ZESZYTY
NAUKOWE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ

P. 3351/99

Marek JASZCZUK

Wpływ stanu obciążenia kombajnu ścianowego dużej mocy na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia

GÓRNICTWO
z. 240

GLIWICE
1999

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
ZESZYTY NAUKOWE
Nr 1406

P 3351/99

Marek JASZCZUK

WPŁYW STANU OBCIĄŻENIA KOMBAJNU ŚCIANOWEGO DUŻEJ MOCY NA MOŻLIWOŚĆ UZYSKANIA WYSOKIEJ KONCENTRACJI WYDOBYCIA

Gliwice 1999

OPINIODAWCY
Prof. dr inż. Zbigniew Korecki
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Korzeń

KOLEGIUM REDAKCYJNE

REDAKTOR NACZELNY – Prof. dr hab. Zygmunt Kleszczewski
REDAKTOR DZIAŁU – Dr. hab. inż. Franciszek Plewa - Profesor Politechniki Śląskiej
SEKRETARZ REDAKCJI – Mgr Elżbieta Lesko

REDAKCJA
Mgr Aleksandra Kłobuszowska

REDAKCJA TECHNICZNA
Alicja Nowacka

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Śląskiej

PL ISSN 0372 - 9508

Wydawnictwo Politechniki Śląskiej
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

Nakł. 110 + 83 Ark. wyd. 13,5 Ark. druk. 9,375 Papier offset. kl. III 70 x 100, 80 g
Oddano do druku 15.01.1999 r. Podpis. do druku 15.01.1999 r. Druk ukończ. w styczniu 1999 r.

Fotokopie, druk i oprawę wykonał „ROLEK", Gliwice, ul. Kazimierza Wielkiego 4

SPIS TREŚCI

Wykaz ważniejszych oznaczeń 7

1. Wstęp 11

2. Uzasadnienie celowości podjęcia tematu, cele poznawcze pracy 13

3. Studium identyfikacji wpływu wybranych czynników na stan zewnętrznego obciążenia kombajnu ścianowego dużej mocy 19
3.1. Metodyka zastosowanego postępowania badawczego 20
3.2. Badania eksploatacyjne kombajnów ścianowych dużej mocy 25
3.3. Analiza wpływu przebiegu procesu ładowania urobku na stanu zewnętrznego obciążenia kombajnu 28
3.4. Identyfikacja stanu zewnętrznego obciążenia kombajnu w różnych warunkach eksploatacyjnych 60
3.5. Podsumowanie i wnioski szczegółowe 85

4. Analiza możliwości uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia 87
4.1. Model teoretyczny przebiegu procesu produkcyjnego w przodku ścianowym 87
4.2. Analiza wpływu wybranych czynników na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia ze ściany 90
4.3. Podsumowanie i wnioski 100

5. Ocena prawidłowości doboru kombajnu do warunków eksploatacyjnych 102
5.1. Teoretyczno-eksperymentalny model energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym 102
5.2. Kryteria prawidłowości doboru kombajnu do warunków eksploatacyjnych 110
5.3. Wnioski 111

6. Model teoretyczny procesu ładowania urobku węglowego przez kombajn ścianowy 113
6.1. Ładowanie urobku organem wyprzedzającym 114
6.2. Ładowanie urobku organem tylnym 115
6.3. Podsumowanie 120

7. Analiza możliwości predykcji mocy pobieranej przez kombajn ścianowy 121
7.1. Weryfikacja i modyfikacja modelu opracowanego w Mitsui Miike Machinery Co.,Ltd. 121
7.2. Ustalenie dodatkowych czynników wpływających na pobór mocy 123
7.2.1. Korekta siły skrawania wynikająca ze zmienności relacji grubości skrawu i podziałki skrawania 124
7.2.2. Korekta wynikająca z uwzględnienia zjawiska odspajania naroży pokładu 129

7.2.3. Zmniejszenie obciążenia organów urabiających w wyniku łącznego uwzględnienia zjawiska odspajania naroży pokładu oraz zmienności relacji grubości skrawu i podziałki skrawania 131
7.2.4. Uwzględnienie oporów związanych z ładowaniem urobku 133
7.3. Podsumowanie 135

8. Wnioski i uwagi końcowe 136

Literatura 141

Streszczenie 146

CONTENTS

Specification of major denotations 7

1. Introduction 11

2. Motives and purpose of undertaking the research work, objectives of the work 13

3. Study on identifying the effect of selected factors on the state of external load of a heavy duty DERDS 19
3.1. Methodology of the applied research procedure 20
3.2. Operational tests of heavy duty DERDS 25
3.3. Analysis of the effect of a run of the action of cut coal loading on the state of shearer external load 28
3.4. Identification of the state of external load under different mining and geological conditions 60
3.5. Recapitulation and detailed conclusions 85

4. Analysis of the feasibility of high concentration of extraction 87
4.1. A theoretical model of a production process course on a longwall face 87
4.2. Analysis of the effect of selected factors on the feasibility of high concentration of extraction on a longwall face 90
4.3. Recapitulation and conclusions 100

5. Assessment of the selection of a shearer according to operating conditions in respect of its correctness 102
5.1. A theoretical and experimental model of specific energy consumption in the process of mining coal-bearing rock by means of a shearer 102
5.2. Criteria for the correct selection of a shearer according to operating conditions 110
5.3. Conclusions 111

6. A theoretical model of the action of cut coal loading with a shearer 113
6.1. Loading of cut coal with a leading cutting drum 114
6.2. Loading of cut coal with a trailing cutting drum 115
6.3. Recapitulation 120

7. Analysis of the possible prediction of power consumption of a shearer 121
7.1. Verification and modification of the model developed at the Mitsui Miike Machinery Co.,Ltd. 121
7.2. Determining of additional factors influencing the power consumption 123

7.2.1. Correction of the cutting force as a result of varying ratio of a cut depth to cutting pitch 124
7.2.2. Correction as a result of taking the phenomenon of spalling of the seam corners into account 129
7.2.3. Reduction of cutting drums load due to taking the phenomenon of spalling of the seam corners together with varying ratio of a cut depth to cutting pitch into account 131
7.2.4. Taking of resistance involved in cut coal loading into account 133
7.3. Recapitulation 135

8. Conclusions and final remarks 136

References 141

Abstract 148

WYKAZ OZNACZEŃ

a' – współczynnik skrawania stosowany w modelu Mitsui Miike Machinery Co.,Ltd.

a_p – wskaźnika przesłonięcia organu urabiającego rynnami przenośnika,

A – wysokość pryzmy urobku i warstwy węgla przy spągu wyrobiska,

b – szerokość płata ślimaka,

b_n – szerokość krawędzi tnącej noża [mm],*

c – współczynnik zwiększenia wolnej przestrzeni organu urabiającego,

C – wysokość pryzmy urobku pozostawionego na spągu,

d – średnica zewnętrzna powłoki płaszcza piasty organu urabiającego,

D – średnica zewnętrzna organu urabiającego z uwzględnieniem długości noży wystających z uchwytów [m],*

E_f – wskaźnik energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym,

E_i – energochłonność procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym w i–tym przedziale prędkości posuwu,

f_i – częstość występowania prędkości posuwu kombajnu w i–tym przedziale,

F_k – wskaźnik kruchości węgla [%],*

F_0 – pole powierzchni przekroju poprzecznego wolnej przestrzeni organu urabiającego,

F_p – część pola powierzchni przekroju poprzecznego organu urabiającego przesłonięta rynnami przenośnika,

$F_{0,5}$, $F_{0,33}$ – wskaźniki efektywności pracy kombajnu,

g – grubość skrawu,

g_{max} – maksymalna grubość skrawu,

g_o – optymalna grubość skrawu,

$g_{śr}$ – średnia grubość skrawu,

g_1, g_2 – średnia grubość skrawu na odcinkach drogi skrawania noża urabiającego, o grubości odpowiednio mniejszej i większej od grubości optymalnej,

h_p – wysokość profilu bocznego rynien przenośnika ścianowego,

h_1 – wysokość pryzmy urobku nie załadowanego organem wyprzedzającym,

H – wysokość ściany,

i – liczba płatów ślimaka,

k – współczynnik rozluźnienia urobku,

k_g, k_d – współczynnik korekcyjny zmiany obciążenia uwzględniający łączny wpływ zmienności grubości skrawu i rzeczywistego przekroju warstwy skrawanej,

k_j – wskaźnik udziału oporów ładowania urobku przez organy urabiające oraz oporów przemieszczania kombajnu,

k_l – współczynnik uwzględniający zwiększenie szerokości odsłonięcia swobodnej powierzchni warstwy przyspągowej,

k_{op} – współczynnik określający powierzchnię kontaktu organu tylnego z calizną,

k_s – współczynnik uwzględniający rzeczywisty przekrój warstwy skrawanej,

k_{sg}, k_{sd} – współczynnik zmiany obciążenia w wyniku odspajania górnych naroży pokładu, odpowiednio dla organu wyprzedzającego i organu tylnego,

k_Q – wskaźnik wykorzystania teoretycznej wydajności kombajnu,

k_{S1}, k_{S2}, k_{S3} – współczynnik uwzględniający rzeczywisty przekrój warstwy skrawanej w poszczególnych strefach związanych z grubością skrawu,

k_w – współczynnik zmiany obciążenia wynikający ze zmienności relacji grubości skrawu i podziałki skrawania,

k_{ZSR} – współczynnik odsłonięcia przodka,

k_1, k_2 – współczynnik korekcyjny siły skrawania, odpowiednio dla przedziałów o grubości skrawu mniejszej i większej od grubości optymalnej,

k_ψ – współczynnik uwzględniający własności plastyczne węgla,

l_k – długość kombajnu z uwzględnieniem średnicy organów urabiających,

l_1, l_2 – długości odcinków drogi skrawania w trakcie jednego obrotu organu urabiającego, odpowiadające wyróżnionym przedziałom grubości skrawu,

L – długość ściany,

m, m_i – liczba noży w linii skrawania,

n – liczba obrotów organu urabiającego [min^{-1}],*

$\overline{N}_i$ – wartość średnia poboru mocy w i–tym przedziale prędkości posuwu kombajnu,

N – sumaryczna moc kombajnu,

N_g, N_d – moc skrawania wyznaczona na podstawie ulepszonego modelu, odpowiednio dla organu wyprzedzającego i organu tylnego,

N_m – całkowita moc skrawania wyznaczona na podstawie zmodyfikowanego modelu Mitsui Miike Machinery Co.,Ltd. [kW],*

N_{MG}, N_{MD} – moc skrawania wyznaczona na podstawie zmodyfikowanego modelu Mitsui Miike Machinery Co.,Ltd., odpowiednio dla organu wyprzedzającego i organu tylnego [kW],*

p_z – wskaźnik udziału operacji technologicznych,

Q_t – maksymalna teoretyczna wydajność kombajnu,

R – szerokość ramienia wychylnego kombajnu,

s – wykładnik potęgowy stosowany w modelu Mitsui Miike Machinery Co.,Ltd.,

s_l – skok płata ślimaka,

S – teoretyczne pole przekroju poprzecznego warstwy urabianej danym organem,

t_{opt} – optymalna podziałka skrawania,

$t_{śr}$ – średnia podziałka skrawania, liczona jako średnia ważona wszystkich podziałek na tarczy odcinającej i płatach ślimaka,

T – dyspozycyjny czas pracy maszyn w przodku,

T_{pz} – czas operacji przygotowawczo-zakończeniowych cyklu produkcyjnego w ścianie,

u – całkowita liczba noży na organie urabiającym,

u_i – liczba noży w danej grupie,

u_n – liczba grup noży na organie urabiającym,

v_g, v_{gd}, v_{gw} – graniczne prędkości posuwu kombajnu,

v – prędkość posuwu kombajnu [m/min],*

$\overline{v}_i$ – wartość średnia prędkości posuwu kombajnu w i–tym przedziale prędkości,

v_m, v_u – prędkość posuwu kombajnu odpowiednio w tracie urabiania i ruchu manewrowego przy urabianiu jednostronnym,

v_p, v_z – prędkość posuwu kombajnu odpowiednio przy zwrocie przeciwnym i zgodnym ze zwrotem odstawy przy urabianiu dwustronnym,

v_{max} – maksymalna prędkość posuwu kombajnu,

V – objętość wolnej przestrzeni organu urabiającego,

V_d – ilość urobku ładowanego organem tylnym,

V_n – ilość urobku, który może być przekazany na przenośnik pod ramieniem wychylnym kombajnu,

V_u – ilość urobku odspojonego od calizny w trakcie jednego obrotu organu urabiającego,

V_z – ilość urobku, który ulega samozaładowaniu z pryzmy pozostającej na warstwie węgla urabianej organem tylnym,

w – wykładnik potęgowy stosowany w modelu Mitsui Miike Machinery Co.,Ltd.,

W – wysokość warstwy węgla urabianej organem tylnym,

W_{Q1}, W_{Q2} – wydobycie dobowe uzyskane ze ściany odpowiednio przy urabianiu jednostronnym i dwustronnym,

z – nominalna szerokość zabioru organu urabiającego,

z_e – rzeczywista szerokość zabioru kombajnu,

z_o – nominalna szerokość zabioru organu urabiającego pomniejszona o sumę podziałek noży na tarczy odcinającej.

z_p, z_z – rzeczywista szerokość zabioru uzyskana odpowiednio przy zwrocie urabiania przeciwnym i zgodnym ze zwrotem odstawy,

α_o – kąt pochylenia bocznej powierzchni pryzmy urobku,

β – kąt środkowy oparty na łuku wyznaczonym przez wysokość rynien przenośnika,

γ – gęstość właściwa węgla,

γ_s – kąt nachylenia linii płata ślimaka,

δ – kąt usypu pryzmy urobku nie załadowanego organem wyprzedzającym,

Δa – szerokość samoczynnie odpadającej warstwy węgla mierzona przy stropie wyrobiska [cm],

ΔD – odległość ładowarki osłonowej od krawędzi tnących noży urabiających,

Δg – grubości warstwy, która ulega samozaładowaniu,

ΔS – część pola przekroju poprzecznego warstwy węgla urabianej danym organem, która odpowiada samoczynnie odspojonemu narożu pokładu,

ΔX – pole przekroju poprzeczny prześwitu pomiędzy ramieniem wychylnym kombajnu, a rynnami przenośnika ścianowego,

Θ – droga kątowa płata ślimaka, w trakcie której urobek jest przekazywany pod ramieniem wychylnym kombajnu,

η – wskaźnik czystości wybierania złoża,

η_t – wskaźnik sprawności technologii,

ρ_0 – wartości kąta naturalnego usypu urobku w spoczynku,

φ – kąt środkowy wyznaczający położenie noża,

φ_o – kąt środkowy określający położenie grubości skrawu równej grubości optymalnej,

φ_w – kąt środkowy oparty na łuku odpowiadającemu wysokości warstwy urabianej organem tylnym [rad],*

χ – kąt ustalający położenie ramienia wychylnego kombajnu,

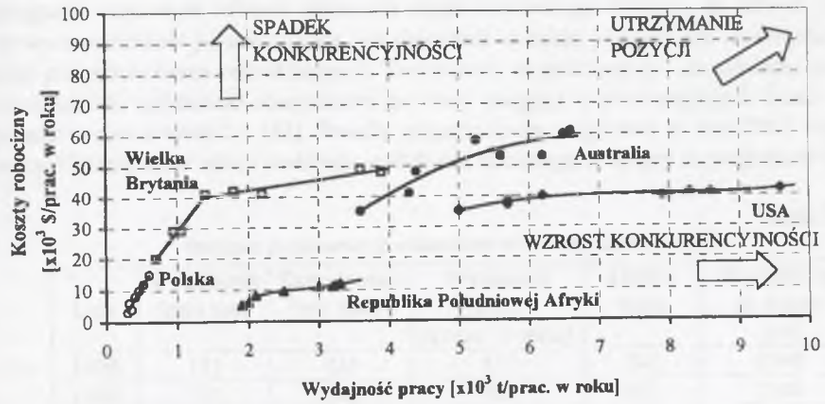
ψ_T – stopień wykorzystania dyspozycyjnego czasu pracy maszyn.

Uwaga: wymiary wielkości zaznaczonych gwiazdką dotyczą zależności 7.1 i 7.2.

1. WSTĘP

Zdaniem ekspertów zajmujących się światowym górnictwem, miernikiem zmian konkurencyjności producentów węgla kamiennego jest nachylenie linii trendu obrazującej zależność rocznej płacy przypadającej na zatrudnionego w górnictwie do wydajności pracownika odniesionej do jednego roku (rys. 1.1) [54].

Analiza tego trendu wykazała, że uzyskany w Polsce postęp w zakresie zwiększenia wydajności w okresie ostatnich ośmiu lat okazał się niewystarczający dla zrekompensowania kosztów robocizny, wskutek czego nasz przemysł węglowy stał się znacznie mniej konkurencyjny na rynku światowym. Przykładowo w latach 1990÷1994 koszty robocizny wzrastały średnio o około 25% rocznie, podczas kiedy przyrost wydajności pracy w ujęciu rocznym wyniósł tylko około 2% [54].



Rys. 1.1. Trendy konkurencyjności producentów węgla kamiennego
Fig. 1.1. Competitiveness trends for hard coal producers

Dla porównania, w przypadku górnictwa USA i Republiki Południowej Afryki linia trendu przebiega prawie poziomo, co oznacza, że wzrost wydajności jest większy od wzrostu kosztów robocizny, dzięki czemu konkurencyjność górnictwa węgla kamiennego tych krajów wzrasta. Nachylenie tej linii dotyczącej górnictwa australijskiego wskazuje, że relacja pomiędzy obu analizowanymi parametrami utrzymuje się tam w ostatnich latach mniej więcej na tym samym poziomie z nieznaczną tendencją szybszego wzrostu wydajności pracy.

Kształtowanie się wartości obu parametrów decyduje o kosztach robocizny przypadających na tonę uzyskanego wydobycia, które stanowią jeden z głównych składników kosztów produkcji tony węgla kamiennego.

Wydajność pracy [t/prac. w roku] zależy w znacznym stopniu od systemu eksploatacji, wykorzystania potencjału zastosowanych maszyn i urządzeń, liczby zatrudnionych i warun-

ków górniczo-geologicznych. Ponieważ ze względu na warunki zalegania pokładów w Polsce podstawowym systemem eksploatacji jest system ścianowy, zwiększenie wydajności można uzyskać poprzez jednoczesny wzrost wydobycia ze ściany i zmniejszenie liczby zatrudnionych. Stąd koniecznością staje się zdecydowana poprawa przebiegu procesu produkcyjnego w ścianie prowadząca do zwiększenia koncentracji wydobycia.

2. UZASADNIENIE CELOWOŚCI PODJĘCIA TEMATU, CELE POZNAWCZE PRACY

Wymogi związane z integracją z krajami Unii Europejskiej, otwarcie polskiej gospodarki na świat oraz sprostanie warunkom globalnej konkurencji sprawiły, że ogólne cele reformy górnictwa węgla kamiennego w Polsce w latach 1998÷2002 zostały sformułowane następująco:

A. Dostosowanie podmiotów gospodarczych w górnictwie węgla kamiennego do efektywnego ekonomicznego funkcjonowania w warunkach gospodarki rynkowej i utrzymanie konkurencyjności polskiego węgla na rynku krajowym.
B. Zaspokojenie do roku 2010 krajowego zapotrzebowania na węgiel kamienny i ekonomicznie uzasadnionego eksportu, przy zachowaniu konkurencyjności w warunkach określonych przez Unię Europejską oraz przy otwartości rynku wszystkich nośników energii [32].

Realizacja celów cząstkowych w latach 1997÷2002 ma w efekcie doprowadzić do wzrostu wydajności pracy z 561 do 836 t/prac. w roku. Szczegółowa analiza danych zawartych w programie rządowym reformy górnictwa węgla kamiennego dowodzi, że jednym z podstawowych warunków jej powodzenia jest uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia. W wyniku przeprowadzenia restrukturyzacji: technicznej, organizacyjnej i zatrudnienia podstawowe wskaźniki techniczno-ekonomiczne powinny osiągnąć w poszczególnych latach wartości przedstawione w tabeli 2.1 [62]. Ponadto prognozuje się osiągnięcie w roku 2005 wydajności pracy 1000 t/prac. w roku i średniego wydobycia dobowego ze ściany na poziomie 4300 t.

Tabela 2.1

Prognoza podstawowych wskaźników techniczno-ekonomicznych

Lata	Wydobycie [mln ton]	Zatrudnienie [tys. prac.]	Wydajność pracy [t/prac. w roku]	Liczba ścian	Wydobycie ze ściany [t/d]
1998	121	235	515	243	2008
1999	117	200	585	203	2300
2000	114	171	666	163	2800
2001	113	148	764	137	3300
2002	112	134	836	118	3800

Biorąc pod uwagę rozwój wysokiej koncentracji produkcji w górnictwie światowym i krajowym W. Sikora zdefiniował pojęcie ściany o wysokiej koncentracji wydobycia w perspektywie roku 2000 jako przodka o produkcji średniodobowej w skali miesiąca równej co najmniej 5000 ton i osiągającej wydobycie szczytowe na poziomie 12 000 t/d [65].

Przyjęta wartość średniego wydobycia dobowego w pełni odzwierciedla potrzeby wynikające z programu reformy górnictwa węgla kamiennego w Polsce w latach 1998÷2002.

Uzyskanie tak dużego wydobycia ze ściany uzależnione jest od wielu, często wzajemnie powiązanych, czynników natury górniczej, technicznej i organizacyjnej [25]. Najważniejsze z nich to:

- dysponowanie odpowiednią ze względu na warunki naturalne partią złoża,
- właściwe zaprojektowanie systemu eksploatacji,

- dysponowanie odpowiednim wyposażeniem technicznym,
- wykorzystanie potencjalnych możliwości technicznych maszyn w danych warunkach,
- efektywny czas pracy maszyn w przodku,
- uzyskanie wymaganego postępu robót przygotowawczych.

Warunkiem podstawowym uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia w ścianie jest dysponowanie odpowiednią partią złoża. Według specjalistów francuskich [14], uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia jest możliwe w pokładzie grubym niemetanowym, eksploatowanym na jedną warstwę, zalegającym na głębokości do 500 m, bez zaburzeń tektonicznych, przy korzystnych skałach otaczających pokład i nachyleniu nie przekraczającym 10^0.

Istnieje duża zgodność co do tego, że najkorzystniejszy zakres wysokości ścian mieści się w granicach od 1,7 do 4,5 m. Doświadczenia górnictwa australijskiego z końca lat osiemdziesiątych wykazały, że zwiększenie wydajności maszyn jest możliwe w pokładach o grubości 3,0÷3,5 m lub większej, przy czym za górną granicę przyjmuje się 4,3÷4,5 m. W pozostałym zakresie wysokości ścian znaczny wzrost wydobycia można uzyskać głównie przez zwiększenie czasu pracy maszyn w przodku [15]. W górnictwie amerykańskim natomiast zwiększenie wydobycia i wydajności przypisuje się nowej generacji maszyn górniczych, a najlepsze wyniki produkcyjne uzyskuje się w ścianach o wysokości 1,7÷3,7 m [6].

Następnym niezwykle ważnym czynnikiem jest prawidłowe zaprojektowanie systemu eksploatacji. Jego dobór jest uwarunkowany warunkami górniczo-geologicznymi, dotychczas prowadzoną eksploatacją oraz ochroną powierzchni przed szkodami górniczymi [25, 63]. W wyniku poczynionych ustaleń określa się sposób kierowania stropem oraz strukturę rozcięcia złoża, która determinuje następujące istotne parametry ściany: wysokość, długość, wybieg i nachylenie.

Generalnie przyjmuje się, że zwiększenie długości ściany sprzyja uzyskaniu wysokiej koncentracji wydobycia [30,50, 54, 63]. Poza tym wraz ze wzrostem długości ściany zmniejsza się wartość wskaźnika natężenia robót przygotowawczych. W zależności od kosztów drążenia i utrzymania chodników oraz zastosowanego wyposażenia ściany można ustalić optymalną długość ściany ze względu na kryteria minimum kosztów związanych z powyżej wymienionymi czynnikami [22, 52, 53].

Innym istotnym czynnikiem związanym z systemem eksploatacji jest wcześniejsze dobre rozeznanie złoża, czemu sprzyja prowadzenie ścian od pola. Wariant ten stał się dominujący w górnictwie światowym [7]. Wśród korzyści wynikających ze stosowania eksploatacji od pola wymienia się ponadto: obniżenie temperatury, odgazowanie złoża wzdłuż chodników, oddzielenie robót przygotowawczych od eksploatacyjnych. Poza tym uproszczone są operacje technologiczne w rejonie skrzyżowania ściana-chodnik związane z zabezpieczeniem stropu i utrzymaniem chodnika po przejściu frontu ścianowego.

Niestety, warunki naturalne zalegania pokładów w Polsce stanowią znaczne ograniczenie wzrostu koncentracji wydobycia. Do najważniejszych z nich należą:

- grubość pokładu,
- nachylenie pokładu,
- mikrotektonika złoża,
- zagrożenie tąpaniami,
- zagrożenie metanowe,
- urabialność węgla w pokładzie.

Poza tym ze struktury wiekowej naszych kopalń wynikają niekorzystne warunki rozcięcia złoża. Ograniczone są bowiem możliwości uzyskania wybiegów powyżej 1000 m oraz długości ścian w przedziale 250÷300 m. Stwarza to konieczność częstej relokacji wyposażenia technicznego ścian, której czas zależy od systemu transportu i pomocniczych środków technicznych będących w dyspozycji kopalni [33, 67]. Kolejne utrudnienie wynika z wymogów ochrony powierzchni przed szkodami górniczymi.

Ogólnie udział poszczególnych czynników ograniczających przedstawia się następująco:

- w pokładach cienkich o grubości do 1,5 m zalega blisko 40% zasobów,
- około 50% wydobycia pochodzi z pokładów zagrożonych tąpaniami, 30% uzyskuje się z pokładów o III stopniu zagrożenia,
- około 70% wydobycia pochodzi z pokładów zagrożonych metanem,
- ponad 60% pokładów węgla zaklasyfikowanych jest jako trudno i bardzo trudno urabialne, co rzutuje na moce kombajnów ścianowych,
- około 50% zasobów zalega pod obiektami na powierzchni.

W związku z tym podejmuje się różnorakie działania polegające między innymi na:

- ograniczaniu wydobycia z pokładów cienkich,
- zmniejszaniu wydobycia z pokładów wymagających stosowania podsadzki (w 1970 r. 50% wydobycia pochodziło ze ścian podsadzkowych, obecnie około 12%),
- ograniczaniu wydobycia w pokładach o najwyższym stopniu zagrożenia tąpaniami oraz silnie zametanowanych,
- wprowadzaniu kombajnów o coraz wyższej mocy.

Działania te pozwoliły na zdecydowany wzrost koncentracji produkcji w ostatnich latach, jednakże przy znacznym zmniejszeniu bazy zasobowej [50, 63].

Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej uwarunkowania, zauważamy, jak dużego znaczenia nabiera problem wykorzystania potencjalnych możliwości technicznych kombajnu ścianowego w warunkach danego przodka. Ograniczenie liczby ścian, w których istnieją warunki sprzyjające uzyskaniu dużego wydobycia, wymusza podjęcie przedsięwzięć mających na celu zwiększenie produktywności kombajnów ścianowych.

Porównanie wartości wydobycia dobowego warunkujących powodzenie reformy polskiego górnictwa węgla kamiennego (tabela 2.1) z wynikami produkcyjnymi ścian, w których zastosowano kombajny dużej mocy [63] wykazało, że w roku 1997 w 35% ścian wyposażonych w kombajny tej grupy nie osiągnięto poziomu wydobycia 2000 t/d, a więc wynikającej z założeń reformy wartości średniego wydobycia w roku 1998. Poziom wydobycia 3000 t/d, niezbędny do osiągnięcia po roku 2000, przekroczono tylko w 37% ścian z kombajnami o mocy równej lub większej od 500 kW, natomiast wydobycie dobowe większe od 5000 t już tylko w 3,5% ścian.

Udział liczby ścian wyposażonych w kombajny dużej mocy w liczbie ścian o wydobyciu mieszczącym się w poszczególnych przedziałach o rozstępie 1000 t/d przedstawia się następująco:

<1000 t/d	- 8,8%
1001÷2000 t/d	- 16,3%
2001÷3000 t/d	- 23,5%
3001÷4000 t/d	- 63,6%
4001÷5000 t/d	- 62,5%
>5000 t/d	- 66,7%

Stanowią one zatem większość w grupie ścian o wydobyciu większym od 3000 t/d, lecz jednocześnie znajdują się w grupie ścian o najmniejszym wydobyciu. Świadczy to o bardzo dużym zróżnicowaniu wyników produkcyjnych uzyskiwanych przez kombajny tej grupy.

Ponieważ liczba kombajnów dużej mocy w ostatnich 5 latach gwałtownie wzrosła [63], efektywność ich wykorzystania będzie decydowała o średnim wydobyciu dobowym uzyskiwanym w polskim górnictwie węgla kamiennego [64]. Zapewnienie zatem lepszego wykorzystania kombajnów tej grupy w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego jest bardzo ważkim problemem z punktu widzenia poprawy stanu polskiego górnictwa.

Bardzo istotny wpływ na wykorzystanie potencjalnych możliwości technicznych kombajnu ścianowego ma prawidłowe zaprojektowanie systemu mechanizacyjnego, obejmujące całokształt zagadnień związanych z rozeznaniem warunków górniczo-geologicznych, wyborem systemu eksploatacji i doborem wyposażenia technicznego. Dobór kombajnu ścianowego, który jest jednym z podstawowych elementów wyposażenia technicznego ścianowego systemu mechanizacyjnego, stanowi pewien wycinek tego złożonego procesu, polegającego na doborze istniejących środków technicznych i form organizacji produkcji do realizacji określonego celu technicznego, co stanowi dziedzinę działań inżynierskich należącą do projektowania kompilacyjnego.

Prawidłowy dobór kombajnu wymaga rozpatrzenia wszystkich uwarunkowań związanych z pracą kombajnu w określonych warunkach górniczo-geologicznych i górniczo-technicznych danego przodka oraz wynikających z powiązania funkcjonalnego i współzależności parametrów technicznych podstawowych maszyn tworzących kompleks mechanizacyjny. W rezultacie przeprowadzonych działań obejmujących:

- określenie danych wejściowych,
- sprecyzowanie kryterium celu technicznego oraz kryteriów uzupełniających,
- utworzenie pola możliwych rozwiązań,
- dokonanie optymalnego wyboru zgodnie z przyjętymi kryteriami,

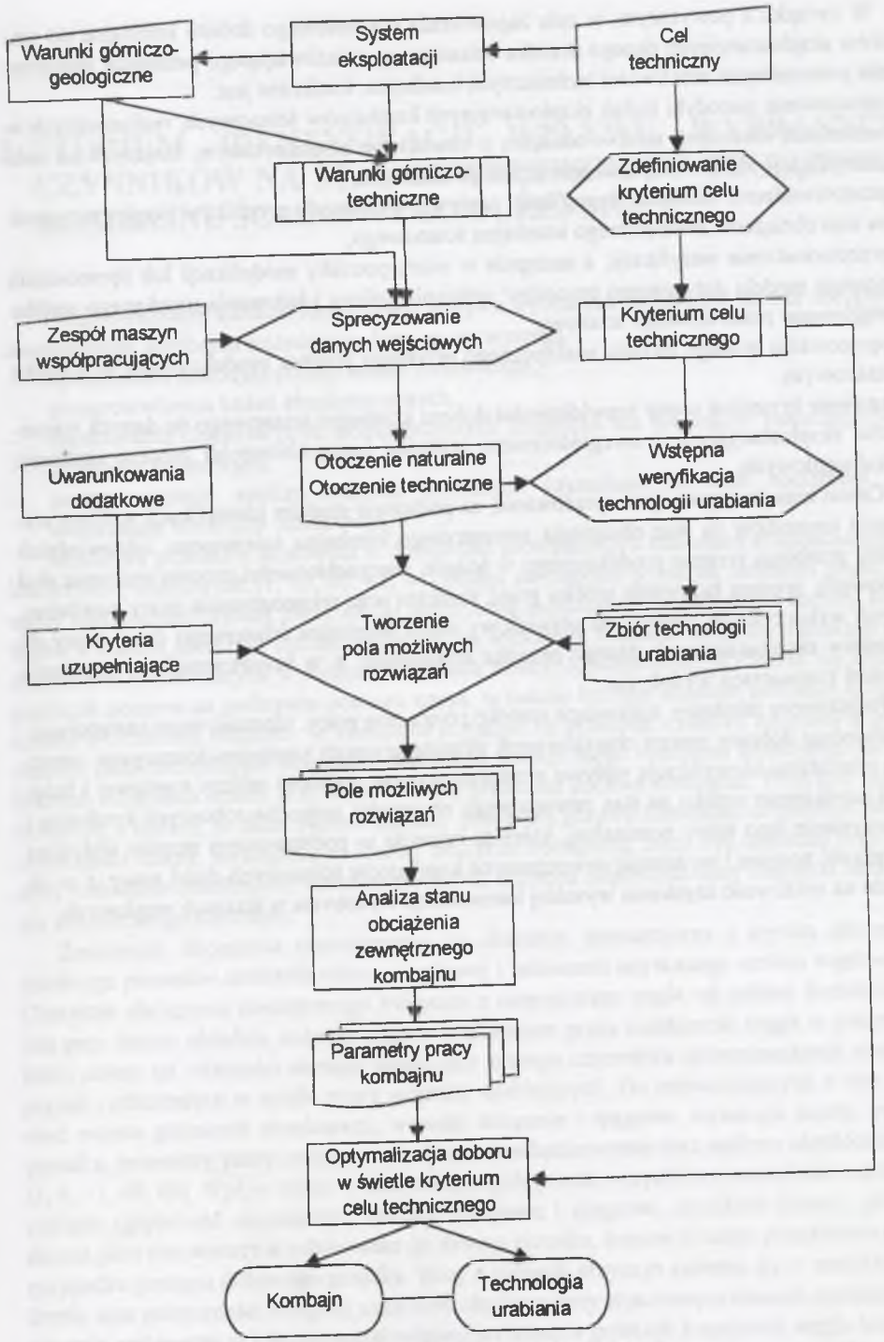
uzyskuje się rozwiązanie, na które składają się: określony typ kombajnu, sprecyzowane parametry pracy, wyposażenie dodatkowe oraz technologia urabiania.

Ogólną procedurę doboru kombajnu ścianowego do określonych warunków naturalnych i technicznych danego przodka ścianowego przedstawiono w postaci algorytmu na rys. 2.1.

Zaproponowany tok postępowania stwarza warunki umożliwiające osiągnięcie założonego celu technicznego dzięki pełnemu wykorzystaniu potencjalnych możliwości technicznych kombajnu w warunkach projektowanej ściany.

W trakcie procesu doboru kombajnu, opierając się na dostępnych modelach teoretycznych dotyczące procesów: skrawania i ładowania urobku przez kombajn ścianowy [4, 5, 10, 12, 16, 17, 36, 37, 42, 43, 46, 72], określa się wymaganą moc kombajnu oraz parametry jego wyposażenia, które decydują o stanie obciążenia zewnętrznego kombajnu w warunkach eksploatacyjnych określonego przodka ścianowego.

Wpływ wielu czynników związanych z własnościami węgla, stanem naprężenia urabianej calizny, stanem stępienia noży urabiających [3, 9, 11, 34, 35, 38, 41, 43, 69, 70] oraz duże zróżnicowanie warunków naturalnych i technicznych przodków ścianowych w polskich kopalniach węgla kamiennego sprawiają, że stosowane modele nie zawsze prawidłowo odzwierciedlają przebieg podstawowych operacji technologicznych realizowanych przez kombajn ścianowy. Przeprowadzone dotychczas badania eksploatacyjne kombajnów ścianowych są wycinkowe i nie pozwalają na pełną weryfikację przyjętych modeli teoretycznych [8, 40, 43].



Rys. 2.1. Schemat blokowy procesu projektowania systemu mechanizacyjnego
Fig. 2.1. Block diagram of designing of a mechanisation system

W związku z powyższym, w celu zapewnienia prawidłowego doboru kombajnu do warunków eksploatacyjnych danego przodka ścianowego, umożliwiającego pełniejsze wykorzystanie potencjalnych możliwości technicznych kombajnu, konieczne jest:

- opracowanie metodyki badań eksploatacyjnych kombajnów ścianowych, realizowanych w warunkach złożonych stanów obciążeń o charakterze stochastycznym, mających na celu identyfikację stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu,
- przeprowadzenie studium identyfikacji wpływu wybranych czynników eksploatacyjnych na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego,
- przeprowadzenie weryfikacji, a następnie w miarę potrzeby modyfikacji lub opracowania nowego modelu dotyczącego procesów: urabiania calizny i ładowania uzyskanego urobku węglowego przez kombajn ścianowy,
- opracowanie nowego modelu analitycznego przebiegu procesu produkcyjnego w przodku ścianowym,
- ustalenie kryteriów oceny prawidłowości doboru kombajnu ścianowego do danych warunków eksploatacyjnych z uwzględnieniem czynnika energochłonności procesu urabiania skał węglowych.

Celem niniejszej pracy jest opracowanie, na podstawie studium identyfikacji wpływu wybranych czynników na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego, odpowiednich modeli: przebiegu procesu produkcyjnego w ścianie, energochłonności procesu urabiania skał węglowych, procesu ładowania urobku przez kombajn oraz prognozowania mocy kombajnu, których wykorzystanie pozwoli na prawidłowy dobór kombajnu ścianowego dużej mocy do warunków eksploatacyjnych danego przodka ścianowego, a w konsekwencji na uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia.

Podstawowe założenie, stanowiące szeroko pojętą tezę pracy, sformułowano następująco: Odpowiednio dobrany zestaw charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu ścianowego umożliwia miarodajną identyfikację wpływu przebiegu procesu urabiania calizny węglowej i ładowania uzyskanego urobku na stan zewnętrznego obciążenia zespołów roboczych kombajnu i wykorzystanie jego mocy nominalnej, które to czynniki w podstawowym stopniu wpływają na prędkość posuwu i wydajność nowoczesnych kombajnów ścianowych dużej mocy, a w rezultacie na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia w ścianach węglowych.

3. STUDIUM IDENTYFIKACJI WPŁYWU WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA STAN ZEWNĘTRZNEGO OBCIĄŻENIA KOMBAJNU ŚCIANOWEGO DUŻEJ MOCY

Przeprowadzenie studium identyfikacji wpływu wybranych czynników na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego dużej mocy wymaga:

- opracowania metodyki postępowania badawczego,
- przeprowadzenia badań eksploatacyjnych,
- opracowania charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu dla warunków poszczególnych przodków ścianowych,
- przeprowadzenia analizy wpływu wybranych czynników na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego.

Metodyka pomiarów stosowana w dotychczas prowadzonych badaniach eksploatacyjnych kombajnów ścianowych [1, 15, 40, 43, 44] polega na ciągłym pomiarze natężenia prądu lub mocy elektrycznej czynnej przez silniki elektryczne napędzające poszczególne zespoły kombajnu w trakcie urabiania calizny węglowej na wybranym odcinku lub kilku odcinkach pomiarowych usytuowanych w różnych miejscach ściany. Równocześnie wyznacza się średnią prędkość posuwu na podstawie pomiaru czasu, w trakcie którego kombajn pokonuje odcinek ściany o określonej długości. W rezultacie uzyskuje się przebiegi czasowe mierzonych parametrów odzwierciedlające zmienność obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego na wybranych odcinkach ściany przy danej średniej prędkości posuwu kombajnu. Poza tym należy liczyć się z faktem, że dana wartość średniej prędkości posuwu kombajnu na pewnym odcinku długości ściany, ze względu na losowy charakter obciążenia, może być uzyskana przy różnym rozkładzie chwilowych wartości prędkości, któremu odpowiada inny charakter obciążenia zewnętrznego kombajnu.

Zmienność obciążenia zewnętrznego ma charakter stochastyczny i wynika głównie z przebiegu procesów urabiania calizny węglowej i ładowania uzyskanego urobku węglowego. Charakter obciążenia zewnętrznego związany z odspojeniem węgla od calizny kształtowany jest przy danym układzie noży na organie urabiającym przez urabialność węgla w pokładzie, która zależy od własności samego węgla oraz szeregu czynników determinujących stan naprężeń i odkształceń w strefie pracy organów urabiających. Do najważniejszych z nich zaliczyć można głębokość eksploatacji, warunki stropowe i spągowe, wysokość ściany, postęp przodka, parametry pracy zestawów obudowy zmechanizowanej oraz wpływy eksploatacyjne [3, 9, 11, 48, 69]. Wpływ części z nich, związanych przede wszystkim z warunkami zalegania pokładu (głębokość eksploatacji, warunki stropowe i spągowe, wysokość ściany), przyjąć można jako niezmienny w odniesieniu do danego przodka. Inaczej sytuacja przedstawia się w przypadku postępu dobowego przodka, który z różnych przyczyn zmienia się w szerokim zakresie oraz podporności wstępnej zestawów obudowy przy stosowanym obecnie systemie sterowania zestawami w zdecydowanej większości ścian w polskich kopalniach węgla kamiennego. Sterowanie przyległe ręczne powoduje losowy charakter rozparcia poszczególnych zestawów, wskutek czego rzeczywista podporność wstępna różni się znacznie od nominalnej i

zmienia się wzdłuż długości ściany [28]. Opory skrawania mogą się zatem zmieniać zarówno wzdłuż długości ściany, jak i w trakcie wykonywania kolejnych skrawów.

Prędkość posuwu kombajnu decyduje o wydajności urabiania obu organów urabiających, co przy określonej wydajności ładowania urobku wpływa na przebieg procesu przekazywania uzyskanego urobku na przenośnik. Zatem zarejestrowany stan obciążenia zewnętrznego kombajnu odpowiada przebiegowi procesu ładowania urobku przy danej średniej prędkości posuwu.

W związku z powyższym uzyskane na podstawie dotychczas stosowanej procedury badawczej przebiegi czasowe mierzonych parametrów nie są w pełni reprezentatywne dla warunków eksploatacyjnych danego przodka ścianowego.

3.1. Metodyka zastosowanego postępowania badawczego

Biorąc pod uwagę fakt, że badania eksploatacyjne kombajnów ścianowych prowadzone są w warunkach charakteryzujących się złożonymi stanami obciążeń o charakterze stochastycznym, identyfikacja stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu wymaga opracowania nowej metodyki badań eksploatacyjnych uwzględniającej:

- zestaw odpowiednich charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu ścianowego,
- procedurę postępowania badawczego, pozwalającą na uzyskanie tych charakterystyk.

Zestaw charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu ścianowego, uzyskany na podstawie badań eksperymentalnych, powinien umożliwić przeprowadzenie wszechstronnej analizy pozwalającej na:

- identyfikację wpływu przebiegu procesu urabiania i ładowania uzyskanego urobku na stan obciążenia poszczególnych silników elektrycznych kombajnu,
- ustalenie wpływu czynników eksploatacyjnych na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu,
- porównanie stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu w przypadku zmiany parametrów jego wyposażenia technicznego lub zmiany warunków eksploatacyjnych,
- ocenę prawidłowości doboru kombajnu do warunków eksploatacyjnych danego przodka,
- ocenę prawidłowości działania układu automatycznego sterowania (regulacja prędkości posuwu kombajnu) oraz prawidłowości zasilania elektrycznego systemu mechanizacyjnego.

Ponieważ uzyskane w trakcie postępowania badawczego przebiegi czasowe poszczególnych parametrów charakteryzujących stan obciążenia silników elektrycznych kombajnu i całego kombajnu nie spełniają wymogów wynikających z wyżej przedstawionych celów, przebiegi te mogą stanowić jedynie bazę danych dla wyznaczenia charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu.

Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej cele zaproponowano następujący zestaw charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu ścianowego:

- zależność wartości średniej sumarycznej mocy pobieranej przez kombajn oraz zakresu jej zmienności od prędkości posuwu kombajnu,
- względne wykorzystanie nominalnej mocy kombajnu w odniesieniu do wartości średniej oraz maksymalnej w przedziałach prędkości posuwu kombajnu 0÷1, 1÷2, ..., 7÷8 m/min,
- częstość występowania poboru mocy większej od znamionowej w przyjętych przedziałach prędkości posuwu kombajnu,

- częstość występowania prędkości posuwu kombajnu w przyjętych przedziałach prędkości posuwu kombajnu,
- zależność wartości średniej natężenia prądu pobieranego przez poszczególne silniki napędzające organy urabiające kombajnu oraz zakresu jego zmienności od prędkości posuwu kombajnu,
- zależność wartości średniej napięcia zasilania i zakresu jej zmienności w funkcji prędkości posuwu kombajnu,
- względne obciążenia poszczególnych silników napędzających organy urabiające kombajnu uwzględniające średnią wartość natężenia prądu oraz wartości maksymalne, w przyjętych przedziałach prędkości posuwu kombajnu,
- częstość występowania wartości natężenia prądu wyższych od wartości progowej działania regulatora prędkości w przyjętych przedziałach prędkości posuwu kombajnu,
- zależność wartości średniej natężenia prądu pobieranego przez silnik elektryczny pompy ciągnika hydraulicznego kombajnu oraz zakresu jego zmienności od prędkości posuwu kombajnu,
- względne obciążenie silnika elektrycznego pompy ciągnika hydraulicznego kombajnu uwzględniające wartość średnią natężenia prądu oraz wartości maksymalne, w przyjętych przedziałach prędkości posuwu kombajnu,
- częstość występowania wartości prądów silnika pompy ciągnika hydraulicznego wyższych od prądu znamionowego w przyjętych przedziałach prędkości posuwu kombajnu.

Niezależnie od technologii urabiania kombajnem powyższe charakterystyki powinny być wyznaczone dla obu zwrotów urabiania. W przypadku urabiania jednostronnego jednemu zwrotowi odpowiada urabianie calizny węglowej, a drugiemu ruch manewrowy połączony z ładowaniem urobku. Przy urabianiu dwustronnym, oprócz charakterystyk odpowiadających obu zwrotom urabiania, istotne są również charakterystyki ogólne uzyskane na podstawie wszystkich danych dotyczących obu zwrotów urabiania.

Procedura postępowania badawczego uwarunkowana jest koniecznością uzyskania reprezentatywnej dla danych warunków eksploatacyjnych bazy danych, pozwalającej na wyznaczenie zaproponowanego zestawu charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu. W związku z powyższym przy planowaniu procedury postępowania badawczego oraz doborze aparatury pomiarowej należy stosować następujące zasady:

- baza danych pomiarowych powinna zawierać przebiegi czasowe następujących parametrów:
  - sumarycznej mocy pobieranej przez kombajn,
  - mocy lub natężenia prądu silników napędzających organy urabiające,
  - mocy lub natężenia prądu silnika napędzającego pompę ciągnika hydraulicznego,
  - napięcia zasilania,
  - prędkości posuwu kombajnu;
- pomiar wszystkich parametrów pracy kombajnu powinien być prowadzony w sposób ciągły przez okres co najmniej 1 doby;
- konieczna jest rejestracja zwrotu urabiania kombajnem;
- należy jednoznacznie zdefiniować usytuowanie organów urabiających przy obu zwrotach urabiania;
- częstość próbkowania sygnałów pomiarowych należy ustalić w zależności od celu prowadzonej analizy, dla celów identyfikacji obciążenia zewnętrznego kombajnu proponuje się częstość próbkowania 1 Hz;

- pomiary nie powinny być prowadzone bezpośrednio po postoju ściany wynoszącym 1 dobę lub dłuższym;
- realizacja pomiarów nie powinna zakłócać przebiegu procesu produkcyjnego w ścianie;
- szczegółowe dane dotyczące warunków naturalnych i technicznych przodka ścianowego powinny być zebrane na podstawie specjalnie opracowanej ankiety.

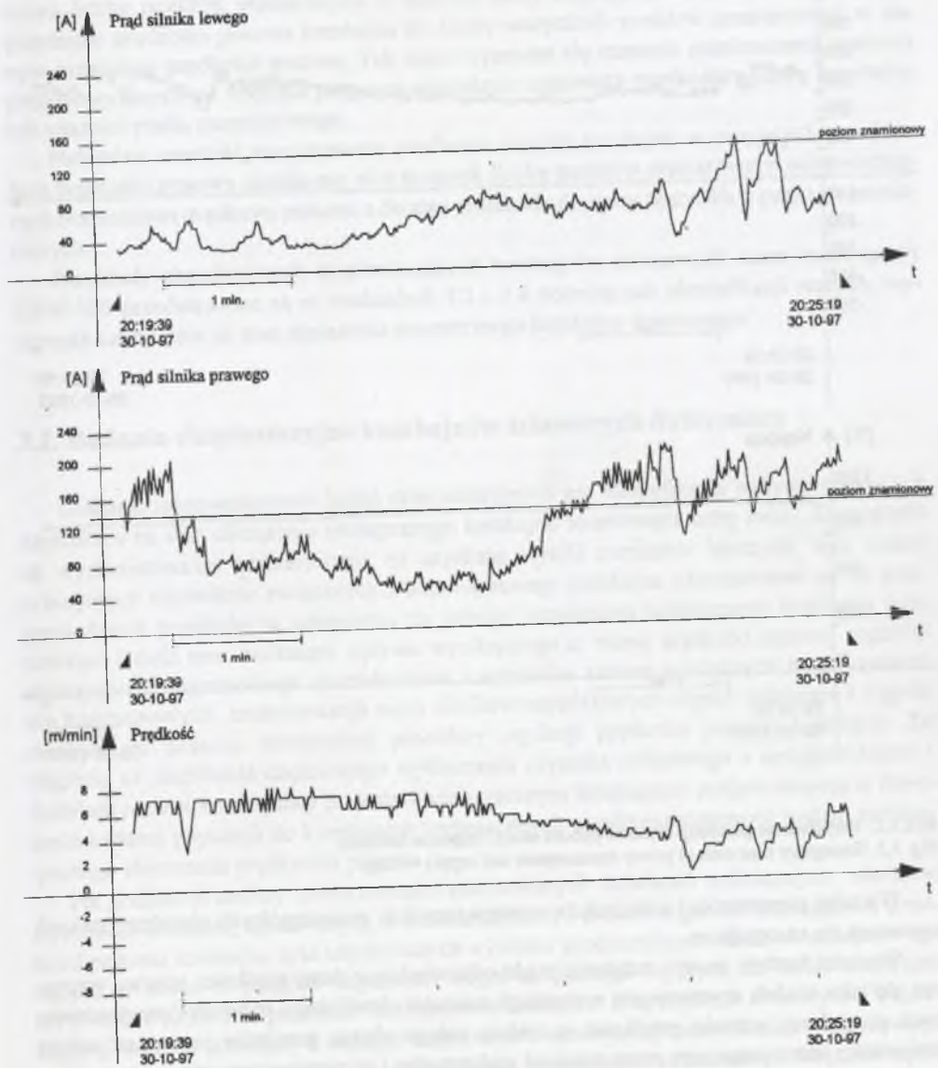
Ustalenie wymogu ciągłej rejestracji wszystkich parametrów pracy kombajnu ścianowego jest niezbędne dla uzyskania poszczególnych charakterystyk eksploatacyjnych w zaproponowanej postaci. Dzięki temu możliwa jest analiza stanu obciążenia zewnętrznego poszczególnych zespołów i całego kombajnu w funkcji prędkości posuwu. Odniesienie obciążenia zewnętrznego kombajnu do prędkości posuwu stwarza warunki porównania stanu obciążenia kombajnu w różnych warunkach eksploatacyjnych i przy różnym wyposażeniu technicznym samego kombajnu.

W celu jednoznacznego określenia położenia organów urabiających przy obu zwrotach urabiania wprowadzono pojęcie: organu lewego i prawego zgodnie z przyjętą ogólnie definicją, która określa odpowiednim mianem organ w zależności od jego usytuowania przy patrzeniu na kombajn od strony zrobów. Analogicznie przyjęto określenie zwrotu urabiania kombajnem: w lewo lub w prawo. Przy tworzeniu każdej charakterystyki pracy kombajnu przyjęto zasadę, że wartości prędkości posuwu kombajnu umieszczone po lewej stronie początku układu współrzędnych dotyczą zwrotu urabiania w lewo, a leżące po stronie przeciwnej zwrotowi urabiania w prawo. Z powyższych ustaleń wynika, że przy zwrocie posuwu w lewo organ lewy jest organem wyprzedzającym, który urabia warstwę przy stropie wyrobiska, a organ prawy, nazywany w dalszej części pracy organem tylnym, urabia wówczas warstwę węgla przy spągu wyrobiska. Analogicznie przy zwrocie posuwu w prawo organ prawy urabia warstwę przy stropie wyrobiska i jest organem wyprzedzającym, natomiast organ lewy, urabiający warstwę przyspągową, jest organem tylnym.

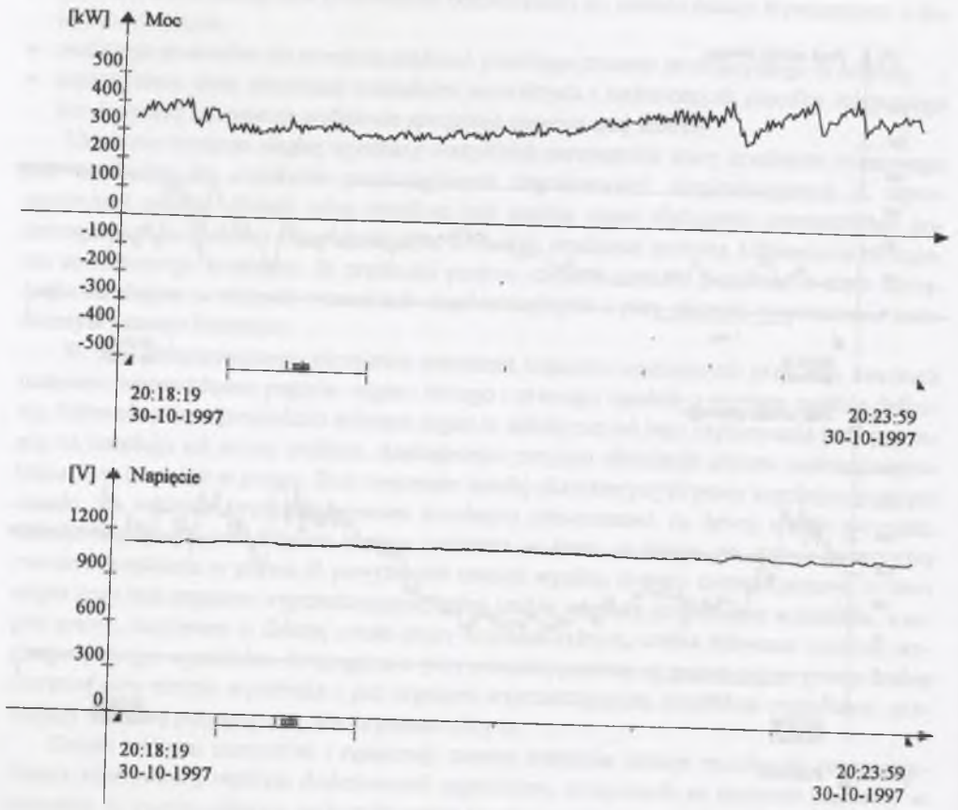
Dzięki takiemu zamysłowi i rejestracji zwrotu urabiania istnieje możliwość przeprowadzenia identyfikacji wpływu dodatkowych czynników, związanych ze zwrotem urabiania w stosunku do zwrotu odstawy, na kształtowanie się obciążenia zewnętrznego kombajnu.

Prowadzenie pomiarów przez okres co najmniej jednej doby pozwala prześledzić intensywność pracy kombajnu w trakcie poszczególnych zmian produkcyjnych i uzyskać dane pomiarowe obejmujące od kilku do kilkunastu cykli produkcyjnych. Przyjęcie częstości próbkowania co 1 sekundę zapewnia uzyskanie 60 000÷80 000 punktów pomiarowych, co umożliwia otrzymanie charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu ścianowego reprezentatywnych dla warunków danego przodka ścianowego. Uzyskaniu reprezentatywności służą również zasady nieprowadzenia badań po dłuższym postoju ściany i niewprowadzaniu zakłóceń do normalnego przebiegu procesu technologicznego w ścianie. Dłuższy postój ściany powoduje odprężenie zarówno calizny węglowej, jak i górotworu wokół wyrobiska ścianowego, wskutek czego zmieniają się warunki urabiania pokładu. Natomiast wszelkie przerwy spowodowane prowadzeniem badań zmniejszają postęp dobowy przodka, co wpływa na stan naprężeń i odkształceń w pokładzie i skałach towarzyszących [48].

Podstawą wyznaczenia poszczególnych charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu są zarejestrowane w czasie astronomicznym przebiegi zmienności parametrów pracy kombajnu (rys. 3.1, 3.2).



Rys. 3.1. Przykładowe przebiegi czasowe natężenia prądu i prędkości posuwu kombajnu
Fig. 3.1. Exemplary time runs of current intensity and a shearer haulage speed



Rys.3.2. Przykładowe przebiegi czasowe poboru mocy i napięcia zasilania
Fig. 3.2. Exemplary time runs of power consumption and supply voltage

Wartości parametrów i wskaźników występujących w poszczególnych charakterystykach wyznacza się następująco.

Wartości średnie: mocy i natężenia prądu odpowiadające danej prędkości posuwu wyznacza się jako średnią arytmetyczną wszystkich wartości określonego parametru zarejestrowanych przy danej wartości prędkości w trakcie całego okresu pomiarów, natomiast zakres zmienności jest wyznaczony przez wartości maksymalne i minimalne tego parametru uzyskane w czasie prowadzenia pomiarów przy danej wartości prędkości posuwu kombajnu.

Względne wykorzystanie nominalnej mocy kombajnu oraz względne obciążenie silnika, wyrażone w procentach, określa się jako iloraz wartości średniej lub wartości maksymalnej analizowanego parametru w danym przedziale prędkości posuwu kombajnu i odpowiednio: wartości mocy nominalnej i prądu znamionowego danego silnika

Wartość średnią poszczególnych parametrów w danym przedziale prędkości posuwu kombajnu wyznacza się jako średnią arytmetyczną wszystkich wartości tego parametru zarejestrowanych w zakresie prędkości posuwu kombajnu należących do danego przedziału.

Częstość występowania poboru mocy większego od nominalnego oblicza się jako stosunek liczby punktów pomiarowych o wartości mocy większych od nominalnej w danym przedziale prędkości posuwu kombajnu do liczby wszystkich punktów pomiarowych w danym przedziale prędkości posuwu. Tak samo wyznacza się częstość przekroczenia wartości prądów wyższych od wartości progowej zadziałania regulatora prędkości posuwu kombajnu lub wartości prądu znamionowego.

Natomiast częstość występowania prędkości posuwu kombajnu w przyjętych przedziałach prędkości posuwu określa się jako stosunek liczby punktów pomiarowych odpowiadających wartościom prędkości posuwu z danego przedziału do sumy wszystkich punktów pomiarowych.

Przykłady charakterystyk eksploatacyjnych kombajnów ścianowych dużej mocy grupy KSW-500 przedstawione są w rozdziałach 3.3 i 3.4 dotyczących identyfikacji wpływu wybranych czynników na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego.

3.2. Badania eksploatacyjne kombajnów ścianowych dużej mocy

Celem przeprowadzonych badań eksploatacyjnych jest identyfikacja wpływu wybranych czynników na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego dużej mocy. Ze względu na wyeliminowanie oddziaływania na uzyskane wyniki pomiarów istotnych, lecz trudno uchwytnych czynników związanych z budową samego kombajnu zdecydowano się na przeprowadzenie pomiarów w odniesieniu do jednego rozwiązania technicznego kombajnu ścianowego. Dzięki temu uniknięto wpływu wynikającego z: różnej prędkości kątowej organów urabiających, niejednolitego ukształtowania i wymiarów ramion wychylnych oraz prześwitu sań kombajnowych, zróżnicowania mocy silników napędzających organy urabiające i ciągnik mechanizmu posuwu, różnorodnej procedury regulacji prędkości posuwu kombajnu. Ze względu na możliwość częściowego wykluczenia czynnika związanego z umiejętnościami i doświadczeniem kombajnisty przy sterowaniu ręcznym kombajnem podjęto decyzję o zawężeniu badanej populacji do kombajnów wyposażonych w mikroprocesorowy system automatycznego sterowania prędkością posuwu.

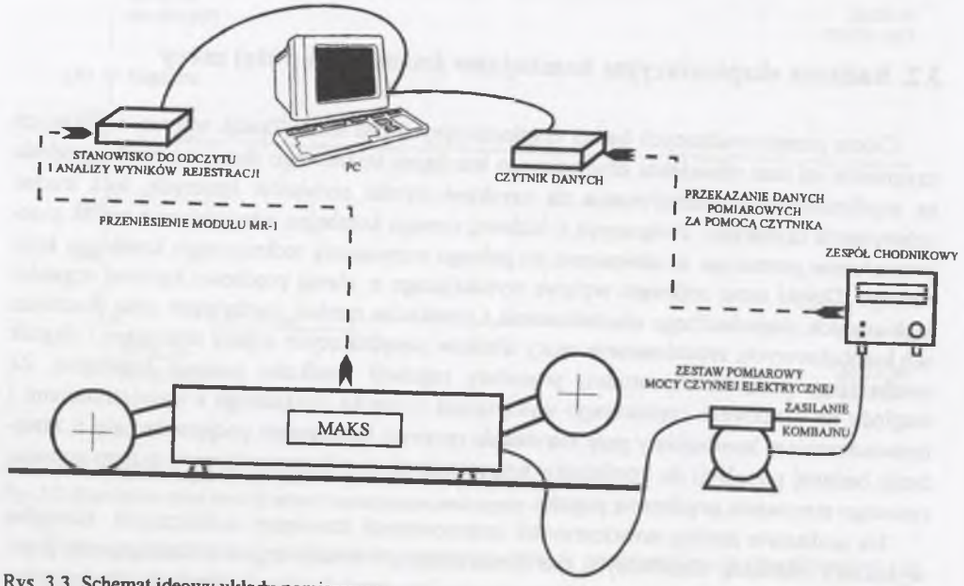
Na podstawie analizy nowoczesności zastosowanych rozwiązań technicznych, zakresów wysokości urabiania, stosowanych szerokości zabioru i średnic organów urabiających, prędkości posuwu kombajnu oraz uzyskiwanych wyników produkcyjnych i liczby kombajnów będących w ruchu w polskich kopalniach węgla kamiennego wybrano do badań kombajny KSW-500 i KGS-500 produkcji Zabrzańskich Zakładów Naprawczych Przemysłu Węglowego S.A. Są to kombajny z wąskimi ramionami o sumarycznej mocy silników napędowych 500 kW, które wyposażone w organy urabiające o średnicach w zakresie 1700÷2200 mm i zabiorze 0,65m, 0,75 m, 0,80 m, 0,95 m mogą pracować w ścianach o wysokości 1,95÷4,6 m. Kombajny wyposażane są dodatkowo w ładowarki osłonowe i mikroprocesorowy system automatyzacji i diagnozowania MAKS/Z-500. System MAKS stanowi układ wspomagania komputerowego polegającego na ciągłej kontroli podstawowych parametrów pracy mechanizmów kombajnu i obwodów sterujących skrzyni aparaturowej oraz na monitorowaniu, ostrzeganiu i wyłączaniu kombajnu w przypadkach przekroczenia założonych dopuszczalnych wartości poszczególnych parametrów. W przypadku systemu MAKS/Z-500 zastosowano regulator prędkości posuwu kombajnu o rozbudowanym algorytmie działania, do-

stosowującym prędkość posuwu do stanu obciążenia silników głównych i wyłączającym kombajn w przypadku pojawienia się wartości prądów prowadzących do utyku silników [59, 60].

W momencie planowania badań dołowych, w polskich kopalniach węgla kamiennego pracowały 34 kombajny grupy KSW-500, z czego 22 wyposażone były w system MAKS/Z-500, w tym 7 w ładowarki osłonowe.

Realizacja przyjętego postępowania badawczego wymagała zaprojektowania i wykonania specjalnego układu pomiarowego spełniającego wszystkie przedstawione wcześniej wymogi. Układ ten składa się z dwu części (rys. 3.3):

- rejestratora pracy kombajnu RPK-1, który archiwizuje sygnały pomiarowe dotyczące obciążenia poszczególnych silników elektrycznych kombajnu oraz prędkość posuwu kombajnu i zwrot urabiania,
- zestawu rejestracji sumarycznej mocy czynnej i napięcia zasilania.



Rys. 3.3. Schemat ideowy układu pomiarowego
Fig. 3.3. Schematic diagram of a measuring system

Podstawowym elementem pierwszego z wymienionych układów jest moduł komputerowy MR-1, którego oprogramowanie archiwizuje sygnały pomiarowe przesyłane do mikrokomputera systemu MAKS. Ponieważ w układzie diagnostyki bieżącej systemu MAKS zastosowano następujące czujniki:

- pomiaru natężenia prądu typu CPP-2,
- prędkości posuwu typu CV-4,
- położenia elementu określającego wychylenie zespołu pompy typu COP-2,
- ciśnienia oleju typu PC/OT-21,
- temperatury typu CT-90,
- bimetaliczne do kontroli temperatury uzwojeń silników elektrycznych,
- ciśnienia wody PCS-20,

z układu diagnostyki samego kombajnu można zatem wykorzystać bezpośrednio następujące sygnały: natężenia prądów pobieranych przez poszczególne silniki, prędkości posuwu kombajnu i zwrotu urabiania.

Moduł MR-1 stanowi jednokartowy mikrokomputer, w którego pamięci stałej zapisano algorytmy rejestracji i obsługi stanowiska do analizy danych. Cechą mikrokomputera jest nieulotność danych zapisanych w pamięci RAM. Do komunikacji z otoczeniem wykorzystano dwa porty transmisji szeregowej mikroprocesora HD64180. Port 0 służy do komunikacji z komputerem PC na stanowisku do analizy danych, natomiast port 1 do komunikacji ze sterownikiem systemu MAKS (w trakcie rejestrowania sygnałów pomiarowych) [29].

Zasadniczym trybem pracy rejestratora jest praca w kasecie systemu MAKS, która polega na zapamiętywaniu informacji przekazywanych przez mikrokomputer systemu MAKS lub na przechowywaniu już zebranych informacji przy braku jego zasilania. Wszystkie gromadzone informacje są związane z czasem astronomicznym odtwarzanym w module rejestratora. Ponieważ gromadzone informacje mają różne charakterystyki czasowe, dokonano podziału sygnałów na 3 grupy:

- sygnały szybkozmienne zapamiętywane w odstępach co jedną sekundę (natężenie prądu pobieranego przez silniki, ciśnienia, prędkość posuwu),
- sygnały wolnozmienne zapamiętywane w parametryzowanym odstępie czasu, np. co 60 sekund (temperatury),
- sygnały losowe (zadziałanie wybranych czujników dwustanowych lub wciśnięcie któregoś z przycisków sterowania przez operatora maszyny).

Dla sygnałów szybkozmiennych próbkowanych fizycznie częściej niż raz na sekundę zapamiętaniu podlega wartość średnia za okres jednej sekundy. Sygnały losowe trwające krócej niż jedną sekundę są odwzorowane w zdarzenia o czasie trwania jednej sekundy.

W celu odzyskania zarejestrowanych sygnałów moduł MR-1 po wyjęciu z kasety systemu MAKS umieszcza się na stanowisku do analizy danych (rys.3.3). Stanowisko to, złożone z komputera osobistego klasy IBM PC i kasety, w której instaluje się moduł, umożliwia:

- przesłanie danych z modułu rejestratora do komputera,
- utworzenie struktury plików danych,
- przetwarzanie danych i wizualizację graficzną,
- przeprowadzenie testów diagnostycznych modułu rejestratora,
- kontrolę stanu naładowania akumulatora modułu i przeprowadzenie jego ładowania,
- przygotowanie modułu do kolejnej rejestracji.

Czas zapełnienia pamięci rejestratora wynosi średnio 20 godzin pracy kombajnu, co pozwala na rejestrację w założonym okresie jednej doby. Gwarantowany czas zachowania zebranych danych w niezasilonej kasecie rejestratora wynosi nie mniej niż 72 godziny [29].

Pomiar sumarycznej mocy pobieranej przez wszystkie silniki elektryczne kombajnu realizowany jest przy użyciu przetwornika mocy czynnej prądu trójfazowego typu PP53, który wraz z przekładnikami prądowymi i napięciowymi zamontowano w obudowie kopalnianego wyłącznika ognioszczelnego OW. Wykorzystanie obudowy wyłącznika kopalnianego OW do zamontowania w niej zestawu pomiarowego czynnej mocy elektrycznej podyktowane jest wymogami bezpieczeństwa, a jednocześnie chroni aparaturę przed uszkodzeniem w trakcie transportu i pozwala na zainstalowanie zestawu z wyprzedzeniem czasowym przed planowanymi pomiarami.

Tak przygotowany zestaw włącza się szeregowo do układu zasilającego pomiędzy wyłączniki a silniki napędowe (rys. 3.3), co pozwala na pracę kombajnu niezależnie od funkcjo-

nowania aparatury pomiarowej. Sygnały pomiarowe mocy, prądu i napięcia przesyłane są do układu rejestracji sygnałów maszyn przodkowych, który umożliwia zapamiętywanie, a następnie na powierzchni analizę przebiegów czasowych sygnałów generowanych przez system pomiarowy. Pamięć nieulotna rejestratora o pojemności 2 MB pozwala na rejestrację sygnałów pomiarowych z 3 zestawów pomiarowych mocy w ciągu jednej doby. W przypadku zaistnienia możliwości wpięcia każdego z zestawów w obwód zasilania poszczególnych silników kombajnu będzie realny pomiar mocy czynnej pobieranej przez każdy z nich.

Przedstawiony powyżej układ pomiarowy umożliwia przeprowadzenie pomiaru parametrów pracy kombajnu w okresie jednej doby bez konieczności zapewnienia ciągłej obsługi i bezpośredniego nadzoru aparatury w trakcie trwania pomiarów.

Badania eksploatacyjne kombajnów dużej mocy przeprowadzono w 11 ścianach w 7 kopalniach węgla kamiennego w okresie od października 1996 roku do kwietnia 1998 roku. W dwu ścianach zakres badań był rozszerzony i obejmował wpływ zastosowania ładowarek osłonowych, ich konstrukcji i ustawienia oraz kierunku obrotów organów urabiających na przebieg procesu ładowania urobku. W jednej z nich (ściana 5/I w KWK Bogdanka) pomiarami objęto dwa warianty kierunku obrotów organów urabiających, zarówno przy pracy bez ładowarek, jak i z ładowarkami osłonowymi, w drugiej natomiast (ściana B-3 w KWK Borynia) pracę bez ładowarek i z ładowarkami przy różnym ich usytuowaniu w stosunku do organów urabiających.

Przeprowadzenie pomiarów w ścianach o wysokości 2,3÷4,0 m, o długości 132÷300 m, nachylonych podłużnie w zakresie 0÷30°, prowadzonych w pokładach, w których zalegał węgiel łatwo, średnio i trudno urabialny (F_k = 7÷45%) pozwoliło na identyfikację wpływu wybranych czynników na stan obciążenia kombajnu, przy zróżnicowanej szerokości zabioru (0,65÷0,95 m) w zakresie średnic organów 1700÷2000 mm. W sumie materiał badawczy obejmuje 15 akcji pomiarowych.

Podstawowe parametry ścian, w których przeprowadzono pomiary oraz dane dotyczące zastosowanego w nich wyposażenia technicznego przedstawiono w tabeli 3.1.

Oprócz pomiaru parametrów pracy kombajnu w danym przodku ścianowym wyznaczano rzeczywisty zabiór kombajnu i wartość wskaźnika kruchości węgla.

Pomiar zabioru kombajnu przeprowadzany był w kilku miejscach ściany w trakcie jednej ze zmian produkcyjnych. Zabiór rzeczywisty wyznaczano jako różnicę pomiędzy odległością określonego elementu przenośnika (na przykład zastawki czy elementów bezcięgnowego mechanizmu posuwu) od czoła ściany mierzoną bezpośrednio za urabiającym kombajnem i odległością tego elementu od czoła ściany mierzoną w tym samym miejscu przed przejazdem kombajnu. Liczba i usytuowanie miejsc w ścianie, w których dokonywano pomiaru zabioru, uwarunkowane były względami bezpieczeństwa związanymi ze statecznością stropu oraz wynikały ze stanu utrzymania czoła ściany. Miarodajny jest bowiem pomiar w miejscu, gdzie nie występuje zjawisko odspajania naroży pokładu i czoło ściany jest nienaruszone.

3.3. Analiza wpływu przebiegu procesu ładowania urobku na stan zewnętrznego obciążenia kombajnu ścianowego

Na przebieg procesu ładowania urobku organami urabiającymi oprócz cech konstrukcyjnych samych organów i parametrów pracy kombajnu (prędkość posuwu, liczba obrotów organów urabiających) wpływ mają również czynniki takie, jak: kierunek obrotów organu, jego

Tabela 3.1

Podstawowe dane i wyposażenie techniczne ścian objętych badaniami

Kopalnia	Numer ściany	Numer pokładu	Wysokość ściany [m]	Długość ściany [m]	F_k [%]	Nachylenie podł. [stopnie]	Nachylenie poprz. [stopnie]	Typ kombajnu	Średnica organów urabiających [mm]	Zabiór nominalny [m]	Zabiór efektywny [m]	Ładowarki	Przenośnik ścianowy	Zestawy obudowy zmechanizowanej
„Bogdanka"	5N	382	2,4	250	34	1÷2	0	KSW500/2BPN	1700	0,95	0,90	Tak	PF4/932	T13/25POz/B
„Bogdanka"	6N	382	3,2	248	19	2	0	KSW500/2BP	1800	0,75	0,71	Tak	PF4/832	P17/37POz
„Sośnica"	4	419/1	2,3	190	45	30	0	KGS500/2BPH	1700	0,65	0,58	Nie	R255/842	F15/31POz
„Makoszowy"	086	401	2,9	172	20	3÷7	0÷4	KGS500/2BPH	2000	0,65	0,62	Nie	R255/842	T17/37Oz
„Knurów"	G-II	405/1	3,6	210	13	10÷19	6÷9	KSW500/2BPH	2000	0,65	0,61	Nie	R225/790	P24/47Oz
„Knurów"	G-VIII	401/1	2,6	246	15	9÷19	3÷6	KSW500/2BPH	1800	0,65	0,63	Nie	R225/790	F15/31 Oz
„Szczygłowice"	IX	405/1	3,8	232	7	16÷18	5	KSW500/2BPH	2000	0,75	0,70	Nie	R295/842	Szcz24/43Oz
„Mysłowice"	511	501/1	4,2	200	22	6÷10	4	KSW500/2BP	2000	0,75	0,69	Nie	PSZ-750	F27/42Pp
„Mysłowice"	420	510/2	3,8	132	14	5÷10	6	KGS500/2BP	2000	0,75	0,68	Nie	PSZ-750	M26/38Pp
„Bogdanka"	5/I	382	2,4	300	32	1÷2	0	KSW500/2BPN	1700	0,95	0,87-0,93	Tak, nie	PF4/932	T13/25POz/B
„Borynia"	G-3	363/1	2,8	158	26	1÷6	0	KSW500	1800	0,75	0,72	Tak, nie	HB/260	T15/31Oz

Oznaczenia maszyn:
PF - producent Westwalia Becorit
R - Rybnik
PZS - producent Nowomag
T - Tagor
P - Pioma
F - Fazos
Szcz - Szczygłowice
M - Metrol

usytuowanie w stosunku do rynien przenośnika ścianowego, przesłonięcie organu rynnami przenośnika i ramieniem wychylnym kombajnu, zwrot urabiania w stosunku do zwrotu odstawy, stosowanie ładowarek osłonowych.

W celu ustalenia wpływu wyżej wymienionych czynników na przebieg i skuteczność procesu ładowania urobku organami oraz na obciążenie silników elektrycznych napędzających poszczególne organy przeprowadzono badania dołowe w ścianach nr 5/I i 5N w KWK Bogdanka oraz w ścianie nr B-3 w KWK Borynia. We wszystkich przypadkach organ urabiający warstwę przyspągową był w części, w której następuje przekazanie urobku na przenośnik w znacznym stopniu przesłonięty ramieniem wychylnym kombajnu i rynnami przenośnika, co istotnie utrudniało przebieg procesu ładowania.

Ze względu na optymalizację średniej grubości przy urabianiu warstwy węgla o wysokości mniejszej od średnicy organu urabiającego [26], organy urabiające o średnicach zastosowanych w badanych ścianach (1700, 1800 mm) przeznaczone są do ścian o wysokości od 2,5m do 3,3 m. Obejmują zatem znaczną część zakresu wysokości ścian, w których istnieją warunki do uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia w ścianie.

Ponieważ obiektem badań są kombajny ścianowe wyposażone w system automatycznego sterowania i diagnostyki MAKS, stan obciążenia poszczególnych silników głównych wpływa bezpośrednio na uzyskiwaną prędkość posuwu kombajnu, a tym samym na wydajność kombajnu w warunkach eksploatacyjnych danego przodka. Wynika to z faktu, że zmniejszenie prędkości posuwu przez regulator prędkości posuwu następuje w momencie przekroczenia o co najmniej 20% wartości prądu znamionowego przez jeden z silników napędzających organy urabiające. W zależności od występującej wartości prądu dobierany jest odpowiedni czas zwłoki inicjacji zmniejszania prędkości wynoszący odpowiednio:

$1{,}2\ I_N \le I < 1{,}4\ I_N$ $\quad t_0 = 10$ sekund
$1{,}4\ I_N \le I < 1{,}5\ I_N$ $\quad t_0 = 6$ sekund
$1{,}5\ I_N \le I < 1{,}6\ I_N$ $\quad t_0 = 4$ sekundy
$I \ge 1{,}6\ I_N$ $\quad t_0 = 3$ sekundy.

Zmniejszanie prędkości posuwu dokonywane jest krokowo zgodnie z następującą procedurą:
- redukcja prędkości przez okres 0,5 sekundy;
- zwłoka czasowa wynosząca 0,8 sekundy;

aż do momentu, kiedy wartość pobieranego przez przeciążony silnik prądu jest co najwyżej równa 0,9 I_N. Po spełnieniu warunku $I \le 0{,}9\ I_N$ inicjowany jest cykl zwiększania prędkości posuwu kombajnu według procedury krokowej analogicznej do zastosowanej przy zmniejszaniu prędkości, która trwa do momentu osiągnięcia przez prąd pobierany przez dany silnik wartości prądu znamionowego. W przypadku gdy prąd nie osiągnie tej wartości procedura zwiększania prędkości kończy się wówczas, gdy element wyznaczający położenie wychylnego zespołu pompy znajdzie się w takim samym położeniu, jak przed zadziałaniem automatycznego regulatora prędkości posuwu.

W związku z tym, że zgodnie z przedstawioną procedurą przeciążenie jednego z silników napędzających organy urabiające powyżej 120% wartości prądu znamionowego powoduje obniżenie prędkości posuwu kombajnu, do analizy stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu w zależności od przebiegu procesu ładowania urobku wybrano następujące charakterystyki eksploatacyjne:

- zależność wartości średniej i maksymalnej prądu pobieranego przez poszczególne silniki od prędkości posuwu kombajnu przy obu zwrotach urabiania, odpowiednio dla:
  - lewego organu urabiającego,
  - prawego organu urabiającego,
  - ciągnika hydraulicznego;
- częstość występowania wartości prądów wyższych od wartości 120% prądu znamionowego w przyjętych przedziałach prędkości posuwu kombajnu, przy obu zwrotach urabiania, odpowiednio dla:
  - silnika napędzającego lewy organ urabiający,
  - silnika napędzającego prawy organ urabiający;
- zależność wartości średniej i maksymalnej sumarycznej mocy pobieranej przez kombajn od prędkości posuwu kombajnu,
- częstość występowania prędkości posuwu kombajnu w przyjętych przedziałach prędkości posuwu kombajnu.

Pomiary przeprowadzone w ścianie 5/I w KWK Bogdanka

Program badań przeprowadzonych w tej ścianie obejmował analizę przebiegu procesu ładowania urobku dla obu kierunków obrotów organów urabiających, zarówno przy zastosowaniu ładowarek osłonowych, jak i pracy kombajnu bez ładowarek.

Pomiary przeprowadzono zatem w przypadku następujących wariantów ustawienia organów urabiających o średnicy 1700 mm i nominalnej szerokości zabioru 0,95 m, wyposażonych w noże styczne:

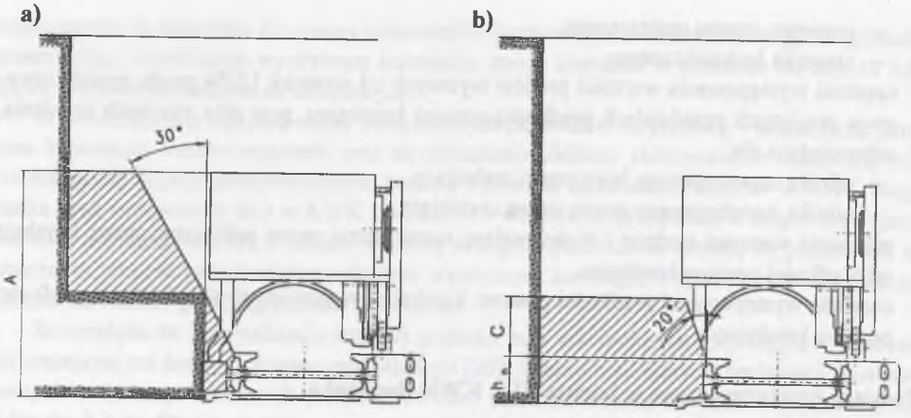
- organ wyprzedzający urabia podsiębiernie, organ tylny nadsiębiernie – bez ładowarek osłonowych (oznaczony jako B1),
- organ wyprzedzający urabia nadsiębiernie, organ tylny podsiębiernie – bez ładowarek osłonowych (oznaczony jako B2),
- organ wyprzedzający urabia podsiębiernie, organ tylny nadsiębiernie – przy stosowaniu ładowarek osłonowych (oznaczony jako Ł1).
- organ wyprzedzający urabia nadsiębiernie, organ tylny podsiębiernie – przy stosowaniu ładowarek osłonowych (oznaczony jako Ł2),

Praca kombajnu bez ładowarek osłonowych

Podstawowym układem ustawienia organów urabiających jest wariant B1, w którym organ wyprzedzający urabia podsiębiernie warstwę przy stropie wyrobiska, a organ tylny nadsiębiernie pozostałą przy spągu warstwę węgla.

W trakcie prowadzenia pomiarów przy stosowanym w zdecydowanej większości kombajnów wariancie ustawienia organów urabiających B1 za organem wyprzedzającym pozostawała pryzma urobku o przekroju trapezowym, której łączna wysokość wraz z wysokością nie urobionej jeszcze warstwy węgla była równa sumarycznej wysokości kombajnu i rynien przenośnika ścianowego. Boczna powierzchnia pryzmy od strony kombajnu nachylona była pod kątem około 60°. Przekrój tej pryzmy pokazano schematycznie na rys. 3.4a, a jej wymiary uzyskane w wybranych miejscach ściany przedstawiono w tabeli 3.2.

Do załadowania tylnym organem pozostawała część urobku nie załadowana organem wyprzedzającym oraz urobek pochodzący z urabianej tym organem warstwy węgla przy spągu. Ze względu na ograniczone możliwości przekazania urobku na przenośnik pod ramieniem wychylnym kombajnu urobek przemieszczany był ponad płaszczem piasty za organ urabiający i tam częściowo ładowany na przenośnik (rys.3.5a). Większa część urobku pozostawała jednak na spągu tworząc warstwę o przekroju trapezowym (rys.3.4b) i wymiarach podanych w tabeli 3.2.



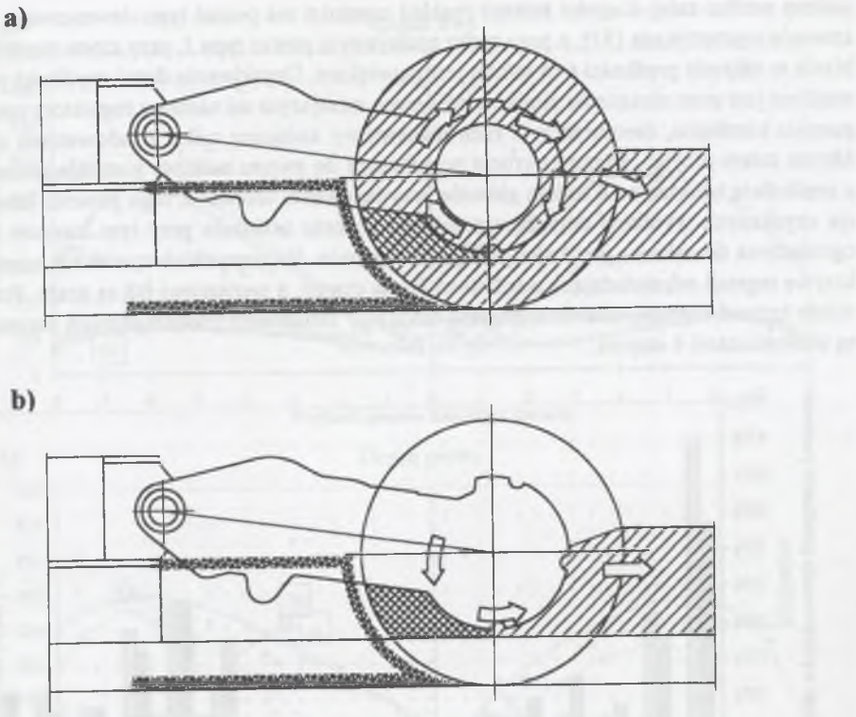
Rys. 3.4. Przekroje pryzm urobku nie załadowanego przez kombajn przy pracy bez ładowarek
Fig. 3.4. Sections of cut coal piles not loaded by a shearer operated without cowls

Na przebieg procesu ładowania urobku, a tym samym i na ilość urobku pozostawionego na spągu wpływ miał zwrot urabiania kombajnem w stosunku do zwrotu odstawy. Przy zwrocie urabiania przeciwnym załadunek węgla urobku na przenośnik był dodatkowo utrudniony ze względu na fakt, że na przenośniku znajdowała się już część urobku odspojona od calizny organem wyprzedzającym. Stąd ilość pozostawionego na spągu urobku była w tym przypadku większa.

Po zmianie kierunku obrotów i zamianie organów urabiających (wariant B2) przebieg procesu ładowania urobku był nieco inny, co wpłynęło na ilość urobku załadowywanego poszczególnymi organami urabiającymi. Przy nadsiębiernej pracy organu wyprzedzającego odspojony od calizny urobek przemieszczany był w stronę przenośnika po powierzchni tejże calizny, która tym samym wspomagała proces ładowania spełniając rolę naturalnej ładowarki. Dzięki temu wysokość pryzmy nie załadowanego urobku, o tym samym kształcie, co w poprzednim wariancie (rys. 3.4a), była mniejsza średnio o około 10 cm (tabela 3.2).

Tabela 3.2
Wymiary pryzm urobku nie załadowanego przez kombajn przy pracy bez ładowarek w ścianie 5/I

Wariant	Zwrot urabiania zgodny				Zwrot urabiania przeciwny			
	Nr zestawu	A [m]	C [m]	z [m]	Nr zestawu	A [m]	C [m]	z [m]
B1	30	1,55	0,65	0,90	47	1,55	0,70	0,90
	70	1,50	0,60	0,92	120	1,55	0,80	0,96
	175	1,55	0,70	0,95	181	1,50	0,70	0,80
	Wartość średnia	1,533	0,650	0,923	Wartość średnia	1,533	0,733	0,887
B2	27	1,45	0,60	0,93	15	1,40	0,65	0,85
	47	1,40	0,60	1,03	125	1,45	0,60	0,90
	121	1,45	0,65	0,8	187	1,45	0,65	0,95
	Wartość średnia	1,433	0,617	0,920	Wartość średnia	1,433	0,633	0,900



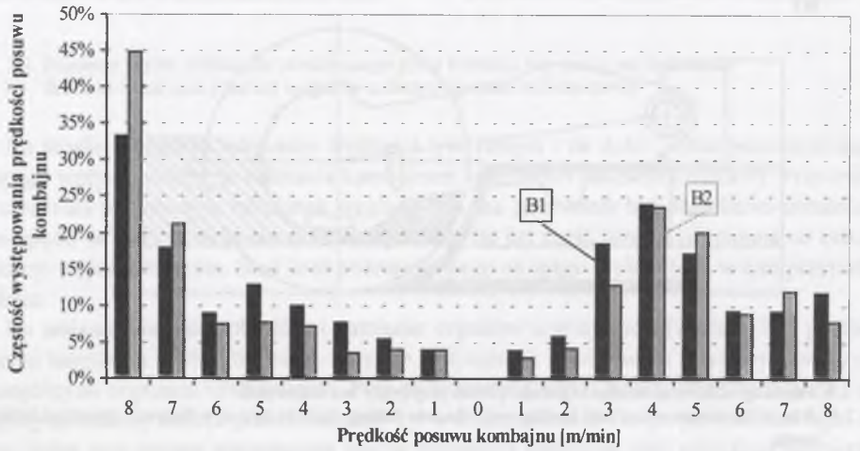
Rys. 3.5. Przebieg ładowania urobku organem tylnym przy pracy bez ładowarek
Fig. 3.5. Run of the action of cut coal loading with the rear cutting drum in case of a shearer's operation without cowls

Zmieniły się również warunki pracy organu urabiającego warstwę przyspągową. Dzięki podsiębiernej pracy organu urobek, który nie został załadowany na przenośnik, nie był przerzucany ponad piastą organu, a przemieszczany pod nią (rys. 3.5b). Również w tym przypadku znaczna część urobku zostawała na ścieżce kombajnowej tworząc pryzmę o takim samym kształcie jak w poprzednim wariancie (rys.3.4b) i wymiarach przedstawionych w tabeli 3.2.

Pozostawienie na spągu wyrobiska dużej ilości urobku stwarzało dodatkowe problemy związane z prowadzeniem ściany. W kilku miejscach przodka urobek przedostawał się pod przenośnik ścianowy, co doprowadziło do trudności związanych z prawidłowym utrzymaniem go w płaszczyźnie poziomej. Wskutek tego przy ruchu przeciwnym do zwrotu odstawy kombajn na długości tych odcinków, gdzie urobek znajdował się pod rynnami przenośnika, poruszał się ruchem manewrowym, ładując jedynie urobek na przenośnik. Czynniki natury eksploatacyjnej sprawiły zatem, że część ściany była urabiana jednostronnie, a część dwustronnie, co w konsekwencji uniemożliwiło utrzymanie prostoliniowości czoła ściany oraz zmniejszyło wydobycie dobowe.

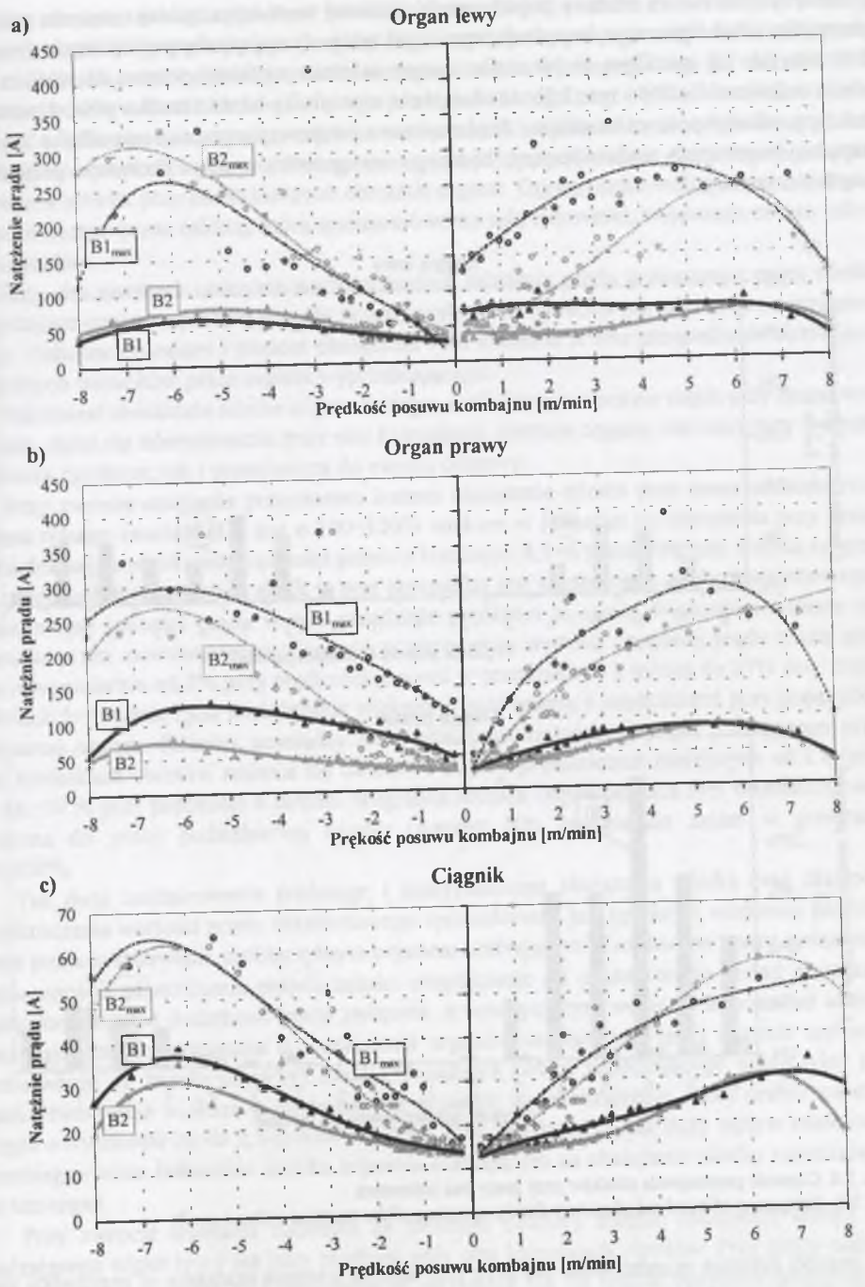
Fakt ten znajduje odzwierciedlenie w częstości urabiania z określoną prędkością posuwu (rys. 3.6). W analizowanej ścianie zwrot urabiania w lewo odpowiadał zwrotowi przeciwnemu do zwrotu odstawy. Przy ruchu zgodnym ze zwrotem odstawy (kiedy to kombajn urabiał

caliznę wzdłuż całej długości ściany) rozkład częstości ma postać typu dzwonowego umiarkowanie asymetryczną [57], a przy ruchu przeciwnym postać typu J, przy czym częstość urabiania w zakresie prędkości 6÷8 m/min jest największa. Uzyskiwanie danej prędkości posuwu możliwe jest przy obciążeniu silników głównych mniejszym od nastawy regulatora prędkości posuwu kombajnu, czemu sprzyja ruch manewrowy związany tylko z ładowaniem urobku. Można zatem przyjąć, że przy zwrocie przeciwnym do zwrotu odstawy kombajn poruszał się z prędkością większą od 6 m/min głównie przy ładowaniu urobku. Z tego powodu interpretacja uzyskanych wyników dotycząca przebiegu procesu urabiania przy tym zwrocie została ograniczona do zakresu prędkości posuwu 0÷6 m/min. Na wszystkich rysunkach znaczniki i krzywe regresji odpowiadające wariantowi B1 są czarne, a wariantowi B2 są szare. Przedstawione krzywe regresji, odzwierciedlające tendencje zmienności poszczególnych parametrów, są wielomianami 4 stopnia.



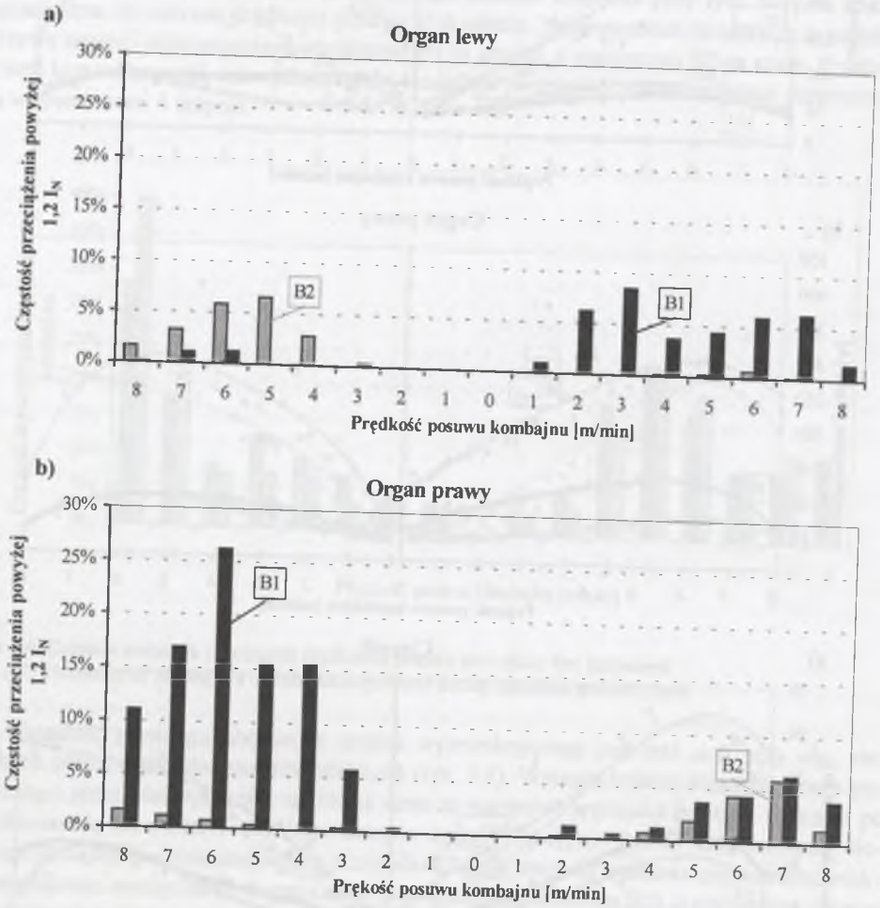
Rys. 3.6. Częstość urabiania z określoną prędkością posuwu przy pracy bez ładowarek
Fig. 3.6. Frequency of mining at a definite haulage speed during operation without cowls

Charakter przebiegu obciążenia organu wyprzedzającego jest taki sam przy obu kierunkach obrotów dla obu zwrotów urabiania (rys. 3.7). Wartość średnia natężenia prądu pobieranego przez silnik początkowo rośnie wraz ze wzrostem prędkości posuwu, po czym po przekroczeniu prędkości 5÷6 m/min zaczyna maleć. Występuje jednak zróżnicowanie ilościowe obciążenia w poszczególnych przypadkach. Przy zwrocie urabiania przeciwnym większe obciążenie występuje przy pracy nadsiębiernej organu (wariant B2), a największa różnica względna obciążenia wynosząca około 25% występuje w przedziale prędkości posuwu 4÷5 m/min. Spowodowane jest to głównie zróżnicowaniem częstości przekroczenia wartości progowej działania regulatora prędkości przy obu kierunkach obrotów organów. Wartości maksymalne natężenia pobieranego prądu przy poszczególnych prędkościach posuwu różnią się stosunkowo nieznacznie. Przy pracy nadsiębiernej częstość ta, w zakresie prędkości posuwu 3÷6 m/min, utrzymuje się w granicach 4÷7%, podczas gdy przy obrotach podsiębiernych zawiera się w zakresie 1÷2%. Stan ten związany jest z obciążeniem silnika napędzającego organ tylny i działaniem regulatora prędkości posuwu kombajnu. Ponieważ przy zwrocie urabiania



Rys. 3.7. Charakterystyki obciążenia zespołów kombajnu przy pracy bez ładowarek
Fig. 3.7. Load characteristics of shearer's units during operation of the machine without cowls

przeciwnym do zwrotu odstawy przekroczenie ustalonej wartości progowej natężenia prądu w przypadku silnika prawego, napędzającego organ tylny obracający się podsiębiernie (wariant B2), zdarzało się sporadycznie (w analizowanym zakresie prędkości posuwu częstość ta wynosiła maksymalnie 2% - rys. 3.8), że obciążenie tego silnika bardzo rzadko powodowało redukcję prędkości posuwu kombajnu. Stąd częstsze występowanie przeciążenia silnika lewego, napędzającego organ wyprzedzający, będącego następstwem oporów skrawania przy danej prędkości posuwu.



Rys. 3.8. Częstość przeciążenia silników przy pracy bez ładowarek
Fig. 3.8. Frequency of overload of motors during operation of the machine without cowls

Inaczej sytuacja przedstawiała się przy tym samym zwrocie urabiania w przypadku wariantu B1. Ze względu na fakt, że częste przekraczanie wartości progowej natężenia prądu (1,2 I_N) przez silnik napędzający organ tylny (częstość w granicach 6÷27%) w znacznym stopniu ograniczało prędkość posuwu kombajnu, nie zaistniały warunki, w których opory skrawania mogłyby powodować częste przeciążenie silnika organu wyprzedzającego.

Przy zwrocie urabiania zgodnym średni pobór prądu jest większy przy obrotach podsiębiernych organu wyprzedzającego (wariant B1), lecz tylko w zakresie prędkości mniejszych od 5 m/min. Największe zróżnicowanie występuje w przedziale prędkości 2,5÷3,5 m/min i wynosi ok. 30% wartości średniej natężenia prądu pobieranego przy obrotach nadsiębiernych. Wynika to głównie ze znacznego zróżnicowania wartości maksymalnych natężenia prądu w tym zakresie prędkości posuwu, którego przyczyną może być większa skuteczność procesu ładowania urobku przy nadsiębiernych obrotach organu. Ograniczenie wolnej objętości organu urabiającego przez caliznę, która spełnia wówczas rolę ładowarki, wspomaga proces ładowania urobku.

Przy obu zwrotach urabiania wartości średnie natężenia prądu pobieranego przez silniki napędzające organ wyprzedzający nie przekroczyły poziomu 65% wartości prądu znamionowego. Zbliżone charakter i poziom obciążenia tych silników w obu przypadkach wynikają z podobnych warunków pracy organu wyprzedzającego.

Natomiast obciążenie silnika organu tylnego, urabiającego warstwę węgla przy spągu wyrobiska, różni się zdecydowanie przy obu kierunkach obrotów organu, zarówno przy zwrocie urabiania zgodnym, jak i przeciwnym do zwrotu odstawy.

Przy zwrocie urabiania przeciwnym średnie obciążenie silnika przy pracy nadsiębiernej organu tylnego (wariant B1) jest o 100÷120% większe w stosunku do obciążenia przy pracy podsiębiernej, a w zakresie prędkości posuwu kombajnu 4,5÷6 m/min wartość średnia natężenia prądu pobieranego przez silnik w tym przypadku jest na poziomie prądu znamionowego. Maksymalne wartości prądu w tym przedziale prędkości są około dwukrotnie większe od wartości prądu znamionowego. Częstość przekroczenia wartości progowej prądu rośnie prawie równomiernie od 2% przy prędkości posuwu w przedziale 0÷1 m/min do 27% przy prędkościach 5÷6 m/min i jest wielokrotnie większa w porównaniu z częstościami przy pracy podsiębiernej organu. Różnica pomiędzy maksymalnymi wartościami prądu pobieranego przy obu kierunkach obrotów zmienia się od ok. 70 A przy prędkościach mniejszych od 1 m/min do ok. 30 A przy prędkości 6 m/min. Względna różnica odpowiadająca tym wartościom odniesiona do pracy podsiębiernej organu (wariant B2) zawiera się zatem w granicach 10÷200%.

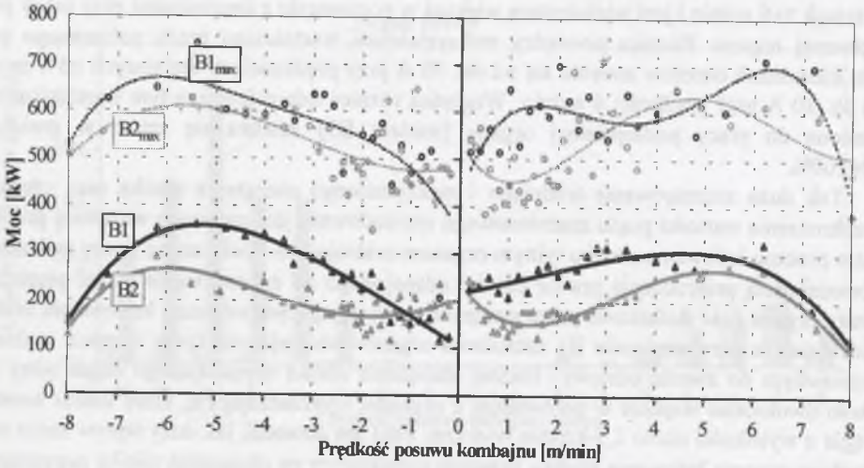
Tak duże zróżnicowanie średniego i maksymalnego obciążenia silnika oraz częstości przekroczenia wartości prądu znamionowego spowodowane jest opisanym wcześniej przebiegiem procesu ładowania urobku tylnym organem urabiającym. Zwiększone opory związane z koniecznością przerzucenia prawie całości odspojonego od calizny węgla ponad płaszczem piasty organu oraz dodatkowa praca związana z występującym wówczas kruszeniem urobku sprawiają, że przy wariancie B1 ustawienia organów urabiających (przy zwrocie urabiania przeciwnym do zwrotu odstawy) średnie obciążenie silnika napędzającego organ tylny jest około dwukrotnie większe w porównaniu z organem wyprzedzającym, który urabia warstwę węgla o wysokości około 2,5-krotnie większej. Fakt ten dowodzi, jak duży wpływ może mieć przebieg procesu ładowania urobku organem urabiającym na obciążenie silnika napędzającego ten organ.

Przy zwrocie urabiania zgodnym ze zwrotem odstawy średnie obciążenie silnika napędzającego organ tylny ma inny przebieg przy obu kierunkach obrotów. Przy pracy nadsiębiernej organu (wariant B1) obciążenie to utrzymuje się na stałym poziomie wynoszącym około 50% wartości prądu znamionowego do prędkości 5,5 m/min, po czym zaczyna spadać. Przy obrotach podsiębiernych obciążenie to utrzymuje się początkowo na poziomie około 30% obciążenia nominalnego, a po przekroczeniu prędkości 2,5 m/min zaczyna rosnąć i osią-

ga przy prędkości 6,5 m/min poziom obciążenia występujący przy obrotach przeciwnych. Największe zróżnicowanie obciążenia przy obu kierunkach obrotów występowało zatem przy prędkościach posuwu mniejszych od 2,5 m/min. Na przebieg obciążenia w obu przypadkach wpływ ma zarówno kształtowanie się maksymalnych wartości natężenia prądu pobieranego przy różnych prędkościach posuwu, jak również częstości przekroczenia wartości progowej działania regulatora prędkości posuwu.

Średnie obciążenie silnika organu tylnego przy obrotach nadsiębiernych (wariant B1) kształtuje się na tym samym poziomie, co obciążenie organu wyprzedzającego przy tym zwrocie urabiania i jest mniejsze w porównaniu ze stanem obciążenia przy zwrocie przeciwnym do zwrotu odstawy. Wynika to z mniejszej ilości urobku przemieszczanego ponad płaszczem piasty organu, co związane jest z tym, że część urobku została wcześniej przekazana na część przenośnika nie obciążoną nosiwem. Urobek załadowany organem wyprzedzającym nie jest przemieszczany pod kombajnem, gdyż ze względu na większą prędkość łańcucha zgrzebłowego przenośnika znajduje się przed kombajnem od strony przesypu. Średnie obciążenie silnika przy pracy podsiębiernej organu tylnego (wariant B2) jest natomiast na tym samym poziomie przy obu zwrotach urabiania kombajnem.

Przebiegi średniego i maksymalnego obciążenia silnika elektrycznego ciągnika hydraulicznego kombajnu mają taki sam charakter przy obu wariantach ustawienia organów urabiających i obu zwrotach urabiania (rys. 3.7). Jedynie przy zwrocie urabiania przeciwnym do zwrotu odstawy średnie obciążenie przy wariancie B1 jest nieznacznie większe, przy czym maksymalna różnica względna nie przekracza 15%. Maksymalne obciążenie silnika w żadnym przypadku nie przekroczyło poziomu znamionowego wynoszącego 70 A.



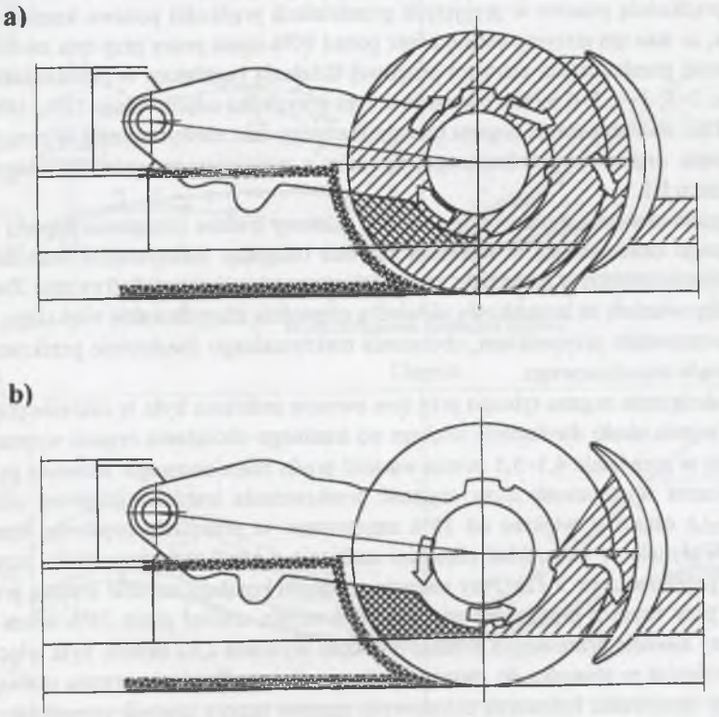
Rys. 3.9. Sumaryczny pobór mocy przez kombajn przy pracy bez ładowarek
Fig. 3.9. Total power consumption of a shearer operated without cowls

Analiza sumarycznego poboru mocy przez kombajn wykazała, że obciążenie organów urabiających warstwę przyspągową jest czynnikiem kształtującym zmienność tego parametru w zależności od prędkości posuwu kombajnu (rys. 3.9). Moc rozwijana przez wszystkie silniki kombajnu jest większa w przypadku wariantu B1, co szczególnie uwidacznia się przy

zwrocie urabiania przeciwnym do zwrotu odstawy. Z przedstawionych przebiegów wynika, że w przypadku występowania ograniczeń związanych z ładowaniem urobku przez organ urabiający warstwę przyspągową średni pobór mocy przez kombajn może być wydatnie zmniejszony (w analizowanym przypadku ok. 30%) dzięki zastosowaniu właściwego wariantu ustawienia organów urabiających, w którym organ tylny pracuje podsiębiernie, a wyprzedzający nadsiębiernie.

Praca kombajnu z ładowarkami osłonowymi

W przypadku stosowania ładowarek osłonowych, przy znacznym przesłonięciu dolnej części organu tylnego, może występować dławienie tego organu urabiającego urobkiem. Zjawisko to znacząco wpływa na efektywność pracy kombajnu zwłaszcza przy podstawowym wariancie ustawienia organów (Ł1), gdy organ tylny pracuje nadsiębiernie. Jest to szczególnie widoczne przy zwrocie urabiania przeciwnym do zwrotu odstawy, kiedy to cały urobek jest przemieszczany ponad piastą organu urabiającego i dzięki ładowarce przekazywany za organem na przenośnik (rys. 3.10a). Taki przebieg procesu ładowania powoduje bardzo częste przeciążenie silnika napędzającego organ tylny (rys. 3.13), co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia prędkości posuwu kombajnu (rys. 3.12).



Rys. 3.10. Przebieg ładowania urobku organem tylnym przy zastosowaniu ładowarek
Fig. 3.10. Run of the action of cut coal loading with the rear cutting drum under application of cowls

Na wszystkich charakterystykach eksploatacyjnych przedstawionych na rysunkach 3.11÷3.14 znaczniki i krzywe regresji koloru czarnego dotyczą wariantu Ł1, a szare odpowiednio wariantu Ł2. Krzywe regresji są wielomianami 4 lub 3 stopnia.

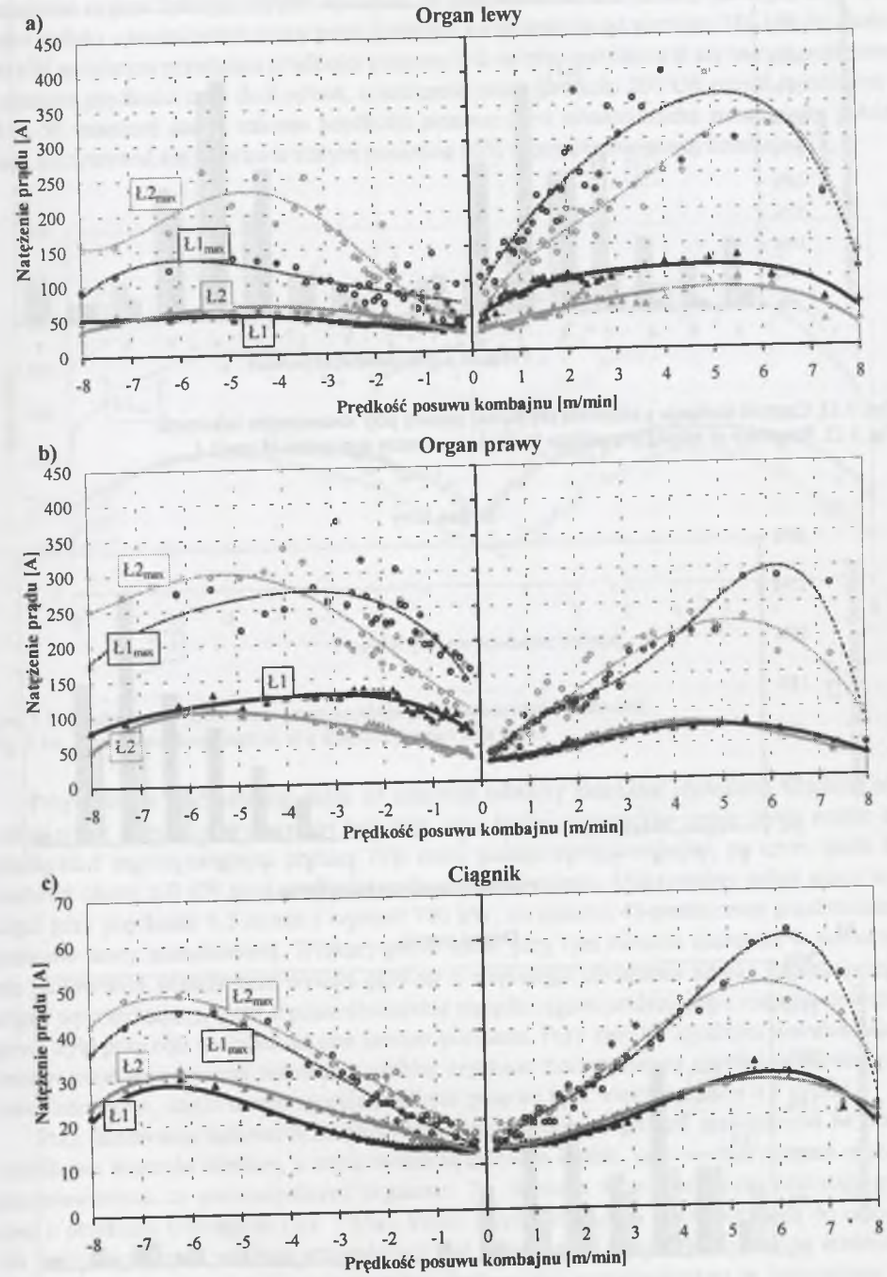
Ze względu na dużą skuteczność ładowania urobku na przenośnik nie występowały żadne problemy natury eksploatacyjnej i kombajn urabiał caliznę dwustronnie wzdłuż całej długości ściany.

W przypadku wariantu Ł1, przy urabianiu ze zwrotem przeciwnym do odstawy, wartość średnia natężenia prądu pobieranego przez silnik napędzający organ wyprzedzający, po początkowym nieznacznym wzroście, utrzymywała się przy prędkościach większych od 3 m/min na poziomie ok. 35% wartości prądu znamionowego (rys. 3.11). Obciążenie maksymalne ani razu nie przekroczyło wartości znamionowej prądu w całym zakresie prędkości posuwu. Natomiast średnie obciążenie silnika napędzającego organ tylny szybko wzrastało do wartości zbliżonej do poziomu prądu znamionowego, po czym począwszy od prędkości 2 m/min zaczęło maleć osiągając poziom ok. 75% tej wartości przy prędkości 7 m/min, a następnie około 60% obciążenia znamionowego przy 8 m/min. W zakresie prędkości posuwu mniejszych od 4,5 m/min średnie obciążenie napędu tego organu było większe od maksymalnego obciążenia organu wyprzedzającego przy tym zwrocie urabiania. Z wykresu częstości urabiania z prędkością posuwu w przyjętych przedziałach prędkości posuwu kombajnu (rys. 3.12) wynika, że stan ten utrzymywał się przez ponad 90% czasu pracy przy tym zwrocie urabiania. Częstość przekraczania wartości progowej działania regulatora w przedziałach prędkości posuwu 2÷3, 3÷4, 5÷6 m/min wynosiła w tym przypadku odpowiednio 13%, 14%, 19% (rys. 3.13). Taki stan obciążenia organu tylnego tłumaczy fakt niewystąpienia w tym wariancie przeciążenia organu wyprzedzającego, zgodnie z wyjaśnieniem przedstawionym przy analizie wariantu B1.

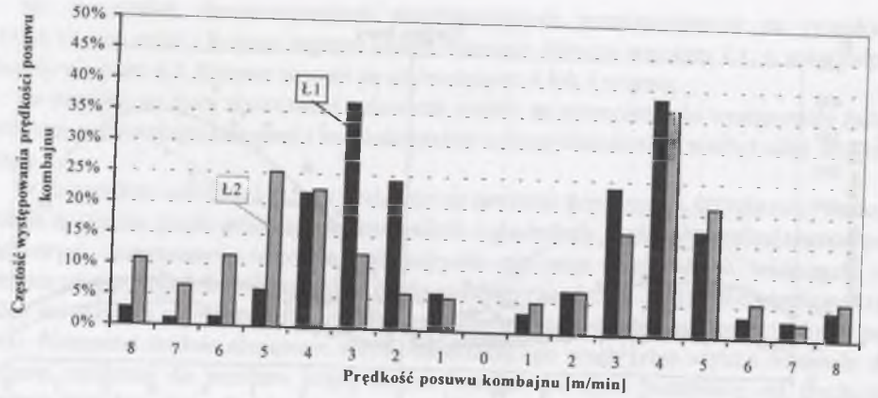
Przy zwrocie urabiania zgodnym ze zwrotem odstawy średnie obciążenie napędu organu wyprzedzającego zmieniało się w szerszym zakresie osiągając maksymalnie wartość około 50% prądu znamionowego w przedziale prędkości posuwu kombajnu 4,5÷6 m/min. Związane jest to z występowaniem ze stosunkowo niewielką częstością zdecydowanie większego, w porównaniu z poprzednim przypadkiem, obciążenia maksymalnego dwukrotnie przekraczającego wartość prądu znamionowego.

Średnie obciążenie organu tylnego przy tym zwrocie urabiania było w zakresie prędkości posuwu 1÷7 m/min około dwukrotnie większe od średniego obciążenia organu wyprzedzającego osiągając w przedziale 4,5÷5,5 m/min wartość prądu znamionowego. Również przy tym zwrocie urabiania występowała duża częstość przekraczania wartości progowej natężenia prądu (1,2 I_N),a częstości większe od 15% zanotowano w przedziale prędkości kombajnu 4÷6 m/min. Wpłynęło to na rozkład częstości urabiania z prędkością posuwu w przyjętych przedziałach prędkości (rys. 3.12). Przy zwrocie zgodnym kombajn uzyskał średnią prędkość 3,68 m/min, przy czym z prędkością większą od 4 m/min urabiał przez 28% czasu pracy. Natomiast przy zwrocie przeciwnym średnia prędkość wynosiła 2,82 m/min, była więc o jedną czwartą mniejsza w stosunku do zwrotu zgodnego. Zatem dławienie organu urabiającego urobkiem przy stosowaniu ładowarek osłonowych stanowi istotny czynnik powodujący ograniczenie prędkości posuwu kombajnu.

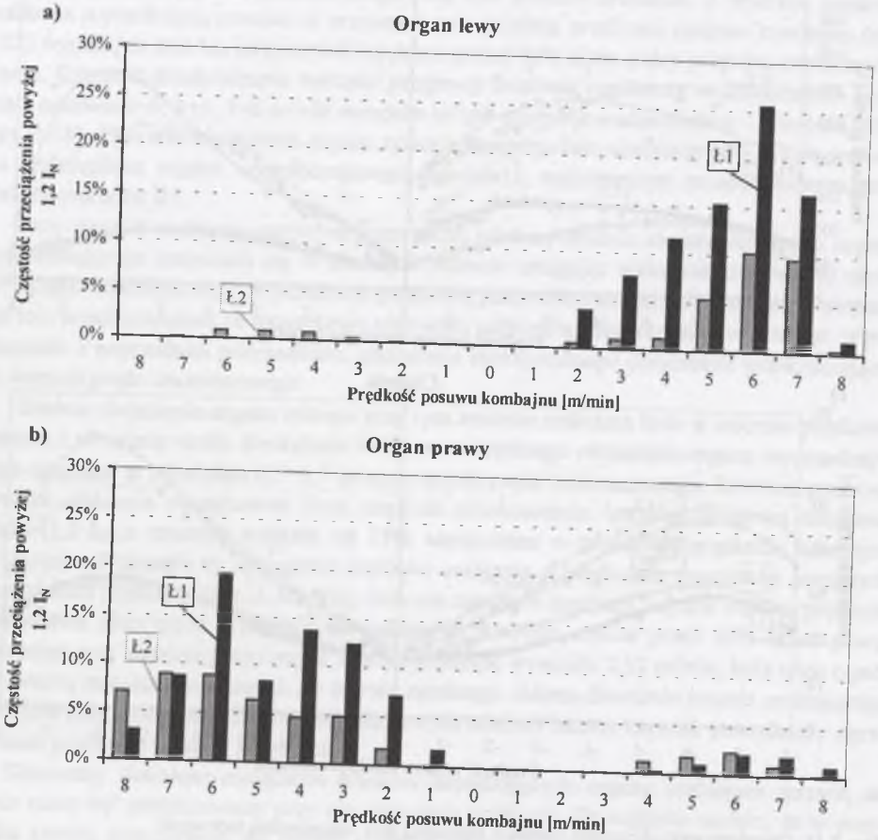
Odmienny charakter obciążenia silników napędzających organy urabiające sprawił, że pobór mocy był zróżnicowany przy obu zwrotach urabiania. Ze względu na fakt, że w przypadku zwrotu przeciwnego do zwrotu odstawy średnie obciążenie organu wyprzedzającego wolno rosło przy prędkościach od 0 do ok. 5 m/min i dalej nieznacznie spadało, podczas gdy



Rys. 3.11. Charakterystyki obciążenia zespołów kombajnu przy zastosowaniu ładowarek
Fig. 3.11. Load characteristics of shearer's units under application of cowls

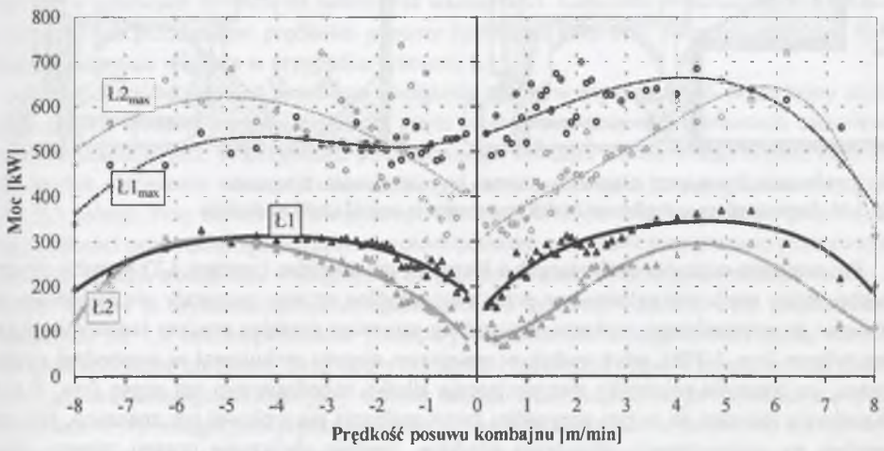


Rys. 3.12. Częstość urabiania z określoną prędkością posuwu przy zastosowaniu ładowarek
Fig. 3.12. Frequency of mining at a definite haulage speed under application of cowls



Rys. 3.13. Częstość przeciążenia silników przy zastosowaniu ładowarek
Fig. 3.13. Frequency of overload of motors in case of application of cowls

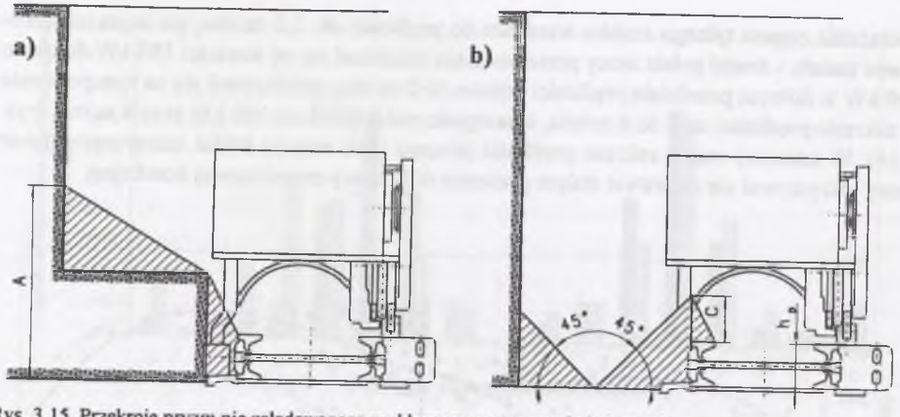
obciążenie organu tylnego szybko wzrastało do prędkości ok. 2,5 m/min, po czym umiarkowanie malało - średni pobór mocy przez kombajn zwiększał się od wartości 180 kW do około 300 kW w dolnym przedziale prędkości posuwu 0÷2 m/min, stabilizował się na tym poziomie w zakresie prędkości od 2 do 6 m/min, a następnie malał do około 200 kW przy 8 m/min (rys. 3.14). W znacznej części zakresu prędkości posuwu (2÷6 m/min) średni sumaryczny pobór mocy utrzymywał się na prawie stałym poziomie 60% mocy znamionowej kombajnu.



Rys. 3.14. Sumaryczny pobór mocy przez kombajn przy zastosowaniu ładowarek
Fig. 3.14. Total power consumption of a shearer operated with cowls

Przy zwrocie urabiania zgodnym ze zwrotem odstawy charakter obciążenia silników napędzających organy urabiające był taki sam, stąd średni sumaryczny pobór mocy rośnie do prędkości 5 m/min osiągając poziom 70% mocy znamionowej kombajnu, po czym spada do wartości około 200 kW przy prędkości maksymalnej 8 m/min. Maksymalny pobór mocy wystąpił przy prędkości 4,5 m/min i wynosił 700 kW, co stanowi 40-procentowe przekroczenie poziomu mocy znamionowej. Większy pobór mocy przy tym zwrocie urabiania w porównaniu ze zwrotem przeciwnym wynika głównie z większego obciążenia silnika napędzającego organ wyprzedzający, gdyż średnie obciążenie napędu organu urabiającego warstwę przyspągową było przy obu zwrotach na tym samym poziomie. Przy zwrocie zgodnym wskutek nieco innego przebiegu procesu ładowania urobku uzyskano korzystniejszy rozkład prędkości posuwu kombajnu, dzięki czemu średnia prędkość posuwu była większa prawie o 1 m/min.

Przy stosowaniu ładowarek stopień załadowania urobku organami urabiającymi na przenośnik jest znacznie większy, o czym świadczą zarówno kształt, jak i wymiary pryzm urobku pozostawionych za poszczególnymi organami. Za organem wyprzedzającym pozostaje pryzma o przekroju trójkątnym (rys. 3.15a), której wysokość łącznie z pozostawioną do urobienia dolnym organem warstwą przyspągową jest mniejsza od wysokości kombajnu średnio o 25 cm. Zdecydowanie zmniejszyła się także ilość urobku pozostawionego za kombajnem na ścieżce kombajnowej w postaci dwu pryzm o przekroju trójkątnym (rys. 3.15b). Wymiary warstw węgla pozostawionego za poszczególnymi organami urabiającymi dla obu wariantów ustawienia organów (Ł1, Ł2) zestawiono w tablicy 3.3.



Rys. 3.15. Przekroje pryzm nie załadowanego urobku przy zastosowaniu ładowarek
Fig. 3.15. Sections of cut coal piles not loaded by a shearer in case of cowls application

Po zamianie organów urabiających i kierunku ich obrotów (wariant Ł2) kształty pryzm urobku, który nie został załadowany przez poszczególne organy, pozostały nie zmienione w stosunku do poprzedniego wariantu. Zmienił się natomiast przebieg procesu ładowania organem tylnym (rys. 3.10b), gdyż urobek w mniejszym stopniu cyrkulował w swobodnej części organu, co znacznie poprawiło stan obciążenia silnika napędzającego ten organ (rys. 3.11). Okazało się również, że w tym przypadku zwrot urabiania nie wpływał tak znacząco, jak poprzednio na zróżnicowanie obciążenia silników. Średnie obciążenie organu tylnego przy zwrocie urabiania przeciwnym do odstawy było bowiem w całym zakresie prędkości posuwu kombajnu tylko o około 20% większe w porównaniu ze zwrotem zgodnym.

Tabela 3.3
Wymiary pryzm urobku nie załadowanego przez kombajn przy zastosowaniu ładowarek w ścianie 5/I

Wariant	Zwrot urabiania zgodny				Zwrot urabiania przeciwny			
	Nr zestawu	A [m]	C [m]	z [m]	Nr zestawu	A [m]	C [m]	z [m]
Ł1	25	1,25	0,25	0,99	47	1,35	0,30	0,96
	47	1,30	0,25	0,92	70	1,25	0,25	0,85
	90	1,30	0,25	0,88	120	1,25	0,25	0,90
	Wartość średnia	1,283	0,250	0,930	Wartość średnia	1,283	0,267	0,903
Ł2	23	1,25	0,25	0,90	36	1,30	0,30	0,96
	75	1,35	0,30	0,94	62	1,25	0,30	0,90
	125	1,30	0,25	0,97	82	1,30	0,25	0,93
	Wartość średnia	1,300	0,267	0,937	Wartość średnia	1,283	0,283	0,930

Rozkład częstości przekroczenia wartości progowej działania regulatora był w obu przypadkach umiarkowanie asymetryczny, jednak przy zwrocie przeciwnym do zwrotu odstawy częstości większe od 5% występowały w szerszym przedziale prędkości posuwu (2÷8 m/min) w porównaniu ze zwrotem zgodnym (4÷7 m/min).

Porównując przy obu wariantach ustawienia organów urabiających średnie obciążenie oraz częstość przeciążenia silnika napędzającego organ tylny można stwierdzić, że zdecydowanie korzystniejszy jest wariant Ł2, w którym organ tylny pracuje podsiębiernie. Przy zwrocie urabiania przeciwnym do zwrotu odstawy i prędkościach mniejszych od 3 m/min obciążenie występujące przy wariancie Ł1 było około dwukrotnie większe, po czym w miarę wzrostu prędkości różnica obciążenia malała, wynosząc średnio ok. 50% wartości obciążenia przy wariancie Ł2. Przy urabianiu zgodnym względna różnica średniego obciążenia silnika utrzymywała się w granicach 50÷70% na niekorzyść wariantu Ł1. Częstości przeciążenia w większości przyjętych przedziałów prędkości posuwu kombajnu przy obu zwrotach urabiania były około dwukrotnie większe w przypadku wariantu Ł1.

Cechą charakterystyczną przebiegu obciążenia silników napędzających organ tylny są lokalne spadki średniej wartości natężenia prądu występujące przy obu wariantach ustawienia organów urabiających. W przypadku podsiębiernego kierunku obrotów tego organu (wariant Ł2) spadek obciążenia występuje niezależnie od zwrotu urabiania przy prędkościach: około 1,5 i 2,5 m/min. Przy obrotach nadsiębiernych (wariant Ł1) zjawisko to zachodzi przy tej samej prędkości przy ruchu zgodnym ze zwrotem odstawy, natomiast przy zwrocie przeciwnym ponowny spadek obciążenia występuje przy prędkości nieco większej, wynoszącej około 3 m/min. Można to wytłumaczyć przebiegiem procesu ładowania urobku. Przy prędkościach mniejszych od 1,5 m/min przestrzeń pomiędzy organem urabiającym i ładowarką nie jest jeszcze wypełniona urobkiem. Stąd opory urabiania i ładowania rosną w miarę wzrostu prędkości posuwu kombajnu. Odspojony nożami urobek tylko częściowo jest przekazywany na przenośnik. Przy osiągnięciu prędkości około 1,5 m/min wspomniana przestrzeń zostaje wypełniona do wysokości rynien przenośnika, co wspomaga przebieg procesu urabiania. Przekazywanie urobku na przenośnik jest łatwiejsze, gdyż jest on przesuwany po górnej powierzchni warstwy węgla wypełniającego w coraz większym stopniu przestrzeń oddzielającą ładowarkę od organu. W miarę dalszego wzrostu prędkości posuwu kombajnu formuje się naturalna zsuwnia. Przy prędkości około 2,5 m/min jej kąt nachylenia umożliwia swobodne przemieszczanie się po niej urobku w stronę przenośnika. Przy ruchu przeciwnym do zwrotu odstawy, ze względu na częściowe zapełnienie przenośnika nosiwem w tym miejscu, wysokość na jaką należy podnieść urobek, jest nieco większa i stąd większa prędkość posuwu przy wariancie Ł1. Podobne zjawisko nieznacznego obniżenia średniego obciążenia silnika występuje także w przypadku silnika organu wyprzedzającego przy prędkości około 2 m/min.

Nałożenie się na siebie obciążenia obu silników napędzających organy urabiające sprawia, że podobne wahania obciążenia występują w przypadku sumarycznego poboru mocy przez kombajn (rys. 3.14).

Podobnie jak w poprzednio analizowanych przypadkach, średnie obciążenie silnika elektrycznego napędzającego pompę ciągnika hydraulicznego ma taki sam przebieg przy obu zwrotach urabiania (rys. 3.11). Większe o około 10% średnie wartości natężenia prądu występowały w wariancie Ł2 jedynie przy ruchu przeciwnym do zwrotu odstawy.

Zależność średniego sumarycznego poboru mocy przez kombajn od prędkości posuwu potwierdza fakt, że wariant Ł2 ustawienia organów urabiających, w którym organ wyprzedzający obraca się nadsiębiernie, a tylny podsiębiernie, jest korzystniejszy przy utrudnionych warunkach przekazywania urobku na przenośnik ścianowy organem tylnym. W trakcie urabiania zgodnego ze zwrotem odstawy średni pobór mocy był wówczas mniejszy w granicach 50÷150 kW, co w odniesieniu do mocy rozpatrywanego wariantu daje różnicę względną wynoszącą 17÷150%. Poza obniżeniem poboru mocy uzyskano również nieznaczny wzrost średniej prędkości posuwu z 3,68 m/min do 3,89 m/min.

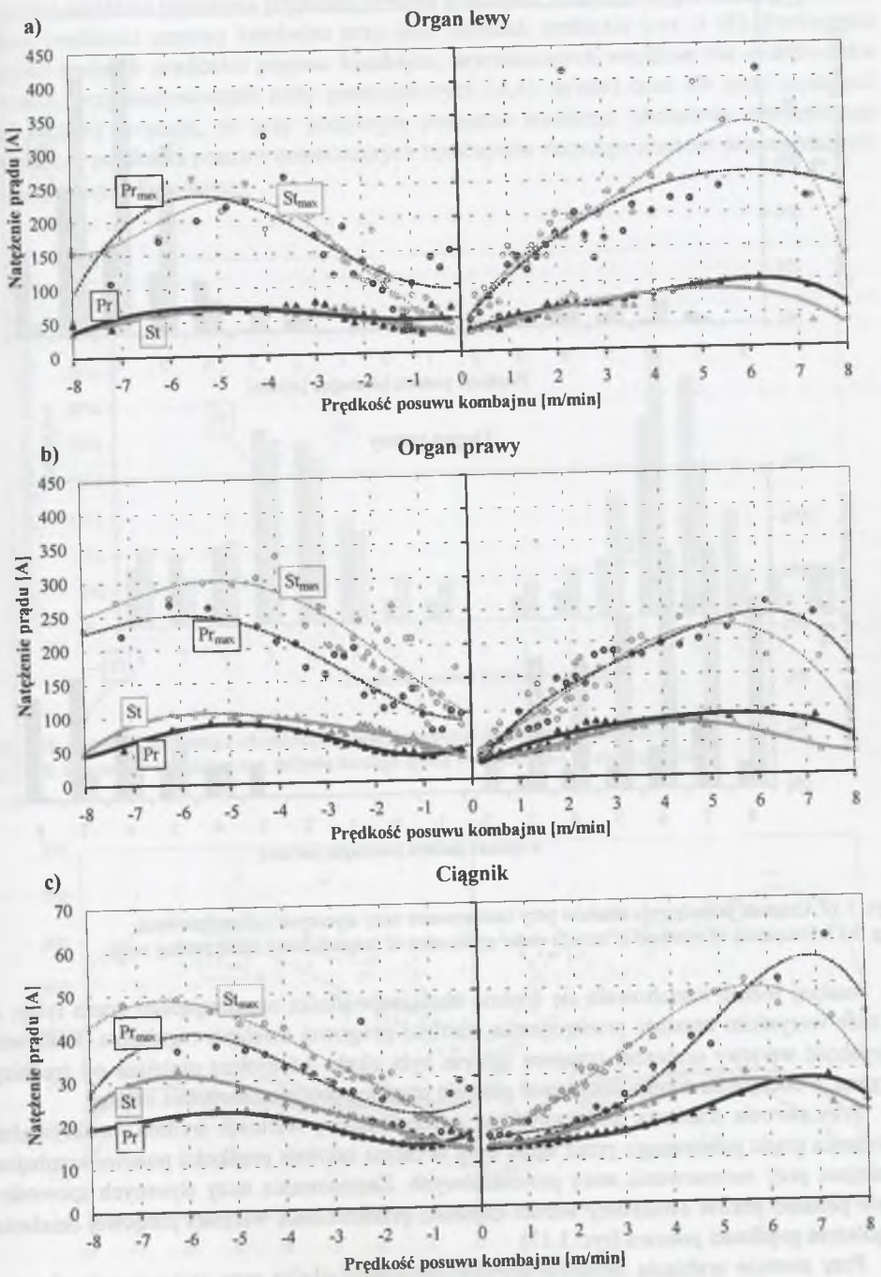
Przy zwrocie przeciwnym do odstawy największa różnica poboru mocy, wynosząca około 100 kW, występowała przy prędkościach kombajnu mniejszych od 1 m/min, a następnie w zakresie od 1m/min do 3 m/min utrzymywała się w zakresie 50÷100 kW. Należy przy tym zaznaczyć, że w przypadku wariantu Ł1 kombajn urabiał z prędkością mniejszą od 3 m/min przez prawie 70% czasu pracy przy tym zwrocie urabiania. Pobór mocy wyrównał się przy prędkości 5 m/min, po czym większe sumaryczne obciążenie występowało w wariancie Ł2. Dzięki zmianie kierunku obrotów organów urabiających średnia prędkość posuwu przy tym zwrocie urabiania wzrosła o ponad 50%, a czas urabiania z prędkością większą od 4 m/min wynosił 55% sumarycznego czasu pracy kombajnu (rys. 3.12).

Pomiary przeprowadzone w ścianie nr 5N w KWK Bogdanka

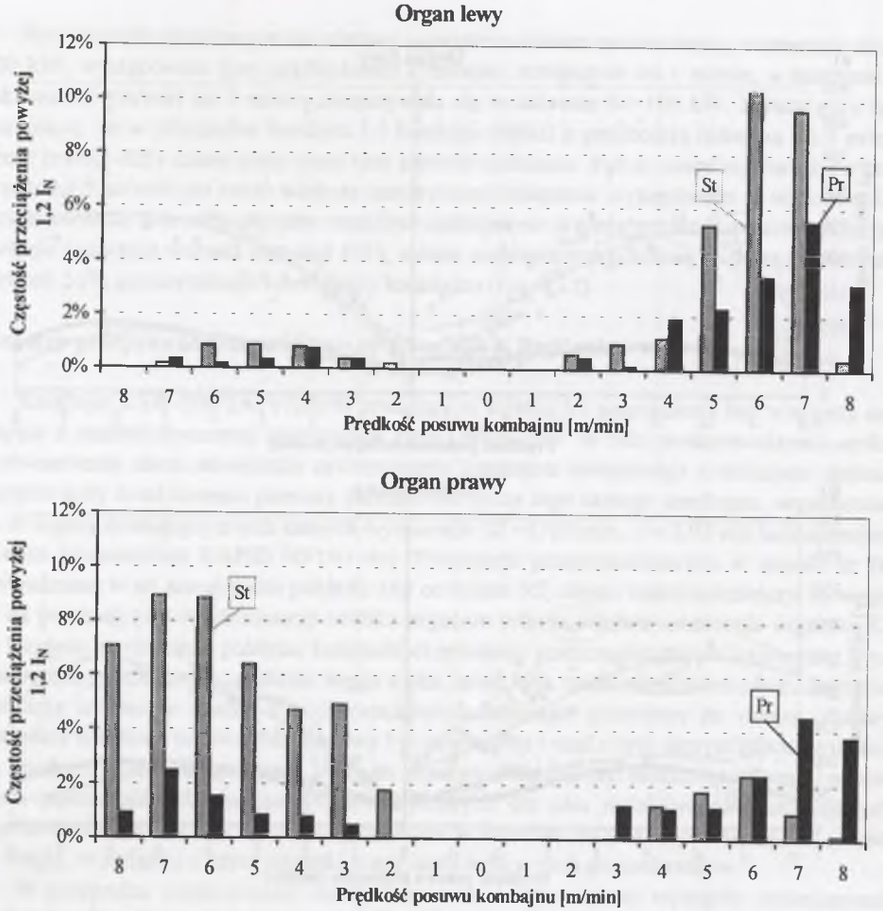
Kombajn KSW-500/2A2V/2BPN pracujący w ścianie 5/I wyposażony był w organy urabiające z nożami stycznymi obrotowymi typu U82 K-163. W celu przeprowadzenia analizy porównawczej stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu związanego z rodzajem zastosowanych noży zrealizowano pomiary parametrów pracy tego samego kombajnu, wyposażonego w organy urabiające o tych samych wymiarach (D =1700 mm, z = 0,95 m), lecz uzbrojone w noże promieniowe RAPID 90/100 wzr. Pomiarami przeprowadzonymi w ścianie nr 5N, prowadzonej w tej samej partii pokładu 382 co ściana 5/I, objęto najkorzystniejszy ze względu na przebieg procesu ładowania urobku organem tylnym wariant ustawienia organów Ł2. Ze względu na rozcięcie pokładu, kolejność eksploatacji poszczególnych pól i związany z tym system transportu urobku odstawa węgla z obu ścian była realizowana odmiennie. Zwrotowi urabiania w lewo w ścianie 5/I odpowiadał ruch kombajnu przeciwny do zwrotu odstawy, natomiast w ścianie nr 5N układ odstawy był odwrócony i stąd z tym samym zwrotem urabiania związany był ruch zgodny ze zwrotem odstawy. Fakt ten jest bardzo istotny przy porównaniu poszczególnych charakterystyk otrzymanych dla obu rodzajów noży urabiających. Usytuowanie frontów obu ścian było jednakowe w stosunku do płaszczyzn osłabionej spójności węgla, w związku z czym warunki pracy noży były w nich porównywalne.

W przypadku rozpatrywanej ściany (znaczniki i linie czarne) wystąpiło zróżnicowanie średniego obciążenia silników napędzających organ wyprzedzający przy obu zwrotach urabiania. Przy zwrocie urabiania przeciwnym do odstawy (w prawo) średnie obciążenie silnika było o 10÷15% wartości prądu znamionowego większe w stosunku do zwrotu zgodnego (rys. 3.16). Biorąc pod uwagę poziome zaleganie pokładu oraz fakt, że organ wyprzedzający urabiał warstwę przy stropie wyrobiska, można wykluczyć wpływ przebiegu procesu ładowania urobku organem urabiającym na taki stan obciążenia obu silników. Przyczyną tego zróżnicowania mogło być usytuowanie frontu ściany do płaszczyzn osłabionej spójności węgla w pokładzie. Jak wykazały badania przeprowadzone przez W. Sikorę [66], usytuowanie kliważu w stosunku do kierunku skrawania noża ma istotny wpływ na wartość siły skrawania. Ponadto w porównaniu ze zwrotem zgodnym w przypadku zwrotu przeciwnego wystąpiła zdecydowanie większa częstość przekroczenia wartości progowej działania regulatora przez silnik napędzający organ urabiający warstwę przystropową (rys.3.17).

Zmiana noży promieniowych na styczne spowodowała nieznaczną poprawę średniego obciążenia silnika napędzającego organ wyprzedzający, co jest wyraźnie widoczne przy zwrocie urabiania w prawo (rys. 3.16). Okazała się ona zatem korzystna ze względu na przebieg procesu skrawania.



Rys. 3.16. Charakterystyki obciążenia zespołów kombajnu przy zastosowaniu noży stycznych i promieniowych
Fig. 3.16. Load characteristics of shearer's units under application of tangential and radial cutting tools



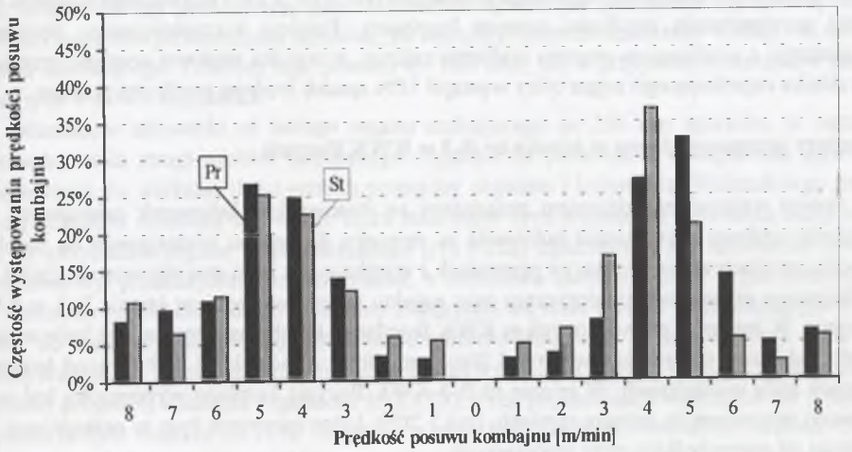
Rys. 3.17. Częstość przeciążenia silników przy zastosowaniu noży stycznych i promieniowych
Fig. 3.17. Frequency of overload of motors under application of tangential and radial cutting tools

Inaczej jednak kształtowało się średnie obciążenie silnika napędzającego organ tylny, a przede wszystkim częstość przekroczenia wartości progowej działania regulatora. Ponieważ wysokość warstwy urabianej organem tylnym była około 2,5-krotnie mniejsza od średnicy organu, o obciążeniu silnika decydował głównie przebieg procesu ładowania urobku.

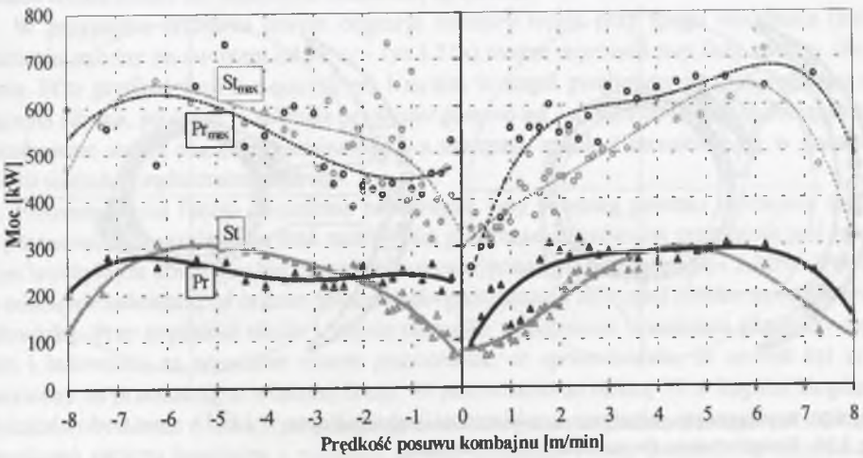
Przy zwrocie urabiania przeciwnym do zwrotu odstawy wartości: średnia i maksymalna natężenia prądu pobieranego przez silnik były w całym zakresie prędkości posuwu kombajnu mniejsze przy zastosowaniu noży promieniowych. Zastosowanie noży stycznych spowodowało ponadto prawie dwukrotny wzrost częstości przekroczenia wartości progowej działania regulatora prędkości posuwu (rys. 3.17).

Przy zwrocie urabiania zgodnym średnie obciążenie silnika przy zastosowaniu obu rodzajów noży było na tym samym poziomie, lecz częstość przeciążenia silnika przy zastosowaniu noży stycznych była również zdecydowanie większa, co jest bardzo istotne ze względu

na zasadę działania regulatora prędkości posuwu kombajnu. Znajduje to potwierdzenie w rozkładzie prędkości posuwu kombajnu przy obu zwrotach urabiania (rys. 3.18). Porównanie wartości średnich prędkości posuwu kombajnu, wyznaczonych wspólnie dla obu zwrotów urabiania, przy zastosowaniu noży promieniowych (4,41 m/min) oraz dla noży stycznych (4,01 m/min) dowodzi, że przy podobnym poziomie średniego obciążenia zewnętrznego kombajnu o prędkości posuwu nowoczesnych kombajnów decyduje częstość przeciążenia silników głównych kombajnu.



Rys. 3.18. Częstość urabiania z określoną prędkością posuwu dla obu rodzajów noży
Fig. 3.18. Frequency of mining at a definite haulage speed for both types of cutting tools



Rys. 3.19. Sumaryczny pobór mocy przy zastosowaniu noży stycznych i promieniowych
Fig. 3.19. Total power consumption under application of tangential and radial cutting tools

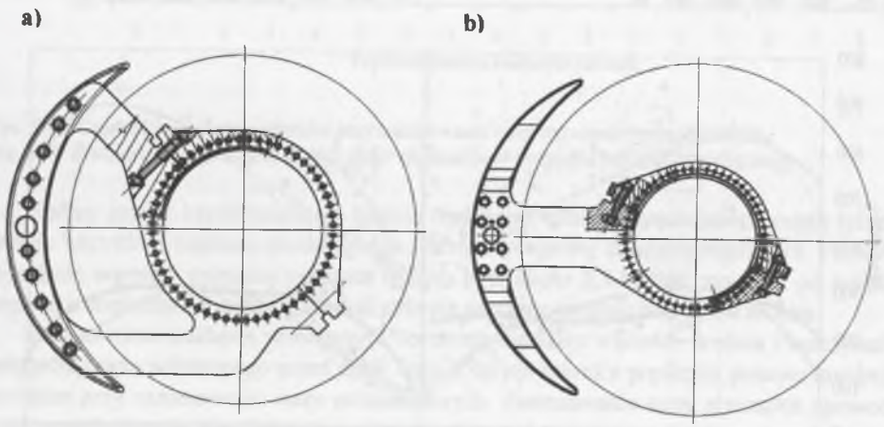
Zastosowanie danego rodzaju noży wpływa również na stan obciążenia silnika elektrycznego ciągnika hydraulicznego kombajnu. Średni pobór prądu przy obu zwrotach urabiania był większy w przypadku noży stycznych. Wynikało to z faktu, że przy zastosowaniu tych noży występuje inna relacja pomiędzy siłami skrawania i docisku. Zwiększenie siły docisku powoduje wzrost siły posuwu, a tym samym większe obciążenie ciągnika kombajnu.

Powyższa analiza dowodzi, że bardzo istotne znaczenie ma prawidłowy dobór rodzaju noży do określonych warunków eksploatacyjnych. Okazało się, że w warunkach pokładu 382 w KWK Bogdanka (węgiel średnio urabialny) zastosowanie noży stycznych spowodowało zmianę stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu (rys. 3.16, 3.19) i uzyskanego rozkładu częstości występowania prędkości posuwu kombajnu. Pomimo korzystniejszego obciążenia związanego z przebiegiem procesu urabiania calizny, w wyniku większej częstość przeciążenia silnika napędzającego organ tylny wystąpił 10% spadek średniej prędkości posuwu.

Pomiary przeprowadzone w ścianie nr B-3 w KWK Borynia

Innym ważnym zagadnieniem związanym ze stosowaniem ładowarek osłonowych jest ustalenie wpływu usytuowania ładowarki w stosunku do organu urabiającego na przebieg procesu przekazywania urobku na przenośnik i wynikający z tego stan obciążenia silnika napędzającego organ. Badania dotyczące tego aspektu przeprowadzono w ścianie B-3 w KWK Borynia. W ścianach prowadzonych w KWK Bogdanka kombajny wyposażone były w ładowarki osłonowe dwuramionowe (rys.3.20a), ustawione w odległości 150 mm od krawędzi tnących noży urabiających. W ścianie nr B-3 KWK Borynia kombajn wyposażony był w ładowarki mocowane na jednym ramieniu (rys.3.20b), które ustawione były w następującej odległości od wierzchołków noży urabiających:

- organ lewy - 250 mm,
- organ prawy - 165 mm.



Rys. 3.20. Rozwiązania konstrukcyjne mocowania ładowarek osłonowych
Fig. 3.20. Design solutions for mounting of powered cowls

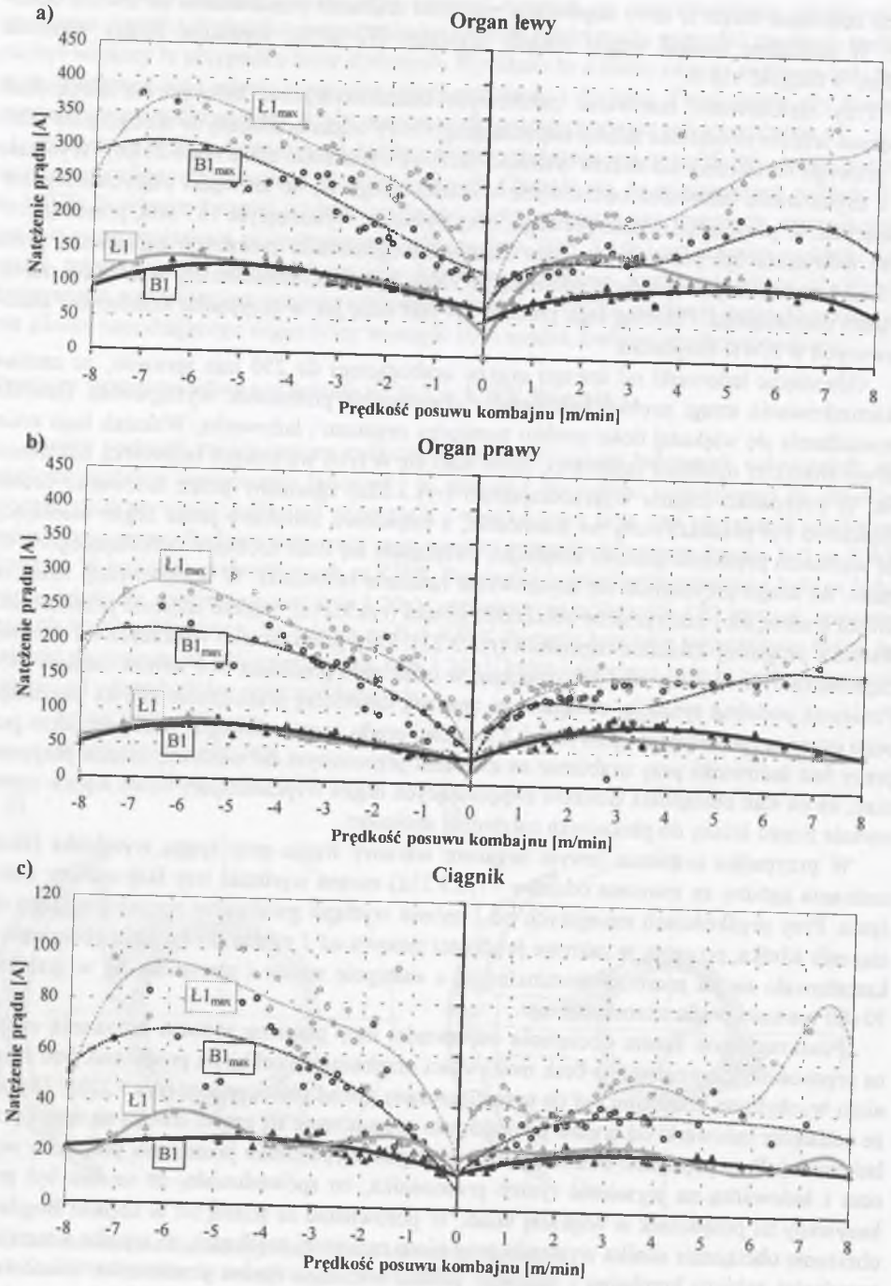
Wyposażenie ściany B-3 w KWK Borynia stanowił kombajn ścianowy KSW-500 z organami o średnicy 1800 mm i szerokości zabioru 0,75 m. Na charakterystykach eksploatacyjnych kombajnu zwrot w lewo odpowiada zwrotowi urabiania przeciwnemu do zwrotu odstawy. W pokładzie zalegał węgiel średnio urabialny (F_k=26%), wysokość ściany wynosiła 2,8 m, a długość 158 m.

Przy zastosowaniu ładowarek osłonowych charakterystyczne było prawie dwukrotnie większe średnie obciążenie silnika napędzającego lewy organ urabiający w stosunku do silnika prawego niezależnie od zwrotu urabiania (krzywe i znaczniki szare rys.3.21a,b). Wynikało to z usytuowania ładowarek osłonowych w różnej odległości od krawędzi tnących noży urabiających. W przypadku organu prawego, przy dystansie wynoszącym 165 mm, przebieg procesu ładowania był prawidłowy, gdyż ładowarka ograniczała przestrzeń zajmowaną przez urobek i stanowiła powierzchnię oporową, po której był on przemieszczany wzdłuż osi obrotu organu urabiającego. Przebieg tego procesu był taki sam, jak w przypadku kombajnów zastosowanych w KWK Bogdanka.

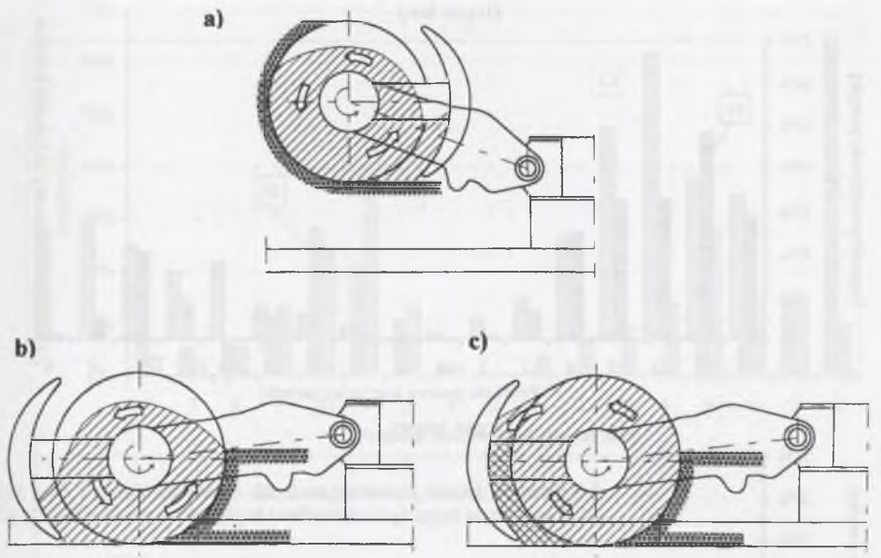
Odsunięcie ładowarki od lewego organu urabiającego do 250 mm sprawiło, że zamiast ukierunkowania strugi urobku ładowanego organem na przenośnik występowało zjawisko gromadzenia się większej ilości urobku pomiędzy organem i ładowarką. Wskutek tego zmienił się charakter działania ładowarki, która stała się w tych warunkach ładowarką odkładniową. W przypadku organu wyprzedzającego (rys.3.22a) zgarniany przez ładowarkę urobek częściowo był przekazywany na przenośnik, a częściowo zabierany przez organ urabiający. Ze wzrostem prędkości posuwu kombajnu zwiększała się ilość urobku recyrkulującego w organie, do czego przyczyniło się usytuowanie ramienia ładowarki. W konsekwencji rosło zarówno średnie,jak i maksymalne obciążenie silnika (rys.3.21a), a także częstość przekraczania wartości progowej działania regulatora (rys.3.23). Przy prędkościach większych od 3 m/min częstość ta była większa od 10%, osiągając w przedziale prędkości 5÷6 m/min wartość 34%. Ponieważ podobna sytuacja, związana ze znaczną częstością przeciążenia silnika napędzającego organ wyprzedzający powyżej 1,2 wartości prądu znamionowego, wystąpiła także przy pracy bez ładowarki przy urabianiu ze zwrotem przeciwnym do odstawy, można przypuszczać, że na stan obciążenia silników napędzających organ wyprzedzający miało wpływ usytuowanie frontu ściany do płaszczyzn osłabionej spójności.

W przypadku urabiania lewym organem warstwy węgla przy spągu wyrobiska (zwrot urabiania zgodny ze zwrotem odstawy - rys.3.21a) można wyróżnić trzy fazy zmiany obciążenia. Przy prędkościach mniejszych od 1 m/min wystąpił gwałtowny wzrost średniego obciążenia silnika, po czym w zakresie prędkości posuwu od 1 m/min do 4 m/min obciążenie to kształtowało się na poziomie nominalnego, a następnie spadło i utrzymało się w granicach 70÷80 wartości prądu znamionowego.

Poszczególnym fazom obciążenia odpowiadał inny przebieg procesu ładowania urobku na przenośnik. Ze względu na brak możliwości przekazania urobku na przenośnik pod ramieniem wychylnym kombajnu był on przemieszczany ponad piastą organu (rys.3.22b). Zbyt duże oddalenie ładowarki od organu powodowało gromadzenie się części urobku na spągu przed ładowarką. Przy prędkości około 1 m/min nastąpiło wypełnienie przestrzeni pomiędzy organem i ładowarką na wysokość rynien przenośnika, co spowodowało, że urobek był przekazywany na przenośnik w większej ilości. W porównaniu ze ścianą 5/I w kopalni Bogdanka obniżenie obciążenia silnika wystąpiło przy nieco mniejszej prędkości, co wynika z mniejszej szerokości zabioru kombajnu i niższego profilu bocznego rynien przenośnika ścianowego. Przy dalszym wzroście prędkości posuwu urobek stopniowo wypełniał wolną przestrzeń pomiędzy ładowarką i organem, przy czym ramię ładowarki ograniczało w znacznym stopniu możliwość przekazania urobku na przenośnik. Przyczyniło się to do zwiększenia ilości recyr-



Rys. 3.21. Charakterystyki obciążenia zespołów kombajnu w ścianie B-3
Fig. 3.21. Load characteristics of shearer's units on the face B-3



Rys. 3.22. Przebieg ładowania urobku przy zwiększonej odległości ładowarki od organu
Fig. 3.22. Run of the action of cut coal loading in case of an increased distance between a cowl and a cutting drum

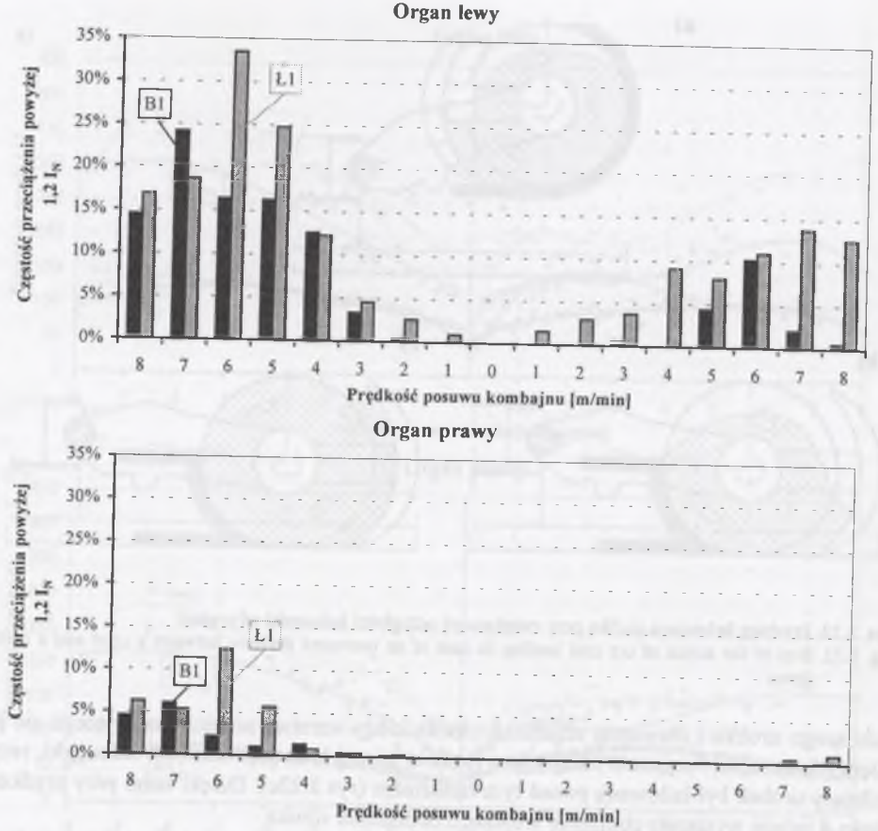
kulującego urobku i dławienia organu. Z chwilą kiedy warstwa urobku znajdującego się pomiędzy ładowarką i organem osiągnęła wysokość górnej krawędzi ramienia ładowarki, recyrkulujący urobek był ładowany ponad tym ramieniem (rys.3.22c). Dzięki temu przy prędkości około 4 m/min wystąpiło obniżenie średniego obciążenia silnika.

Rozkład częstości przeciążenia silnika napędzającego ten organ również odpowiada takiemu przebiegowi procesu ładowania urobku (rys.3.23).

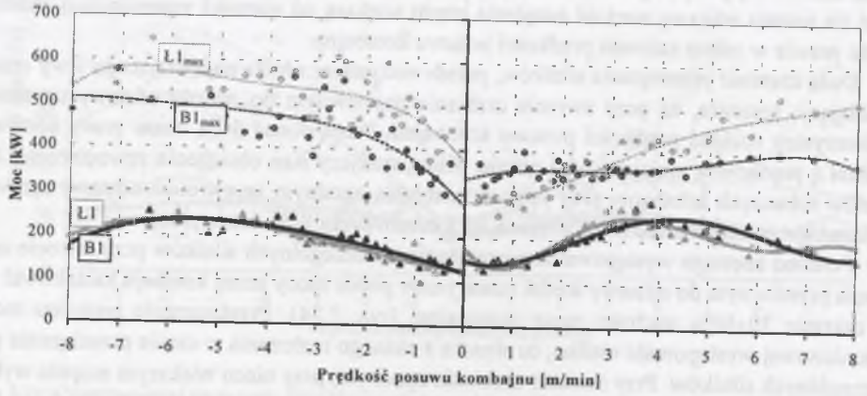
Zmiana charakteru działania ładowarki spowodowała zwiększenie maksymalnego obciążenia silnika napędzającego ciągnik hydrauliczny kombajnu (rys.3.21c). Przy ruchu przeciwnym do zwrotu odstawy wartość natężenia prądu większą od wartości znamionowej zanotowano prawie w całym zakresie prędkości posuwu kombajnu.

Duża częstość przeciążenia silników, przede wszystkim silnika napędzającego lewy organ urabiający, sprawiła, że przy zwrocie urabiania przeciwnym do zwrotu odstawy uzyskano niekorzystny rozkład prędkości posuwu kombajnu. Przez ponad 50% czasu pracy kombajn urabiał z prędkością mniejszą od 3 m/min. Korzystniejszy stan obciążenia zewnętrznego zespołów roboczych kombajnu przy zwrocie urabiania zgodnym ze zwrotem odstawy sprawił, że kombajn urabiał z prędkością większą od 3 m/min przez 80% czasu pracy.

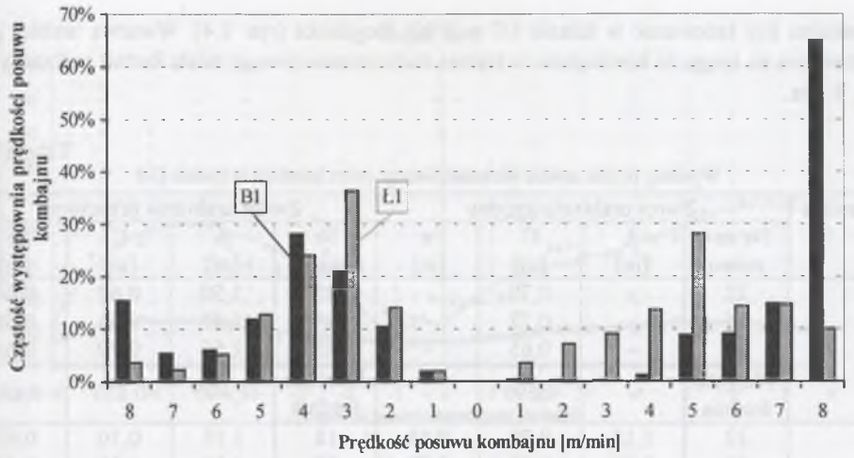
Pomimo częstego występowania przeciążenia poszczególnych silników przy zwrocie urabiania przeciwnym do odstawy średni sumaryczny pobór mocy przez kombajn kształtował się w zakresie 30÷50% wartości mocy nominalnej (rys. 3.24). Przekroczenie poziomu mocy znamionowej występowało rzadko, co wynika z różnego rozłożenia w czasie przeciążenia poszczególnych silników. Przy zwrocie urabiania zgodnym, przy nieco większym stopniu wykorzystania mocy nominalnej i znacznie mniejszym maksymalnym poborze mocy uzyskano korzystniejszy rozkład częstości urabiania z określoną prędkością posuwu kombajnu (rys. 3.25).



Rys. 3.23. Częstość przeciążenia silników w ścianie B-3
Fig. 3.23. Frequency of overload of motors on the face B-3

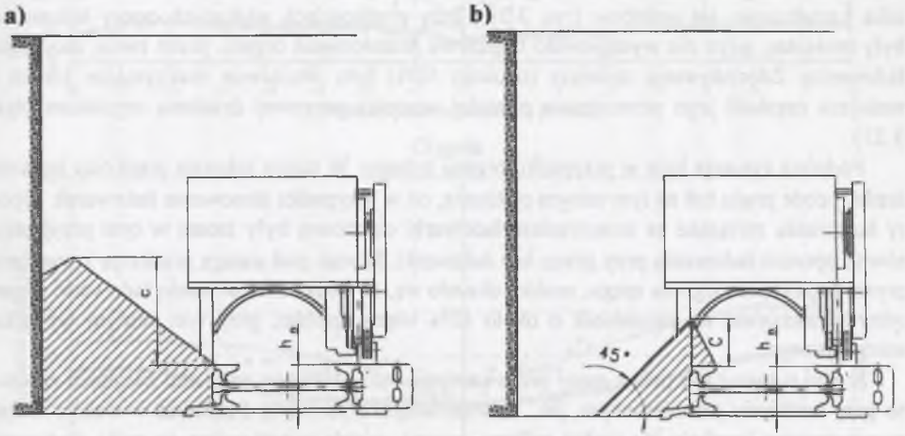


Rys. 3.24. Sumaryczny pobór mocy przez kombajn w ścianie B-3
Fig. 3.24. Total power consumption of a shearer on the face B-3



Rys. 3.25. Częstość urabiania z określoną prędkością posuwu w ścianie B-3
Fig. 3.25. Frequency of mining at a definite haulage speed on the face B-3

Kształt przekroju poprzecznego strugi nie załadowanej organem wyprzedzającym, w przypadku zastosowania ładowarek, był przy obu zwrotach urabiania taki sam, jak w przypadku ściany 5/I w kopalni „Bogdanka" (rys. 3.15). Zmienił się natomiast kształt pryzmy urobku pozostawionej na spągu za organem tylnym (rys. 3.26b). Wymiary przekrojów poszczególnych pryzm przedstawiono w tabeli 3.4.



Rys. 3.26. Przekroje pryzm urobku niezaładowanego organem tylnym w ścianie B-3
Fig. 3.26. Sections of cut coal piles not loaded with a trailing cutting drum on the face B-3

Przy pracy kombajnu bez ładowarek osłonowych zastosowano technologię urabiania jednostronnego przeciwnego do zwrotu odstawy w celu uniknięcia przedostawania się urobku pod przenośnik w trakcie dosuwania go do czoła ściany. Kształt pryzm urobku nie załadowanego przez poszczególne organy w trakcie urabiania był taki sam, jak w przypadku pracy

kombajnu bez ładowarek w ścianie 5/I w KWK Bogdanka (rys. 3.4). Warstwa urobku pozostawiona na spągu za kombajnem w trakcie ruchu manewrowego miała kształt pokazany na rys. 3.26a.

Tabela 3.4

Wymiary pryzm urobku nie załadowanego przez kombajn w ścianie G-3

Wariant	Zwrot urabiania zgodny				Zwrot urabiania przeciwny			
	Nr zestawu	A [m]	C [m]	z [m]	Nr zestawu	A [m]	C [m]	z [m]
B1	22	-	0,70	-	25	1,50	0,68	0,66
	35	-	0,72	-	75	1,47	0,65	0,68
	80	-	0,65	-	85	1,50	0,70	0,65
	Wartość średnia	-	0,690	-	Wartość średnia	1,490	0,677	0,663
Ł1	32	1,12	0,20	0,65	18	1,15	0,30	0,69
	58	1,20	0,25	0,70	58	1,20	0,35	0,71
	73	1,15	0,25	0,69	70	1,10	0,35	0,68
	Wartość średnia	1,157	0,233	0,680	Wartość średnia	1,150	0,333	0,693

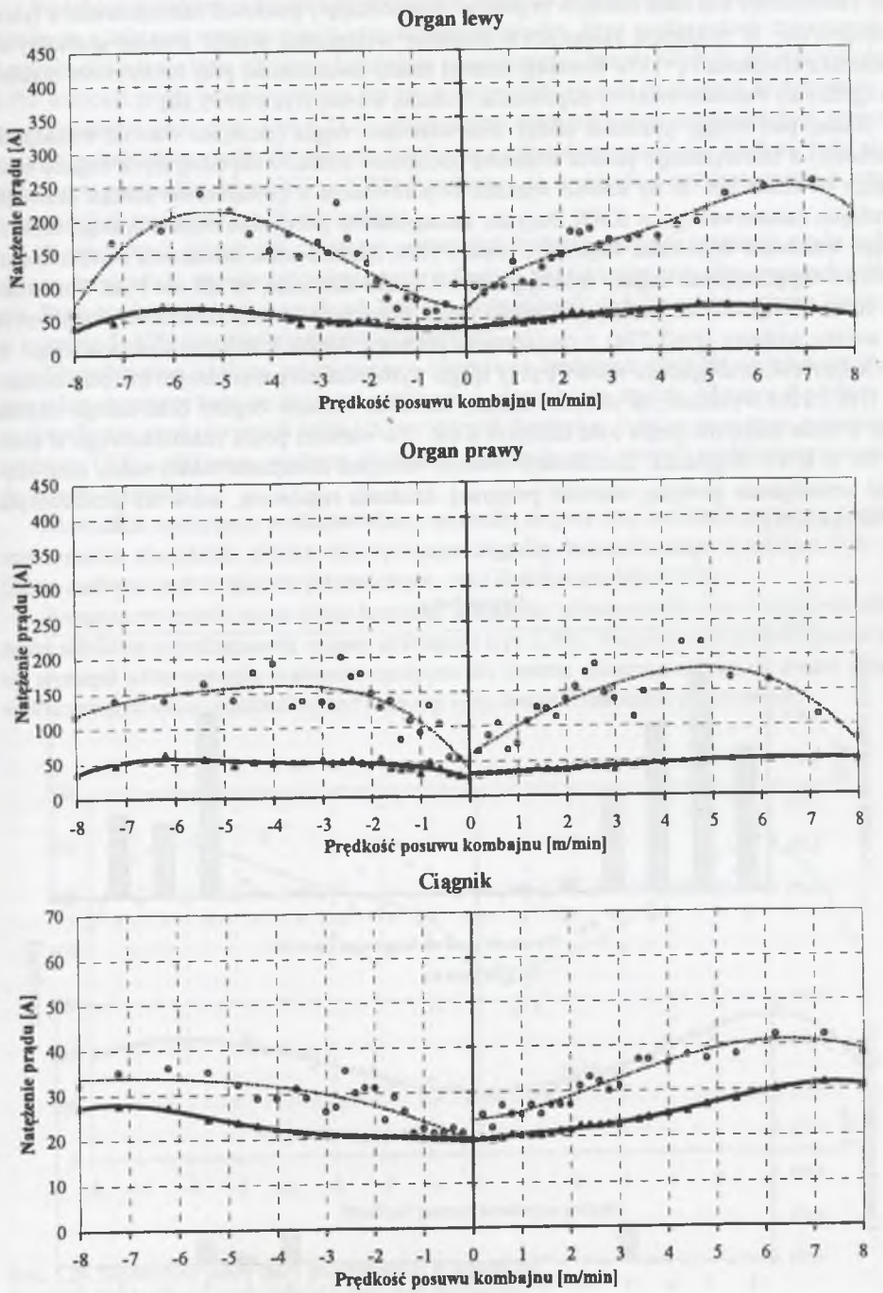
Stan obciążenia silników napędzających organy urabiające przy pracy bez ładowarek (linie i znaczniki czarne) był przy urabianiu (ruch przeciwny do zwrotu odstawy) bardzo zbliżony do ich obciążenia występującego przy zastosowaniu ładowarek. W przypadku organu wyprzedzającego przebieg procesu ładowaniu był podobny do przedstawionego powyżej przy zbyt dużej odległości ładowarki od organu. Stąd do prędkości 5 m/min średnie obciążenia silnika kształtowało się podobnie (rys. 3.21). Przy prędkościach większych opory ładowania były mniejsze, gdyż nie występowało częściowe przesłonięcie organu przez ramię mocujące ładowarkę. Zdecydowanie mniejsze (o około 50%) było obciążenie maksymalne silnika i mniejsza częstość jego przeciążenia powyżej wartości progowej działania regulatora (rys. 3.23).

Podobna sytuacja była w przypadku organu tylnego. W całym zakresie prędkości posuwu średni pobór prądu był na tym samym poziomie, co w przypadku stosowania ładowarek. Opory ładowania związane ze stosowaniem ładowarki osłonowej były zatem w tym przypadku równe oporom ładowania przy pracy bez ładowarki. Biorąc pod uwagę przekroje i wymiary pryzm pozostawionego na spągu, urobku okazało się, że dzięki zastosowaniu ładowarki organ tylny przekazywał na przenośnik o około 40% więcej urobku, przy tym samym wydatku energetycznym.

Średni sumaryczny pobór mocy przez kombajn był jednakowy przy obu zwrotach zarówno przy urabianiu jednostronnym, jak i dwustronnym (rys. 3.24). Ponieważ w trakcie ruchu manewrowego kombajn nie urabia calizny, energia została zużytkowana na mało skuteczne ładowanie urobku organami na przenośnik i jego dodatkowe rozdrobnienie.

Pomiary przeprowadzone w ścianie 6N w KWK Bogdanka

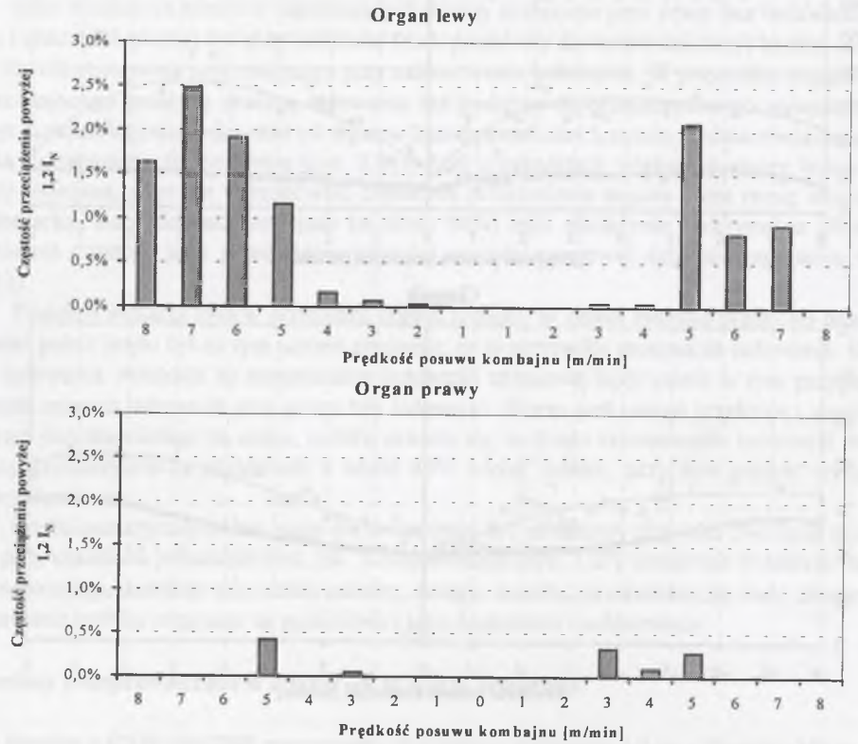
Kombajn KSW-500/2BP zastosowany w ścianie o wysokości 3,2 m, i długości 248 m był wyposażony w organy urabiające o tych samych wymiarach zewnętrznych, co kombajn w ścianie B-3 w KWK Borynia. Zasadniczą różnicę stanowiły: układ noży na organie urabiają-



Rys. 3.27. Charakterystyki obciążenia zespołów kombajnu w ścianie 6N
Fig. 3.27. Load characteristics of shearer's units on the face 6N

cym i odwrócony kierunek obrotów organów: wyprzedzający pracował nadsiębiernie, a tylny podsiębiernie. W pokładzie zalegającym poziomo występował węgiel średnio urabialny o wskaźniku kruchości F_k=19%. Kombajn urabiał ścianę dwustronnie, przy czym zwrot urabiania zgodny ze zwrotem odstawy odpowiadał ruchowi w lewo (rys.3.27÷3.30).

Biorąc pod uwagę wysokość ściany oraz własności węgla (mniejsza wartość wskaźnika kruchości) z teoretycznego punktu widzenia obciążenie silników napędzających organy urabiające powinno być w tej ścianie większe w porównaniu z obciążeniem silnika prawego kombajnu zastosowanego w KWK Borynia, szczególnie w przypadku organu tylnego urabiającego warstwę o wysokości większej o prawie 50%. Analiza stanu obciążenia zewnętrznego silników napędzających organy urabiające (rys.3.27a,b) dowiodła, że tak nie było. Porównanie stanu obciążenia silnika napędzającego organ tylny przy zwrocie urabiania przeciwnym do zwrotu odstawy (rys.3.27a) z obciążeniem prawego silnika kombajnu zastosowanego w KWK Borynia, urabiającego warstwę przy spągu wyrobiska przy tym samym zwrocie urabiania (rys.3.21b) wykazało, że wskutek zmiany kierunku obrotów organu oraz innego układu noży średnie natężenie prądu było mniejsze o ok.10% wartości prądu znamionowego w ścianie 6N w KWK Bogdanka. Zanotowano również mniejsze obciążenie maksymalne oraz częstość przeciążenia powyżej wartości progowej działania regulatora, która nie przekroczyła 2,5% (rys.3.28).



Rys. 3.28. Częstość przeciążenia silników w ścianie 6N
Fig. 3.28. Frequency of overload of motors on the face 6N

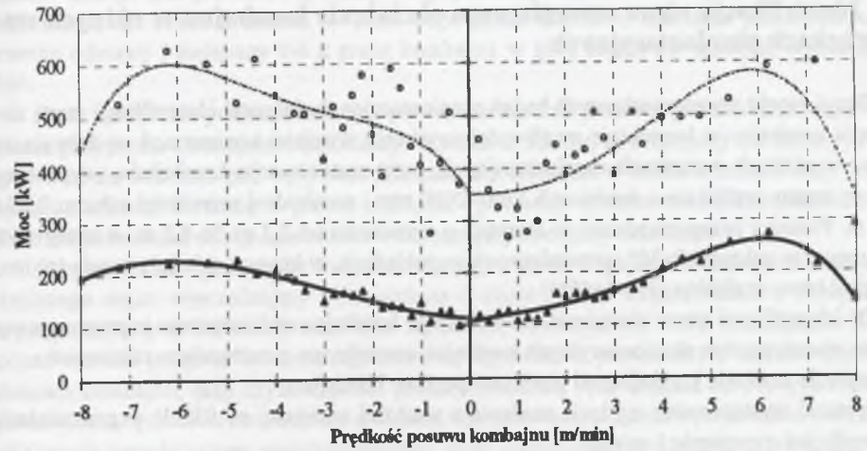
Podobnie przedstawia się relacja obciążenia silników w przypadku urabiania ze zwrotem zgodnym z odstawą warstwy węgla przy stropie wyrobiska. Przy prędkościach mniejszych od 4 m/min obciążenie tego silnika w kombajnie pracującym w ścianie 6N było mniejsze o około 10% wartości prądu znamionowego, po czym przy prędkościach większych kształtowało się na tym samym poziomie (rys.3.21a). Maksymalne wartości prądu odpowiadające poszczególnym przedziałom prędkości posuwu kombajnu i częstość przeciążenia silników były nieco większe w przypadku ściany 6N w KWK Bogdanka., co wynikało z urabiania węgla o innych własnościach (mniejsza kruchość węgla).

W warunkach ściany 6N charakter zmienności średniej wartości natężenia prądu pobieranego przez silnik napędzający organ wyprzedzający był taki sam przy obu zwrotach urabiania. Przy prędkościach większych od 2 m/min występowało jednak zróżnicowanie ilościowe w zakresie 5÷10% wartości prądu znamionowego.

Zdecydowanie większe zróżnicowanie obciążenia średniego silników napędzających organ tylny związane było ze zwrotem urabiania w stosunku do zwrotu odstawy. Podobnie jak w dotychczas analizowanych ścianach, w których kombajny były wyposażone w organy o średnicy 1700 i 1800 mm, większe obciążenie wystąpiło przy zwrocie urabiania przeciwnym do zwrotu odstawy.

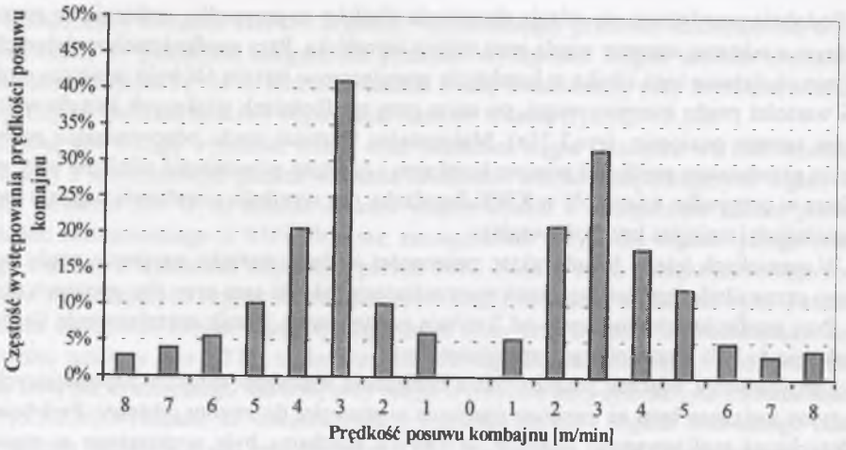
Niewielkie nachylenie podłużne ściany sprawiło, że przy obu zwrotach urabiania średnie i maksymalne obciążenie silnika elektrycznego ciągnika hydraulicznego kombajnu było podobne zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym (rys.3.27c).

Sumaryczny pobór mocy przez kombajn dokładnie odzwierciedla stan i charakter obciążenia silników napędzających organy urabiające (rys.3.29). Większy maksymalny pobór mocy wystąpił przy zwrocie urabiania zgodnym do zwrotu odstawy, natomiast średni stopień wykorzystania mocy nominalnej był większy przy zwrocie urabiania przeciwnym.



Rys. 3.29. Sumaryczny pobór mocy przez kombajn w ścianie 6N
Fig. 3.29. Total power consumption of a shearer on the face 6N

Porównanie częstości urabiania z określoną prędkością posuwu (rys. 3.25, 3.30) oraz stanu obciążenia silników napędzających organy urabiające o tej samej średnicy i szerokości za-



Rys. 3.30. Częstość urabiania z określoną prędkością posuwu w ścianie 6N
Fig. 3.30. Frequency of mining at a definite haulage speed on the face 6N

bioru, przy bardzo zbliżonej odległości usytuowania ładowarek osłonowych, potwierdziło istotność czynnika związanego z kierunkiem obrotów organów urabiających w przypadku średnic 1700 i 1800 mm. W przypadku cech konstrukcyjnych obecnie stosowanego rozwiązania ramienia wychylnego kombajnu zdecydowanie korzystniejszy jest wariant ustawienia organów, w którym organ wyprzedzający pracuje nadsiębiernie, a tylny podsiębiernie.

3.4. Identyfikacja stanu zewnętrznego obciążenia kombajnu w różnych warunkach eksploatacyjnych

Drugi aspekt przeprowadzonych badań eksploatacyjnych dotyczył identyfikacji stanu obciążenia kombajnu w kontekście możliwości uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia ze ściany w różnych warunkach eksploatacyjnych, przy zastosowaniu kombajnów wyposażonych w organy urabiające o średnicach 1700÷2000 mm i nominalnej szerokości zabioru 0,65 i 0,75 m. Pomiary przeprowadzono w ścianach o wysokości od 2,3 m do 4,2 m, o nachyleniu podłużnym w zakresie 0÷30°, prowadzonych w pokładach, w których zalegały węgle trudno, średnio i łatwo urabialne (F_k= 7÷45%).

Do identyfikacji stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu wykorzystano zaproponowany zestaw charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu uzupełniony o następujące zależności:

- napięcia zasilania kombajnu od prędkości posuwu kombajnu,
- częstość występowania napięcia zasilania o wartości mniejszej od 950 V w przedziałach prędkości o rozstępie 1 m/min.

Przyjęcie tak szerokiego zakresu charakterystyk umożliwia przeprowadzenie wszechstronnej oceny uwzględniającej czynniki związane z warunkami naturalnymi, technicznymi i technologicznymi. Ze względu na objętość pracy, dla każdej ze ścian przedstawiono tylko te z analizowanych charakterystyk, które są najistotniejsze dla zaprezentowania stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu w warunkach danej ściany. Wszystkie wymienione powyżej charakterystyki eksploatacyjne zamieszczone są w sprawozdaniu z realizacji projektu badawczego finansowanego przez KBN [27].

Na charakterystykach eksploatacyjnych przedstawiających zależność natężenia prądu, mocy i napięcia zasilania od prędkości posuwu kombajnu znaczniki określają wartość średnią danego parametru, a długość pionowych odcinków zakres zmienności tego parametru przy określonej wartości prędkości posuwu. W przypadku charakterystyk częstości przekroczenia wartości progowej działania regulatora prędkości posuwu (1,2 I_N) kolor szary dotyczy organu lewego, a czarny prawego.

Na potrzeby prowadzonej analizy przodki zostały uporządkowane w kolejności wynikającej z wysokości ściany, urabialności węgla zalegającego w pokładzie i parametrów organów urabiających. W pierwszej kolejności analizą objęto kombajny wyposażone w organy urabiające o najmniejszych średnicach. Przyjęto zasadę, że w przypadku tej samej lub zbliżonej średnicy organu urabiającego o uszeregowaniu przodków decyduje wysokość ściany w porządku rosnącym, a następnie urabialność węgla w pokładzie.

Pomiary przeprowadzone w ścianie nr 4 w KWK Sośnica

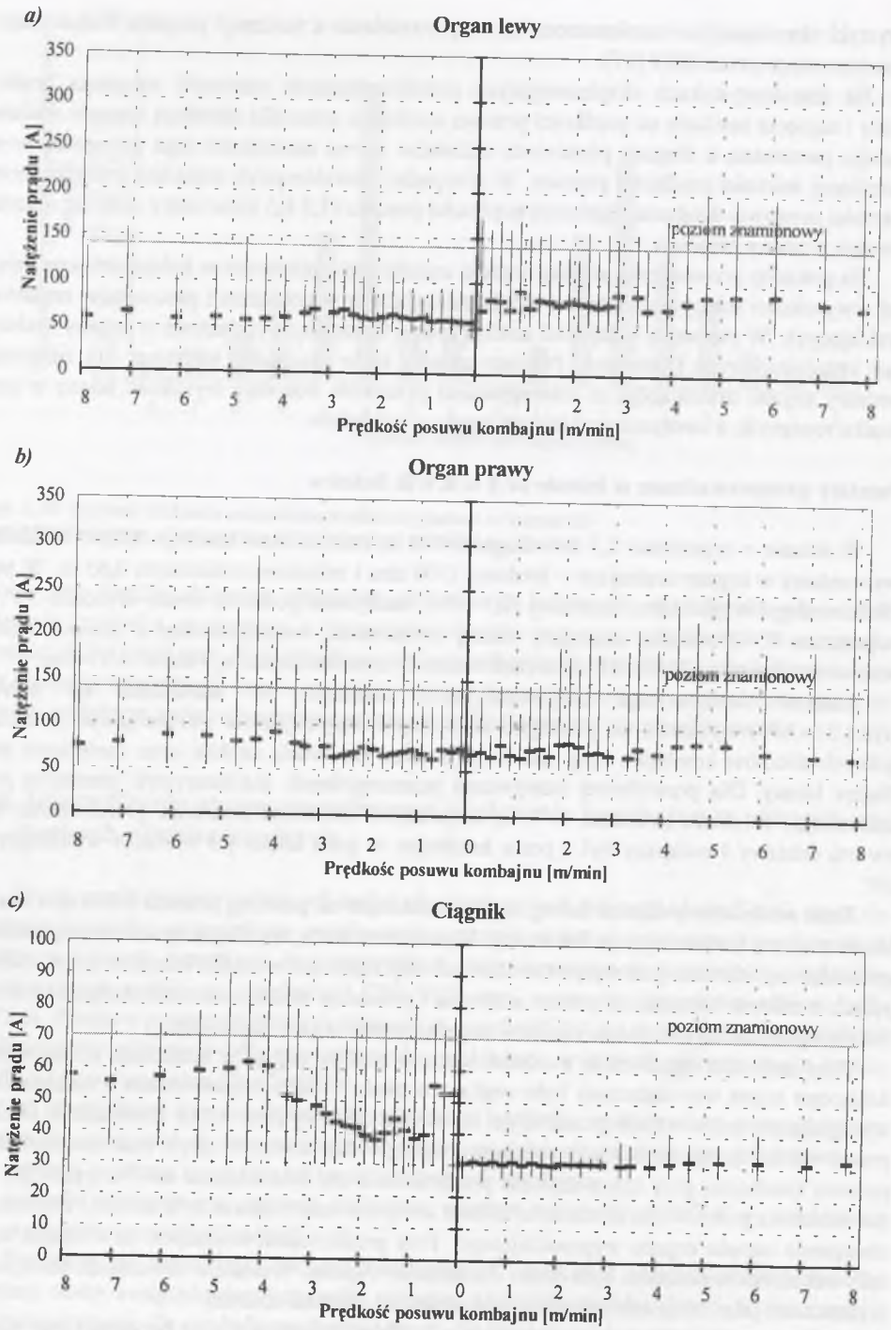
W ścianie o wysokości 2,3 m i długości 190 m zastosowano kombajn KGS-500/2BPH wyposażony w organy urabiające o średnicy 1700 mm i zabiorze nominalnym 0,65 m. W pokładzie zalegał węgiel łatwo urabialny (F_k=45%), nachylenie podłużne ściany wynosiło 30°, a poprzeczne 0°. Kombajn, urabiający ścianę dwustronnie, współpracował z przenośnikiem ścianowym Rybnik - 255/842 i zestawami obudowy zmechanizowanej Fazos-15/31-Poz.

Analiza charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu w warunkach tej ściany (rys.3.31÷3.35) wykazała, że głównymi czynnikami wpływającymi na obciążenie poszczególnych silników kombajnu były: przebieg procesu ładowania urobku oraz nachylenie podłużne ściany. Dla prawidłowej interpretacji poszczególnych charakterystyk niezbędna jest informacja, że zwrot urabiania w lewo odpowiadał zwrotowi urabiania przeciwnemu do zwrotu odstawy i związany był z pracą kombajnu w górę ściany po wzniosie wynoszącym 30°.

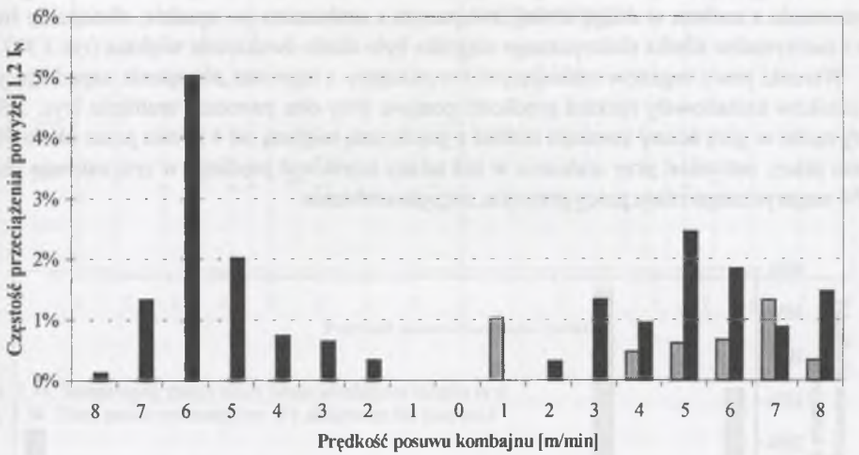
Duże nachylenie podłużne ściany wpływa znacząco na przebieg procesu ładowania i urabiania przy ruchu kombajnu w dół ściany. Wynika to z faktu, że odspojony od calizny urobek gromadzi się wówczas pod wpływem działania siły ciężkości w strefie kontaktu noży urabiających z calizną. Utrudnia to proces urabiania i powoduje dodatkowe rozdrobnienie urobku. Fakt ten potwierdza obciążenie silników napędzających organy urabiające.

Przy urabianiu zgodnym ze zwrotem odstawy średnie względne obciążenie silnika napędzającego organ wyprzedzający było większe o około 5÷20% w porównaniu z obciążeniem występującym przy zwrocie przeciwnym do zwrotu odstawy (rys. 3.31). Przeciążenie silnika ponad wartość progową działania regulatora występowało w prawie całym zakresie prędkości posuwu kombajnu, przy czym częstość przekroczenia nie była większa od 3% (rys.3.32). W porównaniu z przeciwnym zwrotem urabiania zdecydowanie większa była również zmienność obciążenia napędu organu wyprzedzającego. Przy prędkościach większych od 4 m/min wartość wskaźnika zmienności była około dwukrotnie większa. Wskaźnik zmienności obciążenia wyznaczono jako iloraz odchylenia standardowego i wartości średniej.

Przy analizowanym zwrocie urabiania, średnie obciążenie silnika napędzającego organ tylny było w całym zakresie prędkości posuwu kombajnu nieznacznie większe od obciążenia silnika organu wyprzedzającego, a także od obciążenia organu tylnego przy zwrocie urabiania



Rys. 3.31. Charakterystyki obciążenia zespołów kombajnu w ścianie nr 4
Fig. 3.31. Load characteristics of shearer's units on the face no 4



Rys. 3.32. Częstość przeciążenia silników w ścianie nr 4
Fig. 3.32. Frequency of overload of motors on the face no 4

przeciwnym (rys.3.31). Mniejsze było natomiast obciążenie maksymalne w porównaniu z obu wyżej wymienionymi przypadkami. Mniejszy względny przyrost obciążenia napędu organu tylnego w stosunku do zwrotu przeciwnego do zwrotu odstawy w porównaniu z przyrostem obciążenia silnika organu wyprzedzającego wynika ze znacznej poprawy warunków przekazania urobku na przenośnik, który w tym przypadku nie jest obciążony nosiwem. Dzięki temu mniejsza była również częstość przekroczenia wartości prądu progowego działania regulatora przez silnik napędzający organ tylny (rys.3.32).

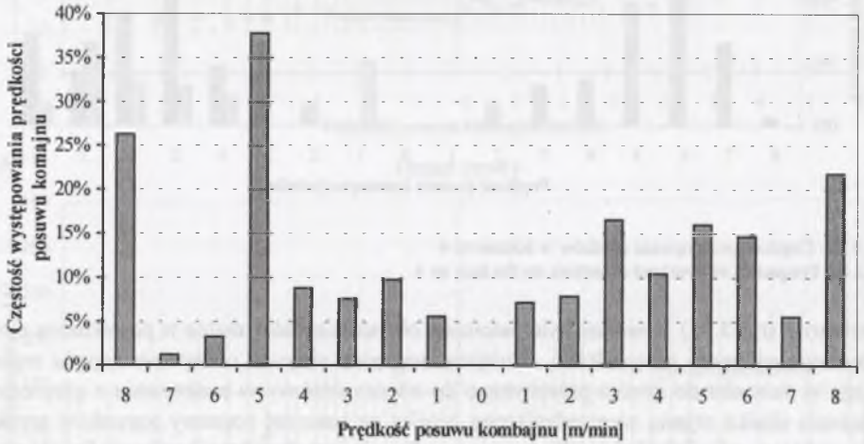
Dzięki wspomaganiu ciągnika hydraulicznego kombajnu przez składową siły ciężkości kombajnu równoległą do kierunku ruchu średnie obciążenie silnika elektrycznego ciągnika kształtowało się przy tym zwrocie urabiania na poziomie około 45% wartości prądu znamionowego, a obciążenie maksymalne nie przekroczyło 80% tej wartości (rys.3.31).

Opory związane z ładowaniem urobku organem tylnym okazały się dominujące i kształtowały poziom oraz charakter obciążenia napędu tego organu w przypadku zwrotu urabiania przeciwnego do zwrotu odstawy. Średnie obciążenie silnika organu tylnego kształtowało się na poziomie 50÷60% prądu znamionowego (rys.3.31), podczas gdy obciążenie napędu organu wyprzedzającego odpowiednio na poziomie 40÷45%. Zdecydowanie większa była również zmienność obciążenia napędu organu tylnego. Wartość wskaźnika zmienności dotycząca średniego obciążenia tego organu wahała się w granicach 0,20÷0,40, podczas gdy w przypadku organu wyprzedzającego zawierała się w przedziale 0,20÷0,25. Stosunkowo nieznaczna zmienność obciążenia wynikała ze skrawania węgla łatwo urabialnego. Przeciążenie silnika organu tylnego występowało w całym zakresie prędkości posuwu kombajnu, przy czym częstość większą od 1% zanotowano w przedziale prędkości 4÷7 m/min (rys.3.32). Natomiast w przypadku napędu organu wyprzedzającego przekroczenie prądu progowego zadziałania regulatora prędkości posuwu nie występowało.

Przy urabianiu po wzniosie nachylenie podłużne ściany miało decydujący wpływ na poziom obciążenia silnika elektrycznego ciągnika kombajnu. Przy prędkościach kombajnu większych od 4 m/min średnie obciążenie silnika kształtowało się na poziomie 80-85% prądu

znamionowego, a obciążenie maksymalne w zakresie 110-130% obciążenia nominalnego. W porównaniu z ruchem w drugą stronę, związanym z urabianiem po upadzie, obciążenie średnie i maksymalne silnika elektrycznego ciągnika było około dwukrotnie większe (rys.3.31).

Warunki pracy organów urabiających i wynikający z tego stan obciążenia napędzających je silników kształtowały rozkład prędkości posuwu przy obu zwrotach urabiania (rys. 3.33). Przy ruchu w górę ściany kombajn urabiał z prędkością większą od 4 m/min przez około 70% czasu pracy, natomiast przy urabianiu w dół ściany uzyskiwał prędkość w tym zakresie przez 60% sumarycznego czasu pracy przy tym zwrocie urabiania.

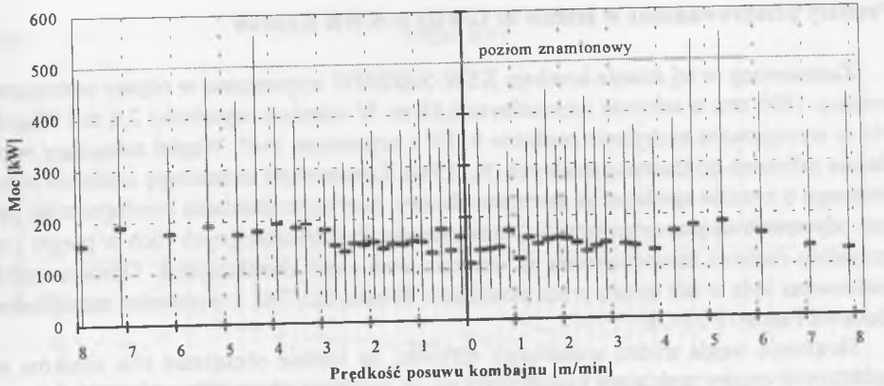


Rys. 3.33. Częstość urabiania z określoną prędkością posuwu w ścianie nr 4
Fig. 3.33. Frequency of mining at a definite haulage speed on the face no 4

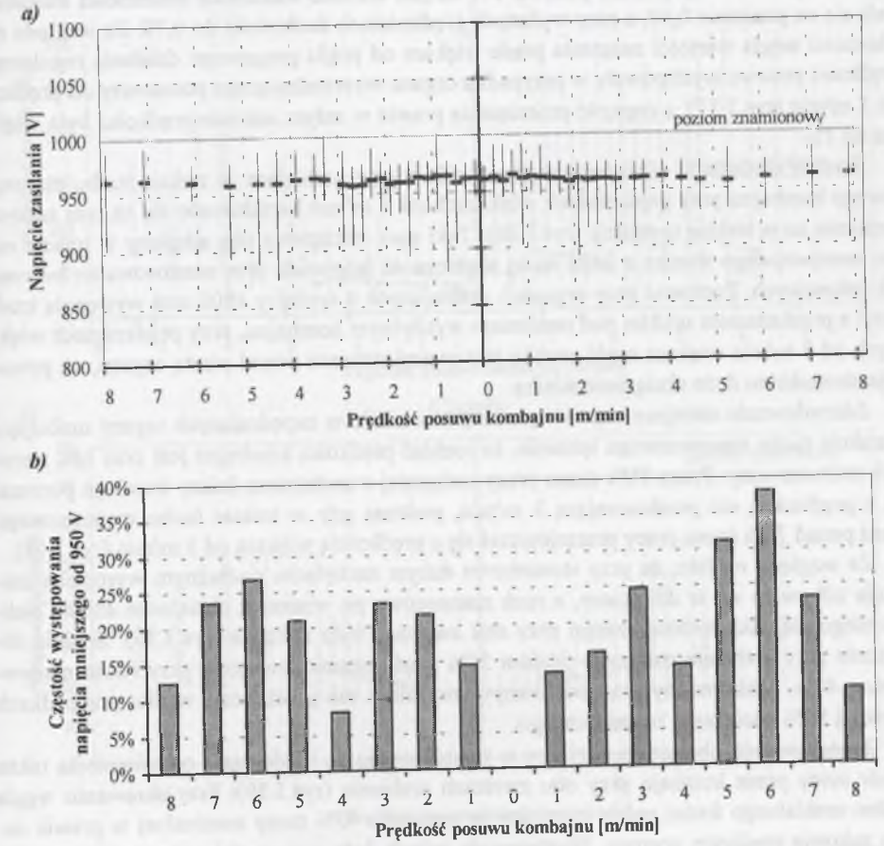
Porównując charakter przebiegu sumarycznego poboru mocy przez kombajn i charakter obciążenia silników napędzających poszczególne zespoły można stwierdzić, że w przypadku zwrotu urabiania przeciwnego do zwrotu odstawy pobór mocy kształtowany był przez obciążenie silnika napędzającego organ tylny i silnika elektrycznego ciągnika kombajnu, a przy zwrocie zgodnym wynikał z obciążenia silników napędzających organy urabiające.

Ze względu na zróżnicowane obciążenie poszczególnych silników w czasie średnie wykorzystanie mocy kombajnu przy obu zwrotach urabiania kształtowało się na poziomie 30÷40% mocy znamionowej (rys.3.34). Obciążenie maksymalne i zmienność poboru mocy były nieznacznie większe przy zwrocie zgodnym ze zwrotem odstawy.

Na pracę kombajnu miały również wpływ warunki zasilania elektrycznego. Analiza przebiegów czasowych napięcia zasilania wykazała dużą zmienność tego parametru niezależnie od stanu obciążenia kombajnu. Potwierdzają to charakterystyki zasilania oraz częstości występowania napięcia mniejszego od 950 V (rys.3.35). Wartość średnia napięcia zasilania utrzymywała się powyżej 950 V, lecz spadki napięcia poniżej tej wartości zdarzały się bardzo często niezależnie od prędkości posuwu kombajnu i związanego z nią stanu jego obciążenia. Ponieważ zmniejszenie momentu obrotowego silników elektrycznych napędzających poszczególne zespoły kombajnu jest proporcjonalne do kwadratu spadku napięcia zasilania, zbyt mała sztywność sieci zasilającej może powodować ograniczenie wykorzystania potencjalnych możliwości technicznych kombajnu w warunkach danej ściany.



Rys. 3.34. Sumaryczny pobór mocy przez kombajn w ścianie nr 4
Fig. 3.34. Total power consumption of a shearer on the face no 4



Rys. 3.35. Charakterystyki zasilania elektrycznego kombajnu w ścianie nr 4
Fig. 3.35. Power supply characteristics of a shearer on the face no 4

Pomiary przeprowadzone w ścianie nr G-VIII w KWK Knurów

Zastosowany w tej ścianie kombajn KSW-500/2BPH wyposażono w organy urabiające o średnicy 1800 mm o zabiorze nominalnym 0,65 m. W ścianie o wysokości 2,6 m i długości 246 m występowało nachylenie podłużne 9÷19° i poprzeczne 3÷6°. Węgiel zalegający w pokładzie zaliczono do trudno urabialnych (F_k=15%). Zastosowano technologię urabiania jednostronnego o zwrocie zgodnym ze zwrotem odstawy, przy czym urabianiu kombajnem po upadzie odpowiada na przedstawionych charakterystykach eksploatacyjnych ruch w prawo i odpowiednio ruchowi manewrowemu po wzniosie lewa część charakterystyk. Odstawa urobku realizowana była w dół ściany przez przenośnik Rybnik-225/790, a wyrobisko zabezpieczała obudowa Fazos-15/31-Oz.

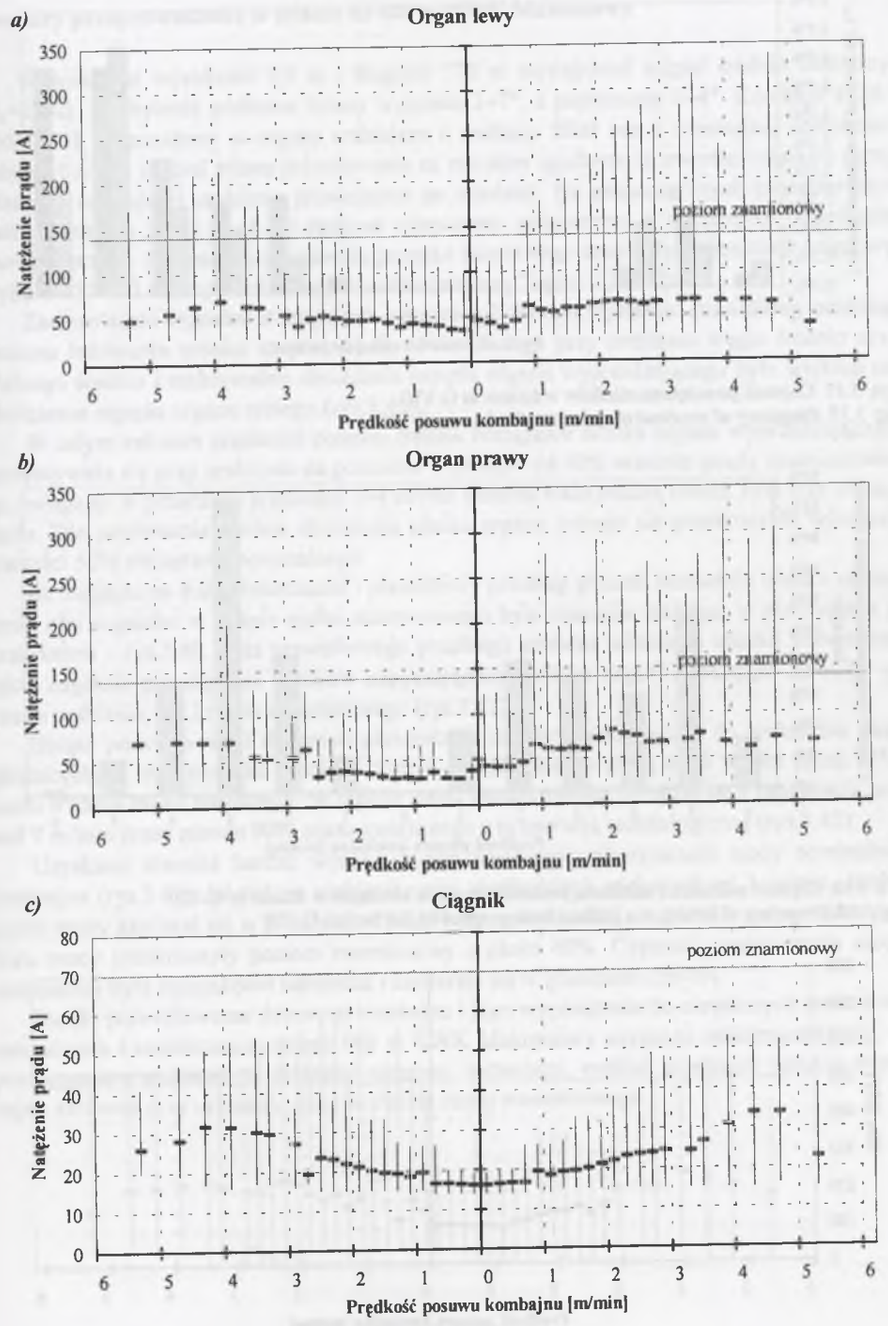
Skrawanie węgla trudno urabialnego sprawiło, że średnie obciążenie obu silników napędzających organy urabiające kształtowało się na poziomie około 50% wartości prądu znamionowego począwszy już od prędkości około 1 m/min (rys.3.36). Maksymalne obciążenie obu silników osiągnęło wartości ponad dwukrotnie większe od wartości prądu znamionowego. Wystąpiła również duża zmienność obciążenia w całym zakresie prędkości posuwu kombajnu. W przedziale prędkości posuwu 0÷5 m/min wartość wskaźnika zmienności kształtowała się na poziomie 0,50, a przy wyższych prędkościach dochodziła do 0,70. Ze względu na własności węgla wartości natężenia prądu większe od prądu progowego działania regulatora prędkości posuwu występowały w przypadku organu wyprzedzającego począwszy od prędkości 1 m/min (rys.3.37), a częstość przeciążenia prawie w całym zakresie prędkości była większa od 1% .

Średnie obciążenie silników napędzających organy urabiające w trakcie ruchu manewrowego kombajnu przy prędkościach większych od 3 m/min kształtowało się na tym samym poziomie co w trakcie urabiania (rys.3.36). Taki stan obciążenia obu silników w trakcie ruchu manewrowego wynika z faktu małej skuteczność ładowania przy niestosowaniu ładowarek osłonowych. Ponieważ przy organach urabiających o średnicy 1800 mm występują trudności z przekazaniem urobku pod ramieniem wychylnym kombajnu, przy prędkościach większych od 3 m/min większa część urobku jest przemieszczana ponad piastą organu, co powoduje stosunkowo duże obciążenie silnika.

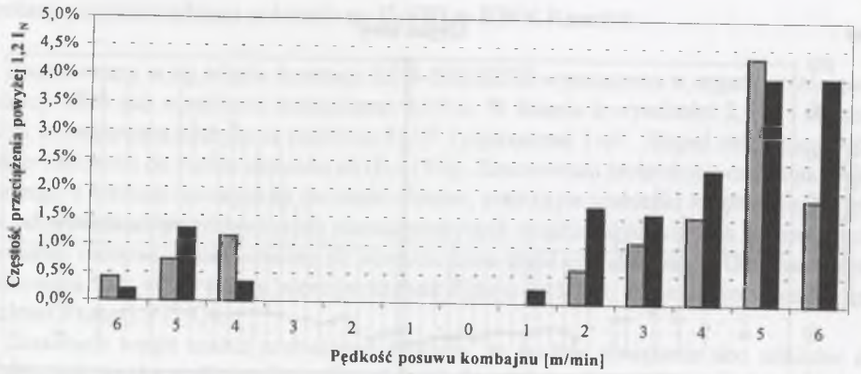
Zdecydowanie mniejsza częstość przeciążenia silników napędzających organy urabiające w trakcie ruchu manewrowego sprawiła, że rozkład prędkości kombajnu jest przy obu zwrotach zróżnicowany. Przez 75% czasu pracy związanej z urabianiem ściany kombajn poruszał się z prędkością nie przekraczającą 3 m/min, podczas gdy w trakcie ruchu manewrowego przez ponad 75% czasu pracy przemieszczał się z prędkością większą od 3 m/min (rys.3.38).

Ze względu na fakt, że przy stosunkowo dużym nachyleniu podłużnym wyrobiska urabianie odbywało się w dół ściany, a ruch manewrowy po wzniosie, obciążenie silnika elektrycznego ciągnika hydraulicznego przy obu zwrotach było zbliżone (rys.3.36). Średnie obciążenie przy urabianiu osiągnęło poziom 50% prądu znamionowego, a przy ruchu manewrowym 40%. Maksymalny prąd pobierany przez silnik nie przekroczył w obu przypadkach wartości 80% obciążenia znamionowego.

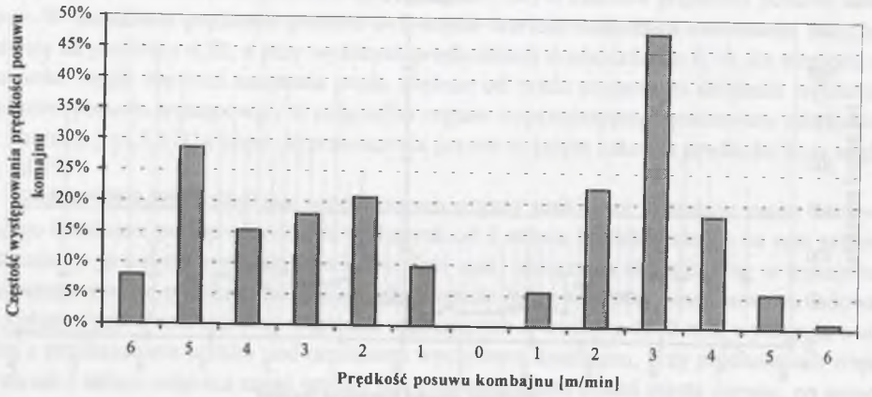
Zróżnicowanie obciążenia silników w trakcie urabiania i ładowania odzwierciedla także pobór mocy przez kombajn przy obu zwrotach urabiania (rys.3.39). Przy skrawaniu węgla trudno urabialnego średni pobór mocy był na poziomie 40% mocy nominalnej w prawie całym zakresie prędkości posuwu. Występowała jednak duża zmienności poboru mocy, szczególnie przy prędkościach mniejszych od 2 m/min.



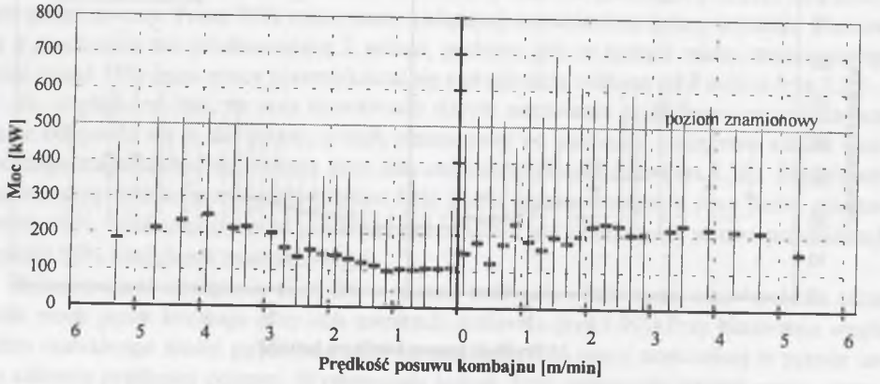
Rys. 3.36. Charakterystyki obciążenia zespołów kombajnu w ścianie nr G-VIII
Fig. 3.36. Load characteristics of shearer's units on the face no G-VIII



Rys. 3.37. Częstość przeciążenia silników w ścianie nr G-VIII
Fig. 3.37. Frequency of overload of motors on the face no G-VIII



Rys. 3.38. Częstość urabiania z określoną prędkością posuwu kombajnu w ścianie nr G-VIII
Fig. 3.38. Frequency of mining at a definite haulage speed on the face no G-VIII



Rys. 3.39. Sumaryczny pobór mocy przez kombajn w ścianie nr G-VIII
Fig. 3.39. Total power consumption of a shearer on the face no G-VIII

Pomiary przeprowadzone w ścianie nr 086 w KWK Makoszowy

W ścianie o wysokości 2,9 m i długości 172 m występował węgiel średnio urabialny (F_K=20%). Nachylenie podłużne ściany wynosiło 3÷7°, a poprzeczne 0÷4°. Kombajn KGS-500/2BPH, wyposażony w organy urabiające o średnicy 2000 mm i nominalnej szerokości zabioru 0,65 m, urabiał ścianę jednostronnie ze zwrotem zgodnym ze zwrotem odstawy (przy odstawie zstępującej urabianie prowadzono po upadzie). Na poszczególnych charakterystykach kombajnu (rys.3.40÷3.43) ruchowi roboczemu związanemu z urabianiem odpowiada zwrot w prawo. Pozostałe wyposażenie przodka ścianowego stanowiły: przenośnik ścianowy Rybnik-255/842 i komplet obudowy zmechanizowanej Tagor-17/37-Oz.

Zastosowanie organów urabiających o średnicy 2000 mm zapewniło prawidłowy przebieg procesu ładowania urobku na przenośnik. Wskutek tego przy urabianiu węgla średnio urabialnego średnie i maksymalne obciążenie napędu organu wyprzedzającego było większe od obciążenia napędu organu tylnego (rys.3.40).

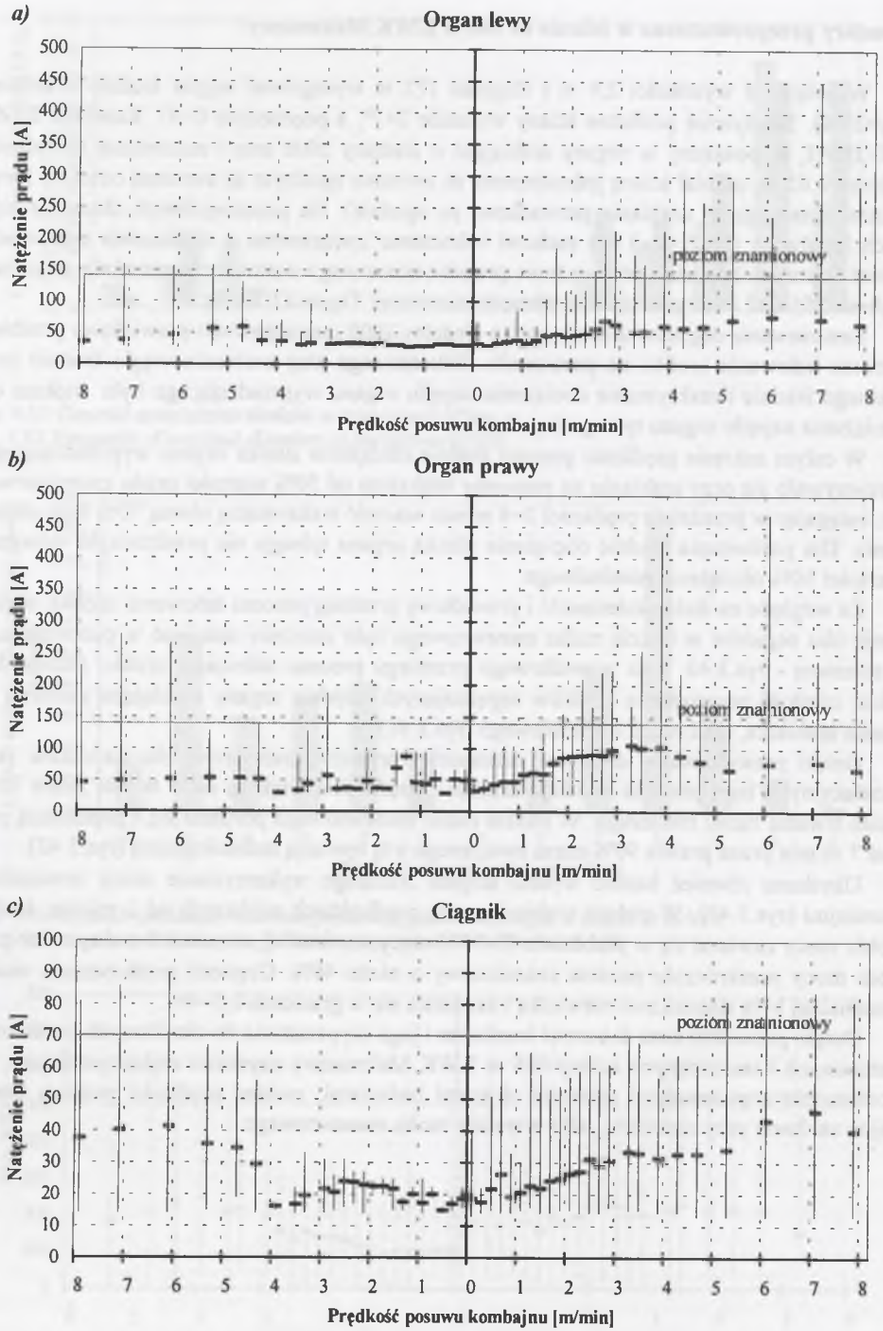
W całym zakresie prędkości posuwu średnie obciążenie silnika organu wyprzedzającego utrzymywało się przy urabianiu na poziomie większym od 50% wartości prądu znamionowego, osiągając w przedziale prędkości 2÷4 m/min wartość maksymalną równą 70% tego obciążenia. Dla porównania średnie obciążenie silnika organu tylnego nie przekroczyło wówczas wartości 50% obciążenia nominalnego.

Ze względu na dużą skuteczność i prawidłowy przebieg procesu ładowania urobku obciążenie obu organów w trakcie ruchu manewrowego było znacznie mniejsze w porównaniu z urabianiem - rys.3.40. Fakt prawidłowego przebiegu procesu ładowania urobku potwierdza także częstość przeciążenia silników napędzających obydwa organy urabiające zarówno w czasie urabiania, jak i ruchu manewrowego (rys.3.41).

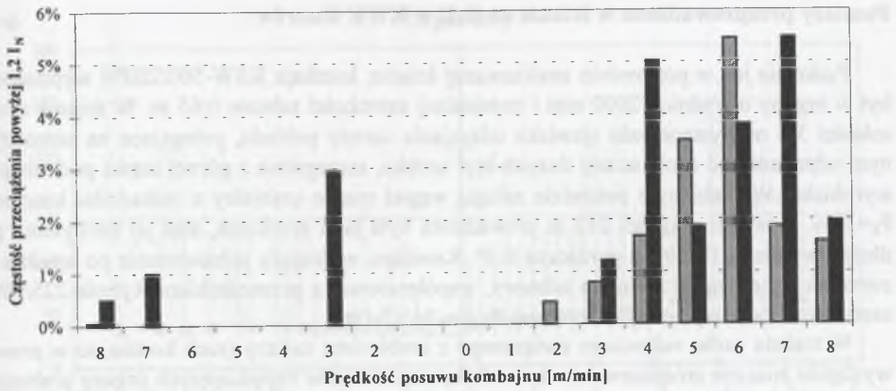
Dzięki prawidłowemu doborowi parametrów organów urabiających do warunków eksploatacyjnych tego przodka kombajn urabiał z prędkością większą od 6 m/min przez 75% czasu trwania ruchu roboczego. W trakcie ruchu manewrowego poruszał się z prędkością ponad 7 m/min przez prawie 90% czasu związanego z tą operacją technologiczną (rys.3.42).

Uzyskano również bardzo wysoki stopień średniego wykorzystania mocy nominalnej kombajnu (rys.3.43). W trakcie urabiania, przy prędkościach większych od 1 m/min, średni pobór mocy zawierał się w przedziale 45÷65% mocy nominalnej, a wartości maksymalne poboru mocy przekroczyły poziom znamionowy o około 40%. Częstość przekroczenia mocy nominalnej była stosunkowo niewielka i zawierała się w granicach 0,5÷4%.

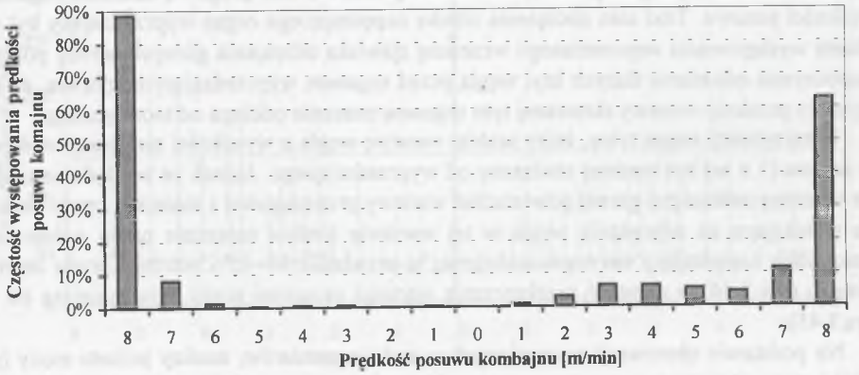
Dzięki prawidłowemu doborowi kombajnu i jego wyposażenia do określonych warunków naturalnych i technicznych ściany 086 w KWK Makoszowy uzyskano najkorzystniejszy, w porównaniu z pozostałymi ścianami objętymi badaniami, rozkład prędkości posuwu kombajnu zarówno przy urabianiu, jak i w trakcie ruchu manewrowego.



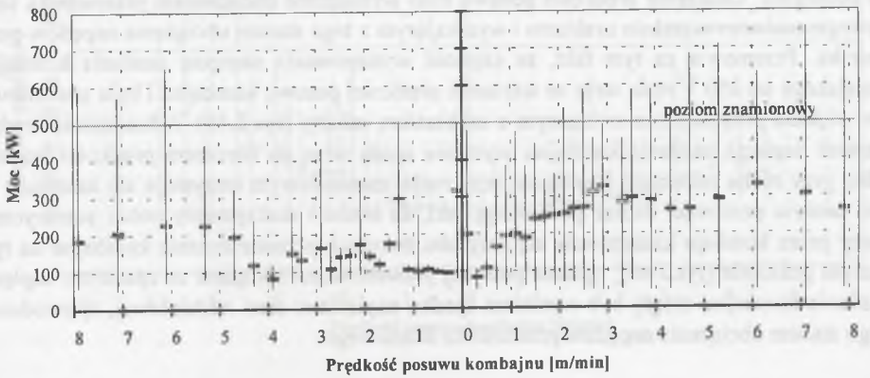
Rys. 3.40. Charakterystyki obciążenia zespołów kombajnu w ścianie nr 086
Fig. 3.40. Load characteristics of shearer's units on the face no 086



Rys. 3.41. Częstość przeciążenia silników w ścianie nr 086
Fig. 3.41. Frequency of overload of motors on the face no 086



Rys. 3.42. Częstość urabiania z określoną prędkością posuwu kombajnu w ścianie nr 086
Fig. 3.42. Frequency of mining at a definite haulage speed on the face no 086



Rys. 3.43. Sumaryczny pobór mocy przez kombajn w ścianie nr 086
Fig. 3.43. Total power consumption of a shearer on the face no 086

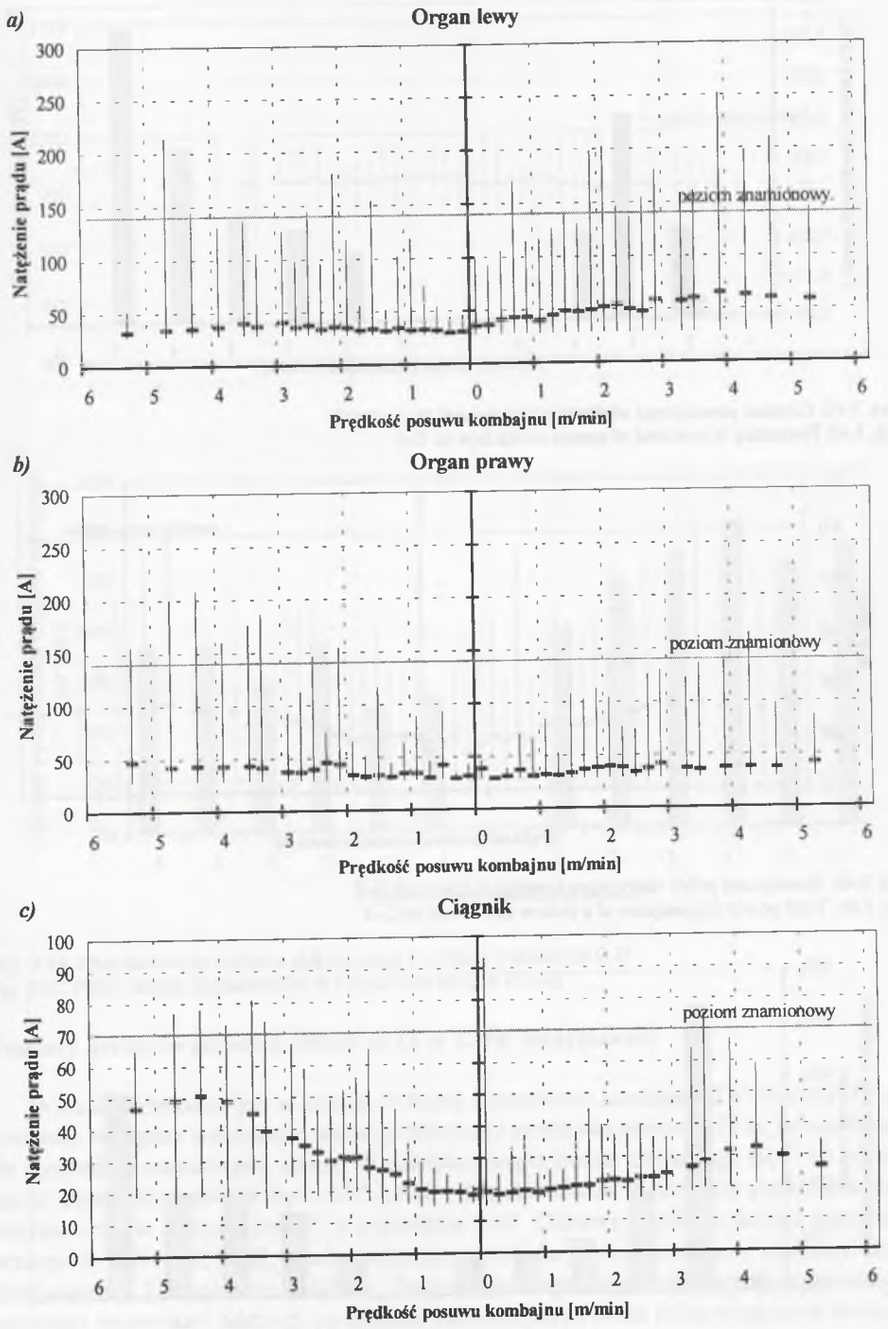
Pomiary przeprowadzone w ścianie nr G-II w KWK Knurów

Podobnie jak w poprzednio analizowanej ścianie, kombajn KSW-500/2BPH wyposażony był w organy o średnicy 2000 mm i nominalnej szerokości zabioru 0,65 m. W ścianie o wysokości 3,6 m występowało zjawisko odspajania naroży pokładu, polegające na samoczynnym odpadaniu od czoła ściany dużych brył urobku, szczególnie z górnej części pod stropem wyrobiska. W urabianym pokładzie zalegał węgiel trudno urabialny o wskaźniku kruchości F_k=10%. Ściana o długości 210 m prowadzona była jako przekątna, stąd jej nachylenie podłużne wynosiło 10-19°, a porzeczne 6-9°. Kombajn, urabiający jednostronnie po upadzie ze zwrotem zgodnym ze zwrotem odstawy, współpracował z przenośnikiem Rybnik-225/790 i zestawami obudowy zmechanizowanej Pioma-24/47-Oz.

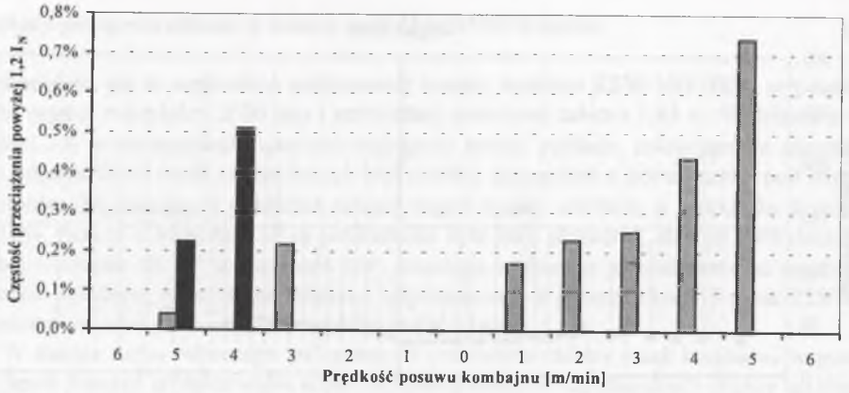
W trakcie ruchu roboczego związanego z urabianiem calizny (ruch kombajnu w prawo) wystąpiło znaczne zróżnicowanie stanu obciążenia silników napędzających organy urabiające (rys.3.44). Średnie obciążenie organu wyprzedzającego w trakcie urabiania, wynoszące około 35% wartości prądu znamionowego, było na tym samym poziomie, co w ruchu manewrowym. Obciążenie maksymalne zaś i wskaźnik zmienności obciążenia były nawet nieco mniejsze. Ani razu nie wystąpiło przeciążenie silnika ponad wartość progową działania regulatora prędkości posuwu. Taki stan obciążenia silnika napędzającego organ wyprzedzający był wynikiem występowania wspomnianego wcześniej zjawiska odspajania górnych naroży pokładu. Samoczynne odpadanie dużych brył węgla przed organem wyprzedzającym sprawia, że rzeczywisty przekrój warstwy skrawanej tym organem znacznie odbiega od teoretycznego.

W tej sytuacji organ tylny, który urabiał warstwę węgla o wysokości mniejszej od średnicy organu (1,6 m) był bardziej obciążony od wyprzedzającego. Jednak ze względu na urabianie w stronę odsłoniętej górnej powierzchni warstwy przyspągowej i mniejsze opory skrawania wynikające ze odprężenia węgla w tej warstwie średnie natężenie prądu pobieranego przez silnik napędzający ten organ wahało się w przedziale 30÷45% wartości prądu znamionowego (rys.3.44), a częstość przekroczenia wartości progowej prądu była mniejsza od 1% (rys.3.45).

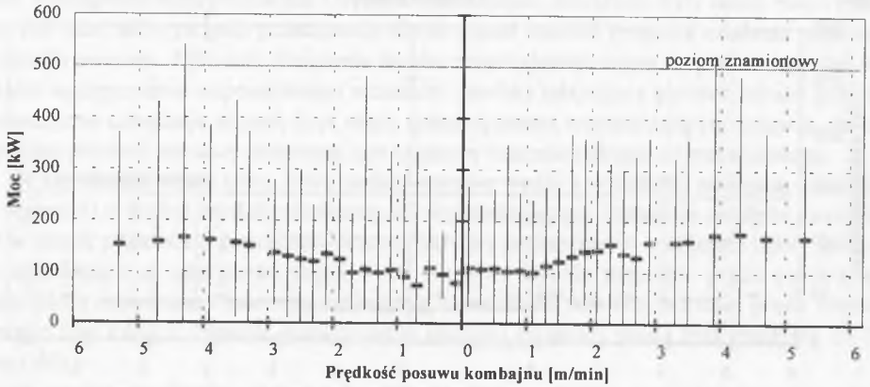
Na podstawie obserwacji poczynionych w trakcie pomiarów, analizy poboru mocy (rys. 3.46) i stanu obciążenia zewnętrznego zespołów roboczych w trakcie urabiania oraz uzyskanego rozkładu prędkości posuwu kombajnu (rys.3.47) można wysnuć wniosek, że w warunkach analizowanej ściany nie zostały w pełni wykorzystane potencjalne możliwości techniczne kombajnu. Obniżenie prędkości posuwu było wymuszone obciążeniem przenośnika ścianowego nosiwem w trakcie urabiania i wynikającym z tego stanem obciążenia napędów przenośnika. Przemawia za tym fakt, że częstość występowania napięcia zasilania kombajnu mniejszego od 950 V rosła wraz ze wzrostem prędkości posuwu kombajnu i była zdecydowanie większa przy zwrocie związanym z urabianiem calizny (rys.3.48). Jednocześnie średnia wartość napięcia zasilania kombajnu wyraźnie spada wraz ze wzrostem prędkości posuwu tylko przy ruchu roboczym kombajnu; przy ruchu manewrowym utrzymuje się natomiast na tym samym poziomie. Biorąc pod uwagę fakt, że średni i maksymalny pobór sumarycznej mocy przez kombajn kształtowały się przy obu zwrotach przemieszczania kombajnu na tym samym poziomie (rys.3.46), opisane powyżej prawidłowości związane ze spadkiem napięcia zasilania kombajnu mogły być wynikiem spadku napięcia w sieci oddziałowej, spowodowanego stanem obciążenia napędów przenośnika ścianowego.



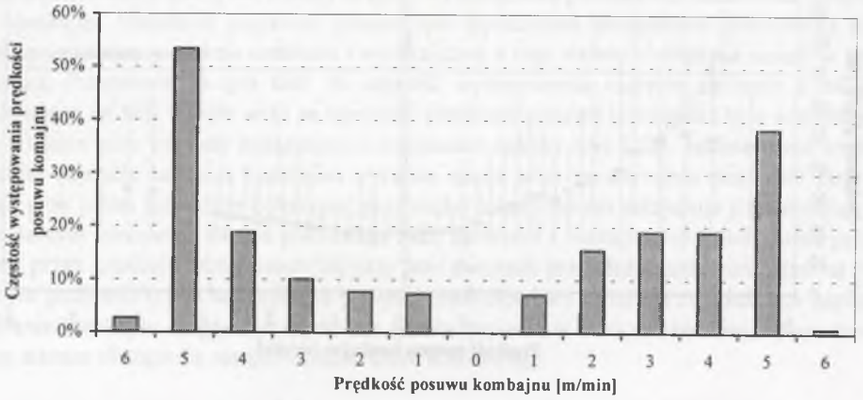
Rys. 3.44. Charakterystyki obciążenia zespołów kombajnu w ścianie nr G-II
Fig. 3.44. Load characteristics of shearer's units on the face no G-II



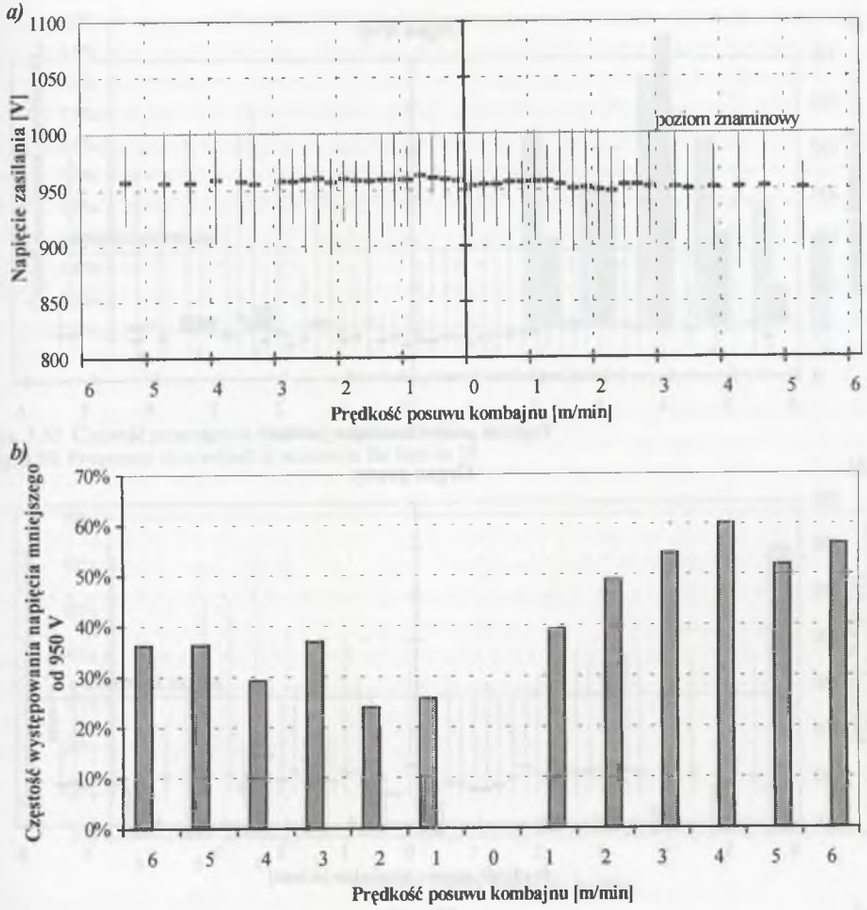
Rys. 3.45. Częstość przeciążenia silników w ścianie nr G-II
Fig. 3.45. Frequency of overload of motors on the face no G-II



Rys. 3.46. Sumaryczny pobór mocy przez kombajn w ścianie nr G-II
Fig. 3.46. Total power consumption of a shearer on the face no G-II



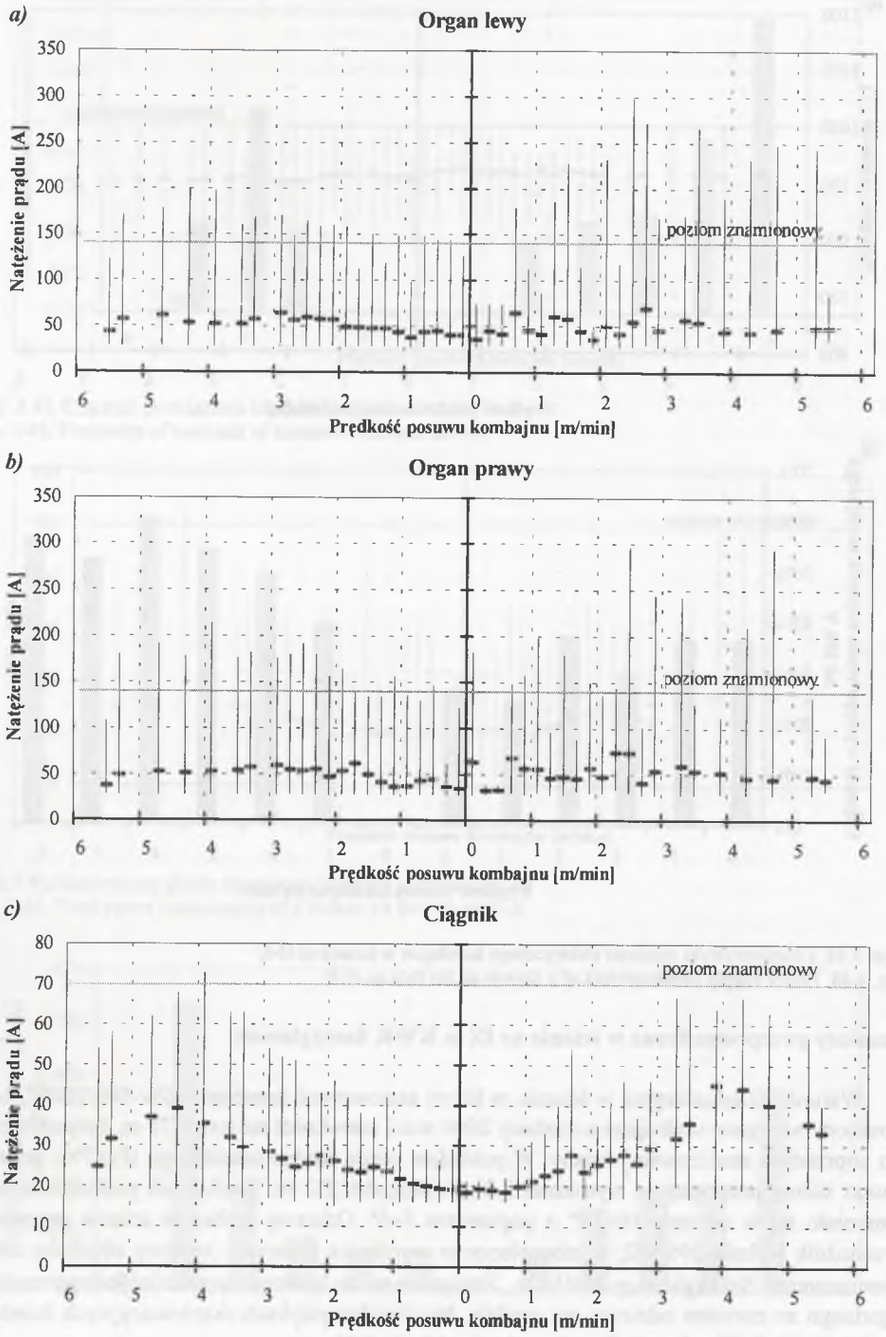
Rys. 3.47. Częstość urabiania z określoną prędkością posuwu w ścianie nr G-II
Fig. 3.47. Frequency of mining at a definite haulage speed on the face no G-II



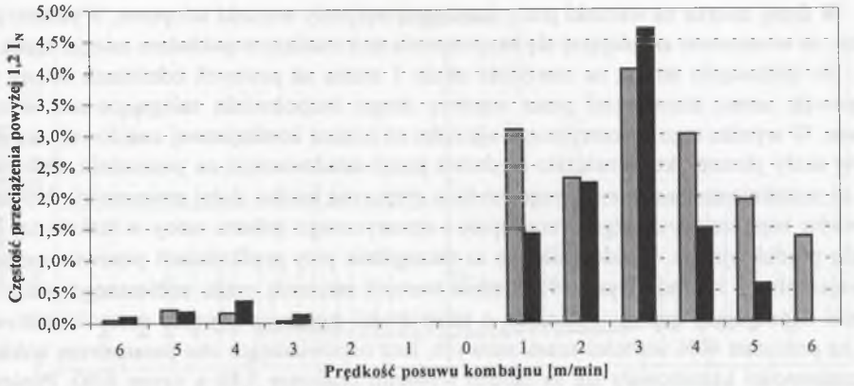
Rys. 3.48. Charakterystyki zasilania elektrycznego kombajnu w ścianie nr G-II
Fig. 3.48. Power supply characteristics of a shearer on the face no G-II

Pomiary przeprowadzone w ścianie nr IX w KWK Szczygłowice

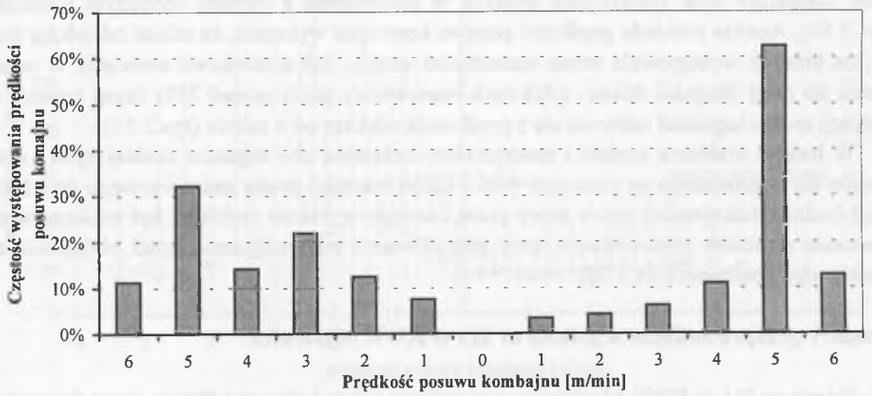
Warunki eksploatacyjne w ścianie, w której zastosowano kombajn KSW-500/2BPH, wyposażony w organy urabiające o średnicy 2000 mm i szerokości zabioru 0,75 m, były zbliżone do poprzednio analizowanej ściany. W pokładzie węgla trudno urabialnego (F_K=7%) prowadzono ścianę przekątną o wysokości 3,8 m i długości 232 m. Nachylenie podłużne ściany zmieniało się w zakresie 16÷18°, a poprzeczne 3÷6°. Odstawę urobku w ścianie zapewniał przenośnik Rybnik-295/842, a zabezpieczenie wyrobiska stanowiły zestawy obudowy zmechanizowanej Szczygłowice-24/43-Oz. Zastosowano technologię urabiania jednostronnego zgodnego ze zwrotem odstawy, po upadzie. Na charakterystykach eksploatacyjnych kombajnu (rys.3.49 ÷3.52) odpowiada temu zwrot urabiania w lewo.



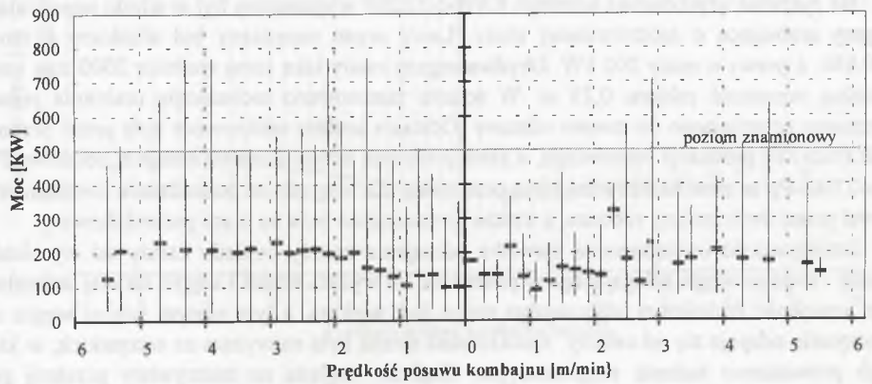
Rys. 3.49. Charakterystyki obciążenia zespołów kombajnu w ścianie nr IX
Fig. 3.49. Load characteristics of shearer's units on the face no IX



Rys. 3.50. Częstość przeciążenia silników w ścianie nr IX
Fig. 3.50. Frequency of overload of motors on the face no IX



Rys. 3.51. Częstość urabiania z określoną prędkością posuwu kombajnu w ścianie nr IX
Fig. 3.51. Frequency of mining at a definite haulage speed on the face no IX



Rys. 3.52. Sumaryczny pobór mocy przez kombajn w ścianie nr IX
Fig. 3.52. Total power consumption of a shearer on the face no IX

W dużej mierze na warunki pracy kombajnu wpłynęły warunki stropowe. Wynikało to z faktu, że w warstwie znajdującej się bezpośrednio nad urabianym pokładem zalegał łupek ilasty. Po odsłonięciu stropu na szerokość około 1 metra na pewnych odcinkach ściany występowała utrata stateczności przez warstwy stropu bezpośrednio zalegające nad wyrobiskiem. W wyniku tego niekorzystnego zjawiska na ścieżce kombajnowej znajdowały się duże bryły skały płonnej, które należało rozdrobić przed załadowaniem na przenośnik. Odbywało się to w trakcie ruchu manewrowego, co było przyczyną bardzo dużej zmienności obciążenia silników napędzających organy urabiające i sumarycznego poboru mocy w trakcie tej fazy cyklu produkcyjnego. Uwidoczniło się to szczególnie przy prędkościach posuwu kombajnu mniejszych od 3 m/min (rys.3.49). Średnia wartość natężenia prądu pobieranego przez oba silniki napędzające organy urabiające, a także średni sumaryczny pobór mocy kształtowały się na poziomie 40% wartości znamionowych, lecz odpowiadające obu parametrom wskaźniki zmienności kształtowały się na bardzo wysokim poziomie 0,80 a nawet 0,90. Ponieważ skała płonna jest trudniej urabialna od węgla, więc maksymalne wartości obciążenia w przypadku ruchu manewrowego były większe w porównaniu z urabianiem calizny. W zakresie prędkości posuwu mniejszych od 3 m/min, częstość przeciążenia silników napędzających organy urabiające była kilkakrotnie większa w porównaniu z ruchem roboczym kombajnu (rys.3.50). Analiza rozkładu prędkości posuwu kombajnu wykazała, że udział odcinków ściany, na których występowała utrata stateczności stropu, był stosunkowo niewielki w odniesieniu do całej długości ściany, gdyż ruch manewrowy przez ponad 75% czasu trwania tej operacji technologicznej odbywał się z prędkością większą od 4 m/min (rys.3.51).

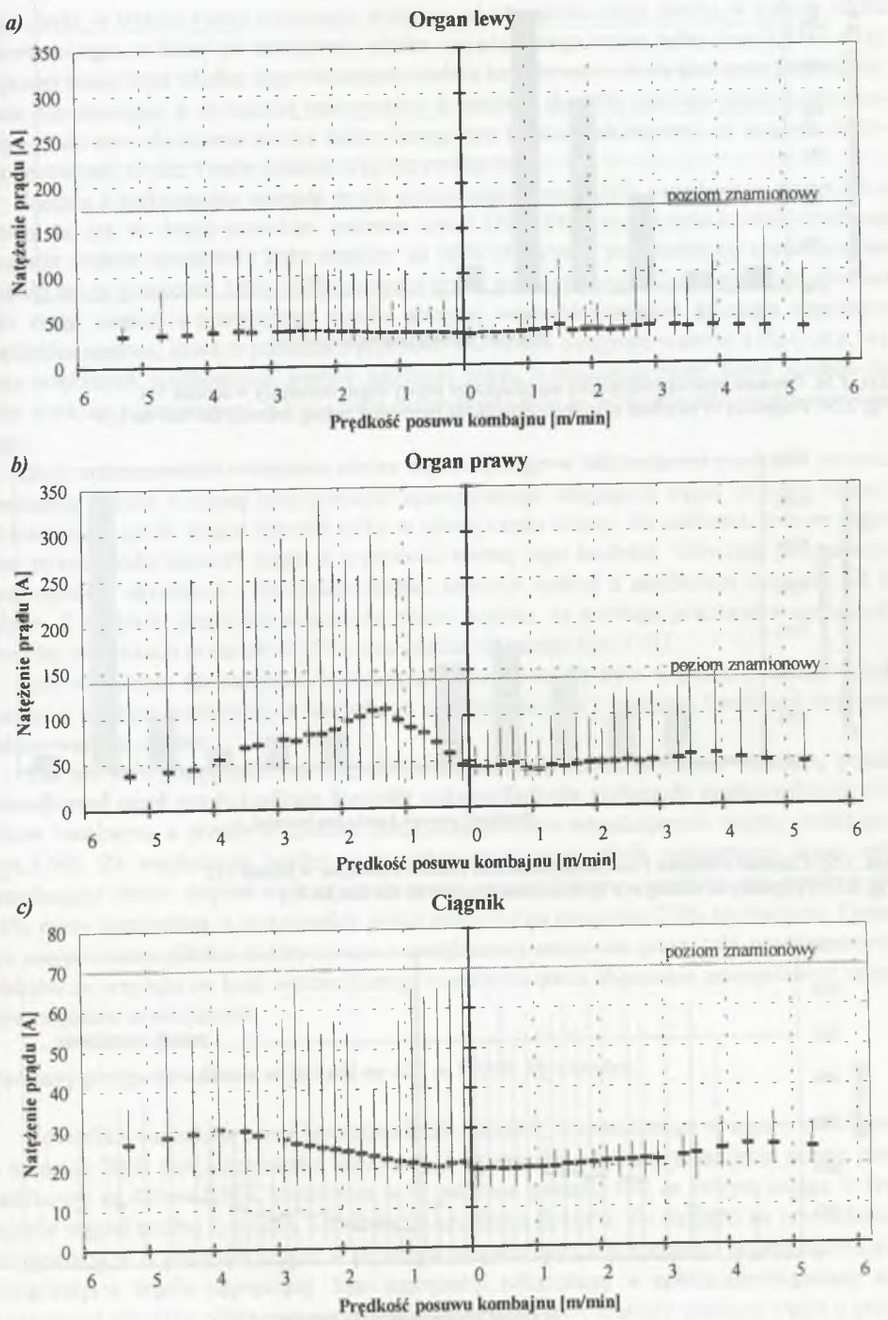
W trakcie urabiania średnie i maksymalne obciążenie obu organów urabiających kształtowało się odpowiednio na poziomie 40% i 120% wartości prądu znamionowego (rys.3.49). Stąd średni i maksymalny pobór mocy przez kombajn w trakcie urabiania był większy w porównaniu z ruchem manewrowym, przy zdecydowanie mniejszej zmienności obciążenia zewnętrznego kombajnu (rys.3.52).

Pomiary przeprowadzone w ścianie nr 511 w KWK Mysłowice

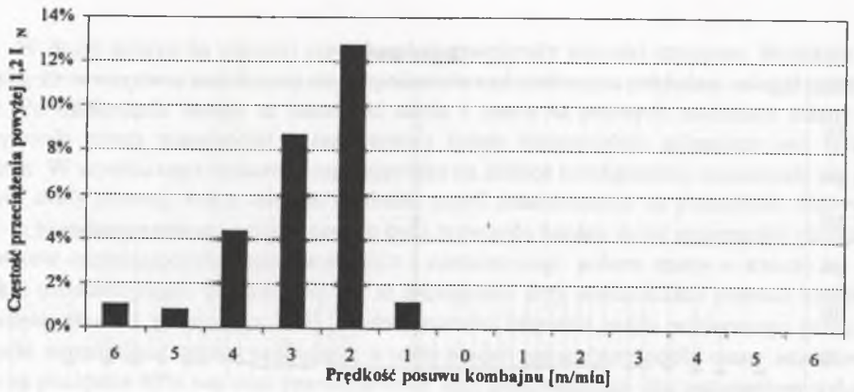
Ściana nr 511 w KWK Mysłowice o wysokości 4,2 m i długości 200 m prowadzona była w I warstwie pokładu 501 (podsadzka hydrauliczna), w którym zalega węgiel średnio urabialny (F_k=22%). Nachylenie podłużne ściany wynosiło 6÷10°, a poprzeczne 4°.

Na życzenie użytkownika kombajn KSW-500/2BP wyposażony był w silniki napędzające organy urabiające o zróżnicowanej mocy. Lewy organ napędzany był silnikiem o mocy 250 kW, a prawy o mocy 200 kW. Obydwa organy miały taką samą średnicę 2000 mm i nominalną szerokość zabioru 0,75 m. W ścianie zastosowano technologię urabiania jednostronnego przeciwnego do zwrotu odstawy. Odstawa urobku realizowana była przez przenośnik PSZ-750 produkcji Nowomagu, a zabezpieczenie stropu stanowił komplet obudowy Fazos-27/42-Pp ze zmechanizowaną tamą przesuwną. Ze względu na podsadzanie kombajn pracował przez dwie zmiany robocze, a trzecia przeznaczona była na prace podsadzkowe.

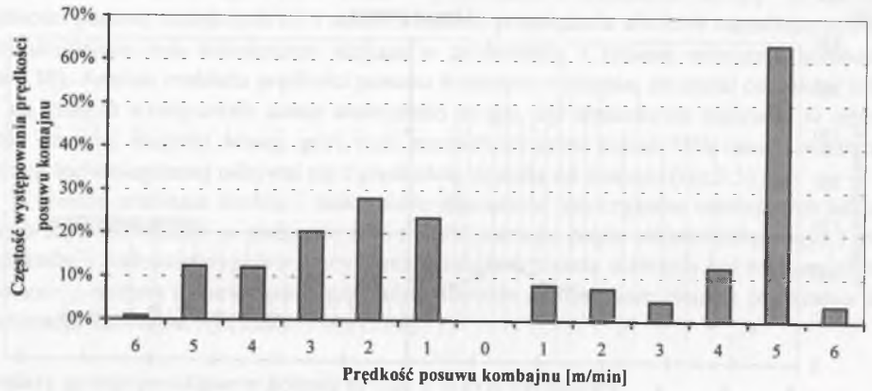
Intensywność występowania zjawiska odspajania naroży pokładu zależy od wysokości ściany i rodzaju węgla zalegającego w pokładzie. Im wyższa ściana i węgiel łatwiej urabialny, tym szerokość dodatkowo odsłoniętego stropu jest większa, a tym samym więcej węgla samoczynnie odspaja się od calizny. Analizowana ściana była najwyższa ze wszystkich, w których prowadzono badania eksploatacyjne. Stąd ze względu na rzeczywisty przekrój poprzeczny warstwy urabianej organem wyprzedzającym obciążenie silnika napędzającego ten



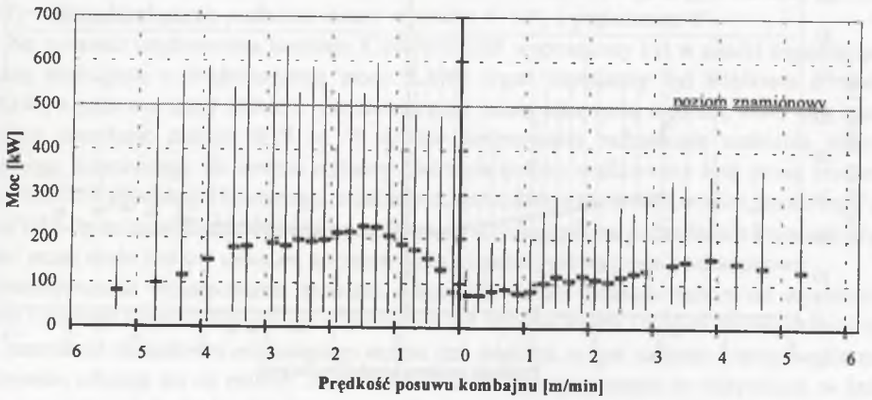
Rys. 3.53. Charakterystyki obciążenia zespołów kombajnu w ścianie 511
Fig. 3.53. Load characteristics of shearer's units on the face no 511



Rys. 3.54. Częstość przeciążenia silnika napędzającego prawy organ urabiający w ścianie 511
Fig. 3.54. Frequency of overload of a motor driving the right-hand cutting drum on the face no 511



Rys. 3.55. Częstość urabiania z określoną prędkością posuwu kombajnu w ścianie 511
Fig. 3.55. Frequency of mining at a definite haulage speed on the face no 511



Rys. 3.56. Sumaryczny pobór mocy przez kombajn w ścianie 511
Fig. 3.56. Total power consumption of a shearer on the face no 511

organ było w trakcie ruchu roboczego mniejsze od obciążenia tego silnika w trakcie ruchu manewrowego, a także od obciążenia silnika napędzającego organ tylny (rys.3.53a). Przy większej mocy tego silnika, jego obciążenie średnie kształtowało się na poziomie 20% obciążenia nominalnego, a obciążenie maksymalne dochodziło do 90% wartości prądu znamionowego. Taki stan obciążenia silnika elektrycznego jest bardzo niekorzystny ze względu na niską sprawność silnika i małą wartość współczynnika mocy.

Średnia i maksymalna wartość prądu pobieranego przez silnik napędzający organ tylny zmieniała się w dosyć szerokim zakresie (rys.3.53b). Przy prędkościach mniejszych od 3 m/min średnie obciążenie było większe od 50% obciążenia nominalnego, a maksymalne wahało się w granicach 150-÷200% wartości prądu znamionowego. Znamienny jest również fakt dużej częstości przeciążenia silnika powyżej wartości progowej działania regulatora prędkości posuwu, które w przedziale prędkości 1-2 m/min osiągnęło wartość 13% (rys.3.54). Przy większych prędkościach średnie natężenie prądu pobieranego przez silnik spadało do 30% wartości znamionowej, a obciążenie maksymalne było na poziomie obciążenia nominalnego.

Duże zróżnicowanie obciążenia silnika organu tylnego w zależności od prędkości posuwu kombajnu wynika z różnej intensywności samoczynnego odspajania węgla od czoła ściany. W miejscach, gdzie węgiel odpadał tylko w górnej części ściany, do urabiania dolnym organem pozostawała warstwa węgla o wysokości równej jego średnicy. Wówczas przy znacznych oporach skrawania i ładowania urobku kombajn urabiał z prędkością mniejszą od 3 m/min. Z rozkładu prędkości posuwu kombajnu wynika, że kombajn pracował w opisanych powyżej warunkach przez około 70% czasu ruchu roboczego (rys.3.55).

Gdy wysokość samoczynnie odpadającej warstwy węgla była większa, kombajn mógł urabiać z większą prędkością ze względu na zmniejszone opory urabiania i mniejszą ilość załadowywanego urobku.

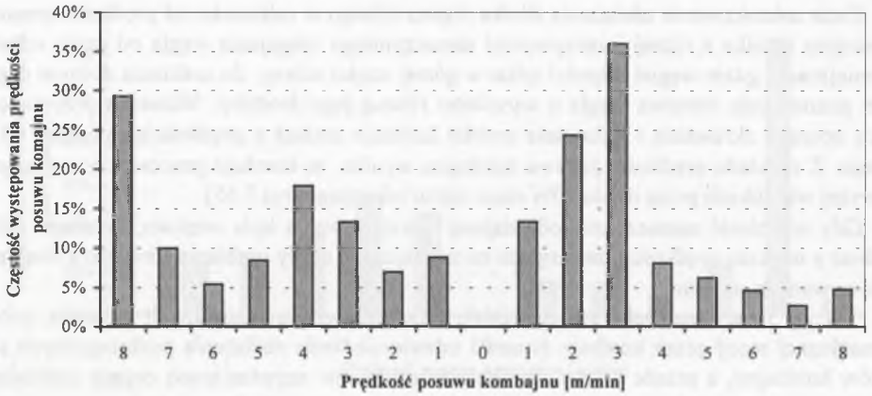
Tak jak to występowało we wszystkich dotychczas przeanalizowanych ścianach, pobór sumarycznej mocy przez kombajn stanowił odzwierciedlenie obciążenia poszczególnych silników kombajnu, a przede wszystkim obciążenia silników napędzających organy urabiające (rys.3.56). Ze względu na bardzo mały pobór mocy przez silnik napędzający organ wyprzedzający średni stopień wykorzystania mocy nominalnej przy urabianiu nie przekroczył 45% mocy nominalnej, a maksymalny pobór mocy był na poziomie 120% tej wartości. Decyzja zastosowania silnika elektrycznego o zwiększonej mocy nie przyniosła spodziewanych efektów ze względu na brak wcześniejszego rozeznania stanu obciążenia zewnętrznego napędów organów urabiających.

Pomiary przeprowadzone w ścianie nr 420 w KWK Mysłowice

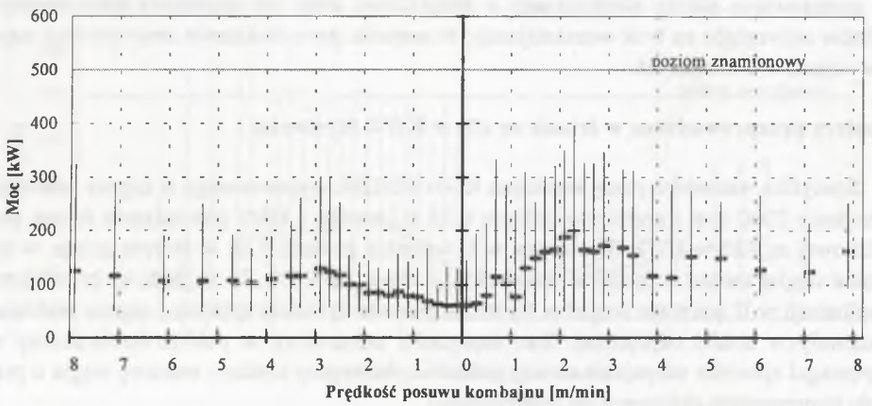
Specyfika warunków pracy kombajnu KGS-500/2BP, wyposażonego w organy urabiające o średnicy 2000 mm i szerokości zabioru 0,75 m, wynika z faktu prowadzenia ściany podsadzkowej nr 420 w KWK Mysłowice w II warstwie pokładu 510, w którym zalega w tym rejonie węgiel trudno urabialny o wskaźniku kruchości F_k=14%. Ze względu na prowadzenie eksploatacji w II warstwie węgiel w tej strefie pokładu był silnie spękany i organy urabiające pracowały w strefie odprężonej. Stan naprężeń i odkształceń w pobliżu czoła ściany nie wspomagał zjawiska odspajania naroży pokładu i oba organy urabiały warstwę węgla o przekroju poprzecznym zbliżonym do teoretycznego.

Wysokość ściany była równa 3,8 m, długość 132 m, a nachylenie podłużne i poprzeczne wynosiło odpowiednio: 5÷10° i 6°. Kombajn, urabiający ścianę jednostronnie zgodnie ze zwrotem odstawy, współpracował z przenośnikiem PZS-750 produkowanym przez Nowomag i zestawami obudowy zmechanizowanej Metrol-26/38-Pp.

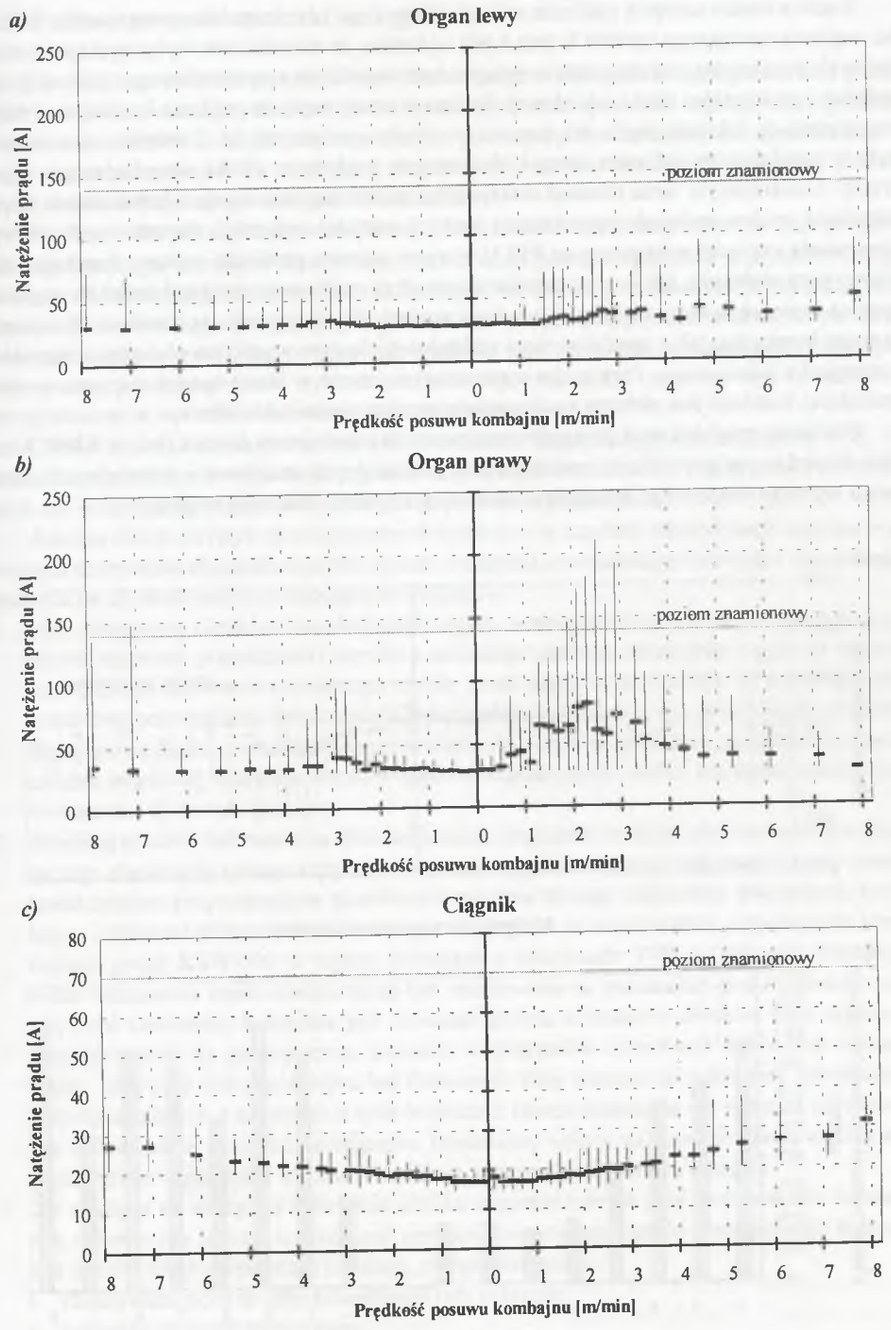
Zastosowanie kombajnu może stanowić kolejny przykład niewłaściwego wykorzystania możliwości technicznych wyposażenia technicznego ściany. W analizowanej ścianie kombajn poruszał się z prędkością mniejszą od 3 m/min przez ponad 70% czasu urabiania calizny (zwrot w prawo) (rys.3.57) pomimo tego, że średni pobór mocy kształtował się na poziomie 15÷35% mocy nominalnej, a pobór maksymalny nie przekroczył 70% mocy znamionowej (rys.3.58). Taki stopień wykorzystania mocy wynika ze stanu obciążenia silników elektrycznych napędzających poszczególne zespoły robocze kombajnu (rys.3.59). Znamienny jest przy tym fakt sporadycznego wystąpienia przeciążenia silników głównych kombajnu powyżej 120% wartości prądu znamionowego, które pojawiło się tylko w przypadku organu wyprzedzającego w zakresie prędkości 2÷3 m/min.



Rys. 3.57. Częstość urabiania z określoną prędkością posuwu kombajnu w ścianie 420
Fig. 3.57. Frequency of mining at a definite haulage speed on the face no 420



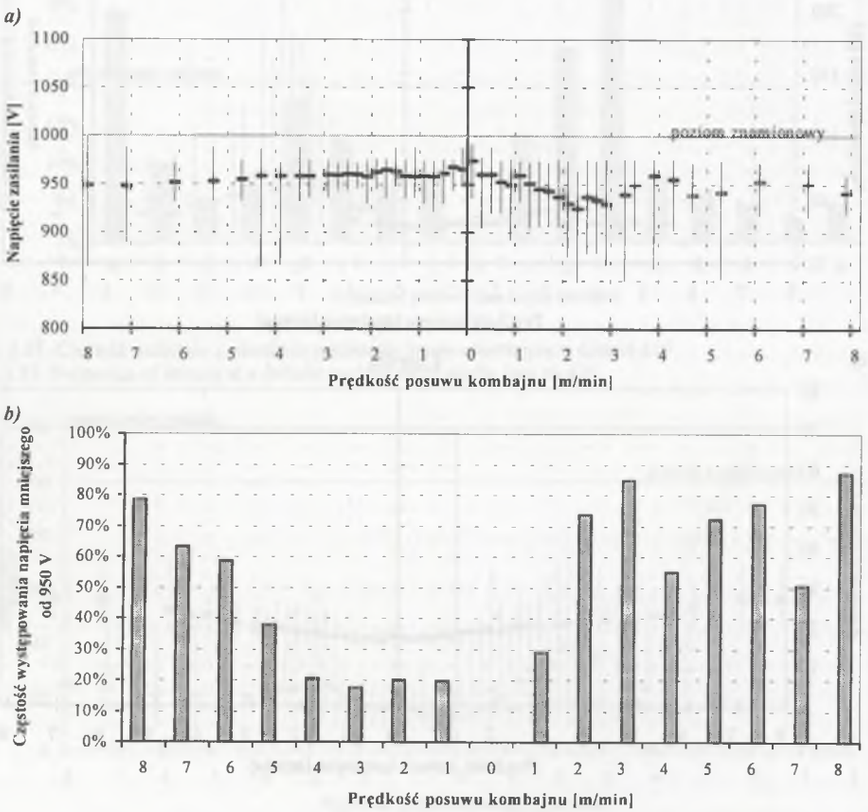
Rys. 3.58. Sumaryczny pobór mocy przez kombajn w ścianie 420
Fig. 3.58. Total power consumption of a shearer on the face no 420



Rys. 3.59. Charakterystyki obciążenia zespołów kombajnu w ścianie 420
Fig. 3.59. Load characteristics of shearer's units on the face no 420

Analiza zmian napięcia zasilania w sieci elektrycznej oraz częstość występowania wartości napięcia mniejszego od 950 V (rys.3.60) wykazała, że niewłaściwe wykorzystanie potencjalnych możliwości technicznych kombajnu było wynikiem nieprawidłowego doboru przenośnika i parametrów sieci oddziałowej. Średnia wartość napięcia zasilania kombajnu wyraźnie spadała w zakresie prędkości posuwu kombajnu mniejszych od 3 m/min, co związane było z największym poborem mocy i obciążeniem prądowym silnika napędzającego organ prawy. Towarzyszyły temu również maksymalne spadki napięcia w sieci. Jednocześnie zaobserwować można tendencję zmniejszenia średniej wartości napięcia i wzrostu częstości występowania napięcia mniejszego od 950 V w miarę wzrostu prędkości posuwu kombajnu zarówno przy urabianiu, jak i ruchu manewrowym. Przy ruchu w prawo (urabianie) na częstość spadku napięcia w sieci zasilającej kombajn poniżej 950 V nakłada się zarówno obciążenie samego kombajnu, jak i spadki w sieci oddziałowej, będące wynikiem obciążenia napędów przenośnika ścianowego. Przy ruchu manewrowym (zwrot w lewo) spadek napięcia w sieci zasilającej kombajn jest efektem spadku napięcia tylko w sieci oddziałowej.

Powyższy przykład oraz przypadek zastosowania kombajnu w ścianie G-II w KWK Knurów dowodzą, że prawidłowe wykorzystanie potencjalnych możliwości technicznych kombajnu wymaga właściwego zaprojektowania całego systemu mechanizacyjnego.



Rys. 3.60. Charakterystyki zasilania elektrycznego kombajnu w ścianie 420
Fig. 3.60. Power supply characteristics of a shearer on the face no 420

3.5. Podsumowanie i wnioski szczegółowe

Zastosowana procedura postępowania badawczego wynikająca z zaproponowanej metodyki badań eksploatacyjnych kombajnów ścianowych oraz specjalnie zaprojektowany układ pomiarowy umożliwiły uzyskanie bazy danych pomiarowych, niezbędnej dla opracowania w pełni reprezentatywnych dla warunków eksploatacyjnych poszczególnych przodków ścianowych charakterystyk eksploatacyjnych kombajnów.

Studium identyfikacji wpływu wybranych czynników eksploatacyjnych na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego potwierdziło pełną przydatność zaproponowanego zestawu charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu do realizacji założonych przed podjęciem badań celów. Realizacja przyjętego programu badań eksploatacyjnych umożliwiła wykazanie istotności wpływu przebiegu procesu ładowania na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego i wyodrębnienie tych czynników wpływu, które powinny być dodatkowo uwzględnione w analizie teoretycznej tego zagadnienia.

Charakterystyki uzyskane w różnych warunkach eksploatacyjnych unaoczniły fakt, że charakter obciążenia zewnętrznego organów urabiających wyznaczony z zależności teoretycznych nie pokrywa się w pełni z uzyskanym na podstawie pomiarów.

Analiza charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu w aspekcie identyfikacji wpływu wybranych czynników eksploatacyjnych na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Stan obciążenia silników napędzających organy urabiające (obciążenie średnie i maksymalne, częstość przeciążenia) wynika z przebiegu procesu odspajania węgla od calizny oraz procesu ładowania uzyskanego urobku przez organ na przenośnik. O przebiegu obu procesów, poza cechami konstrukcyjnymi organów i układem noży, decydują głównie następujące czynniki: wysokość ściany, urabialność węgla w pokładzie, stopień odprężenia calizny węglowej, kierunek obrotów organów urabiających i zwrot urabiania kombajnem w stosunku do zwrotu odstawy.
2. Przebieg procesu ładowania urobku węglowego organami urabiającymi ma istotny wpływ na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu szczególnie w przypadku zwiększonej szerokości zabioru przy znacznym przesłonięciu organu tylnego ramieniem wychylnym kombajnu i rynnami przenośnika ścianowego. Występuje to w przypadku wyposażenia kombajnów grupy KSW-500 w organy urabiające o średnicach: 1700 i 1800 mm. Ponieważ tylko nieznaczna część urobku może być załadowana na przenośnik pod ramieniem wychylnym kombajnu, korzystna jest wówczas zmiana kierunków obrotów tego organu z nadsiębiernych na podsiębierne, zarówno w przypadku stosowania ładowarek osłonowych, jak i przy pracy kombajnu bez ładowarek. Przy stosowaniu ładowarek osłonowych współpracujących z organami o tych średnicach istotne znaczenie ma również usytuowanie ładowarek w stosunku do organów. Dodatkowy wpływ na stan obciążenia silnika napędzającego organ tylny ma zwrot urabiania w stosunku do zwrotu odstawy.
3. Ze względu na specyfikę ładowania urobku organem tylnym przy zastosowaniu ładowarek osłonowych istnieje konieczność opracowania nowego modelu teoretycznego ładowania urobku węglowego przez kombajn, uwzględniającego:
   - rzeczywistą ilość urobku ładowanego tym organem,
   - kierunek obrotów tego organu,
   - usytuowanie ładowarki w stosunku do organu urabiającego.

4. Zależność poboru mocy przez kombajn od prędkości posuwu odzwierciedla obciążenie poszczególnych silników elektrycznych kombajnu. W zdecydowanej większości przypadków o charakterze zmian poboru mocy decyduje stan obciążenia silników napędzających organy urabiające. Obciążenie silnika elektrycznego ciągnika kombajnu wpływa znacząco na sumaryczny pobór mocy jedynie wówczas, gdy wartość natężenia pobieranego prądu przez ten silnik jest na poziomie wartości prądu znamionowego.
5. W trakcie urabiania średnie natężenie prądu pobieranego przez silniki napędzające organy urabiające początkowo rośnie wraz ze wzrostem prędkości posuwu, po czym po przekroczeniu prędkości, którą proponuje się nazwać graniczną, następuje spadek lub stabilizacja średniego obciążenia silnika. W efekcie w taki sam sposób kształtuje się przebieg sumarycznego poboru mocy w funkcji prędkości posuwu kombajnu. Przyczyną tego stanu może być zmiana relacji pomiędzy grubością skrawu i podziałką noży, która wpływa na wartość sił skrawania i docisku.
6. W przypadku stosowania kombajnów bez ładowarek osłonowych w ścianach o wysokości mniejszej od 3 m z reguły w większym stopniu jest obciążony organ wyprzedzający, urabiający warstwę przystropową. Wynika to z faktu, że przekrój warstwy skrawanej tym organem jest wówczas większy w porównaniu z przekrojem urabianym organem tylnym. Jedynie w przypadku występowania w pokładzie węgli łatwo i średnio urabialnych, przy stosowaniu średnic organów urabiających 1700 i 1800 mm, przebieg procesu ładowania organem tylnym sprawia, że bardziej może być obciążony napęd organu urabiającego warstwę przyspągową. W ścianach o wysokości większej od 3 m, w których występuje zjawisko odspajania górnych naroży pokładu, zmniejsza się rzeczywisty przekrój warstwy urabianej organem wyprzedzającym, co powoduje zmianę relacji obciążenia obu organów.
7. Przy prawidłowym doborze wszystkich maszyn składających się na ścianowy system mechanizacyjny rozkład prędkości posuwu kombajnu zależy głównie od stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu. Jest to wynikiem między innymi działania automatycznego regulatora prędkości posuwu kombajnu, który powoduje obniżenie prędkości w przypadku wystąpienia przeciążenia któregoś z głównych silników elektrycznych. Stąd przy identyfikacji stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu konieczne jest uwzględnienie częstości występowania obciążenia większego od wartości progowej prądu zadziałania regulatora.
8. Bardzo ważny aspekt związany z prawidłowym wykorzystaniem potencjalnych możliwości technicznych kombajnu w warunkach eksploatacyjnych każdego przodka ścianowego stanowi zapewnienie odpowiednich warunków zasilania elektrycznego. W ścianach, w których sztywność sieci zasilającej kombajn była niewystarczająca, uzyskiwane prędkości posuwu były zdecydowanie mniejsze przy mniejszym obciążeniu zewnętrznym poszczególnych zespołów roboczych kombajnu. Efektywne wykorzystanie kombajnu uwarunkowane jest również prawidłowym doborem parametrów pozostałego podstawowego wyposażenia technicznego ściany. W przypadku dwu spośród analizowanych ścian niski stopień wykorzystania mocy nominalnej kombajnu i niekorzystny rozkład częstości występowania prędkości posuwu kombajnu były wynikiem niewłaściwego doboru parametrów przenośnika ścianowego.

Biorąc pod uwagę powyższe można stwierdzić, że nowa metodyka badań eksploatacyjnych kombajnów ścianowych i opracowany zestaw charakterystyk eksploatacyjnych stanowią istotny wkład do metodologii badań eksperymentalnych realizowanych w złożonych stanach obciążeń o charakterze stochastycznym.

4. ANALIZA MOŻLIWOŚCI UZYSKANIA WYSOKIEJ KONCENTRACJI WYDOBYCIA

Przeprowadzenie analizy dotyczącej możliwości uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia, przy wykorzystaniu wyników przeprowadzonych badań eksploatacyjnych, wymaga dysponowania modelem wyraźnie rozgraniczającym wpływ czynników natury:
- technicznej,
- organizacyjnej,
- technologicznej.

W związku z powyższym opracowano nowy model przebiegu procesu produkcyjnego w przodku ścianowym, który pozwala na ustalenie wydobycia dobowego ze ściany w zależności od: teoretycznej wydajności kombajnu i stopnia jej wykorzystania w danych warunkach eksploatacyjnych, parametrów przodka ścianowego, dyspozycyjnego czasu pracy maszyn w przodku i jego wykorzystania, technologii urabiania kombajnem.

Opierając się na zaproponowanym modelu przeprowadzono analizę możliwości uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia w świetle kryteriów podanych przez W. Sikorę [65], w odniesieniu do wszystkich przodków objętych badaniami eksploatacyjnymi.

4.1. Model teoretyczny przebiegu procesu produkcyjnego w przodku ścianowym

Biorąc pod uwagę odmienny przebieg procesu produkcyjnego w ścianie, związany ze specyfiką obu podstawowych technologii urabiania kombajnem, wydobycie dobowe ze ściany można wyznaczyć z zależności:

- urabianie jednostronne

$$W_{Q1} = Q_t * k_Q * T * \psi_T \frac{L * \eta}{(L - l_k) * \left(1 + \frac{v_u}{v_m}\right) * (1 + p_z)} \tag{4.1}$$

- urabianie dwustronne

$$W_{Q2} = 2 * Q_t * k_Q * \left(1 + \frac{z_p * v_p}{z_z * v_z}\right) * T * \psi_T \frac{L * \eta}{(L - l_k) * \left(1 + \frac{v_z}{v_p}\right) * \left(1 + \frac{v_p}{v_z}\right) * (1 + p_z)} \tag{4.2}$$

W przypadku gdy szerokość zabioru przy obu zwrotach urabiania dwustronnego jest taka sama lub zbliżona, można korzystać z zależności uproszczonej:

$$W_{Q2} = 2 * Q_t * k_Q * T * \psi_T \frac{L * \eta}{(L - l_k) * \left(1 + \frac{v_z}{v_p}\right) * (1 + p_z)} \tag{4.3}$$

Po wprowadzeniu nowego, dotychczas nigdzie nie stosowanego, pojęcia sprawności technologii, przedstawione powyżej zależności można zapisać w postaci:

$$W_Q = Q_t * T * \psi_T * \eta_t \tag{4.4}$$

Wartość wskaźnika sprawności technologii, wyznaczona z następujących zależności:
- urabianie jednostronne

$$\eta_t = \frac{k_Q * L * \eta}{(L - l_k) * \left(1 + \frac{v_u}{v_m}\right) * (1 + p_z)} \tag{4.5}$$

- urabianie dwustronne

$$\eta_t = \frac{2 * k_Q * L * \eta * \left(1 + \frac{z_p * v_p}{z_z * v_z}\right)}{(L - l_k) * \left(1 + \frac{v_z}{v_p}\right) * \left(1 + \frac{v_p}{v_z}\right) * (1 + p_z)} \tag{4.6}$$

pozwala na określenie, jaką część potencjalnego wydobycia dobowego, wynikającego z teoretycznej wydajności kombajnu w danych warunkach eksploatacyjnych i rzeczywistego czasu pracy kombajnu w ciągu doby ($T * \psi_T$), stanowi wydobycie dobowe możliwe do uzyskania przy zastosowaniu danej technologii urabiania.

Na podstawie kształtowania się wartości tego wskaźnika można prześledzić wpływ poszczególnych czynników związanych z wykorzystaniem potencjalnej wydajności kombajnu, czasu trwania operacji przygotowawczo-zakończeniowych i długości ściany na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia przy zastosowaniu danej technologii urabiania.

Występujące w modelu parametry zdefiniowano w sposób podany poniżej.

Teoretyczna wydajność kombajnu w warunkach danego przodka wyznaczana jest z uwzględnieniem parametrów technicznych kombajnu (v_{max}, z) oraz parametrów związanych z warunkami naturalnymi i systemem eksploatacji (H, γ) z następującej zależności:

$$Q_t = H * z * v_{\max} * \gamma \tag{4.7}$$

W warunkach eksploatacyjnych danego przodka określone są: wysokość ściany i gęstość właściwa węgla, a ponadto stateczność stropu bezpośredniego i parametry zestawów obudowy zmechanizowanej decydują o dopuszczalnej w danych warunkach szerokości zabioru [21, 73]. Parametrem charakteryzującym przyjęte rozwiązanie techniczne kombajnu jest maksymalna prędkość posuwu.

Wskaźnik wykorzystania teoretycznej wydajności kombajnu stanowi odniesienie rzeczywistej średniej wydajności kombajnu, wynikającej z efektywnej szerokości zabioru i wartości średniej prędkości posuwu kombajnu uzyskanej przy urabianiu w danych warunkach eksploatacyjnych, do wydajności teoretycznej kombajnu. Jest on wyznacznikiem wykorzystania potencjalnych możliwości technicznych kombajnu w danym przodku i obliczany jest w przypadku technologii urabiania jednostronnego tylko dla ruchu roboczego, a w przy zastosowaniu urabiania dwustronnego dla ruchu zgodnego lub przeciwnego do zwrotu odstawy odpowiednio z zależności:

$$k_Q = \frac{z_r * v}{z * v_{\max}} \tag{4.8}$$

Specyfika związana z przebiegiem obu technologii urabiania oraz różny stan obciążenia zewnętrznego kombajnu przy obu zwrotach urabiania, wynikający przede wszystkim z przebiegu procesu ładowania urobku przez kombajn na przenośnik, sprawiają, że kombajn uzyskuje różne prędkości posuwu przy ruchu zgodnym i przeciwnym w stosunku do zwrotu odstawy. Czynnik ten jest uwzględniony przy wyznaczaniu wskaźnika sprawności technologii poprzez iloraz wartości średnich prędkości uzyskanych przy obu zwrotach urabiania (v_z/v_p, v_p/v_z dla urabiania dwustronnego i v_u/v_m dla urabiania jednostronnego).

Wszystkie wymienione powyżej parametry (Q_t, k_Q, v_z/v_p *lub* v_u/v_m) reprezentują w przedstawionym modelu czynniki natury technicznej.

Kolejnym ważnym aspektem uwzględnionym w modelu jest wykorzystanie kombajnu ścianowego w czasie, związane głównie z czynnikami natury organizacyjnej i organizacyjno-technicznej. Efektywny czas pracy kombajnu jest wypadkową: dyspozycyjnego czasu pracy maszyn w przodku (T) i stopnia wykorzystania tego czasu (ψ_T).

Dyspozycyjny czas pracy maszyn w przodku wynika z przyjętej formy organizacji produkcji (liczba zmian, liczba zmian produkcyjnych), wymogów związanych z warunkami pracy w przodku oraz odległością przodka ścianowego od szybu. Jego pełne wykorzystanie może być ograniczone występowaniem nieplanowanych przerw w pracy spowodowanych czynnikami natury górniczej, technicznej i organizacyjnej.

W przypadku analizy dotyczącej możliwości uzyskania określonej wartości wydobycia dobowego istotny jest udział czasu trwania operacji przygotowawczo-zakończeniowych cyklu produkcyjnego w ścianie w odniesieniu do średniego czasu urabiania ściany kombajnem (urabianie dwustronne) lub łącznego czasu urabiania i ruchu manewrowego (urabianie jednostronne). Stąd do modelu wprowadzono wskaźnik udziału operacji technologicznych, wyznaczany odpowiednio z zależności:
- urabianie jednostronne

$$p_z = \frac{T_{pz} * v_u}{(L - l_k) * \left(1 + \frac{v_u}{v_m}\right)} \tag{4.9}$$

- urabianie dwustronne

$$p_z = \frac{2 * T_{pz} * v_z}{(L - l_k) * \left(1 + \frac{v_z}{v_p}\right)} \tag{4.10}$$

Przy danym czasie trwania operacji przygotowawczo-zakończeniowych cyklu produkcyjnego jego wpływ na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia, przy tym samym wy-

korzystaniu potencjalnych możliwości technicznych kombajnu, zależy od zastosowanej technologii urabiania kombajnem i długości ściany.

Zaproponowany model pozwala na przeprowadzenie dla warunków eksploatacyjnych każdej ściany wieloaspektowej analizy umożliwiającej prawidłowy dobór parametrów kombajnu i jego wyposażenia oraz technologii urabiania w aspekcie uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia ze ściany.

4.2. Analiza wpływu wybranych czynników na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia ze ściany

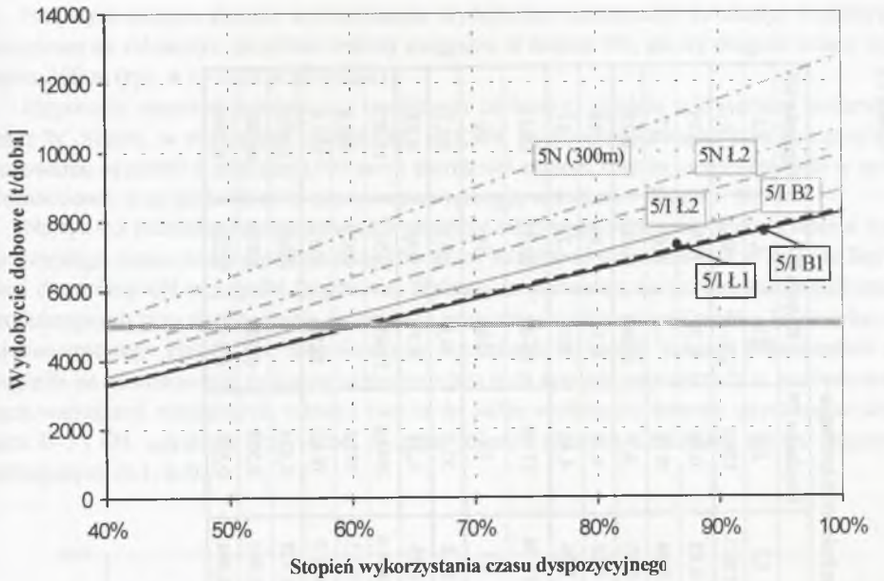
Przedstawiony model został wykorzystany do przeprowadzenia analizy możliwości uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia w każdej z badanych ścian na podstawie wyników pomiarów i danych zebranych w trakcie prowadzenia badań eksploatacyjnych. Przyjęto czterozmianową organizację produkcji z trzema zmianami produkcyjnymi i jedną konserwacyjno-naprawczą. Jedynie w przypadku ścian podsadzkowych, prowadzonych w kopalni „Mysłowice", ze względu na wymogi technologiczne zastosowano system z dwoma zmianami produkcyjnymi i jedną przeznaczoną na podsadzanie.

Założono, że uzyskanie średniego wydobycia dobowego na poziomie 5000 ton w dłuższym przedziale czasowym jest realne, gdy zostanie ono osiągnięte przy wykorzystaniu dyspozycyjnego czasu pracy maszyn w przodku w przedziale 50÷80%. Przyjęty zakres odpowiada średniemu wykorzystaniu czasu dyspozycyjnego w okresie dwu tygodni w ścianach o wysokości większej od 2,2 m, przy czterozmianowej organizacji produkcji, w losowo wybranych ścianach wiosną 1997 roku [18]. Możliwość spełnienia drugiego warunku, związanego z uzyskaniem wydobycia szczytowego na poziomie 12 000 ton na dobę, sprawdzono wyznaczając wartość maksymalnego wydobycia dobowego przy pełnym wykorzystaniu dyspozycyjnego czasu pracy maszyn w przodku.

Zależność wydobycia dobowego od stopnia wykorzystania czasu dyspozycyjnego pracy maszyn w przodku dla wszystkich wariantów pracy kombajnu w ścianie 5/I i dla ściany 5N w kopalni „Bogdanka" przedstawiono na rys. 4.1. Dane wykorzystane do wyznaczenia tych charakterystyk zestawiono w tablicy 4.1. W przypadku wariantów B1 i B2 efektywny zabiór kombajnu przy zwrocie urabiania przeciwnym do zwrotu odstawy wyznaczono z uwzględnieniem faktu, że przy tym zwrocie część ściany była urabiana jednostronnie. Niezależnie od średnic organów urabiających długość kombajnu przyjęta do analizy wynosi 12,5 m.

Zgodnie z przyjętym kryterium we wszystkich analizowanych przypadkach możliwe jest osiągnięcie średniego wydobycia 5000 ton na dobę, gdyż jego uzyskanie związane jest z wykorzystaniem dyspozycyjnego czasu pracy w granicach 47÷60%.

Najlepsze wyniki produkcyjne w warunkach pokładu 382 w kopalni „Bogdanka" można było osiągnąć w ścianie 5N, przy zastosowaniu wariantu Ł2 ustawienia organów urabiających, wyposażonych w noże promieniowe. O dobrym wykorzystaniu potencjalnych możliwości technicznych kombajnu świadczy średnia, dla obu zwrotów urabiania, wartość wskaźnika wykorzystania teoretycznej wydajności kombajnu wynosząca 0,526. Dzięki prawidłowemu przebiegowi procesu urabiania i ładowania urobku przez oba organy średnie wykorzystanie



Rys. 4.1. Wpływ przebiegu ładowania urobku na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia
Fig. 4.1. Influence of the run of the action of cut coal loading on a feasibility of high concentration of extraction

mocy nominalnej kombajnu było na poziomie 52% przy wartości wskaźnika nierównomierności obciążenia organów równej 0,23.

Wartość wskaźnika nierównomierności obciążenia organów wyznaczono jako iloraz różnicy średniego obciążenia silników napędzających organy: wyprzedzający i tylny oraz średniego obciążenia silnika o większym poborze prądu.

Zamiana noży promieniowych na styczne (ściana 5/I, wariant Ł2) sprawiła, że zmniejszyła się nierównomierność obciążenia organów (k_r = 0,13) przy jednoczesnym spadku wykorzystania mocy nominalnej (k_N = 49,4%). Jednak w efekcie zmniejszenia średniej prędkości posuwu kombajnu poziom wydobycia 5000 t/d można było osiągnąć przy pracy kombajnu przez 50% czasu dyspozycyjnego. Nie bez znaczenia był fakt, że długość ściany była o 50 m większa w stosunku do ściany 5N.

Najniższe wydobycie, spośród analizowanych przypadków, osiągnięto by przy konwencjonalnym ustawieniu organów urabiających zarówno przy pracy z ładowarkami, jak i bez ładowarek. W obu przypadkach przy dużym stopniu wykorzystania mocy nominalnej (60,8% - wariant Ł1, 47,9% - wariant B1) uzyskano najniższe wartości wskaźnika wykorzystania wydajności teoretycznej (0,382 - wariant Ł1, 0,444 - wariant B1). Cechą charakterystyczną obciążenia kombajnu w obu przypadkach było największe zróżnicowanie obciążenia obu organów (0,49 - wariant Ł1, 0,24 - wariant B1), szczególnie przy ruchu kombajnu przeciwnym do zwrotu odstawy (0,54 - wariant Ł1, 0,44 - wariant B1).

Niestety, w żadnym przypadku nie udało się osiągnąć wydobycia szczytowego na poziomie 12 000 t/d. Przy pełnym wykorzystaniu dyspozycyjnego czasu pracy w ścianie 5N można było uzyskać 10 600 t/d, a przy wariancie ustawienia organów Ł2 w ścianie 5/I prawie 10 000 t/d.

Tabela 4.1

Wskaźniki charakteryzujące wykorzystanie możliwości technicznych kombajnu

Oznaczenie ściany			Bogdanka 5/I				Bogdanka 5N	Borynia B-3		Bogdanka 6N
Wariant			B1	B2	Ł1	Ł2	Ł2	B1	Ł1	Ł2
Technologia urabiania			UR-2/UR-1P	UR-2/UR-1P	UR-2	UR-2	UR-2	UR-1P	UR-2	UR-2
Zabiór [m]	nominalny		0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,75	0,75	0,75
	efektywny	zgodny	0,92	0,92	0,93	0,94	0,91	-	0,68	0,7
		przeciwny	0,53*	0,42*	0,9	0,93	0,9	0,663	0,693	0,73
Prędkość posuwu [m/min]	wartość średnia	zgodny	4,25	4,87	3,59	4,28	4,38	6,74	5,88	3,18
		przeciwny	5,3	5,87	2,74	3,76	4,46	3,91	3,27	3,21
Czas operacji technologicznych [min]	zakres		17-44	19-29	16-32	17-34	17-28	16-25	20-31	15-24
	w. średnia		30	24	21	25	19	18	24	16
Czas cyklu [min]			90,9	78,0	113,5	96,8	72,7	76,8	58,6	89,7
P_z			0,49	0,44	0,23	0,35	0,35	0,31	0,69	0,22
Wydajność kombajnu [t/h]	maksymalna		1444,6	1444,6	1444,6	1444,6	1444,6	1350,7	1350,7	1520,6
	średnia	zgodny	745,6	851,6	634,6	762,3	757,6	-	900,1	564,2
		przeciwny	536,2	472,0	470,3	664,7	763,0	583,6	505,5	593,9
k_Q		zgodny	0,516	0,590	0,439	0,528	0,524	-	0,666	0,371
		przeciwny	0,371	0,327	0,326	0,460	0,528	0,528	0,374	0,391
		ogólnie	0,444	0,458	0,458	0,494	0,526	0,432	0,520	0,381

* z uwzględnieniem faktu, że część ściany była urabiana jednostronnie

Przy tym samym stopniu wykorzystania wydajności teoretycznej kombajnu wydobycie szczytowe na założonym poziomie byłoby osiągalne w ścianie 5N, gdyby długość ściany wynosiła 300 m (rys. 4.1 - linia przerywana).

Uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia ze ściany, zgodnie z kryteriami podanymi przez W. Sikorę, w warunkach pokładu 382 w KWK Bogdanka jest zatem możliwe przy zastosowaniu organów o średnicy 1700 mm i szerokości zabioru 0,95 m, wyposażonych w noże promieniowe, przy podsiębiernej pracy organu tylnego, w ścianie o długości 300 m.

Na rys.4.2 przedstawiono zależność wydobycia dobowego od stopnia wykorzystania dyspozycyjnego czasu pracy dla obu wariantów pracy kombajnu w ścianie B-3 w kopalni Borynia i dla ściany 6N w kopalni Bogdanka. Wykresy te pozwalają na porównanie możliwości produkcyjnych przy zastosowaniu technologii urabiania dwustronnego (praca z ładowarkami) i jednostronnego (praca bez ładowarek) w warunkach tej samej ściany. Jednocześnie ze względu na zastosowanie organów urabiających o tych samych parametrach w porównywalnych warunkach naturalnych, odnieść można do siebie wydobycie dobowe uzyskane w ścianach B-3 i 6N, uzyskane przy różnej długości ściany i różnych kierunkach obrotu organów urabiających (Ł1, Ł2).

Rys. 4.2. Porównanie wydobycia dobowego możliwego do uzyskania w ścianach B-3 i 6N
Fig. 4.2. Comparison of daily outputs obtainable on the faces B-3 and 6N

Pomimo najmniejszego wykorzystania potencjalnych możliwości technicznych kombajnu (k_Q = 0,38), założony poziom wydobycia dobowego 5000 ton można było osiągnąć w ścianie 6N przy 55% wykorzystaniu dyspozycyjnego czasu pracy, a przy pełnym jego wykorzystaniu można było uzyskać wydobycie 9000 t/d. Wynika to przede wszystkim z większej o ponad 60% długości ściany i większej wydajności teoretycznej kombajnu.

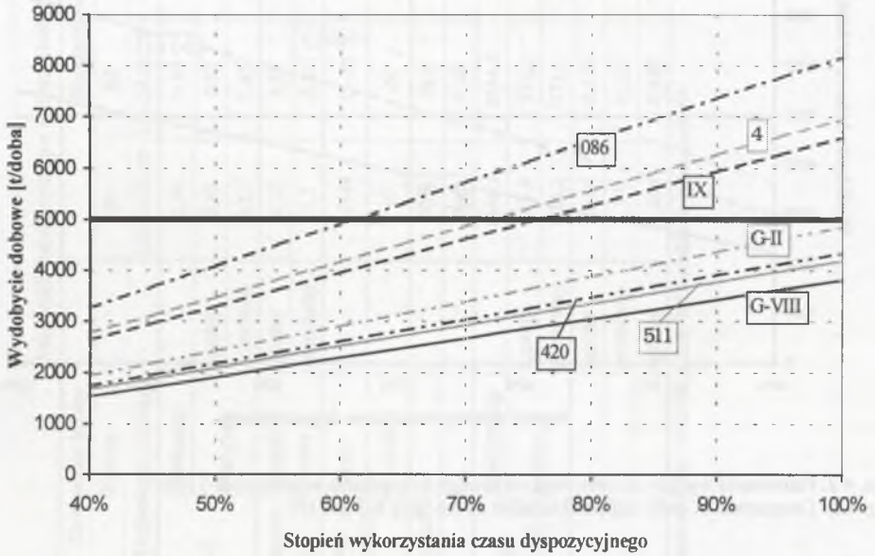
Wykorzystanie teoretycznej wydajności kombajnu w 52% nie zapewniło natomiast uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia przy zastosowaniu w ścianie B-3 technologii urabiania jednostronnego. Wydobycie 5000 t/d mogło być osiągnięte przy 90% wykorzystania czasu dyspozycyjnego, co jest niezwykle trudne do utrzymania w trakcie całego okresu eksploatacji ściany. Zastosowanie technologii urabiania dwustronnego w warunkach tej ściany, możliwe dzięki wyposażeniu kombajnu w ładowarki osłonowe, pozwoliło przy pełnym wykorzystaniu czasu pracy maszyn w przodku na zwiększenie wydobycia dobowego o ponad jedną trzecią.

Zmiana technologii urabiania jednostronnego na dwustronne umożliwiła w warunkach ściany B-3 w KWK Borynia na uzyskanie średniego wydobycia dobowego odpowiadającego wymogom wysokiej koncentracji produkcji.

Wartość wskaźnika nierównomierności obciążenia organów w ścianie B-3 była równa: 0,35 – przy zastosowaniu ładowarek i 0,5 - przy pracy bez ładowarek, podczas gdy w ścianie 6N wynosiła 0,137. Stanowi to kolejne potwierdzenie faktu, że zmiana kierunku obrotów w przypadku organów urabiających o średnicy 1800 mm korzystnie wpływa na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu, a w rezultacie na jego wydajność.

Dane niezbędne do analizy możliwości uzyskania określonego poziomu wydobycia w warunkach eksploatacyjnych pozostałych ścian objętych pomiarami przedstawiono w tablicy 4.2.

Z uzyskanych na podstawie tych danych charakterystyk (rys. 4.3) wynika, że tylko w przypadku trzech z pozostałych siedmiu ścian możliwe byłoby uzyskanie w dłuższym przedziale czasu wydobycia dobowego na poziomie 5000 ton.



Rys. 4.3. Wydobycie dobowe w funkcji wykorzystania dyspozycyjnego czasu pracy
Fig. 4.3. Daily output versus utilization of available worktime

Tabela 4.2

Wskaźniki charakteryzujące wykorzystanie możliwości technicznych kombajnu

Oznaczenie ściany			Sośnica	Knurów G-VIII	Makoszowy	Knurów G-II	Szczygłowice	Mysłowice 511	Mysłowice 420
Wariant			B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1
Technologia urabiania			UR-2	UR-1Z	UR-1Z	UR-1Z	UR-1Z	UR-1P	UR-1Z
Zabiór [m]	nominalny		0,65	0,65	0,65	0,65	0,75	0,75	0,75
	efektywny	zgodny	0,58	0,63	0,62	0,61	0,7	-	0,68
		przeciwny	0,56	-	-	-	-	0,69	-
Prędkość posuwu [m/min]	wartość średnia	zgodny	4,25	2,62	6,31	3,3	3,91	3,89	2,75
		przeciwny	5,3	4,45	7,61	3,74	4,27	2,24	4,6
Czas operacji technologicznych [min]	zakres		12-16	14-21	7-17	19-26	12-26	14-30	15-23
	w. średnia		15	16	13	22	22	25	19
Czas cyklu [min]			52,6	157,6	59,2	134,7	129,5	156,9	88,4
P_z			0,4	0,11	0,28	0,2	0,2	0,19	0,27
Wydajność kombajnu [t/h]	maksymalna		975,9	783,6	1312,0	1030,0	1225,7	1428,8	1833,1
	średnia	zgodny	462,6	355,3	987,0	569,6	798,8	-	571,3
		przeciwny	557,0	-	-	-	-	525,8	-
k_Q		zgodny	0,474	0,453	0,752	0,553	0,652	-	0,312
		przeciwny	0,571	-	-	-	-	0,368	-
		ogólnie	0,522	0,453	0,752	0,553	0,652	0,368	0,312

W przypadku ściany 086 w kopalni „Makoszowy" założony poziom wydobycia mógł być osiągnięty przy wykorzystaniu dyspozycyjnego czasu pracy w 62%, a w ścianach nr 4 w kopalni „Sośnica" i nr IX w kopalni „Szczygłowice" odpowiednio przy 73 i 76%.

Osiągnięcie wysokiej koncentracji wydobycia w ścianie nr 086 w KWK Makoszowy, przy zastosowaniu urabiania jednostronnego, było możliwe dzięki uzyskaniu największej wartości, pośród badanych ścian, wskaźnika wykorzystania teoretycznej wydajności kombajnu wynoszącej 0,752 oraz dużej wydajności teoretycznej kombajnu (1312 t/h). Wskutek właściwego zaprojektowania systemu mechanizacyjnego średnie wykorzystanie mocy nominalnej wynosiło 53,5% przy nieznacznym zróżnicowaniu obciążenia obu organów (k_r = 0,185). Uzyskanie wydajności szczytowej 12 000 t/d okazało się niemożliwe, gdyż maksymalne wydobycie przy pełnym wykorzystaniu czasu dyspozycyjnego mogło wynosić 8200 t/d.

Podobna sytuacja była w ścianie nr IX w kopalni „Szczygłowice". Uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia 5000 t/d okazało się realne ze względu na te same czynniki: duża wydajność teoretyczna kombajnu (1226 t/h) i osiągnięcie dużego stopnia wykorzystania tej wydajności (k_Q = 0,625). Wydobycie w tej ścianie zostało w znacznym stopniu ograniczone warunkami stropowymi. Konieczność rozbijania w trakcie ruchu manewrowego dużych brył skał odspojonych od stropu ograniczyła prędkość posuwu w tej fazie pracy kombajnu, a tym samym spowodowała wydłużenie czasu trwania cyklu produkcyjnego ze względu na znaczną długość ściany.

W odróżnieniu od dwu wyżej omówionych przypadków uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia w ścianie nr 4 w kopalni „Sośnica" mogło być osiągnięte przy znacznie mniejszej wydajności teoretycznej kombajnu (976 t/h) dzięki zastosowaniu technologii urabiania dwustronnego i sprawnemu przebiegowi operacji przygotowawczo-zakończeniowych cyklu (T_{pz} = 13 min). Duże znaczenie miało także dobre wykorzystanie potencjalnych możliwości technicznych kombajnu (k_Q = 0,522). Sprzyjało temu równomierne obciążenie silników napędzających organy urabiające, o czym świadczy wartość wskaźnika k_r wynosząca 0,173. Stosunkowo niewielkie wykorzystanie mocy nominalnej kombajnu wynikało z zalegania w pokładzie węgla łatwo urabialnego (F_k = 45%).

O dużym wpływie technologii urabiania na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji produkcji świadczy przykład ściany nr G-II w kopalni „Knurów". Wydajność teoretyczna kombajnu (1030 t/h) oraz stopień jej wykorzystania były większe w porównaniu ze ścianą nr 4 w kopalni „Sośnica", a jednak uzyskanie wydobycia 5000 t/d przy zastosowaniu urabiania jednostronnego okazało się niemożliwe. Wpływ na wykorzystanie możliwości technicznych kombajnu w ścianie G-II miało niezgodne z wymogami zasilanie elektryczne kombajnu i znaczne zróżnicowanie obciążenia silników organów urabiających (k_r = 0,3), co doprowadziło do wykorzystania mocy nominalnej kombajnu tylko w 29%.

Podobnie sytuacja przedstawia się w obu ścianach prowadzonych w kopalni „Mysłowice". Bardzo niskie wykorzystanie dużej wydajności teoretycznej kombajnu (ściana nr 420 - k_Q = 0,368; ściana nr 511 - k_Q = 0,312) związane było z wykorzystaniem w niewielkim stopniu mocy nominalnej kombajnu (27,5%, 30,8%). Bezpośrednia przyczyna tego stanu była jednak w obu przypadkach różna. W ścianie nr 420 ograniczenie prędkości posuwu kombajnu spowodowane było małą sztywnością oddziałowej sieci elektrycznej oraz niewłaściwym doborem przenośnika ścianowego. Natomiast niewykorzystanie wydajności teoretycznej kombajnu w ścianie 511 było wynikiem bardzo dużego zróżnicowania obciążenia silników napędzających organy urabiające (k_r = 0,55). Na wyniki produkcyjne obu ścian wpływa również

krótszy, w porównaniu z pozostałymi, czas dyspozycyjny związany z wymogami technologicznymi podsadzania wyrobiska.

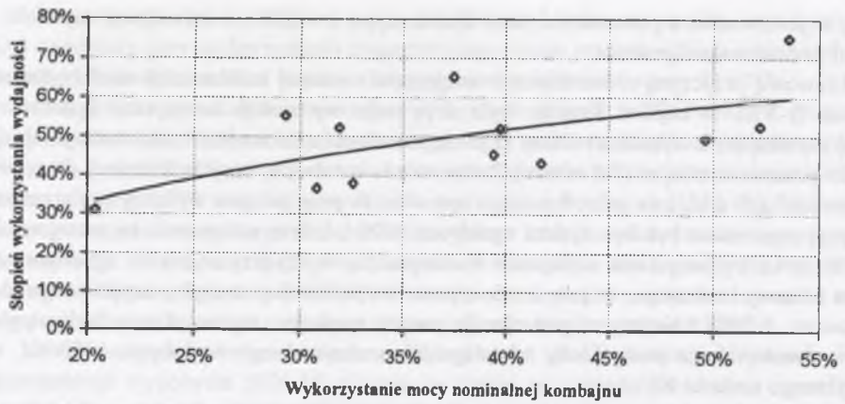
Podstawową przyczyną niemożliwości osiągnięcia wysokiej koncentracji wydobycia w ścianie nr G-VIII w kopalni Knurów była zbyt mała wydajność teoretyczna kombajnu (784 t/h) wynikająca z wysokości ściany (2,6 m), szerokości zabioru (0,65 m) i maksymalnej prędkości posuwu kombajnu (5,6 m/min). Zastosowanie w takiej sytuacji w ścianie o długości 246 m technologii urabiania jednostronnego sprawiło, że przy pełnym wykorzystaniu czasu dyspozycyjnego można byłoby uzyskać wydobycie 3800 t/d. Przy utrzymaniu tej samej wartości wskaźnika wykorzystania wydajności kombajnu (k_Q=0,45) przy urabianiu zgodnym ze zwrotem odstawy i założeniu, że przy zwrocie przeciwnym kombajn mógłby uzyskiwać prędkość posuwu o 20% mniejszą w stosunku do zwrotu zgodnego, wprowadzenie technologii urabiania dwustronnego pozwoliłoby na osiągnięcie maksymalnego wydobycia 5300 t/d, a więc wyższego o około 40%.

Z przeprowadzonej powyżej analizy wynika, że o możliwości uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia w dużej mierze decyduje stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego i zastosowana technologia urabiania. W celu wykazania wpływu tych czynników na wyniki produkcyjne ściany przeprowadzono analizę statystyczną danych dotyczących ścian objętych badaniami, z pominięciem wariantów B1, B2 i Ł1 w ścianie nr 5/I w KWK Bogdanka. Analiza ta ma charakter jakościowy i jej celem jest ustalenie trendów zmian dotyczących rozważanej problematyki. Liczebność próby nie pozwala na przeprowadzenie miarodajnej analizy jakościowej, która powinna dotyczyć grup jednorodnych z uwzględnieniem parametrów wyposażenia technicznego kombajnu i zakresów wysokości ścian.

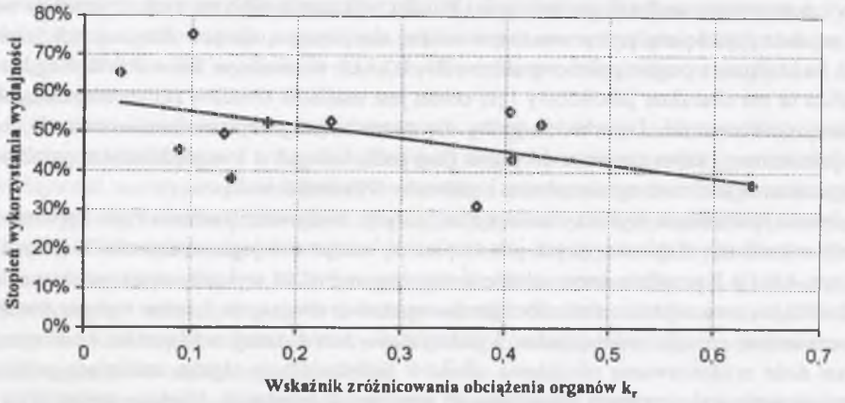
Ponieważ miernikiem wykorzystania potencjalnych możliwości technicznych kombajnu w danych warunkach eksploatacyjnych jest stopień wykorzystania jego wydajności teoretycznej, na rys. 4.4 i 4.5 przedstawiono zależność tego parametru od wykorzystania mocy nominalnej kombajnu oraz zróżnicowania obciążenia organów urabiających. Lepsze wykorzystanie mocy nominalnej sprzyja pełniejszemu wykorzystaniu teoretycznej wydajności kombajnu, natomiast duże zróżnicowanie obciążenia silników napędzających organy urabiające powoduje zmniejszenie wykorzystania potencjalnych możliwości kombajnu. Większe zróżnicowanie obciążenia obu organów pociąga za sobą zmniejszenie prędkości posuwu kombajnu, co związane jest z działaniem automatycznego regulatora prędkości posuwu kombajnu.

Konieczność wprowadzenia wskaźnika sprawności technologii potwierdzają dane przedstawione na rys. 4.6, z których wynika, że pełniejsze wykorzystanie mocy kombajnu pozwala na osiągnięcie większego wydobycia dobowego. Wartości wydobycia dobowego w poszczególnych ścianach przyjęte do analizy odpowiadają wykorzystaniu dyspozycyjnego czasu pracy maszyn w 50%. Bardzo istotny jest przy tym wpływ technologii urabiania kombajnem, gdyż przy takim samym stopniu wykorzystania mocy nominalnej zastosowanie urabiania dwustronnego umożliwia uzyskanie większego wydobycia dobowego.

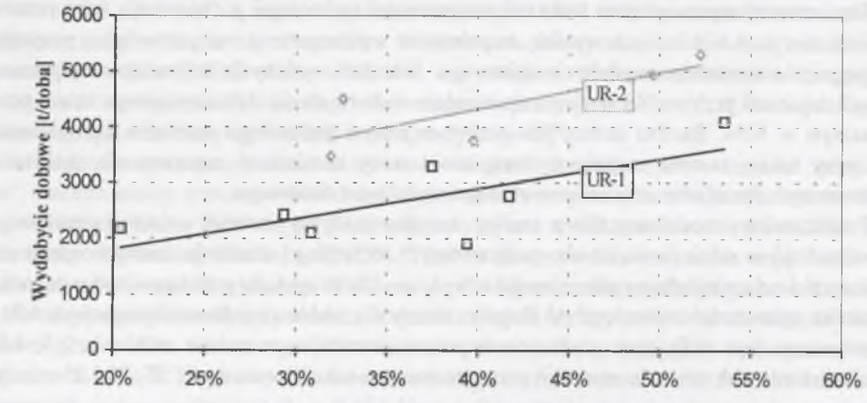
Przedstawiony model umożliwia analizę kształtowania się wartości wskaźnika sprawności technologii w odniesieniu do obu podstawowych technologii urabiania ściany kombajnem w zależności od uwzględnionych czynników wpływu. Dla przykładu przedstawiono zależność wskaźnika sprawności technologii od długości ściany dla urabiania jednostronnego (rys. 4.7) i dwustronnego (rys. 4.8), przy prędkościach posuwu kombajnu w trakcie urabiania 2,5; 4,0; 5,5 m/min i czasach trwania operacji przygotowawczo-zakończeniowych 15, 20 i 25 minut.



Rys. 4.4. Wpływ poboru mocy na wykorzystanie wydajności teoretycznej kombajnu
Fig. 4.4. Effect of power consumption on utilization of the theoretical performance of a shearer

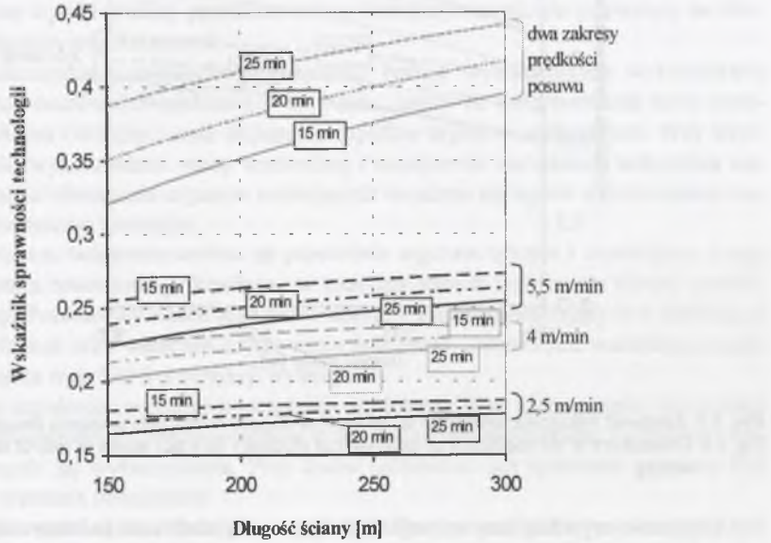


Rys. 4.5. Wpływ zróżnicowania obciążenia organów na wykorzystanie teoretycznej wydajności kombajnu
Fig. 4.5. Effect of diversifying the load of cutting drums on utilization of shearer's rated power



Rys. 4.6. Zależność wydobycia dobowego od wykorzystania mocy nominalnej kombajnu
Fig. 4.6. Dependence of a daily output on utilization of shearer's rated power

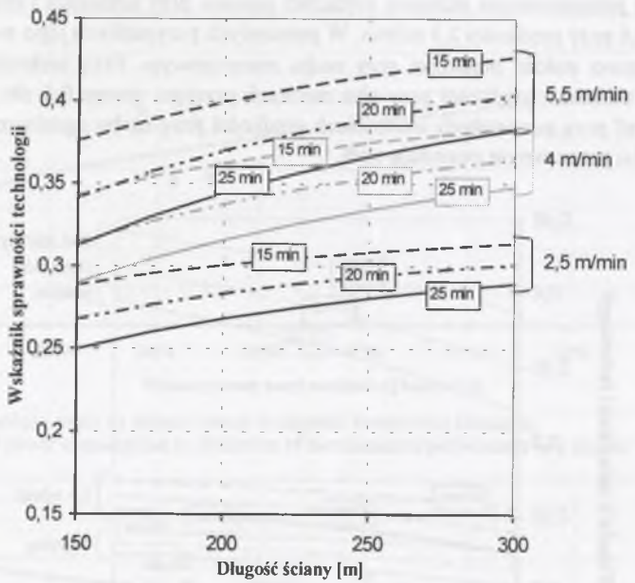
Przy urabianiu jednostronnym stosunek prędkości posuwu przy urabianiu i ruchu manewrowym wynosi 0,6 przy prędkości 2,5 m/min. W pozostałych przypadkach jego wartość zmienia się, gdyż założono stałość prędkości przy ruchu manewrowym. Przy technologii urabiania dwustronnego stosunek prędkości przy obu zwrotach przyjęto równy 0,8 dla prędkości 2,5 m/min, po czym przy pozostałych wartościach prędkości przy ruchu zgodnym prędkość posuwu przy ruchu przeciwnym pozostaje stała.



Rys. 4.7. Zależność wskaźnika sprawności technologii od długości ściany przy urabianiu jednostronnym
Fig. 4.7. Dependence of the coefficient of technological efficiency on a face length in case of unidirectional mining

W przypadku urabiania dwustronnego zwiększenie długości ściany powoduje znacznie większy wzrost wartości wskaźnika sprawności technologii w porównaniu z urabianiem jednostronnym, przy czym im większa jest prędkość posuwu kombajnu tym poprawa sprawności jest bardziej znaczna. Wzrost ten zależy również od czasu trwania operacji przygotowawczo-zakończeniowych cyklu. Dla przykładu skrócenie czasu tych operacji z 25 do 15 minut przy prędkości posuwu kombajnu 2,5 m/min zwiększa sprawność urabiania dwustronnego o 4% przy długości ściany 150 m, a przy długości 300 m tylko o 2,5%. W tych samych warunkach przy urabianiu jednostronnym wzrost ten wynosi odpowiednio 1,5% i 0,5%.

Przedstawione przebiegi wykazują, że przy zastosowaniu kombajnów ścianowych z jednym zakresem prędkości posuwu, dla tych samych wartości czasu operacji przygotowawczo-zakończeniowych i przy tym samym stopniu wykorzystania teoretycznej wydajności kombajnu, korzystniejsza jest technologia urabiania dwustronnego. O ilościowej różnicy sprawności technologii decyduje wówczas stosunek prędkości posuwu przy obu zwrotach urabiania przy urabianiu dwustronnym i stosunek prędkości w trakcie urabiania i ruchu manewrowego przy urabianiu jednostronnym.



Rys. 4.8. Zależność wskaźnika sprawności technologii od długości ściany przy urabianiu dwustronnym
Fig. 4.8. Dependence of the coefficient of technological efficiency on a face length in case of bi-directional mining

Uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia przy urabianiu jednostronnym umożliwia zastosowanie kombajnu z dwoma zakresami prędkości posuwu: roboczej i manewrowej. Osiągnięcie prędkości manewrowej trzykrotnie większej od prędkości posuwu w trakcie urabiania (rys. 4.7) pozwala na uzyskanie w tych samych warunkach eksploatacyjnych wartości wskaźnika sprawności technologii odpowiadających urabianiu dwustronnemu.

4.3. Podsumowanie i wnioski

Zaproponowany model przebiegu procesu produkcyjnego w ścianie stanowi nowatorskie ujęcie problematyki związanej z ustaleniem wydobycia dobowego ze ściany i dzięki zwiększeniu zakresu uwzględnionych czynników wpływu pozwala na przeprowadzenie wszechstronnej analizy możliwości uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia. Zaproponowane ujęcie problemu umożliwia szczegółową ocenę wpływu parametrów pracy poszczególnych typów kombajnów dużej mocy (maksymalna prędkość posuwu, nominalna szerokość zabioru) w warunkach eksploatacyjnych danego przodka ścianowego (wysokość i długość ściany, gęstość właściwa węgla) na potencjał produkcyjny ściany, wynikający z wydajności teoretycznej kombajnu i rzeczywistego czasu pracy maszyn, który jest wypadkową dyspozycyjnego czasu pracy maszyn i stopnia jego wykorzystania.

Wprowadzenie do modelu wskaźnika sprawności technologii po raz pierwszy pozwala ocenić ilościowo wpływ zastosowanej technologii urabiania na wykorzystanie potencjalnych możliwości produkcyjnych ściany. Wskaźnik ten, określający relację rzeczywistego wydobycia dobowego i potencjału produkcyjnego ściany, uwzględnia łączny wpływ stopnia wykorzystania teoretycznej wydajności kombajnu (k_Q) oraz przebiegu poszczególnych operacji cyklu produkcyjnego w ścianie, który wynika z zastosowanej technologii urabiania.

Wyraźne rozgraniczenie teoretycznej wydajności kombajnu i stopnia jej wykorzystania w danych warunkach eksploatacyjnych pozwala na przeprowadzenie analizy wpływu stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji produkcji.

Szczegółowe wyniki analizy przedstawione w niniejszym rozdziale pozwalają na sformułowanie wniosków uogólniających:

1. Stopień wykorzystania wydajności teoretycznej, będący wyznacznikiem wykorzystania potencjalnych możliwości technicznych kombajnu, zależy od spożytkowania mocy nominalnej kombajnu i zróżnicowania obciążenia napędów organów urabiających. Przy większym stopniu wykorzystania mocy nominalnej i mniejszych wartościach wskaźnika nierównomierności obciążenia organów urabiających uzyskuje się lepsze wykorzystanie wydajności teoretycznej kombajnu.
2. Przebieg procesu ładowania urobku na przenośnik organem tylnym i wynikający z tego stan obciążenia zewnętrznego kombajnu w znaczący sposób wpływa na wyniki produkcyjne ściany. Prawidłowy dobór kierunków obrotów organów urabiających o średnicach 1700 i 1800 mm oraz właściwe usytuowanie ładowarek osłonowych warunkują możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia.
3. Warunkiem uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia przy zastosowaniu technologii urabiania jednostronnego jest zapewnienie dużej wydajności teoretycznej kombajnu i wysokiego stopnia jej wykorzystania. Przy braku możliwości ich spełnienia powinno być stosowane urabianie dwustronne.
4. W przypadku stosowania kombajnów z jednym zakresem prędkości posuwu, przy tym samym stopniu wykorzystania teoretycznej wydajności kombajnu, zdecydowanie korzystniejsze jest urabianie dwustronne. W ścianach, w których preferowana jest technologia urabiania jednostronnego, uzyskanie wartości wskaźnika technologii na poziomie urabiania dwustronnego wymaga zastosowania kombajnu z dwoma zakresami prędkości posuwu.

5. OCENA PRAWIDŁOWOŚCI DOBORU KOMBAJNU DO WARUNKÓW EKSPLOATACYJNYCH

Ocena zastosowania kombajnu w warunkach eksploatacyjnych danego przodka wymaga przeprowadzenia analizy energochłonności procesu roboczego, zwanej energochłonnością urabiania. Ze względu na fakt, że nie można określić w sumarycznym poborze mocy przez kombajn osobno udziału oporów związanych z urabianiem calizny, ładowaniem urobku organami urabiającymi na przenośnik i przemieszczaniem kombajnu wzdłuż czoła ściany wprowadzono pojęcie energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym, które uwzględnia łączny udział wszystkich wyżej wymienionych procesów.

Obecnie stosowanym wyznacznikiem energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym jest wskaźnik energochłonności urabiania, wyznaczany jako iloraz mocy pobranej przez kombajn w określonym przedziale czasu i masy lub objętości urobku uzyskanego w tym czasie. Ze względu na stosowaną dotychczas procedurę postępowania badawczego [39, 40] wyznaczona w ten sposób wartość tego wskaźnika jest zależna od długości i usytuowania w ścianie odcinka pomiarowego oraz uzyskanej na tym odcinku prędkości posuwu kombajnu. Im bardziej długość odcinka pomiarowego jest zbliżona do długości ściany, tym lepiej wartość wyznaczonego parametru charakteryzuje pracę kombajnu w warunkach tej ściany.

Zaproponowana nowa metodyka postępowania badawczego i uzyskane na tej podstawie charakterystyki eksploatacyjne kombajnu pozwalają na przeprowadzenie analizy energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym na podstawie dodatkowo wyznaczonej charakterystyki, odzwierciedlającej zmienność wskaźnika energochłonności w funkcji prędkości posuwu.

5.1. Teoretyczno-eksperymentalny model energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym

O energochłonności procesu urabiania skał węglowych w warunkach eksploatacyjnych przodka ścianowego o określonej wysokości, przy urabianiu węgla o danej gęstości właściwej decyduje pobór mocy przez kombajn i jego wydajność. Przy ustalonym przez wysokość ściany i szerokość zabioru polu przekroju poprzecznego warstwy skrawanej parametrem determinującym wydajność kombajnu jest prędkość posuwu. Jednocześnie przebieg poboru mocy w funkcji prędkości posuwu, zależny od stanu obciążenia kombajnu w danych warunkach eksploatacyjnych, jest charakterystyczny dla każdego zastosowania kombajnu. Korzystając zatem z wyznaczonych dla określonego przodka ścianowego charakterystyk eksploatacyjnych można wyznaczyć dodatkowo charakterystykę energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym przedstawiającą kształtowanie się wartości tego wskaźnika w zależności od prędkości posuwu.

Opierając się na charakterystyce średniego wykorzystania nominalnej mocy kombajnu w przedziałach prędkości posuwu o rozstępie 1 m/min, wartość wskaźnika energochłonności

procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym w przyjętych przedziałach prędkości posuwu kombajnu można wyznaczyć z zależności:

$$E_i = \frac{\overline{N}_i}{\overline{v}_i * H * z_e * \gamma} \qquad (2.1)$$

W tablicy 5.1 zestawiono dane wyjściowe do obliczeń obejmujące wartości średniego poboru mocy i wartości średniej prędkości w poszczególnych przedziałach prędkości posuwu oraz wyznaczone wartości wskaźnika energochłonności. W przypadku urabiania dwustronnego powyższe parametry charakteryzują łącznie oba zwroty urabiania, natomiast przy zastosowaniu urabiania jednostronnego dotyczą tylko tego zwrotu, w trakcie którego kombajn urabiał calizną. Ze względu na przebieg urabiania przy konwencjonalnym kierunku obrotów organów urabiających w trakcie zwrotu urabiania przeciwnego do odstawy w ścianie 5/I w KWK Bogdanka w przypadku obu wariantów (B1, Ł1) analizą objęto tylko zwrot urabiania zgodny ze zwrotem odstawy.

Zróżnicowane warunki eksploatacyjne i specyficzny dla każdego przodka charakter poboru mocy sprawiły, że przy zmieniającym się polu przekroju poprzecznego warstwy skrawanej charakterystyki energochłonności w poszczególnych ścianach objętych badaniami mają różne przebiegi. Do opisu uzyskanych przebiegów przyjęto funkcję potęgową postaci $y = a\,x^b$. W przypadku analizowanych ścian kwadrat stosunku korelacyjnego, stanowiący miarę dążności skupiania się punktów wokół przyjętej krzywej regresji [57], zawierał się w przedziale 0,9148÷0,9959. Uzyskane wartości świadczą o tym, że przyjęta krzywa regresji w postaci funkcji potęgowej bardzo dobrze opisuje zmienność energochłonności w zależności od prędkości posuwu kombajnu.

Z punktu widzenia analizy energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym ważna jest nie tylko wartość bezwzględna energochłonności w danym przedziale prędkości, ale również to, przez jaką część czasu pracy kombajn urabiał przy wydatkowaniu energii na danym poziomie w odniesieniu do tony uzyskanego urobku. W związku z powyższym należy uwzględnić również charakterystyczny dla danych warunków rozkład częstości uzyskiwania prędkości posuwu kombajnu w zakresie danego przedziału odpowiadający częstości uzyskiwania energochłonności na poziomie tego przedziału.

Dla przykładu na rys.5.1 przedstawiono kształtowanie się energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym w ścianie 5N oraz w przypadku obu wariantów ustawienia organów urabiających przy zastosowaniu ładowarek osłonowych w ścianie 5/I w KWK Bogdanka (warianty Ł1, Ł2). Wykres kolumnowy prezentuje charakterystykę energochłonności, a wykres liniowy rozkład prędkości posuwu kombajnu. Zestawienie poszczególnych charakterystyk uzyskanych w tych trzech przodkach pozwala na przeprowadzenie analizy wpływu czynników technicznych (rodzaj noży, kierunek obrotów organów urabiających) na energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym w warunkach tego samego pokładu, przy jednakowym przekroju poprzecznym warstwy skrawanej.

W przypadku ściany 5/I zmiana kierunku obrotów organów urabiających spowodowała znaczny spadek energochłonności we wszystkich przedziałach prędkości posuwu kombajnu oraz umożliwiła uzyskanie korzystniejszego rozkładu prędkości. Zastosowanie w ścianie 5N noży promieniowych, przy korzystnym wariancie ustawienia organów Ł2 sprawiło, że w zakresie prędkości posuwu 0÷2 m/min energochłonność zdecydowanie wzrosła, lecz w pozosta-

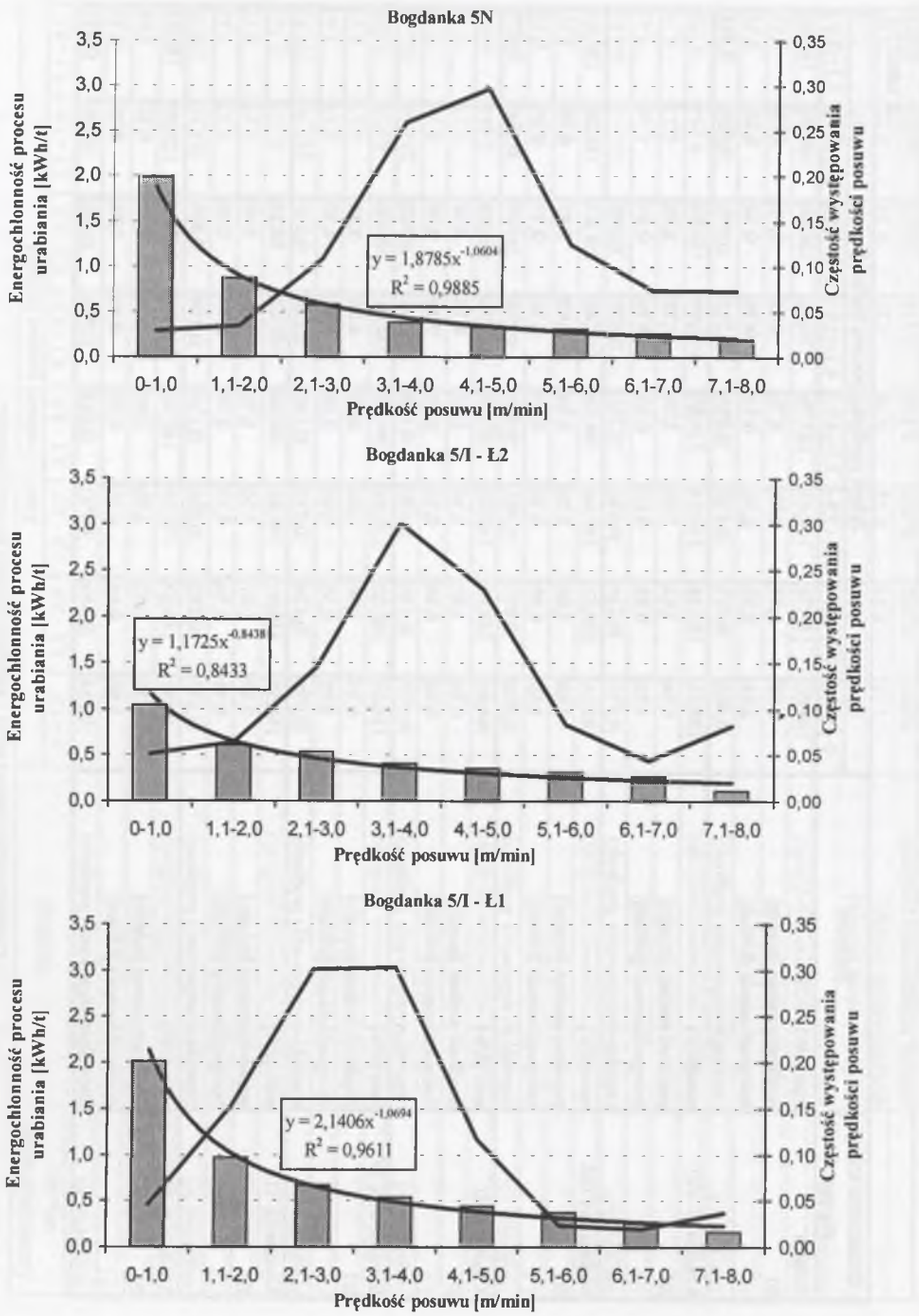
Tabela 5.1

Charakterystyki poboru mocy i energochłonności procesu urabiania

Oznaczenie ściany Wariant	Parametr	Zakres prędkości posuwu [m/min]							
		0 - 1,0	1,1 - 2,0	2,1 - 3,0	3,1 - 4,0	4,1 - 5,0	5,1 - 6,0	6,1 - 7,0	7,1 - 8,0
Bogdanka 5/I	moc [kW]	225,71	258,04	296,17	297,78	274,75	300,32	323,59	172,36
B1	prędkość średnia [m/min]	0,55	1,67	2,69	3,69	4,61	5,40	6,20	7,34
	energochłonność [kWh/t]	2,34	0,89	0,63	0,46	0,34	0,32	0,30	0,13
	częstość występowania prędkości	0,038	0,059	0,186	0,240	0,173	0,093	0,092	0,119
Bogdanka 5/I	moc [kW]	167,49	164,83	178,20	223,56	254,64	273,61	268,18	138,98
B2	prędkość średnia [m/min]	0,66	1,59	2,58	3,63	4,64	5,50	6,22	7,44
	energochłonność [kWh/t]	1,46	0,59	0,39	0,35	0,31	0,28	0,25	0,11
	częstość występowania prędkości	0,029	0,042	0,129	0,236	0,202	0,089	0,120	0,163
Bogdanka 5/I	moc [kW]	212,86	274,90	298,83	327,90	348,79	355,71	292,79	217,57
Ł1	prędkość średnia [m/min]	0,61	1,63	2,55	3,51	4.61	5.46	6.49	7.40
	energochłonność [kWh/t]	2,02	0,97	0,67	0,54	0,44	0,37	0,27	0,17
	częstość występowania prędkości	0,046	0,153	0,301	0,303	0,116	0,024	0,020	0,037
Bogdanka 5/I	moc [kW]	104,00	170,41	241,02	261,38	292,32	306,35	294,29	154,40
Ł2	prędkość średnia [m/min]	0,57	1,58	2,55	3,60	4,65	5,56	6,18	7,52
	energochłonność [kWh/t]	1,04	0,61	0,53	0,41	0,35	0,31	0,27	0,12
	częstość występowania prędkości	0,051	0,064	0,145	0,301	0,230	0,083	0,044	0,082
Bogdanka 5N	moc [kW]	198,35	234,17	271,20	244,53	260,28	287,69	283,28	250,84
Ł2	prędkość średnia [m/min]	0,58	1,56	2,73	3,73	4,60	5,39	6,19	7,44
	energochłonność [kWh/t]	1,99	0,87	0,58	0,38	0,33	0,31	0,27	0,20
	częstość występowania prędkości	0,029	0,035	0,109	0,259	0,297	0,125	0,074	0,073
Borynia B-3	moc [kW]	141,10	162,33	196,47	225,02	226,83	222,06	252,93	204,08
B1	prędkość średnia [m/min]	0,65	1,46	2,50	3,58	4,49	5,64	6,40	7,40
	energochłonność [kWh/t]	1,46	0,75	0,53	0,42	0,34	0,27	0,27	0,19
	częstość występowania prędkości	0,019	0,104	0,210	0,281	0,118	0,060	0,054	0,154
Borynia B-3	moc [kW]	129,40	160,15	181,82	202,89	233,70	224,32	202,13	199,76
Ł1	prędkość średnia [m/min]	0,52	1,58	2,45	3,52	4,53	5,53	6,39	7,31
	energochłonność [kWh/t]	1,61	0,66	0,48	0,37	0,33	0,26	0,20	0,18
	częstość występowania prędkości	0,021	0,128	0,319	0,223	0,152	0,066	0,043	0,047
Bogdanka 6N	moc [kW]	120,28	138,13	157,74	186,30	217,31	238,27	247,62	212,35
Ł2	prędkość średnia [m/min]	0,59	1,71	2,57	3,67	4,63	5,37	6,18	7,31
	energochłonność [kWh/t]	1,13	0,45	0,34	0,28	0,26	0,24	0,22	0,16
	częstość występowania prędkości	0,056	0,162	0,357	0,190	0,114	0,051	0,035	0,035

cd. tabeli 5.1

Oznaczenie ściany Wariant	Parametr	Zakres prędkości posuwu [m/min]							
		0 - 1,0	1,1 - 2,0	2,1 - 3,0	3,1 - 4,0	4,1 - 5,0	5,1 - 6,0	6,1 - 7,0	7,1 - 8,0
Sośnica	moc [kW]	144,80	149,79	146,45	167,79	176,51	186,35	164,70	146,96
B1	prędkość średnia [m/min]	0,50	1,67	2,58	3,75	4,63	5,45	6,23	7,93
	energochłonność [kWh/t]	2,64	0,82	0,52	0,41	0,35	0,32	0,24	0,17
	częstość występowania prędkości	0,062	0,089	0,111	0,094	0,291	0,078	0,029	0,245
Knurów G-VIII	moc [kW]	192,71	185,11	217,93	219,55	213,60	153,70		
B1	prędkość średnia [m/min]	0,78	1,65	2,61	3,59	4,52	5,39		
	energochłonność [kWh/t]	1,82	0,83	0,61	0,45	0,35	0,21		
	częstość występowania prędkości	0,055	0,224	0,476	0,181	0,055	0,008		
Makoszowy 086	moc [kW]	166,64	229,72	282,08	288,75	263,83	291,83	328,28	290,83
B1	prędkość średnia [m/min]	0,65	1,68	2,58	3,72	4,63	5,43	6,19	7.45
	energochłonność [kWh/t]	1,65	0,87	0,70	0,50	0,36	0,35	0,34	0,25
	częstość występowania prędkości	0,008	0,030	0,063	0,062	0,054	0,044	0,114	0,627
Knurów G-II	moc [kW]	104,95	123,33	143,75	166,27	173,16	168,08		
B1	prędkość średnia [m/min]	0,74	1,63	2,56	3,72	4,57	5,39		
	energochłonność [kWh/t]	0,82	0,44	0,33	0,26	0,22	0,18		
	częstość występowania prędkości	0,072	0,156	0,190	0,190	0,384	0,009		
Szczygłowice IX	moc [kW]	114,61	162,30	210,22	209,06	224,01	204,00		
B1	prędkość średnia [m/min]	0,75	1,59	2,60	3,68	4,66	5,41		
	energochłonność [kWh/t]	0,75	0,50	0,40	0,28	0,24	0,18		
	częstość występowania prędkości	0,075	0,124	0,219	0,142	0,321	0,112		
Mysłowice 511	moc [kW]	154,55	218,01	192,41	168,08	109,27	82,24		
B1	prędkość średnia [m/min]	0,67	1,57	2,56	3,71	4,56	5,40		
	energochłonność [kWh/t]	0,98	0,59	0,32	0,19	0,10	0,06		
	częstość występowania prędkości	0,237	0,280	0,206	0,121	0,124	0,008		
Mysłowice 420	moc [kW]	77,99	145,37	175,39	145,72	137,67	147,98	126,10	154,07
B1	prędkość średnia [m/min]	0,50	1,67	2,53	3,66	4,66	5,37	6,17	7,84
	energochłonność [kWh/t]	0,80	0,44	0,35	0,20	0,15	0,14	0,10	0,10
	częstość występowania prędkości	0,134	0,243	0,360	0,081	0,062	0,046	0,026	0,047



Rys. 5.1. Zależność energochłonności procesu urabiania od prędkości posuwu kombajnu
Fig. 5.1. Dependence of specific energy consumption on a shearer's haulage speed

łych przedziałach prędkości była na tym samym poziomie. Uzyskano jednak znacznie korzystniejszy rozkład częstości urabiania z określoną prędkością posuwu, dzięki czemu kombajn wydatkował na urabianie mniej energii.

Kolejny przykład, przemawiający za koniecznością równoczesnej analizy obu charakterystyk, stanowi ściana nr 420 w KWK Mysłowice. Niski pobór mocy przez kombajn w tej ścianie, wynikający z warunków zasilania elektrycznego i nieprawidłowego doboru parametrów przenośnika spowodował, że energochłonność procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym w porównaniu z innymi ścianami była zdecydowanie mniejsza (tabela 5.1). Uzyskano jednak niekorzystny rozkład prędkości posuwu kombajnu wskutek czego wydatek energii okazał się stosunkowo duży w odniesieniu do uzyskanego wydobycia.

Analiza przeprowadzona w odniesieniu do innych ścian dowodzi, że w przypadku urabiania węgli średnio urabialnych (KWK Makoszowy), czy nawet trudno urabialnych (KWK Szczygłowice) kombajn może pracować przez większą część czasu w zakresie najmniejszych wartości wskaźnika energochłonności, charakterystycznych dla warunków danej ściany (tabela 5.1).

Biorąc pod uwagę istotność obydwu wyżej przedstawionych aspektów zaproponowano nowy teoretyczno-eksperymentalny model energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym, opracowany przy następujących założeniach:

- charakterystyka energochłonności procesu urabiania skał węglowych, reprezentatywna dla warunków eksploatacyjnych danego przodka ścianowego, może być wyznaczona przy wykorzystaniu wybranych charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu uzyskanych zgodnie z przedstawioną procedurą postępowania badawczego;
- przy wyznaczaniu wskaźnika energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym istnieje konieczność łącznego uwzględnienia energochłonności pracy kombajnu w poszczególnych przedziałach prędkości posuwu oraz częstości urabiania z prędkością w zakresie danego przedziału;
- w przypadku urabiania jednostronnego wskaźnik energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym powinien uwzględniać energię wydatkowaną zarówno w trakcie ruchu roboczego, jak i manewrowego.

Wartość wskaźnika energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym powinna być wyznaczona na podstawie kształtowania się energochłonności w poszczególnych przedziałach prędkości posuwu kombajnu i uzyskanego rozkładu częstości występowania prędkości posuwu. W związku z powyższym wartość rozważanego wskaźnika energochłonności można obliczyć jako średnią ważoną wartości tego wskaźnika w poszczególnych przedziałach prędkości posuwu kombajnu (E_i) z uwzględnieniem częstości urabiania odpowiadającej temu przedziałowi (f_i):

$$E_f = \sum_{i=1}^{r} E_i \bullet f_i \qquad (5.2)$$

gdzie: r - liczba przyjętych przedziałów prędkości posuwu kombajnu.

Tak wyznaczona wartość tego wskaźnika najpełniej odzwierciedla rzeczywistą energochłonność procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym w warunkach eksploatacyjnych danej ściany oraz jest w pełni reprezentatywna dla tych warunków i stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu.

Ponieważ idea wskaźnika energochłonności procesu urabiania skał węglowych zawiera się w określeniu względnego zużycia energii w odniesieniu do jednostki wydobycia, w przypadku urabiania jednostronnego nie można pominąć energii wydatkowanej w trakcie ruchu

manewrowego. W związku z powyższym przy wyznaczaniu składnika związanego z ruchem manewrowym moc pobieraną w trakcie tego ruchu należy odnieść do ilości urobku uzyskanego w trakcie ruchu roboczego. Tak wyznaczona wartość składnika związanego z ruchem manewrowym nie odzwierciedla, oczywiście, energochłonności realizowanego wówczas procesu ładowania urobku, lecz pozwala na określenie sumarycznej energochłonności uwzględniającej obie fazy pracy kombajnu. Przy wyznaczaniu tego składnika korzysta się odpowiednio z zależności (5.1), (5.2).

Wyznaczone wartości wskaźnika energochłonności procesu urabiania skał węglowych przestawiono w tabeli 5.2. Poziom odniesienia przy analizie uzyskanych wartości wskaźnika energochłonności procesu urabiania skał węglowych mogą stanowić dane pochodzące z doświadczeń górnictwa amerykańskiego [51]. W USA przy prawidłowo dobranych parametrach kombajnu do danych warunków eksploatacyjnych wartość wskaźnika energochłonności zawiera się w przedziale 0,33÷0,5 kWh/t.

W przypadku urabiania dwustronnego wartość wskaźnika energochłonności nie mieszczącą się w tym przedziale uzyskano przy podstawowym wariancie ustawienia organów z ładowarkami Ł1 w ścianie 5/I w kopalni „Bogdanka" i w ścianie 4 w kopalni „Sośnica". Wartość równą górnej granicznej zanotowano w przypadku ściany 5/I w kopalni „Bogdanka" przy tym samym wariancie ustawienia organów bez ładowarek (B1). Powyższe dane wykazują, jak duże znaczenie ma przebieg procesu ładowania urobku na energochłonność procesu urabiania skał węglowych kombajnem, przy zwiększonej do 0,95 m szerokości zabioru i średnicy organu 1700 mm. Przyczyną dużej energochłonności w ścianie 4 był natomiast fakt częstego urabiania w zakresie małych prędkości posuwu kombajnu, w którym uzyskuje się największe w danych warunkach wartości wskaźnika energochłonności.

W przypadku urabiania jednostronnego wartość wskaźnika energochłonności przy ruchu roboczym większą lub równą górnej wartości granicznej uzyskano w ścianach G-VIII w kopalni „Knurów" i 511 w kopalni „Mysłowice". W pierwszym przypadku główną przyczyną była zbyt mała wydajność teoretyczna kombajnu w warunkach tej ściany wynikająca z pola przekroju poprzecznego warstwy skrawanej, w drugim natomiast niekorzystny rozkład prędkości posuwu kombajnu związany ze stanem obciążenia zewnętrznego kombajnu.

Łączne uwzględnienie energochłonności ruchu roboczego i manewrowego w przypadku urabiania jednostronnego sprawiło, że wartość wskaźnika energochłonności mniejszą od górnej granicznej uzyskano tylko w ścianie 086 w KWK Makoszowy. Zwraca przy tym uwagę fakt, że w większości ścian wartość składnika wskaźnika energochłonności związanego z ruchem manewrowym była na poziomie wartości składnika wyznaczonego dla ruchu roboczego. Przy małej skuteczności ładowania urobku przez kombajn na przenośnik urabianie jednostronne jest zatem technologią niekorzystną z punktu widzenia energochłonności.

W tabeli 5.2 zamieszczono również wartości wskaźnika energochłonności urabiania, wyznaczone zgodnie z dotychczas stosowaną metodyką. Porównanie wartości obu wskaźników wykazało, że tylko w jednym przypadku (ściana nr IX w KWK Szczygłowice) uzyskano takie same wartości. W dziewięciu ścianach wartość wskaźnika energochłonności urabiania była mniejsza, a w pozostałych pięciu większa od wskaźnika energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym. Powyższe dane dowodzą, że wyznaczony tradycyjnie wskaźnik energochłonności urabiania nie zawsze prawidłowo odzwierciedla wydatek energetyczny kombajnu na uzyskanie 1 tony urobku węglowego w danych warunkach eksploatacyjnych.

Tabela 5.2

Wskaźniki energochłonności procesu urabiania i efektywności pracy kombajnu

Oznaczenie ściany	Wariant	Technologia urabiania	Wskaźnik energochłonności [kWh/t]		Wskaźnik energochłonności E_r [kWh/t]	Energochłonność urabiania [kWh/t]	$F_{0,50}$	$F_{0,33}$	k_N [%]
			urabianie jednostronne						
			urabianie	ładowanie					
Bogdanka 5/I	B1	UR-2/UR-1P			0,50	0,37	0,717	0,304	47,9
	B2	UR-2/UR-1P			0,34	0,24	0,939	0,574	43,3
	Ł1	UR-2			0,68	0,52	0,197	0,056	60,8
	Ł2	UR-2			0,42	0,32	0,739	0,209	49,6
Bogdanka 5N	Ł2	UR-2			0,42	0,33	0,828	0,569	52,2
Borynia B-3	B1	UR-1P	0,43	0,21	0,64	0,30	0,667	0,268	40,2
	Ł1	UR-2			0,44	0,30	0,850	0,308	39,7
Bogdanka 6N	Ł2	UR-2			0,37	0,41	0,944	0,425	32,6
Sośnica	B1	UR-2			0,51	0,26	0,737	0,352	31,9
Kurów G-VIII	B1	UR-1Z	0,68	0,53	1,21	0,59	0,244	0,008	39,4
Makoszowy	B1	UR-1Z	0,22	0,18	0,40	0,29	0,901	0,627	53,6
Knurów G-II	B1	UR-1Z	0,32	0,27	0,60	0,38	0,928	0,773	29,3
Szczygłowice	B1	UR-1Z	0,34	0,24	0,58	0,34	0,918	0,575	37,5
Mysłowice 511	B1	UR-1P	0,50	0,19	0,68	0,61	0,459	0,459	30,8
Mysłowice 512	B1	UR-1Z	0,38	0,18	0,56	0,46	0,866	0,263	27,8

5.2. Kryteria prawidłowości doboru kombajnu do warunków eksploatacyjnych

Wartości wskaźnika energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym jest niewystarczająca dla obiektywnej oceny prawidłowości doboru kombajnu do danych warunków eksploatacyjnych. Dla przykładu w warunkach pokładu 382 w kopalni „Bogdanka" uzyskano taką samą wartość wskaźnika energochłonności zarówno przy zastosowaniu noży promieniowych (ściana 5N), jak i stycznych (ściana 5/I – wariant Ł2). Dzięki jednak korzystniejszemu rozkładowi prędkości posuwu kombajnu większe wydobycie dobowe można było uzyskać przy stosowaniu noży promieniowych. Przykład ścian 420 w kopalni „Mysłowice" i G-II w kopalni „Knurów" dowodzi, że niska energochłonność nie zawsze wynika z dobrego wykorzystania możliwości technicznych kombajnu, lecz może być spowodowana innymi czynnikami zmniejszającymi wykorzystanie jego mocy nominalnej.

Zatem ocena prawidłowości doboru kombajnu do określonych warunków danego przodka ścianowego w rozważanym aspekcie energochłonności powinna być wielokryterialna i uwzględniać zarówno aspekty energochłonności, jak i wykorzystania mocy nominalnej. Na podstawie wszechstronnej analizy uzyskanych wyników badań eksploatacyjnych ustalono, że obiektywna ocena zastosowania kombajnu może być dokonana na podstawie kształtowania się wartości następujących wskaźników:

- energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym E_f,
- efektywności pracy kombajnu $F_{0,5}$ i $F_{0,33}$,
- wykorzystania mocy nominalnej ψ_N.

Do wyznaczenia wartości wskaźnika energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym E_f wykorzystuje się zaproponowany model teoretyczno-eksperymentalny procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym.

Wskaźniki efektywności pracy kombajnu $F_{0,5}$ i $F_{0,33}$ zdefiniowano jako gęstość rozkładu częstości urabiania z określoną prędkością posuwu kombajnu dla zakresu prędkości większych od wartości, przy której energochłonność pracy kombajnu E_i jest równa odpowiednio 0,5 i 0,33 kWh/t.

Wartość wskaźnika wykorzystania mocy nominalnej k_N jest ilorazem wartości średniej sumarycznego poboru mocy przez kombajn do wartości mocy nominalnej. Wyznaczone zgodnie z powyższymi zasadami wartości parametrów kryterialnych dla wszystkich ścian objętych pomiarami przedstawiono w tablicy 5.2.

Ustalono, że dobór kombajnu do warunków danego przodka jest prawidłowy, gdy wartości poszczególnych wskaźników spełniają następujące warunki:

$E_f \leq 0{,}50$ kWh/t
$F_{0,5} \geq 0{,}75$
$F_{0,33} \geq 0{,}33$
$\psi_N \geq 0{,}40$.

W świetle przyjętych wartości granicznych poszczególnych wskaźników tylko kombajny zastosowane w ścianach 5N, 5/I (wariant B2) w kopalni „Bogdanka" i w ścianie 086 w kopalni „Makoszowy" okazały się prawidłowo dobrane do warunków eksploatacyjnych przodka, co umożliwiło właściwe wykorzystanie ich potencjalnych możliwości technicznych. W warunkach pokładu 382 w kopalni „Bogdanka" zamiana noży promieniowych na styczne okazała się niekorzystna z punktu widzenia energochłonności, co znalazło odzwierciedlenie w wartościach wskaźników efektywności pracy kombajnu $E_{0,5}$ i $E_{0,33}$.

W przypadku ściany 6N w kopalni „Bogdanka" spełnione są kryteria związane z energochłonnością procesu urabiania, natomiast zbyt mała wartość wskaźnika wykorzystania mocy wskazuje na możliwość lepszego wykorzystania możliwości technicznych kombajnu w tych warunkach eksploatacyjnych na przykład poprzez zwiększenie szerokości zabioru. Podobnie sytuacja przedstawia się w ścianie nr 4 w kopalni „Sośnica", gdzie dzięki pełniejszemu wykorzystaniu mocy istniała szansa poprawy wydajności kombajnu i uzyskania wartości wskaźnika energochłonności na poziomie zapewniającym efektywne wykorzystanie kombajnu.

Na wartość parametrów kryterialnych w warunkach eksploatacyjnych ściany B-3 w kopalni „Borynia" wpłynęło różne usytuowanie ładowarek osłonowych w stosunku do organów urabiających. Prawidłowe ustawienie obu ładowarek może przyczynić się do poprawy stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu, co pozwoli na lepsze wykorzystanie mocy nominalnej i wzrost wartości wskaźnika efektywności pracy kombajnu $F_{0,33}$.

O ocenie prawidłowości zastosowania kombajnu w ścianie nr IX w KWK Szczygłowice zadecydowała wartość wskaźnika energochłonności wynosząca 0,58 kWh/t. Przyczyniła się do tego wartość składnika związanego z ruchem manewrowym, która została zawyżona w wyniku konieczności rozbijania dużych brył skał stropowych w trakcie tego ruchu. Poprawa stanu utrzymania stropu może spowodować zmniejszenie energochłonności związanej z ruchem manewrowym i efektywne z punktu widzenia energochłonności wykorzystanie kombajnu.

Ocena doboru systemu mechanizacyjnego, w odniesieniu do kombajnów zastosowanych w pozostałych przodkach, jest w świetle przyjętych kryteriów niekorzystna. W przypadku kombajnów zastosowanych w ścianach G-VIII w kopalni „Knurów" i 511 w kopalni „Mysłowice" konieczna byłaby zmiana parametrów organów urabiających, a w odniesieniu do ścian G-II w kopalni „Knurów" i 420 w kopalni „Mysłowice" prawidłowe zaprojektowanie całego systemu mechanizacyjnego.

5.3. Wnioski

1. Zaproponowany teoretyczno-eksperymentalny model energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym umożliwia uzyskanie po raz pierwszy wskaźnika energochłonności w pełni reprezentatywnego dla danych warunków eksploatacyjnych i określonego stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu. Stało się to możliwe dzięki wykorzystaniu do jego wyznaczania uzyskanych wcześniej charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu. Wskaźnik ten uwzględnia łącznie kształtowanie się energochłonności w poszczególnych przedziałach prędkości posuwu kombajnu oraz częstości uzyskiwania energochłonności na poziomie tego przedziału określone na podstawie rozkładu prędkości posuwu.
2. Znajomość wartości wskaźnika energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym jest niewystarczająca do dokonania obiektywnej oceny prawidłowości doboru kombajnu do danych warunków eksploatacyjnych. W związku z powyższym ustalono zestaw następujących wskaźników: energochłonności pracy kombajnu, efektywności pracy kombajnu, wykorzystania mocy nominalnej oraz ich wartości graniczne, co stwarza podstawy do obiektywnej oceny i powinno służyć lepszemu wykorzystaniu kombajnów dużej mocy w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego.

3. Wartość wskaźnika energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym zależy nie tylko od własności urabianego węgla, ale również od stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu i zastosowanej technologii urabiania. W zdecydowanej większości badanych ścian stosowanie technologii urabiania jednostronnego okazało się niekorzystne z punktu widzenia energochłonności uzyskania tony urobku węglowego. Wynika to z faktu, że wartość składnika wskaźnika energochłonności związanego z ruchem manewrowym była na poziomie wartości składnika wyznaczonego dla ruchu roboczego, do czego przyczynia się mała skuteczność ładowania urobku przez kombajn na przenośnik.

6. MODEL TEORETYCZNY PROCESU ŁADOWANIA UROBKU WĘGLOWEGO PRZEZ KOMBAJN ŚCIANOWY

Studium identyfikacji wpływu wybranych czynników na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu i przeprowadzona analiza energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym wykazały, że przebieg procesu ładowania organami urabiającymi istotnie wpływa na wykorzystanie potencjalnych możliwości technicznych kombajnu w warunkach danego przodka ścianowego. Z przeprowadzonych badań identyfikacyjnych wynika, że na przebieg tego procesu oprócz cech konstrukcyjnych samych organów i parametrów pracy kombajnu wpływ mają również takie czynniki, jak: kierunek obrotów organu, jego usytuowanie w stosunku do rynien przenośnika ścianowego, przesłonięcie organu rynnami przenośnika i ramieniem wychylnym kombajnu, zwrot urabiania w stosunku do zwrotu odstawy, stosowanie ładowarek osłonowych. Ponieważ przy danej prędkości obrotowej maksymalna wydajność ładowania ograniczona jest cechami konstrukcyjnymi samego organu i ładowarki osłonowej, przekazywanie urobku na przenośnik przebiega bez zakłóceń, gdy wydajność urabiania organem nie przekracza wydajności ładowania. Istnieje zatem konieczność ustalenia a priori przy jakiej wartości prędkości posuwu kombajnu obie wydajności są sobie równe.

W związku z powyższym warunkiem uzyskania modelu teoretycznego prawidłowo odzwierciedlającego przebieg procesu ładowania urobku węglowego przez kombajn jest spełnienie następujących wymogów:

- analiza powinna być przeprowadzona oddzielnie dla organu wyprzedzającego i tylnego ze względu na specyfikę związaną z charakterem i liczbą czynników kształtujących przebieg procesu ładowania, a także ilością urobku ładowanego poszczególnymi organami;
- stosowanie ładowarek osłonowych, szczególnie przy zwiększonej szerokości zabioru, stwarza konieczność uwzględnienia problematyki związanej z usytuowaniem ładowarki w stosunku do organu urabiającego;
- w przypadku organu tylnego należy uwzględnić fakt jego przesłonięcia ramieniem wychylnym kombajnu i rynnami przenośnika ścianowego;
- model powinien umożliwić ustalenie prawidłowego kierunku obrotów organu tylnego w zależności od wysokości ściany, średnicy organów urabiających, wymiarów przenośnika ścianowego i cech konstrukcyjnych kombajnu.

Problematyka ładowania urobku organami urabiającymi była szeroko analizowana zarówno w kraju [10, 12, 43, 45, 58], jak i za granicą [2, 5, 13, 51, 68]. Przeprowadzone dotychczas rozważania teoretyczne są jednak zbyt ogólne, gdyż nie uwzględniają w dostatecznym stopniu specyfiki związanej z warunkami ładowania urobku organem tylnym. Generalnie obejmują tylko przypadek organu wyprzedzającego, który urabia warstwę węgla o wysokości równej jego średnicy. Jedynie w dwu pracach uwzględniono częściowe przesłonięcie organu dolnego [43, 68], lecz ze względu na bardzo uproszczony sposób nie pozwalają na szerszą analizę wpływu poszczególnych czynników na przebieg procesu ładowania tym organem.

W związku z powyższym opracowano nowy model teoretyczny procesu ładowania urobku węglowego przez kombajn ścianowy, uwzględniający czynniki istotnie wpływające na przebieg tego procesu. Posłużono się metodą porównania objętości wolnej przestrzeni organu

urabiającego z ilością urobku ładowanego w trakcie jednego obrotu organu urabiającego [23, 24]. Zaproponowany model różni się od zaprezentowanych we wcześniej wymienionych pracach zarówno sposobem wyznaczenia ilości urobku załadowywanego danym organem urabiającym, jak i określeniem objętości wolnej przestrzeni organu urabiającego.

6.1. Ładowanie urobku organem wyprzedzającym

Ponieważ organ wyprzedzający urabia warstwę o wysokości równej jego średnicy załadowywany węgiel stanowi w całości urobek odspojony od calizny nożami urabiającymi. Objętość węgla oddzieloną nożami urabiającymi od calizny w trakcie jednego obrotu organu urabiającego można wyznaczyć jako iloczyn pola przekroju skrawu, szerokości zabioru organu urabiającego oraz liczby noży w linii skrawania, co wyraża następująca zależność:

$$V_u = \frac{\pi * D}{2} z * m * k * \frac{1}{\pi} * \int_0^{\pi} g(\varphi) d\varphi \qquad (6.1)$$

Po uwzględnieniu ogólnie znanej uproszczonej zależności

$$g(\varphi) = \frac{v}{m * n} * \sin\varphi \qquad (6.2)$$

i po uporządkowaniu uzyskuje się postać końcową

$$V_u = D * z * v * \frac{k}{n} \qquad (6.3)$$

W analizie nie uwzględniono zmniejszenia pola przekroju poprzecznego warstwy urabianej organem wyprzedzającym w wyniku występowania zjawiska odspajania górnego naroża pokładu, co ma miejsce szczególnie w przypadku ścian wysokich. Dzięki temu zaostrzono warunek niewystąpienia dławienia urobkiem organu wyprzedzającego.

Objętość wolnej przestrzeni organu urabiającego, zawartą pomiędzy średnicą płaszcza piasty organu i średnicą zewnętrzną organu, powiększoną o objętość przestrzeni pomiędzy organem i ładowarką osłonową, wyznaczyć można z zależności:

$$V = \frac{\pi}{4} * \left[\left(D^2 - d^2\right) * \left(1 - \frac{b * i}{s_l * \cos\gamma_s}\right) + \left(2 * D + \Delta D\right) * \Delta D * c \right] * z_o \qquad (6.4)$$

Na podstawie zasad projektowania stosowanych w USA [51] przyjęto, że ilość urobku przekazana do załadowania w trakcie jednego obrotu organu urabiającego nie powinna być większa od 30% wolnej przestrzeni organu urabiającego z uwzględnieniem odsunięcia ładowarki osłonowej od organu. Spełnienie tego warunku zapewnia prawidłowy przebieg procesu ładowania urobku organem urabiającym, gdyż nie dochodzi wówczas do zjawiska recyrkulacji urobku w organie i nie występuje dławienie organu ładowanym urobkiem.

Zgodnie z powyższą zasadą, dopuszczalną prędkość posuwu kombajnu ze względu na prawidłowy przebieg procesu ładowania organem wyprzedzającym wyznacza się z zależności:

$$v = \frac{0{,}3 * \pi}{4 * k * D} * \left[\left(D^2 - d^2\right) * \left(1 - \frac{b * i}{s_l * \cos\gamma_s}\right) + (2 * D + \Delta D) * \Delta D * c \right] * \frac{z_o}{z} * n \qquad (6.5)$$

6.2. Ładowanie urobku organem tylnym

Wysokość pozostałej przy spągu wyrobiska warstwy węgla urabianej organem tylnym zależy od wysokości ściany i średnicy zastosowanych organów urabiających. W większości przypadków jest ona mniejsza od średnicy organu urabiającego, lecz spoczywa na niej część urobku, który nie został załadowany przez organ wyprzedzający. Stąd ilość urobku, który załadowywany jest przez organ tylny należy wyznaczyć jako sumę urobku odspojonego od calizny tym organem oraz części urobku pozostawionego na urabianej warstwie przez organ wyprzedzający.

Podobnie jak w przypadku organu wyprzedzającego, objętość węgla oddzieloną nożami od calizny w trakcie jednego obrotu organu urabiającego wyznacza się jako iloczyn pola przekroju skrawu, szerokości zabioru organu urabiającego oraz liczby noży w linii skrawania:

$$V_u = \frac{D}{2} * \varphi_w * z * m * k * \frac{1}{\varphi_w} * \int_0^{\varphi_w} g(\varphi) d\varphi \qquad (6.6)$$

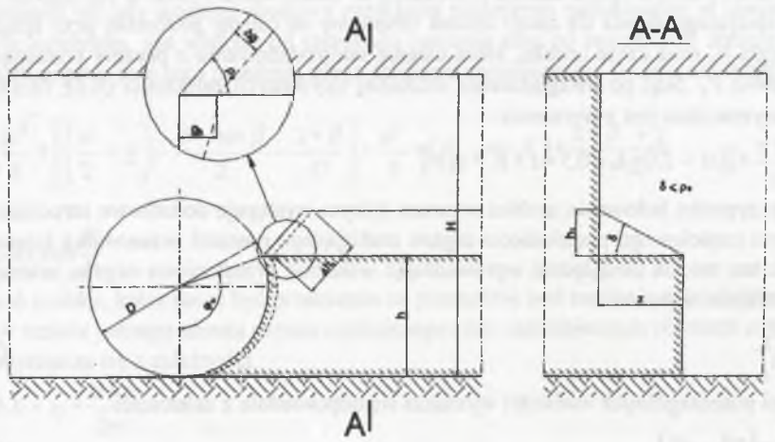
Po uwzględnieniu (6.2) oraz zależności

$$\cos\varphi_w = \frac{3D - 2H}{D} \qquad (6.7)$$

po uporządkowaniu otrzymuje się ostateczną postać wyrażenia służącego do wyznaczania objętości węgla oddzielonej nożami od calizny w trakcie jednego obrotu organu tylnego:

$$V_u = (H - D) * z * v * \frac{k}{n} \qquad (6.8)$$

Urobek, który nie został załadowany organem wyprzedzającym, spoczywa na pozostałej do urabiania organem dolnym warstwie węgla tworząc pryzmę o kącie usypu δ (rys. 6.1). Wartość tego kąta zależy od skuteczności ładowania organem wyprzedzającym, jednak przy stosowaniu ładowarek osłonowych nie przekracza wartości kąta naturalnego usypu urobku w spoczynku ρ_0.



Rys. 6.1. Schemat urabiania warstwy węgla przy spągu wyrobiska
Fig. 6.1. Diagram illustrating the process of mining a coal layer near the floor

Z powyższego wynika, że wysokość tej pryzmy określona zależnością:

$$h_1 = z * \operatorname{tg}\delta \tag{6.9}$$

może być co najwyżej równa

$$h_{1\max} = z * \operatorname{tg}\rho_0 \tag{6.10}$$

Wskutek przesunięcia organu urabiającego w trakcie jednego jego obrotu na odległość g_h (mierzoną na wysokości swobodnej powierzchni pozostałej przy spągu warstwy węgla) część urobku spoczywającego na tej warstwie ulegnie samozaładowaniu. Przyjmując najmniej korzystny wariant można założyć, że szerokość tej warstwy g_h jest równa maksymalnemu przesunięciu organu przypadającemu na jeden jego obrót

$$g_h = g_{\max} * m = \frac{v}{n} \tag{6.11}$$

W przypadku nadsiębiernej pracy organu tylnego przy swobodnej powierzchni urabianej warstwy może występować odspojenie brył o wymiarach większych od określonego zależnością (6.11). W związku z tym samo załadowaniu może ulec większa ilość urobku. Możliwość ta została uwzględniona poprzez wprowadzenie współczynnika k_l, zwiększającego szerokość odsłonięcia swobodnej powierzchni przypadającej na obrót organu urabiającego [24].

Przy grubości warstwy, która ulega samozaładowaniu, równej:

$$\Delta g = g_h * \sin\rho_0 \tag{6.12}$$

i jej długości liczonej wzdłuż płaszczyzny pryzmy urobku od strony organu urabiającego (rys. 6.1), określonej zależnością:

$$\Delta h_1 = \frac{h_1}{\sin\rho_0} \tag{6.13}$$

objętość tej części pryzmy, która wskutek samozaładowania powiększy ilość urobku załadowywanego organem tylnym, wyznacza się z wyrażenia:

$$V_z = \frac{k_l * z^2 * v * \operatorname{tg}\delta}{2 * n} \tag{6.14}$$

Na sumaryczną objętość urobku przekazaną do załadowania w trakcie jednego obrotu organu urabiającego składa się zatem urobek odspojony od calizny pozostałej przy spągu warstwy węgla V_u oraz część urobku, która ulegnie samozaładowaniu z pryzmy pozostającej na tej warstwie V_z. Stąd po uwzględnieniu wcześniej uzyskanych zależności (6.8), (6.14) objętość ta wyznaczana jest z wyrażenia:

$$V = \frac{v * z}{n} * \left[(H - D) * k + 0{,}5 * z * k_l * \operatorname{tg}\delta\right] \tag{6.15}$$

W przypadku ładowania urobku organem tylnym występuje dodatkowe utrudnienie wynikające z częściowego przesłonięcia organu urabiającego rynnami przenośnika ścianowego. Czynnik ten można uwzględnić wprowadzając wskaźnik przesłonięcia organu urabiającego przenośnikiem w postaci:

$$a_p = \frac{F_p}{F_0} \tag{6.16}$$

Wartości poszczególnych wielkości wyznacza się odpowiednio z zależności:

$$F_0 = \frac{\pi}{4} * \left(D^2 - d^2\right) \tag{6.17}$$

$$F_p = \frac{D^2}{8} * \left(\beta - \sin\beta\right) \tag{6.18}$$

gdzie β jest kątem środkowym opartym na łuku ograniczonym wysokością rynien przenośnika ścianowego. Do jego wyznaczenia służy wyrażenie

$$\beta = 2arc\cos\frac{D - 2 * h_p}{D} \tag{6.19}$$

Objętość wolnej przestrzeni organu urabiającego, zawartą pomiędzy średnicą zewnętrzną powłoki płaszcza piasty organu i średnicą wewnętrzną ładowarki osłonowej, z uwzględnieniem częściowego przesłonięcia organu urabiającego rynnami przenośnika ścianowego, wyznacza się z zależności:

$$V = \frac{\pi}{4} * \left(1 - a_p\right) * \left[\left(D^2 - d^2\right) * \left(1 - \frac{b * i}{s_l * \cos\gamma_s}\right) + \left(2 * D + \Delta D\right) * \Delta D * c\right] * z_o \tag{6.20}$$

Zgodnie z wcześniej przedstawioną zasadą uzyskano wyrażenie określające dopuszczalną prędkość posuwu kombajnu ze względu na prawidłowy przebieg procesu ładowania organem tylnym:

$$v = \frac{0{,}3 * \pi * \left(1 - a_p\right)}{4} * \frac{\left[\left(D^2 - d^2\right) * \left(1 - \frac{b * i}{s_l * \cos\gamma_s}\right) + \left(2 * D + \Delta D\right) * \Delta D * c\right]}{\left(H - D\right) * k + 0{,}5 * z * k_l * \operatorname{tg}\delta} * \frac{z_o}{z} * n \tag{6.21}$$

W przypadku nadsiębiernych obrotów organu tylnego istnieje konieczność uwzględnienia dodatkowego warunku określającego możliwość przemieszczania urobku na przenośnik pod ramieniem wychylnym kombajnu przy tym kierunku obrotów.

Gdy zewnętrzna średnica płaszcza piasty organu jest mniejsza od szerokości ramienia wychylnego kombajnu, przekrój poprzeczny prześwitu pomiędzy ramieniem i przenośnikiem, przez który urobek może być przekazywany na przenośnik, określa zależność:

$$\Delta X = \frac{D^2}{8} * \left[\left(\frac{\pi}{2} + \chi\right) - \frac{\beta - \sin\beta}{2} - \frac{2 * R}{D}\right] \tag{6.22}$$

Przy zewnętrznej średnicy płaszcza piasty organu większej od szerokości ramienia wychylnego kombajnu lub gdy średnica obudowy przekładni planetarnej zabudowanej w ramieniu wychylnym kombajnu jest większa od szerokości ramienia albo od zewnętrznej średnicy płaszcza piasty organu pole tego przekroju ulega dalszemu zmniejszeniu i wynosi wówczas:

$$\Delta X = \frac{D^2}{8} * \left[\left(\frac{\pi}{2} + \chi\right) - \frac{\beta - \sin\beta}{2} - \frac{2 * R}{D}\right] - \frac{d^2}{8} * \left(\beta_1 - \sin\beta_1\right) * \frac{2 * \beta_1 + \chi}{2 * \beta_1} \tag{6.23}$$

gdzie:

$$\beta_1 = 2arc\cos\frac{R}{D} \tag{6.24}$$

Ilość urobku, która może być przekazana na przenośnik pod ramieniem wychylnym kombajnu w trakcie jednego obrotu organu urabiającego przy nadsiębiernych obrotach organu tylnego, wyznacza się z zależności:

$$V_{\text{ln}} = \Delta X * s_l * \frac{\theta * i}{2\pi} \tag{6.25}$$

gdzie:

$$\theta = \frac{\pi}{2} + \chi - arc\sin\frac{R}{D} \tag{6.26}$$

Stąd prędkość posuwu kombajnu, przy której nie będzie występowało w rozważanym przypadku dławienie organu urabiającego, wyznaczyć można z wyrażenia:

$$v = \frac{\Delta X * s_l * n * \theta * i}{2\pi * z * [(H - D) * k + 0{,}5 * z * k_l * \mathrm{tg}\delta]} \qquad (6.27)$$

Opierając się na przedstawionym modelu teoretycznym można uzyskać charakterystyki organów urabiających przedstawiające dopuszczalne prędkości posuwu kombajnu wyznaczone odpowiednio dla przypadku urabiania warstwy przystropowej i przyspągowej. Dla przykładu na rys. 6.2 przedstawiono kształtowanie się prędkości dopuszczalnych w funkcji wysokości ściany dla organów urabiających zastosowanych w ścianach:

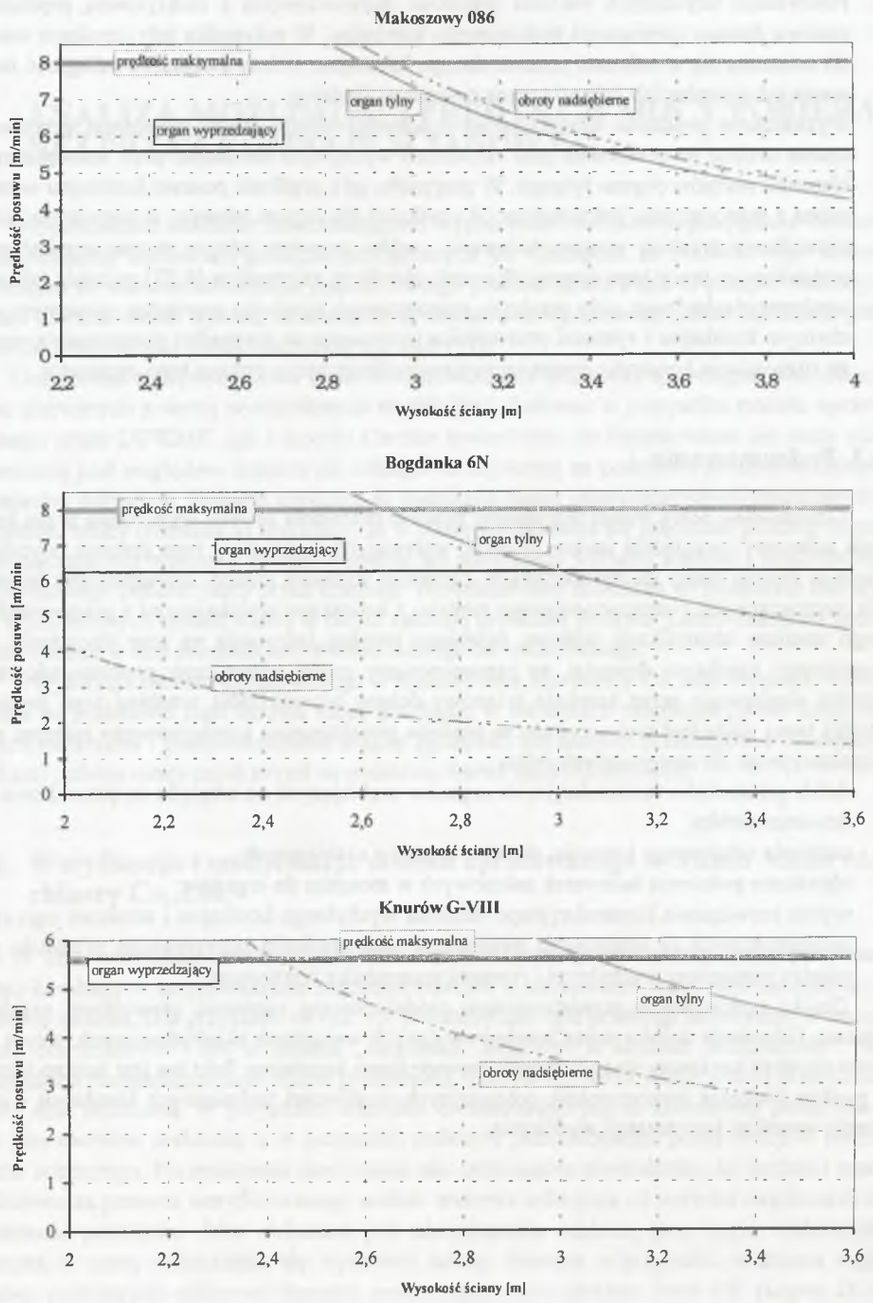
- 6N w KWK Bogdanka
  (D=1800 mm, z=0,75 m, h_p=300 mm, z ładowarkami osłonowymi),
- G-VIII w KWK Knurów
  (D=1800 mm, z=0,65 m, h_p=225 mm, bez ładowarek osłonowych),
- 086 w KWK Makoszowy
  (D=2000 mm, z=0,65 m, h_p=255 mm, bez ładowarek osłonowych).

Z przedstawionych charakterystyk wynika, że ze względu na urabianie warstwy o wysokości równej średnicy organu warunki ładowania urobku przez organ wyprzedzający są takie same w całym rozpatrywanym zakresie wysokości ścian. Natomiast w przypadku organu tylnego poprawny przebieg procesu ładowania urobku zależy od wysokości ściany. Miejsce przecięcia się charakterystyk dotyczących obu organów wyznacza wysokość ściany, przy której warunki ładowania organem tylnym odpowiadają warunkom organu wyprzedzającego. Wysokość ta zależy od średnicy organów urabiających, wysokości rynien przenośnika ścianowego oraz od tego, czy zastosowano ładowarki osłonowe. W przedstawionych przypadkach wysokość warstwy urabianej organem tylnym wynosi około 1,2 m przy średnicy organów 1800 mm i około 1,4 m przy średnicy 2000 mm. Biorąc pod uwagę wszystkie przypadki można stwierdzić, że przy wysokości ścian większej od 3 m warunki przekazywania urobku przez organ tylny są zdecydowanie trudniejsze, o czym świadczą dopuszczalne prędkości posuwu kombajnu.

Decydujące znaczenie, ze względu na możliwość przekazania urobku pod ramieniem wychylnym kombajnu przy nadsiębiernym kierunku obrotów organu tylnego, mają: średnica organu urabiającego, cechy konstrukcyjne ramienia wychylnego oraz rynien przenośnika. W przypadku ściany 086 w KWK Makoszowy, przy średnicy organów 2000 mm i wysokości rynien przenośnika 255 mm ładowanie urobku będzie przebiegało prawidłowo przy obrotach nadsiębiernych organu tylnego w całym analizowanym zakresie wysokości ścian. Przy mniejszej średnicy organów urabiających (1800 mm) i większej wysokości rynien przenośnika (ścianie 6N w KWK Bogdanka) konieczna jest zmiana kierunku obrotów organów w całym zakresie wysokości ścian, natomiast przy wysokości rynien przenośnika 225 mm (ściana G-VIII w KWK Knurów) tylko w ścianach o wysokości większej od 2,5 m.

Przy korzystaniu z modelu w procesie doboru kombajnu do określonych warunków eksploatacyjnych proponuje się zastosowanie następującej procedury:

1. Wyznaczenie dopuszczalnych prędkości posuwu ze względu na prawidłowy przebieg procesu ładowania urobku, dla danych cech konstrukcyjnych przyjętych organów urabiających, odpowiednio dla przypadku organu wyprzedzającego i tylnego.



Rys. 6.2. Charakterystyki organów urabiających w aspekcie ładowania urobku
Fig. 6.2. Characteristics of cutting drums in aspect of cut coal loading

2. Porównanie uzyskanych wartości prędkości dopuszczalnych z maksymalną prędkością posuwu danego rozwiązania technicznego kombajnu. W przypadku gdy uzyskane wartości mieszczą się w zakresie posuwu danego kombajnu, należy zwiększyć odległość ładowarek od organów lub dobrać organy o większej średnicy.
3. Wyznaczenie prędkości dopuszczalnej z warunku określającego możliwość przemieszczania urobku na przenośnik pod ramieniem wychylnym kombajnu przy nadsiębiernym kierunku obrotów organu tylnego. W przypadku gdy prędkość posuwu kombajnu wyznaczona z tego warunku jest mniejsza od uzyskanej dla organu tylnego, w pierwszym kroku prawidłowy przebieg procesu ładowania urobku organem tylnym można uzyskać przy podsiębiernej pracy tego organu. Warunek określony zależnością (6.27) pozwala także na ustalenie niezbędnego pola przekroju poprzecznego prześwitu pomiędzy ramieniem wychylnym kombajnu i rynnami przenośnika ścianowego w przypadku zastosowania nowego rozwiązania konstrukcyjnego ramienia umożliwiającego zmianę tego parametru.

6.3. Podsumowanie

Opracowany nowy model teoretyczny procesu ładowania urobku węglowego przez kombajn ścianowy uwzględnia istotne czynniki wpływające na przebieg tego procesu, wyodrębnione w trakcie badań identyfikacyjnych. Zgodność wyników analizy charakterystyk ładowania, wyznaczonych z zaproponowanego modelu, z wnioskami wynikającymi z przeprowadzonego studium identyfikacji wpływu przebiegu procesu ładowania na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu dowodzi, że zaproponowany model teoretyczny procesu ładowania urobku węglowego przez kombajn ścianowy dobrze odzwierciedla przebieg tego procesu. Dzięki temu może być wykorzystany w procesie projektowania kombajnowego systemu mechanizacyjnego do następujących celów:

- dobór parametrów konstrukcyjnych organów urabiających ze względu na prawidłowe ładowanie urobku;
- ustalenie właściwego kierunku obrotów organów urabiających;
- określenie położenia ładowarek osłonowych w stosunku do organów;
- wybór rozwiązania konstrukcyjnego ramienia wychylnego kombajnu i ustalenie jego cech geometrycznych ze względu na zwiększenie pola przekroju poprzecznego prześwitu pomiędzy ramieniem wychylnym i rynnami przenośnika ścianowego.

Dzięki zastosowaniu przedstawionego modelu można zapewnić prawidłowy przebieg procesu ładowania urobku przez kombajn w danych warunkach eksploatacyjnych, a tym samym uzyskać korzystny stan obciążenia zewnętrznego kombajnu. Fakt ten jest bardzo istotny z punktu widzenia wykorzystania potencjalnych możliwości technicznych kombajnu i uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia.

7. ANALIZA MOŻLIWOŚCI PREDYKCJI MOCY POBIERANEJ PRZEZ KOMBAJN ŚCIANOWY

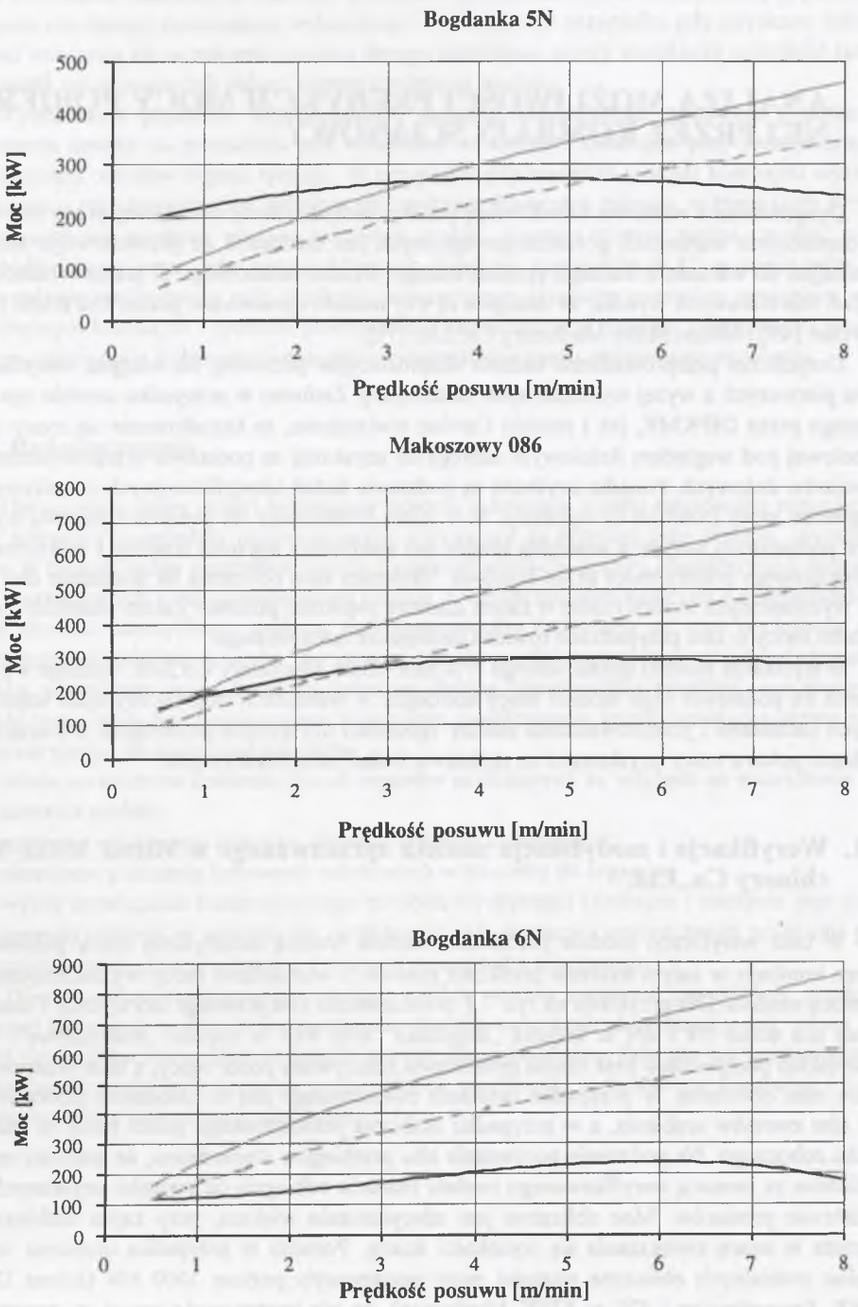
Dysponowanie modelem umożliwiającym wyznaczenie mocy rozwijanej przez kombajn w określonych warunkach górniczo-geologicznych jest niezbędne do prawidłowego doboru kombajnu do warunków każdego projektowanego przodka ścianowego. Z przeprowadzonych badań literaturowych wynika, że dostępne są trzy modele opracowane przez: DIPKMK [56], Cerchar [49] i Mitsui Miike Machinery Co.,Ltd. [71].

Dotychczas przeprowadzone badania eksploatacyjne pozwoliły na wstępną weryfikację dwu pierwszych z wyżej wymienionych modeli [31]. Zarówno w przypadku modelu opracowanego przez DIPKMK, jak i modelu Cerchar stwierdzono, że kształtowanie się mocy obliczeniowej pod względem ilościowym odbiega od uzyskanej na podstawie przeprowadzonych pomiarów dołowych. Ponadto uzyskane na podstawie badań identyfikacyjnych charakterystyki poboru mocy (rozdział 4) wykazały, że w miarę zwiększania się prędkości posuwu występuje początkowo wzrost, a następnie spadek lub stabilizacja wartości średniej i maksymalnej sumarycznego poboru mocy przez kombajn. Natomiast moc obliczona na podstawie obu wyżej wymienionych modeli rośnie w całym zakresie prędkości posuwu. Zatem charakter zmian poboru mocy w obu przypadkach również odbiega od rzeczywistego.

Weryfikacja modelu opracowanego w Mitsui Miike Machinery Co.,Ltd. wymaga wyznaczenia na podstawie tego modelu mocy kombajnu w warunkach eksploatacyjnych ścian objętych badaniami i przeprowadzenia analizy zgodności uzyskanych przebiegów z charakterystykami poboru mocy uzyskanymi na podstawie badań identyfikacyjnych.

7.1. Weryfikacja i modyfikacja modelu opracowanego w Mitsui Miike Machinery Co.,Ltd.

W celu weryfikacji modelu porównano wartość średnią sumarycznej mocy pobieranej przez kombajn w całym zakresie prędkości posuwu z wartościami mocy wyznaczonymi za pomocą modelu. Dla przykładu na rys. 7.1 przedstawiono oba przebiegi teoretyczny i rzeczywisty dla ścian 5N i 6N w kopalni „Bogdanka" oraz 086 w kopalni „Makoszowy". We wszystkich przypadkach linia czarna przedstawia rzeczywisty pobór mocy, a linia przerywana szara moc obliczoną. W przypadku urabiania dwustronnego jest to uśredniony pobór mocy dla obu zwrotów urabiania, a w przypadku urabiania jednostronnego pobór mocy w trakcie ruchu roboczego. Na podstawie porównania obu przebiegów stwierdzono, że wartości mocy obliczone za pomocą weryfikowanego modelu znacznie odbiegają od wartości uzyskanych na podstawie pomiarów. Moc obliczona jest zdecydowanie większa, przy czym rozbieżność wzrasta w miarę zwiększania się wysokości ściany. Ponadto w przypadku urabiania węgli trudno urabialnych obliczone wartości mocy przekroczyły poziom 1000 kW (ściana IX w KWK Szczygłowice i 420 w KWK Mysłowice), co nie występowało nawet w przypadku maksymalnych wartości pobieranej mocy [27].W związku z powyższym stosowanie modelu opracowanego w Mitsui Miike Machinery Co.,Ltd. w warunkach polskiego górnictwa jest nieuzasadnione.



Rys. 7.1. Porównanie rzeczywistego poboru mocy z wartościami wyznaczonymi z modelu
Fig. 7.1. Comparison of actual power consumption with values determined by means of a model

W celu stwierdzenia przyczyn występowania rozbieżności przeprowadzono analizę zasadności uproszczeń zastosowanych w modelu i ich wpływ na uzyskane wyniki obliczeń. Szczegółowa analiza wykazała co następuje:

- przyjęcie założenia, że wartość średniej grubości skrawu nie zależy od wysokości warstwy urabianej danym organem, spowodowało jej zawyżenie w przypadku organu tylnego;
- nieuwzględnienie liczby noży w linii skrawania przy wyznaczaniu siły skrawania występującej na pojedynczym nożu zawyża wartość tej siły;
- uzależnienie sumarycznej siły skrawania tylko od wysokości ściany i szerokości zabioru sprawia, że nie zależy ona od liczby noży będących w kontakcie z urabiana calizną.

W związku z powyższym zastąpiono przyjęte w modelu wyrażenia upraszczające ogólnie znanymi zależnościami określającymi średnią grubość skrawu. W rezultacie otrzymano zależności wiążące moc kombajnu z prędkością posuwu w postaci:
- organ wyprzedzający:

$$N_{MG} = \frac{\pi * n * D}{102 * 60} * \frac{u+2}{2*u} * \sum_{i=1}^{u_n} \frac{a'_i}{F_k^s} * \left(\frac{2}{\pi} * \frac{1000 * v}{m_i * n} \right)^s * \frac{b_{mi}}{10} * u_i, \text{ [kW]}, \qquad (7.1)$$

- organ tylny:

$$N_{MD} = \frac{\pi * n * D}{102 * 60} * \frac{u+2}{2*u} * k_{op} * \sum_{i=1}^{u_n} \frac{a'_i}{F_k^s} * \left(\frac{1-\cos\varphi_w}{\varphi_w} * \frac{1000 * v}{m_i * n} \right)^s * \frac{b_{mi}}{10} * u_i, \text{ [kW]} \qquad (7.2)$$

Ze względu na teoretyczno-eksperymentalny charakter modelu jednostki miary poszczególnych wielkości podane są w wykazie oznaczeń. Wartości parametrów a'_i, b_i, s wyznacza się z nomogramów zawartych w pracy [71].

Całkowitą moc skrawania otrzymuje się poprzez zsumowanie mocy pobieranej przez silniki napędzające oba organy urabiające:

$$N_M = N_{MG} + N_{MD} \qquad (7.3)$$

Wyznaczone na podstawie wstępnie zmodyfikowanego modelu wartości mocy przedstawiono na rys. 7.1 w postaci szarej linii ciągłej. Pomimo tego, że otrzymane zależności powinny lepiej odzwierciedlać przebieg procesu skrawania, wartości mocy obliczone za pomocą zmodyfikowanych zależności są wyższe od wartości uzyskanych na podstawie modelu oryginalnego. Istnieje zatem konieczność uwzględnienia w modelu innych czynników wpływających na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu.

7.2. Ustalenie dodatkowych czynników wpływających na pobór mocy

Podstawą wyznaczania mocy silników napędzających organy urabiające we wszystkich wymienionych modelach jest ustalenie siły skrawania występującej na nożu urabiającym, którą oblicza się dla średniej grubości skrawu odpowiadającej danej prędkości posuwu kombajnu. Bardzo istotnym czynnikiem jest przy tym usytuowanie sąsiednich noży i typ skrawu wykonywany poszczególnymi nożami, co wynika z układu noży na organie urabiającym i własności węgla. W związku z powyższym w modelu DIPKMK ustala się optymalną podziałkę

skrawania dla danej średniej grubości skrawu i określonych własności węgla. W przypadku gdy podziałka noży na organie urabiającym jest większa od optymalnej, wartości sił skrawania i docisku są większe.

W modelu Cerchar wprowadzono natomiast pojęcie krytycznej grubości skrawu. Gdy grubość skrawu jest mniejsza od krytycznej, powstają występy pomiędzy bruzdami wycinanymi przez poszczególne noże, co powoduje zmianę wartości sił działających na nóż. Rozważania teoretyczne oparto na założeniu, że przy pogłębianiu skrawu siła skrawania zmierza asymptotycznie do stałej wartości. Po podzieleniu drogi skrawania noża w trakcie jednego obrotu na kilka przedziałów związanych z grubością skrawu, wyznaczono teoretyczne przebiegi zmienności sił w postaci tak zwanych uogólnionych krzywych urabiania. Z uzyskanych zależności wynika, że ze wzrostem prędkości posuwu kombajnu rośnie pobór mocy związanej ze skrawaniem, przy czym w pierwszej fazie wzrost ten jest zdecydowanie szybszy.

Istnieje zatem konieczność uwzględnienia zmiany wartości siły skrawania, spowodowanej zróżnicowaniem warunków pracy noża w wyniku zmienności relacji grubości skrawu i określonej, stałej dla danego organu podziałki skrawania. Zwiększenie grubości skrawu w wyniku wzrostu prędkości posuwu kombajnu powoduje zmianę charakteru obciążenia zewnętrznego organu urabiającego. Ponieważ charakter poboru mocy przez kombajn kształtowany jest przez obciążenie zewnętrzne napędów obu organów urabiających, uwzględnienie tego czynnika może wprowadzić zmianę jakościową wyznaczonego z modelu poboru mocy [19].

7.2.1. Korekta siły skrawania wynikająca ze zmienności relacji grubości skrawu i podziałki skrawania

Korzystając z wyników badań [49, 56] można odnieść wartość siły skrawania do wartości występującej przy grubości krytycznej lub odpowiadającej optymalnej podziałce skrawania. Optymalną średnią grubość skrawu g_o, odpowiadającą danej podziałce skrawania $t_{śr}$, można wyznaczyć po przekształceniu zależności określającej optymalną podziałkę skrawania [56]:

$$g_o = \frac{t_{śr}}{1{,}25 * k_\psi} - \frac{b_n}{1{,}25} - 1 \quad \text{[cm]} \tag{7.4}$$

gdzie szerokość krawędzi tnącej noża (b_n) i średnią podziałkę skrawania ($t_{śr}$) należy wstawić w [cm], natomiast wartość wskaźnika uwzględniającego własności plastyczne węgla (k_ψ) przyjmuje się odpowiednio:

$k_\psi = 0{,}85$ – dla węgli zwięzłych,
$k_\psi = 1{,}0$ – dla węgli kruchych,
$k_\psi = 1{,}15$ – dla węgli bardzo kruchych.

Zmiana wartości siły skrawania w wyniku zmiany średniej grubości skrawu w przypadku grubości skrawu mniejszej od optymalnej jest uwzględniona poprzez współczynnik korekcyjny k_1, a przy grubości większej od optymalnej odpowiednio poprzez współczynnik k_2. Oba współczynniki wyznacza się z następujących zależności [56]:

$$k_1 = \left[1 + 0{,}21 * g_{śr} * \left(\frac{t_{śr}}{t_{opt}} - 1\right)\right] * k_{ZSR}\,, \tag{7.5}$$

$$k_2 = \left[1 + 1{,}6 * \left(\frac{t_{śr}}{t_{opt}} - 1\right)^2\right] * k_{ZSR}\,, \tag{7.6}$$

w których podziałka optymalna t_{opt} [cm] określona jest odpowiednio przez wyrażenia:

$$t_{opt} = (1{,}25 * g_{śr} + b_n + 1{,}25) * k_\psi \quad \text{– gdy } g_{śr} \geq 1 \text{ cm}, \tag{7.7}$$

$$t_{opt} = \left[\frac{7{,}35 * g_{śr}}{g_{śr} + 1{,}3} + 0{,}4 * g_{śr} + (b_n - 1)\right] * k_\psi \quad \text{– gdy } g_{śr} < 1 \text{ cm}, \tag{7.8}$$

a współczynnik odsłonięcia przodka k_{ZSR} wynosi odpowiednio:

$$k_{ZSR} = 0{,}32 + \frac{0{,}2}{g_{śr}} \qquad \text{gdy } g_{śr} \geq 1 \text{ cm}, \tag{7.9}$$

$$k_{ZSR} = 0{,}25 + \frac{0{,}66}{g_{śr} + 1{,}3} \qquad \text{gdy } g_{śr} < 1 \text{ cm}, \tag{7.10}$$

We wszystkich powyższych zależnościach średnią grubość skrawu ($g_{śr}$) i szerokość krawędzi tnącej noża (b_n) należy wstawiać w [cm].

W przedstawionym powyżej modelu współczynniki korekcyjne siły skrawania wyznaczane są dla średniej grubości skrawu uzyskiwanej przy danej prędkości posuwu kombajnu. To zbyt daleko idące uproszczenie może być powodem braku zgodności przebiegów poboru mocy uzyskanego na podstawie badań i wyznaczonego na podstawie modelu.

Wprowadzenie korekty siły skrawania wynikającej ze zmienności relacji grubości skrawu i podziałki skrawania wymaga uwzględnienia zmiany grubości skrawu wzdłuż drogi skrawania każdego noża przy danej prędkości posuwu. Wynika to z faktu, że grubość skrawu początkowo rośnie od zera do wartości maksymalnej, po czym maleje aż do momentu wyjścia noża urabiającego z kontaktu z calizną [20, 58]. W związku z powyższym w zależności od prędkości posuwu kombajnu wzdłuż drogi skrawania noża mogą występować: jedna, dwie lub trzy strefy o średniej grubości skrawu odpowiednio mniejszej lub większej od grubości optymalnej, wyznaczonej dla danej podziałki noży na organie urabiającym. Istnieje zatem możliwość ulepszenia modelu w części dotyczącej wyznaczania korekty siły skrawania wynikającej ze zmienności relacji grubości skrawu i podziałki skrawania.

Ponieważ korektę siły skrawania przeprowadza się w odniesieniu do siły występującej przy skrawie o grubości optymalnej g_o, zaproponowano wprowadzenie współczynnika zmiany obciążenia k_w wyznaczonego jako średnia ważona wymienionych powyżej współczynników korekcyjnych k_1 i k_2 z uwzględnieniem iloczynów średniej grubości skrawu na odcinkach drogi skrawania, na których grubość skrawu jest odpowiednio mniejsza lub większa od grubości optymalnej i długości tych dróg w trakcie jednego obrotu organu urabiającego, z następującej zależności:

$$k_w = \frac{k_1 * g_1 * l_1 + k_2 * g_2 * l_2}{g * (l_1 + l_2)} \tag{7.11}$$

Ponieważ średnia grubość skrawu zależy od wysokości warstwy urabianej danym organem, dalsze rozważania należy przeprowadzić oddzielnie dla organu wyprzedzającego i organu tylnego.

Organ wyprzedzający

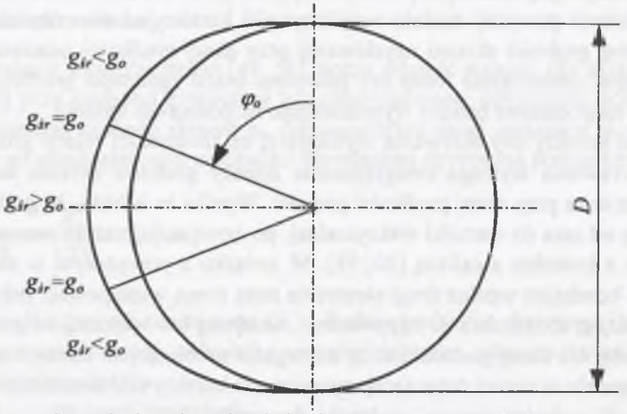
Ponieważ organ wyprzedzający urabia warstwę o wysokości równej jego średnicy, prędkość posuwu kombajnu, przy której średnia grubość skrawu jest równa optymalnej, można wyznaczyć z warunku:

$$v_g = \frac{\pi}{2} * g_o * m * n \qquad (7.12)$$

W zakresie prędkości posuwu kombajnu mniejszych od wyznaczonej z powyższej zależności średnia grubość skrawu zawsze będzie mniejsza od optymalnej. Stąd współczynnik zmiany obciążenia wyznaczony z zależności (7.11) jest równy współczynnikowi korekcyjnemu k_1:

$$k_w = k_1 \text{ , dla } v < v_g \qquad (7.13)$$

Po przekroczeniu prędkości v_g na drodze skrawania noża będą występowały trzy strefy: dwie o grubości skrawu mniejszej i jedna o większej od grubości optymalnej (rys.7.2).



Rys. 7.2 .Usytuowanie wyróżnionych stref grubości skrawu - organ wyprzedzający
Fig. 7.2. Arrangement of distinguished zones of cut depth – a leading cutting drum

Ze względu na występującą w tym przypadku symetrię obie strefy o grubości skrawu mniejszej od optymalnej są identyczne. Zasięg poszczególnych stref wyznacza kąt środkowy φ_o określający miejsce położenia grubości skrawu równej grubości optymalnej. Wartość tego kąta wyznaczyć można z zależności:

$$\varphi_o = arc\sin\frac{\pi * g_o * m * n}{2 * v} \qquad (7.14)$$

Wartość współczynnika zmiany obciążenia w rozważanym przypadku oblicza się z wyrażenia:

$$k_w = \left[k_1 - (k_1 - k_2) * \cos\varphi_o\right] \text{ , dla } v > v_g \qquad (7.15)$$

Organ tylny

Przy zastosowaniu w ścianie o wysokości H organów urabiających o średnicy D, do urobienia tylnym organem pozostaje warstwa węgla o wysokości $W=H-D$. Kąt środkowy φ_w oparty na łuku wynikającym z wysokości warstwy W określony jest zależnością (6.7).

Ze względu na możliwość wystąpienia różnej liczby stref związanych z grubością skrawu, należy rozpatrywać oddzielnie dwa przypadki:

- wysokość warstwy przyspągowej jest mniejsza lub równa połowie średnicy organu urabiającego,
- wysokość warstwy przyspągowej jest większa od połowy średnicy organu urabiającego.

W pierwszym przypadku wartość prędkości posuwu kombajnu, przy której zasięg strefy o grubości skrawu większej od grubości optymalnej znajdzie się w zakresie drogi skrawania noża, wyznacza się równania określającego równość kątów φ_o i φ_w:

$$\varphi_w = arc\sin\frac{\varphi_w * g_o * m * n}{(1-\cos\varphi_w) * v_g} \qquad (7.16)$$

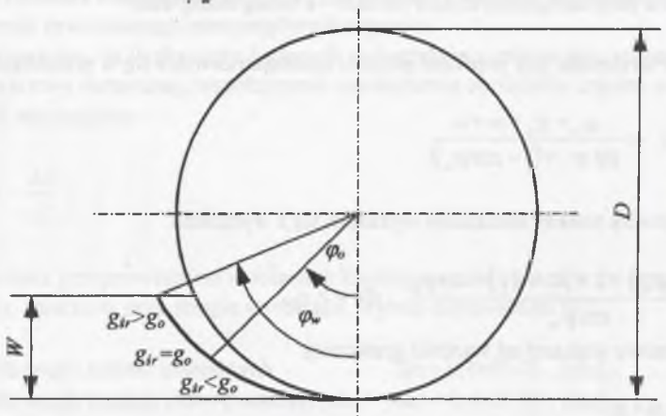
Poniżej granicznej wartości prędkości posuwu kombajnu określonej zależnością:

$$v_g = \frac{\varphi_w * g_o * m * n}{\sin\varphi_w * (1-\cos\varphi_w)} \qquad (7.17)$$

występuje tylko jedna strefa o grubości skrawu mniejszej od optymalnej. Wartość współczynnika zmiany obciążenia w rozważanym przypadku jest równa współczynnikowi korekcyjnemu k_1.

Gdy prędkość posuwu kombajnu jest większa od wyznaczonej z zależności (7.17), będą występowały dwie strefy określone przedziałami $(0,\varphi_o)$ i (φ_o,φ_w) - rys 7.3. Wartość współczynnika zmiany obciążenia w rozważanym przypadku wyznacza się z wyrażenia:

$$k_w = \frac{k_1 - (k_1 - k_2) * \cos\varphi_o - k_2 * \cos\varphi_w}{1 - \cos\varphi_w} \text{ , dla } v > v_g \qquad (7.18)$$



Rys. 7.3. Występowanie dwu stref o różnej grubości skrawu - organ tylny
Fig. 7.3. Occurrence of two zones of different cut depth – a trailing cutting drum

Gdy wysokość warstwy przyspągowej równa jest połowie średnicy organu urabiającego, wartość współczynnika zmiany obciążenia k_w wyznaczana jest tak jak w przypadku organu wyprzedzającego (zależność 7.15).

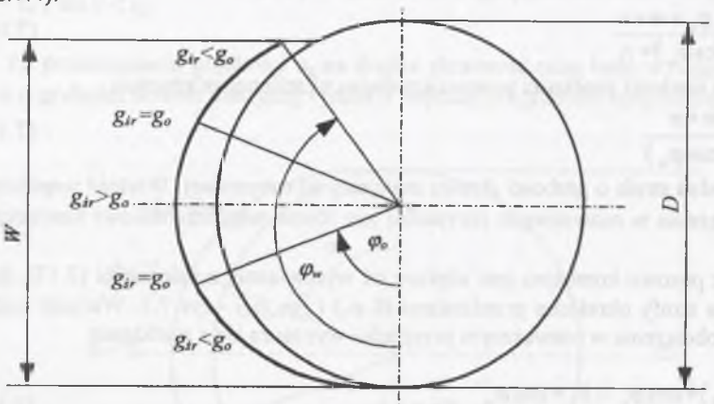
Natomiast przy wysokości warstwy przyspągowej większej od połowy średnicy organu urabiającego graniczną wartość prędkości posuwu kombajnu, poniżej której występuje tylko jedna strefa o grubości skrawu mniejszej od optymalnej, wyznacza się z zależności:

$$v_{gd} = \frac{\varphi_w * g_o * m * n}{(1 - \cos\varphi_w)} \tag{7.19}$$

Wartość współczynnika zmiany obciążenia określa się wówczas z zależności (7.13).

W zależności od relacji φ_o i φ_w, przy prędkości posuwu kombajnu większej od wyznaczonej z wyrażenia (7.19), mogą wystąpić dwie lub trzy strefy grubości skrawu.

Przy spełnieniu warunku $\varphi_o > \pi - \varphi_w$ występują trzy różne strefy, z czego w dwóch następujących przedziałach $(0,\varphi_o)$, $(\pi - \varphi_o,\varphi_w)$ grubość skrawu jest mniejsza od optymalnej (rys.7.4).



Rys. 7.4.Usytuowanie trzech wyróżnionych stref grubości skrawu - organ tylny
Fig. 7.4. Arrangement of three distinguished zones of cut depth – a trailing cutting drum

Przypadek ten występuje, gdy prędkość posuwu kombajnu zawiera się w przedziale:

$$\frac{\varphi_w * g_o * m * n}{(1 - \cos\varphi_w)} < v < \frac{\varphi_w * g_o * m * n}{\sin\varphi_w * (1 - \cos\varphi_w)}$$

Wartość współczynnika zmiany obciążenia wyznacza się z wyrażenia:

$$k_w = \frac{k_1 * (1 - \cos\varphi_w) - 2 * (k_1 - k_2) * \cos\varphi_o}{1 - \cos\varphi_w}, \text{ dla } v > v_{gw} \tag{7.20}$$

Przy prędkości posuwu większej od wartości granicznej:

$$v_{gw} = \frac{\varphi_w * g_o * m * n}{\sin\varphi_w * (1 - \cos\varphi_w)} \tag{7.21}$$

występują dwie strefy, odpowiednio mniejsza i większa od grubości optymalnej, podobnie jak w przypadku, gdy wysokość warstwy przyspągowej jest mniejsza od połowy średnicy organu urabiającego. W związku z powyższym wartość współczynnika zmiany obciążenia w rozważanym przypadku określa zależność (7.19).

W celu wykazania zasadności wprowadzenia współczynnika zmiany obciążenia wyznaczono względne procentowe obniżenie siły skrawania poprzez odniesienie wyznaczonych wartości współczynnika korekcyjnego k_w do wartości współczynnika odsłonięcia k_z, stosowanego w modelu DIPKMK. Wyniki obliczeń, przedstawione graficznie na rys. 7.5, pozwalają jednocześnie ustalić, czy wartości prędkości granicznej uzyskane odpowiednio z zależności (7.12) dla organu wyprzedzającego i (7.17, 7.19, 7.21) dla organu tylnego odpowiadają rzeczywistym wartościom prędkości granicznej, poniżej której następuje spadek poboru mocy przez kombajn. Słupki czarne obrazują różnicę współczynników odsłonięcia i korekcyjnego odniesioną do wartości współczynnika odsłonięcia w przypadku organu wyprzedzającego, a słupki szare dotyczą organu tylnego.

Wprowadzenie do modelu współczynnika korekcyjnego k_w sprawiło, że w zdecydowanej większości analizowanych ścian charakter przebiegu obliczonej mocy odpowiada przebiegowi mocy uzyskanemu na podstawie badań. Dowodzi to istotności czynnika związanego ze zmianą relacji grubości skrawu i podziałki skrawania, a tym samym celowości uwzględnienia go w obliczeniach w postaci zaproponowanego współczynnika korekcyjnego k_w. Porównanie granicznych prędkości posuwu wykazało dużą zgodność wartości teoretycznych i uzyskanych eksperymentalnie z wyjątkiem ścian: G-VIII w KWK Knurów i 511 w KWK Mysłowice [27].

7.2.2. Korekta wynikająca z uwzględnienia zjawiska odspajania naroży pokładu

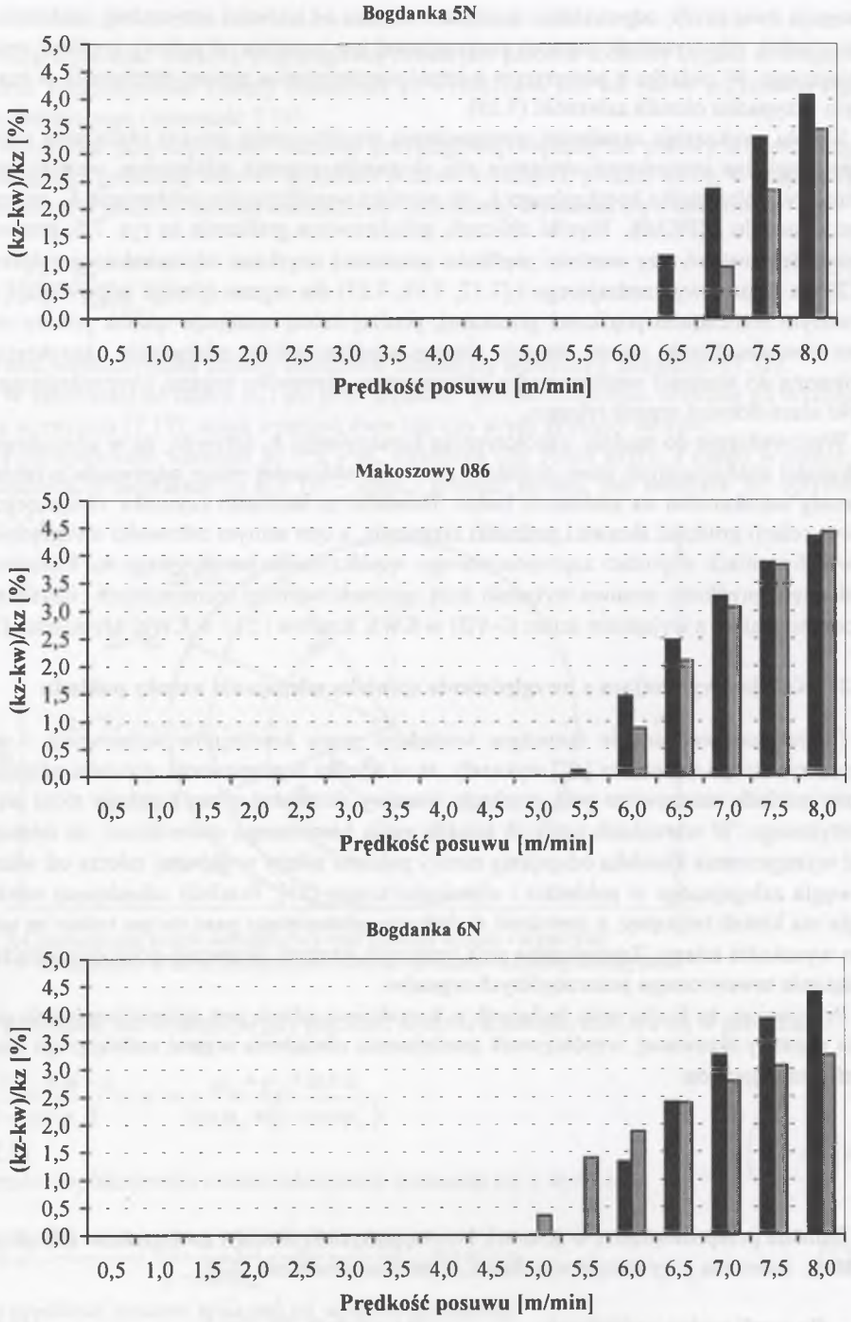
Dotychczasowe badania dotyczące warunków pracy kombajnów ścianowych i stanu utrzymania stropu wyrobiska [47] wykazały, że w wyniku występowania zjawiska odspajania naroży pokładu rzeczywiste pole przekroju warstwy skrawanej przez kombajn różni się od teoretycznego. W warunkach polskich kopalń węgla kamiennego stwierdzono, że intensywność występowania zjawiska odspajania naroży pokładu zależy w głównej mierze od własności węgla zalegającego w pokładzie i wysokości ściany [31]. Przekrój odpadającej warstwy węgla ma kształt trójkątny, a szerokość dodatkowo odsłoniętego pasa stropu rośnie ze wzrostem wysokości ściany. Zmniejszenie pola przekroju warstwy skrawanej powoduje obniżenie obciążenia zewnętrznego poszczególnych organów.

Przyjmując, że liczba noży będących w kontakcie z calizną jest proporcjonalna do przekroju warstwy skrawanej, współczynnik zmniejszenia obciążenia organu urabiającego można określić następująco:

$$k_s = \left(1 - \frac{\Delta S}{S}\right) \tag{7.22}$$

Badania przeprowadzone w ścianach kombajnowych wykazały, że szerokość odpadającej warstwy, mierzona przy stropie wyrobiska, wynosi odpowiednio [47]:

– dla węgli trudno urabialnych $\Delta a = 0{,}4*H - 75$, [cm], (7.23)
– dla węgli średnio i łatwo urabialnych $\Delta a = 0{,}4*H - 65$, [cm], (7.24)



Rys. 7.5. Względne procentowe obniżenie średniej siły skrawania po wprowadzeniu współczynnika k_w
Fig. 7.5. Relative percentage reduction of mean cutting force after introducing the coefficient k_w

W przypadku gdy szerokość dodatkowo odsłoniętego stropu jest mniejsza od szerokości zabioru,współczynnik zmniejszenia obciążenia określają wyrażenia:

– organ wyprzedzający:

$$k_{sg} = 1 - \frac{\Delta a * (2 * H - D)}{2 * H * z}, \tag{7.25}$$

– organ tylny:

$$k_{sd} = 1 - \frac{\Delta a * (H - D)}{2 * H * z}, \tag{7.26}$$

W wyrażeniach (7.23, 7.24) wysokość ściany należy wstawiać w [cm].

Współczynnik zmniejszenia obciążenia organu urabiającego, w przypadku gdy szerokość odsłonięcia jest większa od szerokości zabioru kombajnu, wynosi:

– organ wyprzedzający:

$$k_{sg} = \frac{H * \Delta a}{2 * D * z} * \left[2 * \left(\frac{z}{\Delta a} + \frac{D}{H} \right) - \left(\frac{z}{\Delta a} \right)^2 - \left(\frac{D}{H} \right)^2 - 1 \right] \tag{7.27}$$

– organ tylny:

$$k_{sd} = 1 - \frac{\Delta a * (H - D)}{2 * H * z} \tag{7.28}$$

Dzięki wprowadzeniu współczynnika zmniejszenia obciążenia organu urabiającego k_s uzyskano zdecydowanie mniejsze zróżnicowanie obliczonych wartości mocy i wartości średniego poboru mocy wyznaczonych na podstawie badań, szczególnie w przypadku ścian o wysokości większej od 3 m [27]. Odspajanie górnych naroży pokładu jest zatem kolejnym czynnikiem istotnie wpływającym na pobór mocy przez kombajn, który powinien być dodatkowo uwzględniony w modelu.

7.2.3. Zmniejszenie obciążenia organów urabiających w wyniku łącznego uwzględnienia zjawiska odspajania naroży pokładu oraz zmienności relacji grubości skrawu i podziałki skrawania

Łączne uwzględnienie czynników związanych ze zjawiskiem odspajania naroży pokładu oraz zmiennością relacji grubości skrawu i podziałki skrawania wymaga dalszej pogłębionej analizy. Wynika to z faktu, że w poszczególnych strefach związanych z grubością skrawu mniejszą lub większą od optymalnej występuje zróżnicowanie pola przekroju odpadającej samoczynnie warstwy węgla. Pociąga to za sobą konieczność wyznaczania współczynników zmniejszania obciążenia organu osobno dla każdej ze stref związanych z grubością skrawu i uwzględnienia iloczynu odpowiednich współczynników dla każdej ze stref.

Organ wyprzedzający

Przy urabianiu z prędkością mniejszą od granicznej (v_g, v_{gd}), sumaryczny wpływ obu czynników może być uwzględniony w postaci iloczynu odpowiadających im współczynników:

$$k_g = k_{sg} * k_w, \tag{7.29}$$

Zgodnie z wcześniej przedstawionymi rozważaniami, przy prędkościach większych od granicznej v_g, na drodze skrawania noża będą występowały trzy strefy: dwie o grubości skrawu mniejszej i jedna o większej od grubości optymalnej.

Po przekroczeniu prędkości granicznej współczynnik uwzględniający łączny wpływ czynników związanych z grubością skrawu i rzeczywistym przekrojem warstwy skrawanej, powodujących zmianę obciążenia organu wyprzedzającego, wyznaczono jako średnią ważoną iloczynu współczynników uwzględniających oba czynniki w poszczególnych strefach.

Postać końcowa wyrażenia służącego do jego wyznaczenia jest następująca:

$$k_g = k_1(1-\cos\varphi_o)\left(k_{zg} + \frac{\Delta a D(1+\cos\varphi_o)}{8Hz}\right) + k_2\cos\varphi_o\left(k_{zg} - \frac{\Delta a D(1+\cos\varphi_o)}{4Hz}\right) \tag{7.30}$$

Organ tylny

Podobnie jak w przypadku organu wyprzedzającego, przy prędkościach posuwu kombajnu mniejszych od granicznej (v_g, v_{gd}), sumaryczny wpływ omawianych czynników uwzględnia się w postaci iloczynu odpowiednich współczynników:

$$k_d = k_{sd} * k_w \tag{7.31}$$

Pozostałe przypadki wymagają przeprowadzenia dodatkowej analizy i wyznaczenia współczynników zmniejszenia obciążenia dla każdej ze stref związanych z grubością skrawu.

Gdy wysokość warstwy przyspągowej jest większa od połowy średnicy organu urabiającego, a prędkość posuwu zawiera się w przedziale: $v_{gd} < v < v_{gw}$, występują trzy strefy grubości skrawu i zgodnie z przyjętą zasadą, współczynnik uwzględniający łączny wpływ rozważanych czynników określa wyrażenie:

$$k_d = \frac{g_{\max}\frac{\pi D}{2}\left[k_1 k_{S1}\frac{1-\cos\varphi_o}{\varphi_o}\frac{\varphi_o}{\pi} + k_1 k_{S3}\frac{-\cos\varphi_w-\cos\varphi_o}{\varphi_w+\varphi_o-\pi}\frac{\varphi_w+\varphi_o-\pi}{\pi} + k_2 k_{S2}\frac{2\cos\varphi_o}{\pi-2\varphi_o}\frac{\pi-2\varphi_o}{\pi}\right]}{\frac{1-\cos\varphi_w}{\varphi_w}g_{\max}\frac{\pi D}{2}\left(\frac{\varphi_o}{\pi}+\frac{\varphi_w+\varphi_o-\pi}{\pi}+\frac{\pi-2\varphi_o}{\pi}\right)} \tag{7.32}$$

Przy wysokości warstwy przyspągowej mniejszej lub równej połowie średnicy organu urabiającego i prędkościach posuwu większych od granicznej ($v > v_g$) lub gdy wysokość warstwy przyspągowej jest większa od połowy średnicy organu urabiającego i prędkość posuwu spełnia warunek $v > v_{gw}$, występują dwie strefy grubości skrawu. Wyrażenie służące do wyznaczenia współczynnika uwzględniającego łączny wpływ czynników związanych ze zmianą obciążenia organu tylnego przyjmuje postać:

$$k_d = \frac{g_{\max}\frac{\pi D}{2}\left[k_1 k_{S1}\frac{1-\cos\varphi_o}{\varphi_o}\frac{\varphi_o}{\pi} + k_2 k_{S2}\frac{\cos\varphi_o-\cos\varphi_w}{\varphi_w-\varphi_o}\frac{\varphi_w-\varphi_o}{\pi}\right]}{\frac{1-\cos\varphi_w}{\varphi_w}g_{\max}\frac{\pi D}{2}\left(\frac{\varphi_o}{\pi}+\frac{\varphi_w-\varphi_o}{\pi}\right)} \tag{7.33}$$

Moc wynikającą z oporów urabiania calizny węglowej z uwzględnieniem łącznego wpływu czynników związanych ze zmianą relacji grubości skrawu i podziałki skrawania oraz występowaniem zjawiska odspajania naroży pokładu wyznacza się z zależności:

– organ wyprzedzający:

$$N_g = N_{MG} * k_g \tag{7.34}$$

– organ tylny:

$$N_d = N_{MD} * k_d \tag{7.35}$$

gdzie:

– k_g należy wyznaczyć z zależności: (7.29) dla $v < v_g$
(7.30) dla $v > v_g$

– k_d należy wyznaczyć z zależności : (7.31) dla $v < v_{gd}$
(7.32) dla $v_{gd} < v < v_{gw}$
(7.33) dla $v > v_{gw}$.

Przedstawione powyżej zależności służą do wyznaczenia mocy kombajnu wynikającej z oporów urabiania calizny węglowej. Ponieważ przebieg procesu ładowania urobku organami urabiającymi ma duży wpływ na obciążenie poszczególnych silników, a tym samym i pobór mocy przez kombajn, czynnik ten powinien być uwzględniony w końcowej wersji modelu razem z oporami przemieszczania kombajnu wzdłuż czoła ściany.

7.2.4. Uwzględnienie oporów związanych z ładowaniem urobku

W celu ustalenia udziału oporów ładowania urobku i przemieszczania kombajnu wyznaczono, dla każdej z badanych ścian, stosunek różnicy mocy rzeczywistej i mocy obliczonej na podstawie modelu uwzględniającego tylko opory skrawania do mocy rzeczywistej.

Okazało się, że udział poboru mocy związany z oporami ładowania i przemieszczaniem kombajnu zawiera się w granicach 16÷60%. Przy czym im mniejsze są opory skrawania tym udział ten jest większy. Dla przykładu w ścianie 4 w kopalni „Sośnica" (węgiel łatwo urabialny) udział ten wynosi 60%, w ścianie 5N w kopalni „Bogdanka" (węgiel średnio urabialny) przy szerokości zabioru 0,95 m 57%, podczas gdy w ścianie G-VIII w kopalni „Knurów" 16%. Udział rozważanych oporów jest zgodny z wynikami badań oporów ładowania na stanowisku badawczym, w trakcie których ustalono, że moment oporów ładowania stanowi 13÷60% momentu oporów skrawania [55]. Z powyższego wynika, że udział samych tylko oporów ładowania w sumarycznej mocy pobieranej przez kombajn może dochodzić do 40%.

Za pomocą procedury regresji krokowej [61] uzyskano następującą postać równania korelacji wielokrotnej, pozwalającego na wyznaczenie współczynnika uwzględniającego rozpatrywane opory:

$$k_j = -2{,}6629 - 0{,}4 * H + 2{,}3 * D + 0{,}0584 * F_k\ , \tag{7.36}$$

Odchylenie standardowe składnika resztowego $\hat{S}_R = 0{,}17$

Błąd estymacji $\varepsilon = 11{,}57\%$

Współczynnik determinacji $R^2 = 95{,}89\%$

Wszystkie wartości testu t Studenta poszczególnych współczynników regresji ujętych w modelu są większe od wartości krytycznej $t_{(6;0{,}05)} = 2{,}447$

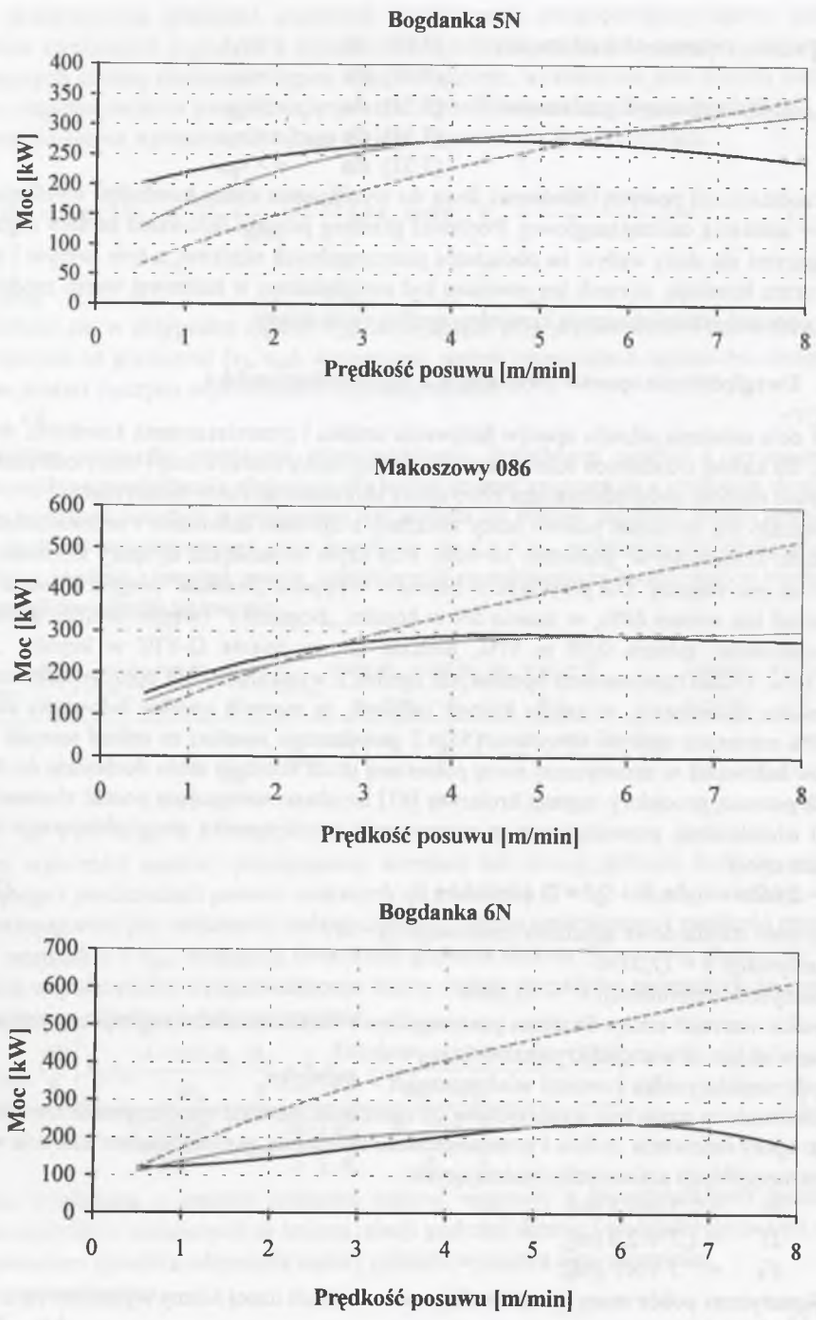
Wartość współczynnika korelacji wielokrotnej $R = 0{,}979237$

Równanie to może być wykorzystane do określania wartości współczynnika uwzględniającego opory ładowania urobku i przemieszczania kombajnu, w następującym zakresie wartości poszczególnych zmiennych objaśniających:

H = 2,3 ÷ 4,2 [m],
D = 1,7 ÷ 2,0 [m],
F_k = 7 ÷ 45 [%].

Sumaryczny pobór mocy przez kombajn w warunkach danej ściany wyznacza się z następującej zależności:

$$N = (N_g + N_d) * k_j \tag{7.37}$$



Rys. 7.6. Przebieg poboru mocy wyznaczony na podstawie modelu ulepszonego
Fig. 7.6. Run of power consumption determined on the basis of the improved model

Na rys.7.6 przedstawiono przykładowo przebiegi wartości poboru mocy kombajnu obliczone na podstawie modelu oryginalnego (linie szare punktowe), modelu ulepszonego (linie szare ciągłe) i średnie wartości mocy uzyskane w trakcie badań eksperymentalnych (linie czarne). Podobnie jak w przypadku przedstawionych ścian w zdecydowanej większości przodków otrzymano dobrą zgodność mocy obliczonej na podstawie uzyskanego modelu z mocą rzeczywistą pobieraną przez kombajn w warunkach eksploatacyjnych poszczególnych ścian. Jedynie w obu ścianach prowadzonych w KWK Mysłowice wystąpiła rozbieżność porównywanych wartości, co może być spowodowane występowaniem w nich zjawiska odprężenia calizny węglowej związanego z podsadzkowym systemem eksploatacji. Porównanie wyników obliczeń mocy uzyskanych na podstawie modeli: oryginalnego i ulepszonego wykazało istotność czynników uwzględnionych w modelu ulepszonym oraz słuszność koncepcji wprowadzenia ich do modelu w postaci zaproponowanych współczynników korekcyjnych.

7.3. Podsumowanie

Wyodrębnienie wzdłuż drogi skrawania noża urabiającego stref o średniej grubości skrawu odpowiednio mniejszej lub większej od grubości optymalnej przy danej prędkości posuwu kombajnu i wysokości warstwy urabianej danym organem pozwoliło na ulepszenie modelu w części dotyczącej korekty siły skrawania wynikającej ze zmienności relacji grubości skrawu i podziałki skrawania. Wprowadzenie nowej metody wyznaczania współczynnika korygującego wartość siły skrawania, prawidłowo odzwierciedlającej przebieg procesu odspajania węgla od calizny przy zmiennej relacji grubości skrawu i podziałki noży, doprowadziło do istotnej zmiany jakościowej zależności przewidywanego poboru mocy przez kombajn od prędkości posuwu kombajnu.

W przypadku ścian wysokich istnieje konieczność wprowadzenia do modelu kolejnego współczynnika korekcyjnego k_s, uwzględniającego fakt, że wskutek występowania zjawiska odspajania górnych naroży pokładu rzeczywisty przekrój warstwy skrawanej przez organ wyprzedzający jest mniejszy od teoretycznego, co w znacznym stopniu wpływa na zmniejszenie poboru mocy przez kombajn. Przy prędkościach większych od granicznej uwzględnienie obu wyżej wymienionych czynników wymaga stosowania współczynników ujmujących ich łączny wpływ dla każdej ze stref związanych z grubością skrawu.

Modyfikacja modelu obejmująca:

- łączne uwzględnienie wpływu zmienności relacji grubości skrawu i podziałki skrawania oraz zmniejszenia przekroju poprzecznego warstwy skrawanej poszczególnymi organami na wartość siły skrawania,
- określenie udziału oporów ładowania urobku organami urabiającymi oraz przemieszczania kombajnu wzdłuż czoła ściany w poborze mocy,

doprowadziła do uzyskania modelu teoretyczno-eksperymentalnego pozwalającego na predykcję poboru mocy przez kombajn w określonych warunkach eksploatacyjnych przodka ścianowego.

8. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

Ze względu na zakres i złożoność problematyki związanej z ustaleniem wpływu stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego dużej mocy na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia z przodka ścianowego wnioski wynikające z omówionych w pracy zagadnień zostały przedstawione w trzech grupach dotyczących:

A – zastosowanej metody postępowania badawczego,
B – osiągniętych celów poznawczych,
C – obszaru aplikacyjnego pracy.

A1. Uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia w określonych warunkach eksploatacyjnych uwarunkowane jest szeregiem czynników natury górniczo-geologicznej, technicznej, technologicznej i organizacyjnej. Ze względu na wybitnie dyfuzyjny i losowy charakter powiązań poszczególnych czynników kształtujących stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego, który w głównej mierze wpływa na prędkość posuwu nowoczesnych kombajnów ścianowych, przyjęto procedurę postępowania badawczego obejmującą następujące etapy:

- studium identyfikacji wpływu wybranych czynników na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu, przeprowadzone na podstawie wyników badań eksperymentalnych;
- analiza możliwości uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia z uwzględnieniem stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu;
- uogólnienie wyników badań identyfikacyjnych poprzez opracowanie odpowiednich modeli teoretycznych i teoretyczno-eksperymentalnych.

A2. Przeprowadzenie identyfikacji wpływu przebiegu procesu urabiania calizny węglowej i ładowania uzyskanego urobku na stan zewnętrznego obciążenia zespołów roboczych kombajnu wymagało:

- opracowania metodyki badań eksploatacyjnych kombajnów ścianowych, realizowanych w złożonych stanach obciążeń o charakterze stochastycznym, umożliwiającej uzyskanie w pełni reprezentatywnego dla warunków danego przodka zestawu charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu pozwalających na:
  - identyfikację stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu;
  - ustalenie wpływu przebiegu procesu urabiania i ładowania oraz czynników eksploatacyjnych na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu;
  - ocenę prawidłowości doboru kombajnu do danych warunków eksploatacyjnych;
- realizacji badań identyfikacyjnych, którymi objęto 11 przodków ścianowych w 7 kopalniach węgla kamiennego. W 2 ścianach program badań był rozszerzony i obejmował wpływ zastosowania ładowarek osłonowych, ich konstrukcji i ustawienia oraz kierunku obrotów organów urabiających na przebieg procesu ładowania urobku na przenośnik. Badania przeprowadzono w odniesieniu do jednego rozwiązania konstrukcyjnego kombajnu KSW-500 w ścianach o wysokości 2,3÷4,0 m, długości 132÷300 m, nachylonych podłużnie w zakresie 0÷30°, prowadzonych w pokładach, w których zalegał węgiel łatwo, średnio i trudno urabialny (F_k=7÷45%).

A3. Analizę możliwości uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia przeprowadzono opierając się na nowym modelu przebiegu procesu produkcyjnego w ścianie, który pozwala na przeprowadzenie wszechstronnej analizy z uwzględnieniem czynników:

- technicznych (teoretyczna wydajność kombajnu, stopień wykorzystania wydajności teoretycznej, relacja prędkości przy obu zwrotach urabiania);
- organizacyjnych (dyspozycyjny czas pracy maszyn w przodku, stopień wykorzystania tego czasu);
- techniczno-organizacyjnych (udział operacji przygotowawczo-zakończeniowych cyklu);
- technologicznych (przebieg operacji technologicznych przy urabianiu dwustronnym i jednostronnym).

A4. Na podstawie uzyskanych charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu opracowano nowy teoretyczno-eksperymentalny modelu energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym. Dzięki łącznemu uwzględnieniu charakterystyki energochłonności, przedstawiającej kształtowanie się tego parametru w całym zakresie prędkości posuwu kombajnu i rozkładu częstości urabiania z określoną prędkością posuwu uzyskano reprezentatywny dla danych warunków eksploatacyjnych i dla stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu w danym przodku wskaźnik energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym.

A5. Wyniki badań identyfikacyjnych umożliwiły opracowanie nowego modelu teoretycznego procesu ładowania urobku węglowego przez kombajn ścianowy uwzględniającego:

- specyfikę związaną z przebiegiem procesu ładowania urobku przez organ wyprzedzający i tylny (ilość ładowanego urobku, charakter i liczba czynników wpływu);
- zagadnienie usytuowania ładowarki osłonowej,
- problematykę możliwości przekazania urobku pod ramieniem wychylnym kombajnu przy nadsiębiernym kierunku obrotów organu tylnego;

oraz ulepszenie modelu służącego do predykcji mocy w funkcji prędkości posuwu kombajnu poprzez wprowadzenie korekty wartości siły skrawania w zależności od relacji grubości skrawu i podziałki skrawania, uwzględniającej zmienność grubości skrawu wzdłuż drogi kontaktu noża z calizną przy danej prędkości posuwu kombajnu i wysokości warstwy skrawanej.

B1. Przeprowadzenie badań eksploatacyjnych kombajnów ścianowych, zgodnie z zaproponowaną metodyką, zapewnia uzyskanie charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu pozwalających na:

- analizę wpływu przebiegu procesu urabiania calizny węglowej i ładowania uzyskanego urobku z uwzględnieniem czynników eksploatacyjnych oraz technicznych (wysokość i nachylenie podłużne ściany, zwrot urabiania w stosunku do zwrotu odstawy, cechy konstrukcyjne organów urabiających, ładowarek osłonowych i przenośnika ścianowego) na stan obciążenia zewnętrznego zespołów roboczych kombajnu ścianowego oraz wykorzystanie mocy nominalnej;
- wyodrębnienie czynników kształtujących stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego w danych warunkach eksploatacyjnych;
- analizę wpływu stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu na wykorzystanie jego potencjalnych możliwości technicznych w warunkach eksploatacyjnych danego przodka ścianowego;
- porównanie stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego w różnych warunkach eksploatacyjnych;

- ocenę prawidłowości doboru kombajnu do danych warunków eksploatacyjnych uwzględniającą energochłonność procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym;
- ocenę wpływu dodatkowych czynników takich, jak: warunki zasilania elektrycznego kombajnu, prawidłowość zaprojektowania systemu mechanizacyjnego na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu i wykorzystanie jego potencjalnych możliwości technicznych.

B2. Na stan obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego wpływa nie tak jak dotychczas sądzono przebieg procesu ładowania urobku organem wyprzedzającym, a przebieg tego procesu w przypadku organu tylnego. Wynika to z częściowego przesłonięcia organu tylnego rynnami przenośnika ścianowego oraz ramieniem wychylnym kombajnu i jest szczególnie istotne przy zwiększonej szerokości zabioru kombajnu.

Ogólnie przebieg procesu ładowania urobku organami urabiającymi zależy od:

- cech konstrukcyjnych organów urabiających i ładowarek osłonowych,
- usytuowania ładowarek osłonowych w stosunku do organów,
- wysokości ściany i szerokości zabioru.

W przypadku organu tylnego istotne są ponadto następujące czynniki:

- cechy konstrukcyjne rynien przenośnika ścianowego i ramienia wychylnego kombajnu,
- kierunek obrotów organu,
- zwrot urabiania w stosunku do zwrotu odstawy.

Uwzględnienie powyższych czynników w modelu teoretycznym procesu ładowania urobku węglowego przez kombajn ścianowy pozwoliło na uzyskanie zgodności charakterystyk ładowania, wyznaczonych na podstawie tego modelu, z wnioskami wynikającymi z przeprowadzonego studium identyfikacyjnego.

B3. Charakter zmienności poboru mocy przez kombajn w funkcji prędkości posuwu nie odpowiada przebiegom otrzymywanym na podstawie dotychczas stosowanych modeli. Badania identyfikacyjne wykazały, że w początkowym zakresie prędkości posuwu występuje wzrost mocy rozwijanej przez kombajn, po czym po przekroczeniu pewnej prędkości następuje spadek lub stabilizacja poboru mocy. W przypadku charakterystyk teoretycznych notuje się przyrost poboru mocy w całym zakresie prędkości posuwu kombajnu. Czynnikiem wpływającym na zmniejszenie poboru mocy jest zmienność relacji podziałki skrawania i grubości skrawu związanej zarówno z prędkością posuwu kombajnu, jak i trajektorią noży urabiających.

Wprowadzenie nowej metody korekty wartości siły skrawania uwzględniającej zmienność grubości skrawu wzdłuż drogi kontaktu noża z calizną przy danej prędkości posuwu kombajnu i wysokości warstwy skrawanej doprowadziło do uzyskania zgodności charakteru zależności mocy od prędkości posuwu kombajnu wyznaczonych na podstawie modelu z uzyskanymi w trakcie badań identyfikacyjnych.

B4. Uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia w warunkach eksploatacyjnych danego przodka ścianowego zależy głównie od:

- wydajności teoretycznej kombajnu,
- wykorzystania możliwości technicznych kombajnu,
- technologii urabiania kombajnem,
- rzeczywistego czasu pracy maszyn w przodku ścianowym.

Stopień wykorzystania teoretycznej wydajności kombajnu związany jest ze stanem jego obciążenia zewnętrznego. Mniejsze zróżnicowanie obciążenia napędów organów urabiających i pełniejsze wykorzystanie mocy nominalnej silników kombajnu zapewnia lepsze wykorzystanie kombajnu, a w konsekwencji umożliwia uzyskanie wysokiej koncentracji produkcji. Wprowadzenie wskaźnika sprawności technologii pozwala na dokonanie ilościowej oceny

wpływu zastosowanej technologii urabiania kombajnem na wykorzystanie potencjału produkcyjnego przodka ścianowego. Uzyskanie wartości wskaźnika sprawności technologii przy urabianiu jednostronnym na tym samym poziomie, co w przypadku urabiania dwustronnego, jest możliwe przy zastosowaniu kombajnów z dwoma zakresami prędkości posuwu.

B5. Zależności energochłonności procesu urabiania skał węglowych przez kombajn ścianowy od prędkości posuwu kombajnu dobrze opisuje funkcja potęgowa. O jej przebiegu decydują nie tylko własności węgla zalegającego w pokładzie, ale również stan obciążenia zewnętrznego kombajnu. Ponieważ stan ten wpływa również w decydujący sposób na uzyskany w danych warunkach eksploatacyjnych rozkład częstości urabiania z określoną prędkością posuwu wartość wskaźnika energochłonności procesu urabiania skał węglowych przez kombajn należy wyznaczać opierając się na powyższych charakterystykach. Wbrew dotychczasowym ustaleniom, prognozowanie wartości wskaźnika energochłonności urabiania tylko na podstawie parametru opisującego własności węgla w pokładzie nie jest miarodajne.

C1. Każdorazowa lokalizacja kombajnu w warunkach danego pokładu powinna być połączona z przeprowadzeniem badań eksploatacyjnych, mających na celu identyfikację stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu. Przeprowadzona na tej podstawie analiza charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu i wyznaczonych na ich podstawie wskaźników pozwoli na obiektywną ocenę prawidłowości doboru kombajnu do warunków danej ściany. Bieżąca analiza wyników badań i gromadzenie ich w banku danych prowadzonym przez każdego z producentów kombajnów umożliwią ciągłe doskonalenie procedury projektowania kombajnowych systemów mechanizacyjnych. Przeprowadzone dotychczas badania identyfikacyjne wykazały, że uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia w warunkach eksploatacyjnych ścian objętych pomiarami było możliwe wówczas, gdy zróżnicowanie obciążenia organów urabiających nie przekroczyło 25% i średnie wykorzystanie mocy nominalnej kombajnu było większe od 40%.

C2. Wykorzystanie potencjalnych możliwości technicznych kombajnów w ścianach objętych badaniami było bardzo zróżnicowane. Tylko w trzech spośród jedenastu badanych ścian dobór kombajnu i projekt systemu mechanizacyjnego nie budzą zastrzeżeń. We wszystkich pozostałych przypadkach potencjalne wyniki produkcyjne mogłyby być lepsze pod warunkiem dokonania zmian prowadzących do uzyskania większej rzeczywistej wydajności kombajnu lub zmiany technologii urabiania. Sytuacja ta wynika zarówno z niepełnego rozeznania warunków eksploatacyjnych, jak i braku sformalizowanych procedur doboru maszyn ścianowych. W związku z powyższym postuluje się formalizację procedury doboru kombajnów ścianowych dużej mocy do określonych warunków naturalnych i technicznych przodka ścianowego oraz przejęcie tej części działań projektowych przez producentów kombajnów. Dzięki temu producent będzie mógł zagwarantować uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia ze ściany pod warunkiem zapewnienia przez użytkownika prawidłowych warunków zasilania elektrycznego i zgodnego z ustaleniami wykorzystania kombajnu w czasie.

C3. Opracowanie projektu kombajnowego systemu mechanizacyjnego zgodnie z kryterium celu technicznego związane z uzyskaniem określonego wydobycia dobowego wymaga dysponowania modelem przebiegu procesu produkcyjnego w ścianie. Zaproponowany model, w którym wykorzystuje się dane uzyskane z badań identyfikacyjnych, pozwala na:

- określenie wymaganych parametrów technicznych kombajnu oraz technologii urabiania, które zapewnią uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia w danych warunkach eksploatacyjnych;

- ocenę możliwości uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia w danych warunkach eksploatacyjnych przy zastosowaniu danego wyposażenia technicznego;
- analizę wpływu parametrów ściany (wysokość, długość) na uzyskiwane wydobycie dobowe dla danego wyposażenia technicznego.

C4. Zapewnienie prawidłowego przebiegu procesu ładowania urobku organami urabiającymi jest jednym z podstawowych wymogów uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia. Wykorzystanie opracowanego modelu teoretycznego procesu ładowania urobku i zaproponowanej procedury postępowania umożliwia:

- dobór cech konstrukcyjnych organów urabiających,
- ustalenie usytuowania ładowarki osłonowej,
- określenie kierunku obrotów organu tylnego.

C5. Model służący do predykcji mocy kombajnu w funkcji prędkości posuwu umożliwia prawidłowy dobór nominalnej mocy kombajnu do warunków eksploatacyjnych danej ściany lub w przypadku dysponowania kombajnem o danej mocy nominalnej ustalenie cech geometrycznych organów urabiających pozwalających na pełne wykorzystanie potencjalnych możliwości technicznych kombajnu w warunkach danego przodka.

Wskaźnik kruchości węgla F_k stosowany w modelu opracowanym w Mitsui Miike Machinery Co.,Ltd. prawidłowo odzwierciedla własności węgla w pokładzie w aspekcie skrawania i może być wykorzystany do celów lokalizacji kombajnów ścianowych w warunkach polskich kopalni węgla kamiennego.

C6. Konieczność pełnego wykorzystania możliwości technicznych kombajnów ścianowych dużej mocy w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego wymaga potwierdzenia słuszności decyzji podjętych w trakcie procesu projektowania systemu mechanizacyjnego. Służy temu zaproponowany zestaw czterech wskaźników obejmujących energochłonność procesu urabiana i wykorzystanie mocy nominalnej, który pozwala na obiektywną ocenę prawidłowości doboru kombajnu do danych warunków eksploatacyjnych.

Zaproponowane w pracy nowe modele są wykorzystywane w procesie projektowania kombajnowych systemów mechanizacyjnych przez Zabrzańskie Zakłady Naprawcze Przemysłu Węglowego S.A. w Zabrzu.

W świetle wniosków wynikających z przedstawionych badań eksploatacyjnych kombajnów ścianowych dużej mocy i przeprowadzonych rozważań można uznać, że założone cele poznawcze pracy zostały osiągnięte, a szeroko pojęta teza rozprawy dowiedziona.

LITERATURA

1. Antoniak J., Lutyński A., Chlęch J., Kozieł A.: Badania identyfikujące procesy obciążeń maszyn górniczych w ścianach węglowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Mechanika, z. 122, Gliwice 1995
2. Beron A.I., Pozin E.Z., Kutowoj W.I.: Issledowanie transportujuszczej sposobnosti barabannych i sznekowych ispolnitielnych organow uskozachwatnych kombajnow. Gornorudnyje Maszyny i Awtomatika, Moskwa 1968.
3. Biały W.: Wpływ stanu naprężenia w strefie zabioru kombajnów ścianowych na urabialność mierzoną wskaźnikiem urabialności A. Praca doktorska, Politechnika Śląska 1982 (praca niepublikowana).
4. Bojko I.G., Szewcow W.G., Cymbał C.M.: Siłowoje prostranstwiennoje urawnowieszywanie sznekowogo roboczego organa oczistnogo kombajna. IzWUZ, Gornyj Żurnał 1991, nr 3.
5. Brooker C.M.: Theoretical and Practical Aspects of Cutting and Loading by Shearer Drums. Colliery Guardian, January 1979.
6. Bruniany C.: Techniczne i organizacyjne uwarunkowania rekordowych wyników produkcyjnych w amerykańskich kopalniach węgla. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej '98. Szczyrk, 23÷27 lutego 1998.
7. Chadwick J.: Longwall, or not?. Mining Magazine, June 1992.
8. Chlęch J., Kozieł A., Sołtysik L.: Badania eksploatacyjne identyfikujące obciążenia maszyn w ścianach węglowych. Materiały XI Gliwickiego Sympozjum Teorii i Praktyki Procesów Przeróbczych. Gliwice 1994.
9. Chodura J: Wybrane zagadnienia z zakresu skrawalności węgli. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1992, nr 12.
10. Chodura J.: Dobór średnic i kierunków obrotu organów urabiających kombajnów ścianowych. Przegląd Górniczy 1991, nr 7.
11. Chodura J.: Analiza przydatności wyników pomiarów skrawalności węgla kamiennego. Przegląd Górniczy 1991, nr 4.
12. Chodura J.: Analiza parametrów konstrukcyjno-ruchowych organów urabiających ścianowych kombajnów węglowych. Przegląd Górniczy 1989, nr 10.
13. Chorin H.D., Modinow W.W.: Issledowania transportujuszczej sposobnosti sznekowych ispolnitielnych organow i kombajnow. Ugol Ukrainy 1969, nr 4.
14. Demoulin, Raffoux, Vidalinc: Celem – osiągnięcie 40 000 t/dobę. Górnictwo XXI wieku. Wysoka produktywność, systemy, technologie. GIG, Katowice 1990.
15. Fawcett D. H., Duncan G. R.: Wydobycie z przodków ścianowych. Obecny stan wiedzy – alternatywne kierunki na przyszłość. Górnictwo XXI wieku. Wysoka produktywność, systemy, technologie. GIG, Katowice 1990.
16. Flaga S., Krauze K., Bochenek W.: Oprogramowanie wspomagające projektowanie frezujących organów ślimakowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1997, nr 6-7.
17. Ghugh J.C.: Mechanisation and emission of methan in coal mines. Journal of Mines, Metals and Fuels, March 1977.

18. Jaszczuk M.: Ocena efektywności wykorzystania kombajnów ścianowych. Materiały konferencyjne „Nowe maszyny górnicze oraz systemy mechanizacyjne w restrukturyzacji wybierania węgla". Ustroń-Zawodzie 20÷22.05.1998.
19. Jaszczuk M.: Korekta obciążenia organów urabiających kombajnów ścianowych, cz. 1. Zmiana wartości średniej siły skrawania na nożach promieniowych wynikająca ze zmienności relacji grubości skrawu i podziałki skrawania. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1998, nr 4.
20. Jaszczuk M .:Analiza przebiegu procesu skrawania nożami promieniowymi kombajnów ścianowych, cz. 1. Teoretyczna weryfikacja zależności określającej głębokość skrawu. . Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1997, nr 9.
21. Jaszczuk M.: Określenie maksymalnej szerokości zabioru kombajnu ścianowego ze względu na warunki stropowe. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1996, nr 4.
22. Jaszczuk M.: Długość ściany jako parametr kształtujący koszt uzyskania tony węgla. Przegląd Górniczy 1995, nr 5.
23. Jaszczuk M.: Problematyka ładowania urobku organami urabiającymi ścianowych kombajnów węglowych, cz. 1. Analiza warunków pracy organu wyprzedzającego. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1995, nr 4.
24. Jaszczuk M.: Problematyka ładowania urobku organami urabiającymi ścianowych kombajnów węglowych, cz. 2. Analiza warunków pracy organu urabiającego pozostałą przy spągu warstwę węgla. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1995, nr 5.
25. Jaszczuk M.: Czynniki warunkujące uzyskanie wysokiej koncentracji produkcji. Wykłady Szkoły Eksploatacji Podziemnej: Nowoczesne techniki i technologie w podziemnej eksploatacji złóż – systemy eksploatacji węgla o dużej koncentracji wydobycia. Szczyrk 27.02÷03.03.1995.
26. Jaszczuk M.: Kombajnowe systemy mechanizacyjne. Dobór zespołu maszyn dla pokładów poziomych i słabo nachylonych. Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1224, Gliwice 1986.
27. Jaszczuk M. i inni: Badania wpływu prędkości posuwu na pobór mocy kombajnu ścianowego oraz energochłonność procesu urabiania w funkcji własności węgla i warunków zalegania pokładu. Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego nr 9 T12A 009 10. Gliwice 1998 (praca niepublikowana).
28. Jaszczuk M., Siwiec J.: Podporność wstępna obudowy zmechanizowanej jako istotny czynnik wpływający na warunki pracy przodków o wysokiej koncentracji wydobycia. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-techniczna: „Nowoczesne obudowy zmechanizowane do ścian o dużej koncentracji wydobycia w aspekcie warunków pracy i bezpieczeństwa". Szczyrk 22÷24.05.1995.
29. Jaszczuk M., Siwiec J., Sobczyk J.: Możliwość rejestracji parametrów pracy kombajnów ścianowych wyposażonych w układ sterowania MAKS -245. 12 Międzynarodowa Konferencja Automatyzacji Górnictwa ICAMC 1995. Gliwice 13÷15.09.1995.
30. Jaszczuk M., Siwiec J.: Możliwość uzyskania wysokiej koncentracji produkcji przy zastosowaniu maszyn produkcji krajowej. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1993, nr 8.
31. Jaszczuk M., Chodura J., Siwiec J.: Obliczanie parametrów pracy ścianowych maszyn urabiających. Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1785, Gliwice 1993.
32. Karbownik A., Pawełczyk E.: Podstawowe założenia i elementy reformy górnictwa węgla kamiennego w latach 1998÷2002. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1998, nr 5.

33. Klich A., Ptak J., Kostecki T., Rojek A.: Relokacja wyposażenia kompleksów ścianowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1998, nr 5.
34. Klich A., Kotwica K., Krawczyk S., Ptak J.: Zagadnienie zużycia ostrzy noży kombajnowych w zależności od temperatury i warunków skrawania skały. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1994, nr 9.
35. Korzeń Z.: Mechanika procesu przecinania ośrodka rozdrobnionego elementarnymi profilami liniowymi. Prace Naukowe IKiEM Politechniki Wrocławskiej, nr 38. Monografie nr 9. Wrocław 1981.
36. Korzeń Z.: Optymalizacja procesów skrawania gruntów nożami pałąkowymi. Archiwum Górnictwa 1982, z. 3, t. 27.
37. Korzeń Z., Lewicki M.: Obciążenia zewnętrzne narzędzi dyskowych w procesie urabiania skał twardych. Archiwum Górnictwa 1990, z. 2, t. 35.
38. Korzeń Z., Sokolski M.: Badania młotów hydraulicznych do aktywnego i udarowego wspomagania procesu roboczego narzędzi urabiających w górniczych strugach dynamicznych. Sterowanie i Napędy Hydrauliczne 1992, nr 1.
39. Kozieł A.: Przewidywanie energochłonności urabiania na podstawie określania wybranych parametrów skał. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1996 (praca niepublikowana).
40. Kozieł A.: Badania nad wyznaczeniem wskaźnika energochłonności urabiania w zależności od parametrów fizycznych i mechanicznych skał. Maszyny Górnicze, CMG Komag 1994.
41. Kozieł A., Gwiaździński S., Orchel S.: Problemy doboru parametrów eksploatacyjnych kombajnów ścianowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1996, nr 11.
42. Krauze K.: Modelowanie obciążenia zewnętrznego frezującego kombajnu ścianowego. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1997, nr 6-7.
43. Krauze K.: Teoria procesu roboczego frezujących organów ślimakowych w skałach średniozwięzłych. Rozprawy Monografie 36, Wydawnictwa AGH, Kraków 1995.
44. Krauze K.: Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych frezującego organu ślimakowego na obciążenie ścianowego kombajnu węglowego. Wydawnictwa AGH, Rozprawy, Monografie, Kraków 1994.
45. Krauze K: Objętość wewnętrzna organu a jego wydajność urabiania. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1994, nr 2.
46. Krauze K., Skrzypiec A.: Możliwości doboru i oceny organów stosowanych w kombajnach ścianowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1994, nr 2.
47. Kundel H.: Handbuch der Mechanisierung der Kohlengewinnung. Verlag Glückauf GMBH, Essen 1978.
48. Kwaśniewski M., Wang J.: Symulacja komputerowa eksploatacji pokładu węgla systemem ścianowym z zawałem stropu. III. Wpływ prędkości eksploatacji na zachowanie się górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z. 221, Gliwice 1994.
49. Lebrun M.: Analyse des facteurs influencant la marche d'une machine d'abattage a pics. Industrie Minerale – des Techniques, Mai 1983.
50. Lisowski A.: Koncentracja produkcji – trwałą szansą obniżenia kosztów w górnictwie. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej '98. Szczyrk, 23÷27 lutego 1998.
51. Ludlow J., Jankowski R. A.: Use lower shearer drum speeds to achieve deeper coal cutting. Mining Engineering, March 1984.

52. Magda R., Franik T.: Koncentracja wydobycia a koszty utrzymania wyrobisk korytarzowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1998, nr 5.
53. Magda R.: Wytyczne racjonalnego projektowania pól ścianowych. Szkoła Eksploatacji Podziemnej '94. Jastrzębie 1994.
54. Mahyera A., Lorentz J.: Polish hard coal. How can the mines improve their competitive position ? Mining Magazine, August 1997.
55. Matyja S., Krauze K.: Analiza oporów ładowania ślimakowym organem ścianowego kombajnu frezującego. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1977, nr 10.
56. Mietodika OCT 12.47.001-73: Kombajny oczistnyje. Wybor parametrow i rasczot sił rezanija i podaczi na ispolnitielnych organach. Moskwa 1973.
57. Oktaba W.: Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczalnictwa. PWN, Warszawa 1974.
58. Opolski T., Korecki Z.: Ścianowe kombajny węglowe. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1977.
59. Pańków A.: Rozwój systemów sterowania i diagnostyki kombajnów ścianowych w latach 1995-1996. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1996, nr 11.
60. Pańków A., Sobczyk J.: Układy sterowania i kontroli kombajnów ścianowych opracowane przez Centrum EMAG – stan aktualny i perspektywy. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1994, nr 10.
61. Potocki C., Chowaniec J.: Algorytm postępowania w zastosowaniu regresji krokowej przy rozwiązywaniu zagadnień inżyniersko-organizacyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z. 106, Gliwice 1980.
62. Sikora W.: Techniczne aspekty realizacji reformy górnictwa węgla kamiennego. Materiały konferencyjne: Reforma Polskiego Górnictwa Węgla Kamiennego – Szanse i Zagrożenia. Ustroń, 18-19 czerwca 1998.
63. Sikora W.: Wybrane zagadnienia rozwoju koncentracji produkcji węgla. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa1998, nr 5.
64. Sikora W.: Zapotrzebowanie mocy w przodkach ścianowych w aspekcie intensyfikacji i koncentracji produkcji. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1997, nr 1.
65. Sikora W.: Ściana o wysokiej koncentracji produkcji w perspektywie roku 2000. Wykłady Szkoły Eksploatacji Podziemnej: Nowoczesne techniki i technologie w podziemnej eksploatacji złóż – systemy eksploatacji węgla o dużej koncentracji wydobycia.. Szczyrk, 27.02÷03.03.1995.
66. Sikora W. Kidybiński A.: Wpływ łupności węgla na opór skrawania. Przegląd Górniczy 1964, nr 9.
67. Stachowicz S., Krasowski Z., Chmielewski J., Kasprzak J.: Przedsięwzięcia techniczno-organizacyjne umożliwiające uzyskanie 2 mln ton węgla rocznie ze ściany na przykładzie uwarunkowań KWK Bogdanka. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1998, nr 5.
68. Szajew L.M.: Wzaimoswiaz parametrow otbojki i pogruzki ugla sznekowych ispolnitielnych organow wyjemocznogo kombajna. Gornyj Żurnał 1979, nr 7.
69. Szuścik W., Biały W.: Analiza stosowania wskaźnika A w świetle badań laboratoryjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1020, seria Górnictwo, z. 154, Gliwice 1987.
70. Tront A.: Badania nad stosowaniem wskaźnika skrawalności dla potrzeb lokalizacji i prognozowania parametrów ścianowych maszyn urabiających w Zagłębiu Górnośląskim. Praca doktorska, Politechnika Śląska 1980 (praca niepublikowana).

71. Tsuruoka Y., Suematsu N.: Formulas to Estimate Coal output. World Mining Equipment, January 1985.
72. Vašek J., Slavik J., Gondek H.: Analiza poprawy pracy organów urabiających kombajnów chodnikowych i ścianowych przy pomocy modelowania matematycznego. Zbiór referatów XVII Sympozjonu Modelowanie w Mechanice, Wisła 1988.
73. Wilson A.H.: An alternative to the 2m prop-free-front limit. Colliery Guardian 1981, nr 5.

Wpływ stanu obciążenia kombajnu ścianowego dużej mocy na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia

Streszczenie

Uzyskanie wysokiej koncentracji wydobycia w przodku ścianowym jest jednym z podstawowych warunków powodzenia reformy górnictwa węgla kamiennego w Polsce. Wyposażenie nowoczesnych kombajnów dużej mocy w uklad automatycznego sterowania sprawia, że o wydajności kombajnu w danych warunkach eksploatacyjnych decyduje stan obciążenia zewnętrznego poszczególnych zespołów roboczych kombajnu. Stan ten, wynikający z przebiegu procesu urabiania calizny węglowej i ładowania odspojonego urobku, zależy w dużej mierze od prawidłowego zaprojektowania systemu mechanizacyjnego.

Niezwykle ważne jest zatem ustalenie wpływu stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia. Ze względu na złożoność problematyki i wielość czynników o wybitnie losowym i dyfuzyjnym charakterze wpływu przyjęto procedurę postępowania badawczego obejmującą:

- studium obciążenia zewnętrznego kombajnu przeprowadzone na podstawie wyników badań eksperymentalnych,
- analizę możliwości uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia na podstawie opracowanego modelu przebiegu procesu produkcyjnego w ścianie,
- opracowanie modeli (energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym, procesu ładowania urobku, predykcji mocy kombajnu) pozwalających na uogólnienie wniosków wynikających z badań identyfikacyjnych.

Studium identyfikacyjne przeprowadzono opierając się na zestawie charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu uzyskanych na podstawie badań eksperymentalnych zrealizowanych w 11 ścianach kompleksowo zmechanizowanych w 7 kopalniach węgla kamiennego. W dwu ścianach zakres badań był rozszerzony i obejmował wpływ zastosowania ładowarek osłonowych, ich cech konstrukcyjnych i ustawienia oraz kierunku obrotów organów urabiających na przebieg procesu ładowania urobku poszczególnymi organami. Analiza charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu pozwoliła na:

- identyfikację stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu w różnych warunkach eksploatacyjnych,
- wykazanie istotności wpływu przebiegu procesu ładowania urobku przez kombajn na stan obciążenia zewnętrznego zespołów roboczych,
- wyodrębnienie czynników kształtujących przebieg procesu ładowania urobku przez organy urabiające,
- poznanie charakteru zmian mocy, jaką zasilane są silniki w funkcji prędkości posuwu kombajnu,
- ocenę prawidłowości doboru kombajnu do danych warunków eksploatacyjnych.

Wyniki badań eksperymentalnych zostały wykorzystane w badaniach modelowych przebiegu procesu produkcyjnego w przodku ścianowym w celu ustalenia możliwości uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia zgodnie z kryteriami podanymi przez W. Sikorę. Wprowadzono wskaźnik sprawności technologii służący do ilościowej oceny wpływu zastosowanej technologii urabiania na wykorzystanie potencjału produkcyjnego ściany. Uwzględnienie w modelu czynników technicznych (teoretyczna wydajność kombajnu i stopień jej wykorzystania), organizacyjnych (rzeczywisty czas pracy maszyn w przodku) i technologicznych (przebieg operacji technologicznych przy urabianiu dwustronnym i jednostronnym) umożliwia przeprowadzenie w trakcie procesu projektowania systemu mechanizacyjnego wszechstronnej analizy w świetle kryterium celu technicznego uwzględniającego wydobycie dobowe.

Ocena zastosowania kombajnu w określonych warunkach eksploatacyjnych wymaga przeprowadzenia analizy energochłonności procesu roboczego. W pracy przedstawiono nowy teoretyczno-eksperymentalny model energochłonności procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym, który zapewnia uzyskanie reprezentatywnego dla danych warunków i stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu wskaźnika energochłonności. Analiza uzyskanych wartości wskaźnika energochłonności i stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu wykazała, że obiektywna ocena prawidłowości doboru kombajnu do warunków danego przodka ścianowego powinna uwzględniać dodatkowe czynniki. W związku z powyższym zaproponowano zestaw czterech wskaźników: energochłonności procesu urabiania, efektywności pracy kombajnu i wykorzystania mocy nominalnej oraz określono wartości progowe tych wskaźników. Dokonanie oceny prawidłowości doboru kombajnu do różnych warunków eksploatacyjnych będzie służyło lepszemu wykorzystaniu kombajnów dużej mocy w polskich kopalniach węgla kamiennego.

Opracowany nowy model teoretyczny procesu ładowania urobku węglowego przez kombajn ścianowy, który uwzględnia specyfikę przebiegu tego procesu w odniesieniu do organu wyprzedzającego i tylnego (ilość ładowanego urobku, charakter i liczba czynników wpływu), problematykę usytuowania ładowarek osłonowych, możliwość przekazania urobku pod ramieniem wychylnym kombajnu pozwala na przeprowadzenie analizy wpływu poszczególnych czynników na prędkość posuwu kombajnu. Dzięki temu istnieje możliwość doboru cech konstrukcyjnych organów urabiających, ustalenia właściwych kierunków ich obrotów oraz prawidłowego usytuowania ładowarek w aspekcie przebiegu procesu przekazywania urobku przez kombajn na przenośnik ścianowy.

Prawidłowy dobór kombajnu do określonych warunków eksploatacyjnych wymaga dysponowania modelem umożliwiającym predykcję mocy w funkcji prędkości posuwu. Badania identyfikacyjne wykazały, że charakter zmienności poboru mocy przez kombajn w funkcji prędkości posuwu nie odpowiada przebiegom otrzymywanym na podstawie dotychczas stosowanych modeli. Czynnikami wpływającym na zmniejszenie poboru mocy są zmienność relacji podziałki skrawania i grubości skrawu oraz występowanie zjawiska odspajania górnych naroży pokładu. Wprowadzenie nowej metody korekty wartości siły skrawania uwzględniającej zmienność grubości skrawu wzdłuż drogi kontaktu noża z calizną przy danej prędkości posuwu kombajnu i wysokości warstwy skrawanej doprowadziło do uzyskania zgodności charakteru zależności mocy od prędkości posuwu kombajnu wyznaczonych na podstawie modelu z uzyskanymi w trakcie badań identyfikacyjnych.

Osiągnięte cele poznawcze oraz wnioski aplikacyjne są wykorzystywane przez Zabrzańskie Zakłady Naprawcze Przemysłu Węglowego S.A. w Zabrzu i powinny przyczynić się do pełnego wykorzystania możliwości technicznych kombajnów ścianowych dużej mocy stosowanych w polskich kopalniach węgla kamiennego.

Influence of the state of external load of a heavy-duty DERDS on attainability of high concentration of extraction

Abstract

The attainment of high concentration of extraction on a longwall face is one of prerequisites successful restructuring of Poland's hard coal mining. Furnishing of modern heavy duty DERDS with automatic control systems makes that the state of external load of particular units of a shearer is decisive for the shearer's performance when operated under given mining conditions. This state being a result of the course of the process of coal body mining and of cut material loading is to considerable degree conditioned by correct designing of a mechanisation system.

Determination of the effect of the state of external load of a shearer on attainability of high concentration of extraction is also of a vital importantance. In view of the complicated character of problems dealt with and because of a great number of factors of notably random and diffusive character the research procedure has been assumed which covers:

- study on external load of a shearer carried out on the basis of results obtained from experimental tests;
- analysis of the feasibility of high concentration of extraction on the basis of the developed model of a course of the production process on a face;
- development of models (of specific energy consumption, of the process of cut coal loading, of prediction of shearer's power) allowing the conclusions arising from identification tests to be generalised.

The identification study was performed on the ground of a set of operational characteristics of a shearer obtained as a result of experimental tests carried out on 11 all-out mechanised faces in 7 coal mines. In case of two faces the range of tests was widened and covered the effect of application of powered cowls, of their design features and positioning as well as of the sense of cutting drums rotation on a run of the action of cut coal loading with particular cutting drums. Analysis of the operational characteristics of the shearer made it possible:

- to identify the state of external load of a shearer under different operating conditions,
- to indicate the vital importance of the effect of a run of the action of cut coal loading with the shearer on the state of external load of shearer's units,
- to distinguish factors decisive for a run of the action of cut coal loading with cutting drums,
- to know the character of changes in power with which motors are supplied versus haulage speed of the shearer,
- to assess the correctness of a shearer selection suitable for given operating conditions.

Results of the experimental tests have been utilized in model testing of a course of the production process on a longwall face to determine the feasibility of high concentration of extraction in conformity with criteria stated by W. Sikora. An index of technological efficiency has been introduced. This index serves for quantitative evaluation of the effect of the applied technique of mining on utilization of production potential of a face. With technical factors (theoretical performance of a shearer and degree of its utilization), organizational aspects (actual worktime of machines on a face) and technological factors (run of technological operations in the course of bi-directional and unidirectional mining) taken into account in the model it is possible to carry out a comprehensive analysis in respect of technical tasks considering a daily output in the course of designing a mechanization system.

An assessment of the application of a shearer under defined operating conditions needs carrying out of an analysis of the specific energy consumption of the production process. The paper presents a new theoretical and experimental model of specific energy consumption of the process of mining of coal-bearing rock with a shearer, which assures the obtainment of the index of specific energy consumption representative for given conditions and for the state of shearer external load. From the analysis of the obtained values of the index of specific energy consumption and of the state of shearer external load it appears that objective assessment of the correctness of a shearer selection suitable for given conditions existing on a face should take additional factors into consideration. In this connection a set of four indices has been proposed. They cover the index of energy consumption of the process of mining, index of shearer's performance and of utilization of rated power. Threshold values of the indices have been stated. The assessment of correctness of a shearer selection to suit different operating conditions will allow making better use of heavy-duty shearers in Polish coal mines.

Owing to the development of the new theoretical model of the action of cut coal loading with a shearer in which specific character of this action as related to a leading cutting drum and to a trailing one (amount of cut coal being loaded, character and number of influencing factors), problems of location of powered cowls, the possibility of transferring of cut coal under a ranging arm of a shearer are taken into account it is possible to analyse the effect of particular factors on the shearer's haulage speed. Thus, there is a possibility to select design features of cutting drums, to state proper sense of their revolution and proper location of powered cowls in aspect of a run of the process of transferring of the cut coal onto an armoured face conveyor.

A correct selection of a shearer suitable for defined operating conditions needs a model that enables prediction of power versus shearer haulage speed. The identification tests have indicated that the character of varying power consumption of a shearer versus its haulage speed does not correspond to runs obtained on the basis of models used so far. Variation of the ratio of a cutting pitch to a depth of cut and occurrence of spalling of seam top corners are factors, which have an effect on reduction of power consumption. Introducing of a new method for correction of values of a cutting force in which variation of a cut depth along a path of contact of a cutting tool with coal body at a given haulage speed and at a given height of the layer being cut is taken into account has brought about attainment of consistence of the dependence of power on shearer haulage speed determined as a result of identification tests.

The gained knowledge and drawn conclusions as regards the applicability of findings of the work are used at the Zabrze Repair Works of Coal Industry, Join Stock Company, in Zabrze and are likely to contribute to full utilization of technical potential of heavy-duty shearers being in operation in Polish coal mines.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej
P.3351/99/240
Druk: Drukarnia Gliwice, ul. Zwycięstwa 27, tel. 25[illegible]60