

Projekt oraz weryfikacja wytrzymałościowa skrzyni akumulatorowej i aparaturowej górnictwa mobilnej

dr inż. Marek Kalita
mgr inż. Andrzej Mazurkiewicz
mgr inż. Artur Tarkowski
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Design and strength verification of the battery and apparatus boxes for the mining mobile machine

Streszczenie:

W artykule przedstawiono wyniki prac projektowych konstrukcji skrzyń akumulatorowej i aparaturowej, przeznaczonych dla górniczej maszyny mobilnej. Prace realizowano w ramach projektu HYDKOM 75 pt.: „Innowacyjna maszyna mobilna z uniwersalnym układem napędu elektrycznego, podwyższającym poziom bezpieczeństwa technicznego” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. Projekt jest realizowany na podstawie umowy o dofinansowanie z Narodowym Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjny Rozwój, Działanie 4.1.2 Regionalne agendy naukowo-badawczej. Współwykonawcą projektu jest przedsiębiorstwo Hydrotech S.A. W artykule omówiono budowę skrzyń oraz przedstawiono wyniki weryfikacji wytrzymałościowej metodą elementów skończonych. Przedstawiono wymagania formalno-prawne oraz warunki niezbędne do spełnienia wymagań zasadniczych ujętych w Dyrektywie ATEX.

Abstract:

Results of the design work on the structure of battery and apparatus boxes intended for the mining mobile machine are presented. The work was carried out as part of the HYDKOM 75 project entitled "Innovative mobile machine with a universal electric drive system, increasing the level of technical safety" co-financed from the European Regional Development Fund. The project is implemented on the basis of co-financing from the National Centre for Research and Development under the Operational Programme Innovative Development, Measure 4. 1. 2 Regional Science and Research Agendas. The co-contractor of the project is Hydrotech S.A. The structure of boxes and the results of strength verification using the finite element method is discussed. The formal and legal requirements as well as the conditions necessary to meet the essential requirements included in the ATEX Directive are presented.

Słowa kluczowe: projektowanie, skrzynia akumulatorowa, skrzynia aparaturowa, ognioszczelność, ATEX

Keywords: design, battery box, apparatus box, containment of flames, ATEX

1. Wprowadzenie

Zmiana przekroju poprzecznego wyrobiska poprzez wypiętrzanie spągu zmienia między innymi jego warunki wentylacyjne. W związku z powyższym, w celu przywrócenia pierwotnego przekroju poprzecznego wyrobiska konieczna jest przybierka spągu. Ingerencja w profil wyrobiska zachodzi również podczas drążenia wyrobisk korytarzowych techniką strzelniczą, gdzie wymagane jest usunięcie pozostawionych po odstrzeleniu fragmentów skały pónnej i węgla. Do utrzymania wymaganego stanu spągu stosowane są między innymi spągoładowarki [2, 3].

Na rynku maszyn górniczych przeznaczonych do eksploatacji w podziemnych wyrobiskach górniczych istnieje szereg rozwiązań spągoładowarek. Maszyny te, poruszające się na podwoziu gąsienicowym, oprócz czerpaka pozwalającego na realizację przybierki spągu, często wyposażane są w narzędzia dodatkowe zwiększające funkcjonalność maszyny. Cechą wspólną tych maszyn jest ich układ napędowy, w postaci agregatu elektro-hydraulicznego. Agregat napędzany silnikiem elektrycznym, jest zasilany przewodem

elektrycznym z wyłączników stycznikowych zlokalizowanych w wyrobisku. Taki układ zasilający ogranicza mobilność maszyny długością przewodu zasilającego [2, 15].

W ramach projektu HYDKOM 75, pt.: „Innowacyjna maszyna mobilna z uniwersalnym układem napędu elektrycznego, podwyższającym poziom bezpieczeństwa technicznego” współfinansowanym ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Instytut Techniki Górniczej KOMAG oraz firma Hydrotech S.A. opracowały spagoladowarkę, z napędem akumulatorowym, przeznaczoną do mechanizacji prac związanych z utrzymaniem spągu wyrobisk chodnikowych z atmosferą potencjalnie zagrożoną wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego.

Innowacyjny układ zasilający maszyny bazuje na ogniwach litowo-żelazowo-fosforanowych. Zabudowa zespołu zasilającego na maszynie wymagała podjęcia prac projektowych, mających na celu opracowanie postaci konstrukcyjnej części mechanicznej skrzyni akumulatorowej i aparaturowej, stanowiących moduł zasilająco-sterujący HK-1. Proponowane rozwiązania skrzyń konsultowano z zespołem specjalistów ITG KOMAG odpowiedzialnym za opracowanie części elektrycznej maszyny oraz z konsorcjantem przemysłowym i producentem maszyny, tj. firmą Hydrotech S.A. Kolejne wersje konstrukcyjne skrzyń elektrycznych poddawano weryfikacji wytrzymałościowej metodą elementów skończonych w środowisku oprogramowania Ansys. Efektem końcowym prac była postać konstrukcyjna oraz dokumentacja techniczna części mechanicznej obydwu skrzyń, na podstawie której partner przemysłowy wyprodukował egzemplarze prototypowe.

2. Wymagania formalno-prawne w zakresie projektowania skrzyń aparatury elektrycznej

Projektowane skrzynie aparatury elektrycznej, z racji stosowania w gazowych atmosferach wybuchowych, podlegają dyrektywie Unii Europejskiej ATEX 2014/34/UE [1]. Dyrektywa ATEX (ATmospheres EXplosibles) definiuje wymagania zasadnicze jakie musi spełniać każdy produkt przeznaczony do stosowania w strefach zagrożonych wybuchem i obejmuje swym zakresem:

- urządzenia i systemy ochronne przeznaczone do użytkowania w atmosferze wybuchowej,
- komponenty bez funkcji samodzielnych,
- sprzęt przeznaczony do użytku poza atmosferą wybuchową, który wymagany jest lub przyczynia się do bezpiecznego funkcjonowania sprzętu wobec zagrożeń wybuchowych.

Wymagania szczegółowe dotyczące konstrukcji spełniającej wymagania dyrektywy ATEX podane są w normach zharmonizowanych. Wykaz norm zharmonizowanych z dyrektywą ATEX podaje komunikat UE z dnia 09.03.2018 r. [4].

Projektowane skrzynie aparatury elektrycznej podlegają wymaganiom normy PN-EN 60079-0:2013-03 [9], która określa wymagania ogólne dotyczące konstrukcji, badań i znakowania urządzeń elektrycznych oraz komponentów przeznaczonych do stosowania w atmosferach wybuchowych. Skrzynie, w rozumieniu przedmiotowej normy, są osłonami ognioszczelnymi i podlegają również szczegółowym wymaganiom dotyczącym konstrukcji i badań wg normy PN-EN 60079-1:2014-12 [10].

Ww. normy, oprócz określenia odpowiednich terminów, pojęć i definicji w zakresie konstruowania, stosowania i badania osłon ognioszczelnych eksploatowanych w atmosferach wybuchowych, zawierają wytyczne i wymagania dla projektowanych skrzyń. Wytyczne te dotyczą między innymi takich elementów konstrukcyjnych skrzyń jak:

- złącza ognioszczelne i uszczelnione,
- drążki sterownicze,
- wałki i łożyska,
- części przepuszczające światło,
- urządzenia oddechowe i odwadniania,
- elementy mocujące i otwory,
- materiały,
- wprowadzenia do osłon ognioszczelnych,
- aparatura łączeniowa,
- osłony niemetalowe i niemetalowe części osłon.

Normy definiują również zakres badań wyrobu i badania typu (badania wytrzymałości osłony na ciśnienie oraz badanie nieprzenoszenia się wewnętrznego zapłonu).

Zachowanie ognioszczelności w zakresie złączy gwintowanych wymaga, aby otwory gwintowane posiadały pełny zarys na całej długości i były wykonane w klasie 6H (średniodokładnie) wg normy PN ISO 965-1:2001 [13].

Ponadto kadłuby skrzyń aparatury elektrycznej powinny spełniać wymagania techniczne umieszczone na rysunkach dokumentacji konstrukcyjnej oraz wymagania norm [5, 7, 8] w zakresie tolerancji wymiarów kątowych i liniowych oraz chropowatości powierzchni. Wymagania techniczne dotyczą również rodzaju stosowanych materiałów i ich zgodności w zakresie składu chemicznego, własności wytrzymałościowych oraz dokładności wykonania spoin, konstrukcji spawanych jak i innych nietolerowanych wymiarów konstrukcyjnych. Wymagania techniczne w zakresie spawania kadłubów definiują zasady przygotowania do spawania oraz wykonania spawania i są powiązane z instrukcją technologiczną spawania WPS (*ang. Welding Procedure Specification*) wykonawcy. Jeśli dokumentacja konstrukcyjna nie stanowi inaczej należy spełnić wymagania norm [6, 7, 8, 11, 12] dla spawanych kadłubów skrzyń aparatury elektrycznej w zakresie:

- klasy wykonania konstrukcji spawanej (1 klasa wg PN-87/M-69008),
- jakości spoin (klasa B lub C wg PN-EN ISO 5817:2014-05),
- tolerancji wymiarów liniowych (klasa B wg PN-EN ISO 13920:2000),
- tolerancji prostoliniowości, płaskości i równoległości (klasa F wg PN-EN ISO 13920:2000),
- wymiarów nietolerowanych (wykonanie jako ISO 2786 m K wg PN-EN 22768-1:1999 i PN-EN 22768-2:1999).

3. Założenia konstrukcyjne

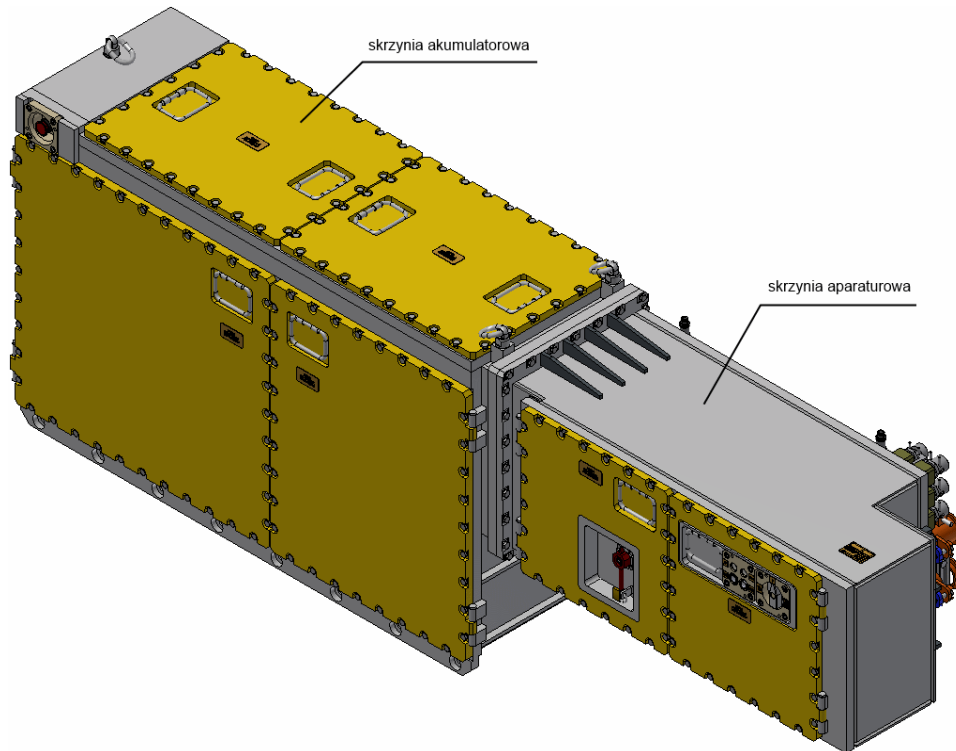
Prace projektowe prowadzono w oparciu o następujące założenia konstrukcyjne:

1. Moduł zasilająco sterujący powinien składać się z dwóch skrzyń: akumulatorowej i aparaturowej.
2. Skrzynie powinny spełniać wymagania stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego.
3. Kadłuby skrzyń powinny być niezależnymi konstrukcjami spawanymi połączonymi są ze sobą za pomocą śrub i podkładek.
4. Kadłub skrzyni aparaturowej powinien być zakończony czopem, który pozwoli na centrowanie względem niego skrzyni z akumulatorami.
5. Szczelina pomiędzy czopem kadłuba skrzyni aparaturowej, a otworem kadłuba skrzyni akumulatorów powinna stanowić przejście ognioszczelne.
6. Podział modułu zasilająco sterującego na dwie skrzynie wynika z wymiarów gabarytowych przestrzeni przeznaczonej do jego zabudowy na spągłodowarce oraz z aspektów wykonawczych, obróbczych i montażowych.
7. Wewnątrz skrzyni akumulatorowej należy umieścić czternaście pakietów bateryjnych.
8. Każdy pakiet bateryjny składa się z szesnastu ogniw.
9. Wewnątrz skrzyni aparaturowej należy zabudować elementy wyposażenia elektrycznego takie jak: falownik i ładowarka, zasilacze, sterowniki oraz szereg komponentów drobnych wytypowanych przez zespół odpowiedzialny za projekt części elektrycznej skrzyń.
10. Zabudowane w skrzyni zasilającej falownik i ładowarka należy wyposażyć w wymiennik ciepła.
11. Obydwie skrzynie, pod względem elektrycznym, będą połączone ze sobą za pomocą izolatorów spełniających wymagania ognioszczelności.
12. Rozmieszczenie elementów wyposażenia elektrycznego powinno w możliwie największym stopniu ułatwiać montaż i prowadzenie czynności serwisowych.
13. Wymiary gabarytowe zespołu zasilająco sterującego nie mogą powodować zwiększenia wymiarów gabarytowych maszyny.

Na podstawie ww. założeń oraz w oparciu o prowadzone na bieżąco uzgodnienia techniczne pomiędzy zespołami projektowymi, opracowano postać konstrukcyjną (części mechanicznej) skrzyni akumulatorowej i aparaturowej wraz z wizualizacją zabudowy poszczególnych jej podzespołów.

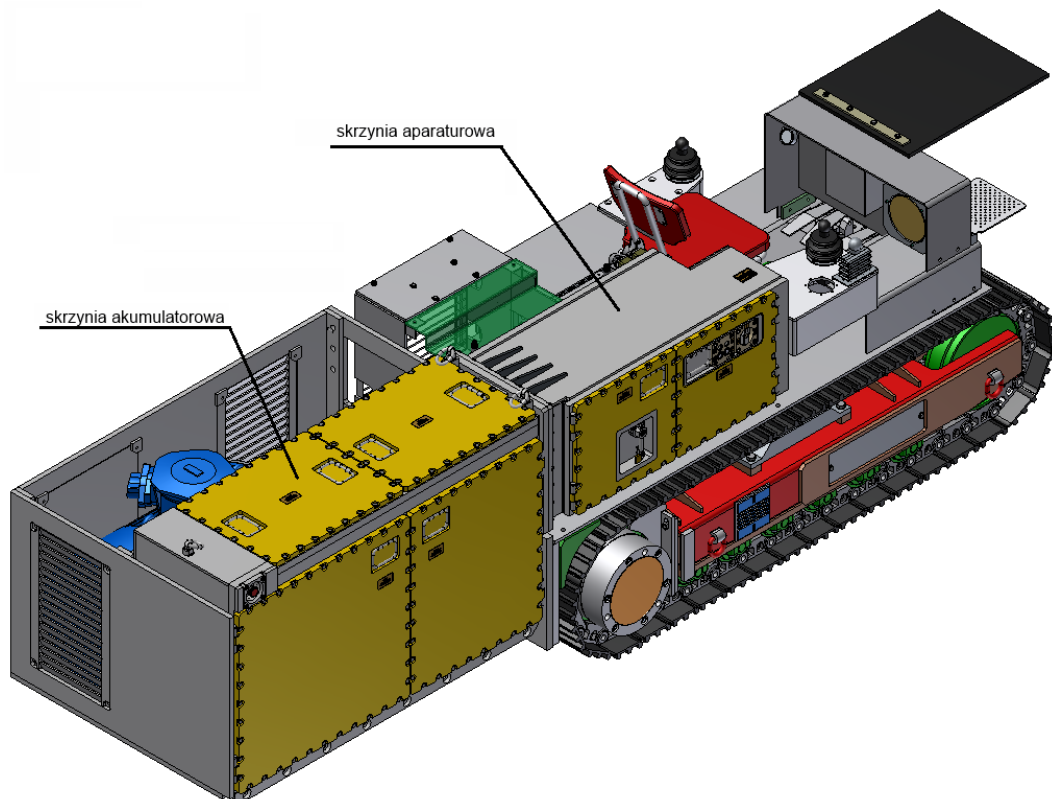
4. Budowa zespołu zasilająco-sterującego

Zespół zasilająco-sterujący HK-1 spągłodowarki składa się z dwóch niezależnych, połączonych ze sobą mechanicznie i elektrycznie skrzyń: akumulatorowej i aparaturowej (rys. 1).



Rys. 1. Model przestrzenny zespołu zasilająco-sterującego HK-1 spągokoladarki [14]

Większa gabarytowo skrzynia akumulatorowa przeznaczona jest do zabudowy w jej wnętrzu ogniw bateryjnych. W skrzyni mniejszej zabudowane jest wyposażenie elektryczne niezbędne do prawidłowego działania ogniw oraz do zasilania maszyny. Na rysunku 2 pokazano sposób zabudowy zespołu zasilająco sterującego HK-1 na podwoziu gaśnicowym spągokoladarki.



Rys. 2. Sposób zabudowy zespołu zasilająco-sterującego HK-1 na podwoziu spągokoladarki [14]

Konstrukcja zespołu HK-1 umożliwia jego zabudowę na prawym boku maszyny, w tylnej części jej kadłuba napędowego. Część akumulatorową zespołu dostosowano do wymiarów kadłuba napędu maszyny nie zwiększając wymiaru szerokościowego maszyny. Górna powierzchnia całego zespołu zasilającego sterującego stanowi maksymalny wymiar wysokościowy maszyny. Zamocowana do skrzyni akumulatorowej skrzynia aparaturowa zajmuje miejsce nad prawym błotnikiem wózka gąsienicowego maszyny.

Zabudowa zespołu zasilającego sterującego zajmuje niespełną połowę szerokości maszyny dzieląc jej kadłub napędu na dwie części. Wszystkie wpusty kablowe wchodzące do i wychodzące ze skrzyni aparaturowej zwrócone są w kierunku osi podłużnej maszyny. Taka ich zabudowa umożliwia łatwe doprowadzenie przewodów zasilających do wszystkich podzespołów elektrycznych maszyny, tj.: silnika elektrycznego, wyłączników awaryjnych, oświetlenia, itp.

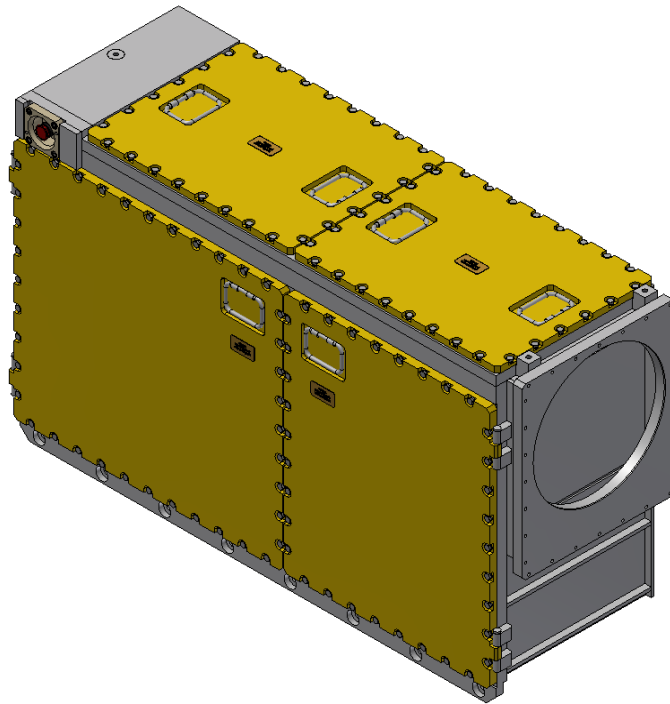
Od strony osi maszyny zlokalizowano zintegrowany ze skrzynią zasilającą wymiennik ciepła, odpowiedzialny za chłodzenie zabudowanych wewnątrz skrzyni falownika i ładowarki.

Po zabudowaniu zespołu zasilającego sterującego HK-1 na podwoziu maszyny, pokrywy dostępne obydwu skrzyń zlokalizowano na prawym boku maszyny (czworo otwieranych drzwi) oraz na powierzchni górnej (pokrywy przykręcane śrubami).

W trakcie procesu projektowania prowadzono analizy wytrzymałościowe metodą elementów skończonych w celu weryfikacji konstrukcji i ewentualnej jej modyfikacji, w aspekcie zachowania właściwej wytrzymałości i spełnienia wymagań w zakresie ognioszczelności.

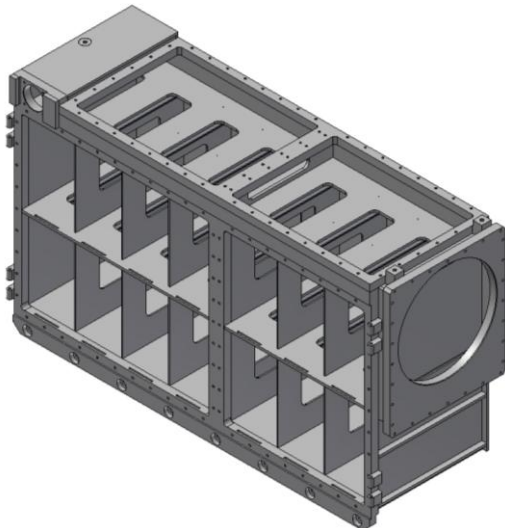
4.1. Skrzynia akumulatorowa

Na podstawie wymiarów gabarytowych ogniw oraz w oparciu o przeprowadzone analizy wytrzymałościowe MES opracowano postać konstrukcyjną skrzyni akumulatorowej (rys. 3).

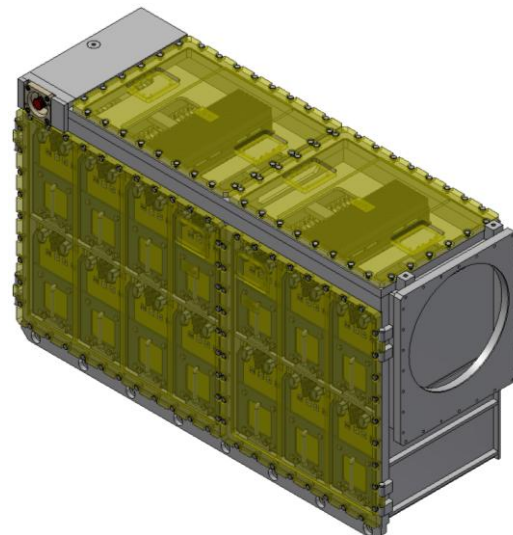


Rys. 3. Skrzynia akumulatorowa [14]

Skrzynia jest konstrukcją spawaną z blach stalowych. Powierzchnia górna skrzyni posiada dwie, przykręcane śrubami, pokrywy dostępne. Boczna ściana skrzyni posiada dwoje otwieranych drzwi. W tylnej górnej części skrzyni umieszczono wyłącznik awaryjny. Skrzynię podzielono na dwie części. W dolnej wykonano miejsca montażu modułów bateryjnych, a górną przeznaczono na montaż modułów BMS (*ang. Building Management System*). Na rysunku 4 pokazano widok kadłuba skrzyni, a na rysunku 5 widok skrzyni z zabudowanym wyposażeniem.

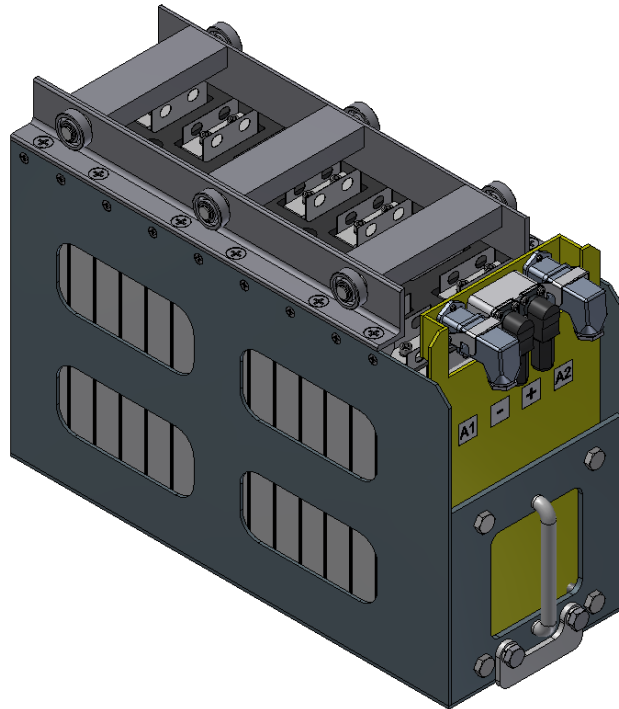


Rys. 4. Kadłub skrzyni akumulatorowej [14]



Rys. 5. Skrzynia akumulatorowa z zabudowanym wyposażeniem [14]

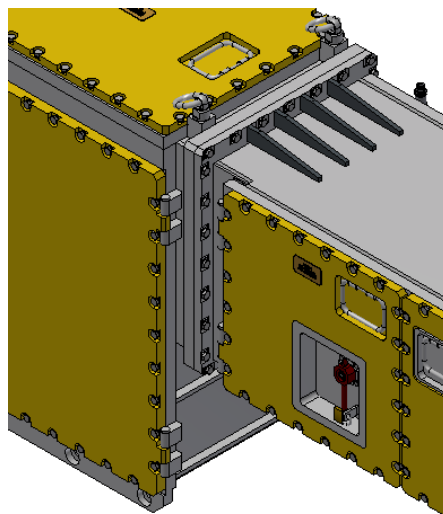
Skrzynię wzmocniono poprzez wstawienie w jej wnętrzu żebra dzielącego komorę akumulatorową na dwie części. W przestrzeni zarezerwowanej pod montaż modułów bateryjnych umieszczono półki umożliwiające montaż modułów bateryjnych. Integralną częścią skrzyni są szufladowe moduły bateryjne (rys. 6).



Rys. 6. Kompletny szufladowy moduł baterijny [14]

Skrzynia akumulatorowa wyposażona jest w 14 modułów baterijnych. Pojedynczy moduł baterijny składa się z 16 ogniw litowo-żelazowo-fosforanowych. Ogniwa w module są montowane posobnie. Każde z ogniw w górnej części posiada styki: dodatni i ujemny. Styki łączone są ze sobą w górnej części modułu za pomocą specjalnej płyty przekazującej napięcie do złączy zlokalizowanych w przedniej górnej części modułu. Wszystkie moduły bateryjne połączone są ze sobą za pomocą przewodów elektrycznych.

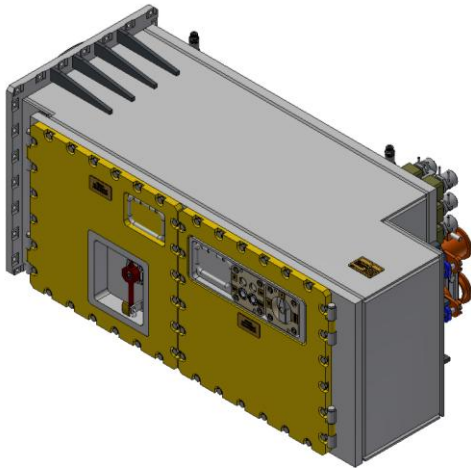
Przednia część skrzyni akumulatorowej posiada kołnierz przeznaczony do mocowania skrzyni aparaturowej (rys. 7). Kołnierz, oprócz otworów przeznaczonych pod montaż śrub, wyposażono w otwór centrujący skrzynię aparaturową względem skrzyni akumulatorowej. Otwór, w połączeniu z czopem skrzyni aparaturowej, stanowi przejście ognioszczelne.



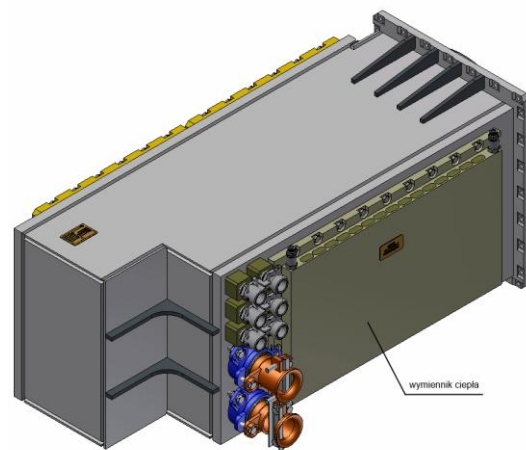
Rys. 7. Sposób połączenia skrzyni akumulatorowej i aparaturowej [14]

4.2. Skrzynia aparaturowa

Ze skrzynią akumulatorową współpracuje skrzynia aparaturowa, która podobnie jak akumulatorowa, jest również konstrukcją spawaną z blach i profili stalowych. Na bocznej ścianie skrzyni zabudowano, otwierane na zawiasach, drzwi dostępowe (rys. 8). Do tylnej ściany skrzyni przykręcono wymiennik ciepła (rys. 9). Obok wymiennika zabudowano również wpusty kablowe.

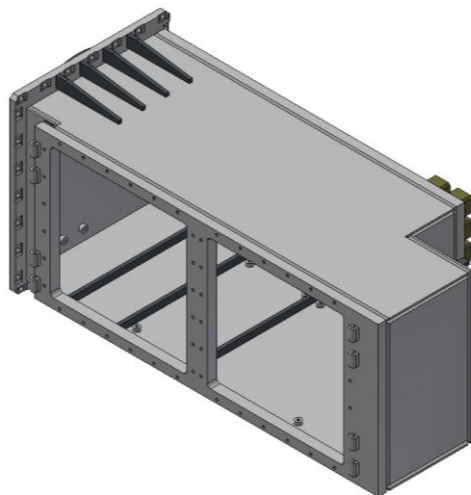


Rys. 8. Skrzynia aparaturowa [14]



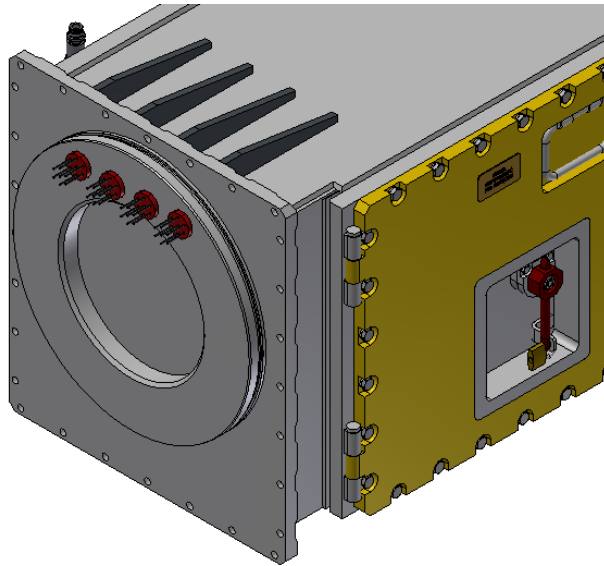
Rys. 9. Skrzynia aparaturowa z zabudowanym wymiennikiem ciepła oraz wpustami [14]

Widok konstrukcji spawanej skrzyni aparaturowej przedstawiono na rysunku 10. Wewnątrz oraz na zewnątrz skrzyni zabudowano żebra wzmacniające. Ze względu na zabudowę skrzyni na maszynie, jej przednia część jest węższa, co umożliwia montaż siedzenia operatora.



Rys. 10. Konstrukcja spawana skrzyni aparaturowej [14]

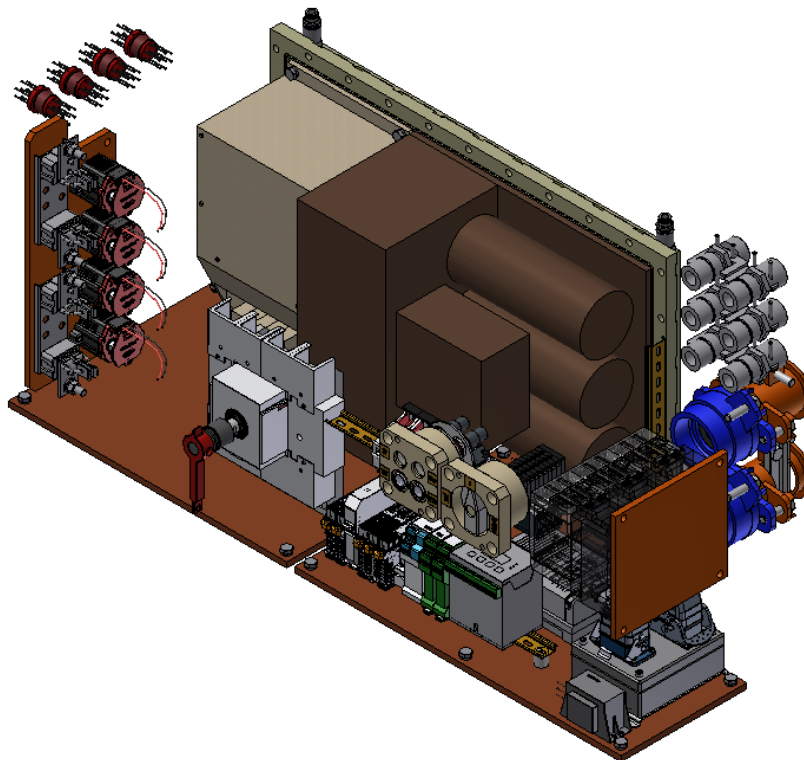
Na ścianie kołnierza skrzyni aparaturowej zabudowano cztery izolatory przepustowe, które umożliwiają połączenie elektryczne części akumulatorowej z aparaturową (rys. 11).



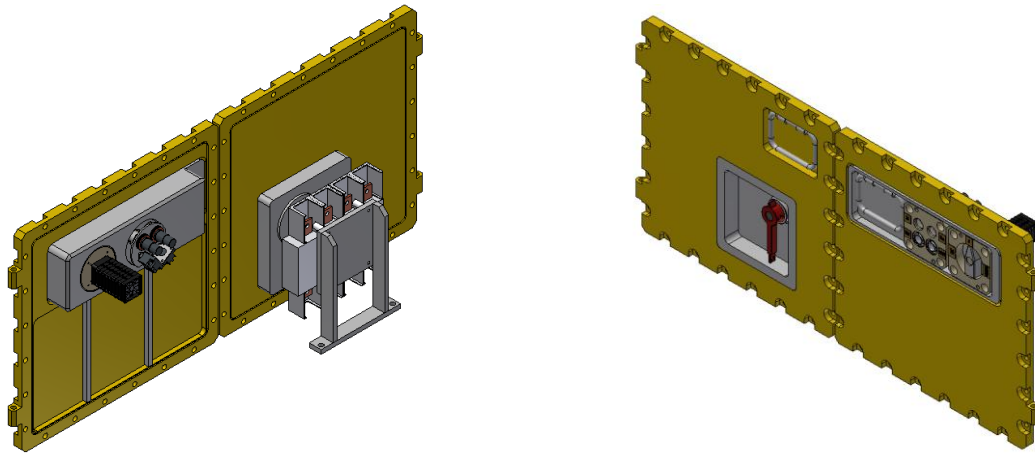
Rys. 11. Izolatory przepustowe zabudowane na kołnierzu mocującym [14]

Montaż podzespołów elektrycznych skrzyni odbywa się poprzez płyty montażowe. Zastosowanie płyt mocowanych we wnętrzu skrzyni za pomocą śrub pozwala na dowolne przemieszczanie mocowanych elementów, bez konieczności ingerencji w konstrukcję kadłuba skrzyni.

Na rysunku 12 pokazano zabudowę elementów wyposażenia elektrycznego skrzyni. Główne elementy jej wyposażenia, w postaci falownika i ładowarki, zabudowano w głębi skrzyni, na ścianie wymiennika ciepła. Na dolnych i bocznych płytach montażowych przymocowano podzespoły mniejsze gabarytowo. Na drzwiach skrzyni zabudowano elementy sterujące oraz wzierniki pod montaż lamp sygnalizacyjnych (rys. 13).



Rys. 12. Zabudowa elementów wyposażenia elektrycznego w skrzyni aparaturowej [14]



Rys. 13. Elementy sterownicze zabudowane na drzwiach skrzyni aparaturowej [14]

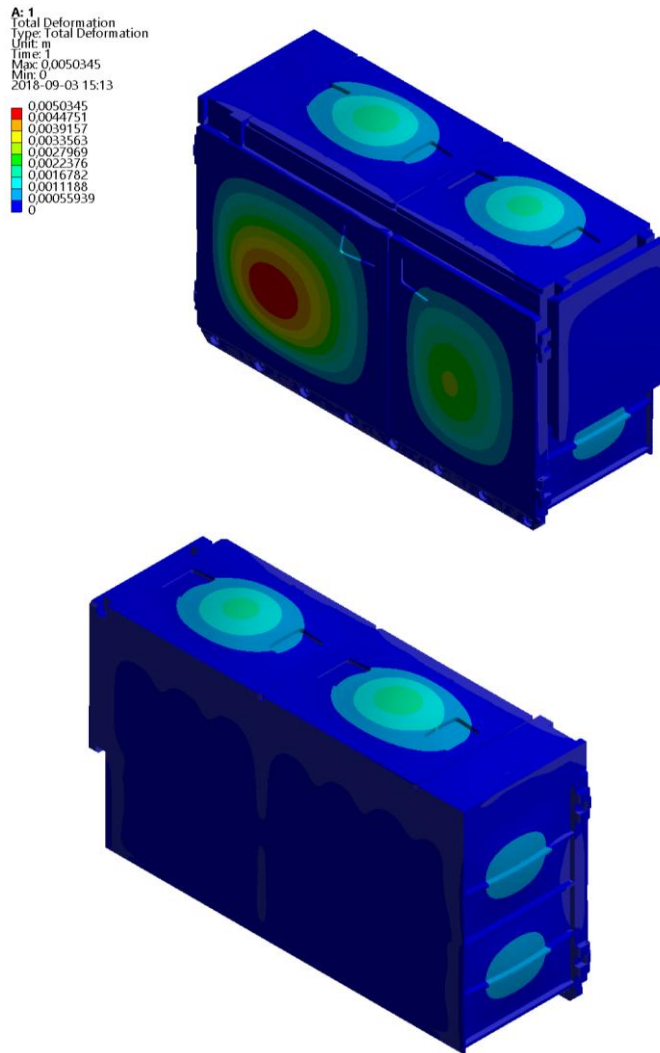
5. Weryfikacja wytrzymałościowa skrzyń

W trakcie obliczeń numerycznych wyznaczano wartości naprężeń zredukowanych powstających w wyniku poddania konstrukcji obciążeniu ciśnieniem potencjalnego, wewnętrznego wybuchu metanu oraz przemieszczeń poszczególnych elementów konstrukcyjnych skrzyń. Sposób obciążenia konstrukcji oraz wartość zadanego ciśnienia odwzorowywały warunki potencjalnego wybuchu metanu wewnątrz konstrukcji każdej ze skrzyń. Miejscem utwierdzenia każdej ze skrzyń były ich powierzchnie wzajemnego łączenia. Przeprowadzone analizy wskazały najbardziej wyczerpane węzły konstrukcyjne oraz nakreśliły kierunki modyfikacji docelowej konstrukcji obydwu skrzyń. W artykule przedstawiono ostateczne wyniki weryfikacji wytrzymałościowej obydwu skrzyń.

Ponieważ każda ze skrzyń jest konstrukcją spawaną z blach, to do obliczeń przyjęto następujące własności mechaniczne odpowiadające stali S355JR:

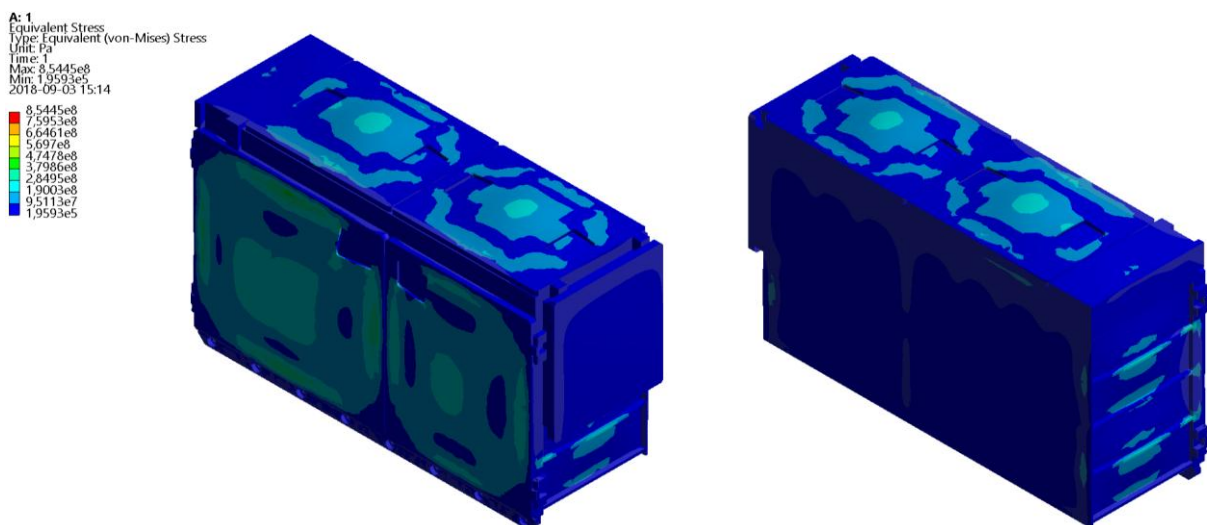
- gęstość $7,85 \text{ g/cm}^3$
- granica plastyczności 355 MPa
- wytrzymałość na rozciąganie 600 MPa
- moduł Younga 220 GPa
- współczynnik Poissona $0,3$
- moduł sprężystości $76,9073 \text{ GPa}$.

Obliczenia numeryczne skrzyni akumulatorowej odzwierciedlały próbę ciśnieniową, w której na wewnętrzne powierzchnie ścianek skrzyni działało ciśnienie o wartości $0,8 \text{ MPa}$. W wyniku obliczeń otrzymano mapy przemieszczeń konstrukcji skrzyni. Maksymalna wartość przemieszczeń wyniosła $5,03 \text{ mm}$ i była zlokalizowana w centralnej części lewej pokrywy frontowej skrzyni (rys. 14).



Rys. 14. Mapy przemieszczeń konstrukcji skrzyni akumulatorowej [14]

Na rysunku 15 przedstawiono wyniki symulacji numerycznej modelu skrzyni w postaci map naprężeń zredukowanych.



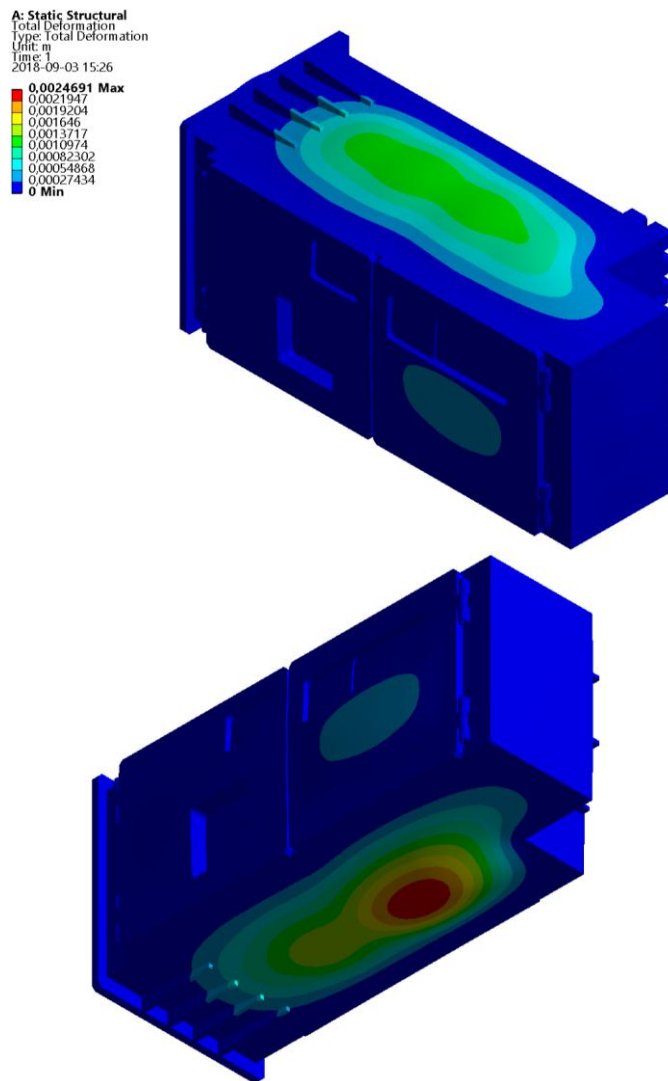
Rys. 15. Mapy naprężeń zredukowanych konstrukcji skrzyni akumulatorowej [14]

Najwyższe wartości naprężeń występowały wewnątrz skrzyni, na jej dnie oraz w obrębie bocznych pokryw dostępowych na żebrach wzmacniających. Maksymalna wartość naprężeń

wynosząca 855 MPa występowała na żebrze wewnętrznym pokrywy. Naprężenia występujące na pozostałych elementach skrzyni nie przekraczały wartości odpowiadających granicy plastyczności materiału.

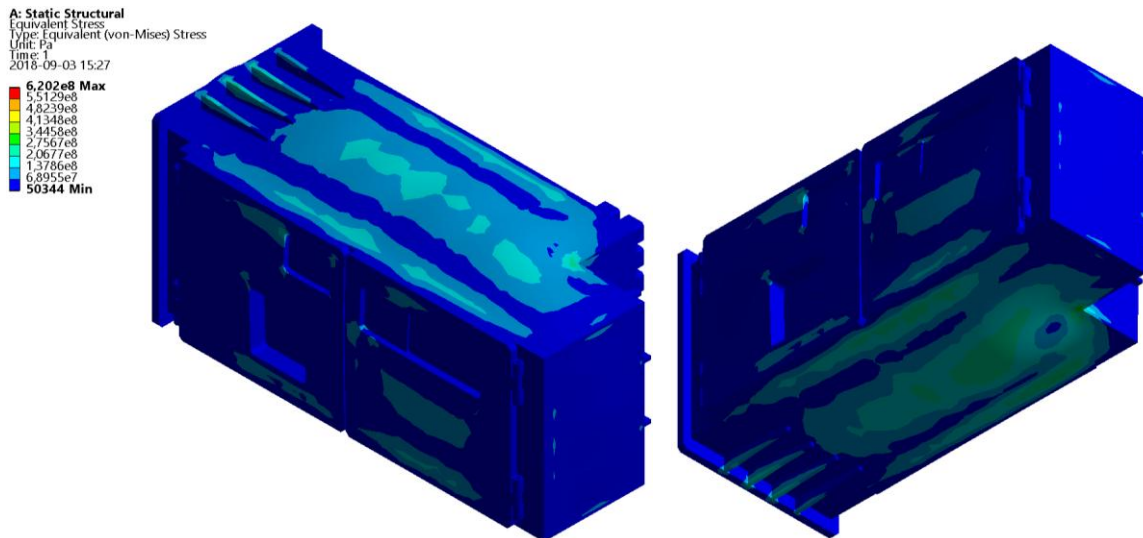
Podczas analizy wytrzymałościowej MES skrzyni aparaturowej, podobnie jak we wcześniej opisywanym przypadku, w pierwszej kolejności zdefiniowano obciążenia, jakie na nią działają. W analizie wytrzymałościowej przyjęto obciążenie naciskiem powierzchniowym o wartości $P = 0,8$ MPa. Model utwierdzono na powierzchni łączenia ze sobą obydwu skrzyń.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano mapy przemieszczeń konstrukcji skrzyni. Maksymalna wartość przemieszczeń wyniosła 2,4 mm i była zlokalizowana na dolnej blaszce skrzyni (rys. 16).



Rys. 16. Mapy przemieszczeń konstrukcji skrzyni aparaturowej [14]

Na rysunku 17 przedstawiono wyniki symulacji numerycznej modelu skrzyni w postaci map naprężeń zredukowanych.



Rys. 17. Mapy naprężeń zredukowanych konstrukcji skrzyni aparaturowej [14]

Przeprowadzone obliczenia wytrzymałościowe MES skrzyni aparaturowej wykazały największe naprężenia w rejonie uźbrowania podstawy skrzyni. Maksymalna wartość tych naprężeń wyniosła 620 MPa. Naprężenia pozostałych elementów skrzyni nie przekroczyły granicy plastyczności materiału.

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki prac projektowych zespołu zasilającego sterującego HK-1, składającego się ze skrzyń akumulatorowej i aparaturowej, przeznaczonego dla spągłodowarki górniczej. Prace realizowano w ramach projektu HYDKOM 75 pt.: „Innowacyjna maszyna mobilna z uniwersalnym układem napędu elektrycznego, podwyższającym poziom bezpieczeństwa technicznego”. Projekt współfinansowano ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego na podstawie umowy o dofinansowanie z Narodowym Centrum Badań i Rozwoju nr POIR.04.01.02-00-0102/16 w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjny Rozwój, Działanie 4.1.2 Regionalne agendy naukowo-badawczej. Współwykonawcą projektu jest przedsiębiorstwo Hydrotech S.A.

Praca obejmowała wszystkie etapy projektowania rozpoczynając od koncepcji poprzez projekty wstępne, modelowanie przestrzenne, weryfikację konstrukcji z zastosowaniem numerycznych metod obliczeniowych MES, kończąc na opracowaniu ostatecznych modeli przestrzennych i dokumentacji wykonawczej. Wyniki realizacji prac przedstawiono w poniższych punktach:

1. Opracowano wstępne koncepcje skrzyń akumulatorowej i aparaturowej w oparciu o uproszczony model przestrzenny podwozia spągłodowarki, udostępniony przez konsorcjanta przemysłowego projektu, tj. firmę Hydrotech S.A. Opracowane rozwiązania uwzględniały, między innymi, ograniczenia wynikające z możliwości zabudowy skrzyń na maszynie.
2. Rozwiązania konstrukcyjne skrzyń uszczegóławiano w toku kolejnych analiz numerycznych, jednocześnie uwzględniając zabudowę ich wyposażenia elektrycznego. Ze względu na nowatorski charakter rozwiązania zespołu zasilającego sterującego proces projektowania wymagał wprowadzania szeregu zmian

konstrukcyjnych, które omawiano w gronie specjalistów z zakresu wyposażenia elektrycznego oraz producenta spągotadawarki.

3. Do opracowania ostatecznej postaci konstrukcyjnej skrzyni akumulatorowej wymagane było zaprojektowanie konstrukcji modułów bateryjnych z zabudowanymi ogniwami litowo-żelazowo-fosforanowymi. Cały zasób energii niezbędnej do zasilania spągotadawarki został zgromadzony w czternastu modułach, w których zabudowano po szesnaście ogniw bateryjnych. W celu ułatwienia montażu i prowadzenia prac serwisowych konstrukcje nośne modułów bateryjnych wykonano w formie szuflad wsuwanych do wnętrza skrzyni, przez otwierane drzwi zewnętrzne.
4. Ustalenie postaci geometrycznej skrzyni aparaturowej poprzedziła analiza rozmieszczenia i zabudowy wszystkich jej podzespołów elektrycznych. Budowa skrzyni zasilającej zdeterminowana była wielkością i wymaganym sposobem montażu falownika i ładowarki bateryjnej. Konieczność odbierania ciepła z powierzchni ww. zespołów wymagała opracowania wymiennika ciepła chłodzonego wodą.
5. Wykonywano numeryczne analizy wytrzymałościowe MES z użyciem oprogramowania Ansys. Przeprowadzone obliczenia wskazały najbardziej wyciężone węzły konstrukcji skrzyń oraz wskazały zakres modyfikacji.
6. Opracowano wszystkie przejścia ognioszczelne, uwzględniając przy tym wymagania dyrektywy ATEX. Szczegóły dotyczące przejść ognioszczelnych wykazano w dokumentacji technicznej przedmiotowych skrzyń.

Literatura

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/34/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej
- [2] Kalita M.: Proces projektowania spągotadawarki z wymiennym osprzętem roboczym, *Maszyny Górnicze* 2011 nr 3 (127)
- [3] Klich A.: Praca zbiorowa. *Maszyny i urządzenia dla inżynierii budownictwa podziemnego. Wyrobiska korytarzowe i szybowe w górnictwie*, Katowice 1999
- [4] Komunikat Komisji w ramach wdrażania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/34/UE w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej, *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej* C 92/87 z dnia 09.03.2018 r.
- [5] Norma PN-87/M-04251 *Struktura geometryczna powierzchni – Chropowatość powierzchni – Wartości liczbowe parametrów*
- [6] Norma PN-87/M-69008 *Spawalnictwo – Klasyfikacja konstrukcji spawanych*
- [7] Norma PN-EN 22768-1:1999 *Tolerancje ogólne – Tolerancje wymiarów liniowych i kątowych bez indywidualnych oznaczeń tolerancji*
- [8] Norma PN-EN 22768-2:1999 *Tolerancje ogólne – Tolerancje geometryczne elementów bez indywidualnych oznaczeń tolerancji*

- [9] Norma PN-EN 60079-0:2013-03 Atmosfery wybuchowe – Część 0: Urządzenia – Podstawowe wymagania
- [10] Norma PN-EN 60079-1:2014-12 Atmosfery wybuchowe – Część 1: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą osłon ognioszczelnych „d”
- [11] Norma PN-EN ISO 13920:2000 Spawalnictwo – Tolerancje ogólne dotyczące konstrukcji spawanych – Wymiary liniowe i kąty – Kształt i położenie
- [12] Norma PN-EN ISO 5817:2014-05 Spawanie – Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązką) – Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych
- [13] Norma PN-ISO 965-1:2001 Gwinty metryczne ISO ogólnego przeznaczenia – Tolerancje – Część 1: Zasady i dane podstawowe
- [14] Projekt HYDKOM 75 pt.: Innowacyjna maszyna mobilna z uniwersalnym układem napędu elektrycznego, podwyższającym poziom bezpieczeństwa technicznego, Sprawozdanie z realizacji zadania nr 3 pt.: Opracowanie i wykonanie modelu modułu zasilającego, Gliwice, maj 2018, ITG KOMAG (materiały niepublikowane)
- [15] Rozumek D., Marek P., Tokarczyk J., Kalita M.: Ładowarka górnicza ŁBT-1200EH/LS-A wraz z konstrukcją ochronną operatora. Transport Przemysłowy Maszyny Robocze 2009 nr 4 s. 64-67

Czy wiesz, że

...cztery wiodące uczelnie górnicze Europy: Clausthal University of Technology (Niemcy), Luleå University of Technology (Szwecja), RWTH Aachen University (Niemcy) oraz Montanuniversität Leoben (Austria), tworząc konsorcjum zainicjowały projekt finansowany przez Europejski Instytut Innowacji i Technologii. W ten sposób powstała agenda Unii Europejskiej o nazwie SafeMine, której celem jest kształcenie, na poziomie studiów doktoranckich, przyszłej kadry profesjonalistów w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy dla europejskiego przemysłu górniczego. W pierwszej, pilotowej fazie projektu trwającej 2 lata, weźmie udział 4 studentów, po jednym z każdej uczelni. W trakcie tego etapu programu, opracowany zostanie jego ostateczny zakres oraz forma kształcenia przyszłych studentów. Zainteresowane firmy będą miały możliwość przyłączenia się do tej inicjatywy. Również absolwenci studiów magisterskich, którzy są zainteresowani doktoratem w tej dziedzinie, mogą wziąć udział w projekcie SafeMine.

Mining Report. Glückauf 2018 nr 5 s.400-405