



Wysokowydajne kompleksy strugowe dla niskich i średnich pokładów

High-performance plow systems for low and medium seams

Dr inż. Michał Myszowski*)

Treść: W ostatnich latach wysokowydajne pod względem technicznym i efektywne ekonomicznie podziemne kompleksy eksploatacyjne odgrywają coraz większą rolę na świecie. Kompleksowe systemy wydobywcze stanowią najbardziej efektywną metodę eksploatacji, zdolną do produkcji kilku milionów ton rocznie z jednej ściany. Eksploatacja grubych pokładów jest w pełni realizowana przez kombajny ścianowe, które pracują efektywnie nawet w trudnych warunkach geologicznych. Adekwatnie do wydajnie pracujących kombajnów w grubych pokładach strugi zapewniają najwyższą wydajność w pokładach cienkich i średnich. Współczesne kompleksy strugowe są zaprojektowane do eksploatacji pokładów o grubości od poniżej jednego metra do ponad dwóch metrów (czasami nawet do trzech metrów, jak w kopalni Ibbenbüren w Niemczech), zdolnych do urabiania wyłącznie węgla w pokładzie, bez konieczności przycinania skał ze spągu lub stropu. Wszystkie nowoczesne kompleksy strugowe są zdalnie sterowane z chodnika przyścianowego lub bezpośrednio z powierzchni. Ze względu na zasadę działania, zdalne sterowanie, aplikację zaawansowanych systemów napędowych oraz wysoki poziom automatyzacji, kompleksy strugowe pracują w dzisiejszych czasach bardzo wydajnie oraz bezpiecznie. W artykule opisano niektóre ważne aplikacje strugowe o wysokiej wydajności oraz przewidywany przyszły rozwój technologii strugowej.

Abstract: Nowadays, technically efficient and economically effective underground mining systems play more and more important role worldwide. Longwall mining systems present the most effective extraction method, capable of producing several million tones of output from a single longwall face annually. The extraction of thick seams is fully occupied by shearers, which operate effectively even under difficult geological conditions. In thin seams in contrast plows deliver the highest efficiency. Contemporary plow systems are designed to extract seams with thickness below three feet up to six feet (sometimes up to ten feet – Ibbenbüren Mine in Germany), capable to stay in a seam without cutting the adjoining rock in the roof or floor. Modern plow systems are remotely controlled either from an entry or from the surface. Due to the principle of operation, remote control capability, sophisticated power supply, and unique level of automation the plow systems are capable to operate very efficiently and safely. This paper describes some important high-performance plow applications worldwide and anticipates the future development of the plow technology.

Słowa kluczowe:

kompleksy strugowe, niskie i średnie pokłady węgla, wysokowydajna ściana, wysoki poziom automatyzacji, zdalne sterowanie

Keywords:

plow systems, low and medium coal seams, high performance longwall, efficient extraction, high automation level, remote control

Wprowadzenie

Technologia strugów dla eksploatacji niskich pokładów węgla została wypracowana w Niemczech przed 80 laty. Pierwszy strug został użyty w kopalni Ibbenbüren, położonej w północnej części Nadrenii Północnej-Westfalii, w zachodnich Niemczech około roku 1940.

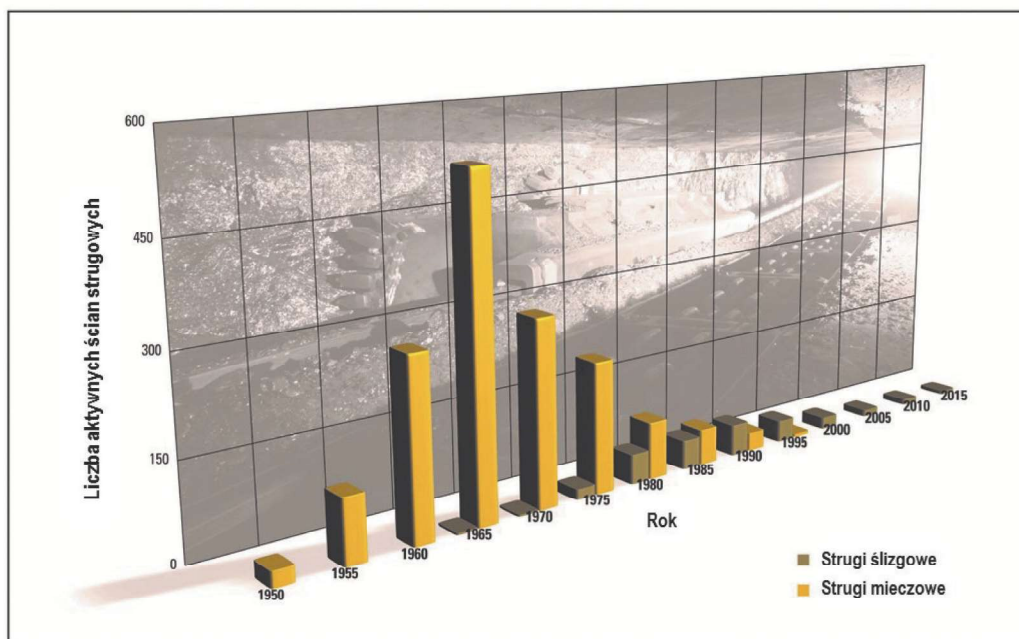
Od tego czasu na całym świecie pracowało kilkanaście tysięcy ścian strugowych. Największa liczba ścian strugowych występowała w połowie lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku, gdzie w samych Niemczech pracowało ponad 500 strugów (rys. 1) z przeciętną produkcją około 550 ton dziennie (Plum, 1991-1994).

Od tego czasu średnia wydajność ścian strugowych wzrosła od 20 do 30 razy. Obecnie średnia produkcja nowoczesnych strugów z pokładów węgla o miąższości pomiędzy 1,2 a 1,8 m przekracza 10 000 t/d. Dzisiejsze zautomatyzowane kompleksy strugowe są wyposażone w najbardziej zaawansowane rozwiązania techniczne, umożliwiające zdalne sterowanie całym systemem z powierzchni i automatyczną obsługę systemu.

Jednymi z głównych powodów tego znaczącego wzrostu wydajności ściany strugowej są m.in.:

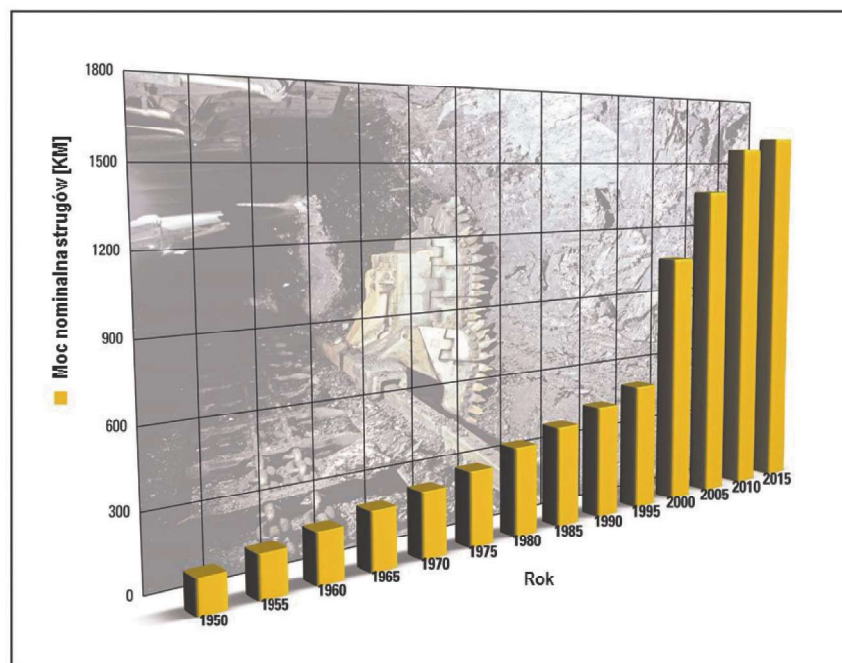
- aplikacja wysokich poziomów automatyzacji w oparciu o technologię mikroprocesorową,
- nowoczesna technologia napędowa, ze znacznym wzrostem zainstalowanej mocy w kompleksach strugowych.

*) Caterpillar Global Mining, Lueneen



Rys. 1. Liczba ścian strugowych operujących w niemieckim górnictwie podziemnym w okresie pomiędzy rokiem 1950 a 2015

Fig. 1. Number of plow faces in Germany between 1950 and 2015



Rys. 2. Średnia moc nominalna kompleksów strugowych w kopalniach niemieckich w okresie od 1950 do 2015 roku

Fig. 2. Average power installed on plows in Germany between 1950 and 2015

Rysunek 2 pokazuje, że średnia zainstalowana moc kompleksów strugowych w Niemczech wzrosła znacznie w okresie minionych 65 lat. W praktyce nominalna moc silników asynchronicznych wykorzystywanych w strugach podwajała się w ciągu kilku lat (Myszkowski, 2017).

W publikacji przedstawiono kilka istotnych aplikacji strugów typu GH1600 o wysokiej wydajności (Myszkowski, 2016). W artykule tym opisano również przewidywane zmiany technologii strugowej w niedalekiej przyszłości.

2. Kompleks strugowy typu GH1600 z KWK Prosper-Haniel w Niemczech

Podziemna kopalnia węgla kamiennego Prosper-Haniel ulokowana jest w miejscowości Bottrop w Zagłębiu Ruhry, zalegającym w kraju związkowym Nadrenia Północna-Westfalia w zachodniej części Niemiec. Kopalnia produkuje rocznie około 3,3 mln ton węgla o wysokiej jakości. Węgiel eksploatowany jest na czterech poziomach wydobywczych, na głębokościach od 700 do 1300 m. Podziemna sieć wyrobisk wynosi ponad 140 km. Zasoby kopalni Prosper-Haniel



Rys. 3. KWK Prosper-Haniel w Niemczech

Fig. 3. Underground coal mine Prosper-Haniel in Germany

oceniane są na około 200 milionów ton, a mimo to kopalnia ta będzie wkrótce zamknięta (rys.3).

Dla nowego pola eksploatacyjnego 258 w Prosper-Haniel ze średnią wysokością pokładu wynoszącą około 1,5 m, wybrana została technologia strugowa. Była ona preferowana, aby uniknąć konieczności przycinania sąsiednich warstw skalnych, co mogłoby negatywnie wpłynąć na wydajność ścianową w przypadku wyboru kombajnu. Według doświadczeń niemieckiego przemysłu wydobywczego, przy wysokości pokładu poniżej 1,8 m, przy użyciu zautomatyzowanego kompleksu, strug może osiągnąć zdecydowanie większą wydajność niż kombajn.

Dane techniczne kompleksu strugowego pracującego w polu eksploatacyjnym 258:

- długość ściany 400 m,
- obudowa ścianowa 800/2100-2x2686-1500, sekcje typu DBT Grupa II (rys. 4),
- rama napędowa MR65,
- moc nominalna struga 2 x 800 kW VFD / 1 kV, 50 Hz,
- przekładnia strugowa P-45 UEL; i = 16:1,
- łańcuch strugowy 42 x 137 mm,
- prędkość głowicy strugowej 3 m/s,
- głowica strugowa GH1600-1 (rys. 5),
- typ PZŚ PF4/1.132 mm z krzyżową ramą napędową (rys. 6),
- zespół łańcuchowy PZŚ 2 x 42x146 mm, z podziałką 6 ogniw,
- przekładnia PZŚ P-65 UEL; i = 39:1,
- moc nominalna PZŚ 2 x 1000 kW VFD / 1 kV, 50 Hz,
- prędkość łańcucha PZŚ 1,2 m/s.

Po raz pierwszy w ścianie tej zastosowano na kompleksie strugowym dwa napędy o mocy 800 kW przy współpracy z przekładniami zabezpieczającymi przed przeciążeniem typu P-45 UEL-R firmy DBT z przełożeniem 16:1.

Pokład węglowy o oznaczeniu H znajduje się na głębokości ok. 1000 m pod powierzchnią. Średnia miąższość tego pokładu wynosi 1,68 m, z czego ok. 0,15 m to warstwy skalne. Kąt nachylenia pokładu wynosił od 22,5° do 27° w kierunku ruchu ściany, co wskazuje, że jest to ściana poprzeczna biegnąca po upadzie (Göge, Paschedag 2005). Skrawalność węgla oszacowano na 1,5 kN w skali DMT. Oznacza to, że pokład węgla był stosunkowo dobrze urabialny.

Zastosowane ścianowe sekcje obudowy zmechanizowanej o szerokości 1,75 m posiadają podporność rzędu 4.600 kN,

a zakres wysokości wynosi od 0,8 do 2,1 m. Długość stropnicy wynosi 5,5 m, a masa sekcji 16,5 ton (rys. 4).



Rys. 4. Sekcja typu DSK Grupa II – podporność obudowy 4585 kN

Fig. 4. Shield of type DSK Group II – field of 604 tons

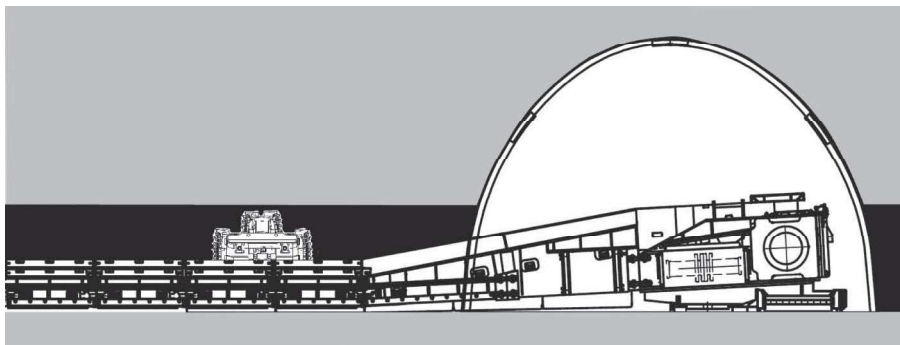
Nowe prowadnice kompleksu strugowego (w tym czasie określane jako GH42) zostały wyprodukowane z bardzo odpornego odlewianego materiału, który zawiera wysoką zawartość chromu i manganu dla uzyskania większej wytrzymałości i mniejszego zużycia ściernego. Stabilność nowej prowadnicy struga była prawie dwukrotnie wyższa w porównaniu z poprzednią prowadnicą struga typu GH 9-38ve. Nowa prowadnica składała się z bardzo stabilnych jednoczęściowych belek prowadzących z zaokrąglonymi i oddzielnymi kanałami łańcuchowymi.

Wraz z nowymi prowadnicami strugowymi wprowadzono zmodyfikowane rynny typu PF 4. Złącza na stronie czołowej i odzawałowej mają siłę zrywającą 3600 kN. Podsumowując, wprowadzona została wtedy do użytku wysoce kompaktowa konstrukcja profili metrażowych kompleksu strugowego GH1600.

Nowy korpus struga GH1600 (poprzednio również oznaczony jako GH 42) przystosowany do pracy z opisaną powyżej nową prowadnicą, został zaadoptowany z wcześniejszego korpusu struga typu 5.7. Wymiary i wytrzymałość nowego korpusu zostały zaprojektowane dla znacznie wyższej mocy zainstalowanej, wynoszącej 1600 kW, tzn. o dwukrotnie wyższej w porównaniu do ówczesnych standardowych kompleksów strugowych (rys. 5).



Rys. 5. Głowica strugowa GH1600-1 zastosowana na KWK Prosper-Haniel
Fig. 5. Plover body GH1600-1 applied in Prosper-Haniel Mine



Rys. 6. Krzyżowa rama napędowa w napędzie głównym w ścianie strugowej w polu 258 na KWK Prosper-Haniel
Fig. 6. Cross frame main drive in panel 258 in Prosper-Haniel Mine

Rysunek nr 6 przedstawia przekrój poprzeczny skrzyżowania ściany z chodnikiem podścianowym, prezentując formę krzyżowej rama napędowej przenośnika ścianowego. Dla tego nowego korpusu struga opracowano udoskonalony, zdecydowanie mocniejszy układ noży ze zmodyfikowaną geometrią (w porównaniu do poprzednich noży typu DBT 99). Uchwyty do noży zostały znacznie wzmocnione, opierając się na założeniu, że siły skrawania tego nowego korpusu struga będą znacznie wyższe niż w wersji wcześniejszej, gdzie najwyższa moc zainstalowana wynosiła 800 kW.

Tabela nr 1 przedstawia średnią i maksymalną wydajność osiągniętą w polu 258 w kopalni Prosper-Haniel. Pole to eksploatowane było w okresie od września 2003 r. do maja 2004 r.

W całym okresie eksploatacji opisanej ściany wydobyte urobku ze ściany wyniosło 1,32 miliona ton. Wartość ta odpowiada ilości około 1,1 miliona ton czystego węgla. Kompleks strugowy GH 1600, pracujący w polu 258 w kopalni Prosper-Haniel był w owym czasie zdecydowanie najlepszym eksploatacyjnym kompleksem strugowym we wszystkich kopalniach RAG (DSK) w 2003 r. W tym czasie tylko jedna

znacznie wyższa ściana kombajnowa w przedsiębiorstwie Deutsche Steinkohle AG (DSK) osiągała większą wydajność (Voss i in. 2004, Bittner, Weiss 2007).

3. Kompleks strugowy typu GH1600 na KWK Pinnacle w USA

Kopalnia Pinnacle należąca obecnie (od grudnia 2015 r.) do Firmy Seneca Coal Resources, LLC (wcześniej do Cliffs Natural Resources Inc.) znajduje się w centralnej części Appalachów w południowo-zachodniej Virginii, niedaleko miasta Pineville (rys. 7).

Eksploatacja węgla metalurgicznego w tej kopalni odbywa się w niskim pokładzie o nazwie Pocahontas nr 3. Pokład ten zalega na głębokości od 300 m do 500 m i posiada miąższość pomiędzy 1,1 a 1,4 m, przy średniej wartości ok. 1,15 m. Wszystkie działania eksploatacyjne kopalni prowadzone są w obszarach prawie poziomych, z nachyleniem pokładu do 5°.

Tabela 1. Wydobyte brutto pierwszego kompleksu strugowego typu GH1600 na KWK Prosper-Haniel
Table 1. ROM Performance of the first GH1600 plover system Prosper-Haniel Mine

Kompleks strugowy	Pole	Długość		Średnie wyniki dzienne		Maksymalny wynik dzienny	
		Pola	Ściany	Postęp	Wydobycie	Postęp	Wydobycie
1	258	1300 m	40 m	7,39 m	11 689 t	11,0 m	17 650 t



Rys. 7. KWK Pinnacle w Stanach Zjednoczonych
Fig. 7. Pinnacle Mine in the United States

Kopalnia Węgla Kamiennego Pinnacle (wcześniej nazywana US Steel # 50) używa strugów od 1977 roku. Wszystkie ściany były eksploatowane w kierunku wybierania od pola. Chodniki przyścianowe miały wysokość pomiędzy 1,5 m (chodnik nadścianowy) a 2 m (chodnik podścianowy). Zasadniczo wszystkie chodniki w kopalni Pinnacle prowadzone są w obudowie kotłowej.

W 1989 roku kopalnia Pinnacle posiadała pierwszą na świecie zautomatyzowaną ścianę bez obecności operatora w wyrobisku ścianowym. Westfalia Lünen (poprzednik firmy Caterpillar) dostarczyła do U.S. Steel Mine 50 w 1989 i 1990 r. dwa następujące kompleksy strugowe:

- długość ściany 250 m,
- obudowa ścianowa 2-stojakowe sekcje o szerokości 1,75 m ze sterownikami typu PM 3,
- moc nominalna struga 2 x 270 kW,
- prowadnice struga 9-34 ve,
- łańcuch strugowy 30 x 126 mm,
- prędkość struga 1,54 m/s,
- szerokość PZS 900 mm,
- moc nominalna PZS 2 x 270 kW.

W 1999 r. nowy kompleks strugowy opisany poniżej został dostarczony przez firmę DBT (Paschedag, Filipiak 2000).

Dane techniczne:

- długość ściany 319 m,
- moc nominalna struga 2 x 400 kW,
- prowadnice struga 9-38 ve,
- łańcuch strugowy 38 x 137 mm,
- prędkość struga 1,98 m/s,
- głowica strugowa Typ 2.7 – potrójny korpus,
- typ PZS PF4/1032 mm z przesypem krzyżowym,
- moc nominalna PZS 2 x 600 kW,
- prędkość PZS 1,86 m/s.

Strugi w kopalni Pinnacle pracują z głębokościami zabioru do 250 mm. Tak wysoka głębokość zabioru generuje duży strumień urobku, a tym samym wysokie wydobycie. Wcześniejsze doświadczenia wykazały, że pojedynczy korpus głowicy strugowej ma trudności z załadowaniem takiej ilości węgla na przenośnik ścianowy. Z tego powodu opracowano i wyprodukowano nowy, potrójny korpus głowicy struga z dolnymi blokami skrawalnymi zlokalizowanymi na środkowym korpusie, umożliwiającą ładowanie urobionego węgla równocześnie w dwóch różnych punktach. Podobnie jak w poprzednim modelu korpusu głowicy struga, wszystkie części ulegające zużyciu były wymienne w ścianie.

Kompleksy strugowe w kopalni Pinnacle osiągnęły w ostatniej dekadzie produkcję do 1550 t/h. Na podstawie dziennego sumarycznego czasu pracy struga, wynoszącego od 14 do 16 godzin (zazwyczaj), uzyskano wydobycie czystego

węgla w ilości od 14 000 t/d do 17 000 t/d. Maksymalna produkcja osiągnięta w tym polu eksploatacyjnym wynosi 22 700 t/d czystego węgla (Paschedag, 2005).

Po 10 latach bardzo intensywnych prac wydobywczych, kopalnia Pinnacle zdecydowała o zakupie nowego kompleksu ścianowego dla pokładu Pocahontas. W celu wyboru, z jednej strony najbardziej technicznie niezawodnego i wydajnego kompleksu roboczego, a z drugiej – wyposażenia zapewniającego najniższe koszty produkcji, przeprowadzono kompleksowe badanie dostępnych technologii.

Kompleks strugowy dostarczony w 2010 r. do kopalni Pinnacle charakteryzował się następującymi danymi:

- długość ściany 300 m,
- obudowa zmechanizowana 885/1970-2x3181-1750 (rys. 10),
- rama napędowa MR35-1100/1500,
- moc nominalna struga 2 x 300/600 kW / 4,160 V, 60 Hz,
- skrzynka strugowa HK 40-2,
- łańcuch strugowy 42x137 mm,
- prędkości struga 0,99 m/s oraz 1,98 m/s,
- głowica strugowa GH1600-3 - potrójny korpus (rys. 9),
- typ PZS PF4/1132 mm z przesypem krzyżowym (rys. 11),
- zespół łańcuchowy PZS 2 x 34x126 mm, z podziałką 6 ogniwi,
- przekładnie PZS KP30 CST,
- moc nominalna PZS 2x300kW/4,160V,60Hz,
- prędkość PZS 2,13 m/s.

Najnowszy kompleks strugowy typu GH1600 opracowany dla kopalni Pinnacle został zmontowany i gruntownie przetestowany podczas testu kompatybilności, który odbył się w lipcu 2010 r. w miejscowości Houston w stanie Pensylwania. Testowy kompleks strugowy o długości 50 m wraz z sekcjami obudowy zmechanizowanej, urządzeniami dla zasilania i sterowania został skonfigurowany, zabudowany oraz sprawdzony w ciągu kilku tygodni (rys. 8). Tego typu działania były konieczne, ponieważ w tym kompleksie strugowym po raz pierwszy wprowadzono kilka nowych rozwiązań technicznych.

Korpus strugowy typu GH1600-3 (rys. 9) dla nowej ściany strugowej w kopalni Pinnacle ma podobną konstrukcję do wcześniejszych rozwiązań. Korpus składa się z dwóch jednostek zewnętrznych i jednej części środkowej, w której łańcuch ciągnący jest przymocowany do korpusu głowicy strugowej poprzez specjalny element pociągowy. Korpus struga zaprojektowano tak, aby funkcjonował efektywnie przy wysokim strumieniu ładowania urobku na przenośniku ścianowym (PZS), co byłoby trudne do uzyskania w przy-



Rys. 8. Najnowszy kompleks strugowy dostarczony do kopalni Pinnacle w 2010 r.
Fig. 8. The newest plow system delivered to the Pinnacle Mine in 2010

padku stosowania struga z pojedynczym korpusem. Aby zoptymalizować funkcjonalność struga podczas urabiania silnie pofałdowanych fragmentów pokładu węglowego, dolne bloki skrawająco-ładujące zlokalizowane są stosunkowo blisko środka potrójnego korpusu.

Kompleks strugowy kopalni Pinnacle obsługiwany jest ze specjalnej kabiny operatora, zlokalizowanej w pociągu aparaturowym ulokowanym w chodniku podścianowym. Wewnątrz tej kabiny znajdują się wszystkie niezbędne systemy komputerowe, urządzenia sterujące i komunikacyjne, monitory oraz inne konieczne układy automatyki. Podziemna kabina operatora jest połączona z pomieszczeniem kontrolnym zlokalizowanym w budynku kopalnianym na powierzchni za pomocą światłowodów.

Kompleks strugowy składa się z dwóch rodzajów obudowy zmechanizowanej ścianowej oraz chodnikowej. Sekcje obudowy ścianowej podtrzymują strop w wyrobisku, w którym wydobywany jest węgiel, a sekcje chodnikowe podtrzymują strop na skrzyżowaniach wybiska ścianowego z chodnikami przyścianowymi. Sekcje ścianowe mają minimalną wysokość geometryczną wynoszącą 0,88 m oraz maksymalną wysokość rzędu 1,97 m (rys. 10).

Sekcje chodnikowe posiadają podporność rzędu 6816 kN oraz zakres wysokości pomiędzy 1,14 m oraz 3,05 m. W celu

odpowiedniego zabezpieczenia osprzętowania na skrzyżowaniach chodnikowych zakresy wysokości tych sekcji są nieco większe w odniesieniu do obudowy ścianowej. Długość stropnicy oraz masa sekcji chodnikowej wynoszą odpowiednio 8,18 m oraz 23,7 ton. Opisane sekcje obudowy zmechanizowanej zostały precyzyjnie zaprojektowane w odniesieniu do warunków geologicznych oraz szczegółowo przetestowane.

Wysoka funkcjonalność oraz jakość obudowy zmechanizowanej, jak i systemu eksploatacyjnego oraz PZŚ wpływa istotnie na minimalizację „Całkowitego Kosztu Posiadania” (anglojęzyczne oznaczenie: TCO) kompleksu ścianowego, czyli na redukcję jednostkowych kosztów eksploatacyjnych w pełnym okresie użytkowania przedmiotowego kompleksu strugowego.

Opisywany najnowszy kompleks strugowy rozpoczął pracę w kopalni Pinnacle pod koniec 2009 r. w stosunkowo krótkim polu eksploatacyjnym. Po przebudowaniu kompleksu do nowego pola eksploatacyjnego ściana strugowa została uruchomiona ponownie wiosną 2011 r. W połowie 2011 r. kopalnia Pinnacle została zamknięta na kilka miesięcy przez amerykański Urząd Górniczy MSHA z powodu wystąpienia niedopuszczalnej emisji CO i konieczności podjęcia niezbędnych działań zaradczych (Myszkowski i Bauckmann, 2011).

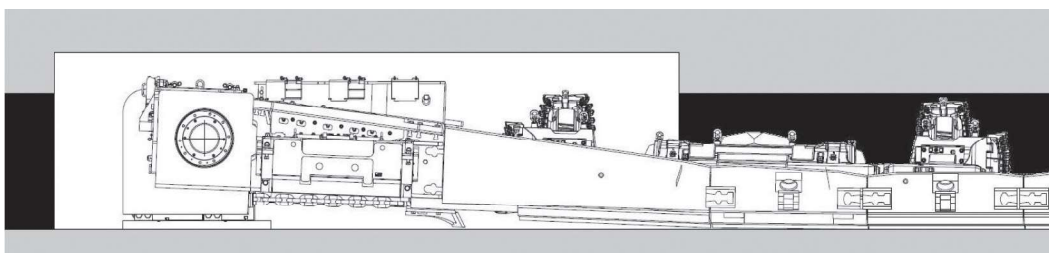


Rys. 9. Głowica strugowa GH1600-3 z KWK Pinnacle
Fig. 9. Plow body GH 1600-3 from the Pinnacle Mine



Rys. 10. Sekcja obudowy zmechanizowanej z kompleksu strugowego kopalni Pinnacle – podporność sekcji 5162 kN

Fig. 10. Face shield from the Pinnacle plow system – yield of 715 tons



Rys. 11. Krzyżowa rama na napędzie głównym kompleksu strugowego kopalni Pinnacle

Fig. 11. Cross frame main drive in Pinnacle Mine

Tabela 2. Wielkości wydobywcze kompleksów strugowych na kopalni Pinnacle

Table 2. Performance of plow systems in Pinnacle Mine

Kompleks strugowy	Pole	Długość		Średnie wyniki dzienne		Maksymalny wynik dzienny	
		Pola	Ściany	Postęp	Wydobycie	Ściany	Wydobycie
1	8D	2000 m	250 m	23,3 m	11 510 t	42,0 m	18 140 t
2	7O	2800 m	290 m	12,0 m	15 500 t	37,0 m	22 700 t
3	9I	2631 m	300 m	24,2 m	18 834 t	47,9 m	32 411 t

Szerokość chodnika podścianowego z prostokątną obudową wynosi 7 m, a jego wysokość jedynie 2 m, ze względu na trudną urabialność (wysoką wytrzymałość na ściskanie) skał stropowych. Chodnik nadścianowy posiada taką samą wysokość, ale jest węższy o 1,5 m. Ponieważ obydwie chodniki przyścianowe posiadają specjalne niskie sekcje chodnikowe z długimi stropnicami, podtrzymujące strop na obydwu skrzyżowaniach, obydwie stacje napędowe mają wysokość rzędu 1,6 m. Rysunek 11 prezentuje napęd główny najnowszego kompleksu strugowego z Pinnacle.

Tabela nr 2 przedstawia wielkości oraz wyniki produkcyjne z pól eksploatacyjnych w kopalni Pinnacle, w których pracowały trzy powyżej opisane kompleksy strugowe.

Najwyższy w świecie wynik produkcyjny strugowego kompleksu ścianowego („Rekord świata”) ze ściany o długości 300 m oraz wysokości 1,35 m w wysokości 32 411 ton urobku (tabela nr 2) uzyskany został w dniu 11 kwietnia 2014 r.

4. Kompleksy strugowe na kopalni Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A.

LW „Bogdanka” jest jedyną kopalnią wydobywającą węgiel kamienny w Lubelskim Zagłębiu Węglowym (rys. 12).

Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A. jest jednym z czołowych producentów węgla kamiennego w Polsce. Firma ta osiągnęła wiodącą pozycję w tym sektorze dzięki intensywnej pracy nad ciągłym zwiększaniem efektywności działalności górniczej w ostatnich 30 latach. Wydobywany przez „Bogdanke” węgiel

wykorzystywany jest głównie do produkcji energii elektrycznej i ciepłej oraz przy produkcji cementu.

Operatywne złoża Lubelskiego Węgla „Bogdanka” S.A. posiadają około 235 milionów ton węgla. Obszar górniczy LW „Bogdanka” S.A. wynosi 73 km². W obszarze tym, spośród 18 pokładów węgla sklasyfikowanych jako zasoby bilansowe i znajdujących się pod nadkładem o wysokości od 650 m do 730 m, do eksploatacji wykorzystano osiem pokładów z zasobami przemysłowymi. LW „Bogdanka” S.A. składa się z trzech rejonów: Bogdanka, Nadrybie i Stefanów, oddległych od siebie o kilka kilometrów. Kopalnia rozpoczęła wydobywanie w 1982 roku i od tego czasu wydobyto ponad 120 milionów ton węgla.

Przez pierwsze 28 lat „Bogdanka” opierała swoje wydobywanie na technologii kombajnowej. Pod koniec minionego dziesięciolecia postanowiono podwyższyć znacznie ówczesne wydobywanie roczne do 5,5 miliona ton. Aby osiągnąć ten cel, zapadła decyzja o zastosowaniu technologii strugowej dla eksploatacji stosunkowo niskiego pokładu 385/2. Zastosowanie tej technologii bazowało na założeniach zwiększenia efektywności i poprawy opłacalności wydobywania oraz znacznego zmniejszenia ilości kamienia w urobku transportowanym na powierzchnię.

Pierwsza strugowa ściana wydobywcza została zainstalowana w rejonie Nadrybie w panelu 1/VI/385, znajdującym się w pokładzie 385/2, w polu eksploatacyjnym o długości 1750 m. Wydobywanie pierwszym kompleksem strugowym w tym polu eksploatacyjnym rozpoczęto 25 marca 2010 r. (rys. 13).



Rys. 12. Kopalnia “Bogdanka” – pole Stefanów (fot. Arkadiusz Gola)
 Fig. 12. “Bogdanka” Mine – Stefanów Field (photo Arkadiusz Gola)



Rys. 13. Kompleks strugowy Bogdanka I
 Fig. 13. Plow system from Bogdanka I

- Dane techniczne kompleksu strugowego z pola I/VI/385:
- długość ściany 250 m,
 - obudowa ścianowa 950/2000-2x3619-1750 (rys. 14),
 - rama napędowa MR65,
 - moc nominalna struga 2 x 210/630 kW / 3,3 kV, 50 Hz,
 - przekładnia strugowa P-45 UEL; $i = 16:1$,
 - łańcuch strugowy 42x137 mm,
 - prędkość struga 2,94 m/s,
 - głowica strugowa GH1600-1 (rys. 13),
 - typ PZŚ PF4/1032 mm z czołową ramą napędową (rys. 16),
 - PZŚ Zespół łańcuchowy 2 x 42x146 mm, podziałka 6,
 - przekładnie PZŚ P-45 CST; $i = 33:1$,
 - moc nominalna PZŚ 2 x 800 kW / 3,3 kV, 50 Hz,
 - prędkość łańcucha PZŚ 1,52 m/s.



Rys. 14. Sekcja ścianowej obudowy zmechanizowanej kompleksu Bogdanka I – podporność sekcji 6413 kN
 Fig. 14. Face shield from plow system of Bogdanka I – yield of 813 tons

Po upływie dwóch miesięcy od uruchomienia kompleksu osiągnięto wydajność rzędu 6600 ton na dobę. Z upływem czasu wydajność kompleksu strugowego stale rosła i osiągnięto produkcję na planowanym poziomie 10 000 ton na dobę. W dniu 25 sierpnia 2010 r. osiągnięta została maksymalna dzienna produkcja w wysokości 16 894 ton. Pierwsze pole zostało wyeksploatowane w dniu 20 października 2010 r. (Stopa, 2011).

Kolejne pole eksploatacyjne z pierwszym strugiem zostało wprowadzone w rejonie Stefanów (rys. 17). To nowe pole eksploatacyjne z oznaczeniem 7/VII/385 posiadało inną wielkość w porównaniu z pierwszym, eksperymentalnym polem na Nadrybiu. Długość ściany została wydłużona z 250 m do 305 m, a długość pola eksploatacyjnego była w przybliżeniu 3 razy większa. Miąższość pokładu w tym polu wynosiła od 1,2 m do 1,6 m. Ściana w polu 7/VII/385 została uruchomiona na początku października 2011 r.

Ważną zmianą było usytuowanie stanowiska sterowania kompleksem strugowym na powierzchni. Stacja kontrolna została ustawiona w specjalnym pomieszczeniu w budynku administracyjnym na Stefanowie. W porównaniu z kabiną sterowania ulokowaną w pociągu aparaturowym w pierwszym polu na Nadrybiu, stacja kontrolna na Stefanowie została dodatkowo wyposażona w szereg innych systemów monitorujących zasilanie energetyczne, transport urobku, pompy wysokociśnieniowe, wentylacje i inne istotne systemy operacyjne (rys. 15).

Zadaniem dyspozytora, wraz ze skuteczną kontrolą wszystkich urządzeń kompleksu strugowego, jest szybkie reagowanie w przypadku wszelkich niezaplanowanych przerw.

Aby kompleks funkcjonował skutecznie, obok monitoringu ściany strugowej, dyspozytor musi mieć również bezpośredni dostęp do monitoringu wszystkich istotnych systemów kontrolnych związanych z zasilaniem kompleksu istotnymi źródłami, transportem, wentylacją itd. Posiadanie wszystkich kluczowych informacji pozwala na szybkie reakcje w przypadku przerw w pracy kompleksu. Biorąc pod uwagę, że przy wysokiej wydajności kompleksu strugowego jednogminutowa przerwa oznacza utratę 15 do 30 ton, to możliwie szybkie usunięcie przerywy produkcyjnej odgrywa podstawową rolę.

Kompleks strugowy na polu eksploatacyjnym Stefanów osiągnął poziom produkcji od 11 000 do 16 500 ton na dobę. Dzienny czas pracy struga wzrósł w porównaniu z pierwszym polem (Nadrybie) z 6 do ponad 10 godzin. Ten wzrost poziomu produkcji wynikał po części z większej długości ściany, jak i poprawy procesów operacyjnych, bazujących na doświadczeniach z pierwszego pola oraz usprawnień technicznych, wdrożonych w drugim polu eksploatacyjnym.

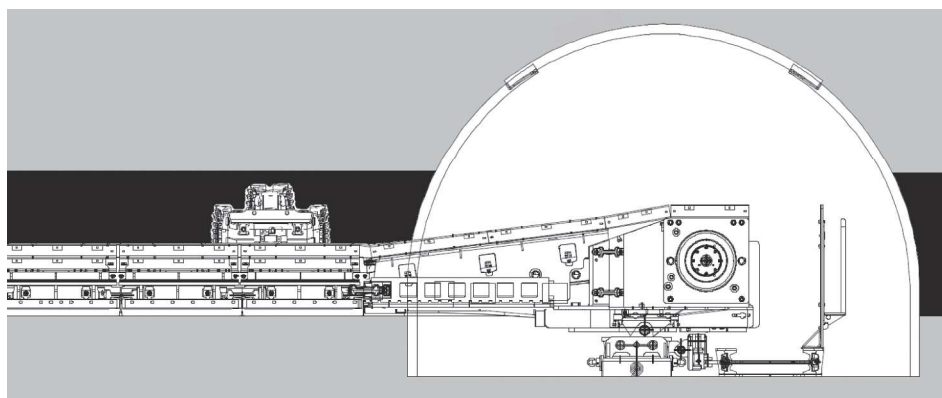
W dniu 16 lutego 2012 r. „Bogdanka” pobiła światowy rekord dobowej produkcji węgla w wysokości 24 900 t ze ściany wyposażonej w kompleks strugowy pracujący w polu 7/VII/385. Postęp ściany strugowej osiągnął w tym dniu wartość ponad 27 m przy średniej wysokości ściany 1,63 m.

W drugiej połowie 2012 roku kompleks strugowy dotarł do obszaru pola eksploatacyjnego o bardzo trudnych warunkach geologicznych. Podczas eksploatacji w tym obszarze pola wystąpiło wiele problemów. Z tego powodu produkcja w tym okresie spadła poniżej 11 000 ton na dobę. Średnia dzienna wydajność w roku 2012 wyniosła 12 920 ton. Kompleks strugowy wydobyl w 2012 r. łącznie 3,78 miliona ton urobku.



Rys. 15. Stacja kontrolna kompleksu strugowego na Stefanowie

Fig. 15. Płow control room in Stefanów



Rys. 16. Wysyp czolowy napędu głównego kompleksu strugowego na Bogdancie

Fig. 16. Overhead discharge main drive in Bogdanka Mine

W czwartym kwartale 2012 r. rozpoczął pracę drugi kompleks strugowy w rejonie Nadrybie, który w znacznym stopniu bazował na rozwiązaniach technicznych z stosowanych we wcześniejszej wersji. Niemniej wprowadzono kilka ważnych zmian technicznych w porównaniu do pierwszego kompleksu strugowego. Istotne zmiany techniczne dotyczyły elementów:

- na strugu zaistalowano asynchroniczne dwubiegowe silniki o mocy nominalnej 265/800 kW,
- do zasilania silników struga i PZŚ zastosowane zostały przemienniki częstotliwości (VFD) o napięciu 3,3 kV,
- dla napędzania struga i PZŚ opracowano wersję przekładni typu P45-CST VM.

Pociąg aparaturowy zawierający przemienniki częstotliwości, jak również transformatory, wyłączniki, pompy, kabiny sterujące i inne elementy, zlokalizowany jest w we wszystkich ścianach kompleksów strugowych na Bogdance w chodniku nadścianowym.

Przemienniki częstotliwości średniego napięcia wprowadzone zostały w ognioszczelnej obudowie z wykorzystaniem falownika prądowego (CSI) z modulacją szerokości impulsu (PWM). Przemiennik tego typu posiada efektywną strukturę z dławikiem ograniczającym wartość prądu w obwodzie DC, dzięki czemu nie jest wymagane zabezpieczenie obwodu mocy za pomocą bezpieczników półprzewodnikowych.

Przemienniki prądowe działają bardziej precyzyjnie niż przemienniki napięciowe (VSI), generując prawie sinusoidalny przebieg prądu i napięcia z całkowitym współczynnikiem odkształcenia (THD) poniżej granicy 5%. Prądowe przemienniki częstotliwości stosowane w Bogdance posiadają funkcje generatorowe, dzięki czemu mogą one umożliwić powrotny przepływ mocy z wyhamowywanego silnika do sieci zasilającej (Myszkowski, 2014). Wszystkie cztery przemienniki częstotliwości umieszczone są wraz ze specjalną stacją chłodzenia w pociągu aparaturowym w chodniku nadścianowym. Stacja chłodzenia obsługuje wszystkie przemienniki, wykorzystując obwód zamknięty dla specjalnej niskoprzewodzącej cieczy chłodzącej (rys. 18).

Stosowanie przemienników częstotliwości powoduje znaczną poprawę funkcjonalności pracy struga i PZŚ, wnosząc między innymi następujące zalety:

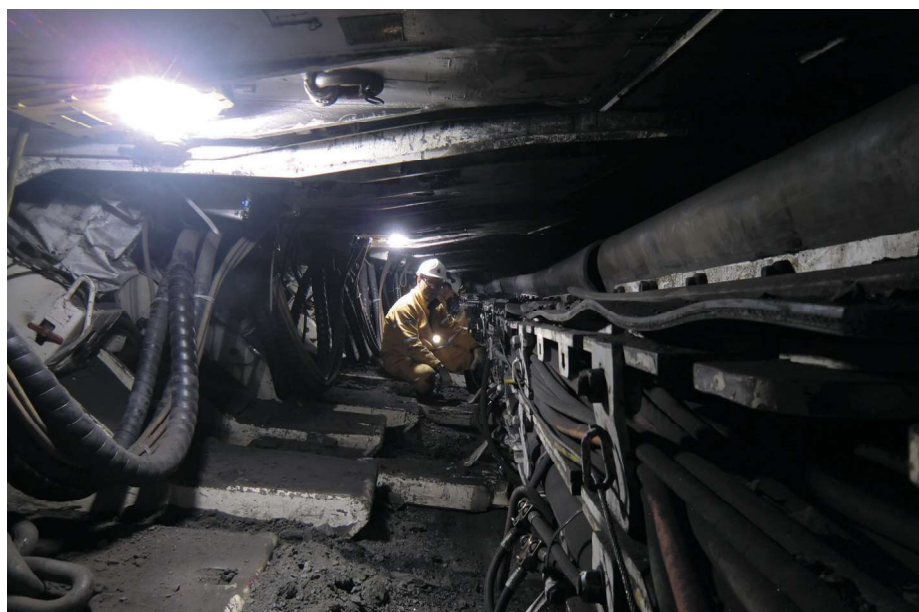
- możliwość stosowania standardowych jednobiegowych silników asynchronicznych,
- ustawianie zmiennej prędkości PZŚ i struga w szerokim zakresie (0 do 120% prędkości nominalnej),
- precyzyjna kontrola momentu obrotowego silników asynchronicznych w pełnym zakresie obrotów,
- równomierne bądź proporcjonalne obciążanie wszystkich silników,
- poprawa zabezpieczenia przed statycznym i dynamicznym przeciążeniem napędów i łańcuchów,
- możliwość hamowania lub blokowania struga i PZŚ oraz przesyłanie uzyskanej energii do sieci,
- nieograniczona ilość uruchamiania silników asynchronicznych,
- brak generowania znacznego spadku napięcia podczas rozruchu silników,
- możliwość pracy w słabych elektrycznych sieciach zasilających.

Ze względu na wysoką jakość energii elektrycznej generowanej przez te przemienniki częstotliwości, odległość między napędami (silnikami) a przemiennikami częstotliwości może wynosić do 15 kilometrów.

Parametryzacja i sterowanie przemiennikami odbywa się z układu sterowania w pociągu aparaturowym, bądź z centrum sterowania znajdującego się na powierzchni.

Inną ważną innowacją techniczną w drugim kompleksie strugowym na Bogdance była aplikacja nowej przekładni typu CST VM. Urządzenie to jest przeznaczone do pracy ciągłej przy regulowanej prędkości obrotów, przy zachowaniu wszystkich poprzednich funkcji napędów wyposażonych w przekładnie CST. Stosowanie tego typu napędów z przekładniami CST zapewnia bardzo precyzyjne zabezpieczenie przed przeciążeniem przenośników zgrzebłowych oraz strugów (Myszkowski i Löhning, 2000).

W listopadzie 2014 r. trzeci kompleks strugowy typu GH1600 rozpoczął pracę w rejonie Nadrybie. Długość ściany wydobywczej Bogdanka III wynosiła 304 m. Kompleks ten był porównywalny do poprzedniego kompleksu Bogdanka II (rys. 17). Kompleks Bogdanka III wyposażony został w ten sam typ obudowy zmechanizowanej kompleksu strugowego, przenośnika ścianowego oraz podścianowego, kruszarki



Rys. 17. Ściana z kompleksem strugowym Bogdanka II

Fig. 17. Face with plow system of Bogdanka II



Rys. 18. Przełączniki częstotliwości kompleksu Bogdanka II zlokalizowane w pociągu aparaturowym

Fig. 18. VFDs of Bogdanka II plow system placed in the energy train at the tail drive

i systemu zasilania. Jedną z nowych funkcji była zdalnie sterowana, automatyczna kontrola nastawienia poziomu horyzontalnego dla PZŚ. Na co piątej rynnie zamontowany jest czujnik nachylenia i zdalnie sterowane zawory dla siłowników korekcji poprzecznej.

Czwarty kompleks strugowy typu GH1600 rozpoczął działalność w maju 2015 r. Kompleks Bogdanka IV został wdrożony jako pierwsza ściana strugowa w rejonie centralnym Bogdanki. Kompleks ten posiada kilka różnic w porównaniu do poprzednich ścian strugowych. Główne zmiany to:

- stropnice sekcji obudowy ścianowej mają długość ponad 4 m, czyli są dłuższe o 380 mm niż sekcje z poprzednich trzech kompleksów strugowych; posiadają również kilka mniejszych modyfikacji,
- strug wyposażony jest w silniki jednobiegowe o mocy 800 kW, identyczne jak silniki na PZŚ,
- przełączniki częstotliwości mają nieco prostszą konstrukcję bez funkcji przełączania na tryb konwencjonalny,
- wprowadzone zostały również pewne różnice w systemach sterowania i kontroli.

Kompleks strugowy Bogdanka IV zaaplikowany został w obszarze pokładu 385/2, charakteryzującym się znacznie trudniejszymi warunkami geologicznymi.

Tabela nr 3 zawiera dane wielkości czterech pól eksploataowanych kompleksami strugowymi oraz adekwatne średnie i maksymalne wyniki produkcyjne.

Takie wyniki produkcyjne w niskim pokładzie węglowym na Bogdancie możliwe były dzięki następującym faktom:

- LW „Bogdanka” S.A. jest jedną z bardzo nowoczesnych oraz wysoko zautomatyzowanych kopalń operujących w podziemnym górnictwie węgla kamiennego w skali światowej,

- załoga tej kopalni jest dobrze wyszkolona oraz odpowiednio zmotywowana, posiadająca wysoki poziom wiedzy górniczej i technicznej,
- zalety technologii kompleksów strugowych są dobrze widoczne w takich warunkach. Wielkość współczynnika proceduralnego PUD (Myszkowski, Paschedag, 2008) odgrywa tutaj kluczową rolę. Najwyższy PUD można uzyskać podczas poruszania się głowicy strugowej od napędu do napędu z podwójną głębokością zabioru w strefach przynapędowych. Aplikacja takiej procedury w kompleksie strugowym umożliwia zwiększenie wydajności eksploatacyjnej o 50% do 100% w porównaniu do ścian wyposażonych w kombajny pracujące w porównywalnych warunkach górnico-geologicznych.

Kompleksy strugowe CAT wydobyły na Bogdancie dotychczas łącznie ponad 36 milionów ton brutto, chociaż w wielu okresach operowała równocześnie tylko jedna, dwie lub trzy ściany strugowe.

5. Potencjał eksploatacyjny kompleksów strugowych

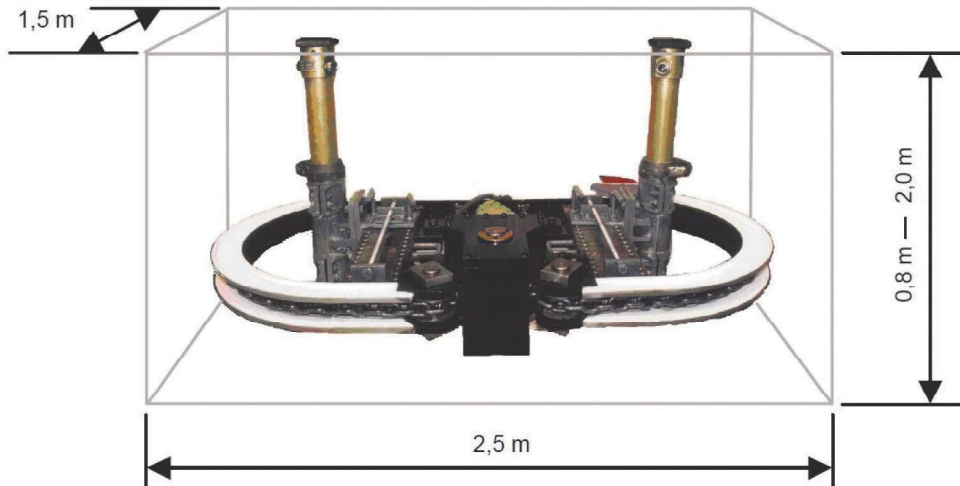
Współczesne kompleksy strugowe mają duże możliwości uzyskania wysokiej wydajności. Kompleks strugowy GH1600 o mocy nominalnej 1600 kW na strugu może osiągnąć średnią dzienną wydajność - w przeliczeniu na całe pole eksploatacyjne - pomiędzy 8000 a 12 000 ton, nawet w trudno urabialnych pokładach.

Urabialność pokładów dla kompleksów strugowych opracowywana jest poprzez pomiary *in situ* w pokładzie przewidzianym dla aplikacji kompleksu strugowego (Myszkowski, 2004). W tym celu stosowane jest urządzenie pomiarowe skonstruowane przez zachodniemiecki instytut górnictwa Deutsche Montan Technologie (rys. 19).

Tabela 3. Produkcja brutto kilku kompleksów strugowych z Bogdanki

Table 3. ROM Performance of some plow systems in Bogdanka

Kompleks strugowy	Pole	Długość		Średnie wyniki dzienne		Maksymalny wynik dzienny	
		Pola	Ściany	Postęp	Wydobycie	Postęp	Wydobycie
1	1/VI/385	1750 m	250 m	10,4 m	8 200 t	21,8 m	16 894 t
2	7/VII/385	5022 m	305 m	12,0 m	11 721 t	27,0 m	24 934 t
3	1/VIII/385	5016 m	304 m	10,8 m	10 201 t	15,0 m	15 309 t
4	6/VII/385	4850 m	305 m	10,1 m	10 050 t	13,6 m	13 679 t



Rys. 19. Urządzenie pomiarowe do badania urabialności pokładów
Fig. 19. Measuring device for an analysis of seams cuttability

Jako wskaźnik urabialności rozpatruje się tutaj opór skrawania, czyli średnią siłę skrawania noża pomiarowego ulokowanego w środkowej pozycji głowicy pomiarowej, a pracującego przy następujących parametrach:

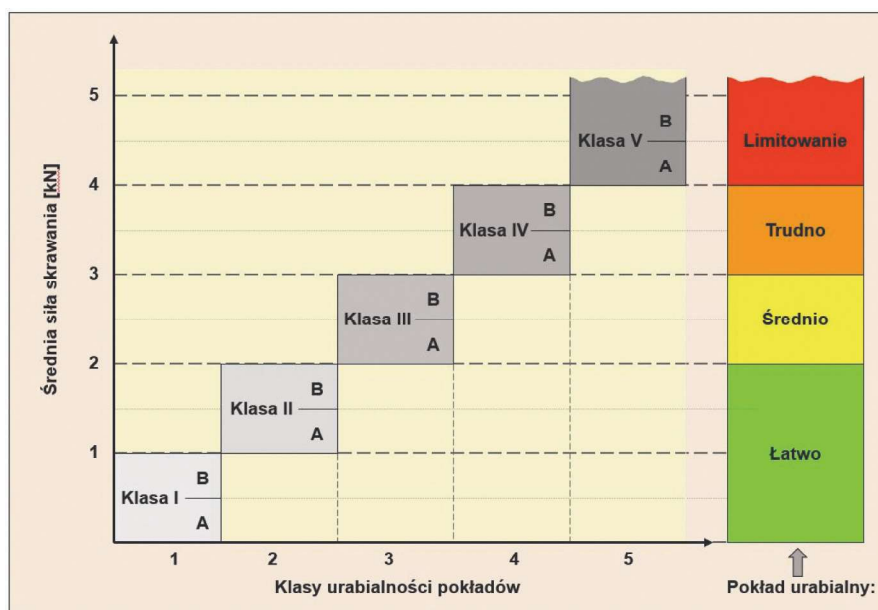
- głębokość skrawania: 20 mm,
- odległość między liniami skrawania: 80 mm,
- szerokość noża: 20 mm,
- kąt natarcia noża pomiarowego: 16° ,
- kąt przyłożenia noża pomiarowego: 6° ,
- prędkość skrawania: 0,1 m/s.

Skala urabialności pokładów (przede wszystkim węgla kamiennego) w odniesieniu do techniki strugowej podzielona jest na pięć klas: I, II, III, IV i V (rys. 20), z których każda podzielona jest na dwie grupy: A oraz B. Klasy I i II przedstawiają łatwo urabialne pokłady urządzeniami strugowymi. Do klasy III zaliczane są średnio, a do klasy IV trudno urabialne pokłady dla strugów. Urabialność pokładów zaliczonych do klasy V jest ograniczona w odniesieniu do urabiania kompleksami strugowymi (Myszkowski, 2004).

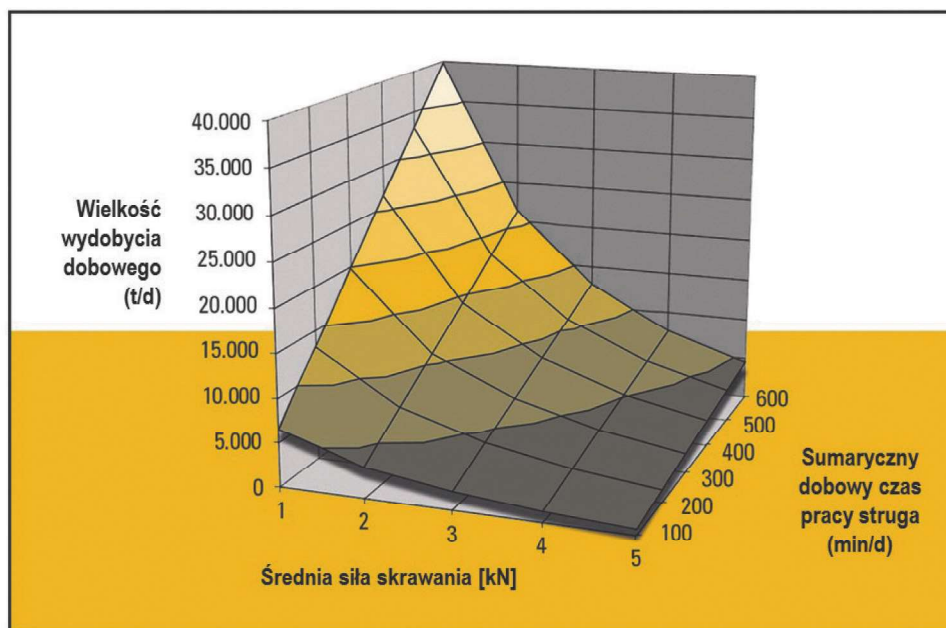
Znając przetestowaną w pomiarach *in situ* średnią siłę skrawania w przedmiotowym pokładzie, możliwe jest precyzyjne określenie głębokości skrawania głowicy strugowej przy założeniach bazujących na mocy nominalnej, rodzaju systemu napędowego, prędkości ruchowej oraz wysokości głowicy.

Wykres na rysunku 21 przedstawia wydajność eksploatacyjną kompleksu strugowego GH1600 w funkcji urabialności węgla (według metody DMT) oraz sumarycznego dobowego czasu aktywnej pracy struga. Wykres przedstawia teoretyczną wielkość produkcji dobowej kompleksu strugowego o mocy nominalnej 1600 kW, pracującego w ścianie o długości 300 m oraz o wysokości pomiędzy 1,5 m a 1,8 m, przy prędkości głowicy strugowej 3 m/s (Myszkowski i Paschedag, 2008).

W przypadku bardzo łatwo urabialnego pokładu czynnikiem ograniczającym wydajność eksploatacyjną może być ograniczenie strumienia urobku poprzez ograniczenia na przenośnikach transportowych, zbiornikach bądź szybach wydobywczych.



Rys. 20. Klasyfikacja urabialności pokładów na bazie metody pomiarowej DMT
Fig. 20. Seam cuttability classification based on the DMT measuring method



Rys. 21. Potencjał wydobywczy kompleksu strugowego typu GH1600

Fig. 21. Performance potentials of the GH 1600 plow system

6. Tendencje rozwoju kompleksów strugowych

Współcześnie czynniki ekonomiczne odgrywają coraz ważniejszą rolę w podejmowaniu decyzji dotyczących rodzaju oraz produktywności technologii eksploatacyjnej stosowanej w kopalniach. W okresach niskich cen węgla na rynkach światowych, wielu operatorów decyduje się na kompleksy ścianowe o niższych nakładach inwestycyjnych. Ogólnie rzecz biorąc, kompleksy ścianowe średniego poziomu GH800 są nieco tańsze od wysokowydajnych kompleksów typu GH1600. Wysokowydajne kompleksy ścianowe (również kompleksy strugowe) wymagają wyższych nakładów inwestycyjnych, ale są w stanie zapewnić znacznie wyższą produktywność - w przypadku kompleksów strugowych GH1600 około dwukrotnie wyższą w odniesieniu do strugów średniej klasy. Wysoka jakość tych wysokowydajnych kompleksów zapewnia również długą trwałość sprzętu.

Podsumowując powyższe rozważania można stwierdzić, że wysokowydajny kompleks ścianowy (w tym również strugowy) jest w stanie osiągnąć niższe całkowite koszty eksploatacji w przeliczeniu na jedną tonę urobku (TCO). Firmy górnicze w wysoko rozwiniętych krajach, analizując szczegółowo wszystkie istotne argumenty techniczne, technologiczne, ekonomiczne, bezpieczeństwa, ekologiczne itd. w odniesieniu do pełnego okresu aplikacyjności kompleksów ścianowych, najczęściej decydują się na wyższe inwestycje, z uwagi na to, iż wysoka jakość i wysoka wydajność tego typu sprzętu jest w efekcie bardziej korzystna (Myszkowski 2011).

Można postawić tezę, że dalszy rozwój kompleksów strugowych będzie ukierunkowany na podwyższenie zainstalowanej mocy oraz poziomu sterowania i kontroli (Kicki, Myszkowski 2011), czyli na:

- dalsze zwiększenie wydajności, i w rezultacie zmniejszenie kosztów jednostkowych wydobycia,
- zmniejszenie liczby niezbędnych górników pracujących w ścianie,
- dalszą poprawę bezpieczeństwa w ścianach strugowych.

Głównym motorem dla osiągnięcia wyżej wymienionych celów jest automatyzacja. Najnowsze osiągnięcia technologiczne w tej dziedzinie umożliwiają znaczną poprawę w następujących obszarach:

- komunikacja cyfrowa – poprzez aplikację światłowodów i bezprzewodowej komunikacji umożliwiające szybszy i szerszy transfer danych zarówno na bliskich odległościach, jak i długich dystansach,
- nadzór wizualny - zastosowanie nowoczesnych kamer cyfrowych umożliwiających zdalną kontrolę procesów w obszarach wydobywczych kopalń podziemnych,
- pomiar dużej ilości oraz szerokiego zakresu wartości fizycznych - wdrażanie nowych czujników, w wielu przypadkach czujników mierzących różne parametry fizyczne, działających jako technologia wspólnego przetwarzania danych, w celu zwiększenia wykrywalności trudnych do określenia czynników warunkujących stan pracy,
- pełna automatyzacja procesów - konsolidacja wszystkich trzech wyżej wymienionych technicznych zakresów w połączeniu z dostępną, bardzo wydajną technologią komputerową, wiele procesów ubocznych lub głównych może być realizowanych w trybie pełnej automatyzacji.

Pełna automatyzacja odnosi się istotnie do autonomicznej kontroli różnych maszyn w kompleksie ścianowym. Nowoczesne kompleksy strugowe są już obecnie w wysokim stopniu zautomatyzowane. W kolejnych latach będzie z pewnością miał miejsce dalszy postęp automatyzacji kompleksów strugowych.

Artykuł sponsorowany

Literatura

- BITTNER M., WEISS H-J. 2007 - Einsatz schwerer Hobelanlagen – von der Innovation zum Standard. High-Performance Mine Production Symposium Aachen 2007 (in German).
- GÖGE M., PASCHEDAG U. 2005 - High-Productive Longwall Mining in Medium and Thin Seams with Automated Plow Systems. Longwall USA, Pittsburgh June 2005.
- KICKI J., MYSZKOWSKI M. 2011 - Plow technology – strategic chance for performance improvements in mining. Plow technology – Implementation practice (in Polish). Krakow.
- MYSZKOWSKI M. 2004 - Erstellung eines Berechnungsmodells zur Auslegung und Optimierung von Hobelanlagen auf der Grundlage von

- Betriebsdaten und experimentellen Untersuchungen. TU Berlin.
- MYSZKOWSKI M. 2011 - Efficiency optimization of plow systems through the precise planning of new and comprehensive enhancement of operating longwalls. International Mining Forum, Poland, 2011, CRC Press/Balkema 2011.
- MYSZKOWSKI M. 2014 - Application of Current Source Inverter Medium-Voltage Variable Frequency Drives in Longwall Mining. Caterpillar Inc.
- MYSZKOWSKI M. 2016 - High performance remote controlled longwall extraction of low seams exploiting plow systems. XXV Szkoła Eksploatacji Podziemnej. Kraków.
- MYSZKOWSKI M. 2017 - High performance remote controlled plow systems. Coal Age Magazine, May 2017 – US Mining Media International Inc.
- MYSZKOWSKI M., LÖHNING D. 2001 - Chain force measurements on armoured face conveyors and coal plows in heavy-duty longwalls. The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin 1054, No. 94.
- MYSZKOWSKI M., BAUCKMANN S. 2011 - Operational experiences with automated plow systems at the Pinnacle Mine in the USA. International Mining Forum, Poland, 2011, CRC Press/Balkema 2011.
- MYSZKOWSKI M., PASCHEDAG U. 2008 - Longwall mining in seams of medium thickness – comparison between shearer and plow. 21st World Mining Congress & Expo 2008. Central Mining Institute Katowice Poland.
- PASCHEDAG U. 2005 - Advanced plow systems. Coal Magazine, Issue 7.
- PASCHEDAG U., Filipiak A. 2000 - High-Performance Longwall Mining in Thin Seams. High-Performance Longwall Operations Colloquium Aachen 2000.
- PLUM D., 1991/1992/1993/1994 - Die Strebtechnik im deutschen Steinkohlenbergbau. Glückauf 129-131.
- STOPA Z. 2011 - Experiences of Lubelski Węgiel “Bogdanka” S.A. with the implementation of plow technology. Plow technology – Implementation practice (in Polish). Krakow.
- STOPA Z. 2011 - Plough Technique at LW “Bogdanka” S.A. - Present State and Prospects of Development. International Mining Forum, Poland, CRC Press/Balkema 2011.
- VOSS H-W., JUNKER M., BITTNER M. 2004 - First operational experiences with a new high-powered plow system in hard coal. Glückauf Mining reporter 2.

Artykuł wpłynął do redakcji – marzec 2018
Artykuł akceptowano do druku 11.05.2018
