

JAN GIL

KAZIMIERZ STOIŃSKI

TOMASZ KARCZEWSKI

GRZEGORZ PUTANOWICZ

Technologies used in the manufacture and repair of machinery and equipment at ZRP “Bieruń”

The following paper presents the use of various technologies in the manufacture and repair of mining machinery carried out by the ZRP “Bieruń” plant, all of which complement each other in order to provide the customer with a product of the highest quality. The systematic expansion of the machine park and the necessary technical facilities over many years has focused on numerically controlled machines, welding robots and, in product preparation, CAD/CAM computer programs. The issue is presented using the example of the production of the ZRP-15/35-POz powered roof support section.

Key words: *modern technology, powered roof support sections, welding methods, CNC machines, CAD/CAM computer programs*

1. INTRODUCTION

Zakład Remontowo-Produkcyjny “Bieruń” is a specialized organizational unit of Polska Grupa Górnicza SA providing services for PGG SA mines in the scope of repairs, modernization and production of powered roof supports, the repair and production of power hydraulics, completion of control hydraulics, production of suspension railway route components and other current repair and production services in accordance with the needs of the mines. Since its inception, it has systematically and consistently expanded its machine park, introduced modern production technologies based on numerically controlled machines, developed designs using specialized computer programs and ensuring continuous training for its employees. The plant has obtained a number of certificates in accordance with PN and ISO standards, guaranteeing the highest quality of the manufactured products. It is currently the largest producer of powered roof support sections in Poland and among the

most important in Europe. Particularly noteworthy is the cooperation with scientific bodies and the organization of its own welding training centers. The ZRP plant employs more than 600 people, including specialists in welding, CNC machine software, engineering design and manufacture control. The plant mainly specializes in the repair, modernization and production of powered roof support sections, the repair and production of power hydraulics and the production of suspension railway route components. By investing in new machinery and equipment, the plant is gradually increasing its production capacity and expanding its range of activities. Close cooperation between the design and production departments makes it possible to realize the full production cycle – from design through production preparation to the finished product. The simplified production idea of “design-production preparation-product” is used to present the technologies used at the ZRP plant using the example of the process of manufacturing a section of ZRP-15/35-POz type powered roof support.

2. DESIGN AND DIGITAL PROTOTYPING OF A PRODUCT

The digital design and prototyping process is illustrated using the production of a new section of powered roof support as an example. This is a multi-stage process, which is graphically depicted in Figure 1.

The client's requirements depend on the geological and mining conditions prevailing in the respective operating area. They are usually defined by the mines taking into account the opinions of research units, available literature [2] and normative documents [3–5].

At this stage, the basic requirements for the sections are established, i.e. section type, support, working and geometric heights, special requirements due to deck conditions [6]. The initial requirements adopted enable kinematic and kinetostatic analyses of the sections to be carried out, for which the ZRP plant uses the PrsLab (Powered Roof Support Laboratory) proprietary calculation program [7]. The PrsLab interface is shown in Figure 2, while an example of the completed analysis of a ZRP-15/35-POz section in the form of a kinematic chain is shown in Figure 3.

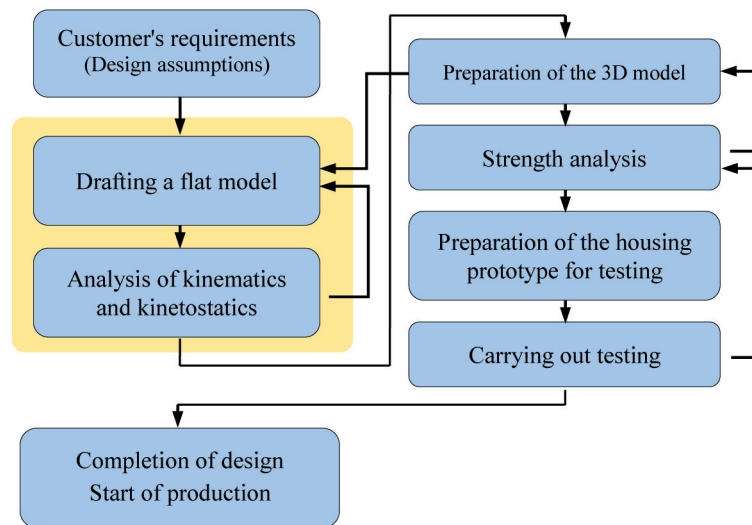


Fig. 1. Steps in the design and digital prototyping process of a new section of powered roof support

The screenshot displays the PrsLab software interface with the following sections:

- Navigation:** Kinetostatyka Obudowy | Układ Lemniskatowy | Kalkulatory
- Dane (Data):**
 - Długości poszczególnych członów obudowy w [mm] (patrz rysunki): A grid of input fields for dimensions I0 through I23.
 - Model sekcji: [2-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
- WYKRESY (RYSUNKI POMOCNICZE):** A 3D model of the roof support section with various dimensions labeled.
- Buttons:** <<<, Powiększ Rysunek, >>>, GOTOWE, Wczytaj z, Zapisz jako, Wyświetl model, << OBLICZ >>
- Sily (Forces):**
 - 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 μ : 0.3
- Kąt stropnicy (Roof angle):**
 - + α [°]: 60
 - α [°]: -60
 - Geometria: ☒ Z podporą, ☐ Bez podpory
 - Max [mm]: 820
 - Min [mm]: 580

Fig. 2. PrsLab interface (in Polish)

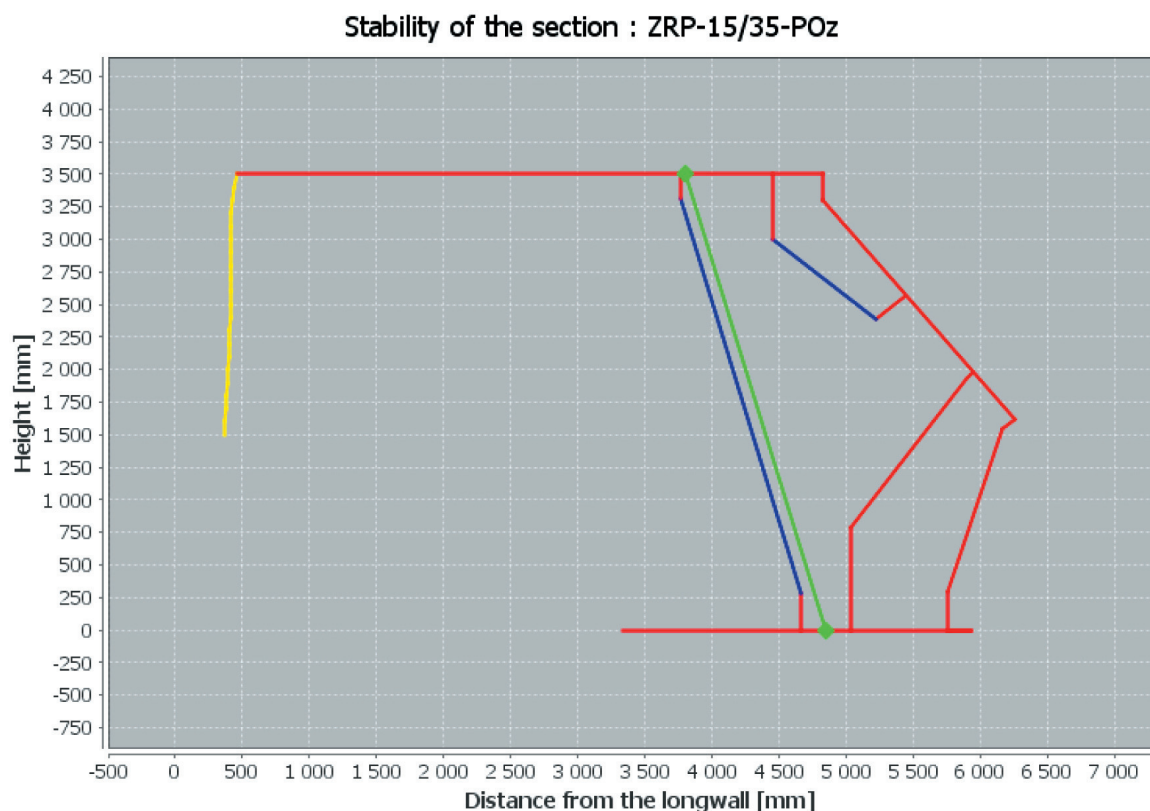


Fig. 3. Kinematic chain of the section model with a marked roof opening path (yellow)

An important element of PrsLab is that it automatically searches for the optimum section geometry and maximum forces at the section's kinematic nodes. The analyses carried out make it possible to design a 3D virtual model of the roof support in the Autodesk Inventor CAD computer program and its strength verification in the ANSYS computer program in accordance with PN-EN 1804-1:2021-05 [3].

Figure 4 summarizes the design of the ZRP-15/35-POz powered roof casing section created in Autodesk In-

ventor and the results of the strength analysis in the form of a reduced stress map according to the Huber–Mises–Hencky hypothesis, created by loading the roof support structure in ANSYS.

The main objective of the strength calculations is to design a roof support that will ensure the safe operation of machine components and structures while minimizing manufacturing and operating costs. The main factor in minimizing costs is the appropriate choice of materials and geometry of the designed roof support parts.

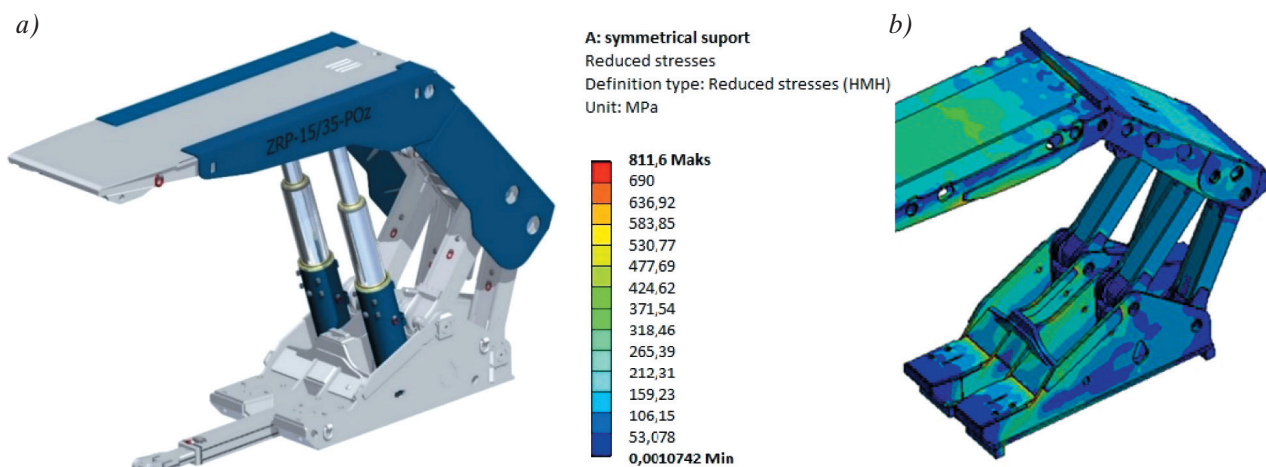


Fig. 4. ZRP-15/35-POz powered roof support designed in Autodesk Inventor (a); load stress map of the ZRP-15/35-POz roof support structure drawn in ANSYS software (b)

The analyses carried out enable the development of the correct 2D construction documentation for the section (Fig. 5), which in turn forms the basis for

the development of technological documentation, enabling the programming of CNC machines and welding robots.

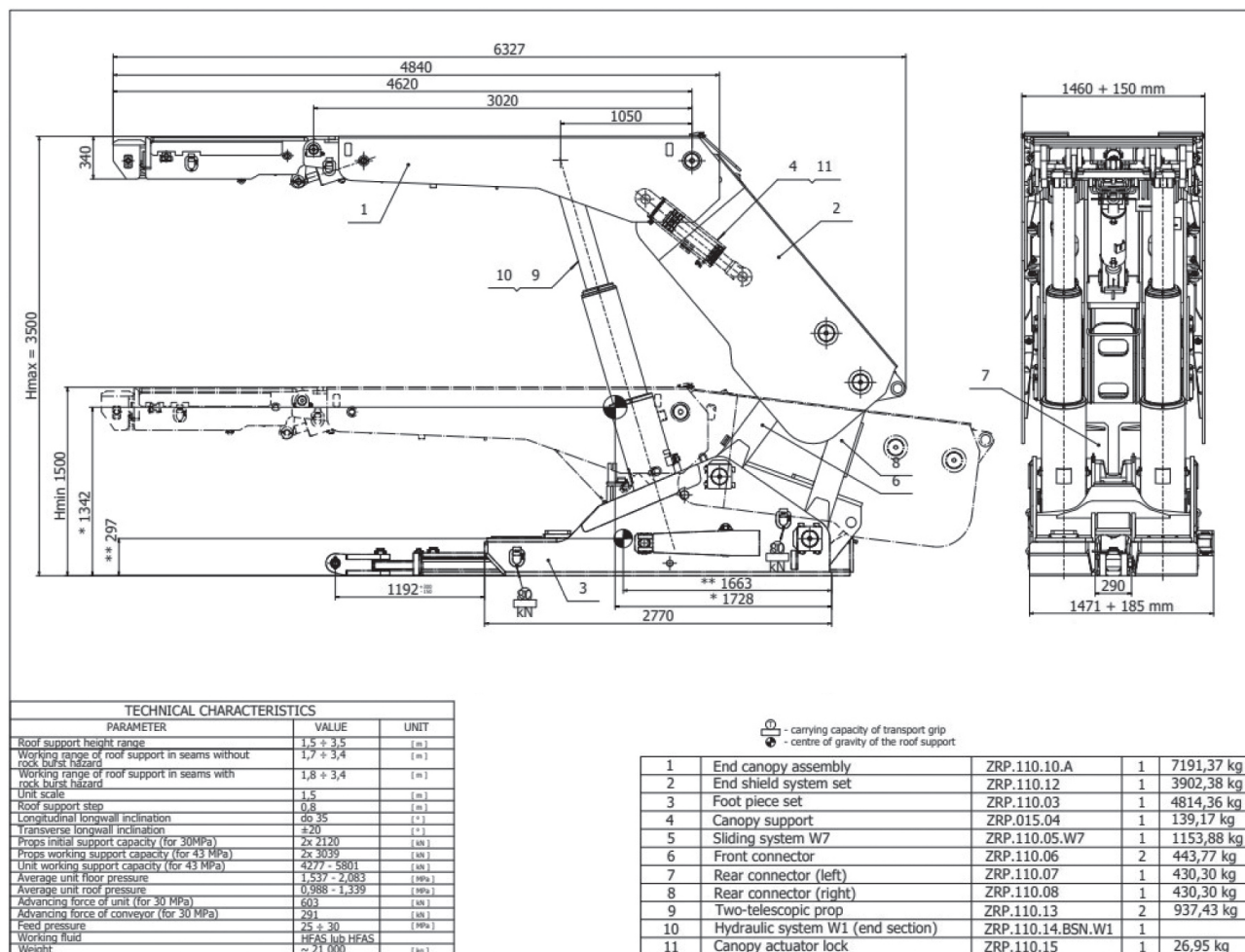


Fig. 5. 2D construction documentation of ZRP-15/35-POz powered roof support

3. TECHNOLOGICAL PRODUCTION PREPARATION

3.1. Material analysis

The repair, modernization and production of powered roof supports require the provision of materials with strictly defined parameters and in compliance with the standards of the series: PN-EN 1804 [3-5] and PN-EN ISO 12100 [8]. In the research laboratory at the ZRP plant, tests are carried out to verify the materials in terms of their strength parameters to ensure the required reliability and durability of the manufactured structural components. In order to select the appropriate steel grade and welding technology for the powered roof support intended for repair and modernization, a material analysis of the base

structure must be carried out. The tests are carried out by employees of the Quality Control Department and include preliminary testing of the hardness of the structure's plates and analysis and testing of the chemical composition of the steel using portable spectrometers that make it possible to determine the chemical composition of the steel (Fig. 6a). This method makes it possible to determine once, in a non-destructive manner, the content of the individual chemical elements in a material. At the same time, in order to increase the accuracy of the analyses performed in the laboratory, strength tests on steel materials are carried out using a testing machine with a maximum force of up to 100 kN (Fig. 6b).

In the case of the production of new powered roof supports, the use of particular steel grades is determined by the designer based on numerical calcula-

tions. At the ZRP plant, S355J2+N, S690QL and S700MC steels are currently used for the manufacture of the structural components of the powered roof supports. Welding of these steels is carried out in accordance with welding technologies approved by

the Welding Institute in Gliwice, with the appropriate welding regime maintained. Failure to use the correct welding technology can lead to plastic deformation of the components, which can result in a poor test result for the roof support prototype on the test bench.

a)



b)



Fig. 6. Spectrometer examination of the chemical composition of structural components (a); tensile machine for tearing metal samples (b)

3.2. Welding techniques

At the ZRP site, the most commonly used welding method is the MAG (Metal Active Gas) method with the number 135, i.e. welding with active chemical gas, i.e. carbon dioxide and argon. In addition, Submerged Arc Welding (SAW), which involves joining metal parts by means of an electrode in a coating of granular flux, is also used. The choice of welding process must be closely related to the following factors: the geometry of the workpiece to be welded, the availability of welding positions, the capability of the welding robot, the accuracy of the final workpiece, the type of weld and the number of workpieces.

When a workpiece is qualified for robotic welding, two methods of programming the welding robot are used: online or offline. The online method involves programming the robot directly at the workstation by «teaching» it the correct sequence of welding movements. The operator uses a device called a «teach pendant» to indicate points on the workpiece that de-

termine the path of the individual sweeps of the robot arm, i.e. the path of the weld. In contrast, the second offline method uses Cloos' RoboPlan simulation program to program the welding robot. A 3D model of the workpiece is loaded into the program and positioned in the virtual welding station, then the welding and travel paths (all the other auxiliary paths that are responsible for driving the robot arm to the welding area) are plotted. Once the relevant welds and auxiliary movements have been correctly plotted, a code is generated and uploaded to the machine. The use of the offline program increases the functionality of the welding robot's use by adapting it easily to changing conditions and facilitating the programming of its more complex movements. An additional advantage of the software is that the machining program can be tested in computer simulation before it is implemented in production. Welding robots at the plant are mainly used for chamfering sheet metal detailing and welding structural components (Fig. 7) and for hard-facing work on armored conveyor troughs.

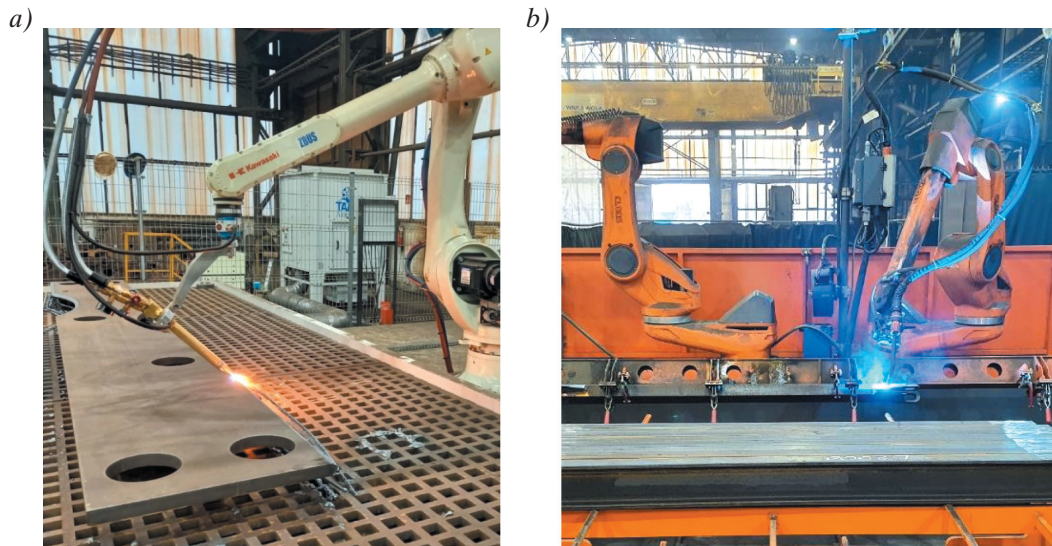


Fig. 7. Example of the use of welding robots for: a) chamfering metal sheets; b) welding of structures

3.3. Machining

Once the 2D construction documentation has been completed, the development of technological processes, i.e. the technology for machining workpieces and the generation of CNC machine control codes, begins. For example, under the conditions prevailing at the ZRP plant, numerically controlled burners supported by CAM software (Wrykrys and NestFab) are used to cut specific parts from sheet metal. These programs make it possible to create firing plans and optimize the distribution of the parts on the sheets, which reduces waste and maximizes the use of the material at hand. Similarly to numerically controlled lathes and milling machines, they are operated by Siemens NX software, which executes the technological process indicated by the technologist and generates automatic code, which in turn is uploaded to the machines.

This code is a record of a sequence of actions, i.e. commands for the machine, which carries out CNC machining according to this plan.

Zakład Remontowo-Produkcyjny has an extensive machine park equipped primarily with metal cutting machines: saws, milling machines, lathes, machining centers and robots for chamfering sheet metal and welding structures. Recently, the plant's production capacity has been enhanced with the addition of two CNC-controlled machines – a honing machine and a deep-hole drilling machine – which have significantly increased the efficiency of the production of power hydraulics. The deep-hole drilling machine makes it possible to drill holes with a diameter range of 3–30 mm to a maximum depth of 1,600 mm, such parameters were unattainable before the machine was purchased. Figure 8 shows an example of a CNC machining center and a deep-hole drilling machine.

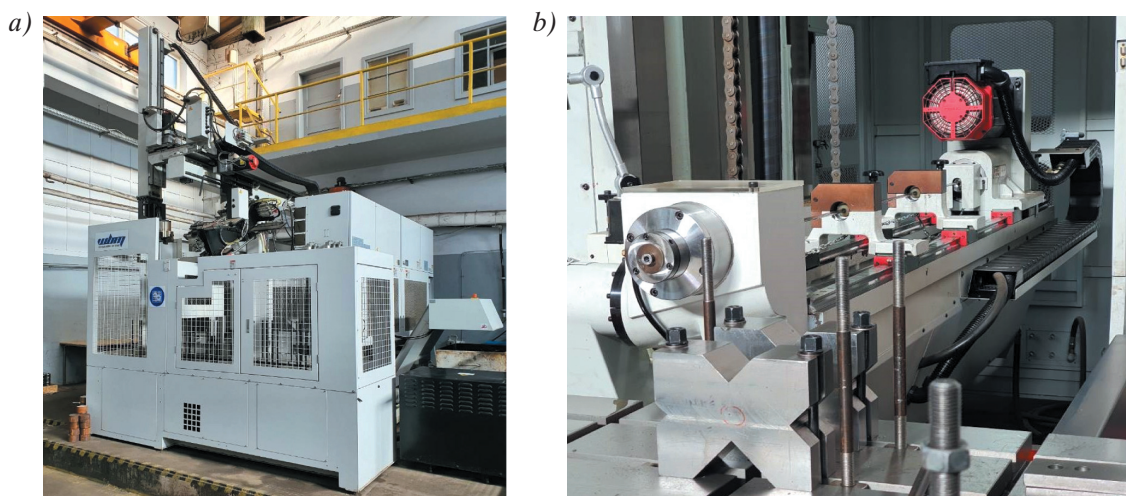


Fig. 8. CNC machining center for machining (a); CNC machine for deep-hole drilling (b)

4. PROTOTYPE STRENGTH TESTING AND CERTIFICATION

According to the Regulation of the Minister of Economy of 21 October 2008 on essential requirements for machinery (Dz.U. [Journal of Laws] No. 199, item 1228), new and modernized sections of powered roof supports must undergo EC-type testing [9]. EC-type testing is a procedure in which a notified body examines and then certifies that the model of machinery, referred to as the «type» (in our case, the powered roof support section), submitted for testing by the manufacturer meets the requirements of the Regulation referred to.



Fig. 9. Prototype of the ZRP-15/35-POz roof support on the TLO Opava test bench (a); certificate confirming a positive result of the EC type-examination (b)

5. SUMMARY

Zakład Remontowo-Produkcyjny (part of the PGG SA structures) has been expanding its design, production, training and testing capabilities for products and materials used for many years. It specializes in the production of powered roof support sections and suspension railways. Product design is carried out using numerical methods, and the created virtual models of the developed products are tested in terms of kinematics, strength, and collision. Only positive results from numerical testing of the product form the basis for the creation of documentation, particularly technological documentation, which forms the

basis for machine software. The ZRP plant uses only CNC machines for sheet metal cutting, welding (using robots), hard-facing, cylinder honing and long drilling. The software for the machines mentioned is executed exclusively by the plant's employees. The product is subject to in-process inspection during its manufacture. The finished (final) product is tested by a notified body for compliance with EU directives and is placed on the market with a DTR and applicable certificate. The plant has an extensive training system, particularly in the field of welding, and is keen to cooperate with scientific and research bodies. The methods described are combined in the production cycle to create a product of the highest quality, as

in the presented case of the ZRP-15/35-POz powered roof support section. More than 1,200 sections with different working heights were produced in the version shown. The plant is also prepared to undertake the production of other machines of similar design. It conducts systematic market research into technological, machine and design innovations and replenishes its equipment within its financial capabilities.

Zakład Remontowo-Produkcyjny has overhauled the sections of powered roof supports currently in operation at PGG SA and, on this basis, verified and standardized them. Roof supports with divisions for the low (ZRP-12/24-POz), medium (ZRP-15/35-POz), and high (ZRP-19/41-POz) longwalls have been designed. Figure 10 shows the range of powered roof supports manufactured by the ZRP plant.

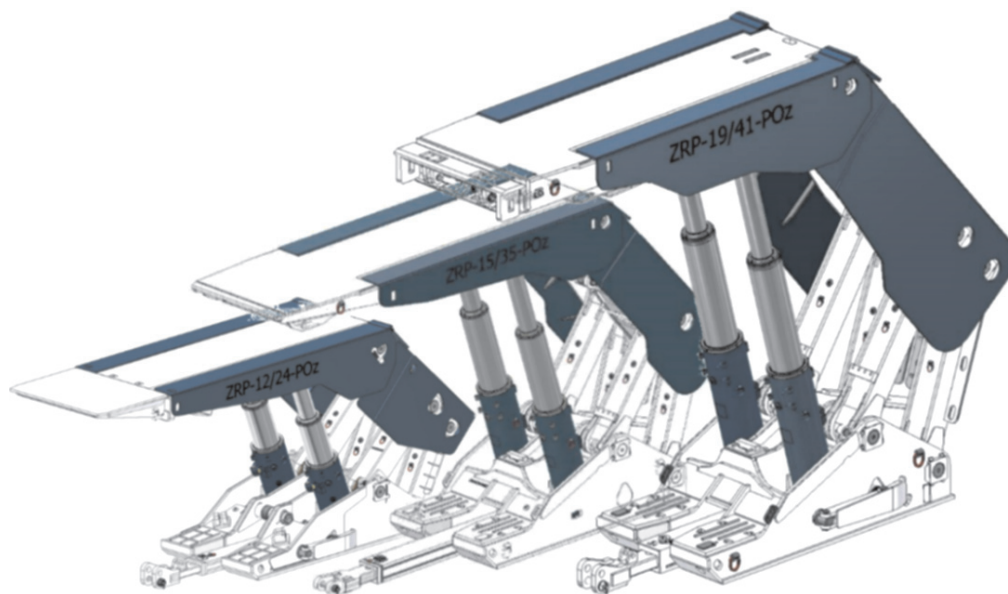


Fig. 10. A range of powered roof supports designed by ZRP for PGG SA (ZRP-12/24-POz, ZRP-15/35-POz, ZRP-19/41)

References

- [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.

JAN GIL, Ph.D., Eng.

TOMASZ KARCZEWSKI, M.Sc., Eng.

GRZEGORZ PUTANOWICZ, M.Sc., Eng.

Polska Grupa Górnicza SA

Oddział: Zakład Remontowo-Produkcyjny

ul. Granitowa 132, 43-155 Bieruń, Poland

g.putanowicz@pgg.pl

KAZIMIERZ STOIŃSKI, prof.

The Central Mining Institute

pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice, Poland

JAN GIL

KAZIMIERZ STOŃSKI

TOMASZ KARCZEWSKI

GRZEGORZ PUTANOWICZ

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

Prezentowano 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 świadczącą 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.

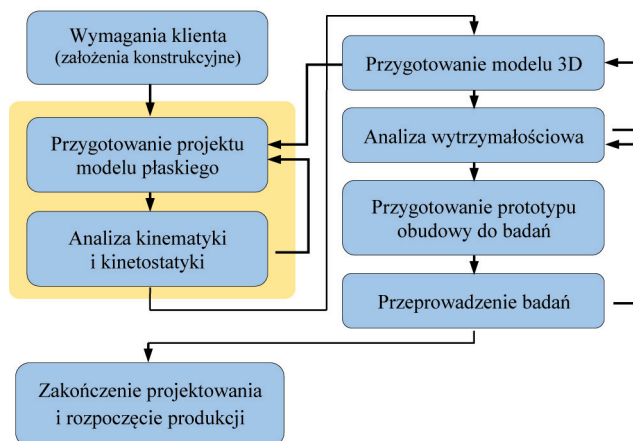
2. PROJEKTOWANIE I PROTOTYPOWANIE CYFROWE WYROBU

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-górnictwowych 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 kinetostatycznych 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

ZRP-15/35-POz (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

RYСУNKI POMOCNICZE

Diagram showing a kinematic chain with links labeled I0 through I23 and dimensions.

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 μ : 0.3

Kąt stropnicy

+ α [°]: 60

- α [°]: -60

Geometria

☒ Z podporą

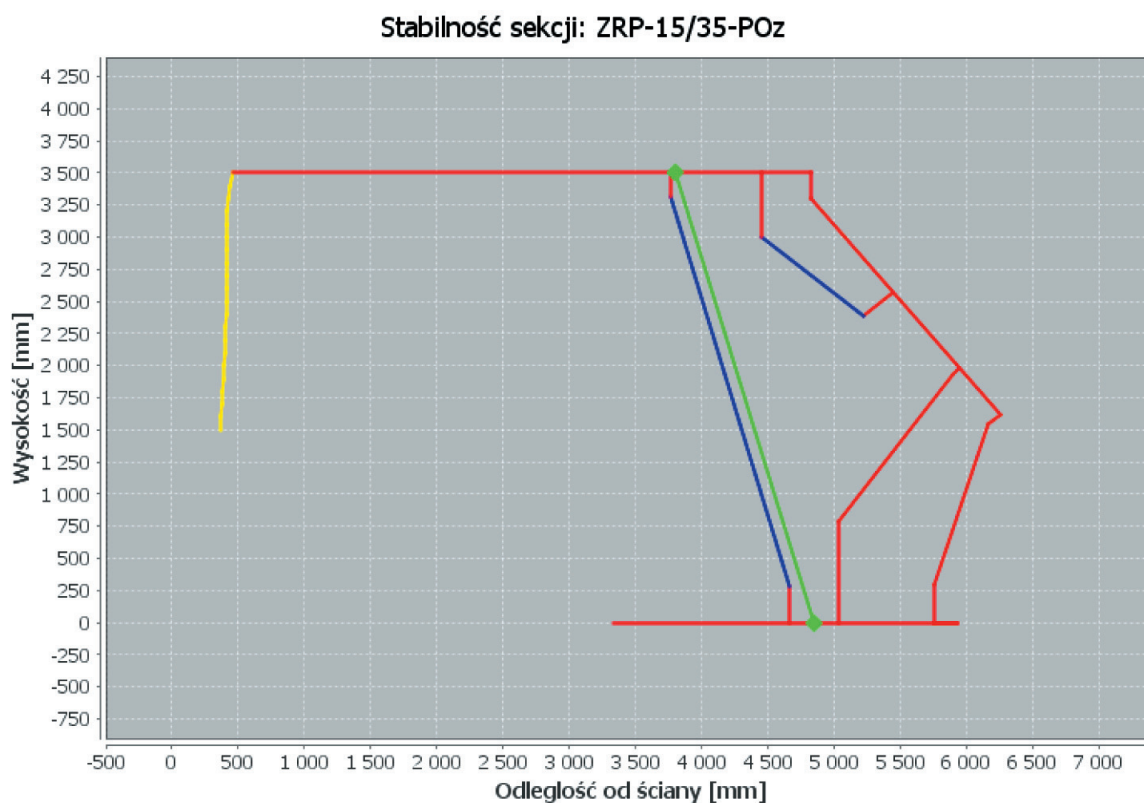
☐ Bez podporą

Max [mm]: 820

Min [mm]: 580

Buttons: <<< Powiększ Rysunek >>>, GOTOWE, Wczytaj z, Zapisz jako, Wyświetl model, << OBLICZ >>

Rys. 2. Interfejs programu PrsLab

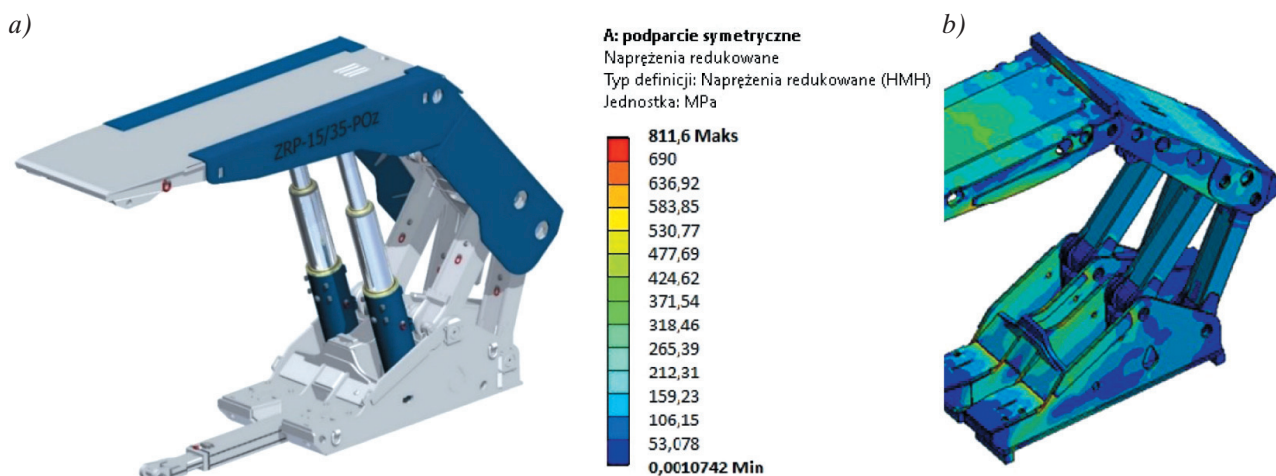


Rys. 3. Łańcuch kinematyczny modelu sekcji z zaznaczoną ścieżką otwarcia stropu (kolor żółty)

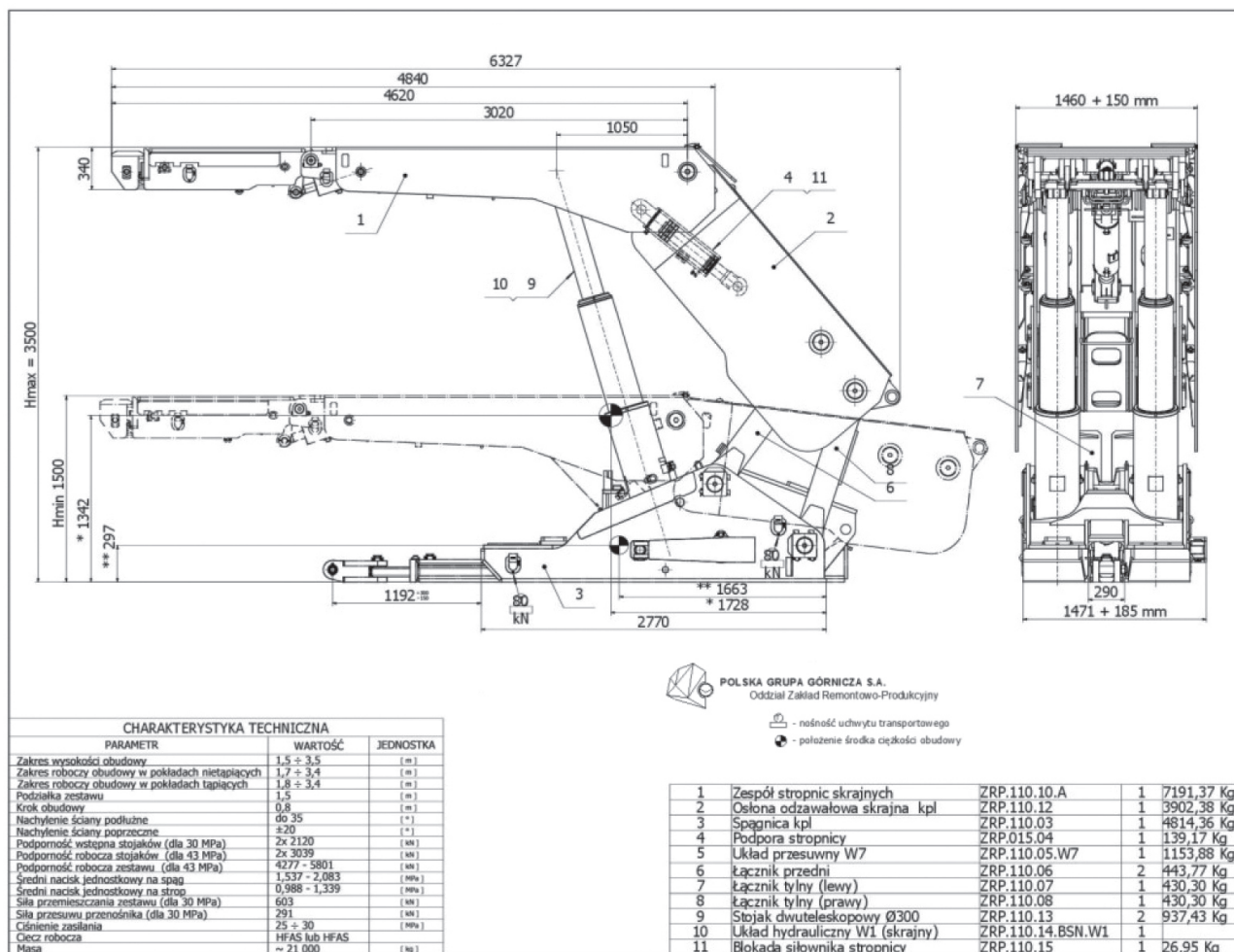
Na rysunku 4 zestawiono projekt sekcji obudowy zmechanizowanej ZRP-15/35-POz wykonany w programie Autodesk Inventor oraz wyniki analizy wytrzymałościowej w postaci mapy naprężeń zredukowanych według hipotezy Hubera–Misesa–Hencky’ego, powstałej w wyniku obciążenia konstrukcji obudowy w programie ANSYS.

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 ściannych 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 ściannych 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)



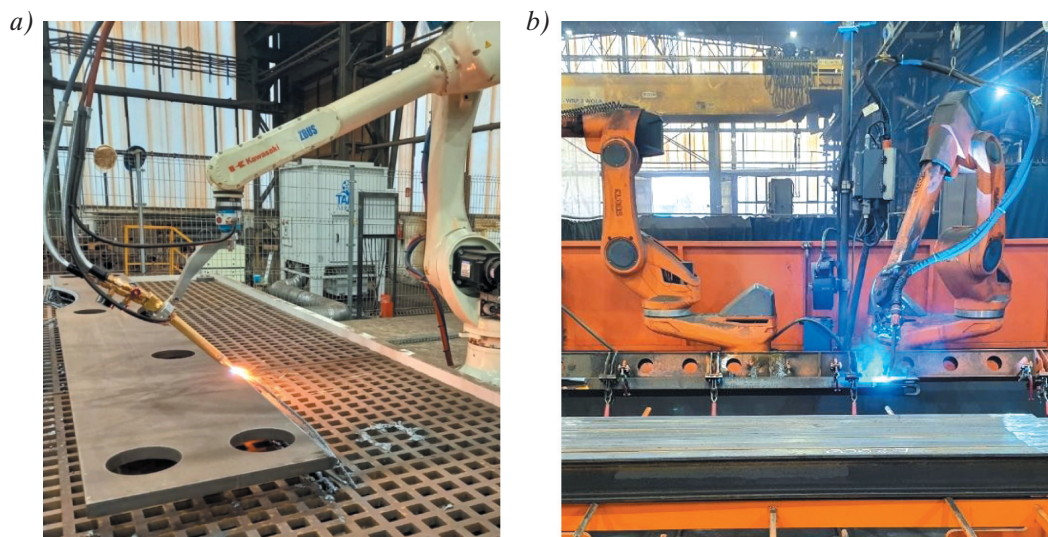
Rys. 6. Badanie spektrometrem składu chemicznego elementów konstrukcji (a);
maszyna wytrzymałościowa do zrywania próbek metalu (b)

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 wgrywa 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.



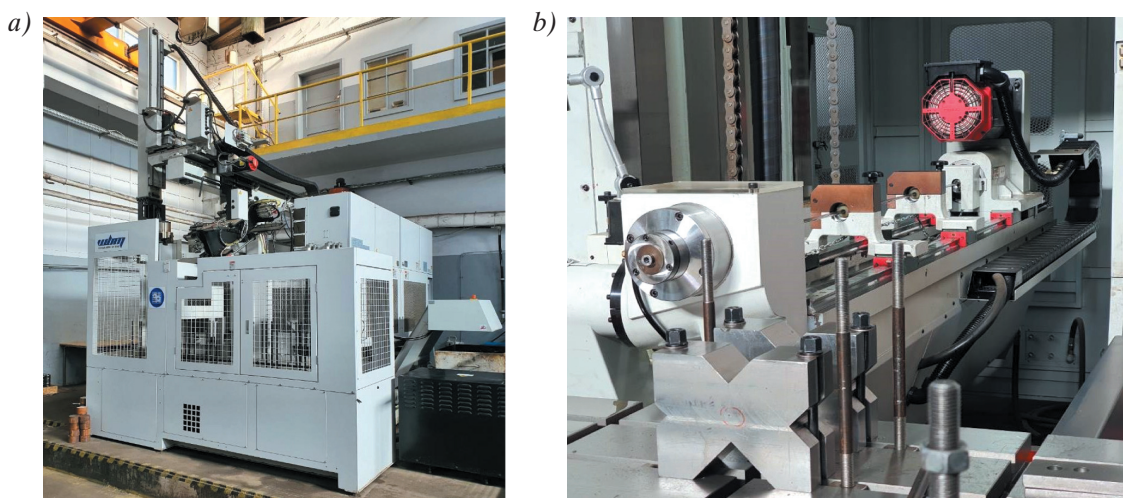
Rys. 7. Przykład zastosowania robotów spawalniczych do: a) ukosowania blach; b) spawania konstrukcji

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.



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

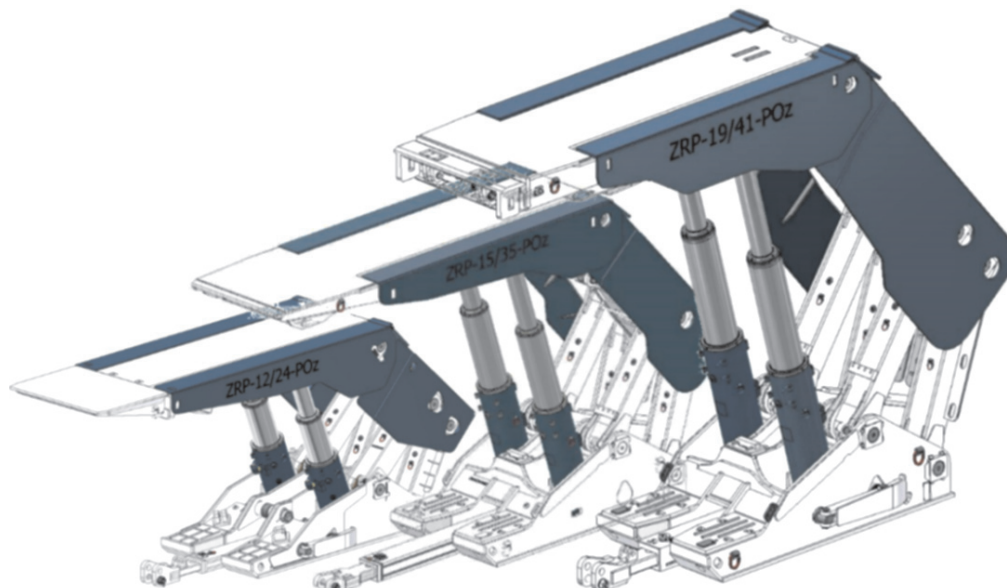
5. PODSUMOWANIE

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 zaopatrzonego w DTR oraz stosowny certyfikat. Zakład opracował rozbudowany system szkolenia, w szczególności w zakresie spawalnictwa, i chętnie współpracuje z jednostkami naukowo-badawczymi. Opisyane 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, zmieniającą dyrektywę 95/16/WE, Dz.Urz. UE L 157/24.

dr inż. JAN GIL

mgr inż. TOMASZ KARCZEWSKI

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