

JAN GIL  
KAZIMIERZ STOIŃSKI  
TOMASZ KARCZEWSKI  
GRZEGORZ PUTANOWICZ

## Technologie wykorzystywane w produkcji oraz remontach maszyn i urządzeń w ZRP „Bieruń”

*Przedstawiono wykorzystanie różnych technologii w produkcji i remontach maszyn górniczych prowadzonych przez zakład ZRP „Bieruń”. Wieloletnia systematyczna rozbudowa parku maszynowego oraz niezbędnego zaplecza technicznego została ukierunkowana na maszyny sterowane numerycznie, roboty spawalnicze, a w przygotowaniu produktu programów komputerowych typu CAD/CAM. Problematykę przedstawiono na przykładzie produkcji sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej ZRP-15/35-POz.*

*Słowa kluczowe: nowoczesne technologie, sekcje obudowy zmechanizowanej, metody spawalnicze, maszyny CNC, programy komputerowe CAD/CAM*

### 1. WSTĘP

Zakład Remontowo-Produkcyjny „Bieruń” jest specjalistyczną jednostką organizacyjną Polskiej Grupy Górniczej SA świadcząca usługi dla kopalń PGG w zakresie remontów, modernizacji i produkcji zmechanizowanych obudów ścianowych, remontów i produkcji hydrauliki siłowej, kompletacji hydrauliki sterowniczej, produkcji elementów tras kolejek podwieszanych oraz innych bieżących usług remontowo-produkcyjnych według potrzeb kopalń. Od początku istnienia systematycznie i planowo rozbudowuje park maszynowy, wprowadza do produkcji nowoczesne technologie wykorzystujące maszyny sterowane numerycznie, projektuje w specjalistycznych programach komputerowych i nieustannie szkoli swoich pracowników. Zakład uzyskał szereg certyfikatów zgodnie z normami PN i ISO, co gwarantuje najwyższą jakość wytwarzanych produktów. Aktualnie jest największym producentem sekcji zmechanizowanych obudów w Polsce i jednym z liczących się w Europie. Na

uwagę zasługuje współpraca z jednostkami naukowymi oraz zorganizowanie własnych ośrodków szkoleniowych z zakresu spawalnictwa. Zakład ZRP zatrudnia ponad 600 pracowników, w tym specjalistów spawalnictwa, oprogramowania CNC maszyn, projektowania inżynierskiego oraz kontroli produkcji. Specjalizuje się głównie w remontach, modernizacji i produkcji sekcji zmechanizowanych obudów, hydrauliki siłowej, a także produkcji elementów tras kolejek podwieszanych. Dzięki inwestycjom w nowe maszyny i urządzenia zakład sukcesywnie zwiększa swoje zdolności produkcyjne oraz rozszerza zakres działalności. Ścisła współpraca działu konstrukcyjnego i działu produkcyjnego pozwala realizować pełny cykl produkcyjny – od projektu, przez przygotowanie produkcji, do gotowego wyrobu. Uproszczona idea produkcji „projekt – przygotowanie produkcji – produkt” została wykorzystana do przedstawienia technologii stosowanych w zakładzie „Bieruń” na przykładzie procesu wytwarzania sekcji obudowy zmechanizowanej typu ZRP-15/35-POz.

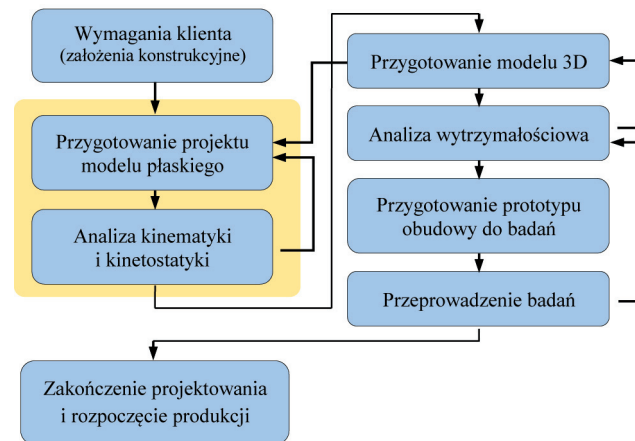
## 2. PROJEKTOWANIE I PROTOTYPOWANIE CYFROWE WYROBU

Proces projektowania i prototypowania cyfrowego omówiono na przykładzie produkcji nowej sekcji obudowy zmechanizowanej. Jest to proces wieloetapowy, który został graficznie przedstawiony na rysunku 1.

Wymagania klienta uzależnione są od warunków geologiczno-górnicznych panujących w danym polu eksploatacyjnym. Określone są zwykle przez kopalnię z uwzględnieniem opinii jednostek badawczych, dostępnej literatury [1, 2] i dokumentów normatywnych [3–5]. Na tym etapie ustala się podstawowe wymagania dla sekcji, tj.: typ sekcji, podporność, wysokości robocze i geometryczne oraz wymagania specjalne wynikające z warunków pokładu [6]. Przyjęte

wstępne wymagania umożliwiają przeprowadzenie analiz kinematycznych i kinetostaticznych sekcji, do których ZRP wykorzystuje autorski program obliczeniowy PrsLab (Powered Roof Support Laboratory) [7]. Interfejs programu PrsLab przedstawiono na rysunku 2, natomiast przykład wykonanej analizy sekcji ZRP-15/35-POz w postaci łańcucha kinematycznego pokazano na rysunku 3.

Istotnym elementem programu PrsLab jest automatyczne wyszukiwanie optymalnej geometrii sekcji oraz maksymalnych sił w węzłach kinematycznych sekcji. Przeprowadzone analizy umożliwiają zaprojektowanie modelu wirtualnego 3D obudowy w programie komputerowym typu CAD Autodesk Inventor oraz jego weryfikację wytrzymałościową w programie komputerowym ANSYS zgodnie z normą PN-EN 1804-1:2021-05 [3].



Rys. 1. Etapy procesu projektowania i prototypowania cyfrowego nowej sekcji obudowy zmechanizowanej

Kinetostatyka Obudowy | Układ Lemniskatowy | Kalkulatory

Dane

Długości poszczególnych członów obudowy w [mm] (patrz rysunki)

|      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| I0:  | 2514 | I12: | 3440 |
| I1:  | 1860 | I13: | 1396 |
| I2:  | 2360 | I14: | 155  |
| I3:  | 250  | I15: | 810  |
| I4:  | 120  | I16: | 140  |
| I5:  | 800  | I17: | 660  |
| I6:  | 630  | I18: | 295  |
| I7:  | 35   | I19: | 177  |
| I8:  | 45   | I20: | 175  |
| I9:  | 1300 | I21: | 100  |
| I10: | 1580 | I22: | 2260 |
| I11: | 115  | I23: | 0    |

Wyzeruj

Model sekcji

Z-PozW1 (ZRP.131.00)

Zakres wysokości pracy obudowy w [mm]

\*Zakres geometryczny\*

Hmax: 2200

Hmin: 800

\*\*Zakres roboczy\*\*

Hmax: 2100

Hmin: 1100

\*\*\*Skok\*\*\*

h skoku: 100

RYSUNKI POMOCNICZE

GOTOWE

Wczytaj z | Zapisz jako | Wyświetl model | << OBLICZ >>

Sily

Podporność robocza stojaka  $F_{st,r}$  [kN]: 1316.2

Podporność wstępna stojaka  $F_{st,w}$  [kN]: 1039.1

Siła nadłokowa podpory  $F_{z,r}$  [kN]: 425.5

Siła podłokowa podpory  $F_{z,w}$  [kN]: 543.9

Siła zewnętrzna Q [kN]: 600.0

Współczynnik tarcia  $\mu$ : 0.3

Kąt stropnicy

+ $\alpha$  [°]: 60

- $\alpha$  [°]: -60

Geometria

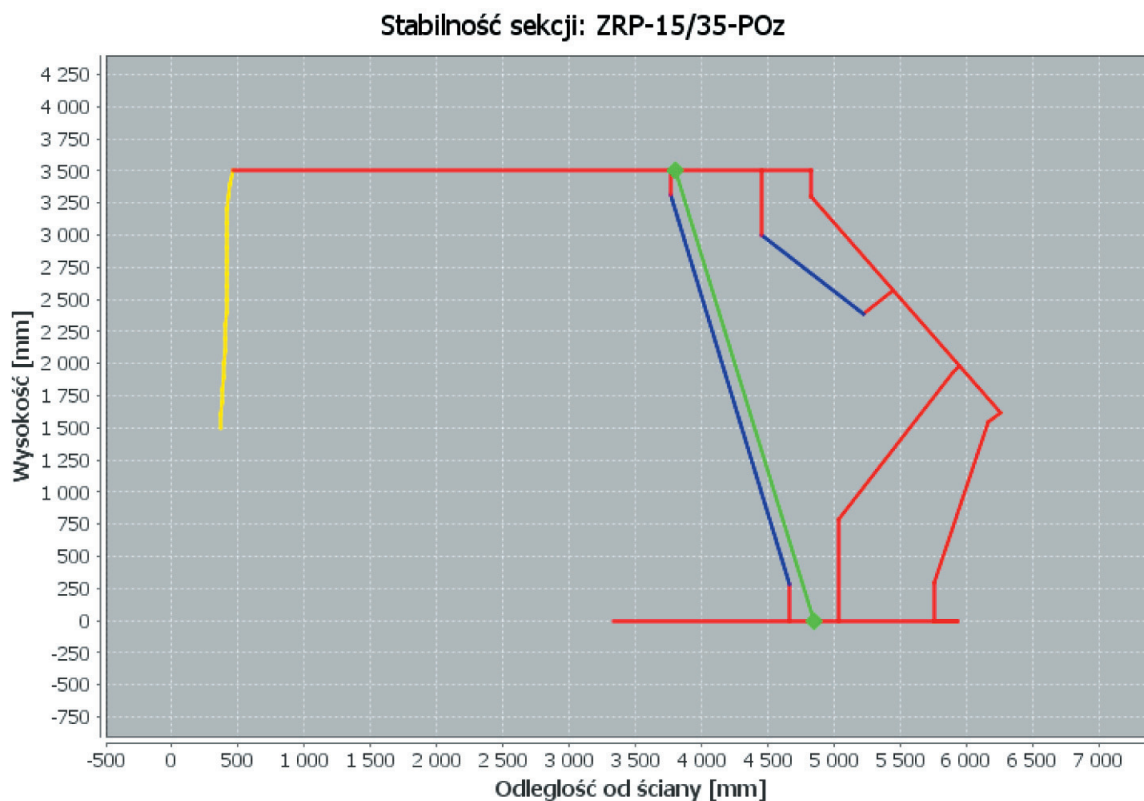
Z podporą

Bez podpory

Max [mm]: 820

Min [mm]: 580

Rys. 2. Interfejs programu PrsLab

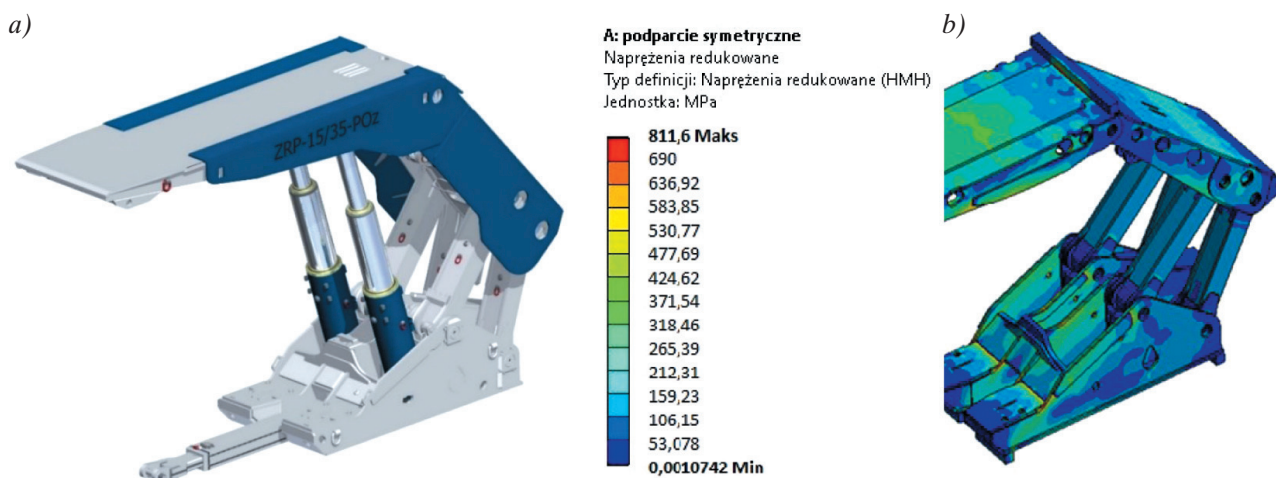


Rys. 3. Łańcuch kinematyczny modelu sekcji z zaznaczoną ścieżką otwarcia stropu (kolor żółty)

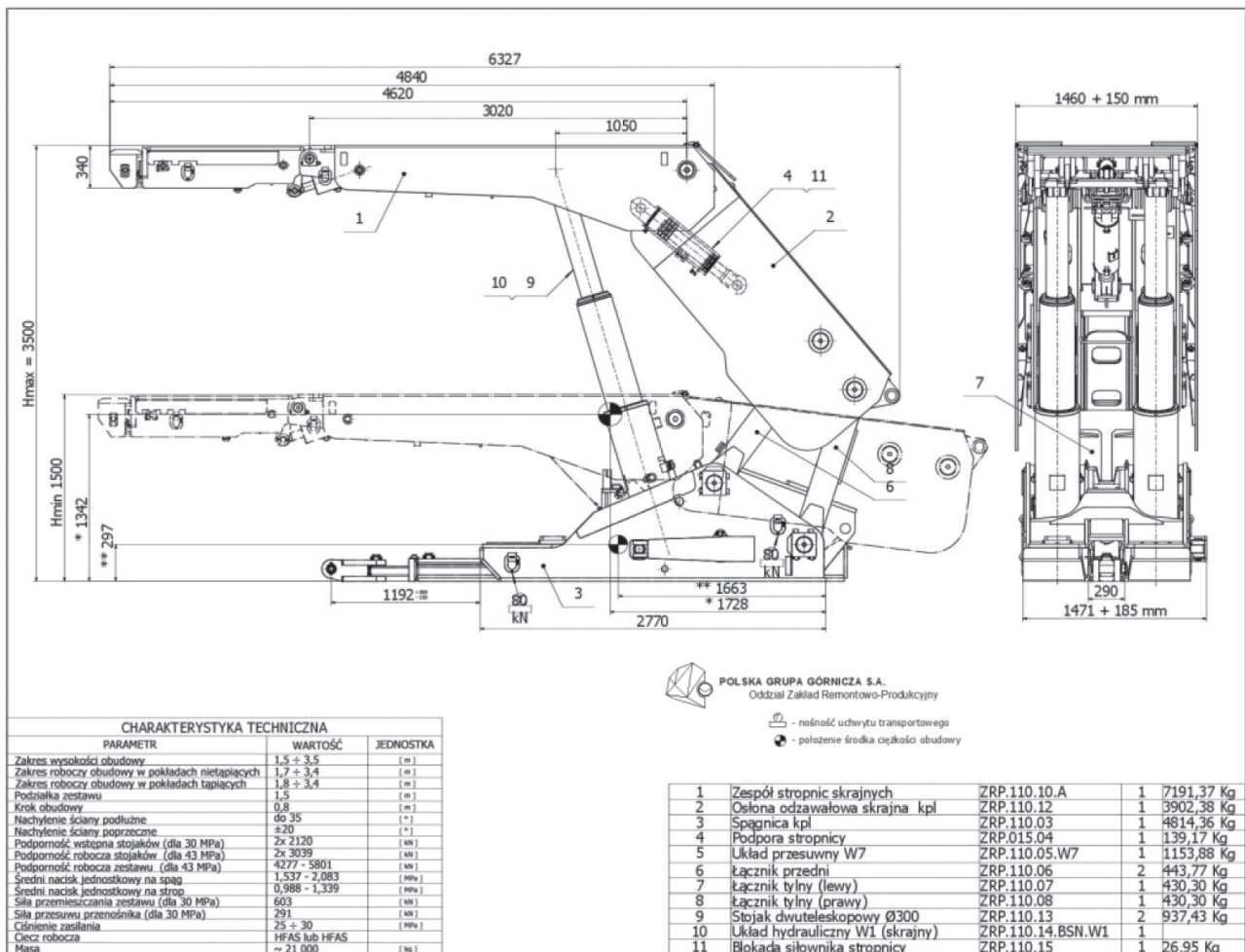
Na rysunku 4 zestawiono projekt sekcji obudowy zmechanizowanej ZRP-15/35-POz wykonany w programie Autodesk Inventor oraz wyniki analizy wytrzymałościowej w postaci mapy naprężeń zredukowanych według hipotezy Hubera–Misesa–Hencky’ego, powstałej w wyniku obciążenia konstrukcji obudowy w programie ANSYS.

Głównym celem obliczeń wytrzymałościowych jest zaprojektowanie takiej obudowy, która zapewni bezpieczną pracę elementów maszyn i konstrukcji przy

jednoczesnej minimalizacji kosztów jej wytwarzania i eksploatacji. Najważniejszym czynnikiem wpływającym na minimalizację kosztów jest odpowiedni dobór materiałów i geometrii projektowanych części obudowy. Przeprowadzone analizy umożliwiają opracowanie poprawnej dokumentacji konstrukcyjnej 2D sekcji (rys. 5), która z kolei stanowi podstawę do opracowania dokumentacji technologicznej, umożliwiającej programowanie maszyn CNC oraz robotów spawalniczych.



Rys. 4. Obudowa zmechanizowana ZRP-15/35-POz zaprojektowana w programie Autodesk Inventor (a); wyznaczona mapa naprężeń obciążenia konstrukcji obudowy ZRP-15/35-POz w programie ANSYS (b)



Rys. 5. Dokumentacja konstrukcyjna 2D obudowy zmechanizowanej ZRP-15/35-POz

### 3. PRZYGOTOWANIE TECHNOLOGICZNE PRODUKCJI

#### 3.1. Analiza materiałowa

Remonty, modernizacje i produkcja zmechanizowanych obudów ściannowych wymagają zapewnienia materiałów o ściśle określonych parametrach i zgodności z normami serii PN-EN 1804 [3–5] oraz normą PN-EN ISO 12100 [8]. W laboratorium badawczym ZRP prowadzone są badania, których celem jest weryfikacja materiałów pod kątem parametrów wytrzymałościowych w celu zapewnienia wymaganej bezawaryjności i wytrzymałości wytwarzanych elementów konstrukcji. Aby dobrać odpowiedni gatunek stali oraz technologię spawania zmechanizowanej obudowy ściannowej przeznaczonej do remontu i modernizacji, należy przeprowadzić analizę materiałową konstrukcji bazowej. Badania wykonywane są przez pracowników Działu Kontroli Jakości i obejmują swoim zakresem

wstępną ocenę twardości blach konstrukcji oraz analizę i badanie składu chemicznego stali przy użyciu przenośnych spektrometrów pozwalających na określenie składu chemicznego stali (rys. 6a). Metoda ta w sposób nieniszczący pozwala określać jednorazowo zawartość poszczególnych pierwiastków chemicznych w materiale. Jednocześnie w celu zwiększenia dokładności wykonywanych analiz w laboratorium prowadzone są próby wytrzymałościowe na zrywanie materiałów stalowych z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej o maks. sile do 100 kN (rys. 6b).

W przypadku produkcji nowych elementów konstrukcji zmechanizowanych obudów ściannowych o wykorzystaniu poszczególnych gatunków stali decyduje konstruktor na podstawie dokonanych obliczeń numerycznych. W ZRP obecnie do wykonania konstrukcyjnych elementów obudowy zmechanizowanej wykorzystuje się stale S355J2+N, S690QL oraz S700MC. Spawanie tych gatunków stali odbywa się zgodnie z zatwierdzonymi przez Instytut Spawalnictwa w Gliwicach

technologiami z zachowaniem odpowiedniego reżimu. Niezachowanie odpowiedniej technologii spawania może doprowadzić do deformacji plastycznych wyko-

nywanych elementów, które mogą skutkować negatywnym wynikiem badań prototypu obudowy na stanowisku badawczym.

a)



b)



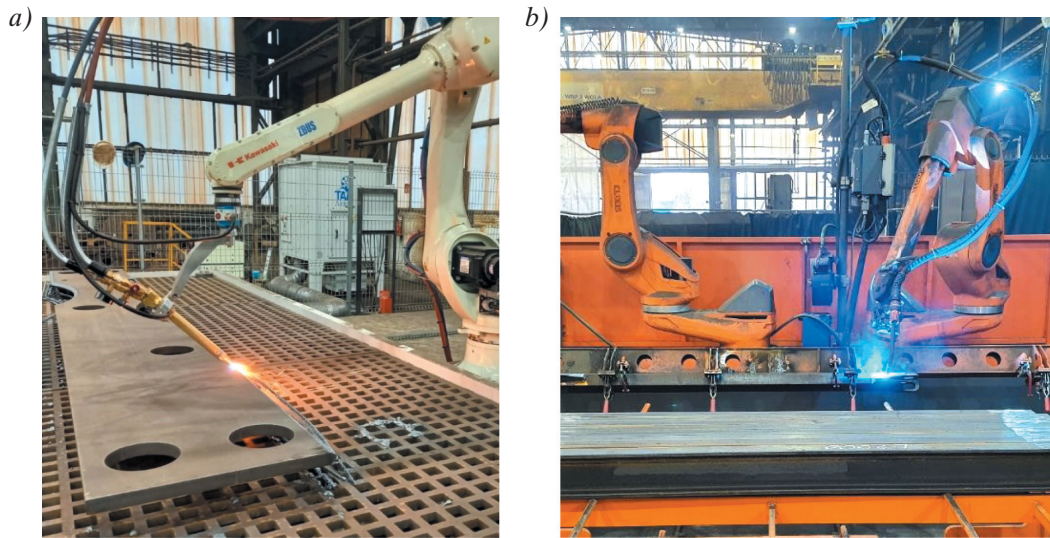
Rys. 6. Badanie spektrometrem składu chemicznego elementów konstrukcji (a); maszyna wytrzymałościowa do zrywania próbek metalu (b)

### 3.2. Techniki spawania

W ZRP najczęściej stosowaną metodą spawania jest metoda MAG (*Metal Active Gas*) o numerze 135, czyli spawanie z wykorzystaniem aktywnego gazu chemicznego, tj. dwutlenku węgla i argonu. Dodatkowo wykorzystywane jest również spawanie łukiem krytym SAW (*Submerged Arc Welding*) polegające na łączeniu elementów metalowych za pomocą elektrody w otulinie granulowanego topnika. Wybór procesu spawania musi być ściśle związany z geometrią detalu do spawania, dostępnością pozycji spawania, możliwością pracy robota spawalniczego, dokładnością wykonania detalu końcowego, rodzajem spoiny i liczbą elementów.

W przypadku gdy detal zostanie zakwalifikowany do spawania zrobotyzowanego, wykorzystuje się dwie metody programowania robota spawalniczego: online lub offline. Metoda online polega na programowaniu robota bezpośrednio na stanowisku pracy przez „uczenie” go właściwej kolejności ruchów spawania. Operator za pomocą urządzenia *teach pendant* wskazuje punkty na detalu, które wyznaczają tor po-

szczególnych przemieszczeń ramienia robota, czyli tor biegu spoiny. Natomiast w przypadku drugiej metody (offline) do programowania robota spawalniczego wykorzystuje się program symulacyjny RoboPlan firmy Cloos. Do programu wczytuje się model 3D detalu i umieszcza się go w wirtualnym stanowisku spawalniczym, a następnie nanosi ścieżki spawalnicze i przejazdowe (wszystkie pozostałe ścieżki pomocnicze, które odpowiadają za dojazd ramienia robota do miejsca spawania). Po poprawnym naniesieniu odpowiednich spoin i ruchów pomocniczych generowany jest kod, który wgrzywa się do maszyny. Wykorzystanie programu offline zwiększa funkcjonalność robota spawalniczego, ponieważ umożliwia dostosowanie go w łatwy sposób do zmiennych warunków i ułatwia programowanie jego bardziej skomplikowanych ruchów. Dodatkową zaletą oprogramowania jest możliwość przetestowania programu obróbki w symulacji komputerowej przed wdrożeniem jej do produkcji. Roboty spawalnicze w zakładzie wykorzystywane są głównie do ukosowania blach, z których wykonane są detale, i spawania elementów konstrukcji (rys. 7) oraz do prac związanych z napawaniem koryt przenośników zgrzebłowych.



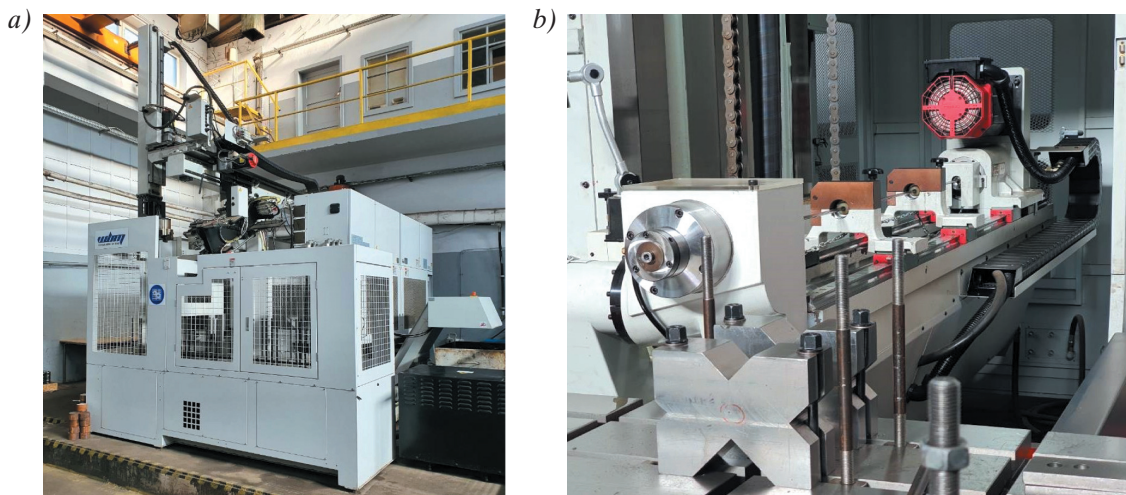
Rys. 7. Przykład zastosowania robotów spawalniczych do: a) ukosowania blach; b) spawania konstrukcji

### 3.3. Obróbka skrawaniem

Po wykonaniu dokumentacji konstrukcyjnej 2D przechodzimy do opracowania procesów technologicznych, czyli technologii obróbki detali i wygenerowania kodów sterujących maszynami CNC. Przykładowo w warunkach ZRP do wycinania konkretnych detali z blach wykorzystuje się wypalarki sterowane numerycznie wspomagane oprogramowaniem typu CAM: Wrykrys oraz NestFab. Programy te umożliwiają tworzenie planów wypalania i optymalizację rozkładu detali na arkuszach blachy, co ogranicza ilość odpadów i pozwala na maksymalne wykorzystywanie posiadanego materiału. Podobnie w przypadku tokarek i frezarek sterowanych numerycznie – obsługiwane są przez program Siemens NX, który realizuje proces technologiczny wskazany przez technologa i generuje automatyczny kod, który z kolei wgrywany jest na maszyny. Kod ten jest zapisem sekwencji

czynności, czyli poleceń dla maszyny, która zgodnie z tym planem dokonuje obróbki CNC.

Zakład Remontowo-Produkcyjny „Bieruń” dysponuje bogatym parkiem maszynowym wyposażonym przede wszystkim w maszyny do obróbki skrawaniem metalu: piły, frezarki, tokarki, centra obróbcze oraz roboty do ukosowania blach i spawania konstrukcji. W ostatnim czasie potencjał produkcyjny zakładu został wzmocniony o dwie maszyny sterowane numerycznie – honownicę oraz maszynę do wiercenia głębokich otworów, które w znaczący sposób zwiększyły efektywność produkcji hydrauliki siłowej. Maszyna do wykonywania głębokich otworów umożliwia wiercenie otworów o zakresie średnicy 3–30 mm na maksymalną głębokość 1600 mm – takie parametry były nieosiągalne w technologii zakładu przed zakupem maszyny. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe centrum obróbcze CNC oraz maszynę do wiercenia głębokich otworów.



Rys. 8. Centrum obróbcze CNC stosowane do obróbki skrawaniem (a); maszyna CNC do wiercenia głębokich otworów (b)

#### 4. BADANIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE PROTOTYPU I CERTYFIKACJA

Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn* (Dz.U. z 2008 r. Nr 199, poz. 1228) nowe i modernizowane sekcje obudowy zmechanizowanej muszą zostać poddane badaniom typu WE [9]. Jednostka notyfikowana przeprowadza badania i następnie zaświadcza, że zgłoszony przez producenta model maszyny, zwany typem (w naszym przypadku sekcja obudowy zmechanizowanej), spełnia wymagania powołanego rozporządzenia.

a)



b)



Rys. 9. Prototyp obudowy ZRP-15/35-POz na stanowisku badawczym TLO Opawa (a); certyfikat potwierdzający pozytywny wynik badań typu WE (b)

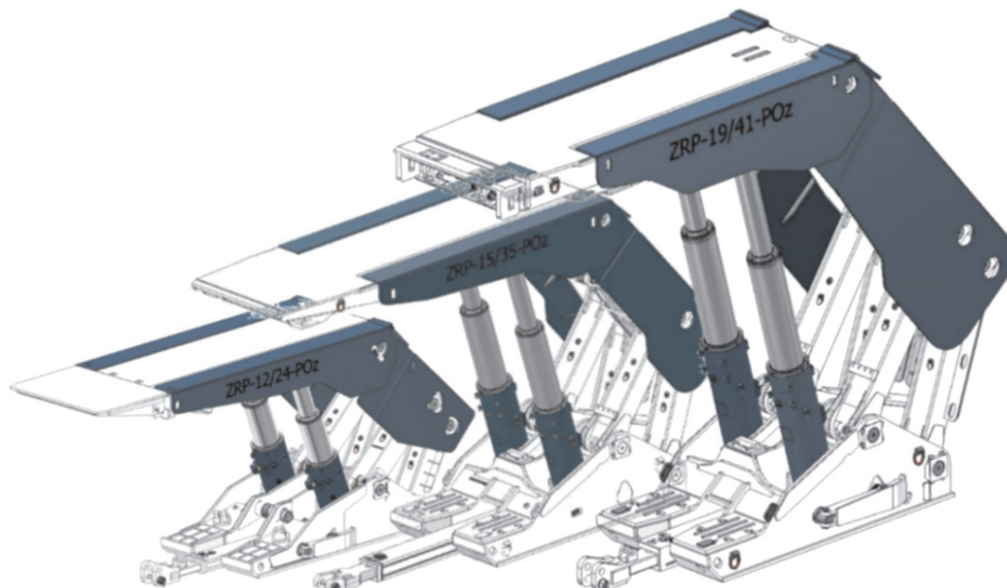
#### 5. PODSUMOWANIE

Zakład Remontowo-Produkcyjny „Bieruń” (będący w strukturach PGG SA) od lat rozbudowuje swoje możliwości projektowe, produkcyjne, szkoleniowe oraz badania wyrobów i stosowanych materiałów. Specjalizuje się w produkcji sekcji zmechanizowanych obudów ścianowych oraz kolejek podwieszanych. Wyroby są projektowane z wykorzystaniem metod numerycznych, a tworzone modele wirtualne są badane w zakresie kinematycznym, wytrzymałościowym i kolizyjnym. Dopiero pozytywne wyniki badań numerycznych wyrobu stanowią podstawę tworzenia dokumentacji, w szczególności technologicznej, stanowiącej podstawę oprogramowania ma-

szyn. W zakładzie stosowane są wyłącznie maszyny CNC do cięcia blach, spawania (z wykorzystaniem robotów), napawania, honowania cylindrów i długiego wiercenia. Oprogramowanie wymienionych maszyn wykonują wyłącznie pracownicy zakładu. Wyrób podczas jego produkcji podlega kontroli międzyoperacyjnej. Wyrób gotowy (końcowy) jest badany przez jednostkę notyfikowaną na zgodność z unijnymi dyrektywami i wprowadzany na rynek zaopatrzonej w DTR oraz stosowny certyfikat. Zakład opracował rozbudowany system szkolenia, w szczególności w zakresie spawalnictwa, i chętnie współpracuje z jednostkami naukowo-badawczymi. Opisanie metody są w cyklu produkcyjnym stosowane do wytworzenia wyrobu o najwyższej jakości, tak jak

w prezentowanym przypadku sekcji obudowy zmechanizowanej ZRP-15/35-POz. W przedstawionej wersji wyprodukowano ponad 1200 sztuk sekcji o różnych wysokościach roboczych. Zakład przygotowany jest również do podjęcia produkcji innych maszyn o zbliżonej konstrukcji. Prowadzi systematyczne badanie rynku w zakresie nowości technologicznych, maszynowych, projektowych i w ramach możliwości finansowych uzupełnia swoje wyposażenie.

Zakład Remontowo-Produkcyjny „Bieruń” przeprowadził przegląd sekcji obudów zmechanizowanych aktualnie eksploatowanych w PGG SA i na tej podstawie dokonał ich weryfikacji i standaryzacji. Zostały zaprojektowane obudowy przeznaczone do ścian niskich (ZRP-12/24-POz), średnich (ZRP-15/35-POz) oraz wysokich (ZRP-19/41-POz). Na rysunku 10 przedstawiono typoszereg obudów zmechanizowanych produkcji ZRP.



Rys. 10. Typoszereg obudów zmechanizowanych zaprojektowanych przez zakład ZRP na potrzeby PGG SA (ZRP-12/24-POz, ZRP-15/35-POz, ZRP-19/41)

#### Literatura

- [1] Stoiński K. (red.): *Zmechanizowane obudowy ścianowe dla warunków zagrożenia wstrząsami górotworu*. GIG, Katowice 2018.
- [2] Irresberger H., Gräwe F., Migenda P.: *Zmechanizowane obudowy ścianowe. Podręcznik dla praktyków*. Tiefenbach Polska Sp. z o.o., Katowice 2008.
- [3] PN-EN 1804-1:2021-05. *Maszyny dla górnictwa podziemnego – Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej – Część 1: Sekcje obudowy i wymagania ogólne*.
- [4] PN-EN 1804-2:2021-05. *Maszyny dla górnictwa podziemnego – Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej – Część 2: Stojaki i pozostałe siłowniki*.
- [5] PN-EN 1804-3:2021-06. *Maszyny dla górnictwa podziemnego – Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej – Część 3: Hydrauliczne i elektrohydrauliczne układy sterowania*.
- [6] Gil J., Kubiesa R., Stoiński K.: *Kryteria projektowe dla zmechanizowanych obudów ścianowych według procedur zakładowych KW ZRP*, KOMTECH 2014.
- [7] Karczewski T., Czarnota P.: *Komputerowe wspomaganie projektowania zmechanizowanych obudów ścianowych według metody Zakładu Remontowo-Produkcyjnego KW S.A.* Górnictwo – Perspektywy i Zagrożenia 2016, 1, 13: 407–417.
- [8] PN-EN ISO 12100:2012. *Bezpieczeństwo maszyn – Ogólne zasady projektowania – Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka*.
- [9] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn*. Dz.U. z 2008 r. Nr 199, poz. 1228.
- [10] *Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE*, Dz.Urz. UE L 157/24.

dr inż. JAN GIL

mgr inż. TOMASZ KARCEWSKI

mgr inż. GRZEGORZ PUTANOWICZ

Polska Grupa Górnicza SA

Oddział: Zakład Remontowo-Produkcyjny

ul. Granitowa 132, 43-155 Bieruń

g.putanowicz@pgg.pl

prof. dr hab. inż. KAZIMIERZ STOIŃSKI

Główny Instytut Górnictwa

pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice