

Konstrukcja ochronna operatora ładowarki górniczej w świetle przepisów i badań niszczących

Streszczenie

W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa operatorom samojezdnych maszyn górniczych stosowane są różnego rodzaju konstrukcje ochronne. Stawiane im wymagania oraz sposób weryfikacji stopnia ochrony określają normy i akty prawne związane z projektowaniem, badaniem i eksploataowaniem konstrukcji ochronnych operatorów maszyn górniczych, budowlanych i rolniczych itp. zostały przedstawione w niniejszym artykule. W artykule przedstawiono również wyniki badań niszczących kabiny ładowarki górniczej.

Summary

To ensure proper safety level of self-propelled mining machines, different types of protective structure are used. The requirements put to them as well as the method for verification of the protection level are included in the standards and legal acts on designing, testing and use of structures protecting operators of mining, construction and agricultural machines, which are cited in the paper. In addition, the results of crash test of mine loader cabin are given.

1. Wstęp

Operatorzy samojezdnych maszyn górniczych eksploatowanych w podziemnych wyrobiskach chodnikowych narażeni są, między innymi, na uderzenia powstałe w wyniku niekontrolowanego opadu skał stropowych. Zagrożenie to może skutkować rozległymi obrażeniami ciała, łącznie ze skutkiem śmiertelnym.

W celu zapewnienia możliwie największego poziomu bezpieczeństwa biernego [1], maszyny górnicze wyposażane są w konstrukcje ochronne (kabiny), spełniające wymagania dotyczące ochrony przestrzeni pracy operatora podczas eksploatacji maszyny [13]. O konieczności stosowania kabin ochronnych operatora świadczyć mogą między innymi wypadki rejestrowane np. w górnictwie rud miedzi, gdzie zanotowano przypadki uratowania operatorów podczas zawałów skalnych [1].

Wymagania stawiane konstrukcjom ochronnym określają normy mechaniczne i górnicze. W zależności od przeznaczenia, wyróżnia się konstrukcje chroniące przed:

- skutkami przewrócenia się maszyny ROPS (ang. roll-over protective structure),
- spadającymi przedmiotami FOPS (ang. falling-object protective structure),
- skutkami obwałów skalnych RSPS (ang. rock slide protective structure).

Zapewnienie bezpieczeństwa przez każdą z wyżej wymienionych struktur ochronnych jest uwarunkowane zachowaniem w jej wnętrzu przestrzeni makiety DLV (ang. deflection limiting volume), która odwzorowuje

przestrzeń zajmowaną przez operatora podczas normalnej eksploatacji maszyny.

Polskie ustawodawstwo nakłada na producentów maszyn samojezdnych (między innymi górniczych, budowlanych czy rolniczych), wymóg obligatoryjnego oraz wszędzie tam, gdzie istnieje ryzyko przewrócenia się maszyny lub uderzenia jej przez spadające przedmioty, fakultatywnego stosowania konstrukcji ochronnych operatora. Konstrukcje ochronne ROPS, FOPS i RSPS, ze względu na potwierdzenie ich funkcji bezpieczeństwa, poddawane są badaniom niszczącym potwierdzającym ich stopień ochrony [12].

Uwzględniając powyższe, w KOMAG-u, opracowano szereg konstrukcji ochronnych operatora [4]. Niektóre z nich, oprócz numerycznych obliczeń wytrzymałościowych poddano również badaniom niszczącym.

Jedną z opracowanych konstrukcji ochronnych została zastosowana w ładowarce bocznie wysypującej ŁBT-1200M (rys. 1). Oprócz obliczeń wytrzymałościowych metodą elementów skończonych (MES) [14], zaprojektowaną konstrukcją ochronną (kabinę) poddano weryfikacji wytrzymałościowej poprzez badania niszczące.



Rys.1. Ładowarka bocznie wysypująca ŁBT-1200M z zabudowaną konstrukcją ochronną operatora [3]

2. Normy i akty prawne dotyczące konstrukcji ochronnych operatora

Zadaniem konstrukcji ochronnej jest zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa operatorowi maszyny. Przed przystąpieniem do procesu projektowania takiej konstrukcji, istotne jest sprecyzowanie wymagań, jakie powinna ona spełniać.

Dyrektywy nowego podejścia oraz zharmonizowane z nimi normy, określają wymagania bezpieczeństwa konstrukcji ochronnych w zakresie projektowania i eksploatacji. W myśl ustawodawstwa definiuje się trzy podstawowe rodzaje konstrukcji ochronnych zabezpieczających operatora maszyny przed określonymi rodzajami zagrożeń. Pierwszym zagrożeniem, na jakie narażony jest operator maszyny, jest możliwość jej przewrócenia się podczas wykonywania czynności roboczych. Zakres ochrony operatora maszyny konstrukcją ochronną przed skutkami przewrócenia się maszyny (ROPS) przez wiele lat określany był normą europejską PN-EN 13510:2004 (Maszyny do robót ziemnych. Konstrukcje chroniące przy przewróceniu się maszyny. Wymagania i badania laboratoryjne) [6]. W normie tej zawarto zasady oceny obciążeń przenoszonych przez konstrukcję ochronną w przypadku przewrócenia się między innymi dla takich maszyn jak: spycharki, ładowarki gąsienicowe i kołowe, walce, czy wywrotki. Obecnie normę tę zastąpiono normą PN-EN ISO 3471:2009 [7] zharmonizowaną z Dyrektywą Maszynową.

Kolejnym zagrożeniem, na jakie narażony jest operator samojezdnej maszyny, jest możliwość uderzenia opadającymi przedmiotami. Wymagania stawiane konstrukcjom chroniącym operatora przed spadającymi przedmiotami (FOPS) zdefiniowano w normie europejskiej PN-EN ISO 13627:2002 (Maszyny do robót ziemnych. Konstrukcje chroniące przed spadającymi przedmiotami. Wymagania i badania laboratoryjne) [8], którą uaktualniono, podobnie jak w przypadku normy ROPS, w zharmonizowanej z Dyrektywą Maszynową normie PN-EN ISO 2449:2009. Według normy konstrukcja ochronna zabezpiecza operatora przed skutkami upadku z wysokości przedmiotów wówczas, gdy badania laboratoryjne potwierdzą przeniesienie przez kabinę energii nie mniejszej niż 11,6 kJ [9].

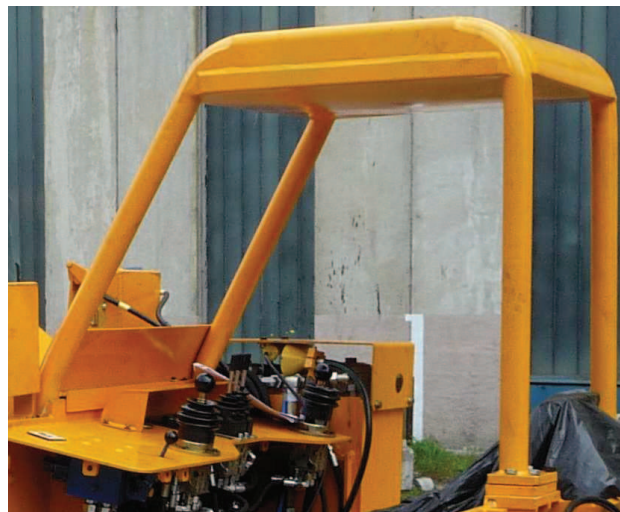
W polskim ustawodawstwie stosowana jest również Polska Norma PN-92/G-59001 (Samojezdne maszyny górnicze. Konstrukcje chroniące operatora przed obwałami skał. Wymagania i badania). Określa ona wymagania stawiane konstrukcjom chroniącym operatora przed zagrożeniami wynikającymi ze stropowych obwałów skalnych (RSPS). Procedura badawcza konstrukcji RSPS jest podobna jak w przypadku konstrukcji (FOPS) z tą różnicą, że energia, jaką musi pochłonąć konstrukcja ochronna nie może być mniejsza niż 60 kJ [10].

W przypadku koparek kompaktowych można wyszczególnić konstrukcje ochronne TOPS (Tip Over Protection Structure) [1].

Analizując normy i akty prawne precyzujące wymagania stawiane konstrukcjom ochronnym, należy wspomnieć o jeszcze jednej normie istotnej w procesie projektowania konstrukcji ochronnych operatora oraz prowadzenia badań weryfikujących ich wytrzymałość. Jest to norma PN-ISO 3164:2009 (Maszyny do robót ziemnych. Laboratoryjna ocena konstrukcji ochronnych operatora. Wymagania dotyczące przestrzeni chronionej), która wyznacza przestrzeń ochronną DLV, określającą granicę odkształceń konstrukcji ochronnej operatora, zarówno przed spadającymi przedmiotami, jak i podczas przewrócenia się maszyny [11].

3. Konstrukcja ochronna operatora ładowarki górniczej

Przystępując do projektowania konstrukcji ochronnej (kabiny) operatora ładowarki górniczej założono, że będzie ona chroniła operatora przed spadającymi przedmiotami oraz przypadkowymi obwałami skał ze stropu (FOPS).



Rys.2. Konstrukcja ochronna operatora (kabina) ładowarki ŁBT-1200M [3]

Wymaganiem był również łatwy montaż i demontaż kabiny, z uwagi na zapewnienie możliwości przejazdu maszyny przez niskie wyrobiska oraz mała masa własna.

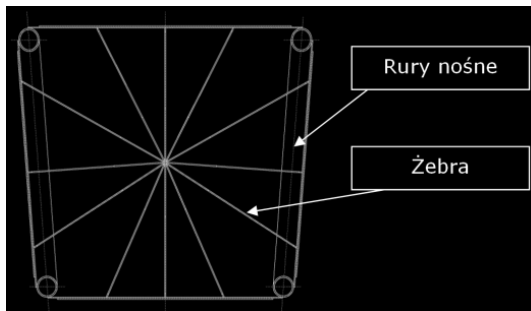
W wyniku prac analitycznych i projektowych opracowano model przestrzenny kabiny operatora składający się z rur nośnych, poszycia górnego, poszycia dolnego oraz uźebrowania umieszczonego pomiędzy nimi. W dolnej części rur nośnych umiejscowiono elementy służące do mocowania kabiny do konstrukcji ładowarki (rys. 3).

Z uwagi fakt, że kabina jest dodatkowym elementem wyposażenia ładowarki, powinna charakteryzować się zatem możliwie małą masą własną przy

jednoczesnym spełnieniu warunków wytrzymałościowych stawianych konstrukcjom FOPS. Warunek ten spełniono poprzez odpowiednie ukształtowanie poszycia kabiny. Pomiędzy poszyciem górnym i dolnym rozmieszczono promieniście ułożone, cienkościennie blachy, tworzące uźebrowanie nośne (rys. 4) o określonym kształcie.



Rys.3. Model przestrzenny kabiny operatora [1]



Rys.4. Uźebrowanie umieszczone pomiędzy poszyciem górnym i dolnym [1]

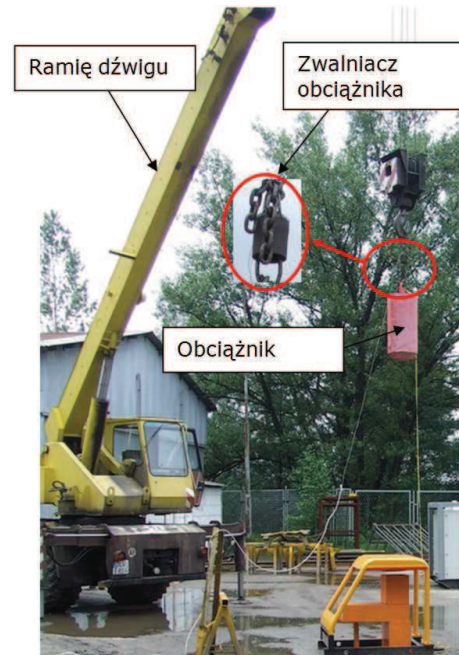
Prace projektowe oraz obliczenia numeryczne pozwoliły na opracowanie dokumentacji technicznej oraz wykonanie prototypu (modelu fizycznego) konstrukcji ochronnej operatora (rys. 5), którego producentem są Zakłady Mechaniczne BUMAR ŁABĘDY S.A.



Rys.5. Konstrukcja kabiny operatora przeznaczona do badań niszczących [1]

4. Badania niszczące konstrukcji ochronnej operatora

Wyprodukowaną w ZM BUMAR ŁABĘDY S.A. kabinę operatora, po zabudowaniu na ramie wsporczej, poddano badaniom niszczącym w celu weryfikacji wytrzymałościowej jej konstrukcji w zakresie wymagań FOPS. Badania niszczące przeprowadzono w firmie INOVA Centrum Innowacji Technicznych Sp. z o.o. na stanowisku badawczym, którego głównymi elementami były: dźwig, obciążnik oraz układ zwalniania obciążnika (rys. 6).



Rys.6. Stanowisko do badań niszczących konstrukcji ochronnych operatora [1]

Procedura badawcza wymagała wykonania szeregu czynności pozwalających na porównanie wyników badań obiektu przed i po zniszczeniu. W tym celu dokonano pomiarów charakterystycznych punktów konstrukcji kabiny oraz wyznaczono miejsce uderzenia obciążnika (rys. 7).



Rys. 7. Wyznaczanie miejsca uderzenia obciążnika [1]

Do badań użyto obciążnika o masie 520 kg, który po swobodnym spadku z wysokości 2,3 m nad powierzchnią poszycia górnego kabiny posiadał energię uderzenia równą 11,73 kJ, czyli nieznacznie wyższą niż wymaga tego norma (11,6 kJ).

Pod konstrukcją ochronną operatora umieszczono makietę przestrzeni DLV, która odwzorowywała przestrzeń zajmowaną przez operatora maszyny (rys. 8).



Rys. 8. Makietę przestrzeni DLV umieszczoną pod konstrukcją ochronną operatora [1]

Po zakończeniu czynności przygotowawczych nastąpiło odpalenie ładunku wybuchowego uruchamiającego mechanizm zwalniania obciążnika. Przebieg prowadzonych badań niszczących rejestrowano za pomocą kamery video. Obciążnik spadając swobodnie, uderzył w poszycie konstrukcji ochronnej w wyznaczone wcześniej miejsce z dokładnością do 20 mm, po czym odbił się i pozostał na poszyciu górnym (rys. 9).



Rys.9. Efekt uderzenia obciążnika w konstrukcję ochronną: a) wgniecenie poszycia górnego, b) obciążnik na poszyciu górnym [1]

W wyniku uderzenia odkształceniom uległo poszycie górne przedmiotowej konstrukcji ochronnej (rys. 10).

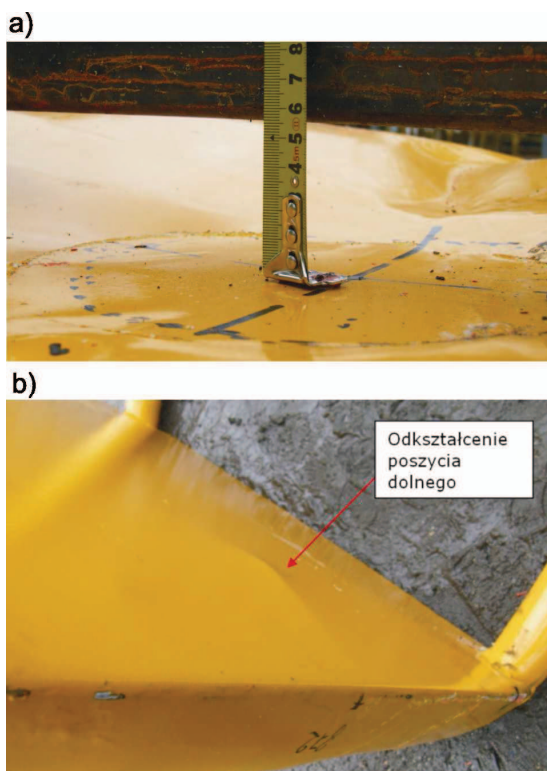
Analiza efektów uderzenia obciążnika wykazała, że wyznaczone przed zniszczeniem punkty charakterystyczne kabiny nie zmieniły swojego położenia. Elementy nośne konstrukcji ochronnej (rury) nie uległy

uszkodzeniu. Po bliższych oględzinach stwierdzono, że na poszyciu dolnym powstał ślad po jednym z żeber nośnych (rys. 11a).

Przeważającą większość obciążenia, pochodzącego od spadającego obciążnika, przejęło poszycie górne oraz uźebrowanie znajdujące się wewnątrz konstrukcji ochronnej. Dokonane pomiary wykazały, że największe odkształcenia poszycia górnego konstrukcji ochronnej znajdowały się w miejscu uderzenia obciążnika i wynosiły 56 mm (rys. 11b).



Rys.10. Odkształcenie poszycia górnego konstrukcji ochronnej [1]



Rys.11. Deformacja: a) poszycia górnego, b) poszycia dolnego konstrukcji ochronnej operatora [1]

Analiza nagrania video wykazała, że w wyniku uderzenia obciążnika żaden element konstrukcji ochronnej nie naruszył przestrzeni ochronnej DLV umieszczonej pod poszyciem dolnym. Przeprowadzone przez specjalistów z Centrum INOVA badania oraz analizy zniszczeń powstałych w wyniku badań niszczących były podstawą do wydania certyfikatu potwierdzającego spełnienie wymagań bezpieczeństwa konstrukcji ochronnej operatora ładowarki górniczej w zakresie FOPS.

5. Podsumowanie

Konstrukcje ochronne maszyn górniczych, budowlanych, rolniczych itp. pełnią istotną funkcję zapewnienia operatorom odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa biernego.

W celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa operatorów maszyn górniczych, producenci coraz częściej wyposażają je w konstrukcje ochronne, które zabezpieczają przed skutkami przewrócenia się oraz uderzenia przez opadające przedmioty, w tym obwały skał stropowych.

Samojezdne maszyny górnicze (SMG), wykorzystywane w technologii drażenia wyrobisk chodnikowych techniką strzelniczą, zgodnie z wymaganiami Dyrektywy Maszynowej, powinny umożliwiać montaż konstrukcji ochronnej. Większość producentów maszyn górniczych standardowo zabudowuje już konstrukcje ochronne operatora.

W ITG KOMAG projektując konstrukcje ochronne operatora dla maszyn górniczych, doskonalone są metody ich weryfikacji wytrzymałościowej. Obecnie dzięki nowoczesnemu oprogramowaniu inżynierskiemu badania niszczące opracowanych konstrukcji ochronnych można ograniczyć do niezbędnego minimum. Proces projektowania weryfikowany na bieżąco obliczeniami numerycznymi, pozwala na obniżenie kosztów procedury certyfikacji i dopuszczenia do pracy w podziemnych wyrobiskach górniczych konstrukcji ochronnych operatora. Takie podejście umożliwiło pozytywną weryfikację wytrzymałościową przedstawionej konstrukcji ochronnej operatora na drodze badań niszczących [15, 16].

Przeprowadzone badania niszczące konstrukcji ochronnej wykazały, że przeważająca część energii uderzenia została przejęta przez poszycie górne i dolne oraz umieszczone pomiędzy nimi uźebrowanie. Zaproponowane cechy konstrukcyjne umożliwiły spełnienie wymagań stawianym konstrukcjom ochronnym zakresie FOPS.

Pozytywne wyniki badań niszczących konstrukcji ochronnej operatora ładowarki górniczej opracowanej w ITG KOMAG skutkowały wdrożeniem w kopalniach węgla kamiennego.

Literatura

1. Dokumentacja fotograficzna ITG KOMAG.
2. Dokumentacja techniczna nr W19.042.01 kabiny operatora.
3. Kalita M., Prostański D.: Mechanizacja robót w kamiennych wyrobiskach górniczych. KOMTECH 2011, Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2011 s. 17-28.
4. Kalita M., Prostański D., Wyrobek E.: Konstrukcje ochronne operatora przodkowych maszyn górniczych. Konferencja „Innowacyjne i Bezpieczne Systemy Mechanizacyjne do Eksploatacji Surowców Mineralnych” Zakopane 14-16.11.2006, Tom II, s. 27-36.
5. Karliński J., Rusiński E., Derlukiewicz D.: Numeryczna symulacja crash-testu konstrukcji ochronnych w maszynach górniczych, Przegląd Mechaniczny nr 4/2007, str. 20-26.
6. Norma PN-EN 13510:2004 Maszyny do robót ziemnych. Konstrukcje chroniące przy przewróceniu się maszyny. Wymagania i badania laboratoryjne.
7. Norma PN-EN ISO 3471:2009 Maszyny do robót ziemnych. Konstrukcje chroniące przy przewróceniu się maszyny – Badania laboratoryjne i wymagania techniczne.
8. Norma PN-EN ISO 134627:2002 Maszyny do robót ziemnych. Konstrukcje chroniące przed spadającymi przedmiotami. Wymagania i badania laboratoryjne.
9. Norma PN-EN ISO 3449:2009 Maszyny do robót ziemnych. Konstrukcje chroniące przed spadającymi przedmiotami. Wymagania i badania laboratoryjne.
10. Norma PN-92/G-59001 Samojezdne maszyny górnicze. Konstrukcje chroniące operatora przed obwałami skał. Wymagania i badania.
11. Norma PN-ISO 3164:2009 Maszyny do robót ziemnych. Laboratoryjna ocena konstrukcji ochronnych operatora. Wymagania dotyczące przestrzeni chronionej.
12. Rusiński E., Karliński J.: Wybrane zagadnienia z numerycznych symulacji zniszczenia kabin ochronnych maszyn górniczych, Transport Przemysłowy nr 4(14)/2003, str. 31-35.
13. Rusiński E., Smolnicki T., Karliński J.: Badania symulacyjne bezpieczeństwa kabin ochronnych maszyn górniczych, Przegląd Mechaniczny nr 15/1998, str. 20-25.
14. Tokarczyk J.: Obliczenia dynamiczne MES konstrukcji chroniącej operatora (FOPS), prace nie publikowane KOMAG 2006.

-
15. Winkler T., Bojara S., Tokarczyk J.: Use of reverse engineering method in verification of virtual prototypes. *CAMES-Computer Assisted Mechanics and Engineering Science Journal*, Vol. 15 (2008) nr 1 s. 67-78.
 16. Winkler T., Tokarczyk J.: Tworzenie wirtualnych prototypów maszyn górniczych. *Prace Naukowe*

Monografie CMG KOMAG nr 23, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2007 s. 1-106.

Artykuł wpłynął do redakcji w marcu 2013 r.