



Przegląd metod rozpoznawania granic węgla i skał w celu automatyzacji pracy kombajnu ścianowego

Piotr Kiljan - Politechnika Śląska

Krzysztof Kalinowski - Politechnika Śląska

Streszczenie: Węgiel kamienny jest najbardziej rozpowszechnionym paliwem kopalnym na ziemi. Jednym z kluczowych zadań stojącym przed zakładami górniczymi chcącymi utrzymać się na rynku jest poprawa organizacji pracy, stopnia wykorzystania środków produkcji oraz zwiększenie wydajności pracy. W celu zwiększenia poziomu automatyzacji w kopalniach węgla kamiennego, skupiono się na kombajnie ścianowym jako jednym z najważniejszych elementów ciągu produkcyjnego. Dokładne rozpoznanie wzoru cięcia kombajnu jest warunkiem niezbędnym by opracować system automatycznego wydobycia węgla ze ściany. W rozdziale przedstawiono przegląd metod identyfikacji granicy węgla i skały oraz ukazano wady i zalety poszczególnych metod, biorąc pod uwagę specyfikę pracy w podziemnych zakładach górniczych.

Słowa kluczowe: rozpoznanie granicy węgla i skały, rozpoznanie wzoru cięcia, automatyzacja kopalni

Review of the methods for recognition of coal and rock interfaces to automatize the longwall shearer operation

Abstract: Hard coal is the most common fossil fuel on earth. Improvement of work organization, higher degree of using the means of production and increase of labor productivity is one of key tasks faced by the mining plants that want to stay on the market. In order to increase the level of automation in hard coalmines, the R&D projects should be focused on the longwall shearer as one of the most important elements of the production line. Accurate recognition of the shearer's cutting pattern is a necessary condition to develop a system for automatization of coal extraction from the longwall. The chapter presents a novel view of the methods of coal and rock interface identification and shows the advantages and disadvantages of each method, taking into account the specificity of work in underground mining plants.

Key words: recognition of rock-coal interface, recognition of cutting pattern, mine automation

1. Wprowadzenie

Wysoka efektywność wytwarzania, zapewnienie odpowiedniej jakości produktu, utrzymanie niskich kosztów produkcji, a także różnorodność asortymentu i łatwość zmiany profilu produkcyjnego są głównymi celami większości przedsiębiorstw produkcyjnych. Od początku historii przemysłu innowacyjne rozwiązania zapoczątkowały rewolucyjne zmiany w przemyśle, pociągając za sobą również przemiany gospodarcze oraz społeczne radykalnie zmieniając warunki pracy i styl życia ludzi. Na przestrzeni lat można wyróżnić cztery rewolucje przemysłowe. Pierwsza rewolucja odbyła się w XVIII i trwała do połowy XIX wieku. Najważniejszym osiągnięciem pierwszej rewolucji było zastąpienie węgla drzewnego koksem, co przyczyniło się do rozwoju hutnictwa, wynalezienie silnika parowego oraz budowa krosna mechanicznego, które skracало proces produkcji ośmiokrotnie. Druga rewolucja w XIX wieku rozpoczęła się wynalezieniem elektryczności oraz linii montażowej stworzonej przez Henrygo Forda, która znacznie przyspieszyła proces produkcji radykalnie odmieniając oblicze branży samochodowej. Trzecia rewolucja przemysłowa rozpoczęła się w latach 70-tych XX wieku wraz z wdrożeniem częściowej automatyzacji produkcji za pomocą programowalnych sterowników z pamięcią i komputerów. Wprowadzając taką technologię uzyskano możliwość automatyzacji procesów, dzięki czemu produkcja mogła odbywać się bez udziału człowieka. Czwarta rewolucja, która obecnie trwa charakteryzuje się wykorzystaniem technologii informacyjnych i komunikacyjnych w przemyśle. Bazuje ona na osiągnięciach trzeciej rewolucji przemysłowej. Cyfryzacja oraz informatyzacja produkcji pozwalają na stworzenie systemów cyberfizycznych (cyber-physical systems), z których rozwiną się inteligentne fabryki (Smart Factory). Maszyny w tych fabrykach będą



komunikować się i podejmować decyzje automatycznie, a udział ludzi w procesie produkcyjnym zostanie ograniczony do niezbędnego minimum.

Jedną z części przemysłu, która może ulec diametralnym zmianom dzięki czwartej rewolucji przemysłu 4.0 są kopalnie. Zakłady górnicze wydobywające węgiel kamienny w dobie aktualnej sytuacji rynkowej, borykają się z wieloma wyzwaniami natury technicznej, jak i ekonomicznej. Globalizacja na rynku surowców energetycznych, wzrost konkurencyjności rynku zagranicznego oraz rosnący import węgla wymusza na producentach podniesienie efektywności wydobywania. Jednym z kluczowych zadań stojącym przed zakładami produkcyjnymi chcącymi utrzymać się na rynku, a zarazem przed pracującą na nich kadrą inżynieryjno-techniczną jest poprawa organizacji pracy oraz stopnia wykorzystania środków produkcji, pozwalająca na zwiększenie wydajności pracy. Produkcja węgla obciążona jest wysokim ryzykiem ze względu na trudne podziemne środowisko pracy oraz występujące liczne zagrożenia naturalne. Aby osiągnąć bezpieczną i wydajną produkcję w kopalniach węgla niezbędna jest poprawa automatyzacji pracy tak, aby zminimalizować ilość potrzebnej załogi w najbardziej niebezpiecznych odcinkach ciągu technologicznego [1].

Każdy proces wytwarzania powinien być monitorowany w celu uzyskania pożądanego efektów wyjściowych spełniających nasze oczekiwania. W przypadku realizacji tego procesu przez człowieka do monitorowania wykorzystywane są naturalne organy zmysłu człowieka jak wzrok, słuch, węch, dotyk i smak, a funkcję systemu monitorującego spełnia wtedy mózg człowieka. W przypadku zautomatyzowanego monitoringu istnieje konieczność zastąpienia wszystkich organów człowieka odpowiednimi sensorami a rolę mózgu pełni komputer. W odniesieniu do sensorów w języku polskim stosowane są pojęcia czujnik, przetwornik i detektor. Najprostszym urządzeniem z nich jest detektor, który tylko wykrywa obecność jakiejś wielkości fizycznej lub zjawiska (np. ciepło, promieniowanie). Przetwornik konwertuje jeden rodzaj energii na inny a czujnik mierzy pewne parametry zgodnie z zastosowaną zasadą pomiarową. Wyróżnić można ogólnie sześć podstawowych typów sygnałów mierzonych w procesie produkcyjnym: mechaniczne, termiczne, elektryczne, magnetyczne, promieniowania (w tym elektromagnetyczne fale radiowe, mikrofałe), chemiczne. Możliwość zainstalowania czujników oraz analiza zebranych sygnałów stanowi podstawę do opracowania systemów rozpoznania wzoru cięcia pokładu przez kombajn ścianowy [2].

W celu zwiększenia poziomu automatyzacji w kopalniach węgla kamiennego, naukowcy skupili się na kombajnie ścianowym jako jednym z najważniejszych elementów ciągu produkcyjnego. Dokładne rozpoznanie wzoru cięcia kombajnu jest warunkiem niezbędnym opracowania systemu automatycznego wydobywania węgla ze ściany. W rozdziale przedstawiono przegląd metod identyfikacji węgla i skały oraz możliwości, dzięki którym powyższe systemy mogą zostać wykorzystane do automatycznego urabiania pokładu węgla przez kombajn ścianowy.

2. Metody rozpoznawania granicy węgla i skały

Systemy rozpoznawania granicy węgla i skały opierają się na różnych metodach wykorzystujących dostępne technologie. Za pomocą czujników zainstalowanych na kombajnie ścianowym możliwe jest rozpoznanie węgla i skały. Różnice w twardości oraz wytrzymałości skał na ściskanie pozwoliły na opracowanie metody wykorzystującej fale akustyczne oraz metody wykorzystującej pomiar drgań ramienia, na którym zainstalowany jest organ urabiający. Fale akustyczne oraz wibracje mierzone są za pomocą czujników zainstalowanych na ramieniu kombajnu. Kolejna metoda wykorzystuje naturalną cechę skał przylegających do pokładu do wyższego poziomu radioaktywności. Na tej podstawie opracowano metodę bazującą na rozpoznawaniu niskiej aktywności promieniowania gamma. Ponadto zaproponowano inne metody oparte na wykorzystaniu radarów czy kamer. Trudne środowisko pracy w ścianie wydobywczej, takie jak występowanie pyłu węglowego lub kamiennego ograniczającego

widoczność, obecność wody, wysoki hałas generowany przez pracujące urządzenia, ujawnia w powyższych metodach zalety i wady, które przedstawione zostaną w rozdziale.

2.1. Naturalne promieniowanie gamma

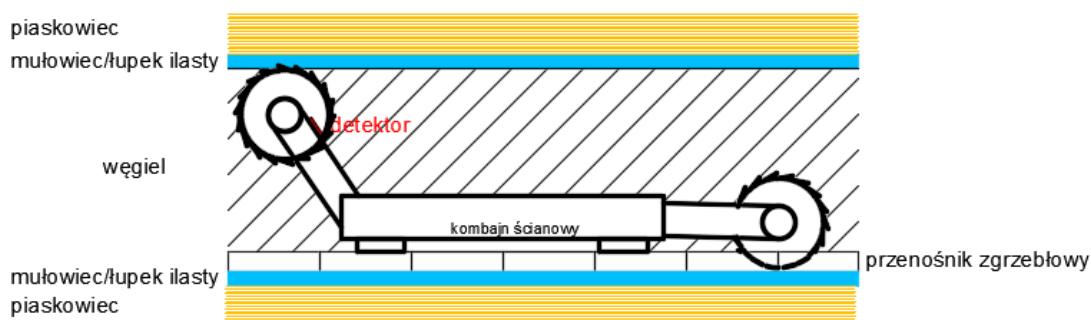
Z punktu widzenia pochodzenia pierwiastki radioaktywne tzw. radionuklidy można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej grupy pierwiastków zaliczamy te, które powstały podczas formowania się systemu słonecznego. Pierwiastki te charakteryzują się długimi okresami połowicznego rozpadu, porównywalnymi do czasu istnienia Ziemi, wynoszącego około 5×10^9 lat. Drugą grupę radionuklidów naturalnych stanowią izotopy promieniotwórcze, powstałe w wyniku reakcji jądrowych zachodzących między cząsteczkami promieniowania kosmicznego, a jądrami niektórych pierwiastków znajdujących się w powietrzu. W ten sposób powstaje wodór ^3H (tryt), beryl ^7Be , węgiel ^{14}C . Ze względu na bardzo długi okres półtrwania pierwszych członów szeregów promieniotwórczych (^{235}U , ^{228}U , ^{232}Th -pierwotne izotopy promieniotwórcze) i ciągły proces powstawania izotopów wtórnych pierwiastki z obu grup są wszechobecne w środowisku Ziemi. W węglach pochodzących z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wśród pierwiastków promieniotwórczych występują przede wszystkim naturalne radionuklidy dwóch szeregów: uranowego z izotopem macierzystym ^{238}U i torowego z izotopem macierzystym ^{232}Th . Średnia aktywność właściwa w węglach GZW wynosi odpowiednio dla pierwszego izotopu 18 Bq/kg, a dla drugiego 11 Bq/kg. Na całym obszarze GZW rozkład aktywności ^{226}Ra i ^{228}Ra nie jest równomierny, w niektórych częściach zagłębia odnotowuje się aktywność izotopów radu znacznie przewyższające wartości średnie. Na podstawie przeprowadzonych badań skał otaczających złoża węgla stwierdzono, że zawierają one pewne ilości naturalnych izotopów promieniotwórczych. Stężenie izotopów promieniotwórczych obserwowane w skałach przywęglowych jest kilkakrotnie wyższe od wartości odnotowanych w węglu. W tabeli 1 przedstawiono zakres zmienności aktywności właściwej naturalnych izotopów promieniotwórczych dla węgla warstw Łękowych, Siodłowych, Brzeźnych GZW, Obszaru Rybnicko-Jastrzębskiego oraz dla skał przywęglowych (mułowców, łupków ilastych). Wartości promieniowania dla węgla są kilkakrotnie niższe niż wartości dla skał otaczających pokład węgla, dzięki tej różnicy możliwe jest stworzenie koncepcji systemu rozpoznawania wzoru cięcia dla kombajnu ścianowego, tak by możliwa była praca automatyczna [3, 4].

Zakres zmienności aktywności właściwej naturalnych izotopów promieniotwórczych w węglach oraz skałach przywęglowych [3]

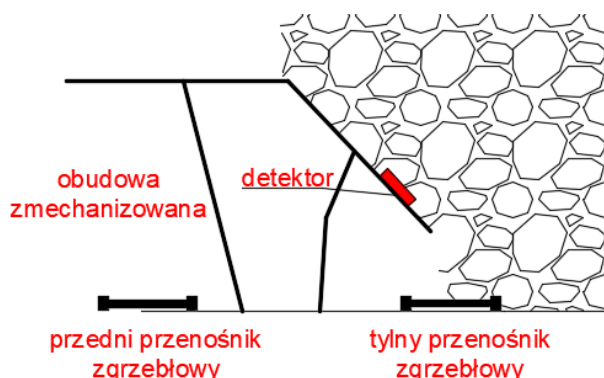
Tabela 1

Warstwy	^{226}Ra	^{228}Ra	^{40}K
	Bq/kg		
Węgiel	7-48	5-19	24-93
Mułowce i łupki ilaste	51-120	59-117	393-1070

Rozpoznanie węgla od skały jest możliwe za pomocą detektora zainstalowanego na ramieniu urabiającym kombajnu ścianowego mierzącego radioaktywność skał w stropie pokładu lub w systemie eksploatacji, gdzie za sekcjami obudowy zmechanizowanej zainstalowano przenośnik zgrzeblowy, który transportuje węgiel opadający z łaty węglowej pozostającej w stropie ściany [5, 6]. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe miejsce zainstalowania detektora na ramieniu urabiającym kombajnu. Na rysunku 2 przedstawiono umiejscowienie detektora na sekcji obudowy zmechanizowanej.



Rys. 1. Przykładowe miejsce zainstalowania detektora promieniowania gamma na ramieniu kombajnu ścianowego



Rys. 2. Miejsce zainstalowania detektora promieniowania gamma na osłonie zawalowej sekcji obudowy zmechanizowanej [5]

Dla poprawnego rozpoznania węgla i skały płonnej niezbędne jest wyznaczenie wartości tła promieniowania naturalnego w miejscu zainstalowania systemu, wielkości promieniowania czystego węgla, skały płonnej oraz mieszaniny węgla i skały. Kiedy wyznaczone zostaną powyższe wartości możliwe jest stworzenie sieci neuronowej, która będzie w stanie rozróżnić poprzez porównanie danych płynących z detektora z reprezentatywnymi próbkami. Dzięki temu możliwe będzie sterowanie organem urabiającym w sposób automatyczny.

2.2. Metoda wibracji

Wibracje to zazwyczaj drgania o małej amplitudzie i niskiej częstotliwości sięgającej kilkudziesięciu Hz. Pomiar wibracji wykorzystywany jest bardzo często w celach diagnostycznych, m.in. dla oszacowania stanu technicznego pracującej maszyny lub stabilności struktur cyklicznie poddawanych naprężeniom, takich jak budynki, mosty. Urządzenia mierzące poziom wibracji znajdują coraz szersze zastosowanie w diagnostyce maszyn, analizie wpływu drgań zewnętrznych, aktywnej redukcji drgań, badaniu charakterystyk dynamicznych maszyn i urządzeń, badaniu udaru oraz diagnostyce stanu narzędzia i procesu skrawania dostarczając wiele informacji pozwalających na m.in. na wczesne wykrycie awarii przed jej wystąpieniem [7].

Najpopularniejszym czujnikiem do pomiaru wibracji jest akcelerometr. Sensor umieszczony jest bezpośrednio na obiekcie wytwarzającym wibracje, przetwarzając energię mechaniczną drgań na sygnał elektryczny, proporcjonalny do chwilowego przyspieszenia obiektu, więc do siły oddziaływującej na obiekt. Wyróżnić można trzy typy akcelerometrów: piezoelektryczne (piezoelectric PE), pojemnościowe (variable capacitance VR) oraz piezoporowe (piezoresistative PR). Przetworniki stosowane w akcelerometrach piezoelektrycznych wykorzystują zjawisko piezoelektryczne w kryształach. Przy



pojawieniu się obciążenia mechanicznego w kryształach powstaje ładunek elektryczny. Przetworniki pojemnościowe wykorzystują zmieniającą się pojemność w zależności od położenia ruchomych płytek. W przetwornikach piezoporowych mierzy się wartość oporu elektrycznego, który zmienia się w zależności od obciążenia mechanicznego [7].

Akcelerometry piezoelektryczne to najpopularniejszy typ czujników wykorzystywany w przemyśle do pomiarów wibracji. W akcelerometrach wykorzystano związki krystaliczne, które dzięki specjalnej konstrukcji molekularnej mają właściwości piezoelektryczne. Przy deformacji kryształu pojawiają się na jego ściankach ładunki elektryczne, a gdy dojdzie do sytuacji odwrotnej doprowadzając do odpowiednich ścianek kryształu pole elektryczne powodujemy zmianę jego wymiarów. W zależności od struktury kryształu deformacje generujące efekt piezoelektryczny mogą być powodowane zarówno jego ściskaniem, rozciąganiem, jak i ścinaniem. Najsilniej zjawisko piezoelektryczne występuje w dielektrykach o dużej przenikalności elektrycznej. Element piezoelektryczny zachowuje się podobnie jak „sprężyna” w akcelerometrze pojemnościowym, nie zmienia jednak swojej rezystancji a generuje napięcie elektryczne. Gdy akcelerometr poddany jest wibracji na element piezoelektryczny oddziałuje siła równa iloczynowi przyspieszenia elementu sejsmicznego i masy. Element piezoelektryczny generuje ładunek proporcjonalny do przyłożonej siły. Masa sejsmiczna jest stała, powstający ładunek jest zatem proporcjonalny do jej przyspieszenia. Przyspieszenie masy sejsmicznej jest co do amplitudy i fazy równe przyspieszeniu podstawy akcelerometru, a przez to równe również przyspieszeniu powierzchni, na której jest ona zamocowana. Układy tego typu charakteryzują się wysoką czułością i znajdują zastosowanie tam, gdzie wymagana jest bardzo wysoka czułość np. do pomiarów sejsmicznych, testów niszczących prowadzonych w ekstremalnie trudnych warunkach otoczenia [7, 8].

Akcelerometry pojemnościowe MEMS (Mikroelectromechanical System) to najmniejsze i najtańsze sensory tego typu dostępne na rynku. Często wykorzystywane są w urządzeniach mobilnych oraz elektronice użytkowej. Typowy akcelerometr MEMS składa się z ruchomej masy z okładkami kondensatorów mających swoje odpowiedniki na stałej nieruchomej ramie. Wychylenie ruchomej masy pod wpływem drgań powoduje zmiany odległości pomiędzy okładkami kondensatora a przez to również jego pojemności. Wadą układu MEMS jest mała dokładność pomiaru dla sygnałów o wyższej częstotliwości i większej amplitudzie z tego względu mają małe zastosowanie w przemyśle. Dzięki małym rozmiarom oraz wadze najczęściej stosowane są w elektronice użytkowej, takiej jak teflony komórkowe, do stabilizacji obrazu w aparatach cyfrowych, w systemach bezpieczeństwa w samochodach w celu rozpoznania kolizji i spowodowania wystrzelenia poduszek powietrznych [7, 9, 10, 11].

Akcelerometry piezoporowe działają na zasadzie tensometru. Do pomiaru wielkości przemieszczenia masy względem obudowy, wykorzystują układ tensometryczny. Konstrukcja składa się z masy umocowanej na sprężystych belkach, na których umieszczone są również piezorezystory. W wyniku działania przyspieszenia, następuje ruch masy względem obudowy, w wyniku czego belki są zginane. Zmiana ta jest wykrywana przez układ mostkowy. Podobnie, jak w przypadku konwencjonalnych pomiarów tensometrycznych, wymagana jest kompensacja zmian temperatury. Akcelerometry piezoporowe charakteryzują się szerokim pasmem pomiarowym, co pozwala rejestrować drgania w wysokich częstotliwościach, zdolne są także do pomiaru wolnozmiennych znajdując zastosowanie w prostych systemach nawigacji inercyjnej [7, 11].

Akcelerometry napięciowe (IEPE) ich budowa jest bardzo podobna do akcelerometrów piezoelektrycznych z wyjściem ładunkowym, które w swojej konstrukcji posiadają wzmacniacz ładunkowy oraz wyjście napięciowe o niskiej impedancji. Do poprawnej pracy czujnika niezbędne jest

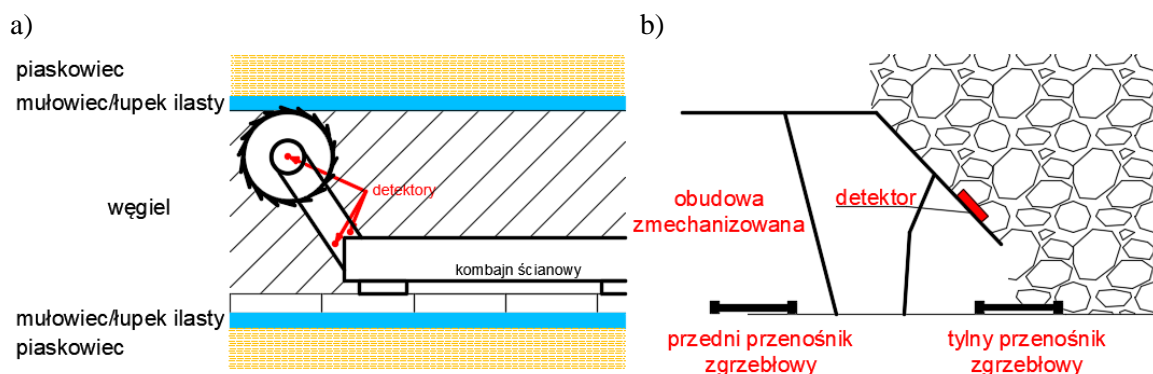
źródło prądu zasilania z zakresu od 2 do 20 mA. Akcelerometry IEPE są mniej odporne na warunki środowiskowe ze względu na posiadanie w swojej strukturze obwodów elektrycznych, zakres temperatury pracy od -40 do +120°C jest wystarczający dla większości zastosowań [7].

Laserowe czujniki przemieszczenia są najdroższą dostępną metodą pomiaru wibracji, wykorzystują zasadę triangulacji sygnału optycznego. Zasada działania polega na porównaniu wiązki lasera odbitej od badanego obiektu i docierającej do fotodetektora ze znanym sygnałem referencyjnym. Porównanie to jest możliwe dzięki wykorzystaniu zjawiska Dopplera polegającym na zmianie częstotliwości fali wywołanej ruchem światła fali lub odbiornika. Wibrometr laserowy zapewnia pomiar bezdotykowy, eliminując przy tym zakłócenia spowodowane masą czujników pomiarowych, a także niską lub wysoką temperaturą pomiarową. Pomiar może być przeprowadzony z dużej odległości. Jako przetwornik drgań może współpracować z dowolnym analizatorem drgań o wejściu bezpośrednim w celu rejestracji i analizy mierzonego sygnału. Czujniki laserowe wyróżniają się dobrą dokładnością, pozwalając na analizę drgań od częstotliwości bliskich zera, umożliwiając diagnostykę maszyn np. o niskiej prędkości obrotowej wirnika [7, 11].

Szeroki asortyment dostępnych czujników pomiarowych wibracji daje możliwość dobrania odpowiedniego rozwiązania do pomiaru wibracji kombajnu ścianowego w celu automatyzacji jego pracy. Najlepszym wyborem pod względem warunków pracy oraz zakresu pomiarowego są akcelerometry piezoporowe oraz napięciowe. Podczas urabiania kombajn ścianowy wytwarza różne wibracje zależne od urabianej skały, jej twardości, stanu noży zainstalowanych na organie kombajnu oraz ogólnego stanu technicznego maszyny. Powstałe wibracje mogą dostarczyć wielu informacji służących do diagnostyki wibracyjnej maszyny lub określenia jaki materiał jest urabiany. Detektory w metodzie wykorzystującej wibracje maszyny działają na zasadzie identyfikacji drgań mechanicznych. Każda warstwa geologiczna, która jest urabiana przez kombajn posiada różną charakterystykę wibracji zależnej od twardości skały. System identyfikacji polega na zainstalowaniu jednego lub kilku akcelerometrów możliwe jak najbliżej noży urabiających (rys. 3a). Wibracje, w które wprawiana jest maszyna podczas urabiania wychwytywane są przez czujniki i monitorowane w celu wykrycia czy kombajn nie opuścił zadanego wzoru cięcia [6, 12, 13, 14, 15].

W stosunkowo nowej metodzie wydobywania grubych pokładów węgla, która obecnie osiąga wysoką efektywność w szczególności w Chinach technika ta jest podobna do tradycyjnego wydobycia węgla, ponieważ kombajn ścianowy tnie węgiel z dolnej warstwy pokładu na przenośnik zainstalowany w pobliżu czoła ściany. W nowoczesnej metodzie LTCC (Longwal Top Coal Caving) za sekcją obudowy zmechanizowanej znajduje się dodatkowy przenośnik zgrzeblowy. Za osłoną odzawałową znajduje się dodatkowa kłapa, którą możliwe jest sterowanie zsypywania się węgla na przenośnik. Metoda polega na kruszeniu węgla pozostającego w stropie poprzez nacisk ciśnienia eksploatacyjnego pochodzącego z czoła ściany [16, 17].

Akcelerometr zamontowany na osłonie odzawałowej sekcji obudowy zmechanizowanej (rys. 3b) dokonuje pomiaru wibracji osłony przez spadające skały na osłonę umożliwiając rozpoznanie czy na przenośnik zainstalowany z tyłu obudowy zmechanizowanej spada węgiel, mieszanina węgla i skał czy skały [12, 13, 14, 15].



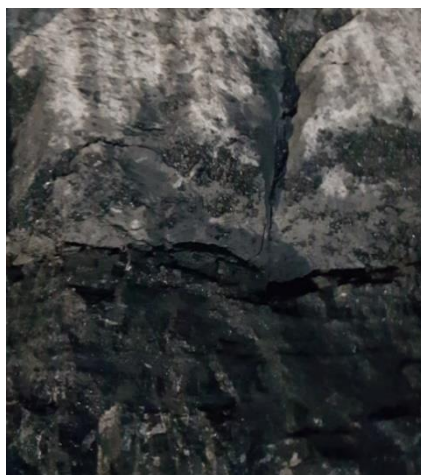
Rys. 3. Miejsce zainstalowania akcelerometru (detektora): a) na ramieniu urabiającym kombajnu ścianowego, b) na osłonie zawałowej sekcji obudowy zmechanizowanej [6, 12]

2.3. Metoda akustyczna

Metoda akustyczna jest podobna do metody wibracji. Wykorzystuje różnice generowanego dźwięku skrawania przez noże zainstalowane na głowicy urabiającej kombajnu ścianowego. Zainstalowany mikrofon rejestruje dźwięk urabiania, który po przetworzeniu wprowadzany jest do sztucznej sieci neuronowej. W celu wytrenowania sieci rejestruje się próbki dźwięku dla węgla, skały, mieszaniny węgla i skały, jak i pracy samego przenośnika zgrzeblowego by odseparować powstałe szumy [18, 19, 20].

2.4. Metoda optyczna

Metoda optyczna wykorzystuje kamerę rejestrującą obraz skał urabianych przez kombajn ścianowy. Rejestrowany obraz poddany jest analizie i wychwyceniu różnicy tekstur węgla i skały. Na rysunku 4 przedstawiono zdjęcie węgla oraz skały w ścianie eksploatacyjnej. Analiza tekstury polega na wydobyciu i znalezieniu tekstury charakterystycznej dla różnych obiektów poprzez operację na obrazie. Następnie dla tekstury obliczane są cztery wartości cech tekstury w oparciu o metodę macierzy współwystępowania szarości przestrzenne, by za pomocą sieci neuronowej wytrenowanej na podstawie funkcji tekstury rozpoznać urabianą skałę. Trudne warunki środowiska pracy, jak wysokie zapylenie, systemy zraszające na organie urabiającym powodują trudności z utrzymaniem obiektywu w czystości przez co jakość obrazu może nie być zadowalająca [6, 21, 22].



Rys. 4. Zdjęcie połączenia warstw węgla i skały



2.5. Metoda radarowa

Skuteczność działania systemu radarowego w danym miejscu zależy od dwóch parametrów elektrycznych badanego materiału. Przewodności elektrycznej i stałej dielektrycznej. Przewodność elektryczna to zdolność materiału do przewodzenia prądu elektrycznego. Im wyższa jej wartość tym, mniejsza głębokość penetracji radaru. Przewodnictwo elektryczne zależy przede wszystkim od zawartości wody, ilości rozpuszczonej soli oraz od gęstości i temperatury materiału. Stała dielektryczna mierzy zdolność materiału do magazynowania ładunku elektrycznego po przyłożeniu do niego pola elektrycznego. Dla węgla stała dielektryczna wynosi 4-5, a dla powietrza 81. Fale radiowe odbijają się, gdy nastąpi duża zmiana stałej dielektrycznej w mierzonych warstwach. Odbicie jest jeszcze większe, jeżeli powierzchnia płaska jest prostopadła do kierunku radaru. Dla pokładów węgla o niewielkim kącie nachylenia granica węgla i skały jest idealną powierzchnią, od której fale radarowe mogą być odbijane z powrotem. Należy zauważyć, że wszelkie odszczepy pokładów lub jego wstawki mogą wpłynąć na wynik badania georadarem, tak jak szczelina powietrzna pomiędzy radarem a mierzonymi warstwami. Odległość radaru od mierzonych warstw powinna być zmniejszona do minimum a jej wartość nie powinna przekraczać 10 cm. Dokonując pomiaru czasu potrzebnego do odbicia fali radarowej z powrotem, można określić grubość warstwy. Czujnik georadaru może być zainstalowany na głowicy urabiającej lub na obudowie kombajnu. Podstawowymi cechami georadaru są możliwości obrazowania podpowierzchniowego, rozdzielczość przestrzenna i czasowa, rozmiar fizyczny, bezpieczeństwo elektromagnetyczne oraz zakres funkcjonalny. Georadar posiada szerokie możliwości zastosowania w wielu dziedzinach, takich jak archeologia, inżynieria lądowa, hydrologia. Czujnik georadaru może być zainstalowany na głowicy urabiającej lub na obudowie kombajnu [6, 23, 24].

3. Opracowanie wyników pomiarów

Uzyskane dane z powyższych metod muszą być poddane obróbce by możliwe było dokładne rozpoznanie węgla od skały. Sztuczna sieć neuronowa pozwala na przetworzenie sygnałów z czujników, tak aby uzyskać interesujący wynik końcowy. W modelu sieci wyróżnia się warstwę wejściową, warstwy ukryte zazwyczaj 1 lub 2, warstwę wyjściową. W najprostszy sposób ideę funkcjonowania elementów sztucznej sieci neuronowej można opisać w następujący sposób. Sygnał wejściowy mnożony jest przez odpowiadającą mu wartość liczbową zwaną wagą, która wpływa na percepcję (reakcję) i jego udział w tworzeniu sygnału wyjściowego przez neuron. Waga może być dodatnia - pobudzająca lub ujemna - opóźniająca. W przypadku, gdy nie ma połączenia z neuronami waga jest równa zero. Zsumowane iloczyny sygnałów stanowią argument funkcji aktywacji neuronu. Wyróżnić można kilka funkcji aktywacji: liniową, skoku jednostkowego, sigmoidalną, tangens hiperboliczny, sinusoida, cosinusoida. Sieci neuronowe posiadają zdolność uczenia się, czyli zdolność do samodzielnego dostosowywania współczynników wagowych. Celem uczenia jest taki wybór wag w poszczególnych neuronach, aby sieć mogła rozwiązywać stawiane przez nią zadania, takie jak rozpoznanie tekstury, dźwięku czy wibracji. Z punktu widzenia systemu uczącego wyróżniamy: uczenie pod nadzorem (z nauczycielem), uczenie z krytykiem, uczenie samoorganizujące się (bez nadzoru).

Skuteczne rozpoznawanie sygnałów przez sieć neuronową wymaga odpowiedniego przygotowania danych wejściowych. W pierwszym etapie próbki dzielone są na treningowe oraz testowe. W następnym etapie poddane są wyodrębnieniu cech poprzez Transformacje Furiera, Transformacje Falkową lub transformacje Hilbert-Huang dla sygnałów nieliniowych i niestacjonarnych. Następnie próbki trafiają do sieci neuronowej, gdzie sieć jest trenowana. Uzyskane wyniki porównywane są zarejestrowanymi z próbkami testowymi.



4. Podsumowanie

Rozpoznanie granicy węgla i skały jest ważnym zadaniem przy stworzeniu automatycznego kompleksu ścianowego. Czujniki wykrywające naturalne promieniowanie gamma potrafią oszacować grubość węgla w stropowej warstwie w zakresie 2-50 cm, system potrzebuje do około 30 s na uzyskanie wiarygodnego pomiaru, co może poważnie wpłynąć na proces pracy kombajnu. System wymaga pobrania wielu próbek w celu zwiększenia dokładności rozpoznania lub zastosowania większego czujnika. Rozpoznawanie za pomocą fal akustycznych i wibracji cechuje się wysoką skutecznością, są to metody tanie, nie wymagające zastosowania skomplikowanych rozwiązań technicznych. Mikrofony oraz akcelerometry wykrywają skałę, kiedy jest ona urabiana przez kombajn, co nie pozwala na zostawienie półki węglowej w celu ochrony stropu przed zawałem i ochrony urządzeń przez uszkodzeniem. Rozpoznanie za pomocą obrazu z kamery ma dobrą skuteczność jednak nie działa ona przy dużym zapyleniu. Zastosowanie radaru jest najdroższym rozwiązaniem, o wysokiej wykrywalności. Należy jednak zapewnić jak najbliższą odległość czujnika od mierzonych warstw skalnych, tak aby zmniejszyć oddziaływanie „poduszki” powietrznej na wynik pomiaru, co nie zawsze jest możliwe do wykonania. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w celu analizy uzyskanych sygnałów pozwala na skuteczne odróżnienie dostarczonych sygnałów, co wraz z połączeniem urządzeń zainstalowanych w kompleksie ścianowym pozwoli na stworzenie w pełni zautomatyzowanego kompleksu ścianowego, a także na podniesienie efektywności wydobywania, zapewni bezpieczeństwo załogi oraz ograniczy koszty.

Literatura

1. Desoutter Industrial tools: <https://www.desouttertools.pl/przemysl-4-0/wiadomosci/606/rewolucja-p> [dostęp:01.09.2020].
2. Skoczyński W.: Rola sensorów w procesie wytwórczym. Napędy i sterowanie, 2019, Nr 6, pp.88-94.
3. Okulski T.: Zawartość uranu i toru w węglach polskich i amerykańskich. Polityka energetyczna, 2008, Tom 11, Zeszyt 1. s.323-334.
4. Róg L.: Promieniotwórczość naturalna węgla kamiennych i frakcji gęstościowych węgla o zróżnicowanej budowie petrograficznej i chemicznej, Prace naukowe GIG górnictwo i środowisko, 2005, s.81-101.
5. Ningbo Zhang & Changyou Liu, Radiation characteristics of natural gamma-ray from coal and gangue for recognition in top coal caving, Scientific Reports, 2018.
6. Kohinoor Basu: Feasibility of an integrated thin seam coal mining and waste disposal system, Praca dyplomowa magisterska, 1997.
(<https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/9578/thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (dostęp: 01.09.2020)).
7. ElektornikaB2B: <https://elektronikab2b.pl/technika/50568-przeglad-roznych-rodzajow-czujnikow-do-pomiaru-wibracji> [dostęp:01.09.2020].
8. Zakład Obwodów i Sygnałów Elektrycznych: https://zoise.wel.wat.edu.pl/dydaktyka/Czujniki%20i%20przetworniki/CW5_Przetworniki_piezoelektryczne_teoria_2015.pdf, [dostęp:01.09.2020].
9. Balcerzak J.: Rozpoznawanie wzorców ruchowych przy użyciu żyroskopu i akcelerometru, Praca dyplomowa magisterska, 2015, Politechnika Warszawska.



10. Andrejasic M.: Mems Accelerometers, Seminarium, 2008, University of Ljubljana.
11. prof. Krzysztof Jamielniak: <https://docplayer.pl/8798050-Sensoryka-3-czujniki-drgan.html> [dostęp:01.09.2020].
12. Guoxin Zhang, Zengcai Wang, Lei Zhao, Yazhou Qi, and Jinshan Wang: Coal-Rock Recognition in Top Coal Caving Using Bimodal Deep Learning and Hilbert-Huang Transform, Shock and Vibration, 2017; <https://doi.org/10.1155/2017/3809525>
13. Guoxin Zhang, Zengcai Wang, Lei Zhao: Recognition of rock-coal interface in top coal caving through tail beam vibrations by using stacked sparse autoencoders, Journal of vibroengineering 2016, Vol.18, Issue 7, ISSN 1392-8716.
14. Lei Si, Zhongbin Wang, Chao Tan, Xinhua Liu: Vibration-Based Signal Analysis for Shearer Cutting Status Recognition Based on Local Mean Decomposition and Fuzzy C-Means Clustering, Applied Sciences, 2016. 7(2):164.
15. Lei Si, Zhongbin Wang, Xinhua Liu, Chao Tan, Ze Liu, Jing Xu: Identification of Shearer Cutting Patterns Using Vibration Signals Based on a Least Squares Support Vector Machine with an Improved Fruit Fly Optimization Algorithm, Sensors 2016. 16(1).
16. Habib Alehossein, Brett A.Poulsen: Stress analysis of longwall top coal caving, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 2010, Vol.47, Issue 1 pp.30-41.
17. Tien Dung Le, Rudrajit Mitra, Joung Oh, Bruce Hebblewhite: A review of cavability evaluation in longwall top coal caving, International Journal of Mining Science and Technology 2017, Vol. 27, Issue 6, pp.907-915.
18. Jing Xu, Zhongbin Wang, Chao Tan, Daohua Lu, Baigong Wu, Zhen Su, Yanbing Tang: Cutting Pattern Identification for Coal Mining Shearer through Sound Signals Based on a Convolutional Neural Network, Symmetry 2018, 10(12).
19. Jing Xu, Zhongbin Wang, Chao Tan, Daohua Lu, Baigong Wu, Zhen Su, Yanbing Tang: Cutting Pattern Identification for Coal Mining Shearer through Sound Signals Based on a Convolutional Neural Network, Symmetry 2018, 10(12).
20. Guo Huiling, Liu Xin: Coal-Rock Interface Recognition Method Based on Image Recognition, Nature Environment and Pollution Technology, 2019, Vol. 18, No.5.
21. Meng Hui-ling, Li Man: Characteristic Analysis and Recognition of Coal-Rock Interface Based on Visual Technology, International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition 2016 Vol.9, No.4, pp.61-68.
22. Shuguang Miao, Xiaowen Liu, Zhongyu Liu, Lei Zhang, Kai Zhang: Ground Penetrating Radar Based Experimental Simulation and Signal Interpretation on Coal-Rock Interface Detection, Engineering 2018, 439(5).
23. Jonathon C Ralston, Andrew Strange: An Industrial Application of Ground Penetrating Radar for Coal Mining Horizon Sensing, Conference ISAP 2015, Hobart, Australia.
24. Shuguang Miao, Xiaowen Liu, Zhongyu Liu, Lei Zhang, Kai Zhang: Ground Penetrating Radar Based Experimental Simulation and Signal Interpretation on Coal-Rock Interface Detection, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018. Volume 439, Issue 5.