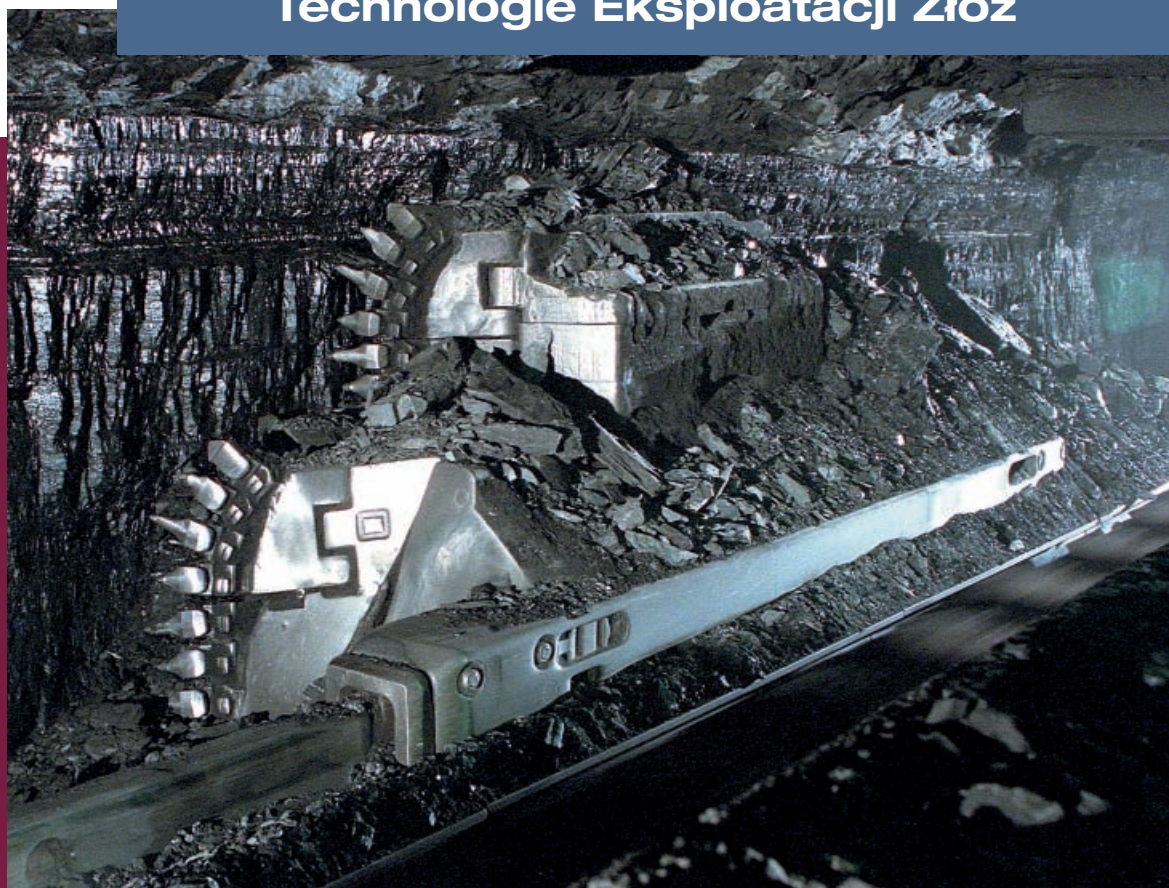


Technologie Eksploatacji Złóż



Eksploatacja ścianowa w pokładach średniej miaższości

Kompleksowe porównanie kombajnu ze strugiem węglowym

dr inż. Michał Myszkowski i dr inż. Uli Paschedag

Eksploatacja ścianowa w pokładach średniej miąższości

Kompleksowe porównanie kombajnu ze strugiem węglowym

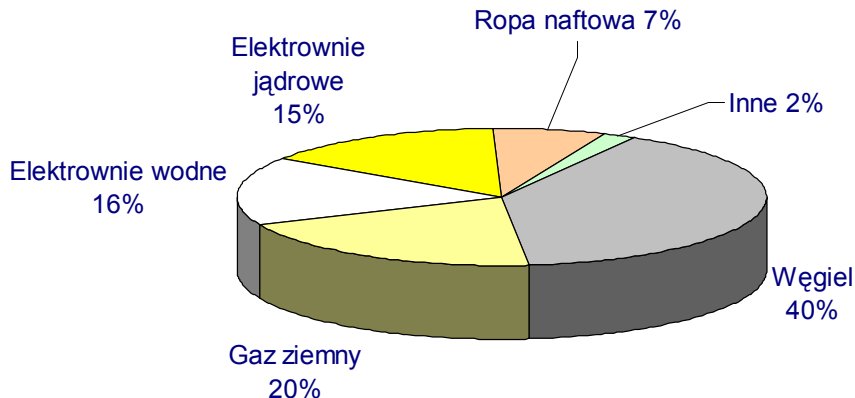
Autorzy: dr inż. Michael Myszkowski oraz dr. inż. Uli Paschedag

Spis treści:

1	Znaczenie węgla	2
2	Górnictwo podziemne w niskich pokładach	3
3	Porównanie kombajnu i struga	4
4	Aspekty technologiczne	5
4.1	Typy procedur w ścianach	5
4.2	Współczynniki wykorzystania systemu ścianowego	6
4.2.1	Współczynnik wykorzystania czasu pracy w ścianie	6
4.2.2	Współczynnik wykorzystania proceduralnego	7
4.3	Powierzchnia odsłoniętego stropu	9
4.4	Dobowy postęp ściany	10
4.5	Transport węgla	11
5	Aspekty techniczne	12
5.1	Stosowalność techniczna	12
5.1.1	Grubość pokładu	12
5.1.2	Twardość węgla	13
5.1.3	Nachylenie ściany	13
5.1.4	Urabianie w pokładach zaburzonych	13
5.1.5	Pofałdowanie pokładu	14
5.1.6	Warunki stropowe	14
5.1.7	Warunki spągowe	14
5.1.8	Wychód grubych sortymentów	15
5.1.9	Gabaryty chodników	15
5.1.10	Automatyzacja	15
5.2	Wydajność techniczna	15
5.3	Zagrożenia metanowe	20
5.4	Zagrożenia pyłowe	20
6	Aspekty ekonomiczne	21
6.1	Nakłady kapitałowe	21
6.1.1	Obudowa ścianowa	21
6.1.2	Maszyna urabiająca	22
6.1.3	Przenośnik ścianowy	22
6.1.4	Dodatkowe urządzenia ścianowe	23
6.1.5	Sumaryczne koszty wyposażenia ścianowego	23
6.2	Trwałość urządzeń	23
6.3	Koszty eksploatacji	24
6.4	Koszty produkcji węgla	25
7	Podsumowanie i wnioski	26
8	Literatura	27
9	Wykaz rysunków i ilustracji	30

1 Znaczenie węgla

Węgiel jest najważniejszym w świecie nośnikiem dla produkcji energii elektrycznej. Około 40% elektryczności produkuje obecnie świat z węgla i proporcja ta nie zmienia się istotnie w następnych dekadach, czy nam się to podoba czy nie!



Rys. 1: Struktura źródeł energii elektrycznej w świecie w roku 2005 [46]

Zasoby węgla posiadają prawie wszystkie państwa świata, przy czym zasoby operatywne dostępne są w około 70 państwach. Szacuje się, iż przy utrzymaniu obecnego poziomu produkcji udokumentowane zasoby wystarczą na 147 lat [46]. Inne źródła mówią o 200 latach i więcej [14]. Dla porównania, udokumentowane rezerwy ropy naftowej i gazu ziemnego wystarczą odpowiednio na 41 i 63 lata przy obecnym wydobywaniu. Cytując liczne źródła przy istniejącej konsumpcji udokumentowane zasoby rud uranowych wystarczą na 50 lat. Ponadto stosowanie energii atomowej limitują kwestie odnoszące się do bezpieczeństwa, w tym istotne problemy związane z utylizacją odpadów radioaktywnych. Hydroenergetyka zdaje się osiągać górny pułap swoich możliwości [5]. Wprowadzanie energii ze źródeł odnawialnych (dzisiaj około 2%) chociaż bardzo istotne, zajmie sporo czasu i nie jest w stanie w sposób znaczący zmienić w okresie kilku dekad statystyki z rys. 1. Tak więc stosownie do Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA) zapotrzebowanie na węgiel w roku 2050 będzie nawet wyższe niż obecnie.

W obliczu aspektów związanych z kwestiami środowiskowymi jak globalne ocieplenie oraz zanieczyszczenie atmosfery, produkcja energii elektrycznej z węgla musi zostać znacząco udoskonalona. Przy założeniu, iż węgiel odgrywać będzie nadal pierwszorzędą rolę w generacji energii elektrycznej i będzie istotnym źródłem w bilansie energetycznym na następne dziesięciolecia, w dalszym rozwoju energetyki na znaczeniu zyskują następujące kierunki:

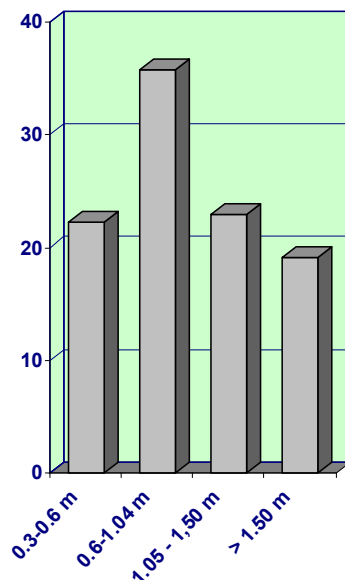
1. sprawność cieplna elektrowni węglowych musi zostać jeszcze podwyższona, przede wszystkim poprzez wprowadzenie technologii nadkrytycznych pary wodnej,
2. wprowadzanie bardziej przyjaznych środowisku naturalnemu technologii zgazowania węgla powinno być stopniowo coraz szersze,
3. oczyszczanie gazów spalinowych, mogące już obecnie osiągnąć prawie dowolny stopień, musi zostać powszechniej stosowane w energetyce,
4. wychwytywanie i geologiczne składowanie dwutlenku węgla (CCS) powinno osiągnąć w miarę szybko stopień przemysłowy.

Wszystkie wymienione przedsięwzięcia doprowadzą nieuchronnie do podwyższenia kosztów produkcji energii. Niemniej jednak, z pewnością doprowadzą one w przyszłości do produkcji czystej energii z węgla.

2 Górnictwo podziemne w niskich pokładach

Eksploracja niskich pokładów zyskuje stopniowo na znaczeniu, ponieważ pokłady grube zostały w przeszłości w wielu krajach w znaczącym stopniu wybrane. Duża część światowych rezerw węgla kamiennego zalega w pokładach niskich. Charakterystyka zasobów węgla w niemieckim Zagłębiu Ruhry przedstawiona została na rys. 2. W świetle tejże statystyki około 80% zasobów znajduje się w pokładach o miąższości mniejszej niż 1,5 m. Zasoby operatywne zalegające na głębokościach nie większych niż 1500 m stanowią około 60% całkowitych zasobów.

Podobną sytuację można spotkać w wielu innych krajach. Spodziewane jest umocnienie się trendu w Stanach Zjednoczonych do eksploatacji węgla z pokładów niższych niż 1,675 m w okresie najbliższych pięciu lat [44]. W Chinach zasoby węgla ulokowane w pokładach niższych niż 1,3 m szacowane są na 25% ogólnych rezerw węgla.



Rys. 2: Podział zasobów węgla kamiennego w Zagłębiu Ruhry

Dla minimalizacji kosztów wydobywania niezbędne jest użycie efektywnych metod eksploatacji. Istnieje kilka metod eksploatacji niskich pokładów. Obecnie najszerzej stosowane są dwie metody podziemnej eksploatacji cienkich pokładów:

- Komorowo-zabierkowa,
- Ścianowa.

Technologia komorowo-zabierkowa stosowana jest na szeroką skalę w Stanach Zjednoczonych. W metodzie tej drążona jest sieć zazwyczaj ortogonalnych chodników z pozostawionymi pomiędzy nimi filarami dla podparcia stropu i umożliwienia odpowiedniej wentylacji. Przeciętna szerokość chodników waha się pomiędzy 6 a 10 metrami, a szerokość filarów dochodzi średnio do 30 m. W trakcie wykonywania prac górniczych powstaje gęsta sieć chodników i filarów. Stosowane są dwa rodzaje metod komorowo-zabierkowych:

- Konwencjonalna,
- Ciągła.

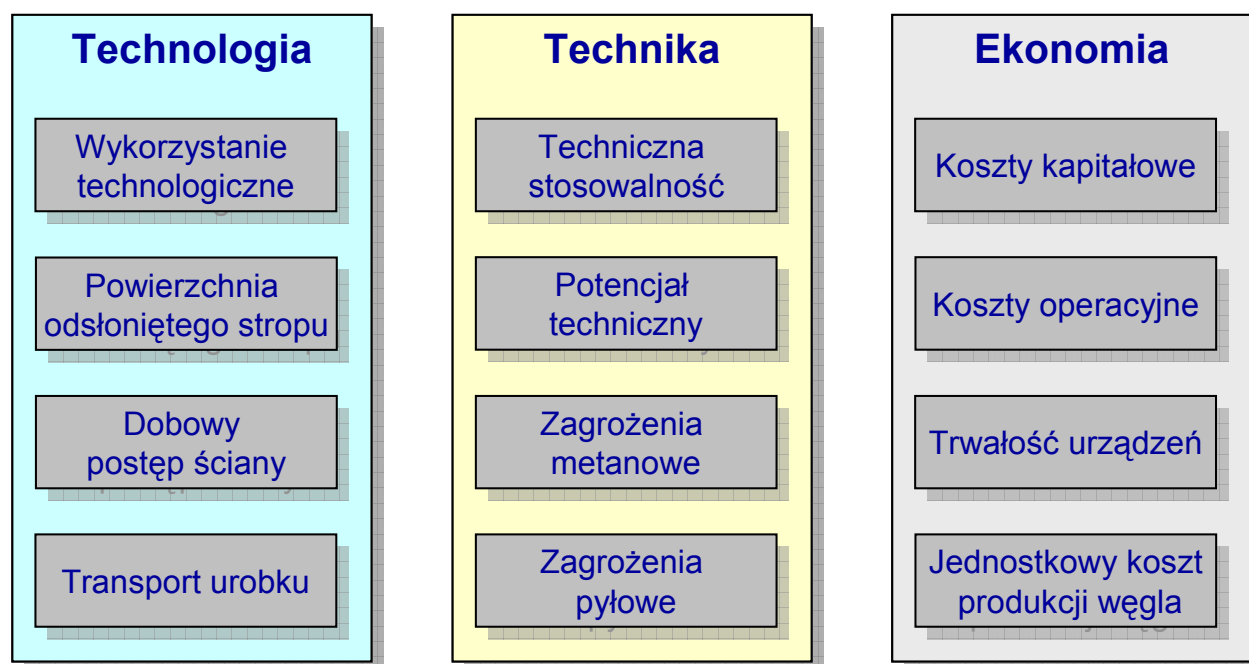
Metoda konwencjonalna jest starsza i polega na stosowaniu materiałów wybuchowych dla urabiania calizny węglowej. W metodzie ciągłej pokład urabiany jest przy stosowaniu specjalnych kombajnów chodnikowych tzw. continuous miner. Zaletą metody komorowo-zabierkowej jest jej prostota. Wadą są duże straty złoże, ponieważ około 50% zasobów pozostaje na zawsze pod ziemią.

Obok metody komorowo-zabierkowej cienkie pokłady wybiera się przy użyciu systemów ścianowych. Stosowane są zasadniczo dwa systemy ścianowe: kombajnowy bądź strugowy. W niemieckim górnictwie węgla kamiennego oba systemy stosowane są szeroko od dziesięcioleci. W tym okresie miejsce miały etapy dominacji jednego bądź drugiego systemu. W latach 50. do 80. ubiegłego wieku zdecydowanie przeważały w Niemczech systemy strugowe. W pierwszej połowie lat 90. minionego stulecia kombajny węglowe wzięły prym dzięki znacznemu wzrostowi zainstalowanej mocy w stosunku do strugów. Od tego czasu kombajny przewodzą, tendencja ta jednak się odwraca i w najbliższej przyszłości w niemieckim górnictwie strugi węglowe stosowane będą znacznie liczniej niż kombajny [11].

W dzisiejszej rzeczywistości krąży szereg obiegowych opinii (między innymi w górnictwie polskim) o niższej efektywności strugów. W wielu krajach opinie te bazują na doświadczeniach z odległej przeszłości oraz nieznanomości nowoczesnych systemów strugowych. Niniejsze opracowanie ma na celu obiektywne, przekrojowe porównanie obydwu systemów eksploatacji ścianowej, bazujące na dostępnych informacjach, danych liczbowych i doświadczeniach. Tylko takie porównanie rozpatrujące wszystkie istotne aspekty techniczne, technologiczne i ekonomiczne może udzielić obiektywnej odpowiedzi na pytanie: kombajn czy strug?

3 Porównanie kombajnu i struga

W przeszłości podejmowano różne próby sprowadzenia obydwu technologii do wspólnego mianownika. W większości przypadków rozpatrywano je jednak tylko częściowo. Najczęściej porównywano pewne aspekty techniczne kombajnów i strugów, a czasem brano pod uwagę również zagadnienia technologiczne.



Rys. 3: Poziomy porównania technologii kombajnowej i strugowej

Trudno znaleźć w literaturze analizę przekrojową. Wyczerpujące porównanie pomiędzy technologiami ma jednak sens tylko w przypadku, gdy analiza jest całościowa, tzn. wtedy, gdy bierze ona pod uwagę wszystkie istotne aspekty techniczne, technologiczne i ekonomiczne.

Poniżej zawarto kompendium zestawiające wyniki obszernego badania porównującego kombajny i strugi na różnych poziomach.

4 Aspekty technologiczne

Z technologicznego (proceduralnego) punktu widzenia, najważniejsze dla wydajności ściany są dwa czynniki, czyli po pierwsze „Współczynnik wykorzystania czasu” (TUD), a po drugie „Współczynnik wykorzystania proceduralnego” (PUD). Dalsze ważne parametry powiązane z TUD i PUD i opisujące wydajność organizacyjną i technologiczną to „powierzchnia odsłoniętego stropu” oraz „dobowy postęp ściany”. Ważną rolę w niektórych przypadkach odgrywa również „równomierność strugi węgla” wychodzącej ze ściany.

4.1 Typy procedur w ścianach

Zarówno dla ścian urabianych kombajnem, jak i dla urabianych strugiem, istnieje szereg różnych procedur, tj. sekwencji urabiania. Zależą one od następujących czynników:

- prędkość urabiania kombajnu lub struga w ruchu do napędu zwrotnego i głównego,
- głębokość zabioru kombajnu lub struga w ruchu do napędu zwrotnego i głównego,
- prędkość przenośnika ścianowego podczas ruchu kombajnu lub struga do napędu zwrotnego lub do napędu głównego.

Procedury te mogą ogólnie zostać poselekcjonowane w następujący sposób:

Dla kombajnu:

- Dwukierunkowe urabianie. Kombajn urabia pokład w obu kierunkach z dwoma zawrębieniami na końcówkach ściany w pełnym cyklu.
- Jednokierunkowe urabianie. Kombajn skrawa węgiel tylko w jednym kierunku. W przeciwnym kierunku następuje jedynie załadunek węgla. Zawrębienie ma miejsce tylko jeden raz.
- Urabianie na połowę skrawu. Kombajn urabia ocios na głębokość połowy głębokości skrawu, pełny skraw następuje tylko na końcówkach ściany w celu uniknięcia zawrębienia.
- Urabianie z częściowym otwarciem ociosu. Kombajn urabia ocios z pełną głębokością zabioru. W jednym kierunku urabia warstwę przystropową a w drugim przyspagową. Zawrębienie następuje w środku ściany.

Kombajny z reguły urabiają caliznę na pełną bądź na połowę głębokości skrawu. Strumień urobku regulowany jest prędkością marszową kombajnu.

Dla struga:

- Procedura konwencjonalna. Strug urabia w obydwu kierunkach z prędkością mniejszą niż prędkość przenośnika ścianowego przy stosunkowo dużej głębokości skrawu.
- Procedura kombinacyjna. Strug urabia przy skrawie do napędu pomocniczego z prędkością porównywalną z prędkością przenośnika ścianowego a przy skrawie

do napędu głównego z prędkością o połowę mniejszą niż prędkość przenośnika ścianowego.

- Procedura wyprzedzająca. Strug urabia w obydwu kierunkach z prędkością większą niż prędkość przenośnika ścianowego przy stosunkowo niewielkiej głębokości skrawu.

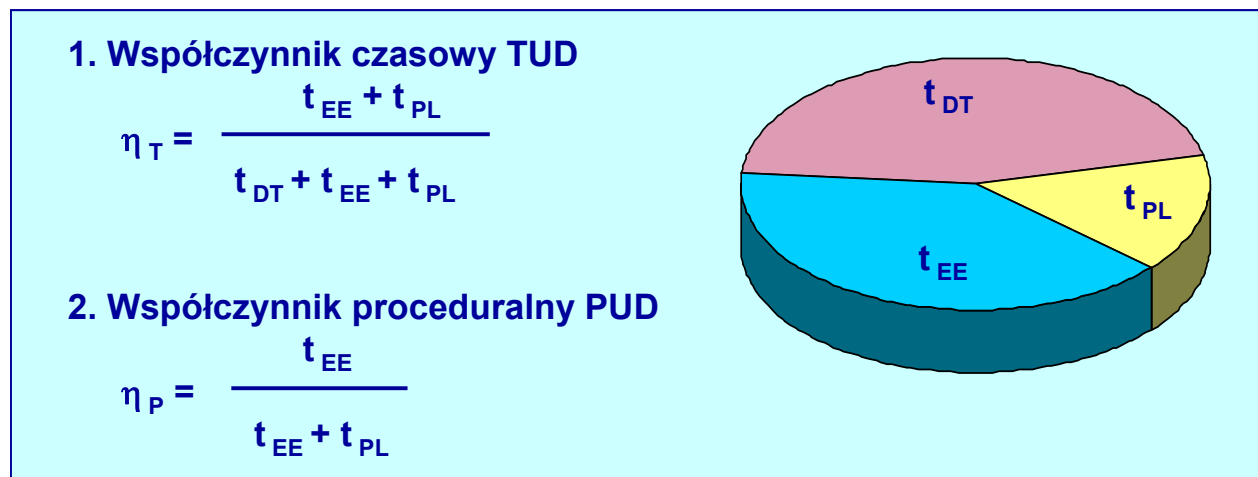
Strugi urabiają ocios w obydwu kierunkach, jednak głębokość urabiania może być inna w każdym z kierunków (dzięki nowoczesnym układom sterowania) w celu optymalizacji proceduralnej. Strumień urobku może być regulowany poprzez ustawienie wymaganej prędkości struga i (lub) głębokości urabiania. Gdy sytuacja na to pozwala, eksploatację można prowadzić bez powtórnego skrawania końcówek ścian poprzez stosowanie podwójnej głębokości urabiania (tzw. procedury „double-cut”) na obydwu końcówkach.

4.2 Współczynniki wykorzystania systemu ścianowego

Istnieją dwa stopnie wykorzystania związane z aspektami organizacyjnymi i technologicznymi:

- współczynnik TUD wykorzystania czasu pobytu załogi w ścianie,
- współczynnik PUD wykorzystania proceduralnego.

Wykres kołowy pokazany na rys. 4 przedstawia całkowity czas pracy załogi w ścianie. Czas ten może odnosić się do pojedynczej zmiany, lub też, jak to najczęściej bywa, do całego dnia roboczego. Jest to zatem czas, w którym ściana teoretycznie może być aktywnie eksploatowana.



Rys. 4: Współczynniki proceduralno-organizacyjne w ścianach
gdzie:

- t_{EE} - rzeczywisty czas wydobywania [min/d],
- t_{DT} - przerwy i przestoje [min/d],
- t_{PL} - straty proceduralne [min/d],
- η_P - współczynnik wykorzystania proceduralnego PUD [-],
- η_T - współczynnik wykorzystania czasu TUD [-].

4.2.1 Współczynnik wykorzystania czasu pracy w ścianie

Współczynnik wykorzystania czasu pobytu załogi w ścianie stanowi stosunek łącznego czasu pracy (ruchu) kombajnu lub struga odniesionego do czasu pracy jednej zmiany lub jednej doby. TUD dla jednej doby wyrażony w procentach określony jest następującym wzorem:

$$\eta_T = \frac{t_{RT}}{t_{OT}} * 100 \quad (1)$$

gdzie:

- t_{RT} - sumaryczny czas ruchu kombajnu lub struga w ciągu jednej doby [min/d],
- t_{OT} - dobowy czas pobytu załogi w ścianie [min/d],
- η_T - współczynnik wykorzystania czasu [%].

Poza planowaną konserwacją lub specjalnymi działaniami o charakterze innym niż produkcyjny, cały pozostały czas, gdy załoga jest obecna w ścianie, może być potencjalnie wykorzystany do aktywnego urabiania. Taka sytuacja występuje bardzo rzadko. W praktyce prawie zawsze mają miejsce jakieś przerwy w produkcji. Takie przerwy mogą być spowodowane przez:

- przyczyny wewnętrzne, takie jak czynności wymagające wstrzymania produkcji, postoje wynikające z konieczności kruszenia kęsów, wyłączenia spowodowane obecnością metanu, uszkodzenia sprzętu, wypadków, itp.
- przyczyny zewnętrzne, tj. uwarunkowane czynnikami spoza obrębu ściany, takie jak zatrzymania odstawy urobku, przerwy w dostawie energii elektrycznej lub zasilaniu hydraulicznym, zakłócenia komunikacyjne, itp.

Wartość TUD może być bardzo zróżnicowana. Przeciętnie TUD w ścianach waha się pomiędzy 40% i 70% [18], [36], [39]. Najniższa średnia wartość TUD podawana w różnych źródłach wynosi 30% [39], a najwyższa – ponad 90% [26], [29].

W przeszłości w niemieckich kopalniach węgla wartość TUD w przeciętnej ścianie urabianej kombajnem była nieznacznie wyższa niż w przeciętnej ścianie urabianej strugiem. Związane było to przede wszystkim z prowadzeniem robót na skrzyżowaniu ściany z chodnikiem. Ponieważ cykl struga trwa znacznie krócej niż cykl kombajnu, pewne czasochłonne prace na skrzyżowaniach powodowały przerwy w produkcji. Takiej tendencji nie potwierdzają badania w najwyżej wydajnych ścianach urabianych strugiem lub kombajnem, gdzie nie stwierdzono dużej różnicy w TUD.

4.2.2 Współczynnik wykorzystania proceduralnego

Współczynnik wykorzystania proceduralnego opisuje zakres wykorzystania urządzeń produkcyjnych w ścianie. PUD określa równoważny fragment czasu działania maszyny, podczas gdy kombajn lub strug pracują z nominalną głębokością urabiania i z nominalną prędkością.

Dobór optymalnej procedury odgrywa kluczowe znaczenie dla późniejszej zdolności wydobywczej projektowanej ściany. To twierdzenie odnosi się zarówno do ścian kombajnowych jak i strugowych.

Zarówno kombajn jak i strug pracują efektywnie czyli z nominalną głębokością urabiania i z nominalną prędkością tylko w części czasu pracy załogi w ścianie. W pozostałym czasie pracują z mniejszą prędkością lub głębokością zabioru bądź chwilowo stoją w przerwach technologicznych takich jak:

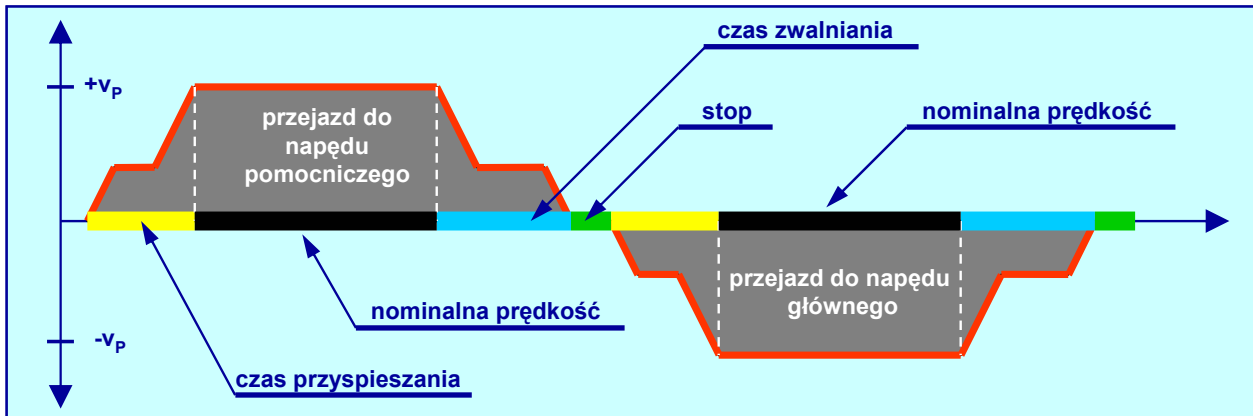
- urabiania na połowę głębokości zabioru,
- ładowania węgla podczas jazdy powrotnej w „procedurze jednokierunkowej”,
- przyspieszenia na początku ruchu w stronę przeciwnego napędu,
- zwalniania podczas dojeżdżania do napędu,
- ruchu bez urabiania ściany po zmianie kierunku,
- zawrębiania,



- opuszczania lub podnoszenia ramion urabiających, obracania ładówek.

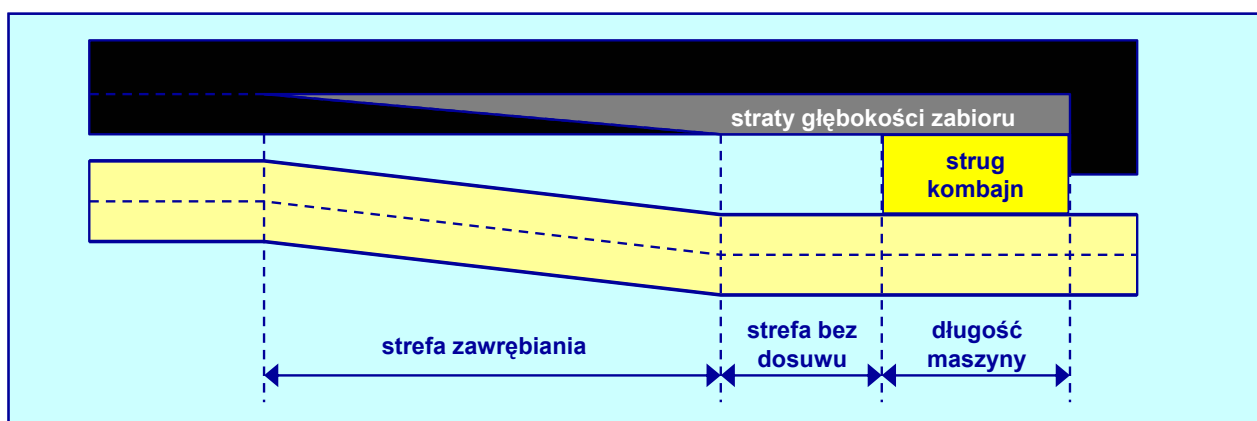
Straty proceduralne można podzielić na następujące:

- straty wynikające ze spadku prędkości,
- straty związane ze zmniejszeniem głębokości urabiania.



Rys. 5: Straty wynikające ze spadku prędkości

Rys. 5 prezentuje mechanizm powstawania strat czasowych w sytuacji gdy urabianie odbywa się ze zmniejszoną prędkością oraz w przypadku krótkich przerw uwarunkowanych technologicznie. Tak więc kombajn czy strug po uruchomieniu potrzebuje pewnego czasu dla osiągnięcia swojej prędkości nominalnej. Strugi z silnikami dwubiegowymi załączane są najpierw na biegu wolnym a po krótkim okresie przełączane na bieg szybki. Tak więc dopiero po przyspieszeniu na bieg szybki, strug osiąga swą docelową prędkość. Przy dojeżdżaniu do przeciwnego końca ściany sytuacja odwraca się, szybkość zostaje zmniejszona i kombajn czy strug pokonuje wolno ostatnie metry aż do jego zatrzymania na napędzie. Po krótkiej przerwie w przypadku struga bądź nieco dłuższej dla kombajnu, związanej z opuszczeniem lub podniesieniem ramion urabiających oraz obróceniem ładowarek, rusza w kierunku przeciwnym zaczynając jak poprzednio od przyspieszenia.



Rys. 6: Straty wynikające ze zmniejszonej głębokości urabiania

Rys. 6 uwidacznia genezę strat związanych ze zmniejszoną głębokością urabiania. Przenośnik ścianowy zostaje przesunięty dopiero po pewnym dystansie za kombajnem bądź strugiem. W przypadku zmiany kierunku ruchu w ścianie kombajn czy strug nie skrawają więc na tym odcinku, a następnie na odcinku zawrębiania urabiają średnio tylko na połowę nominalnej głębokości skrawania. Dopiero po

przejechaniu odcinka zawrębiania, ocios urabiany jest na pełną głębokość skrawu. Sytuacja ta powtarza się po każdej zmianie kierunku ruchu urabiania w ścianie.

Oprócz strat opisanych powyżej, wszystkie sytuacje, w których zredukowana jest nominalna głębokość zabioru, zaliczane są do tej kategorii strat proceduralnych. Tak więc w przypadku urabiania na 50% głębokości zabioru bądź w przypadku procedury z urabianiem jednokierunkowym wynikłe straty kwalifikowane są do w/w kategorii.

Obydwa typy strat proceduralnych odnoszące się do równoważnego czasu wydobywania z nominalną prędkością i nominalnym zabiosem składają się na stopień wykorzystania proceduralnego. W ten sposób wartość PUD nigdy nie może osiągnąć 100%, ponieważ nawet w najlepszej z możliwych sytuacji zarówno strug, jak i kombajn muszą zmienić kierunek ruchu na końcówkach ściany.

PUD można łatwo określić, jeżeli znany jest dobowy czas działania kombajnu i struga oraz dobowy postęp. Biorąc pod uwagę nominalną prędkość i głębokość urabiania, można zastosować następujący wzór:

$$\eta_P = \frac{l_F * l_A}{\Delta_W * v_E * t_D * 60} * 100 \quad (2)$$

gdzie:

- l_F - długość ściany [m],
- l_A - dobowy postęp ściany [m/d],
- Δ_W - nominalna głębokość urabiania (zabior) [m],
- v_E - nominalna prędkość urabiania [m/s],
- t_D - całkowity dobowy czas działania struga lub kombajnu [min/d],
- η_P - współczynnik wykorzystania proceduralnego (PUD) [%].

PUD różni się w znacznym stopniu dla ścian urabianych kombajnem i strugiem. Z doświadczenia znane są następujące wartości PUD:

- dla kombajnów: pomiędzy 20% i 75% [16], [17], [26], [38],
- dla strugów: pomiędzy 40% i 95% [23], [24], [30].

Zgodnie z podaną wyżej statystyką, wartości PUD dla ścian urabianych strugami są wyższe niż w przypadku stosowania kombajnów. Najniższe PUD dla kombajnów występują w przypadku procedur „dwukierunkowych”, a najwyższe w przypadku zastosowania „urabiania na połowę głębokości zabioru” [4], [26], [35]. W przypadku strugów, najniższe wartości PUD występują w przypadku urabiania odcinkowego, a najwyższe w przypadku urabiania od napędu do napędu z „podwójnym urabianiem” na każdej końcówce ściany. W ten sposób, podobnie jak w przypadku procedury „urabiania na połowę głębokości zabioru” w przypadku kombajnów, strug unika podwójnej zmiany kierunku w ścianie, maksymalizując w ten sposób wartość PUD.

4.3 Powierzchnia odsłoniętego stropu

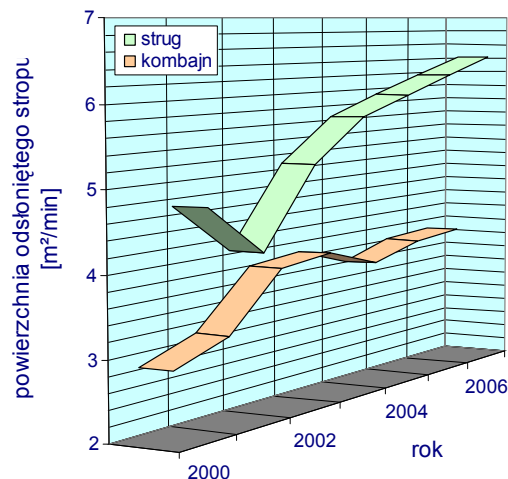
Powierzchnia odsłoniętego stropu to istotny czynnik opisujący wydajność urabiania w systemie ścianowym. Wskaźnik ten opisuje urobiony obszar spągu lub stropu w danym czasie. Powierzchnię odsłoniętego stropu można odnieść do czasu pracy maszyny urabiającej bądź do czasu pobytu załogi w ścianie i zazwyczaj podaje się ją w m²/min. Powierzchnię odsłoniętego stropu odniesioną do czasu pracy maszyny urabiającej określa następujący wzór:

$$\dot{A} = \Delta_W * v_E * \eta_P * 60 = \frac{l_E * l_A}{t_D} \quad (3)$$

gdzie:

$\dot{A}$ - powierzchnia odsłoniętego stropu [m^2/min].

W oparciu o niemieckie doświadczenia i statystyki, powierzchnia odsłoniętego stropu w odniesieniu do czasu pracy maszyny urabiającej jest zasadniczo wyższa w przypadku ścian urabianych strugami, niż tych, w których wykorzystywane są kombajny. W obszernych badaniach przeprowadzonych w Niemczech w 75 ścianach na przestrzeni czterech lat, powierzchnia odsłoniętego stropu w ścianach urabianych strugami była 58% wyższa niż w ścianach urabianych kombajnami [37].



Rys. 7: Powierzchnia odsłoniętego stropu w ścianach kombajnowych i strugowych¹

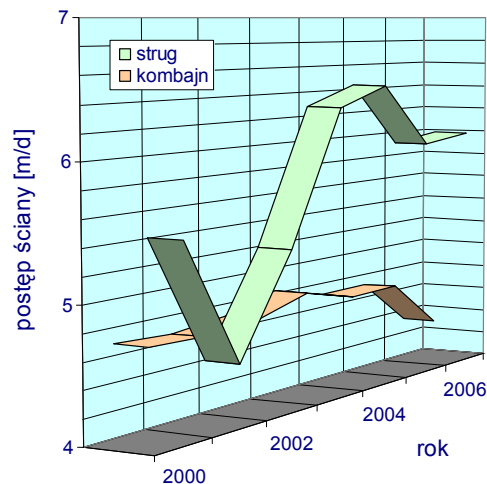
Tendencja ta daje się zaobserwować również obecnie [42]. Rys. 7 prezentuje przebieg średniej powierzchni odsłoniętego stropu w ścianach strugowych i kombajnowych Zagłębia Ruhry.

4.4 Dobowy postęp ściany

Porównanie dobowego postępu ściany w Niemczech w ścianach urabianych strugami i kombajnami zazwyczaj wypada na korzyść tych pierwszych. Według RAG (RAG Deutsche Steinkohle), ściany urabiane strugami wykazują dobowy postęp ściany wyższy średnio o 20% do 40%.

Wykres na rys. 8 pokazuje rozwój średniego dobowego postępu ścian strugowych i kombajnowych w niemieckim górnictwie węglowym w obecnym dziesięcioleciu.

¹ Źródło RAG DSK



Rys. 8: Dobowy postęp ścian urabianych strugami i kombajnami w Niemczech²

4.5 Transport węgla

Strumień urobku wychodzący ze ściany odgrywa istotną rolę w sytuacji, gdy przepustowość transportowa systemu odstawy urobku jest ograniczona. Taka sytuacja może mieć miejsce, jeżeli pewna liczba strug węgla (np. z różnych ścian) łączy się na jednym przenośniku taśmowym. Nałożenie się szczytowych nadaw może spowodować przeładowanie bądź przeciążenie przenośników odstawy. Tego rodzaju ograniczenia występowały w przeszłości w niemieckim przemyśle wydobywczym.

Strumień urobku wychodzący ze ściany zależy w dużym stopniu od zastosowanej technologii tzn. typu procedury. Kombajn zawsze generuje w pewnym stopniu nierówny strumień urobku na przeciwnych kierunkach urabiania oraz przy założeniu niezmiennego zabioru i niezmienniej prędkości posuwu. Kombajn węglowy urabiający w kierunku do napędu pomocniczego odkłada stosunkowo niewielką warstwę na przenośniku ścianowym. Spowodowane jest to z jednej strony większą prędkością kombajnu w stosunku do przenośnika w porównaniu z kierunkiem przeciwnym a z drugiej strony ograniczonym prześwitem przenośnika ścianowego pod kombajnem. Kombajn poruszający się do napędu głównego odkłada odpowiednio grubszą warstwę urobku na przenośniku ścianowym. W przypadku urabiania jednokierunkowego okresy z załadowanym przenośnikiem przeplatane są okresami bez załadunku.

Dla ścian strugowych strumień urobku wychodzący ze ściany również zależy od typu procedury. W przypadku ścian urabianych strugiem istnieje możliwość takiego doboru technologii, aby uzyskać stały strumień urobku. Przy zastosowaniu procedury kombinacyjnej bądź wyprzedzającej, można uzyskać równomierny strumień urobku poprzez odpowiedni wybór głębokości zabioru struga w obydwu kierunkach. Dla procedury wyprzedzającej przy stosunku prędkości struga 3 razy większej niż prędkość przenośnika ścianowego i takiej samej głębokości zabioru w obydwu kierunkach urabiania, uzyskuje się również stały wychód urobku ze ściany. Przy procedurze wyprzedzającej istotne jest jednak urabianie od napędu do napędu, ponieważ przy urabianiu odcinkowym dochodzi do dużych nierówności strumienia urobku.

² Źródło RAG DSK

5 Aspekty techniczne

Techniczne aspekty obydwu technologii urabiania w systemie ścianowym skupiają się wokół kwestii możliwości ich zastosowania oraz głównych cech związanych z wykorzystaniem w górnictwie podziemnym, gdzie wybieranie prowadzone jest w systemie ścianowym.

5.1 Stosowalność techniczna

Techniczna możliwość stosowania danej technologii to istotna kwestia przy doborze metody urabiania. W kategorii tej bierze się pod uwagę istotne aspekty geologiczne (łącznie z tektoniką i stratygrafią) oraz eksploatacyjne.

Aspekt		Kombajn	Strug
1. Miąższość pokładu		1,5 m do 6,0 m	0,6 m do 2,3 m
2. Twardość węgla		obydwa rodzaje eksploatacji ścianowej są porównywalne ³	
3. Nachylenie	poprzeczne	do 20°	do 45°
	podłużne	w górę do 20°, w dół do 20°	w górę do 45°, w dół do 20°
4. Urabianie zaburzeń		obydwa rodzaje eksploatacji ścianowej są porównywalne ³	
5. Pofałdowanie pokładu		strugi radzą sobie z pofałdowaniem pokładu lepiej niż kombajny	
6. Warunki stropowe		przy kruchym stropie może dochodzić do jego opadów	mniejsza głębokość zabioru pozwala na operację przy kruchym stropie
7. Warunki spągowe		zakres stosowalności obydwu systemów jest porównywalny - kombajny używają base-lift, strugi stosują metodę zwaną „krokiem słonia” do pracy w miękkim spągu	
8. Wychód sortymentów		kombajny produkują więcej mialu	strugi dają grubsze sortymenty
9. Gabaryty chodników		napędy pomocnicze leżą w ścianie	strugi wymagają szerokich chodników ⁴
10. Automatyzacja		ściany kombajnowe nie są jeszcze w pełni zautomatyzowane	systeme strugowe Bucyrus są zdolne do pracy w trybie automatycznym

Rys. 9: Czynniki determinujące możliwość zastosowania kombajnu czy struga

Aspekty wymienione na rys. 9 zostały przedyskutowane szczegółowo w dalszych rozdziałach.

5.1.1 Grubość pokładu

Kombajny stosowane są zazwyczaj wtedy, gdy grubość pokładu wynosi pomiędzy 1,5 a 6,0 m. W przeszłości podjęto wiele nieudanych prób ekonomicznie opłacalnego wykorzystania kombajnów w pokładach o grubości mniejszej niż 1,5 m. Spowodowane to było głównie stosunkowo niską mocą zainstalowaną na organach, trudnościami związanymi z eksploatacją w ograniczonej przestrzeni oraz utrudnionym ładowaniem. W wielu przypadkach wysokość urabiania kombajnu przekraczała grubość pokładu, ponieważ kombajn urabiał dodatkowo spąg i (lub) strop, zwiększając zawartość skały w urobku a tym samym koszty produkcji. W pokładach o zmiennej grubości kombajny mogą jednak łatwo dostosować wysokość urabiania.

Strugi pracują w pokładach o grubości 0,6 m do 2,3 m. W przeszłości w Niemczech strugi stosowane były w pokładach do wysokości 3 m. Ogólnie rzecz biorąc, w pokładach poniżej 1 m stosowane są strugi z płytą denną (mieczowe), a w pokładach

³ Aplikacja systemu strugowego GH1600 z 1,6 MW mocy nominalnej

⁴ Nie odnosi się do systemów strugowych tylko z jedną stacją napędową ulokowaną na napędzie głównym

grubszych niż 1 m – strugi ślizgowe. Dzięki temu, że strugi są niższe niż kombajny, mogą pracować w pokładzie, czyli wydobywać węgiel bez konieczności urabiania otaczającej skały. Pokłady o zmiennej grubości nie stanowią zazwyczaj dla strugów problemu, ponieważ w większości przypadków węgiel łatwo oddziela się od stropu i nie zachodzi potrzeba skrawania całej wysokości pokładu. W sytuacji koniecznej wysokość głowicy struga może również być łatwo zmieniana.

5.1.2 Twardość węgla

Kombajny mogą pracować w pokładach miękkiego i twardego węgla. W miarę wzrastania twardości węgla, właściwa energia urabiania (tj. energia potrzebna do wydobywania 1 m³ węgla) również się zwiększa.

Strugi w przeszłości wykorzystywane były do wybierania miękkich pokładów węglowych. Głównym tego powodem była mniejsza moc zainstalowana na kompleksach strugowych oraz trudności związane jej pełnym wykorzystaniem. Sytuacja uległa znacznej poprawie w ciągu ostatniej dekady ze względu na następujące kwestie:

- wdrożenie mikroprocesorów stanowiło przełom dla techniki strugowej. Dozowane przesuwanie przenośnika ścianowego umożliwia obecnie ustawienie głębokości urabiania z dużą precyzją, a zatem również wyeliminowanie przypadków blokowania głowicy struga, które wcześniej były częste.
- ograniczono znacznie występowanie zerwań łańcucha poprzez wdrożenie skutecznych układów zapobiegających przekroczeniu nastawionego momentu obrotowego stacji napędowych.
- zainstalowana moc systemów strugowych ulegała stałemu zwiększaniu. Obecne systemy te dysponują mocą wynoszącą nawet 1,6 MW.
- silniki z przemiennikami częstotliwości pozwalają na płynną regulację prędkości głowicy strugowej; w połączeniu z silnikami przenośników ścianowych tego samego rodzaju pozwalają one na optymalizację technologii w ścianach urabianych strugami.

Dzięki wyżej wymienionym cechom nowoczesne systemy strugowe są w stanie urabiać pokłady węgla o tej samej twardości co kombajny.

5.1.3 Nachylenie ściany

Kombajny mogą pracować w ścianach o nachyleniu podłużnym i poprzecznym wynoszącym do 20°. Jedynie kombajny o specjalnej konstrukcji są w stanie pracować w ścianach o większym nachyleniu.

Strugi mogą pracować w ścianach o nachyleniu podłużnym wynoszącym do 45° i nachyleniu poprzecznym do 45° po wzniesieniu i do 20° po upadzie. W przeszłości urabiano przy pomocy techniki strugowej ściany o nachyleniu podłużnym do 60°.

5.1.4 Urabianie w pokładach zaburzonych

Kombajny są w stanie urabiać skałę zmniejszając prędkość posuwu, chociaż w takiej sytuacji pobór energii na urobienie jednego metra sześciennego wzrasta w dużym stopniu oraz wytwarzana jest duża ilość drobnego pyłu węglowego i kamiennego.

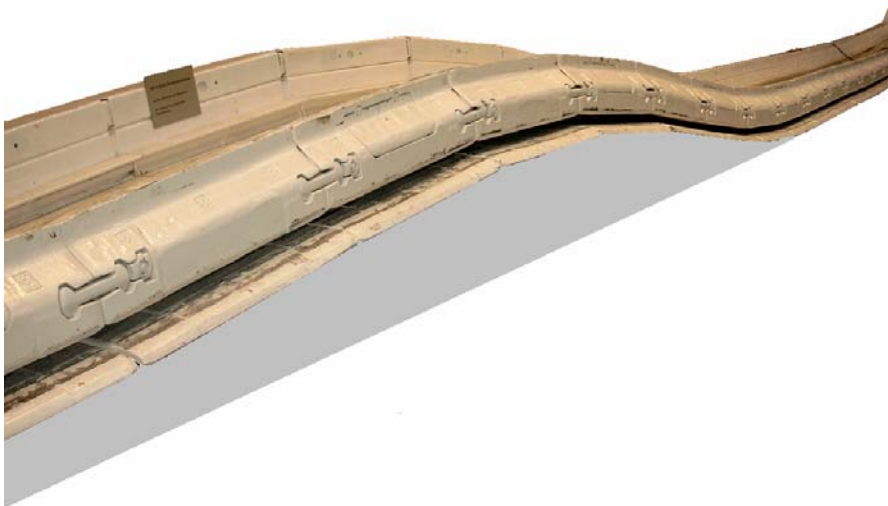
Strugi w przeszłości z trudem pokonywały uskoki, ponieważ możliwości nastawiania głębokości urabiania oraz regulacji prędkości struga były w konwencjonalnych systemach strugowych ograniczone. Prędkość struga mogła być zredukowana jedynie do 50% bądź do 33% prędkości nominalnej. Uzyskiwanie precyzyjnej głębokości zabioru było bardzo trudne i stały zabiór udawało się realizować w praktyce rzadko.

Nowoczesny system strugowy wyposażony w możliwość dozowanego przesuwania przenośnika ścianowego oraz w napędy z silnikami z przemiennikami częstotliwości (VFD) posiada znacznie większą moc zainstalowaną niż systemy strugowe w przeszłości, i jest w stanie ustawiać precyzyjnie pożądaną wartość zarówno zabioru jak i prędkości głowicy strugowej. Nowoczesne strugi mogą zatem pokonywać uskoki równie skutecznie jak kombajny węglowe. Na przykład w kopalni Ibbenbüren w Niemczech, pracujący tam system strugowy urabiał na pełnej wysokości ściany skałę o wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe wynoszącej ok. 60 MPa, przechodząc przez uskok ze znacznym zrzutem [1].

5.1.5 Pofałdowanie pokładu

Kombajny mają znacznie dłuższe kadłuby niż głowice strugowe a rynny przenośnika ścianowego w ścianach kombajnowych uzyskują wychylenie pionowe do $\pm 3^\circ$.

Głowice strugów są znacznie krótsze niż kadłuby kombajnów, a prowadnice i rynny przenośnika ścianowego mogą odchylać się w pionie do $\pm 6^\circ$. Strugi radzą sobie zatem lepiej z pofałdowaniami ściany [32].



Rys. 10: Pionowe wychylenie prowadników struga

5.1.6 Warunki stropowe

Kombajny mogą łatwo operować, jeżeli otwarty strop jest dostatecznie wytrzymały aby utrzymać się bez podparcia. W przypadku stropów skłonnych do opadania sekcje obudowy muszą być przesuwane natychmiast po przejeździe kombajnu w celu uniknięcia obwałów.

Strugi lepiej radzą sobie z kontrolą stropu w przypadku stropów kruchych poprzez schodkowe ustawienie sekcji obudowy w ścianie oraz jeśli zachodzi potrzeba ograniczenie kroku postępujących sekcji, zmniejszając tym samym powierzchnię otwartego stropu [32].

5.1.7 Warunki spągowe

Zarówno ściany urabiane kombajnem, jak i strugiem dają się łatwiej prowadzić w warunkach związłego spągu. Jeśli spąg jest słaby, więcej uwagi trzeba poświęcić kontroli wysokości podczas wybierania.

Jeżeli chodzi o obudowę ścianową, problemy związane z miękkim spągiem można rozwiązać stosując urządzenie do podnoszenia obydwu spągnic w ścianach urabianych kombajnem (poprzez siłownik zwany „base lift”) lub podnosząc jedną ze

spagnic (tzw. „elephant step”) podczas przesuwania sekcji w ścianach urabianych strugiem. Obie technologie urabiania mogą więc z punktu widzenia warunków spagowych w ścianie być traktowane jako równorzędne.

5.1.8 Wychód grubych sortymentów

Kombajny w trakcie eksploatacji kruszą silnie i mielő węgiel oraz otaczającą skałę. Jest to nieuchronną konsekwencją wykorzystania noży ulokowanych na obracających się organach kombajnów urabiających z założenia ze zmienną głębokością zabioru. W ten sposób węgiel ulega silnemu skruszeniu w porównaniu z węglem uzyskanym przy urabianiu strugiem [20].

Strugi, ze względu na to, że urabiają ze stałą i stosunkowo dużą głębokością zabioru, uzyskują znacznie większy wychód grubszych sortymentów [32], co zmniejsza koszty późniejszej obróbki bądź pozwala na uzyskanie wyższej ceny za tonę.

5.1.9 Gabaryty chodników

Kombajny i strugi w wysokowydajnych ścianach wymagają chodników o odpowiednich rozmiarach. Zazwyczaj minimalna szerokość chodnika wynosi 4–5 m, a minimalna wysokość 2 m.

Strugowe ściany wyposażone na ogół w napęd zwrotny zarówno dla przenośnika ścianowego, jak i dla struga, zlokalizowany w chodniku przyścianowym. Rozmiary chodnika zależą zatem od rozmiaru napędów. Opracowywana jest eksploatacja struga wyłącznie z pojedynczym, dużym napędem głównym.

5.1.10 Automatyzacja

W kombajnach stosuje się w ostatnich latach technikę pozwalającą na zapamiętanie geometrii ściany dla automatycznego dostosowania położenia ramion organów urabiających w następnych skrawach. Nawet najnowocześniejsze kombajny wymagają jednak ciągłej kontroli. Prędkość posuwu jest zatem ograniczona, ponieważ operatorzy muszą poruszać się wraz z kombajnem. Autorzy zakładają, że kombajny będą wymagać bezpośredniej obsługi również w przyszłości, nawet jeśli technika poczyni dalsze postępy.

Strugi działają automatycznie już od wielu lat. Załoga kontroluje okresowo urządzenia w ścianie, po czym system strugowy operuje automatycznie. W niektórych ścianach załozde wręcz nie wolno przebywać w ścianie podczas eksploatacji, zatem strug pracuje w dłuższych okresach czasu sterowany zdalnie z powierzchni bez ingerencji załogi w ścianie.

5.2 Potencjał techniczny

Techniczny potencjał eksploatacyjny kombajnów i strugów pracujących w określonych warunkach w pokładach podziemnych zależy zasadniczo od następujących czynników:

- twardość węgla,
- zainstalowana moc,
- prędkość marszowa,
- wysokość ściany,
- głębokość urabiania (zabior).

Twardość węgla jest w większości przypadków inaczej określana w odniesieniu do kombajnów niż w odniesieniu do strugów. W przypadku kombajnów najczęściej w

świecie stosowanym parametrem jest jednoosiowa wytrzymałość na ściskanie (UCS). W literaturze spotkać można następującą selekcję pokładów [32]:

- węgiel miękki – $UCS < 10 \text{ MPa}$,
- węgiel średniej twardości – $10 \text{ MPa} < UCS < 20 \text{ MPa}$,
- twardy węgiel – $UCS > 20 \text{ MPa}$.

Dla określania twardości węgla w odniesieniu do techniki strugowej najbardziej znaną obecnie jest skala opracowana przez niemiecki instytut naukowy DMT GmbH. Tak zwana „strugalność” węgla opisywana jest średnią siłą skrawania F_s mierzona na jednym nożu i wyrażana w kN. Strugalność określa się w trakcie pomiaru „in-situ” przy pomocy specjalnego urządzenia [24], [28].

Pokłady węglowe klasyfikowane są wg następującej skali:

- dobrze strugalne – $F_s < 1,5 \text{ kN}$,
- normalnie strugalne – $1,5 \text{ kN} < F_s < 2,0 \text{ kN}$,
- trudno strugalne – $2,0 \text{ kN} < F_s < 2,5 \text{ kN}$,
- bardzo trudno strugalne – $2,5 \text{ kN} < F_s$.

Korelacja pomiędzy jednoosiową wytrzymałością na ściskanie UCS a średnią siłą skrawania F_s jest słaba, ponieważ podczas liniowego strugania właściwości mechaniczne węgla są tylko częściowo odpowiedzialne za wielkość sił skrawania. Średnia siła skrawania uzależniona jest istotnie od charakteru płaszczyzn kławażu i uławicenia, obecnych powszechnie w węglach humusowych, oraz uwarunkowana w znacznym stopniu wielkością ciśnienia górotworu.

Moc nominalna zarówno kombajnów węglowych jak i strugów rosła stale poprzez dziesięciolecia w drugiej połowie ubiegłego wieku, chociaż w latach dziewięćdziesiątych obserwowano wyższy wzrost mocy w przypadku kombajnów. Dopiero z wprowadzeniem do użytku w roku 2002 wysokowydajnego systemu strugowego GH42 z 1,6 MW nominalnej mocy systemu strugowe doścignęły a nawet prześcignęły kombajny węglowe. Obecnie kombajny dla zakresu wysokości ściany od 1,5 m do 2 m, przy których pracują również strugi węglowe, posiadają z reguły moc nominalną nie przekraczającą 1,2 MW.

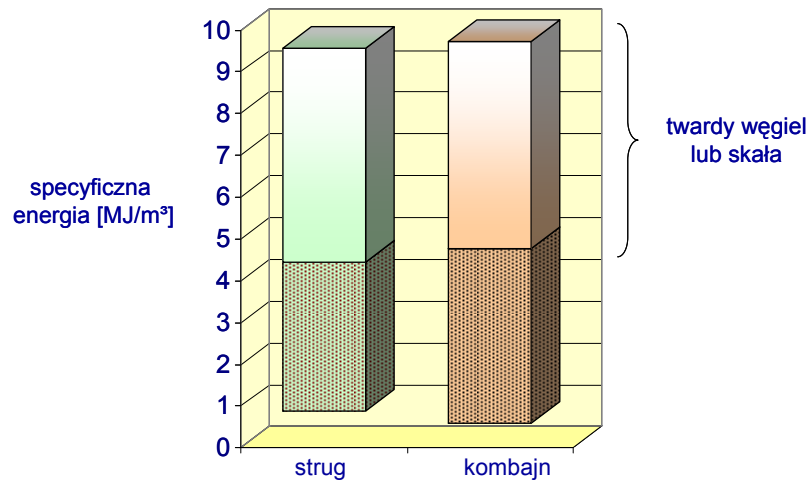
Nowoczesne kombajny węglowe urabiają ocios węglowy z prędkościami marszowymi dochodzącymi do 40 m/min. Dzisiejsze strugi ślizgowe pracują z prędkościami od 2,0 m/s do 3,6 m/s.

Sporny obszar wysokości ściany, w którym obie metody eksploatacji są stosowalne, zawiera się zasadniczo pomiędzy 1,5 m a 2,3 m. Poniżej tego zakresu strugi stanowią zdecydowanie korzystniejszą ekonomicznie opcję, powyżej obecnie stosowane są wyłącznie kombajny węglowe.

Kombajny węglowe urabiają ocios z głębokościami zabioru zawierającymi się pomiędzy 0,8 m a 1,2 m. Głębokość skrawu struga zależy przede wszystkim od jego mocy nominalnej, prędkości, twardości węgla oraz wysokości ściany i wynosi przeciętnie 5 cm do 25 cm.

Wszystkie pięć parametrów rzutuje na wydajność struga lub kombajnu. Wydajność ta związana jest z ilością energii, jaka jest potrzebna, aby urobić i załadować jednostkę objętości lub masy, zwanej „energiją właściwą” i wyrażaną w MJ/m^3 (rys. 11). Energia właściwa w przypadku kombajnów węglowych waha się generalnie od ok. 0,7 do prawie 10 MJ/m^3 , ale w większości przypadków nie przekracza 5 MJ/m^3 [10], [26], [32], [45]. Systemy strugowe cechuje energia właściwa rozciągająca się od ok. 1 do

prawie 10 MJ/m³, chociaż w większości ścian urabianych strugiem energia właściwa również nie przekracza 5 MJ/m³.

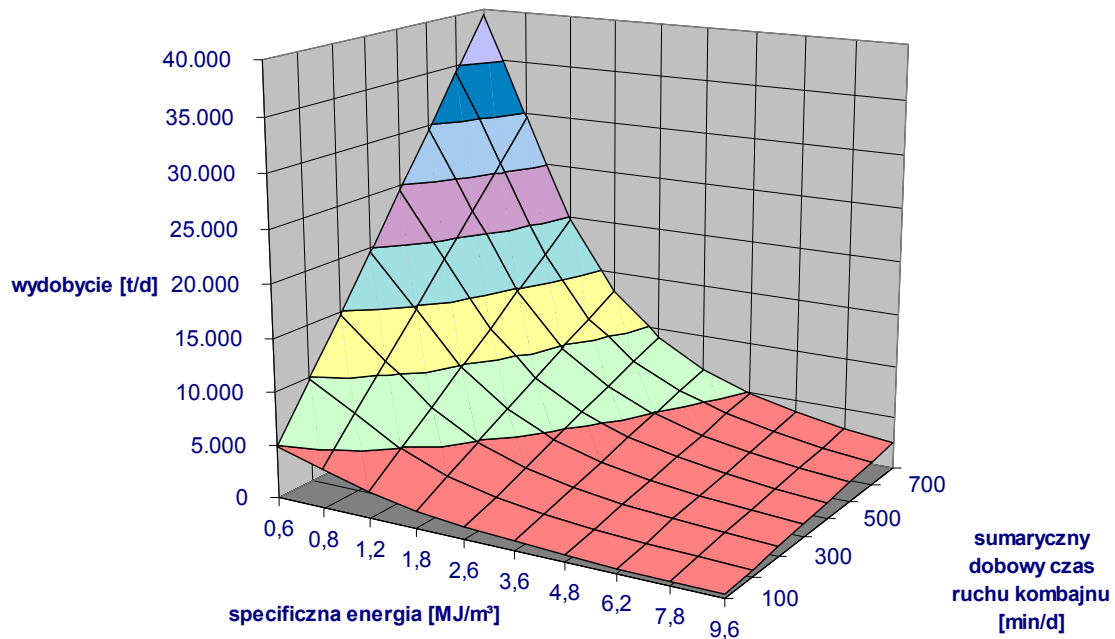


Rys. 11: Specyficzna energia strugów i kombajnów węglowych

Przy miękkim węglu energia właściwa w obydwu przypadkach mieści się w niższych wartościach zakresów opisanych powyżej. W ten sposób, w oparciu o wyżej podane liczby, można stwierdzić, że energia właściwa dla obydwu systemów urabiania jest porównywalna. Fakt ten wyjaśniają następujące czynniki:

- Proces urabiania węgla. Strugi pracują z większym zabiozem i mniejszą prędkością urabiania, a zatem urabiają węgiel w sposób bardziej efektywny, uzyskując, jak wcześniej wspomniano, wyższy wychód grubych sortymentów. W przeciwieństwie do nich, kombajny pracując z mniejszym oraz zmiennym (w każdym półskrawie noży głębokość zabioru zmienia się od zera do nominalnej i z powrotem do zera) zabiozem i większą liniową prędkością noży rozdrabniają znacznie bardziej węgiel (mielą go), czyniąc proces urabiania i ładowania urobku na przenośnik ścianowy bardziej energochłonnym.
- Efektywność transferu energii. Proporcja energii niezbędnej dla urabiania i ładowania urobku odniesiona do pobranej energii elektrycznej jest większa w przypadku kombajnów. Strugi muszą najpierw przekształcić ruch obrotowy w ruch posuwisto-zwrotny, a następnie zużyć część energii na pokonanie oporów ruchu łańcucha i głowicy struga.

Podsumowując można stwierdzić, iż w przypadku kombajnów niższa sprawność urabiania organem kompensowana jest przez korzystniejszą zamianę energii elektrycznej na ruch obrotowy tak, iż w sumie energia właściwa niezbędna do urobienia jednostki objętości ociosu dla kombajnów i strugów pracujących przy podobnych warunkach jest porównywalna.



Rys. 12: Wydobywanie ze ściany kombajnowej odniesione do specyficznej energii oraz do sumarycznego czasu ruchu kombajnu

Wykres na rys. 12 prezentuje teoretyczną zdolność wydobywczą kombajnu węglowego dla pokładów średniej miąższości. Obliczenia oparte są na algorytmie opracowanym przez uniwersytet techniczny w Aachen (RWTH) [26] przy uwzględnieniu następujących założeń:

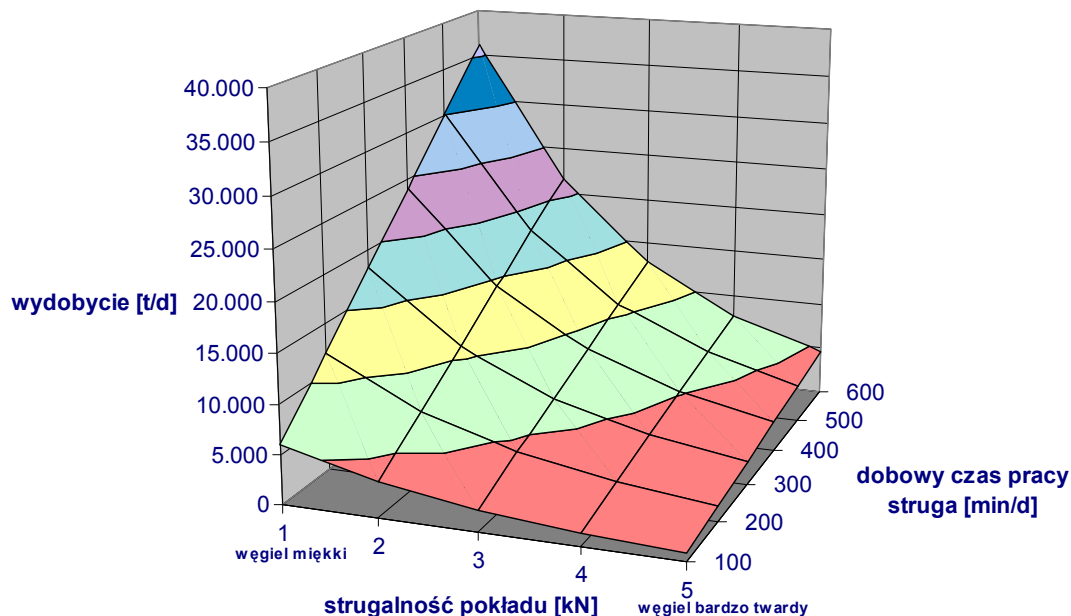
- długość ściany 300 m,
- miąższość pokładu (równa wysokości ściany) 1,8 m,
- gęstość pokładu 1,5 t/m³,
- moc nominalna na organach 2 x 500 kW,
- sprawność 85%,
- średnica organu 1,4 m,
- procedura na połowę głębokości 0,4 m zabioru,
- prędkość marszowa kombajnu odnośnie do specyficznej energii [26],
- PUD 60%.

Parametry kombajnu zostały dobrane adekwatnie do wysokości ściany 1,8 m. Przy tej wysokości założono odpowiednią do niej średnicę organu 1,4 m oraz dającą się efektywnie zużytkować nominalną moc 500 kW na tym organie.

Wykres z rys. 13 przedstawia wielkość wydobywania ściany strugowej, pracującej w pokładzie średniej miąższości. Wielkość dobowej produkcji przedstawiona została jako funkcja skrawalności pokładu oraz sumarycznego dobowego czasu pracy struga. Kalkulacja oparta jest o algorytm instytutu DMT GmbH [25], [28] przy założeniu następujących parametrów:

- długość ściany 300 m,
- miąższość pokładu (równa wysokości ściany) 1,8 m,
- gęstość pokładu 1,5 t/m³,
- moc nominalna struga 2 x 800 kW,
- sprawność stacji napędowych 80%,
- prędkość struga 3 m/s,
- procedura wyprzedzająca z podwójną głębokością zabioru na końcówkach ściany,

- głębokość zabioru odniesiona do twardości węgla [25],
- PUD 75%.



Rys. 13: Wydobywanie dobowe odniesione do specyficznej energii oraz sumarycznego czasu ruchu struga

Oba obliczenia bazują na praktycznie zorientowanych algorytmach, opartych o realistyczne, ruchowe parametry zaczerpnięte z życia. Założone wielkości PUD są wyższe od przeciętnych, przyjmując wysokowydajne ściany dla kombajnu jak i dla struga. W obydwu przypadkach założono konieczność skrawania na pełną wysokość pokładu.

Porównanie diagramów z rys. 12 i rys. 13 wykazuje wyższe wydobywanie ze ściany strugowej, przy uwzględnieniu takiego samego czasu pracy maszyny urabiającej. Uzasadnienie tego stanu rzeczy należy szukać w wyższej mocy nominalnej urządzenia strugowego, przy takiej samej wysokości ściany.

Wykres na rys. 14 pokazuje specyficzną zainstalowaną moc nowoczesnych strugów i kombajnów pracujących w pokładach węgla o niskiej i średniej grubości. Określenie „specyficzna” odnosi się do faktu, iż przedmiotowa sumaryczna moc nominalna kombajnu bądź struga odniesiona została do wysokości ściany.

$$\bar{P}_S = \frac{\sum P_{Inst}}{h_L} \quad (4)$$

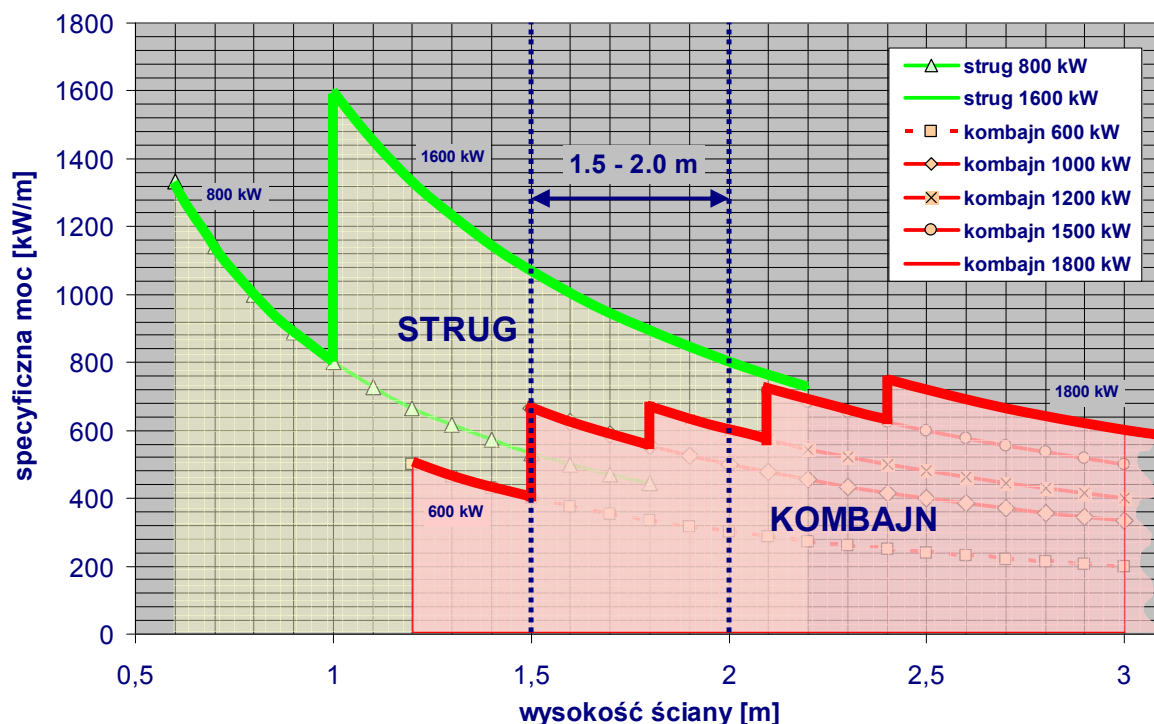
gdzie:

$\sum P_{Inst}$ - całkowita moc zainstalowana kombajnu lub struga [kW],

h_L - wysokość ściany [m].

Krzywe obliczane są zgodnie z wzorem (4) dla następujących maszyn:

- kombajny o mocy urabiania 600 kW, 1000 kW, 1200 kW, 1500 kW i 1800 kW,
- systemy strugowe o mocy urabiania 800 kW i 1600 kW.



Rys. 14: Specyficzna moc kombajnu i struga w funkcji wysokości ściany

Wykres pokazuje wyraźnie, że w przedziale od 1,5 do 2,3 m urządzenia strugowe są w stanie efektywnie „zagospodarować” wyższe moce niż kombajny przy porównywalnych wysokościach ścian. Powyżej 2,3 m wysokości w ścianie prym przejmują kombajny węglowe.

Reasumowując: po pierwsze *moc* a po drugie *czysta eksploatacja pokładu* stanowią dzisiaj atrybuty techniki strugowej dla niskich i średniej grubości pokładów [6].

5.3 Zagrożenia metanowe

Kombajny pracują z mniejszą prędkością posuwu i większą głębokością zabioru, zatem strumień urobku jest większy i bardziej skupiony w jednym miejscu niż w przypadku strugów. Ponadto, jak już określono wcześniej, kombajny silniej kruszą i mielą węgiel, wyzwalaając tym samym więcej metanu na jednostkę wydobytego węgla. Większe stężenie miejscowe CH_4 jest zatem bardziej prawdopodobne w ścianie urabianej kombajnem niż w ścianie urabianej strugiem. Niestety, autorom niniejszego tekstu nie są znane żadne publikacje, które zawierałyby bezpośrednie porównania, dlatego ilościowe ujęcie i porównanie emisji CH_4 w ścianach urabianych kombajnami i strugami może mieć jedynie charakter teoretyczny.

5.4 Zagrożenia pyłowe

Kombajny powodują powstawanie dużej ilości drobnego pyłu węglowego, skupionego na stosunkowo niewielkim obszarze [20]. Przyczyny takiego zachowania są zasadniczo podobnej natury jak te opisane w rozdziale 5.3. Węgiel jest kruszony i mielony przez obracający się organ, a pył węglowy jest wydmuchiwany w otaczającą atmosferę. Ilość i jakość pyłu zależy od typu eksploatowanego węgla oraz od szeregu parametrów technicznych takich jak średnica i typ organu, liczba i rozmieszczenie noży, prędkość obrotowa organu, prędkość posuwu kombajnu [45]. Aby zapobiec rozprzestrzenianiu się pyłu w obszarze wokół organów urabiających stosowane są złożone układy zraszania. W większości przypadków dysze umieszczone są bezpośrednio na organach urabiających. Często w zwalczaniu

zapylenia pomagają również rury rozdzielcze z rozpylaczami wody umocowane na kombajnie.

W porównaniu z kombajnem, strug wytwarza większe bryły węgla i mniejszą ilość pyłu przenoszonego do otaczającej atmosfery. Wychód wyższego sortymentu zwiększa się, a ilość pyłu zmniejsza w miarę zwiększania głębokości strugania. Pył węglowy zdolny do unoszenia się w powietrzu jest bardziej równomiernie rozproszony wzdłuż ściany strugowej [34] [45].

Głowica struga podczas urabiania ściany zawsze pcha przed sobą pryzmę skruszonego węgla. W ten sposób większość noży struga na głowicy skrawa pod zwałem węgla, co powoduje mniejsze rozprzestrzenianie się pyłu [24]. W ścianach urabianych strugiem układy zraszania rozmieszczone są najczęściej pod stropnicami sekcji, a czasami dodatkowo na zastawkach przenośnika ścianowego. System sterowania uruchamia dysze na kilka sekund przed zbliżającą się głowicą struga i wyłącza je w pewnej odległości za strugiem.

6 Aspekty ekonomiczne

Przy doborze systemu urabiania aspekty ekonomiczne są równie ważne, jak kwestie techniczne i proceduralne opisane w poprzednich częściach tekstu. Wszelkie porównanie poszczególnych technik, technologii i procedur musi również brać pod uwagę aspekt finansowy. W przeszłości wiele państw dofinansowywało swój przemysł wydobywczy a aspekty ekonomiczne posiadały niższy priorytet niż obecnie. Porównanie urabiania w systemie ścianowym wykorzystującym kombajny i strugi może być pełne jedynie wtedy, gdy rozpatrzone zostaną również koszty produkcji.

6.1 Nakłady kapitałowe

Urabianie w systemie ścianowym jest zdecydowanie bardziej wydajne, ale również bardziej kapitałochłonne niż w przypadku systemów filarowo-komorowych. Urządzenia ścianowe obejmują maszyny urabiające (kombajn bądź strug), przenośnik zgrzeblowy ścianowy oraz obudowę ścianową.

6.1.1 Obudowa ścianowa

Najdroższą część każdego kompleksu ścianowego stanowi obudowa ścianowa, która składa się z szeregu sekcji. Jedna sekcja to koszt rzędu dziesiątek tysięcy euro. Im dłuższa ściana, tym większą liczbę sekcji trzeba zastosować. Koszty obudów ścianowych są więc wprost proporcjonalne do długości ściany.

Pomiedzy sekcjami stosowanymi w ścianach strugowych i kombajnowych występują niewielkie różnice konstrukcyjne. Najważniejsze spośród tych różnic to:

- sekcje stosowane w ścianach kombajnowych mają sztywne spągnice, podczas gdy sekcje dla struga mają dwie niezależne spągnice,
- sekcje dla kombajnu wyposażone są w siłowniki (base lift) podnoszące spągnice podczas ich podciągania, nie stosowane na sekcjach strugowych,
- stropnice sekcji w ścianach kombajnowych są dłuższe,
- na stropnicach sekcji strugowych nie stosuje się obecnie uchylnych klap podtrzymujących ocios węglowy,
- systemy strugowe stosowane są często przy użyciu sterowników elektrohydraulicznych na co trzeciej sekcji (również przy pełnej automatyzacji).

Ogólnie można stwierdzić, że sekcje dla ściany urabianej kombajnem są nieco kosztowniejsze, niż w przypadku urabiania strugiem, przy porównywalnych warunkach geologicznych.

6.1.2 Maszyna urabiająca

Koszty ścianowej maszyny urabiającej, tj. systemu kombajnowego lub strugowego, są zasadniczo niższe niż koszty obudowy ścianowej. Koszt maszyny urabiającej stanowi najogólniej około 10% do 20% kosztów obudowy ścianowej.

Cena kombajnu nie zależy właściwie od długości ściany. Nowoczesny kombajn stanowi bardzo złożoną maszynę. Poza dużą liczbą części stalowych, kombajn zawiera wiele skomplikowanych elementów mechanicznych, hydraulicznych, elektrycznych i elektronicznych.

Koszty systemu strugowego zależą w pewnym stopniu od długości ściany. System strugowy składa się z:

- głowicy struga,
- prowadnicy struga dołączonej (przyspawanej) do rynien przenośnika ścianowego,
- łańcucha struga o grubości 38 lub 42 mm o długości równej podwójnej długości ściany,
- dwóch napędów, składających się ze skrzynki strugowej, przekładni i silnika.

W przeszłości używane były silniki asynchroniczne dwubiegowe. Ten typ silnika pozwalał na poruszanie głowicy strugowej w dwóch różnych prędkościach w stosunku 2:1 bądź 3:1. Od obecnej dekady stosowane są coraz częściej silniki z przemiennikami częstotliwości pozwalające na bezstopniową zmianę prędkości struga, będące nieco droższe niż dwubiegowe silniki asynchroniczne stosowane dotychczas. Podsumowując można zaryzykować stwierdzenie, iż koszty systemu kombajnowego i strugowego dla podobnych warunków ścianowych są porównywalne.

6.1.3 Przenośnik ścianowy

Nakłady inwestycyjne na przenośnik ścianowy są uzależnione w znacznym stopniu od długości ściany. Dłuższe ściany wymagają większej ilości rynien, dłuższych łańcuchów z większą ilością zgrzebeł i co z tym związane wyższej mocy nominalnej. Wyższe zapotrzebowanie na moc oznacza większe stacje napędowe z adekwatnie dopasowaną wielkością jednostek zasilających. Wzrost wysokości ściany wpływa na potrzebę zastosowania szerszego przenośnika, w celu umożliwienia transportu odpowiednio większych ilości węgla.

Różnice pomiędzy przenośnikami ścianowymi dla kombajnu i dla struga są dosyć wyraźne. Kadłub napędowy dla systemu strugowego jest bardziej złożony, ze względu na to, że napędy struga są dołączone do kadłuba po stronie przeciwnej w stosunku do napędów przenośnika ścianowego. Rynny dla obydwu systemów są porównywalne, z wyjątkiem przyspawanej prowadnicy struga bądź klinów ładujących kombajnu, ale zastawki przenośnikowe wykazują pewne różnice. Dodatkowe elementy przenośnika ścianowego dla kombajnu stanowią elementy umożliwiające jego poruszanie się w ścianie, czyli drabinki posuwu kombajnu. Dodatkowe części dla struga stanowią siłowniki korekcji poprzecznej dla umożliwienia skutecznego prowadzenia systemu strugowego po sfałdowaniach pokładu. Siłowniki te zazwyczaj umieszczane są na każdej bądź co drugiej rynnie przenośnika w ścianie. Koszty przenośnika ścianowego dla ściany urabianej kombajnem są generalnie podobne do kosztów przenośnika w przypadku zastosowania struga, chociaż tendencyjnie nieco wyższe.

6.1.4 Dodatkowe urządzenia ścianowe

Urządzenia ścianowe obejmują pewną liczbę elementów pomocniczych, jak transformatory, wyłączniki, urządzenia sterujące i komunikacyjne, pompy, itp. Większość urządzeń jest taka sama dla kombajnów i dla strugów. Różnice występują przede wszystkim w odniesieniu do maszyny urabiającej. System strugowy wymaga dodatkowego wyłącznika do zasilania napędów, podczas gdy kombajn posiada własny wyłącznik w swoim korpusie. Aby uzyskać pełną automatyzację, wymagany pakiet elektryczny jest zazwyczaj droższy w przypadku systemu strugowego.

6.1.5 Sumaryczne koszty wyposażenia ścianowego

Rys. 15 pokazuje, iż całkowite nakłady kapitałowe dla ścian pracujących w podobnych warunkach są zasadniczo porównywalne w przypadku strugów i kombajnów.

Komponent	Kombajn	Strug
1. Maszyna urabiająca	mniej kosztowna	bardziej kosztowna ⁵
2. Przenośnik ścianowy	bardziej kosztowny	mniej kosztowny
3. Urządzenia elektryczne	mniej kosztowne	bardziej kosztowne
4. Obudowa ścianowa	bardziej kosztowna	mniej kosztowna
Wynik	porównywalne koszty inwestycyjne	

Rys. 15: Porównanie głównych nakładów kapitałowych dla ściany kombajnowej i strugowej

Urządzenia kompleksu ścianowego zostały podzielone na:

- maszynę urabiającą tzn. kombajn bądź strug. Kombajn stanowi integralną jednostkę, ale strug składa się z elementów rozlokowanych przestrzennie wzdłuż ściany. Prowadnice głowicy strugowej połączone są z rynnami przenośnika ścianowego. Ciąg rynien i prowadnic zamknięty jest po obydwu stronach stacjami napędowymi.
- przenośnik ścianowy jest podobny w obydwu przypadkach. Rynny przenośnika w ścianie kombajnowej wyposażone są w kliny ładujące oraz w drabinki posuwu kombajnu.
- wyposażenie elektryczne oraz osprzęt hydrauliczny różnią się w pewnym stopniu w przypadku kombajnów i strugów.
- sekcje obudowy ścianowej charakteryzują się kilkoma istotnymi różnicami, opisanymi szerzej w rozdziale 6.1.1.

6.2 Trwałość urządzeń

Nowoczesne kombajny są urządzeniami bardzo skomplikowanymi. Kombajn składa się z korpusu i najczęściej z dwóch ramion z organami urabiającymi. Na kombajnie umieszczona jest pewna liczba silników, przekładni, pomp, a także urządzeń elektrycznych, hydraulicznych i sterujących. Ten złożony system poddawany jest podczas eksploatacji ciągłemu działaniu czynników, takich jak drgania, udary

⁵ Uwzględniając stacje napędowe, prowadniki głowicy, łańcuch oraz głowicę struga

i obciążenia mechaniczne, zmiany temperatury, wilgoć, agresywna woda, pył, itp. Ogólnie rzecz biorąc, trwałość kombajnu pracującego w górnictwie obliczona jest na 10 do 20 milionów ton.

W przypadku struga sytuacja jest nieco inna. Głowica struga, składająca się „tylko” z części stalowych, porusza się wzdłuż ściany urabiając i ładując węgiel. Nie ma tu elementów obrotowych jak silniki, przekładnie czy pompy, które mogą łatwo ulec uszkodzeniu. Pomimo tego, że strug porusza się znacznie szybciej od kombajnu i podlega z tego względu działaniu dużych sił dynamicznych, dzięki swojej wytrzymałej konstrukcji jest on znacznie mniej wrażliwy na uszkodzenia niż kombajn. Główne części struga, które podlegają zużyciu, to noże, ślizgowe elementy korpusu struga, łańcuch oraz gwiazdy napędowe. Części te należy okresowo wymieniać na nowe. Trwałość systemu strugowego może osiągnąć nawet 35 milionów ton, co obejmuje konieczne remonty, zależne od warunków pracy. Ogólna trwałość systemu ścianowego zależy w przypadku obu metod eksploatacji również od przenośnika ścianowego. Trwałość przenośnika ścianowego może osiągnąć wielkość 10 do 20 milionów ton.

Systemy ścianowe muszą być okresowo remontowane. Okresowe przeglądy i remonty muszą zostać zaplanowane z uwzględnieniem odpowiedniego budżetu. Planowanie czasokresów remontów oraz odpowiednich środków budżetowych oparte jest na doświadczeniach z przeszłości, a tym samym w pewnym stopniu subiektywne. Bazując na doświadczeniach autorów w zakresie kombajnów i strugów węglowych, przyjąć można następujące czasokresy oraz środki finansowe:

Kombajn. Koszty napraw koniecznych w trakcie biegu ściany wahają się średnio pomiędzy 10% a 30% ceny zakupu kombajnu. Podobne koszty powinny zostać przewidziane na remonty okresowe. Generalnie remonty te wykonywane są po zakończeniu prowadzenia każdej ściany. Średnio dla całego okresu eksploatacji kombajnu przeprowadzane jest 4 do 8 takich remontów.

Strug. Systemy strugowe pracujące w porównywalnych warunkach górniczo-geologicznych podlegają podobnym rygorom dotyczącym ilości oraz cykli remontów okresowych, chociaż nakłady finansowe są nieco niższe.

6.3 Koszty eksploatacji

Wszystkie wydatki związane z działalnością wydobywczą to tzw. koszty eksploatacji. W tej kategorii mieszczą się koszty:

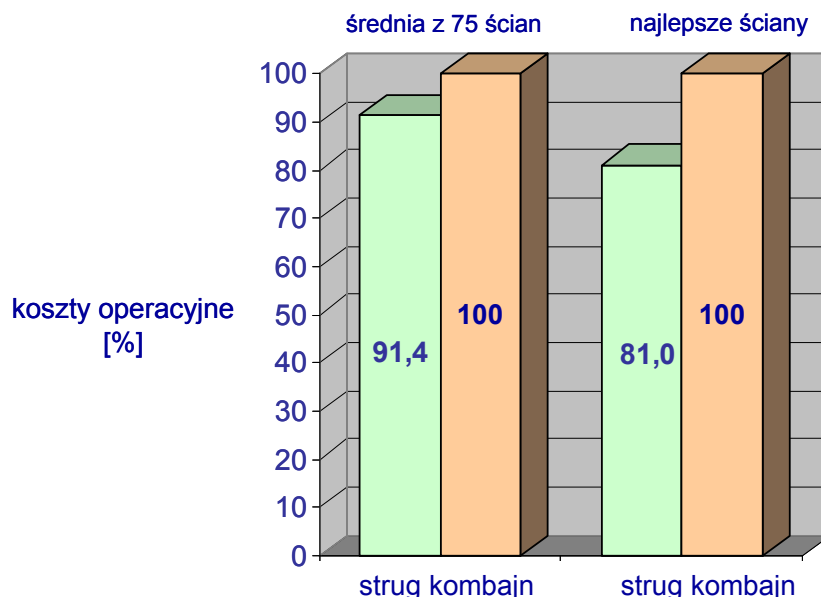
- płac,
- materiałów eksploatacyjnych,
- części zamiennych,
- energii,
- amortyzacji,
- ubezpieczeń,
- czynszów.

Przy kompleksowym porównaniu kombajnów ze strugami nie może zabraknąć zestawienia kosztów operacyjnych obydwu systemów. Dla zapewnienia możliwie obiektywnego porównania przeanalizowana powinna zostać szersza grupa systemów ścianowych, pracujących w podobnych warunkach.

W przeszłości w Niemczech, gdzie pracowało wiele strugów i kombajnów, przeprowadzono obszerne badanie kosztów eksploatacji. W okresie czterech lat przebadano 75 ścian, z czego 18 ścian urabianych kombajnami i 57 ścian

urabianych strugami [9], [37]. Analiza dotyczyła wszystkich ścian, ale dodatkowo zbadano również te najbardziej wydajne spośród nich. Rezultaty tej analizy prezentują wykresy na rys. 16.

W obu kategoriach koszty eksploatacji w przypadku zastosowania strugów były mniejsze, niż w przypadku kombajnów. Dla wszystkich 75 ścian różnica wynosiła 8,6%. W kategorii ścian najlepszych, koszty eksploatacji w przypadku zastosowania strugów były prawie 20% niższe.



Rys. 16: Porównanie kosztów operacyjnych dla kombajnów i strugów węglowych

6.4 Koszty produkcji węgla

Ostateczny koszt ponoszony przez kopalnię w celu wyprodukowania jednostki (tony bądź m³) węgla kwalifikującej się do sprzedaży stanowi zasadniczy czynnik, jak również jeden z najważniejszych wskaźników branych pod uwagę przez kopalnię lub spółkę węglową przy określaniu wyników ekonomicznych. Całkowity koszt produkcji tony węgla musi uwzględniać wszystkie wyżej opisane parametry, które do pewnego stopnia są ze sobą przeplątane. Im wyższa możliwość techniczna i im wyższe współczynniki proceduralne, tym niższe koszty produkcji. Z drugiej strony, im niższe nakłady kapitałowe i koszty eksploatacji, tym tańsza jest tona węgla handlowego.

W niniejszym opracowaniu autorzy koncentrowali się na zagadnieniach związanych ze ścianami i ich otoczeniem. W znakomitej większości przypadków kopalnie posiadają znacznie szerszą strukturę, tak więc koszty produkcji są wyższe niż te rozpatrywane. Ponieważ jednak te „pozaścianowe” koszty nie są w ogóle bądź tylko w niewielkim stopniu związane z rodzajem systemu eksploatacji ścianowej, nie były one w tym opracowaniu rozpatrywane. Niemniej muszą one zostać uwzględnione w ostatecznym rozrachunku, ponieważ ich wielkość posiada spory wpływ na koszt produkcji węgla. Rzeczywiste koszty produkcji dla ściany urabianej strugiem lub kombajnem, pracujących w porównywalnych warunkach górniczo-geologicznych są trudne do stwierdzenia. Uwzględniając omawiane w powyższym tekście czynniki wskazujące na to iż, jeżeli nakłady kapitałowe są porównywalne, zaś koszty eksploatacji niższe, produkcja w ścianie urabianej strugiem musi być bardziej korzystna.

7 Podsumowanie i wnioski

Około 40% elektryczności w świecie produkuje się obecnie z węgla. Należy oczekiwać, iż proporcja ta nie zmieni się istotnie w następnych dekadach. Rezerwy węgla w świecie są znacznie większe niż rezerwy ropy naftowej czy gazu ziemnego, można więc sądzić, że węgiel zachowa swoje znaczenie w przyszłości.

Znaczna część rezerw węgla kamiennego zalega w pokładach niskich bądź w pokładach o średniej miąższości. Podziemną eksploatację węgla w przedziale od 1,5 do 2,3 m można prowadzić z wykorzystaniem kombajnów lub strugów. W przedstawionym opracowaniu autorzy porównali obydwie metody urabiania ścianowego, przyglądając się bliżej istotnym ich aspektom.

Aby porównać wydajność ścian urabianych strugami i kombajnami w pokładach węgla, przeprowadzono wyczerpującą analizę aspektów technicznych, proceduralnych i finansowych. Z analizy tej wyróżniają się następujące wnioski:

- A. Kombajny węglowe cechuje lepsza sprawność, ale mają one niższą efektywność samego procesu urabiania w porównaniu do strugów, zatem energia potrzebna do wydobywania jednostki węgla w podobnych warunkach górniczo-geologicznych jest dla obydwu systemów ścianowych porównywalna.
- B. W zakresie do 2,3 m nowoczesne systemy strugowe są w stanie efektywnie zużytkować wyższą moc zainstalowaną dla urabiania i ładowania węgla przy porównywalnej wysokości ściany niż kombajny węglowe.
- C. W ścianach o dużej wydajności, stopień wykorzystania czasowego (TUD) dla obydwu metod eksploatacji osiąga ten sam poziom. TUD w normalnych okolicznościach wynosi od 40 do 70%, a nawet do 90% w ścianach najlepszych.
- D. Strugi cechuje wyższy stopień wykorzystania proceduralnego (PUD) niż kombajny. W najlepszych ścianach urabianych strugowo PUD osiąga 95%, zaś najbardziej wydajne ściany urabiane kombajnem osiągają 75%.
- E. Koszty produkcji zależą od wydajności ściany, a także od nakładów kapitałowych i kosztów eksploatacji. Ujmując ogólnie, przy wysokości ściany wynoszącej od 1,5 m do 2,3 m, ściany wyposażone w nowoczesne kombajny i strugi wykazują podobny poziom nakładów kapitałowych, ale koszty eksploatacji w przypadku strugów są niższe. W ten sposób koszty produkcji w ścianach urabianych strugami są niższe, niż w przypadku zastosowania kombajnów.

Koszty produkcji systemów ścianowych są funkcją wszystkich wyżej wymienionych czynników:

$$\text{Jednostkowe koszty produkcji} = f(A, B, C, D, E)$$

Im bardziej efektywna jest eksploatacja oraz im niższe są koszty kapitałowe i operacyjne, tym niższej kształtuje się koszt jednostkowy tony węgla.

Podsumowując: jeśli uwzględnimy systemy strugowe i kombajnowe, pracujące w podobnych warunkach górniczo-geologicznych, bazując na cytowanych w tym opracowaniu danych, wysunąć można następujący wniosek:

- dla ścian o wysokości poniżej 1,8 m lepszym wyborem są systemy strugowe,
- dla ścian o wysokości pomiędzy 1,8 m i 2,3 m wybór kombajnu bądź struga powinien być każdorazowo wynikiem wnikliwej analizy,
- w ścianach wyższych niż 2,3 m, kombajny stanowią odpowiednie rozwiązanie techniczne dla kompleksów ścianowych.

8 Literatura

- [1] Beimdieck, J.; Stöttner, M.T. – „*Schnellentwicklung eines Strebes am Beispiel der Bauhöhe 6/7 Westen, Flöz 65/68*“ – Bergbau 1/2008
- [2] Bittner, M.; Weiß, H.-J. – „*Einsatz schwerer Hobelanlagen – von der Innovation zum Standard*“ – RWTH Aachen 2007
- [3] Brandt, J.; Sdunowski, R. – „*Optimierung der Gasabsaugung zur Leistungssteigerung in Abbaubetrieben*“ – RWTH Aachen 2007
- [4] Bussmann, H. – „*Wirtschaftliche Gewinnung dünner Flöze – Vergleich verschiedener Produktionsmethoden und Ansätze zur Steigerung der Produktionskapazität für den Strebbau mit schneidender Gewinnung*“ – RWTH Aachen 2001
- [5] Catelin, M. – „*Coal - Essential fuel for the 21st century*“ – Optima 2007
- [6] Cooper, R. – „*Let's talk longwall*“ – Mining Perspectives for Both Worlds, Vol. 12, No. 1
- [7] Daul, J.; Juch D. – „*Die Verteilung der Vorräte der Steinkohlelagerstätten an der Ruhr vor dem Abbau und am 1. Januar 1995*“ – Glückauf 135-1999
- [8] Deutsche Steinkohle AG – *Different documents*
- [9] DMT GmbH - „*Empfehlung für die Wahl des schälenden oder des schneidenden Gewinnungsverfahrens in Flözen mittlerer Mächtigkeit*“ - Betriebsempfehlung für den Steinkohlenbergbau Nr. 34 – Verlag Glückauf
- [10] Dolipski, M.; Jaszczuk, M.; Sobota, P. – „*Specific energy in aspect of the correctness of a shearer application*“ – Mine Planning and Equipment Selection - Calgary 1998
- [11] Eikhoff, J. – „*Entwicklung eines Produktionssystems im deutschen Steinkohlenbergbau*“ – RWTH Aachen 2007
- [12] Filipiak, A; Paschedag, U. – „*High-Performance Longwall Mining in Thin Seams*“ – RWTH Aachen 2000
- [13] Geisler, J. – „*Betriebserfahrungen mit einer Hobelanlage für schwer gewinnbare Flöze auf dem Bergwerk Walsum*“ – Glückauf 125
- [14] Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus – „*Steinkohlenbergbau in Deutschland*“ – Essen 2006
- [15] Irresberger, H.; Gräwe, F.; Migenda, P. – „*Schreitausbau für den Steinkohlenbergbau*“ – Verlag Glückauf 1994
- [16] Jaszczuk, M. – „*Operational productivity of shearer loaders*“ - Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, – KOMAG, Gliwice 2007
- [17] Jaszczuk, M. – „*Czynniki techniczno-organizacyjne determinujące wykorzystanie przodka ścianowego*“ – Maszyny Górnicze, KOMAG, Gliwice, 2004
- [18] Jaszczuk, M.; Kozieł, A.; Sikora, W. – „*Etapy rozwoju ścianowych systemów mechanizacyjnych w polskim górnictwie węgla kamiennego*“ . – Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 6/49 2008
- [19] Junker, M. – „*Gebirgsbeherrschung von Flözstrecken*“ – Verlag Glückauf GmbH-Essen-2006

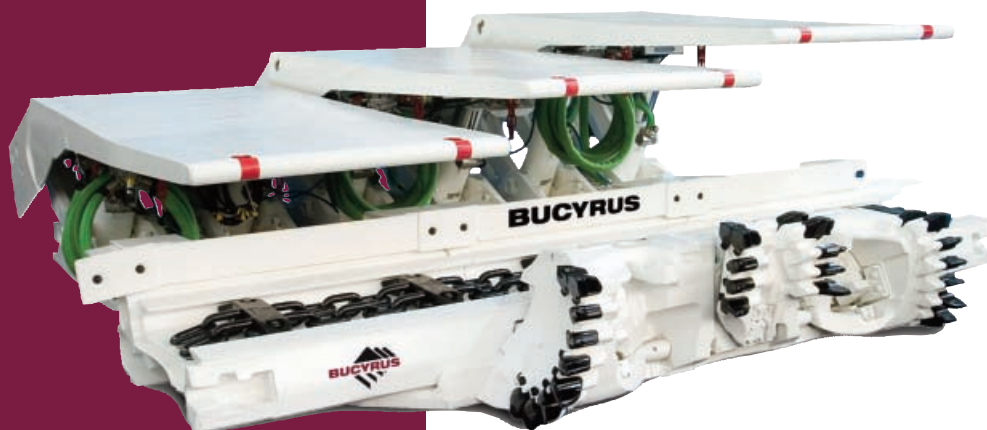
- [20] Kundel, H. – „*Kohlengewinnung*“ – Verlag Glückauf 1983
- [21] Lisowski, A. – „*Podstawy ekonomicznej efektywności podziemnej eksploatacji złóż*“ – PWN Warszawa 2001
- [22] Martin, H.; Paschedag, U. – „*Shearers versus plows*“ – American Longwall Magazine, August 2006
- [23] Myszkowski, M.; Plum, D. – „*Verfahrenstechnische und maschinentechnische Auslegung von Hochleistungs-Streben*“ – RWTH Aachen 2000
- [24] Myszkowski, M. – „*Erstellung eines Berechnungsmodells zur Auslegung und Optimierung von Hobelanlagen auf der Grundlage von Betriebsdaten und experimentellen Untersuchungen*“ – Berlin 2004
- [25] Myszkowski, M. – „*Auslegung des optimalen Hobelverfahrens für Hochleistungsbetriebe mit Maximierung der Gewinnungs- und Förderleistung*“ – DMT 1996
- [26] Nienhaus, K.; Bayer, A. K.; Haut, H. – „*High productivity – A Question of Shearer Loader Cutting Sequences?*“ – RWTH Aachen 2000
- [27] Paschedag, U. – „*Low Mining*“ – World Coal, 2006 Volume 15 Number 12
- [28] Paschedag, U.; Schwolow, G. – „*Die DMT-Zerspanbarkeitsmessung als Grundlage zum Bestimmen der Hobelbarkeit von Kohlenflözen*“ – Glückauf-Forschungshefte 1992
- [29] Paschedag, U. – „*Rekordfördermengen mit Hobelanlagen in den USA*“ – Glückauf 1999
- [30] Paschedag, U.; Schwaak, A. – „*Steigerung des effektiven Flächenverhiebs durch Langfronthobeln*“ – Glückauf 124 (1988)
- [31] Peng, S.; Chiang, H.S., „*Longwall Mining*“, – First Edition – 1984
- [32] Peng, S. - „*Longwall Mining*“ – Second Edition – 2006
- [33] Plum, D. – „*Die Strebtechnik im deutschen Steinkohlenbergbau*“ – Glückauf 1994
- [34] Reuther, E. U. – „*Lehrbuch der Bergbaukunde*“ – 11 Auflage 1989
- [35] Rutherford, A. – „*Half-web benefits remain untapped*“ – Australia's Longwall, 2001
- [36] Rutherford, A. – „*Automation and Increasing Output on Australian Longwall Faces*“ – RWTH Aachen 2000
- [37] Scheidat, L.; Schwolow, G. – „*Schälende oder schneidende Gewinnung in Flözen mittlerer Mächtigkeit*“ – Glückauf 128 No. 1
- [38] SPG Media - <http://www.mining-technology.com/projects/twentymile>
- [39] Traud, W.; Tafel, T.; Rump, K. – „*Betriebserfahrungen beim Einsatz von Walzenladern in Flözen mit geringer Mächtigkeit auf dem Bergwerk Walsum der DSK AG*“ – RWTH Aachen 2000
- [40] Turek, M. – „*Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego*“ – Główny Instytut Górnictwa 2008 – praca zbiorowa
- [41] US Department of Energy – „*Longwall Mining*“ – Washington DC 1995



- [42] Voß, H-W. – „*Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Steigerung der Gewinnungsleistung von Gleithobelanlagen unter Berücksichtigung der Massengutinfrastruktur*“ – Clausthal-Zellerfeld, 2005
- [43] Voß, H-W.; Junker, M.; Bittner, M. – „*First operational experiences with a new high-powered plow system in hard coal*“ – Glückauf 2-2004
- [44] Weisdack, G.V.; Kvitkovich, J.F. – “*U.S. Longwall Development Projected to Increase*” – Mining Engineering 2005-2006
- [45] Wolter, N. – “*Theoretische und Experimentelle Untersuchungen zur Staubentwicklung am Walzenlader unter Anwendung von Hochdruckwasser*” – Berlin 1992
- [46] World Coal Institute - *Different publications* – www.worldcoal.org – UK
- [47] Zorychta, A.; Burtan, Z.; Tajduś, A. – „*Technologie eksploatacji węgla kamiennego w aspekcie ich innowacyjnego i efektywnego stosowania*” – Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 6/49 2008

9 Wykaz rysunków i ilustracji

Rys. 1: Struktura źródeł energii elektrycznej w świecie w roku 2005	2
Rys. 2: Podział zasobów węgla kamiennego w Zagłębiu Ruhry	3
Rys. 3: Poziomy porównania technologii kombajnowej i strugowej	4
Rys. 4: Współczynniki proceduralno-organizacyjne w ścianach	6
Rys. 5: Straty wynikające ze spadku prędkości	8
Rys. 6: Straty wynikające ze zmniejszonej głębokości urabiania.....	8
Rys. 7: Powierzchnia odsłoniętego stropu w ścianach kombajnowych i strugowych	10
Rys. 8: Dobowy postęp ścian urabianych strugami i kombajnami w Niemczech	11
Rys. 9: Czynniki determinujące możliwość zastosowania kombajnu czy struga.....	12
Rys. 10: Pionowe wychylenie prowadników struga	14
Rys. 11: Specyficzna energia strugów i kombajnów węglowych	17
Rys. 12: Wydobywanie ścian kombajnowej odniesione do specyficznej energii oraz do sumarycznego czasu ruchu kombajnu	18
Rys. 13: Wydobywanie dobowe odniesione do specyficznej energii oraz sumarycznego czasu ruchu struga	19
Rys. 14: Specyficzna moc kombajnu i struga w funkcji wysokości ścian	20
Rys. 15: Porównanie głównych nakładów kapitałowych dla ścian kombajnowej i strugowej	23
Rys. 16: Porównanie kosztów operacyjnych dla kombajnów i strugów węglowych ..	25



Urabianie w systemie ścianowym jest obecnie najefektywniejszą metodą podziemnego wydobycia węgla kamiennego. Duża część globalnych zasobów węgla zalega w pokładach o grubości pomiędzy 1,5 m a 2,3 m i często są to zasoby wysokiej jakości. Powstaje pytanie, czy bardziej opłacalne jest zastosowanie kombajnu ścianowego czy też systemu strugowego? Autorzy niniejszego opracowania podjęli się szerokiego porównania obydwu metod urabiania ścianowego, z uwzględnieniem najnowszych technologii systemowych dostępnych na rynku oraz głębokiej analizy wszystkich istotnych aspektów górniczo-geologicznych, technologicznych i ekonomicznych, w celu umożliwienia kopalniom znalezienia najlepszej opcji eksploatacji danego złoża.