

Przegląd inspekcyjnych robotów górniczych

W artykule zaprezentowano rozwiązania konstrukcyjne mobilnych robotów stosowanych w światowym górnictwie. Przeglądu dokonano na podstawie dostępnych opracowań naukowych i doniesień medialnych. Celem artykułu jest przedstawienie parametrów istniejących robotów górniczych, które wykorzystane zostaną przy projektowaniu mobilnej platformy inspekcyjnej tworzonej w ramach Programu Badań Stosowanych, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

1. WSTĘP

Mobilna platforma inspekcyjna MPI opracowywana jest w ramach projektu pt. „Badanie i studium wykonalności modelu mobilnej platformy inspekcyjnej kategorii M1 z napędami elektrycznymi do stref zagrożonych wybuchem”. Projekt realizowany jest przez konsorcjum złożone z Instytutu Technik Innowacyjnych EMAG (występującego jako lider) oraz z Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP. Podstawową funkcją MPI jest możliwość dokonywania pomiarów parametrów fizykochemicznych atmosfery kopalnianej w strefach zagrożonych wybuchem w sposób ciągły lub na żądanie, a następnie transmitowanie wyników pomiarowych do konsoli operatora, gdzie będą archiwizowane. Ponadto kamery działające w zakresie pasma widzialnego i podczerwonego umożliwią określenie stanu wyrobiska. Zastosowanie mobilnej platformy inspekcyjnej zminimalizuje konieczność wysyłania zastępu ratowników do strefy niebezpiecznej oraz umożliwi podjęcie szybszej i trafniejszej decyzji o dalszych czynnościach związanych z zagrożonym rejonem. Aby MPI mogła być eksploatowana w strefach zagrożonych wybuchem, jej projektowanie odbywa się według wytycznych dyrektywy ATEX 94/9/WE, a także zgodnie z wymaganiami dyrektyw maszynowych MD 2006/42/WE i EMC 2004/108/WE oraz norm z nimi zharmonizowanych. Wiąże się to z przeprowadzeniem badań z wykorzystaniem stanowisk ba-

dawczych oraz opracowaniem kompleksowego studium wykonalności. W pracy [21] opisano szczegółowo funkcjonalność i koncepcje rozwiązań technicznych poszczególnych podzespołów MPI, natomiast w artykule [11] omówiono metodę wyznaczania parametrów elektromechanicznych głównych napędów MPI. W dalszej części niniejszego artykułu przedstawiono przegląd górniczych robotów inspekcyjnych.

2. SEWER ROBOT – PENGUIN AUTOMATED SYSTEMS (KANADA)

Po zasypaniu 33 górników w Chile w sierpniu 2010 r. media [3] donosiły o rosnącym zapotrzebowaniu tamtejszego przemysłu górniczego na roboty mobilne. Na rys. 1. przedstawiono robota opracowanego w Kanadzie w ośrodku rozwojowym Penguin Automated Systems. Z przedstawionego widoku robota wynika, że ciężar korpusu rozłożony jest na cztery koła po każdej stronie, które pracują na wahaczach w parach. Na stronie internetowej ośrodka [7] przedstawiono filmy z testów jezdnych. Widać na nich, że roboty tego typu przemieszczają się bardzo wolno i że zastosowane w nich resorowanie kół umożliwia im pokonywanie takich przeszkód, jak tory kolejowe.

Wartość kontraktu zakupu przez chilijską kompanię CODELCO zaprezentowanego robota szacuje się na 3 miliony dolarów.



Rys. 1. Widok robota z Penguin Automated Systems [3]

3. ROBOT DO PENETRACJI RUROCIĄGÓW – WATER CORPORATION (AUSTRALIA)

Robot do inspekcji rurociągów znajduje się w ofercie Water Corporation z Australii. Został on wysłany na misję ratunkową do Nowej Zelandii, gdzie w kopalni węgla w Pike River w listopadzie 2010 r. uwięzionych zostało 29 górników [9]. Niestety, jak media doniosły, uległ on uszkodzeniu. Na rys. 2. przedstawiono robota w dwóch konfiguracjach. Jest to urządzenie posiadające cztery główne koła oponowe i jedno koło pomocnicze umieszczone z tyłu. Robot jest zdalnie sterowany, wyposażony w kamery, oświetlenie i sprzęt do badań atmosfery. Transmisja odbywa się włóknem światłowodowym, a zasięg robota wynosi 6 km. Z przedstawionych zdjęć można wywnioskować, że szeroki rozstaw osi kół, odsłaniający nisko zawieszona podwozie, będzie mało skuteczny przy pokonywaniu przeszkód typu progi, ponieważ pojazd może zawie-

sić się na podwoziu między przednią a tylną osią. Korpus robota z przodu i z tyłu ma duże skosy, co z kolei ułatwi mu torowanie drogi wśród przeszkód.

4. NUMBAT – COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION (AUSTRALIA)

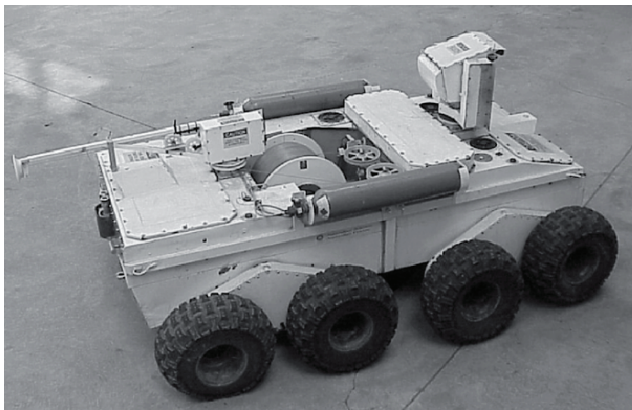
NUMBAT („Mrówkożer Workowaty”) został opracowany w latach 90. jako górniczy robot rozpoznawczy (rys. 3) [2, 18]. Poniżej zestawiono podstawowe informacje techniczne dotyczące urządzenia:

- 4 kamery monochromatyczne działające w świetle widzialnym i opcjonalnie w podczerwieni,
- 8 kół oponowych (na każdą stronę robota przypada silnik o mocy 750 W napędzający koła),
- przednia i tylna oś zawieszona na niezależnych mostach,
- czas działania 5-8 godzin,
- 40 akumulatorów Ni-Cd, 140 Ah,
- prędkość 2 km/godz.,
- korpus uszczelniony wypełniony azotem z nadciśnieniem,
- wymiary 2,5×1,65 m,
- komunikacja poprzez światłowód, bęben z nawijarką/rozwijarką umieszczony na środku robota,
- pomiar CO, CO₂, O₂, H₂, prędkości przepływu powietrza, ciśnienia, temperatury,
- butle z gazami wzorcowymi na pojeździe, co umożliwia okresową kalibrację czujników,
- głośniki i mikrofon do kontaktu z poszkodowanymi.

Jak wynika z informacji przedstawionej na stronie internetowej [5], poszukiwano przedsiębiorcy zainteresowanego wdrożeniem do produkcji prototypu robota NUMBAT.



Rys. 2. Widok robota do inspekcji rurociągów z Water Corporation [9]



Rys. 3. Numbat [2, 18]

5. GROUNDHOG – CARNEGIE MELLON UNIVERSITY ROBOT RESEARCH CENTER (USA)

Na rys. 4. przedstawiono widok robota Groundhog („Świstak”), który charakteryzuje się następującymi parametrami [4, 20]:

- napęd na 4 koła,
- napęd hydrauliczny z pompy umieszczonej na pojeździe,
- prędkość 0,15 m/s,
- zapotrzebowanie mocy w trakcie jazdy 1 kW,
- zapotrzebowanie mocy na pomiar i przetwarzanie < 100 W,
- 8 akumulatorów kwasowo-ołowiowych w wyposażeniu,
- zasięg 3 km,
- skaner laserowy w wyposażeniu.

Na stronie internetowej [4] zamieszczono filmy z testów jezdnych robota, z których wynika, że urządzenie porusza się bardzo wolno.



Rys. 4. Groundhog [4]

6. REMOTEC WOLVERINE V-2 – MINE SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION OF AMERICA (USA)

Remotec Wolverine V-2, zaprezentowany na rys. 5., jest eksploatowany przez MSHA. Urządzenie zostało użyte w kilku akcjach ratowniczych, których szczegóły przedstawiono w publikacjach [16, 17]. Niestety nie udało się odszukać w zasobach internetowych żadnych filmów potwierdzających skuteczność tego robota. Producentem jest firma Remotec, Inc. Oak Ridge, TN. Koszt zakupu sięga 265 tys. dolarów. Wysokość robota wynosi 127 cm, a waga – 544 kg. Napędzany jest silnikami w wykonaniu przeciwybuchowym, posiada kamery z oświetleniem, czujniki atmosfery (do pomiaru stężeń gazów toksycznych i wybuchowych). Posiada zdolność widzenia w nocy i głosową komunikację w dwóch kierunkach oraz ramię manipulatora. Zasięg robota wynosi ok. 1500 metrów. Komunikacja odbywa się poprzez światłowód [6].



Rys. 5. Remotec Wolverine V-2 [16]

7. GEMINI-SCOUT MINE RESCUE ROBOT – SANDIA NATIONAL LABORATORIES (USA)

Na rys. 6. przedstawiono kolejnego robota z USA z Sandia National Laboratories – urządzenie o nazwie GEMINI-SCOUT Mine Rescue Robot. Przekonujące dowody świadczące o znakomitych możliwościach ruchowych tego robota zaprezentowano w filmie zamieszczonym na stronie internetowej [10].



Rys. 6. GEMINI-Scout
– Ratowniczy Robot Górniczy [8]

Robot składa się z dwóch wózków napędzanych gąsienicami. Jest w stanie przejechać przez przeszkodę wodną o głębokości 45 cm oraz pokonywać

schody. Zastosowano w nim komunikację radiową, co stawia pod znakiem zapytania zasięg robota w krętych wyrobiskach kopalni. Wyposażenie urządzenia umieszczono w obudowach ognioszczelnych. Robot umożliwia komunikację głosową pomiędzy sztabem akcji a poszkodowanymi. Ponadto może dokonywać pomiarów stężeń tlenu, tlenku węgla i metanu [8].

8. CMU-1, LURKER-1 I LURKER-3 (CHINY)

W publikacjach przedstawiono również kilka robotów chińskiej konstrukcji, między innymi CMU-1, opracowany w China University of Mining and Technology, a także LURKER-1 i LURKER-3, opracowane przez Robotics Research Centre of Shandong University [1, 19, 22, 23].

Niestety autorzy przywołanych artykułów skupiają się przede wszystkim na opisie kinematyki urządzeń, a nie przedstawiają dowodów na zabezpieczenia przeciwwybuchowe, które umożliwiają zastosowanie robotów w przemyśle wydobywczym węgla kamiennego.

9. GÓRNICZY MOBILNY ROBOT INSPEKCYJNY GMRI – INSTYTUTY EMAG I PIAP (POLSKA)

Górnicy mobilny robot inspekcyjny GMRI (rys. 7), opracowany przez instytuty EMAG i PIAP, był od samego początku projektowany z myślą o tym,



Rys. 7. Górnicy mobilny robot inspekcyjny GMRI na Międzynarodowych Targach Górniczo-Przemysłu Energetycznego i Hutniczego „Katowice 2011” (opracowanie własne)

Tabela 1.

Podstawowe parametry techniczne robota GMRI ” (opracowanie własne)

Cecha	Ex I M1
Zasilanie pneumatyczne	200 bar
Zasilanie elektryczne stacji operatora	36-250 VAC
Temperatura pracy	0-60°C
Masa pojazdu	ok. 200 kg
Zakresy pomiarowe:	
Metan	0-100%
Tlenek węgla	0-1000 ppm
Tlen	0-25%
Temperatura	0-60°C
Wilgotność	0-100%

żeby spełnić kategorię M1. Uzyskano to poprzez zastosowanie napędu pneumatycznego na sprężony azot oraz ograniczenie prędkości elementów ruchomych. Azot po rozprężeniu schładza wnętrze siłowników, co stanowi dodatkowe zabezpieczenie przed nagraniem się elementów trących. Układy elektroniczne robota GMRI zostały zaprojektowane w kategorii „ia” iskrobezpieczeństwa zgodnie z normą PN-EN 60079-11. GMRI został opisany w licznych publikacjach polsko- i angielskojęzycznych, m.in. w [12-15].

Prototyp robota wraz z dokumentacją techniczną został poddany badaniom oraz analizie w niezależnej jednostce notyfikowanej w zakresie dyrektywy ATEX i uzyskał kategorię M1. Ponadto pomyślnie przeszedł badania na kompatybilność elektromagnetyczną w akredytowanym Laboratorium Badań Kompatybilności Elektromagnetycznej w Instytucie EMAG. W tabeli 1. przedstawiono jego najważniejsze parametry.

10. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Duża liczba rozwiązań w zakresie górniczych robotów inspekcyjnych świadczy o zapotrzebowaniu światowego przemysłu górniczego na roboty mobilne wspomagające akcje ratownicze. Niestety ich pełne dane techniczne często są trudne do uzyskania. Czasami istnieją tylko doniesienia medialne na ich temat, natomiast brakuje poświęconych im opracowań naukowych w formie ogólnie dostępnych artykułów.

Roboty wymienione powyżej – oprócz GMRI – wyposażone są w silniki elektryczne. W świetle polskiego i europejskiego prawodawstwa oraz norm zharmonizowanych z dyrektywą 94/9/EC (ATEX) urządzenie może w sposób ciągły pracować w atmosferze wybuchowej metanu i/lub pyłu węglowego, jeśli jest zbudowane zgodnie z kategorią M1 według

PN-EN 50303. Urządzenie posiada kategorię M1, jeśli jest zabezpieczone dwoma niezależnymi zabezpieczeniami przeciwwybuchowymi lub jest iskrobezpieczne kategorii „ia”. W tym kontekście roboty napędzane silnikami elektrycznymi, aby mogły być ciągle eksploatowane w atmosferach wybuchowych kopalń węgla, powinny posiadać podwójne zabezpieczenia. Zastosowanie tylko budowy ognioszczelnej kwalifikuje urządzenie do kategorii M2, co oznacza, że należy je wyłączyć po wykryciu niebezpiecznego stężenia metanu.

W części przytoczonej literatury brak jest pełnych informacji o zabezpieczeniach przeciwwybuchowych w robotach, a w niektórych przypadkach autorzy przyznają, że ich konstrukcje nie zawierają jeszcze właściwych zabezpieczeń przeciwwybuchowych [19]. Mimo to w przypadku mobilnej platformy inspekcyjnej zastosowanie silników elektrycznych w porównaniu do pneumatycznych wydaje się mieć lepsze perspektywy – umożliwi stworzenie efektywniejszego napędu zdolnego do pokonywania bardziej wymagających przeszkód terenowych.

Jaka jest przyszłość robotów? Przewiduje się, że już w niebawem roboty będą tak popularnym sprzętem, jak obecnie telefon komórkowy czy komputer. Obecnie cały świat prowadzi badania w tym kierunku, np. amerykańska agencja kosmiczna NASA pracuje obecnie nad „robonautą” – humanoidem zdolnym do wykonywania niebezpiecznych zadań w kosmosie. Nie inaczej jest w dziedzinie górnictwa. Ludzie coraz częściej zamiast podejmować ryzyko i pracować w szkodliwych dla zdrowia warunkach wykorzystują do tego celu roboty. Obecne roboty przypominają swoją inteligencją najwyżej owady, jednak już na obecnym poziomie wiedzy możemy nauczyć je wykonywania pewnych czynności, przydatnych w danej dziedzinie czy środowisku. Niektóre urządzenia mogą nawet samodzielnie się uczyć, ale należy pamiętać, iż powstałe w przyszłości roboty będą na tyle mądre, na ile mądry będzie człowiek,

który je skonstruuje. Trudno powiedzieć, co jeszcze będą umiały roboty, ale jedno jest pewne – zdolność wykonywania trudnych operacji pod ziemią to zaleta, którą należy rozwijać i wykorzystać podczas prac podziemnych.

Projekt finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Badań Stosowanych, realizowany przez konsorcjum naukowe: Instytut Technik Innowacyjnych EMAG oraz Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP. Nr umowy: PBS1/A2/12/2012; czas realizacji: I XI 2012 – 31 VIII 2015.



Literatura

1. Gao J. et al.: *Coal mine detect and rescue robot technique research*, IEEE Int. Conf. on Information and Automation, 2009, pp.1068-1073.
2. Hainsworth D. W.: *Teleoperation user interfaces for mining robotics*. "Autonomous Robots", 2011, no. 11, pp.19-28.
3. <http://www.cbc.ca/news/canada/sudbury/story/2011/10/25/sby-mining-robot.html>.
4. <http://www.cs.cmu.edu/~3D/mines/groundhog/web/indexall.html>.
5. <http://www.csiro.au/>.
6. <http://www.msha.gov/SagoMine/robotdetails.asp>.
7. <http://www.penguinasi.com/watch>.
8. <http://www.sandia.gov>.
9. <http://www.watoday.com.au/wa-news/wa-robot-called-in-to-help-nz-mine-rescue-20101123-184vo.html>.
10. http://www.youtube.com/watch?v=gLjwfUhl_1w.
11. Kasprzyczak L., Dzikowski A., Nowak D.: *Wyznaczenie parametrów elektromechanicznych głównych napędów mobilnej platformy inspekcyjnej*. „Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa”, 2013, nr 7, s. 30-36.
12. Kasprzyczak L., Nowak D., Szwejkowski P. i in.: *Czujniki parametrów atmosfery kopalnianej mobilnego robota inspekcyjnego (Sensors for measurement mining atmosphere parameters of mobile inspective robot)*. „Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa”, 2009, nr 12, s.19-30.
13. Kasprzyczak L., Trenczek S., Cader M.: *Pneumatic Robot for Monitoring Hazardous Environments of Coal Mines*. Solid State Phenomena, Mechatronic Systems and Materials IV, 2013, p.120-125.
14. Kasprzyczak L., Trenczek S., Cader M.: *Robot for monitoring hazardous environments as a mechatronic product*. "Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems (JAMRIS)", 2012, vol. 6, no. 4, pp. 57-64.
15. Kasprzyczak L., Trenczek S.: *Mobile inspection robot made in the M1 category for monitoring explosive environments of coal mines*, Proceedings of 22nd World Mining Congress & Expo, vol. 3, Istanbul 2011, pp.457-462.
16. Murphy R., Kravitz J. et al.: *Mobile robots in mine rescue and recovery*. "IEEE Robotics & Automation Magazine", 2009, pp. 91-103.
17. Murphy R., Kravitz J.: *Preliminary report: Rescue robot at Crandall Canyon, Utah, mine disaster*, IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, Pasadena, 2008, pp.19-23.
18. Ralston J. C., Hainsworth D. et al.: *Recent advances in remote coal mining machine sensing, guidance and teleoperation*. "Robotica", 2001, no. 19, pp.513-526.
19. Rongb X. et al.: *Mechanism and explosion-proof design for a coal mine detection robot*. "Advanced in Control Engineering and Information Science", 2011, no. 5, pp.100-104.
20. Thruny S., Hähnel D. et al.: *A System for Volumetric Robotic Mapping of Abandoned Mines*, Proc. of ICRA-2003.
21. Trenczek S., Kasprzyczak L., Nowak D., Szwejkowski P.: *Założenia funkcjonalne i koncepcje rozwiązań technicznych Mobilnej Platformy Inspekcyjnej*, Materiały konferencyjne EMTECH 2013 Zasilanie, informatyka techniczna i automatyka w przemyśle wydobywczym „Innowacyjność i bezpieczeństwo”, Zakopane, 20-22 maja 2013.
22. Wang W. et al.: *Kinematics Analysis for Obstacle-climbing Performance of a Rescue Robot*, IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, 2007, pp.1612-1617.
23. Yunwang Li et al.: *Explosion-proof design for coal mine rescue robots*. "Advanced Materials Research", 2011, pp. 1194-1198.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.