

Modelowanie konstrukcji osłony ratowniczej indywidualnej

Streszczenie

W niniejszej publikacji przedstawiono symulację komputerową crash-testów osłon ratowniczych, opracowanych w ITG KOMAG, służących do zabezpieczenia ratownika znajdującego się w przodku tunelu ratowniczego. Przedstawiono przykład doboru parametrów konstrukcyjnych osłony ratowniczej indywidualnej ze względu na kryterium minimalizacji masy, przy równoczesnym spełnieniu wymagań dyrektywy FOPS.

Summary

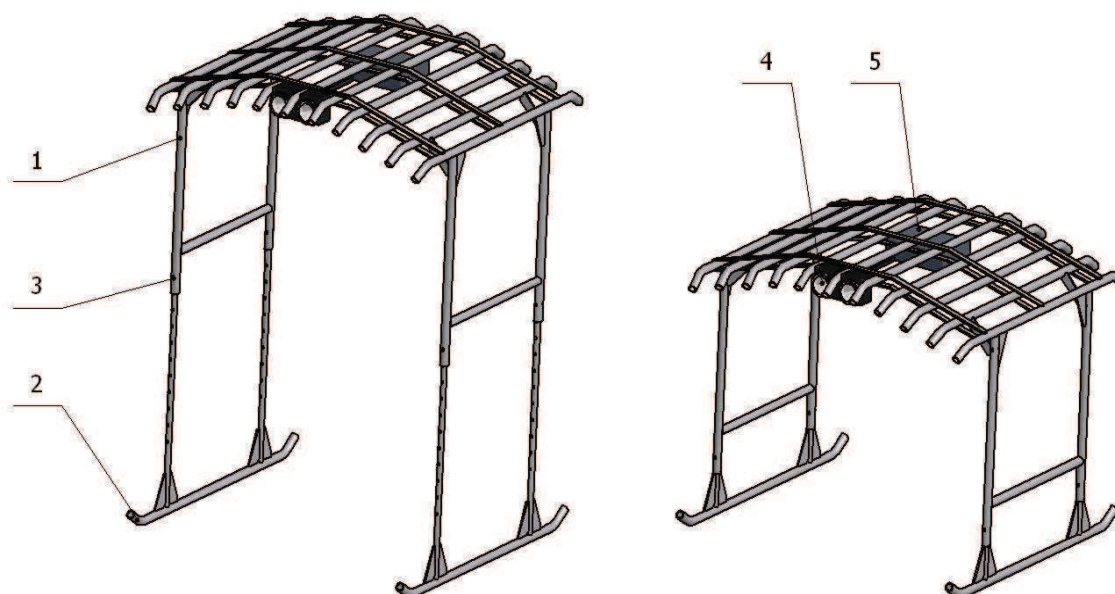
Computer simulation of crash tests of rescue shield supports, developed in KOMAG to protect rescuers, which are working in the rescue tunnel face, are presented in the paper. Examples of selecting the design parameters of individual rescue support to minimise its weight with meeting the requirements of FOPS directive, are given.

1. Wprowadzenie

W przypadku wystąpienia katastrofy górniczej bezpieczeństwo pracy załóg górniczych w dużej mierze uzależnione jest od szybkiej i sprawnej akcji ratowniczej. W wyniku zaistniałego zdarzenia losowego, wyrobisko może zostać wypełnione zniszczonymi elementami obudowy, sprzętu oraz często rozdrobnionym węglem lub odłamkami skał na określonej długości. W zagruzowanym wyrobisku często zostają uwięzieni ludzie. Dotarcie do zagrożonej załogi wymaga wykonania w zawale wyrobiska ratowniczego, którego kształt i kierunek jest zmienny i dostosowany do bieżących potrzeb oraz warunków występujących w wyrobisku, np. przeszkód trudnych do

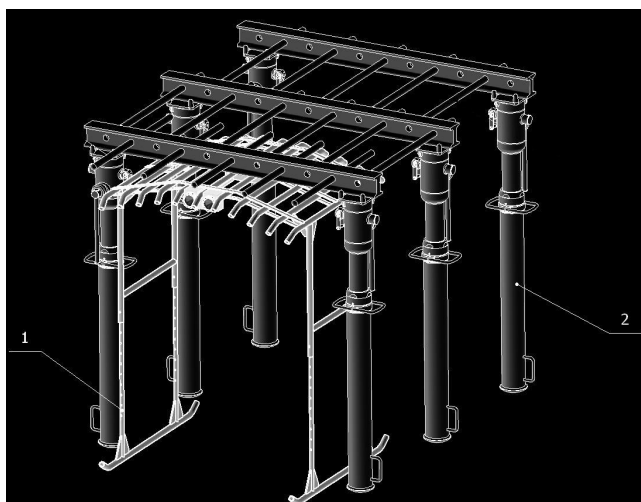
usunięcia, i zabezpieczenia go taką obudową, aby ratownikom oraz osobom poszkodowanym zapewnić możliwie największe bezpieczeństwo [1, 6]. Obudowa prowadzona bez kontaktu z rumowiskiem otaczającym wyrobisko może być narażona na obciążenie dynamiczne wywołane uderzeniem opadających skał. Z kolei drażnienie tunelu w skałach silnie rozdrobnionych powoduje, że rumosz skalny przedostaje się do przedziału roboczego.

Analiza konstrukcji obudów ratowniczych stosowanych w polskim górnictwie węgla kamiennego, przedstawiona szczegółowo w pracy [3], dowodzi, że dotychczas nie zostały w pełni rozwiązane, między innymi, problemy zabezpieczenia ratownika znajdującego się w przodku tunelu ratowniczego.



Rys.1. Schemat osłony ratowniczej indywidualnej, rozsuniętej na maksymalną i minimalną wysokość [3]

W związku z powyższym w ITG KOMAG opracowano koncepcję osłony ratowniczej indywidualnej, przeznaczonej przede wszystkim do zabezpieczenia ratownika pracującego w przodku zgruzowanego wyrobiska. Osłona ratownicza indywidualna, przedstawiona schematycznie na rysunku 1, składa się z: daszka (1) i pólz (2), połączonych ze sobą sworzniami (3) – dzięki czemu istnieje możliwość regulacji wysokości osłony. Dodatkowo, osłona może być wyposażona w lampę (4) oraz akumulator (5). Konstrukcja osłony pozwala na przejęcie obciążenia dynamicznego, spowodowanego np. spadającymi odłamkami skał oraz elementami zniszczonej obudowy wyrobiska. Oprócz podstawowego zastosowania - ochrony ratownika pracującego bezpośrednio w przodku – indywidualna osłona ratownicza może być wykorzystana jako dodatkowe zabezpieczenie odcinka chodnika, szczególnie narażonego na obciążenia dynamiczne, np. zlokalizowanego pod pustkami. Przykładowy schemat obudowy ratowniczej (2), wyposażonej w omawianą osłonę ratowniczą (1) przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. Schemat obudowy ratowniczej wyposażonej w osłony [3]

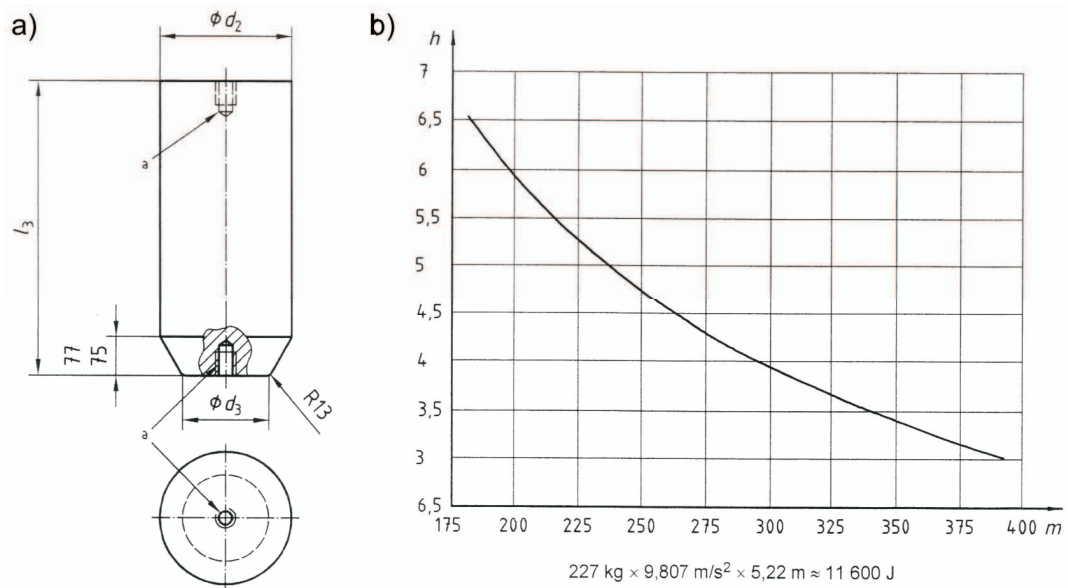
Osłona ratownicza indywidualna pełni rolę dodatkowego wzmocnienia przestrzeni stropowej zabezpieczonej obudową ratowniczą, prowadzoną w zagruzowanym wyrobisku. W związku z powyższym konstrukcja osłony powinna spełniać wymagania w zakresie konstrukcji ochronnych FOPS (ang. Falling-Object Protective Structures). W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych – crash-testów osłon ratowniczych, które wykorzystano w procesie doboru parametrów konstrukcyjnych, wpływających na sztywność i stateczność, z uwagi na kryterium minimalizacji masy. Badania modelowe przeprowadzono z wykorzystaniem metody elementów skończonych.

2. Obliczenia numeryczne

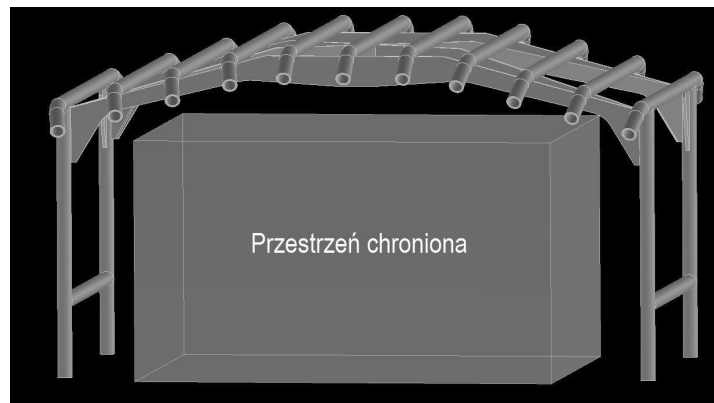
Konstrukcje ochronne muszą spełniać wymagania bezpieczeństwa zgodnie z zapisami normy PN-EN ISO 3449:2009 (oryginał) *Maszyny do robót ziemnych. Konstrukcje chroniące przed spadającymi przedmiotami. Wymagania i badania laboratoryjne* [7]. W normie tej określono wytyczne prowadzenia prób stanowiskowych dla konstrukcji ochronnych, które podczas badań poddawane są działaniu obciążenia dynamicznego, w postaci swobodnie spadającego obciążnika. Masę obciążnika i wysokość spadku swobodnego dobiera się w zależności od warunków pracy i spodziewanej, wielkości obciążenia dynamicznego, działającego na badany obiekt. Konstrukcję indywidualnej osłony ratowniczej zaszeregowano do drugiej grupy konstrukcji ochronnych, zabezpieczających przed uderzeniem spadających dużych obiektów. Zgodnie z normą [7] podczas badań stanowiskowych na osłonę ratowniczą powinien spaść obciążnik, który w momencie uderzenia będzie miał energię kinetyczną wynoszącą 11,6 kJ. Standardowy laboratoryjny obciążnik badawczy, przedstawiony na rysunku 3a, ma kształt walca, a jego masa wynosi 227 kg. Podczas badań zrzucający jest on z wysokości 5,22 m. Wysokości spadku obciążnika wyznacza się z krzywej wymaganej energii kinetycznej podczas uderzenia, przedstawionej na rysunku 3b.

We wnętrzu obrysu konstrukcji ochronnej wydzielono przestrzeń chronioną, do której podczas zdarzenia nie powinna wnikać żadna część osłony ratowniczej. Kształt i położenie przestrzeni chronionej zależą od pozycji, jaką zajmuje górnik podczas pracy w tunelu ratowniczym. W przypadku przodka chodnika ratowniczego strop zabezpieczany jest obudową wyprzedzającą, której oparcie stanowią odrzwia obudowy i gruzowisko. Zastosowanie osłony indywidualnej zwiększa zatem bezpieczeństwo stanowiskowe w przestrzeni oznaczonej na rysunku 4 kolorem czerwonym. Założono, że w skutek dynamicznego obciążenia wartość strzałki ugięcia, mierzona od dolnej zewnętrznej krawędzi konstrukcji osłony, nie może być większa niż 70 mm.

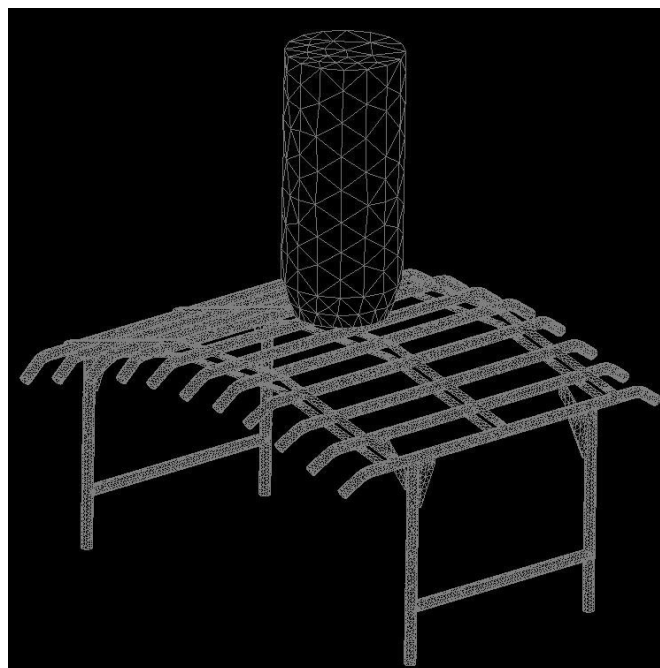
Celem sprawdzenia konstrukcji osłony ratowniczej indywidualnej zgodnie z wymaganiami w zakresie konstrukcji ochronnych FOPS, przeprowadzono badania modelowe – crash-testy – z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Wymagania zawarte w normie [7] dotyczą badań stanowiskowych obiektów rzeczywistych. Jednakże zaawansowane metody komputerowe umożliwiają przeprowadzenie symulacji uderzenia konstrukcji ochronnej jeszcze na etapie konstruowania i zweryfikowanie poprawności przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych.



Rys.3. Parametry charakteryzujące badania stanowiskowe: a) standardowy obciążnik laboratoryjny ($d_2 = 255\text{-}260 \text{ mm}$, $d_3 = 203\text{-}204 \text{ mm}$, $l_3 = 584 \text{ mm}$), b) krzywa wymaganej energii kinetycznej uderzenia [7]



Rys.4. Osłona ratownicza indywidualna z oznaczoną przestrzenią chronioną [4]



Rys.5. Modele obliczeniowe: osłony ratowniczej i standardowego obciążnika [4]

Budowa zadania numerycznego wymaga od konstruktora zdefiniowania w sposób ścisły, a szczególnie w przypadku analizy obciążenia dynamicznego, warunków przeprowadzenia analizy, gdyż dane wejściowe mają istotny wpływ na ocenę wyężenia konstrukcji oraz sposób jej deformacji pod zadaniem obciążeniem zewnętrznym. Dotyczy to zarówno dokładności odwzorowania geometrii modelu, ustalenia warunków brzegowych, jakie są nałożone na model, jak i parametrów materiałowych przyjętych przy jego budowie [2, 5]. Szczegółowe informacje dotyczące budowy zadania numerycznego przedstawiono w pracy [4]. Przykładowe modele dyskretne osłony ratowniczej indywidualnej wraz ze standardowym obciążnikiem badawczym przedstawiono na rysunku 5.

Jednorodnym elementem skończonym, z których utworzono modele dyskretne, przypisano model materiału sprężysto-plastycznego oraz zdefiniowano kontakt pomiędzy współpracującymi powierzchniami. Charakter obciążenia uderowego zależy w istotny sposób zarówno od energii poruszającego się ciała o określonej masie, jak również od prędkości z jaką uderza ono w badaną konstrukcję. W analizowanym zadaniu numerycznym zastosowano obciążenie zewnętrzne, w postaci uderu masy poruszającej się z prędkością początkową, obliczoną zgodnie z zależnością:

$$v_o = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (1)$$

gdzie:

- g – przyspieszenie ziemskie [m/s²],
- h – wysokość spadku obciążnika [m].

Celem skrócenia czasu obliczeń, model obciążnika umieszczono na wysokości 0,06 m nad modelem osłony ratowniczej i zdefiniowano jego prędkość początkową, wynoszącą 10,06 [m/s], co odpowiada prędkości jaką osiągnąłby bijak spadając swobodnie z wysokości 5,22 m.

Końcowym etapem przygotowania zadania numerycznego jest wygenerowanie pliku wejściowego, zawierającego informację o geometrii, rozpatrywanym przypadku obciążenia zewnętrznego, warunkach brzegowych oraz parametry analizy (czas trwania analizy, startowy i minimalny krok czasowy, specyfikacja zbiorów wyników jakie chce się otrzymać). W następnym kroku realizowane są obliczenia numeryczne. Czas wykonywania obliczeń numerycznych zależy nie tylko od przyjętych parametrów analizy, lecz również od rozmiarów zadania numerycznego, na które istotnie wpływają: liczba stopni swobody oraz wymiar najmniejszego elementu skończonego. Wielkości te, a zwłaszcza wymiary najmniejszego elementu, są ściśle związane z uproszczeniami zastosowanymi w modelu osłony.

Ze względu na konieczność przeanalizowania istotnie różnych postaci geometrycznych i konstrukcyjnych opracowano 10 modeli przestrzennych osłon indywidualnych. Wyniki obliczeń numerycznych, w postaci maksymalnych wartości strzałki ugięcia górnej części osłony ratowniczej oraz masy analizowanych modeli, zestawiono w tabeli 1.

Zestawienie wyników obliczeń numerycznych przeprowadzonych na modelach osłony ratowniczej indywidualnej [4]

Tabela 1

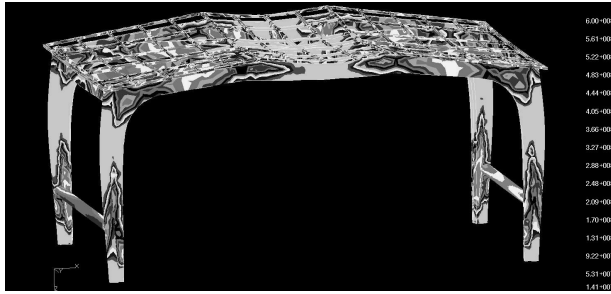
model	strzałka ugięcia [mm]	masa konstrukcji [kg]
1	254,0	30,30
2	229,0	29,36
3	198,0	30,40
4	85,3	39,30
5	73,8	44,20
6	42,5	56,50
7	104,0	34,56
8	75,5	36,28
9	65,4	40,45
10	93,7	30,05

Najmniejszą wartość strzałki ugięcia uzyskano w modelu nr 6. Uwzględniając jednak kryterium minimalizacji masy konstrukcji stwierdzono, że optymalną postać konstrukcyjną ma model nr 9, przedstawiony na rysunku 6.

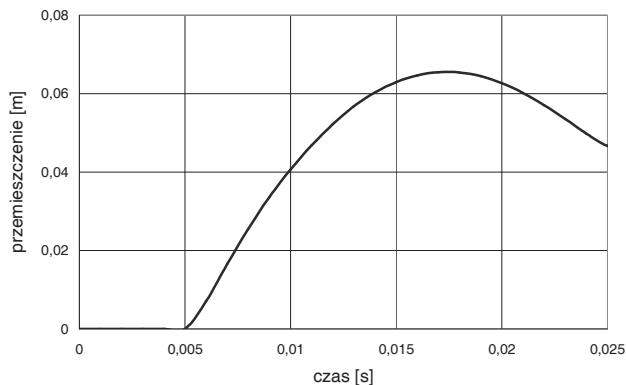


Rys.6. Model geometryczny analizowanej konstrukcji osłony ratowniczej indywidualnej – model 9 [4]

Na rysunku 7 zamieszczono mapę naprężenia zredukowanego, naniesioną na odkształconą postać analizowanego modelu 9 osłony ratowniczej indywidualnej. Przebieg czasowy przemieszczenia górnej części modelu osłony przedstawiono na rysunku 8.



Rys.7. Mapa naprężenia zredukowanego w osłonie ratowniczej indywidualnej – model 9 [4]



Rys.8. Przebieg czasowy przemieszczenia górnej części osłony – model 9 [4]

Celem sprawdzenia czy są spełnione wymagania normy [7] należy przeprowadzić badania stanowiskowe. Szczegółowe wyniki symulacji komputerowych wszystkich rozpatrywanych modeli osłon ratowniczych indywidualnych przedstawiono w pracy [4].

3. Podsumowanie

Zastosowanie osłony ratowniczej, której koncepcje przedstawiono w niniejszej publikacji, może w znacznym stopniu wpłynąć na zwiększenie bezpieczeństwa pracy ratowników górniczych, zarówno przy budowie jak i późniejszym użytkowaniu tunelu.

Indywidualna osłona ratownicza przedstawiona na rysunku 1 służy głównie do ochrony ratownika pracującego bezpośrednio w przodku tunelu ratowniczego prosto osiowego lub o niewielkim promieniu krzywizny. Może ono również stanowić dodatkowe zabezpieczenie odcinków chodnika szczególnie narażonych na obciążenie dynamiczne. Ze względu na wymiary gabarytowe opracowanej konstrukcji istnieje możliwość stosowania osłony niezależnie od rodzaju obudowy chodnika ratowniczego.

W artykule przedstawiono przykład wykorzystania obliczeń numerycznych w procesie projektowania. Dzięki symulacjom komputerowym możliwe jest zredukowanie kosztów badań stanowiskowych

i opracowanie konstrukcji spełniającej założone wymagania.

Analizując wyniki obliczeń numerycznych stwierdzono, że korzystną, w aspekcie spełnienia wymagań dyrektywy FOPS oraz kryterium minimalizacji masy, postać konstrukcyjną ma model nr 9. Konstrukcja ta przeniosła zadane obciążenie dynamiczne, a powstałe odkształcenia (sprężyste i plastyczne) nie naruszyły założonej przestrzeni chronionej.

Przedstawione wyniki symulacji komputerowych należy traktować jako jakościowy opis zachowania analizowanych konstrukcji osłon pod wpływem działania obciążenia udarowego, gdyż w chwili obecnej nie ma możliwości przeprowadzenia badań stanowiskowych niezbędnych do doświadczalnego zweryfikowania utworzonych modeli dyskretnych.

Literatura

1. Ćwięk B.: Ryzyko w ratownictwie górniczym. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 1998 nr 5 s. 30-35.
2. Karliński J., Rusiński E., Derlukiewicz D.: Numeryczna symulacja crash-testu konstrukcji ochronnych w maszynach górniczych. Przegląd Mechaniczny 2007, nr 4, s. 20-26.
3. Mazurek K.: Poprawa bezpieczeństwa stanowiskowego w tunelu ratowniczym. Opracowanie koncepcji urządzenia zabezpieczającego przestrzeń pracy ratownika górniczego. ITG KOMAG. Gliwice 2010 (materiały nie publikowane).
4. Mazurek K.: Poprawa bezpieczeństwa stanowiskowego w tunelu ratowniczym. Numeryczne symulacje crash-testów osłon ratowniczych. ITG KOMAG. Gliwice 2011. (materiały nie publikowane).
5. Mazurek K., Szyguła M.: Wpływ stopnia dyskretyzacji modelu stojaka na czas obliczeń i otrzymane wyniki. Maszyny Górnicze 2011 nr 2 s. 3-6.
6. Nowak A., Pacześniowski K.: Obudowy chodników ratowniczych stosowane w polskim górnictwie. W: Nowoczesne metody i środki utrzymania wyrobisk górniczych, Konferencja naukowo-szkoleniowa, Ustroń, 1-2 czerwca 2006 r. Pr. Nauk. GIG, Konferencja 2006 nr 51 s. 120-128.
7. Norma PN-EN ISO 3449:2009 Maszyny do robót ziemnych. Konstrukcje chroniące przed spadającymi przedmiotami. Wymagania i badania laboratoryjne.

Artykuł wpłynął do redakcji w sierpniu 2013 r.