	144.390
8	269230	449.945	5007.790	90.600	631.900	16.900	26.520	1.810	177.530
P	233970	449.945	4737.230	88.800	631.900	6.000	9.230	1.190	116.570
Q	638900	700.688	7724.230	94.200	1861.800	16.900	26.520	3.470	190.020
Σ_{dr}	339460.000	574.610	6077.917	91.500	1192.125	11.900	18.288	2.130	162.761
B	133111.891	91.297	1202.991	1.474	445.489	3.231	5.031	0.707	28.176

Średnie dzienne wydobycie ze ściany czynnej z produkcją (x_{31}) zależne jest bezpośrednio lub pośrednio od cech x_{22} , x_{32} , a przede wszystkim od x_{35} . Pozostałe zmienne objaśniające x_{21} oraz x_{33} mają wagi mniejsze od 0,1.

W celu określenia optymalnej strategii sterowania procesem wydobywczym na poziomie kopalni węgla, wykonano następujące obliczenia, które potwierdziły opracowaną metodę, tj. strategię sterowania, przyjmując jako kryteria:

- wielkość wydobycia w węglu handlowym - y_1 ,
- pracochłonność pracowników grupy przemysłowej - y_2 ,
- koszt własny wydobycia - y_3

oraz zmienne objaśniające powyższe kryteria. Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy 9.4. Uwzględniając trzy wymienione kryteria jednocześnie uzyskano optymalne wartości zmiennych sterujących, które ilustruje tablica 9.5. Przyjmując uzyskane wartości optymalne zmiennych objaśniających ze względu na warunki sterowania jako wielkości wejściowe do modelu trzyrównanowego typu K-21 uzyskano następujące wyniki:

Zmienna objaśniana	wg modelu K21	wg WAP	Błąd względny w %
y_1	349860	348470	0,4
y_2	402,5	403,85	0,3
y_3	3020,6	3285,6	8,8

Błąd względny wyrażony w % przedstawia odchylenie wartości kryterialnych modelu od wartości wyznaczonych metodą wielowymiarowej analizy porównawczej dla optymalnych wielkości zmiennych objaśniających, które w danym wypadku dla kopalni węgla wynoszą:

$$\begin{aligned}x_{21} &= 90,8\% \\x_{31} &= 1600,2 \text{ T/dobę} \\x_{22} &= 6,8 \\x_{32} &= 1256 \text{ m/dobę} \\x_{35} &= 2,89 \text{ m/dobę} \\x_{33} &= 10,0 \text{ min/1000 t}\end{aligned}$$

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że:

- metoda analizy wielowymiarowej pozwala na wyznaczenie optymalnych wartości zmiennych objaśniających,
- opracowane modele wielkości objaśniających dają dobre estymacje wielkości kryterialnych, tzn. y_1 , y_2 , y_3 .

Tablica 9.4

Wyniki obliczeń wariantowych dla podgrupy kopalni rozwojowych

	Zmienne objaśniane			Zmienne objaśniające					
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	X ₂₁	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₅	X ₃₃	
Wyniki aktualnie uzyskiwane	239550	326,48	2691,7	91,1	1592,9	6,0	923,4	2,6	10,07
	349860	402,5	3020,6	90,8	2131,6	6,8	1256,0	2,89	10,0
	321250	-	-	90,2	1845,2	7,1	1376,2	3,1	11,2
Wielkości obliczeniowe	-	495,1	-	90,6	1789,5	7,4	1187,1	3,0	11,1
	-	-	3201,8	90,9	1472,8	6,9	1342,7	3,2	11,0
	-	-	-	90,7	1654,4	6,5	1001,2	2,7	12,0
max	349860	495,1	3201,8	91,1	2131,6	7,4	1376,2	3,2	12,0
min	239550	326,48	2691,7	90,2	1472,8	6,0	923,4	2,6	10,0

Tabela 9.5

Strategia sterowania procesem wydobywczym dla badanej kopalni

	Zmienne objaśniane			Zmienne objaśniające						
	Y1	Y2	Y3	X21	X31	X22	X32	X35	X33	
Wyniki aktualne	239550	326,48	2691,7	91,1	1592,9	6,0	923,4	2,6	10,07	
Sterowanie strategiczne	34860	402,5	3020,6	90,8	2131,6	6,8	1256,0	2,89	10,00	
Odczylenie	+110310	+76,02	+328,9	-0,3	+538,7	+0,8	+332,6	+0,29	-0,07	

9.3. Określenie optymalnych wartości zmiennych sterujących dla ścian węglowych badanej kopalni węgla

Analizowana kopalnia węgla posiada 8 ścian węglowych scharakteryzowanych w tablicy 9.1. Ze względu na zastosowany typ obudowy zmechanizowanej w badanej kopalni wyróżnić można:

- A - 2 ściany węglowe wyposażone w obudowę typu GLINIK-08/22 (ściany oznaczone symbolem 1 i 4),
- B - 2 ściany węglowe wyposażone w obudowę typu PIOMA-25/45 (oznaczone symbolami 2 i 6),
- C - 4 ściany węglowe wyposażone w obudowę typu FAZOS-15/31 (oznaczone symbolami 3, 5, 7, 8).

Za pomocą 7 cech opisanych w rozdziale 6 zdefiniowano objekty ścian węglowych. W celu określenia optymalnych wartości zmiennych sterujących dla wyszczególnionych obiektów zebrano i opracowano trzy zbiory obiektów różnych ze względu na ich wyposażenie techniczne:

- A - 37 elementów,
- B - 42 elementów,
- C - 39 elementów.

Za pomocą porównawczej analizy wielowymiarowej określono pozycje wszystkich analizowanych obiektów na wspólnej skali oceny charakterystycznej dla wyszczególnionych zbiorów A, B, C. Wyróżnikiem charakteryzującym pozycje danego obiektu w zbiorze jest wielkość Δ_1 oznaczona wzorem 8.9. Wartości funkcyjne cech uwzględnionych w badaniach V_j były większe od wartości 0,1. Wagi W_j dla zmiennych x_{35} , x_{34} znacznie różniły się od pozostałych cech i pod względem informacyjnym stanowią najcenniejsze dla sterowania procesami wydobywczymi w przodkach wybierkowych. Pozostałe cechy mają mniej więcej jednakowe wagi w zakresie 0,09-0,11. Wartości wskaźnika Δ_1 oraz pozycje poszczególnych obiektów - ścian węglowych w wyróżnionych zbiorach przedstawiono w tablicy 9.6.

Optymalne strategie sterowania dla wymienionych ścian węglowych obliczone porównawczą analizą wymiarową ilustruje tablica 9.7.

Porównanie uzyskanych wielkości kryterialnych y_1 , y_2 dla optymalnych wartości zmiennych (tablica 9.8), potwierdza między innymi zasadność opracowanych modeli cząstkowych dla poszczególnych ścian węglowych.

Tablica 9.6

Pozycje badanych obiektów ścian węglowych w poszczególnych zbiorach

Zbiór przodków	Numer ściany	Δ_1	Pozycja w zbiorze	Δ_{\min}	Δ_{\max}
A	1	0,31	31	0,11	0,73
	4	0,63	9		
B	2	0,41	18	0,12	0,71
	6	0,28	33		
C	3	0,54	8	0,10	0,74
	5	0,35	26		
	7	0,29	22		
	8	0,22	36		

Tablica 9.7

Zestawienie optymalnych parametrów sterowania dla przodków wybierkowych

Nr ściany		J_1	J_2	x_{16}	x_{26}	x_{27}	x_{34}	x_{35}
1	akt	8684	135,8	0	180	152	15	1,53
	opt	12725	125,0	0	180	152	18	2,01
2	akt	16243	26,3	6	380	156	15	1,33
	opt	21834	30,5	6	380	156	20	1,85
3	akt	17934	28,2	6	300	122	15	2,33
	opt	22415	32,1	6	300	122	21	2,42
4	akt	23867	48,6	0	210	122	21	3,24
	opt	30002	54,7	0	210	122	25	3,50
5	akt	34986	27,3	6	300	170	21	2,33
	opt	36724	28,1	6	300	170	24	2,43
6	akt	17180	54,5	6	380	165	10	2,00
	opt	21510	60,1	6	380	165	21	2,10
7	akt	48882	25,3	6	290	172	22	3,18
	opt	54210	35,4	6	290	172	24	3,20
8	akt	50445	20,8	6	290	175	18	3,94
	opt	58422	25,4	6	290	175	20	3,95

Tablica 9.8

Oznaczenie ściany	Zmienna sterowana	Typ ściany	Wartość obliczona metodą analizy wieloczynnikowej	Wartość obliczona wg modelu	Błąd względny %
1	y_1	p21	12725	12456	2,11
	y_2		125	125,12	
2	y_1	p25	21834	22002	0,77
	y_2		30,5	31,02	
3	y_1	p23	22415	23003	2,62
	y_2		32,1	31,9	
4	y_1	p21	30002	30875	2,91
	y_2		54,7	53,8	
5	y_1	p23	36724	36002	1,97
	y_2		28,1	27,87	
6	y_1	p25	21510	22001	2,28
	y_2		60,1	58,2	
7	y_1	p23	54210	53211	1,84
	y_2		35,4	34,2	
8	y_1	p23	58422	59000	0,99
	y_2		25,4	24,87	

9.4. Dyskusja wyników obliczeń

Przedstawiona w punkcie 9.2 oraz 9.3 wyniki obliczeń poprzedzono rozważaniami i analizami na poziomie całej kopalni oraz na poziomie przodków wybiórkowych. Na poziomie całej kopalni analizy przeprowadzono dla:

- całej II grupy typologicznej,
- podgrupy kopalń rozwojowych w ramach II grupy typologicznej.

W pierwszym przypadku, tzn. dla całej II grupy typologicznej kopalń, uzyskane obliczeniowe wartości kryterialne były mniej korzystne aniżeli dla podgrupy kopalń rozwojowych. W szczególności dotyczy to relacji obni-

żenia wydobycia o 5,6% przy jednoczesnym wzroście pracochłonności robót o 10,7% oraz wzroście kosztów własnych węgla o 11,4% w stosunku do rezultatów uzyskanych dla podgrupy kopalń rozwojowych.

Na podstawie informacji wejściowych bazujących na podgrupie kopalń rozwojowych II grupy typologicznej dla badanej kopalni w wyniku przeprowadzonych regulacji możliwe jest uzyskanie:

- przyrostu wydobycia w węglu handlowym o 110310 T/miesiąc; zakładając 25 dni roboczych w miesiącu, dobowe wydobycie kopalni może wzrosnąć o 4412 T/dobę,
- wzrostu pracochłonności grupy przemysłowej pracowników o 76,02 rdn/1000 t dla obłożonego wzrostu wydobycia, co odpowiada wzrostowi wydajności dołowej o 13,15 t/rdn,
- przyrostu kosztu własnego wydobycia jedynie o 328,9 zł/t przy założonym obliczeniowym wydobyciu i wzroście pracochłonności.

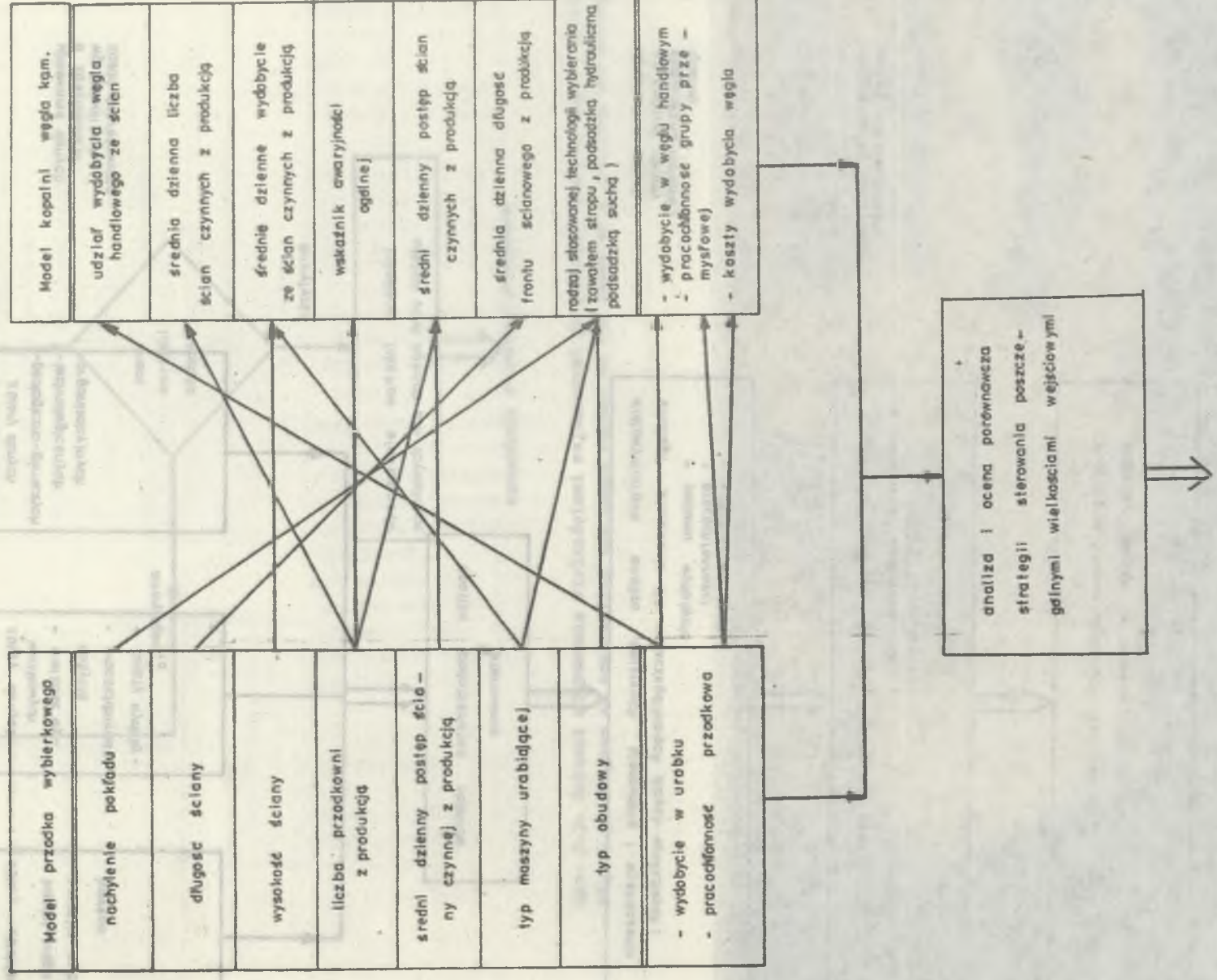
Zakładając, że średnie koszty robocizny, tzn. płace robotników i dozoru technicznego, dla badanej kopalni wynoszą 1117,14 zł/t, to 29,44% wzrostu wydobycia jest uzyskane metodami ekstensywnymi, zaś 70,56% metodami intensywnymi wynikającymi z:

- poprawy organizacji pracy,
- doskonalenia planowania,
- wykorzystania posiadanych zdolności produkcyjnych.

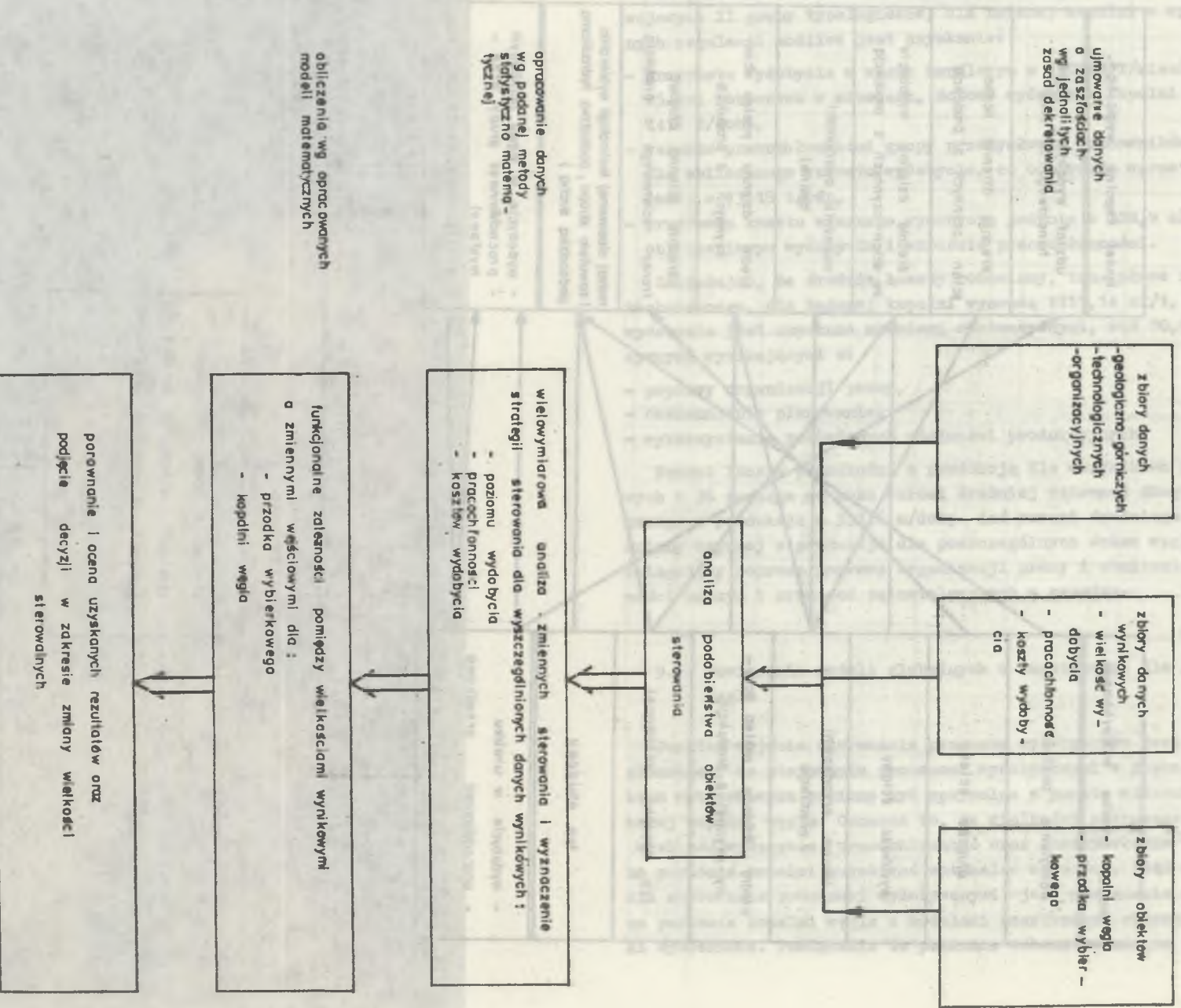
Wzrost liczby przodkodni z produkcją dla wszystkich przodków wybierkowych o 36 pociąga za sobą wzrost średniej dziennej długości frontu ściannowego z produkcją o 332,6 m/dobę. Zaś wzrost średniego dziennego postępu ściany czynnej z produkcją dla poszczególnych ścian węglowych może być osiągnięty poprzez poprawę organizacji pracy i obniżenia wskaźnika awaryjności maszyn i urządzeń zainstalowanych w przodku.

9.5. Powiązanie modeli globalnych z cząstkowymi dla badanej kopalni węgla

Punktem wyjścia sterowania procesem wydobywczym jest przyjęcie tezy głoszącej, że sterowanie procesami wydobywczymi w poszczególnych przodkach wybierkowych powinno być optymalne z punktu widzenia działalności całej kopalni węgla. Oznacza to, że wielkości sterowane, kryterialne, tj. wielkość wydobycia, pracochłonność oraz koszty własne wydobycia powinny na poziomie kopalni uzyskiwać optymalne wartości. Stąd ważne i istotne dla sterowania procesami wydobywczymi jest powiązanie modeli globalnych na poziomie kopalni węgla z modelami cząstkowymi charakteryzującymi przodki wybierkowe. Powiązanie to pokazano schematycznie na rys. 9.1.



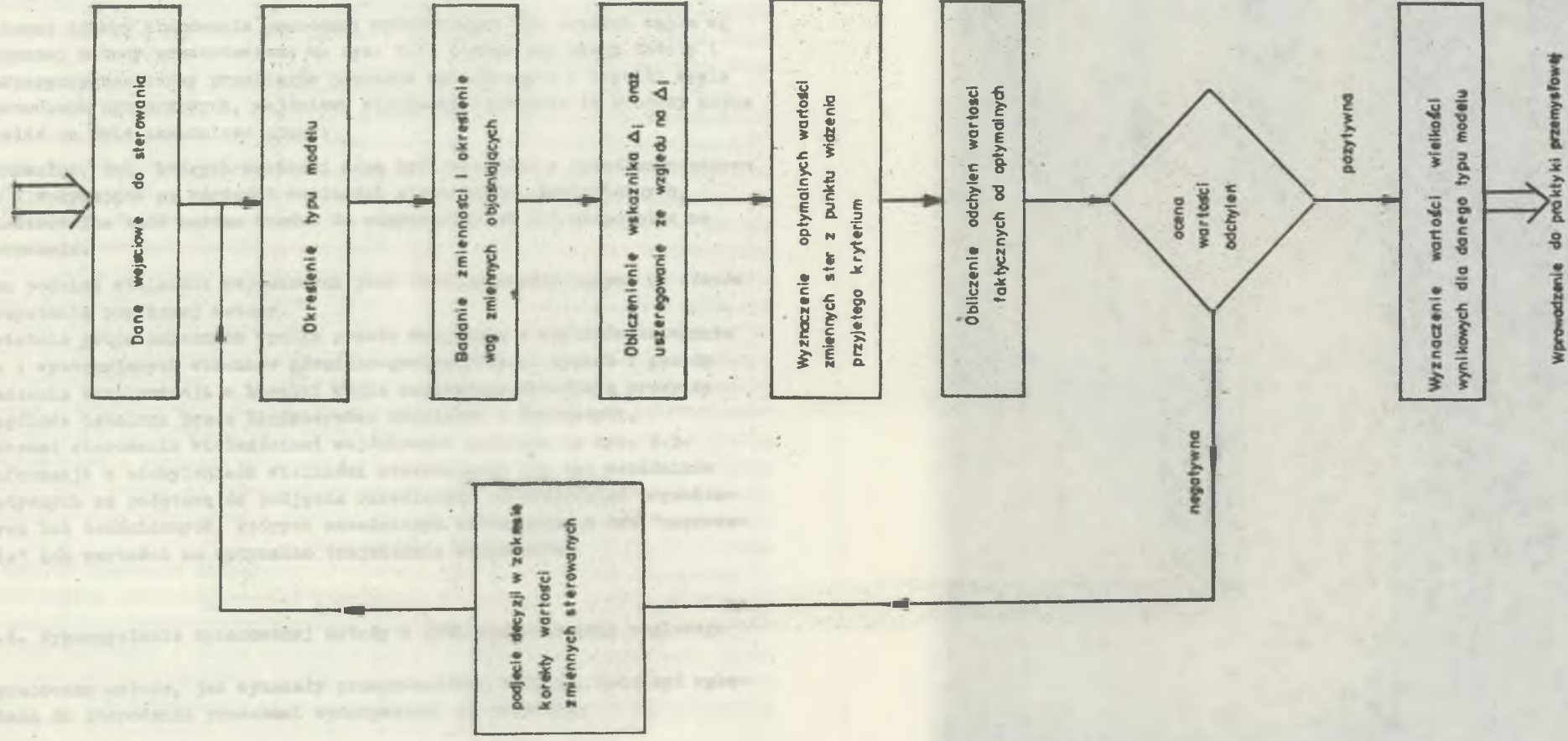
Rys. 9.1. Powiązanie modeli sterowania na poziomie kopalni węgla z przodkami wybiertkowymi
 Fig. 9.1. Connection of controlling models on the level of a colliery with the stopes



obliczenia wg opracowanych modeli matematycznych

opracowanie danych wg podanej metody statystycznej matematycznej

rys. 9.2. Schemat ideowy sterowania procesami wydobywczymi wg opracowanej metody
Fig. 9.2. An outline of the control of mindng processes making use of the discussed method



Rys. 9.3. Schemat sterowania wielkościami wejściowymi na poziomie kopalni węgla i proszka wylotowego
 Fig. 9.3. Diagram of controlling the input values on the level of a colliery and stopping face

Analiza i ocena porównawcza strategii sterowania poszczególnymi wielkościami wejściowymi na poziomie kopalni powinna być podstawą do dalszych rozważań dla poszczególnych przodków wybierkowych.

W celu przeprowadzenia wspomnianych analiz i ocen porównawczych niezbędne są:

- zbiory danych obejmujące zaszczości o działalności kopalni ujmowane na bieżąco,
- zbiory danych wynikowych, a więc wielkości sterowalne,
- zbiory obiektów obserwacji, tj. kopalni węgla i przodków wybierkowych,
- oraz wypracowane i przedstawione w niniejszej pracy metody i techniki obliczeniowe.

Schemat ideowy sterowania procesami wydobywczymi dla kopalni węgla wg opracowanej metody przedstawiono na rys. 9.2. Biorąc pod uwagę istotę i charakterystyczne cechy przebiegów procesów wydobywczych w kopalni węgla i w przodkach wybierkowych, wejściowe wielkości opisujące te procesy można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- sterowalne, tzn. których wartości mogą być zmieniane w określonym zakresie i wpływające na wartości wielkości sterowanych, kryterialnych,
- niesterowalne bądź bardzo trudne do sterowania lub też niepodatne na sterowanie.

Ten podział wielkości wejściowych jest zależny między innymi od etapów wykorzystania powyższej metody.

Ostatnia grupa zmiennych wynika przede wszystkim z warunków zalegania złoża i występujących warunków górniczo-geologicznych. Sposób i zasady prowadzenia eksploatacji w kopalni węgla kamiennego określają przepisy szczegółowe ustalone przez Ministerstwo Górnictwa i Energetyki.

Schemat sterowania wielkościami wejściowymi pokazano na rys. 9.3.

Informacje o odchyleniach wielkości sterowalnych czy też wskaźników normatywnych są podstawą do podjęcia określonych przedsięwzięć organizacyjnych lub technicznych, których zasadniczym celem powinno być "naprowadzenie" ich wartości na optymalne trajektorie sterowania.

9.6. Wykorzystanie opracowanej metody w praktyce przemysłu węglowego

Opracowana metoda, jak wykazały przeprowadzone badania, może być wykorzystana do sterowania procesami wydobywczymi na poziomie:

- kopalni węgla,
- przodków wybierkowych.

Punktem wyjścia jest dobór zmiennych objaśniających i objaśnianych procesy wydobywcze. Z punktu widzenia problemów sterowania istotne znaczenie ma podział zmiennych objaśniających na cechy:

- bazowe, które mają charakter parametrów, tzn. wielkości wynikające z przyjętych założeń,
- instrumentalne podlegające sterowaniu.

Proces sterowania procesem wydobywczym w zasadzie ma charakter iteracyjny. W kolejnych krokach iteracyjnych poprzez zmianę wartości zmiennych sterujących uzyskuje się żądane efekty - wartości zmiennych wynikowych (kryteriów) lub przyjmując wartości cech bazowych poszukuje się wartości zmiennych instrumentalnych. Zakresy zmienności zmiennych podlegające sterowaniu możliwe są do uzyskania przez wyznaczenie górnych i dolnych biegunów zmiennych dla danej podgrupy w ramach wydzielonych grup typologicznych badanych obiektów.

W przytoczonym przykładzie niniejszej pracy pominięto opis procedury iteracyjnego dochodzenia w wyznaczeniu strategii sterowania.

W wyniku stosowania w praktyce przemysłu węglowego opracowanej metody sterowania może pojawić się problem występowania zbyt małego frontu eksploatacyjnego dla zakładanych wielkości wydobycia węgla. Wówczas strategia sterowania w wyniku przeprowadzonych obliczeń wskazuje na potrzeby uruchomienia dodatkowej ściany węglowej, zaś wielkości wynikowe: pracochłonności i kosztów własnych wydobycia obejmują nakłady na uzbrojenie tej ściany, tj. pracochłonność oraz część kosztów, która jest pokrywana ze środków obrotowych kopalni. Wiadomo, że w ramach wydzielonych grup i podgrup typologicznych kopalń węgla wyznaczyć można obiekt, który charakteryzuje się największą wartością wskaźnika Δ_1 . Taki obiekt stanowi "wzorzec" dla pozostałych obiektów, bowiem odznacza się największą sprawnością techniczno-organizacyjną wśród wszystkich pozostałych obiektów w grupie typologicznej. Górny biegun, jego wartości składowe elementów można interpretować jako hipotetyczny obiekt zdefiniowany za pomocą przyjętych cech. Ten hipotetyczny obiekt może być wzorem w określaniu cech sterowalnych, szczególnie dla przodków wybierkowych.

Opracowana metoda i jej zastosowanie do sterowania procesami wydobywczymi może stanowić narzędzie w planowaniu jako uzupełnienie dotychczasowych metod i sposobów stosowanych w praktyce przemysłowej oraz w kontroli przebiegu procesów wydobywczych w kopalni węgla i przodkach wybierkowych. Etapy wykorzystania opracowanej metody sterowania do praktyki przemysłu węglowego przedstawiono schematycznie w tablicy 9.9.

Tablica 9.9

Etapy wykorzystania opracowanej metody sterowania do praktyki górniczej

<p>Modele i pomoce obliczeniowe, inżynierskie</p>	<p>Gromadzenie danych wejściowych, ich aktualizacja oraz sposoby przedstawienia wyników obliczeń</p> <p>Pomoce obliczeniowe: metoda taksonomiczna, analiza wielowymiarowa</p> <p>Modele: wydobywanie, pracochłonność, koszty wydobycia, dla kopalni węgla kamiennego oraz przodków wybierkowych</p>	<p>Programy na EBC-PC</p>
<p>Etap planowania</p>	<p>1. Planowane wielkości dla KWK:</p> <ul style="list-style-type: none"> - wydobywanie w węglu handlowym, - pracochłonność pracowników grupy przemysłowej, - koszty wydobycia, - ilość przodków wybierkowych. <p>2. Planowane wielkości dla poszczególnych przodków wybierkowych w danej kopalni węgla:</p> <ul style="list-style-type: none"> - urobek węglowy, - pracochłonność przodkowa 	<p>złożone wartości zmiennych wejściowych</p> <ul style="list-style-type: none"> - charakterystyki przodków wybierkowych - założone wartości zmiennych wejściowych dla poszczególnych przodków
<p>Etap sterowania</p>	<p>Wyznaczenie strategii sterowania wielkościami wejściowymi dla:</p> <ul style="list-style-type: none"> - poszczególnych przodków wybierkowych, - kopalni węgla 	<p>obliczenie wartości zmiennych wejściowych dla danych kryteriów</p>
<p>Etap obliczenia wielkości wejściowych</p>	<p>Wyznaczenie opracowanymi modelami matematycznymi wielkości wejściowych dla obliczeniowych zmiennych wejściowych</p>	<p>oczekiwane wartości:</p> <ul style="list-style-type: none"> - dla kopalni węgla (wydobywanie, pracochłonność, koszty wydobycia), - dla poszczególnych przodków wybierkowych (urobek węglowy, pracochłonność przodkowa)
<p>Etap analizy i podejmowania decyzji</p>	<p>Analiza przyczyn odchylenia wartości obliczeniowych od faktycznie uzyskiwanych lub założonych</p> <p>Wypracowanie racjonalnych przedsięwzięć techniczno-organizacyjnych w odniesieniu do wprowadzenia ewentualnych zmian wielkości wejściowych</p>	<p>wprowadzenie zmian techniczno-organizacyjnych do eksploatacji górniczej</p>

9.7. Wnioski

Z przytoczonych rozważań wynikają następujące wnioski:

1. Przeprowadzona analiza pozwala zdefiniować w kategoriach ilościowych tak ważne pojęcie, jakim jest obraz obiektu wielowymiarowego i wykazać do sterowania procesami zachodzącymi w obiekcie.
2. Dzięki definicji obiektu złożonego i wielowymiarowego można zlokalizować dwa punkty odniesienia porównań wielocechowych, a mianowicie dolny P i górny Q biegun zbioru obrazów.
3. Za pomocą tych biegunów można określić pozycję każdego obiektu w skali potrzeb sterowania i zmian zmiennych objaśniających.
4. Dzięki określeniu pozycji obiektu staje się możliwe wskazanie dla każdego obiektu innego obiektu, który go bezpośrednio wyprzedza. Wyprzedzający obiekt może być modelem do sterowania dla obiektu wyprzedzanego.
5. Znajomość pozycji współrzędnych dla każdego obiektu umożliwia formułowanie różnych strategii sterowania procesami wydobywczymi w tym obiekcie. Strategie te są formułowane za pomocą metody analogii, która polega na przyjęciu przypuszczeń, iż obiekt sterowany osiągnie w przyszłości stan podobny do tych, które zostały aktualnie osiągnięte przez bardziej zaawansowane obiekty.
6. Zaproponowana metoda zmusza do badania wartości informacyjnej poszczególnych zmiennych, za pomocą których zostały zdefiniowane obiekty wielowymiarowe. Może to być wskazanie pośrednie w odniesieniu do wyjść systemów informatycznych obecnie eksploatowanych przez kopalnie węgla.
7. Po wybraniu cech (zmiennych), za pomocą których definiuje się obiekty wielowymiarowe, można dokonać oceny stymulującej siły, jaką na rozwój obiektów wywierają poszczególne zmienne. Oceny tej dokonano w pracy wykorzystując opracowane modele regresji dla zmiennych objaśnianych.
8. Modele cząstkowe zmiennych objaśnianych dla kopalni węgla i przodka wybierkowego pozwalają na obliczenie optymalnych wartości charakteryzujących procesy wydobywcze.
9. Za pomocą przedstawionej metody można wyznaczyć ścieżkę racjonalnego sterowania, a następnie dla każdego obiektu odpowiadającą hipotetyczną strategię sterowania.

[Faint text in the first column of the table]	[Faint text in the second column of the table]	[Faint text in the third column of the table]
---	--	---

10. WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzone rozważania w niniejszej pracy pozwalają na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

A. Zagadnienia ogólne

1. Problemy sterowania procesami wydobywczymi w kopalniach węgla i przodkach wybierkowych mają istotny wpływ na całokształt zarządzania kopalnią węgla kamiennego. Rozwiązanie tych problemów decyduje o:

- efektywności gospodarowania w kopalniach węgla,
- realizacji przez kopalnie ważnych zadań o charakterze produkcyjnych i ekonomiczno-organizacyjnym.

2. Dotychczasowa praktyka dowodzi, że w zakresie operatywnego zarządzania procesami wydobywczymi przeważają działania o charakterze subiektywnym, opartym na analizach nie uwzględniających charakteru i specyfiki tych procesów, tj. wielowymiarowości i wielokryterialności.

B. Metodologia badań

1. Metoda grupowej oceny ekspertów, jej zastosowanie dla systemów szczególnie złożonych, jakimi są procesy wydobywcze w kopalniach węgla i w przodkach wybierkowych, pozwala na dobór potencjalnych zmiennych objaśniających te procesy. Wypracowane w ramach metody systemowej techniki pozwalają na redukcję tego zbioru do zbioru istotnych zmiennych objaśniających.

2. Znając zbiór istotnych zmiennych objaśniających i ich realizacje procesów wydobywczych, charakteryzujące warunki sterowania w kopalni węgla, można metodami taksonomicznymi przeprowadzić podział obiektów na grupy statystycznie jednorodne. Jak wykazały badania, w ramach wydzielonych grup typologicznych przeprowadzone wnioskowanie statystyczne, z uwzględnieniem zmiennej struktury kopalni węgla, umożliwia:

- w sposób bardziej precyzyjny na określenie obrazów badanych obiektów,
- określenie względnych różnic między obiektami.

3. Kryterium jednorodności danych statystycznych, zmienna struktura kopalni węgla w ramach wyszczególnionych grup typologicznych pozwoliły na wyróżnienie 10 modeli matematycznych trójzrównaniowych opisujących:

- wielkość wydobycia w węglu handlowym,

- pracochłonność grupy pracowników przemysłowych,
- koszty jednostkowe wydobycia.

4. Dla przodków wybierkowych w ramach opracowanych grup typologicznych kopalń wyznaczono 24 modele matematyczne dwurównaniowe opisujące analitycznie następujące zmienne objaśniane:

- wielkość wydobycia,
- pracochłonność przodkową.

Jak wykazały badania, rodzaj obudowy zmechanizowanej jest czynnikiem wyróżniającym dany typ modelu.

5. Wykorzystanie koncepcji wielowymiarowej analizy porównawczej do wyznaczenia strategii sterowania procesami wydobywczymi na poziomie kopalni węgla i przodków wybierkowych umożliwiło przedstawienie problematyki sterowania tymi procesami w sposób wielowymiarowy i wielokryterialny.

6. Przeprowadzone badania wykazały, że ujęcie sterowania, oparte na podejściu systemowym w jeden schemat badań, pozwala na:

- opracowanie rodziny modeli matematycznych dostosowanych do specyfiki sterowania procesami wydobywczymi,
- przyjęcie wzorcowego obiektu do sterowania w ramach typologicznych grup, charakteryzującego się największą wartością wskaźnika Δ_1 (wzór 8.9) i sprawnością techniczno-organizacyjną spośród wszystkich obiektów w grupie,
- określenie optymalnych wartości wielkości sterowalnych ze względu na przyjęte kryteria,
- opracowanie metody w formie algorytmów nadających się do zaprogramowania na EMC.

C. Praktyka górnicza

1. Opracowana metoda sterowania procesami wydobywczymi uwzględnia potrzeby i wymagania kopalń węgla kamiennego. Jej przydatność odnosi się do:

- operatywnego zarządzania procesami wydobywczymi,
- planowania produkcji górniczej na szczeblu kopalni i poszczególnych przodków wybierkowych,
- kontroli zaprojektowanych parametrów w trakcie przebiegów procesów produkcyjnych,
- projektowania wyposażenia technicznego wyrobisk wybierkowych oraz przeprowadzania analiz ekonomicznych.

2. Wyznaczenie, z punktu widzenia przyjętych kryteriów, racjonalnej strategii sterowania procesami wydobywczymi przebiega, jak wykazano, w sposób iteracyjny. Jednak biorąc pod uwagę obecny i przyszłościowy stan wyposażenia kopalń węgla w środki informatyczne, obliczenia mogą być przeprowadzone przez poszczególne służby kopalń węgla.

3. Opracowana metoda stanowi cenne narzędzie planowania jako uzupełnienie metod dotychczas stosowanych w praktyce przemysłowej oraz służy do kontroli procesów wydobywczych w kopalniach węgla i w przodkach wybiórkowych.

LITERATURA

- [1] ACKOFF R.L.: Decyzje optymalne w badaniach stosowanych. PWN, Warszawa 1969.
- [2] AMEY L.: Budget Planning and Control Systems Pitman. London 1979.
- [3] AOKI M.: Optimal Control and System Theory in Dynamic Economic Analysis - North Holland. New York 1976.
- [4] ASHEBY W.R.: Wstęp do cybernetyki. PWN, Warszawa 1963.
- [5] BARTOSIEWICZ S.: Prosta metoda wyboru zmiennych objaśniających w modelach ekonometrycznych. Prace Naukowe WSE, Wrocław 1974.
- [6] BELLMAN R.E.: Adaptacyjne procesy sterowania. PWN, Warszawa 1965.
- [7] BELLMAN R.E.: Programowanie dynamiczne. PWE, Warszawa 1967.
- [8] BIAŁOSIEWICZ J.: O metodach redukcji danych opartych na procesach uczenia w zastosowaniu do syntezy klasyfikatorów optymalnych. Archiwum Automatyki i Telekomunikacji. T. XII. z. 4. 1968.
- [9] BILIŃSKI A.: Sposób doboru obudowy zmechanizowanej i indywidualnej dla ścian zawałowych w kopalni węgla kamiennego. Wyd. GIG, Katowice 1978.
- [10] BILIŃSKI A., SIKORA W.: Zastosowanie metod statystycznych do analizy wyników produkcyjnych ścian zawałowych. "Przegląd Górniczy" 1962, nr 4.
- [11] BOGDAN L. Metoda korelacji rangowej. Program dla komputera ODRA 1325. Prace IOK. Cybernetyka stosowana i informatyka. Warszawa 1976, nr 30.
- [12] BOX G.B.P., JENKINS G.M.: Analiza szeregów czasowych. Prognozowanie i sterowanie. PWN, Warszawa 1983.
- [13] BRZEZIŃSKI J., STACHOWSKI R.: Zastosowanie analizy wariancji w eksperymentalnych badaniach psychologicznych. PWN, Warszawa 1984.
- [14] CAVALLO R.: The role of Systems Methodology in Social Science Research. Boston 1979.
- [15] CHAJKIM W., NAJDIEMOW W., CRAWŁOW S.: Korelacja i modelowanie statystyczne w rachunku ekonomicznym. PWN, Warszawa 1968.
- [16] CHEJTMAN S.: Organizacja produkcji rytmicznej. PWE, Warszawa 1973.
- [17] COX D., HINKLEY D.: Zadaczi po teoretycznej statystyce z rozwiązaniami. Mir, Moskwa 1981.
- [18] CRANER H.: Matematyczne metody statystyki. Mir, Moskwa 1975.
- [19] DRAPER N.R., SMITH H.: Analiza regresji stosowana. PWN, Warszawa 1973.
- [20] DRUCKER P.P.: Skuteczne zarządzanie. PWN, Warszawa 1976.
- [21] EHRLICH A.: Źródła i metody zbierania informacji. TNOiK, Warszawa 1962.
- [22] FREUND J.E.: Podstawy nowoczesnej statystyki. PWN, Warszawa 1968.
- [23] GODDARD L.S.: Metody matematyczne w badaniach operacyjnych. PWN, Warszawa 1966.
- [24] GOODWIN G.C., PACYNE R.J.: Dynamic System Identification. Experimental design and data analysis. Academic Press, New York 1977.

- [25] GOŚCIŃSKI J.: Elementy cybernetyki w zarządzaniu. PWE, Warszawa 1968.
- [26] GOŚCIŃSKI J.: Projektowanie systemów zarządzania. PWN, Warszawa 1971.
- [27] GOŚCIŃSKI J.: Zarys teorii sterowania ekonomicznego. Warszawa 1977.
- [28] GOŚCIŃSKI J.: O systemach informacyjno-decyzyjnych. "Zarządzenie" 1978, nr 9/10.
- [29] GOŚCIŃSKI J.: Sterowanie i planowanie. Ujęcie systemowe. PWE, Warszawa 1982.
- [30] GRANPE D.: Metody identyfikacji systemów. Mir, Moskwa 1976.
- [31] GREEN J.: Statystyka matematyczna. Modele i zadania. PWN, Warszawa 1978.
- [32] GRENIEWSKI M.: Cybernetyka ekonomiczna, Skrypt CODKK. Warszawa 1964.
- [33] GRENIEWSKI M.: Cybernetyka niematematyczna. PWN, Warszawa 1967.
- [34] GRUDZEWSKI Z.: Identyfikacja procesów w zarządzaniu. Ekonomiczne modele wymiarowe. PWN, Warszawa 1984.
- [35] GRZYWAŁ A., LIPCZYK A.: Algorytmy sterowania ścian wydobywczych w górnictwie węglowym. "Przegląd Górniczy" 1971, nr 7-8.
- [36] GÓRECKI H., TUROWICZ A.: Sterowanie optymalne. Przegląd metod matematycznych. Warszawa - Wrocław 1970.
- [37] HALL A.D.: Podstawy techniki systemów. Ogólne zasady projektowania. PWN, Warszawa 1960.
- [38] HELLWIG Z.: Zastosowanie przekształcenia ortogonalnego do wyznaczenia dopuszczalnych wartości zmiennych objaśniających w modelu ekonometrycznym. "Przegląd Statystyczny" 1974, z. 4.
- [39] HELLWIG Z.: Przechodność regulacji skorelowania zmiennych losowych i płynące stąd wnioski ekonometryczne. "Przegląd Statystyczny" 1978, z. 1.
- [40] KACZOREK T.: Teoria układów regulacji automatycznej. WNT, Warszawa 1974.
- [41] KĄCIK E.: Wykorzystanie opinii ekspertów i wyników modeli ekonometrycznych przy podejmowaniu decyzji optymalnej. "Przegląd Statystyczny" 1976, z. 2.
- [42] KLIR G.J.: Ogólna teoria systemów. WNT, Warszawa 1976.
- [43] KOONTZ H., O'DONNELL G.: Zasady zarządzania. PWN, Warszawa 1969.
- [44] KORBINSKI N.E.: Podstawy sterowania w systemach ekonomicznych. PWE Warszawa 1972.
- [45] KOZDRÓJ M.: Metody rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej w organizacji produkcji górniczej. Wys. Śląsk, Katowice 1969.
- [46] KOZDRÓJ M.: Organizacja i podstawy automatyzacji zarządzania w kopalniach węgla kamiennego. Wyd. Śląsk, Katowice 1972.
- [47] KOZDRÓJ M., PRZYBYŁA H.: Teoria organizacji i zarządzania. Część III. Modele matematyczne w organizacji produkcji górniczej. Pol. Sl. Gliwice 1986.
- [48] KOŹMIŃSKI A.K.: Zarządzanie systemowe. PWE, Warszawa 1973.
- [49] KOŹMIŃSKI A.K.: Zarządzanie. Analiza systemowa procesów i struktur. PWE, Warszawa 1974.
- [50] KRAWCZYK W.: Metoda oceny układów techniczno-organizacyjnych w przedkach ścianowych kopalni węgla. Prace OBRSM i AG z. 12, Katowice 1980.
- [51] KULIKOWSKI R.: Sterowanie w wielkich systemach. WNT, Warszawa 1970.
- [52] MAŃCZAK M.: Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania. WNT, Warszawa 1971.

- [53] MARKIEWICZ E.: Badania nad czynnikami kształtującymi koszty własne w kopalniach węgla kamiennego. "Przegląd Górniczy" 1964, nr 7-8.
- [54] MARKIEWICZ E.: Mechanizacja i wielkość kopalni a wydajność pracy i koszt własny. Wyd. Śląsk, Katowice 1964.
- [55] MASTEJ M., MICHNICKI L.: Skomputaryzowane analizy porównawcze narzędziem oceny efektywności stosowanych technologii. "Wiadomości Górnicze" 1977, nr 4.
- [56] MYNARSKI S.: Elementy teorii systemów i cybernetyki. PWN, Warszawa 1979.
- [57] OKOŃ J.: Analiza czynnikowa. PWN, Warszawa 1965.
- [58] PAWŁOWSKI Z.: Wstęp do statystycznej metody reprezentacyjnej. PWN, Warszawa 1972.
- [59] PAWŁOWSKI Z.: Statystyka matematyczna. PWN, Warszawa 1976.
- [60] PEŁKA B.: Analiza i projektowanie przebiegu procesów produkcyjnych w kopalniach. Wyd. Śląsk, Katowice 1966.
- [61] PEŁKA B.: Zarys ekonomiki i organizacji przemysłowych procesów produkcyjnych. Ujęcie systemowe. PWE, 1974.
- [62] PIETROWSKI H.: Kierunki analizy stanu organizacyjnego przedsiębiorstw. TNOiK, Bydgoszcz 1971.
- [63] PLUTA W.: Wielowymiarowa analiza porównawcza w badaniach ekonomicznych. PWE, Warszawa 1977.
- [64] POTOCKI CZ.A.: Metoda oceny poziomu techniczno-organizacyjnego czynnych ścian zmechanizowanych. Praca doktorska. Pol. Śląska, Gliwice 1970.
- [65] POTOCKI CZ.A.: Teoretyczny model analizy diagnostycznej w procesie wytwórczym. ZN Pol. Śl., Organizacja, z.1. Gliwice 1971.
- [66] POTOCKI CZ.A., KROCZEK G.: Prognozowanie wielkości produkcji w kopalni węgla kamiennego. ZN Pol. Śl. Górnictwo, z. 79, Gliwice 1977.
- [67] POTOCKI CZ.A., CZABANKA J.: Symulacja w zarządzaniu procesami produkcyjnymi. ZN Pol. Śl. Górnictwo, z. 84, Gliwice 1978.
- [68] POTOCKI CZ.A., KOZDRÓJ M., WOJCIECHOWSKI J.: Podstawy mechanizacji i automatyzacji zarządzania w górnictwie. Pol. Śl., Gliwice 1979.
- [69] POTOCKI CZ.A.: Diagnostyka procesów produkcji górniczej. Pol. Śl. Gliwice 1979.
- [70] POTOCKI CZ.A., PRZYBYŁA H.: Badania operacyjne w górnictwie. Pol. Śl. Gliwice 1980.
- [71] POTOCKI CZ.A., KOZDRÓJ M., WEIGEL M.: Organizacja i zarządzanie w górnictwie. Pol. Śl. Gliwice 1981.
- [72] POTOCKI CZ.A., CHOWANIEC J.: Wypracowanie stosowanego modelu kopalni węgla kamiennego w oparciu o najmniejsze jednostki statystyczno-rozliczeniowe oraz analiza możliwości i czasu przejścia na rozwiązania modelowe. ZN Pol. Śl. Gliwice 1982.
- [73] POTOCKI CZ.A., PRZYBYŁA H., TUREK M.: Zagadnienie optymalizacji układu techniczno-organizacyjnego procesu wybierania. ZN Pol. Śl. Górnictwo, z. 107, Gliwice 1981.
- [74] POTOCKI CZ.A., TUREK M.: Podstawowe aspekty analizy porównawczej układów techniczno-organizacyjnych wyrobisk wybierkowych. ZN Pol. Śl., Organizacja, z. 18, Gliwice 1985.
- [75] PRACA ZBIOROWA: Mały słownik cybernetyczny. Wiedza Powszechna, Warszawa 1973.
- [76] PRACA ZBIOROWA: Informacja i cybernetyka. WNT, 1970.

- [77] PRACA ZBIOROWA: Wypracowanie stosowanego modelu kopalni węgla kamiennego w oparciu o najmniejsze jednostki statystyczno-rozliczeniowe oraz analiza i możliwości przejścia na rozwiązanie modelowe. Problem resortowy MG nr 115. Zadanie 10.4. Pol. Sl. IOiEG, Gliwice 1978.
- [78] PRACA ZBIOROWA: Badania operacyjne w nowoczesnym zarządzaniu. PWE, Warszawa 1974.
- [79] PRZYBYŁA H., CZABANKA J.: Propozycja metody usprawnienia procesu produkcyjnego i obiektywizacji oceny uzyskiwanych wyników w kopalniach węgla kamiennego. ZN Pol. Sl., Górnictwo, z. 71, Gliwice 1976.
- [80] PRZYBYŁA H.: Wpływ warunków górniczo-geologicznych na wyniki produkcyjne ścian kombajnowych. ZN Pol. Sl., Górnictwo, z. 84, Gliwice 1978.
- [81] RADZIKOWSKI W.: Matematyczne techniki zarządzania. PWE, Warszawa 1980.
- [82] ROKITA J., STRZODA J.: Analiza ekonomiczna w kopalniach węgla kamiennego. AE, Katowice 1968.
- [83] ROKITA J., STRZODA J.: Metody oceny efektywności produkcji kopalń węgla kamiennego. Wyd. Śląsk, Katowice 1976.
- [84] ROZIN B.B.: Teoria rozpoznawania obrazów w badaniach ekonomicznych. PWE, Warszawa 1979.
- [85] SADOWSKI W.: Teoria podejmowania decyzji. Wstęp do badań operacyjnych. PWE, Warszawa 1964.
- [86] SADOWSKI W.: Teoria podejmowania decyzji. PWE, Warszawa 1969.
- [87] SIEDLECKA U., SIEDLECKI J.: Wyznaczanie dopuszczalnych wartości objaśniających. "Przegląd Statystyczny" P.S. 1976, nr 2.
- [88] SIKORA W.: Środki zwiększenia mocy produkcyjnej ścian zmechanizowanych kombajnami w polskim przemyśle węglowym. "Przegląd Górniczy" 1964, nr 11,
- [89] SITKO W.: Badanie związków pomiędzy koncentracją a kosztami pozaprodukcyjnymi w kopalniach węgla kamiennego. Praca habilitacyjna. Pol. Sl., Gliwice 1970.
- [90] SITKO W., CHMIELA A., KOZYRA J.: Projektowanie organizacji wybierania węgla kamiennego. Pol. Sl., Gliwice 1973.
- [91] STACHOWICZ J.: Optymalizacja procesu wybierania złoża w czynnej kopalni głębinowej węgla kamiennego w ujęciu planowania taktycznego i perspektywicznego w świetle teorii gry z naturą. Praca habilitacyjna, Pol. Sl. Gliwice 1974.
- [92] STEPOWSKI M.: System projektowania organizacji i zarządzania. "Przegląd Organizacji" 1970, nr 9.
- [93] TREMBECKI A.S.: Wykorzystanie majątku trwałego w procesie produkcji przemysłowej. PWE, Warszawa 1980.
- [94] TREMBECKI A.S.: Matematyczne metody w górnictwie. Wyd. Śląsk, Katowice 1969.
- [95] TREMBECKI A.S.: Teoria samoregulacji układów elementarnych potoków produkcyjnych kopalni. AGH, nr 182, Kraków 1967.
- [96] TRINBERGEN J.: Wprowadzenie do ekonometrii. PWN, Warszawa 1957.
- [97] TRZECINIECKI J.: Ujęcie systemowe w projektowaniu organizacji. PWE, Warszawa 1967.
- [98] TRZECINIECKI J.: Diagnostyczne i prognostyczne projektowanie organizatorskie. PWE, Warszawa 1970.
- [99] WAGNER H.M.: Badania operacyjne - zastosowanie w zarządzaniu. PWE, Warszawa 1980.
- [100] WELFE W.: Metody i modele ekonomiczno-matematyczne w doskonaleniu zarządzania gospodarką socjalistyczną. PWE, Warszawa 1981.

- [101] WENDCEL E.: Elementy prognozowania dynamicznego. PWE, Warszawa 1968.
- [102] WĘGRZYŃ S.: Podstawy automatyki. PWN, Warszawa 1974.
- [103] WIENER N.: Cybernetyka, czyli sterowanie i komunikacja w zwierzęciu i maszynie. PWN, Warszawa 1971.
- [104] WISZNIEWSKI Z.: Zarządzanie przedsiębiorstwem przemysłowym. PWE, Warszawa 1973.
- [105] VOLK W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WPT, Warszawa 1973.
- [106] ZAJĄC E.: Metoda modelowania matematycznego i algorytmizacji ciągłych procesów technologicznych w kopalniach. ZH AGR, nr 36 Kraków 1972.
- [107] ZAJĄC E.: Istota modeli i ich podziału oraz zastosowanie w pracach inżynierskich i ekonomiczno-organizacyjnych. "Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa" 1972, nr 6.
- [108] ZBICHORSKI Z.: Nowoczesne projektowanie procesu produkcyjnego. "Przełom Organizacji" 1970, nr 6.
- [109] ZIKLENIEWSKI J.: Organizacja i zarządzanie. PWN, Warszawa 1976.

W y k a z

symboli identyfikujących gwarectwa i kopalnie PW

Symbol cyfrowy	Nazwa przedsiębiorstwa
11..	Jaworznicko-Mikołowskie Gwarectwo PW
1101	Kopalnia Jaworzno
1105	Kopalnia Siersza
1106	Kopalnia Janina
1107	Kopalnia Brzeszcze
1108	Kopalnia Silesia
1109	Kopalnia Bolesław Śmiały
1112	Kopalnia Plast
1114	Kopalnia Ziemowit
1131	Kopalnia Komuna Paryska
12..	Dąbrowskie Gwarectwo PW
1201	Kopalnia Jowisz
1202	Kopalnia Grodziec
1204	Kopalnia Czerwona Gwardia
1207	Kopalnia Sosnowiec
1209	Kopalnia Czerwone Zagłębie
1210	Kopalnia Kazimierz-Juliusz
1211	Kopalnia Niwka Modrzejów
1212	Kopalnia Siemianowice
1213	Kopalnia Andaluzyja
1214	Kopalnia Julian
1231	Kopalnia Generał Zawadzki
13..	Katowickie Gwarectwo PW
1311	Kopalnia Mysłowice
1312	Kopalnia Wieczorek
1313	Kopalnia Wujek
1314	Kopalnia Gotwald
1315	Kopalnia Katowice
1316	Kopalnia Mureki

Sybol cyfrowy	Nazwa przedsiębiorstwa
1317	Kopalnia Staszic
1318	Kopalnia Lenin
1322	Kopalnia Barbara-Chorzów
1327	Kopalnia Polska
14..	Bytomskie Gwarectwo PW
1411	Kopalnia Wawel
1412	Kopalnia Śląsk
1413	Kopalnia Pokój
1414	Kopalnia Nowy Wirek
1415	Kopalnia Miechowice
1417	Kopalnia Szombierki
1418	Kopalnia Bobrek
1419	Kopalnia Halemba
1425	Kopalnia Rozbark
1426	Kopalnia Dymitrow
1427	Kopalnia Powstańców Śląskich
15..	Zabrzańskie Gwarectwo PW
1512	Kopalnia Pstrowski
1513	Kopalnia Dębieńsko
1521	Kopalnia Zabrze
1522	Kopalnia Sośnica
1523	Kopalnia Makoszowy
1524	Kopalnia Gliwice
1526	Kopalnia Knurów
1527	Kopalnia Szczygłowice
16..	Rybnickie Gwarectwo PW
1601	Kopalnia Rydułtowy
1602	Kopalnia Anna
1604	Kopalnia Marcel
1605	Kopalnia Rymer
1606	Kopalnia Chwałowice
1607	Kopalnia Jankowice
1609	Kopalnia Młogo Maja
1610	Kopalnia Jaskrębie
1611	Kopalnia Moszczenica
1612	Kopalnia Manifest Lipcowy
1613	Kopalnia Borynia

Symbol cyfrowy	Nazwa przedsiębiorstwa
1614	Kopalnia XIX-Lecia PRL
1615	Kopalnia ZMP
17..	Górnośląskie Gwarectwo PW
1701	Kopalnia Wałbrzych
1702	Kopalnia Viktoria
1703	Kopalnia Thorez
1705	Kopalnia Nowa Ruda

STEROWANIE PROCESAMI WYDOBYWCZYMI W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO
W UJĘCIU SYSTEMOWYM

S t r e z a c z e n i a

Podstawowym celem pracy jest opracowanie zalgorytmizowanej metody identyfikacji procesów produkcyjnych, która umożliwi skuteczne sterowanie procesami wydobywczymi w kopalni węgla kamiennego.

Stosownie do sformułowanych celów przyjęto podstawy metodologiczne przeprowadzonych prac badawczych opartych na metodzie systemowej i badaniu procesów wydobywczych w kategoriach systemów złożonych. Uwzględniając specyfikę i charakter przebiegów procesów wydobywczych w kopalniach węgla i w przodkach wybierkowych, dla celów sterowania zbudowano modele obiektów o zmiennej strukturze opartych na informacjach o grupie obiektów. Stąd tezę pracy sformułowano następująco:

Wypracowane w ramach podejścia systemowego koncepcje metod i technik umożliwiają opracowanie zalgorytmizowanych sposobów sterowania procesami wydobywczymi oraz zbudowanie modeli matematycznych opisujących te procesy na poziomie kopalni węgla i przodka wybierkowego.

W celu uzasadnienia tezy opracowano lub zaadoptowano następujące metody i techniki badawcze:

- metodę grupowej oceny ekspertów,
- metody analizy czynnikowej i głównego czynnika,
- metodę taksonomiczną,
- metodę analizy regresji dla budowy modeli wieloczynnikowych.

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano skończony zbiór istotnych zmiennych objaśniających, ale wystarczający do sterowania procesami wydobywczymi dla kopalń węgla (tablica 5.10) oraz przodków wybierkowych (tablica 5.11).

Zbiór zmiennych objaśniających obejmował:

- dla kopalń węgla wielkości: wydobyte kopalni w węgla handlowym, pracochłonność (grupy przemysłowej), koszt jednostkowy wydobycia węgla,
- dla przodków wybierkowych wielkości: wydobyte ściany, pracochłonność w ścianie.

Ze względu na realizacje poszczególnych istotnych zmiennych objaśniających procesy sterowania, obejmujące lata 1982-1986, uzyskano 4 grupy typologiczne kopalń węgla (tablica 6.1)

Biorąc pod uwagę kształtowanie się poszczególnych zmiennych objaśnianych pod wpływem zmian zmiennych objaśniających dokonano podziału wyodrębnionych grup typologicznych kopalń na podgrupy kopalń: rozwojowych, o ustabilizowanym wydobywaniu oraz zanikających. Dla poszczególnych podgrup typologicznych opracowano wielorównaniowe i wieloczynnikowe modele ekonometryczne w odniesieniu do kopalń węgla (tablica 7.6-7.9) oraz przodka wybierkowego (tablica 7.12).

Za pomocą współczynników korelacyjnych w opracowanych modelach uwzględniono:

- stosowane technologie wybierania dla kopalń węgla,
- rodzaje obudów i typy maszyn urabiających dla przodków wybierkowych.

Otrzymane modele ekonometryczne poddano analizie dokładności oraz stabilności współczynnika regresji ze względu na zmienną czasową. Za warunki skutecznego sterowania, opierając się na przeprowadzonych badaniach, przyjęto następujące cechy obiektów sterowanych: identyfikowalność, obserwowalność i sterowalność. Podany algorytm sterowania procesami wydobywczymi uwzględnia wyznaczenie racjonalnej strategii sterowania wybranymi wielkościami.

Wyniki rozważań teoretycznych zilustrowano przykładem sterowania procesem wydobywczym w wybranej kopalni węgla. Uzyskano pełne potwierdzenie praktyczne wyników badań i obliczeń według opracowanych metod. Wykorzystanie opracowanej metody w praktyce kopalni węgla przedstawiono w tablicy 9.1.

Pracę zakończono wnioskami odnoszącymi się do zagadnień ogólnych, przyjętej metodologii badań i praktyki górniczej.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ДОБЫЧИ УГЛЯ В КАМЕННУГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КАК СИСТЕМА

Резюме

Основной целью работы является разработка алгоритмического метода идентификации производственных процессов, который даст возможность успешно управлять процессами добычи угля в каменноугольных шахтах.

Соответственно сформулированным целям приняты методологические основы проводимых исследований, базирующихся на системном методе и исследовании процессов добычи в категориях сложных систем. Принимая во внимание специфику и характер прохождения процессов добычи угля в шахтах и очистных забоях, для целей управления построено модель объектов с переменной структурой на основе информации о группе объектов. Для этого тезис работы сформулирован следующим образом: концепции методов и техник, разработанных в рамках системного подхода, дают возможность разработать алгоритмические методы управления процессами добычи и построить математические модели описывающие эти процессы на уровне угольных шахт и очистных забоев.

С целью обоснования тезиса разработаны или адаптированы методы и техники исследования, а именно:

- метод групповой оценки экспертов;
- метод факторного анализа и главного фактора;
- таксонометрический метод;
- метод анализа регрессии для построения многофакторной модели;
- многомерный сравнительный анализ;

В результате проведенных исследований получено конечное множество важных выясняющих переменных, достаточное для управления процессами добычи для шахт (табл. 5.10) и очистных забоев (т. 5.11).

Множество выясняющих переменных охватывало:

- для шахт величины: добычу шахты в товарном угле, трудоемкость (промышленной группы), удельную стоимость добычи угля;
- для очистных забоев величины: добычу в лаве, трудоемкость в лаве.

Имея в виду реализацию отдельных важных переменных выясняющих процессы управления в 1982-86 г.г. выделены 4 типологические группы угольных шахт (табл. 6.1). Принимая во внимание формирование отдельных выясняющих переменных под влиянием изменения выясняющих переменных выделенные группы шахт разделены на подгруппы: перспективные, со стабилизированной добычей и умирающие. Для отдельных подгрупп разработаны многофакторные и со многими

уравнениями эконометрические модели для угольных шахт (табл. 7.6 - 7.9) и очистного забоя (табл. 7.12).

С помощью коэффициентов корреляции в разработанных моделях принято во внимание:

- существующие технологии добычи для угольных шахт;
- виды крепей и типы комбайнов для очистных забоев.

Полученные эконометрические модели проанализировано с точки зрения стабильности и точности коэффициента регрессии в виду переменной времени.

Условием успешного управления на основе произведённых исследований приняты следующие отличительные черты управляемых объектов: идентификационность, наблюдаемость и управляемость.

Данный алгоритм управления процессами добычи принимает во внимание определение рациональной стратегии управления выбранными величинами.

Результаты теоретических рассуждений проиллюстрированы примером управления процессом добычи в избранной шахте. Получено полное практическое подтверждение результатов исследований и расчётов на основе разработанных методов. Использование разработанного метода в практике работы шахты представлено в табл. 9.1.

Работа закончена выводами, относящимися к общим проблемам, принятой методологии исследований и горной практике.

THE AUTOMATIC CONTROL OF MINING PROCESSES IN HARD-COAL MINES AS A SYSTEM

Summary

The fundamental aim of this paper is to develop an algorithmic method of identifying productive processes, which would make it possible to control effectively mining processes in hard-coal mines (collieries).

For this purpose the methodological foundations of investigations based on system methods were applied, as well as the results of tests dealing with mining processes from the viewpoint of complex systems. Taking into account the peculiar character of mining processes in collieries and stopes, models of plants of varying structures were constructed, basing on information concerning a group of such objects. Thus the thesis of the present paper was formulated as follow: The conceptions of methods and techniques developed in result of such a system approach make it possible to find algorithmic methods of controlling mining processes and to construct mathematical models to describe these processes on the level of a colliery and stoping face.

In order to motivate these theses investigation methods and techniques were elaborated or adapted, viz.:

- the group evaluation by experts,
- the factor analysis and main factor method,
- the taonomic method,
- the regressive analysis for the construction of multifactor models.

The result of these investigations was a finite set of essential explanatory variables, however sufficient for the purpose of controlling mining processes in collieries (Table 5.10) and stoping faces (Table 5.11).

The set of explanatory variables comprised:

- in the case of collieries - the output of the coal mine (commercial coal), labour consumption (industrial group), cost per piece of coal production;
- in the case of stopes - the output of the coal-face, labour consumption on the face.

As far as the realisation of the respective essential explanatory variables within the years 1982-1986 is concerned, four typological groups of collieries were obtained (Table 6.1).

Taking into account the formation of the respective variables, explained under the influence of changes of the explanatory variables, the isolated typological groups of collieries were divided into subgroups: into developing collieries with a stabilized output and declining ones. For the respective typological subgroups multi-equation and multi-factor econometric models were set up, separately for collieries (Tables 7.6 to 7.9) and stopping faces (Table 7.12).

By means of correlation coefficients the developed models take into consideration

- the applied technologies of mining in collieries, and
- the kinds of linings and types of winning machines applied in the stopes.

The obtained econometric models were analysed as to the accuracy and stability of the coefficient of regression against the variable of time.

As conditions of effective controlling the following characteristics of the controlled plants have been assumed: their ability to be identified, to be observed and to be steered.

The proposed algorithm of controlling mining processes allows for the determination of a reasonable strategy of controlling some selected quantities.

The results of theoretical considerations have been illustrated by an example of how to control the mining process in a selected coal mine. The results of our investigations and calculations have been fully confirmed. The application of the discussed method in practice in a colliery has been presented in Table 9.1.

Finally conclusions were drawn concerning general problems, the accepted methodology of researching and coal mining at full scale.

Cena zł 240,—

**WYDAWNICTWA NAUKOWE I DYDAKTYCZNE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
MOŻNA NABYC W NASTĘPUJĄCYCH PLACÓWKACH:**

- 44-100 Gliwice — Księgarnia nr 096, ul. Konstytucji 14 b
 - 44-100 Gliwice — Spółdzielnia Studencka, ul. Wrocławska 4 a
 - 40-350 Katowice — Księgarnia nr 015, ul. Żwirki i Wigury 33
 - 40-096 Katowice — Księgarnia nr 005, ul. 3 Maja 12
 - 41-900 Bytom — Księgarnia nr 048, Pl. Kościuszki 10
 - 41-500 Chorzów — Księgarnia nr 063, ul. Wolności 23
 - 41-300 Dąbrowa Górnicza — Księgarnia nr 081, ul. ZBoWiD-u 2
 - 47-400 Racibórz — Księgarnia nr 148, ul. Odrzańska 1
 - 44-200 Rybnik — Księgarnia nr 162, Rynek 1
 - 41-208 Sosnowiec — Księgarnia nr 181, ul. Zwycięstwa 7
 - 41-800 Zabrze — Księgarnia nr 230, ul. Wolności 288
 - 80-901 Warszawa — Ośrodek Rozpopowzechniania Wydawnictw Naukowych PAN —
Pałac Kultury i Nauki
- Wszystkie wydawnictwa naukowe i dydaktyczne zamawiać można poprzez Składnicę Księgarską w Warszawie, ul. Mazowiecka 9.