

# Bezpieczeństwo użytkowania bezzałogowych maszyn roboczych

Andrzej Typiak, Rafał Typiak

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn,  
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

**Streszczenie:** Rozwój zautomatyzowanych systemów maszyn w kierunku pracy autonomicznej przebiega szybko, w różnych sektorach przemysłu. W pracy przedstawiono aktualną sytuację w przepisach normalizujących i wspierających rozwój maszyn roboczych w obszarze budownictwa. Dokonano przeglądu istniejących norm ISO i IEC oraz elementów pracy związanych z maszynami autonomicznymi, a także działań w międzynarodowych grupach branżowych dotyczących automatyzacji i autonomii maszyn. Zidentyfikowano trzy różne podejścia do koncepcji bezpieczeństwa dla różnych warunków pracy. W artykule skupiono się także na problematyce komunikacji pokładowej maszyny. Analizując różne systemy i podstawowe wymagania, pojawia się kilka możliwości optymalizacji przy połączeniu różnych źródeł danych. Wykazano, że połączenie różnych systemów na poziomie maszyny, a także połączenie między maszynami będzie miało duży wpływ zarówno na wydajność poszczególnych systemów jak i samej maszyny.

**Słowa kluczowe:** bezzałogowe maszyny robocze, bezpieczeństwo systemu, eksploatacja

## 1. Wprowadzenie

Biorąc pod uwagę rosnącą liczbę czujników i źródeł informacji w różnych rodzajach maszyn roboczych, a także rosnącą liczbę źródeł danych na typowym placu budowy, możliwości analizy nigdy nie były tak duże jak obecnie [10, 12]. Wykorzystując rosnące możliwości obliczeniowe i przetwarzania komputera pokładowego standardowej maszyny, coraz większa liczba zbieranych danych wykorzystywana jest do optymalizacji podsystemów maszyn pod kątem wstępnie zdefiniowanych funkcji roboczych. Informacje z czujników były dotychczas wykorzystywane w podsystemach maszyn jako dane wejściowe w pętli sterowania, a także jako źródło informacji dla operatora [9, 11]. Wciąż istnieje jednak duży potencjał wykorzystania tych informacji do optymalizacji mechanizmów działania syste-

	Poziom wg SAE	Nazwa	Kierowanie, przyspieszanie, hamowanie	Monitoring środowiska jazdy	Aktywność w awaryjnych sytuacjach	Możliwości systemu (tryby jazdy)
Człowiek monitoruje otoczenie	0	<b>Bez automatyzacji</b> ciągła działalność człowieka, w każdym aspekcie prowadzenia pojazdu, nawet jeśli jest wspierana przez systemy ostrzegające lub interweniujące				n/a
	1	<b>Wsparcie kierowcy</b> wykonywanie przez system wspierający kierującego czynności, takiej jak: kierowanie albo przyspieszanie/zwalnianie, z użyciem informacji o środowisku jazdy, z założeniem że kluczowe decyzje związane z pozostałymi czynnościami podejmuje człowiek.				Niektóre tryby jazdy
	2	<b>Częściowa automatyzacja</b> wykonywanie przez system wspierający kierującego przynajmniej jednej (lub więcej) czynności w zakresie kierowania oraz przyspieszania/zwalniania, z użyciem informacji o środowisku jazdy, z założeniem że kluczowe decyzje związane z pozostałymi czynnościami podejmuje człowiek.				Niektóre tryby jazdy
Pojazd monitoruje otoczenie	3	<b>Warunkowa automatyzacja</b> wykonywanie przez system zautomatyzowanego kierowania pojazdem wszystkich czynności związanych z kierowaniem, z założeniem że człowiek zareaguje w zależności od konieczności.				Niektóre tryby jazdy
	4	<b>Wysoka automatyzacja</b> wykonywanie przez system zautomatyzowanego kierowania pojazdem wszystkich czynności związanych z kierowaniem, nawet jeśli brak jest adekwatnej reakcji ze strony człowieka.				Niektóre tryby jazdy
	5	<b>Całkowita automatyzacja</b> wykonywanie przez system zautomatyzowanego kierowania pojazdem wszystkich czynności związanych z kierowaniem, niezależnie od warunków drogowych/środowiskowych, z opcją nadzoru ze strony człowieka.				Wszystkie tryby jazdy

Tabela 1. Poziomy automatyzacji jazdy dla pojazdów drogowych [7]

Table 1. Driving automation levels for road vehicles [7]

mów maszyn i ich wydajności, wraz ze zwiększoną możliwością współdzielenia danych podłączonych do systemu pokładowego.

Występujące w maszynach różne poziomy automatyzacji wymagają indywidualnej obsługi i transmisji danych do systemu, maszyny czy procesu. Norma SAE J3016 definiuje poziomy opisujące i rozróżniające etapy automatyzacji (tab. 1) [7]. Poziomy automatyzacji są zdefiniowane dla pojazdów, ale można je, w sposób analogiczny, zastosować do pojazdów terenowych i maszyn roboczych.

**Autor korespondujący:**

Andrzej Typiak, andrzej.typiak@wat.edu.pl

**Artykuł recenzowany**

nadesłany 10.01.2022 r., przyjęty do druku 08.03.2022 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0



dotyczące bezpiecznego użytkowania w określonych środowiskach funkcjonalnych podczas cyklu życia maszyny i systemu.

Standardowe podejście do oceny ryzyka przesuwa się w kierunku koncepcji bezpieczeństwa systemu z indywidualnych koncepcji bezpieczeństwa maszyn. Zawiera ona wytyczne, w jaki sposób należy oceniać zagrożenia bezpieczeństwa i jak należy definiować wymagania bezpieczeństwa systemu w autonomicznych systemach maszynowych. Podejście to kładzie nacisk na ryzyko związane z rzeczywistymi koncepcjami operacyjnymi i rzeczywistym środowiskiem operacyjnym w zakładzie oraz niepewności związane z funkcjami i technologiami związanymi z bezpieczeństwem.

### 3. Proces automatyzacji maszyn

W bieżącej normalizacji zidentyfikowano trzy podejścia do opracowania koncepcji bezpieczeństwa dla maszyn autonomicznych.

Pierwsze podejście dotyczy koncepcji, w których maszyna posiada system czujników, a system bezpieczeństwa jest zainstalowany na maszynie. Dzięki temu niewydzielone obszary robocze dla ludzi, maszyn i maszyn autonomicznych mogą pracować na tym samym obszarze. Koncepcje te są ograniczone do zastosowań wewnętrznych, ponieważ potrzebne są tylko systemy czujników nadaje się do użytku w pomieszczeniach.

Drugie podejście ma na celu oddzielenie i odizolowanie autonomicznie działających maszyn oraz kontrolę dostępu do obszaru roboczego i monitorowanie innych pojazdów lub osób w autonomicznym obszarze operacyjnym. To podejście jest przeznaczone dla maszyn pracujących w intensywnym środowisku zewnętrznym.

Trzecie polega na monitorowaniu przez operatora. W tym przypadku koncepcje mogą obejmować pewne rozwiązania czujnikowe do wykrywania niebezpiecznych sytuacji. W przypadku wykrycia problematycznej sytuacji operację można zatrzymać, a sterowanie zostaje przekazane operatorowi lokalnemu lub zdalnemu. Podejście to w dużej mierze zależy od zdolności operatora do zrozumienia sytuacji i prawidłowego reagowania. Jest ono odpowiednie dla środowisk pracy, w których występuje niewielka aktywność i małe prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznej sytuacji oraz gdzie jest wystarczająco dużo czasu, aby zaalarmować operatora i przekazać odpowiedzialność.

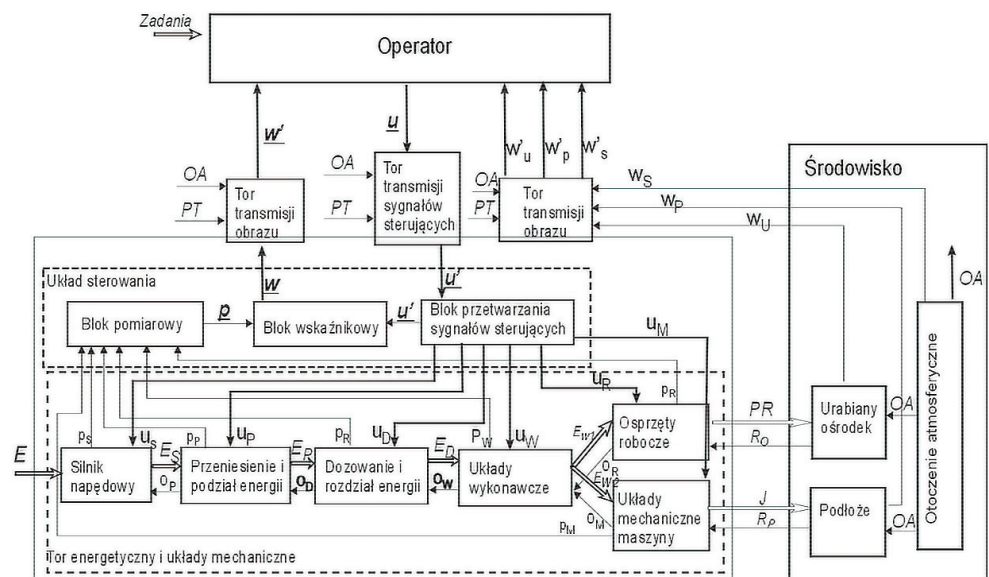
#### 3.1. Automatyzacja systemu

Analizując maszynę jako działający system różnych współpracujących ze sobą elementów i podsystemów, magistrała komunikacyjna jest rdzeniem całego systemu i pełni kluczowe funkcje dla wykonania danego zadania roboczego, oraz zachowania niezbędnych podstawowych funkcji maszyny. Podczas pracy maszyny generowane są dane w celu kontrolowania komponentów, a następnie całej maszyny. Komunikacja i automatyzacja niskiego poziomu lub sterowanie komponentami to pierwszy krok do automatyzacji złożonych funkcji i zadań. Dzięki połączeniu różnych źródeł danych oraz podstawowych

parametrów maszyny można generować dodatkowe informacje i wykorzystywać je jako dane wejściowe do pętli sterowania (rys. 3).

Przedstawiony model można zastosować do wielu podsystemów i komponentów w podobny sposób. Kluczem do zastosowania takich struktur sterujących jest dostępność wiarygodnych informacji o stanie oraz danych dostarczanych przez odpowiednie urządzenia pomiarowe. Połączenie między różnymi elementami systemu musi być trwałe i stabilne. Aby móc sterować odpowiednią funkcją w skuteczny i bezpieczny sposób, przesyłanie danych np. od urządzeń pomiarowych do układu sterowania musi być zapewnione przez cały czas pracy. Awaria komunikacji bezpośrednio doprowadzi do awarii całego systemu.

Głównym celem automatyzacji systemu w dzisiejszych maszynach jest zmniejszenie obciążenia umysłowego operatora i zwiększenie wydajności systemu roboczego [9, 11]. Z tego powodu wymagania na podsystem i jego automatyzacja różnią się od w pełni autonomicznego rozwiązania. System niskiego poziomu może służyć do tworzenia funkcji asystenta operatora, a także



Rys. 3. Uproszczony model struktury sterowania bezzałogową maszyną roboczą [11]

Fig. 3. A simplified model of the control structure of an unmanned working machine [11]

automatycznych funkcji uruchamiania maszyny. Tak zwana kontrola wysokiego poziomu będzie nadal wykonywana przez człowieka. Fakt ten należy uwzględnić przy opracowywaniu zautomatyzowanych systemów i funkcji. Wymagane jest, aby interfejsy i komunikacja były dostosowane do płynnej i wydajnej interakcji z operatorem [9, 11].

Teoretycznie można założyć, że sumowanie wszystkich różnych systemów pomocniczych, funkcji zautomatyzowanych i funkcji półautonomicznych da w rezultacie w pełni autonomiczną maszynę. Jednak, ze względu na fakt, że wszystkie te systemy zostały zaprojektowane do współpracy z człowiekiem, założenie teoretyczne nie jest do końca słuszne. Podstawowym wymogiem dla tych zmian jest dostępność człowieka-operatora. W związku z powyższym automatyzacja systemu niekoniecznie prowadzi do w pełni autonomicznej maszyny.

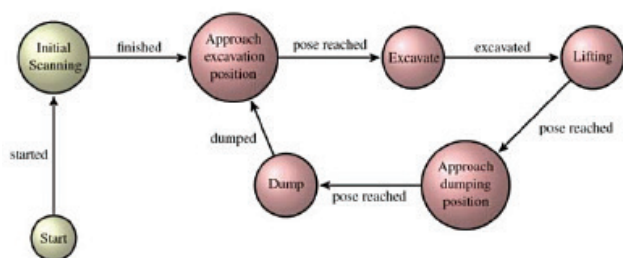
#### 3.2. Automatyzacja maszyn

Kolejnym istotnym etapem w automatyzacji maszyn jest całościowe spojrzenie na system. To uwidacznia, że maszyna składa się z wielu, czasem niezależnych, układów i funkcji. Do planowania i koordynowania pracy autonomicznej maszyny wymagany jest system sterowania wysokiego poziomu. System ten zastępuje człowieka-operatora i dba o kontrolę i strukturę kie-

rowania na wysokim poziomie. Przedstawiono to np. tworząc system sterowania wysokiego poziomu dla modułu planowania trajektorii autonomicznej koparki [8].

Niskopoziomowa warstwa kontroli komponentów w sposób ciągły wykonuje polecenia z modułu planowania. Jednocześnie należy wykonać kilka innych zadań. Aby zapewnić bezpieczną pracę, moduł bezpieczeństwa musi stale monitorować otoczenie, aby móc wykrywać obiekty i obliczać możliwe kolizje dla planowanych trajektorii. Można założyć, że wyniki różnych modułów przekazywane są kolejnym, aby zapewnić bezpieczną i stabilną pracę autonomicznej maszyny.

Do automatyzacji wymagana jest odpowiednia szyna komunikacyjna, aby móc obsługiwać krytyczne funkcje w stabilny i wydajny sposób. Z uwagi na fakt, że człowiek-operator nie będzie ostatnią warstwą sterowania na maszynie tego typu, należy zapewnić wzajemne połączenia między podsystemami i funkcjami. Bazując na konfiguracji systemu sterowania, połączenie i komunikacja będą się różnić od połączeń na niższym poziomie. System planowania wysokiego poziomu niekoniecznie



Rys. 4 Główne etapy realizowane podczas cyklu roboczego koparki [8]  
Fig. 4 The main stages during the working cycle of the excavator [8]

wymaga ciągłego strumienia danych i podłączonych komponentów niskiego poziomu. Prosta informacja zwrotna o stanie może wystarczyć do zaplanowania następnego kroku. Aby zapewnić bezpieczne i niezawodne działanie, wymagana jest pewna redundancja lub wykrywanie błędów. Równolegle system bezpieczeństwa mógłby wymagać ciągłego przepływu informacji z czujników percepcji, a także z warstwy kontroli niskiego poziomu w celu oceny potencjalnego ryzyka i sytuacji krytycznych.

Te różne wymagania należy uwzględnić w fazie projektowania systemu. W związku z tym łączność systemu autonomicznego będzie się różnić od tradycyjnego podejścia kontroli niskiego poziomu. Można przypuszczać, że zwiększone zapotrzebowanie na przepustowość danych do obliczeń bezpieczeństwa przekroczy możliwości obecnych pokładowych sieci komunikacyjnych stosowanych w sprzęcie budowlanym. Znanych jest kilka podejść i rozwiązań, które rozwiązują te wyzwania. Aby spełnić wymagania systemów bezpieczeństwa, można zastosować bardziej wydajny protokół komunikacyjny, taki jak standard Ethernet w pojeździe. Stabilność i wytrzymałość takich systemów musi być zoptymalizowana w kierunku konkretnego zastosowania. W przeciwieństwie do tego, systemy rozproszone mogą być kolejnym rozwiązaniem, które pozwoli zająć się funkcjami bezpieczeństwa, jednocześnie zmniejszając potrzebę pełnej transmisji surowych danych. Systemy wbudowane mogą wstępnie przetwarzać dane w miejscu ich generowania i przysyłać wyniki w oparciu o harmonogramy priorytetów.

Wszystkie zautomatyzowane systemy mają wspólną cechę, którą jest wydajna i stabilna warstwa komunikacyjna. Bieżące połączenie źródła informacji na maszynie otwiera również nowe możliwości w zakresie wykrywania stanu maszyny. Każdy z podsystemów maszyny można traktować jako źródło posiadające informacje, które mogą posłużyć do analizy realizowanego procesu. W ujęciu podsystemu, te informacje mogą mieć formę niemierzalną w ujęciu tego procesu. Jeżeli natomiast spojrzeć się na podsystemy maszyny w ujęciu globalnym – tzn. potraktuje się je

jako jedno wielkie źródło informacji, wtedy dzięki zastosowaniu odpowiednich algorytmów i modeli, możliwe staje się wydobycie użytecznych danych procesowych.

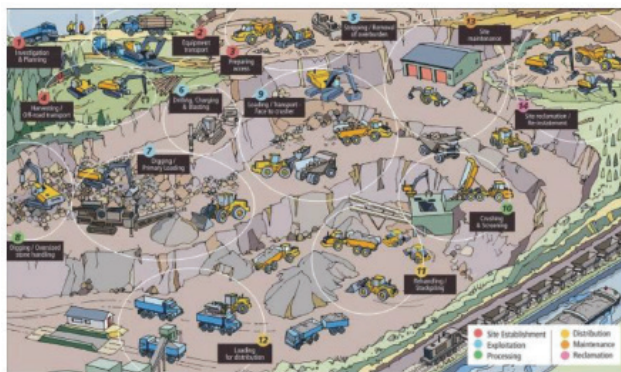
### 3.3. Automatyzacja procesów

Opisane procesy automatyzacji obejmowały tylko jedną maszynę wykonującą określone zadanie robocze. Typowe maszyny robocze będą musiały współpracować z innymi rodzajami sprzętu, infrastrukturą lub pracownikami.

Na tym poziomie automatyzacji współpraca maszyn jest kontrolowana przez system wysokiego poziomu, który gromadzi wszystkie informacje dotyczące maszyny/pojazdu i środowiska. Informacje zostaną następnie wykorzystane do wygenerowania trajektorii bezkolizyjnych, które zostaną przekazane każdej pojedynczej współdziałającej maszynie, podczas gdy kontrola niskiego poziomu pozostaje w gestii pojazdu/maszyny. Komunikacja między maszynami a wysokopoziomową warstwą sterowania ma kluczowe znaczenie dla działania całego systemu.

W przypadku maszyn załadunkowych i ciągnikowych należy dokładniej zbadać poziom interakcji. Stosowane w pojazdach autonomicznych komunikacja pojazd-pojazd i komunikacja pojazd-system zarządzający wymagają rozszerzenia o dodatkowe warstwy do planowania zadań i dystrybucji danych. W przypadku maszyn roboczych należy wziąć pod uwagę różne konfiguracje:

1. Interakcja między systemami autonomicznymi a ludźmi;
2. Interakcja między systemem autonomicznym a sprzętem obsługiwany przez operatora;
3. Interakcja między systemami autonomicznymi a infrastrukturą;
4. Interakcja pomiędzy systemami autonomicznymi.

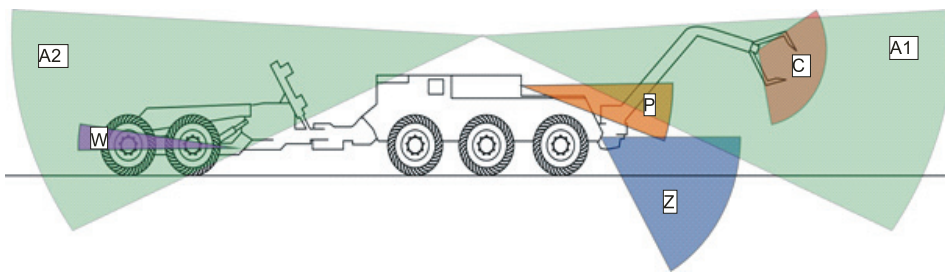


Rys. 5. Schemat kopalni kruszywa z załogowymi maszynami roboczymi [13]  
Fig. 5. Diagram of the aggregate mine with manned working machines [13]

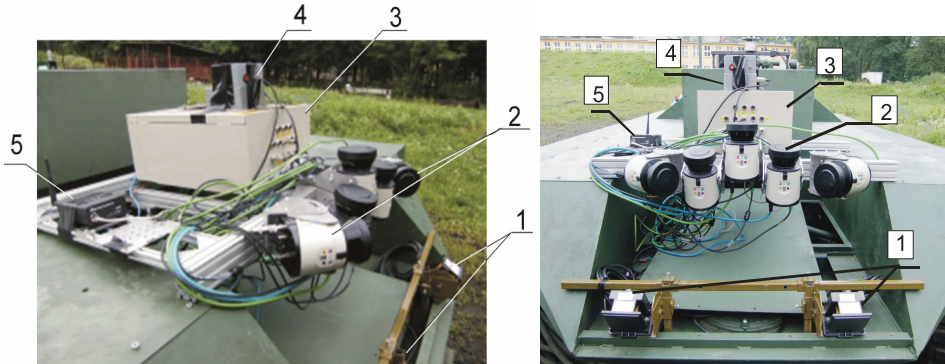
Na rys. 5 przedstawiono zadania robocze w kopalni kruszywa. Oczywiście jest, że współpraca i interakcja różnych typów maszyn ma kluczowe znaczenie dla procesu produkcyjnego. Schemat można wykorzystać do grupowania różnych zadań zgodnie z podaną konfiguracją w celu opracowania odpowiednich rozwiązań półautonomicznych lub autonomicznych. Choć wymagania dotyczące komunikacji pozostają takie same dla różnych konfiguracji, należy dostosować ich wykonanie i przygotowanie danych dla poszczególnych grup zadań.

### 4. Wymagania dotyczące wydajności dla systemów percepcji

Głównym wyzwaniem przy opracowywaniu autonomicznych maszyn mobilnych były i są wymagania dotyczące systemów



Rys. 6. Obszary obserwowane przez system wizyjny BMR: A1 – kamery panoramiczne zwrócone do przodu, A2 – kamery panoramiczne zwrócone do tyłu, C – kamera chwytaka, P – kamera w przestrzeni ładunkowej, Z – kamera w zderzaku przednim, W – kamera do obserwacji osprzętu ładunkowego  
Fig. 6. Areas monitored by the BMR vision system: A1 – front-facing panoramic cameras, A2 – rear-facing panoramic cameras, C – gripper camera, P – cargo space camera, Z – front bumper camera, W – front bumper camera, observation of the loading equipment



Rys. 7. Badawczy układ budowy mapy otoczenia zainstalowany na BMR: a) widok z boku, b) widok z przodu: 1 – radarowe czujniki prędkości; 2 – skanery laserowe; 3 – komputer pokładowy; 4 – czujniki przyspieszeń i rotacji; 5 – nadajnik łącza radiowego  
Fig. 7. Research system for building a map of the environment installed on the BMR: a) side view, b) front view: 1 – radar speed sensors; 2 – laser scanners; 3 – on-board computer; 4 – acceleration and rotation sensors; 5 – radio link transmitter

czujników do wykrywania ludzi. Ponieważ główne zagrożenia związane z autonomicznymi mobilnymi maszynami roboczymi są związane ze zderzeniem maszyny z człowiekiem, spowodowanym ruchem maszyny, narzędzia lub ładunku, krytyczna jest zatem zdolność do identyfikacji ludzi. Obecnie dostępne czujniki mają stosunkowo niską zdolność wykrywania człowieka w dynamicznym środowisku. W większości przypadków przyczyną kolizji są różne zdarzenia środowiskowe. Ponadto czujniki posiadają pewne ograniczenia, po przekroczeniu których przestają działać z wymaganym poziomem dokładności. Niestety granice te często nie są jasne, ale zdolność czujnika pogarsza się stopniowo wraz z pogarszaniem się warunków.

Ponieważ ruchoma maszyna robocza jest ciężka, kolizja z nią stwarza ryzyko poważnych obrażeń ciała i śmierci, co prowadzi do zaostrzenia wymagań środowiskowych dla części układu sterowania związanych z bezpieczeństwem. Zmienne warunki panujące w otoczeniu maszyny są głównym źródłem awarii czujników. Obecnie nie ma standardowych definicji warunków zewnętrznych. Wymagania dotyczące działania czujników mogą obejmować działanie we mgle, ale bez określenia rodzaju mgły. Gęstość mgły i wielkość kropli są ważnymi parametrami, a także warunki oświetlenia otoczenia w mglistym środowisku.

Sposób rozmieszczenia kamer na Bezzałogowej Maszynie Roboczej (BMR) ma istotny wpływ na osiągnięcie efektywności pracy porównywalnej ze sterowaniem bezpośrednio przez operatora będącego na pokładzie. Dlatego też w ramach prac badawczych określono obszary obserwacji kamer systemu wizyjnego badanej maszyny bezzałogowej, z których obraz wpłynie znacząco na jakość realizacji zadania roboczego. Obszary obserwacji przedstawiono na rys. 6 [11].

Do obserwacji otoczenia przed maszyną, służą kamery panoramiczne umieszczone na wysokości 50 cm nad maszyną (A1). W przypadku jazdy do tyłu, kamery obracane są

o 180°. Kamery panoramiczne mają dwa ustalone położenia (do jazdy na wprost i do tyłu). Zapewnia to dobrą orientację w terenie i nie powoduje błędnej oceny kierunku jazdy.

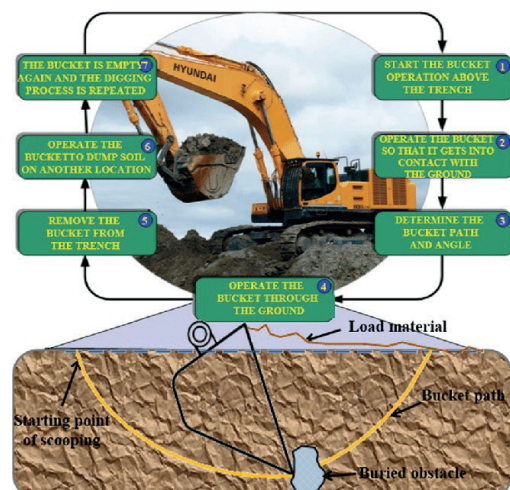
W celu zwiększenia możliwości obserwacji otoczenia w różnych warunkach oświetlenia system sterowania może być wyposażony w podsystem obserwacji otoczenia z wykorzystaniem układów skanowania laserowego. Na rysunku 7 przedstawiono doświadczalny układ skanowania terenu. Układ został zainstalowany na testowanej BMR.

Fuzja danych z czujników wydaje się dobrym rozwiązaniem w trudnych warunkach, ponieważ pozwala ona na wykorzystanie mocnych cech każdego z nich, przy jednoczesnej minimalizacji ich ograniczeń, za pomocą algorytmów zaimplementowanych w podsystemie.

Dlatego należy przeanalizować możliwość budowy podsystemu percepcyjnego, umożliwiającego: – wykonywanie przez maszynę zadań przy nieokreślonych ramach czasowych;

- przestrzenne zobrazowanie położenia w czasie rzeczywistym;
- lokalizowanie maszyny w terenie zurbanizowanym;
- działanie maszyny w nierozpoznanym lub częściowo rozpoznanym terenie;
- lokalizację w złych warunkach atmosferycznych, przy wykorzystaniu części stosowanych czujników (redundancja systemu);
- pewne działanie systemu, niezależne od pracy pozostałych układów maszyny.

Na rys. 8 przedstawiono diagram blokowy tworzenia mapy otoczenia z wykorzystaniem danych ze skanerów laserowych oraz czujników: prędkości, przyspieszeń i orientacji maszyny [11].



Rys. 8. Schemat układu wyznaczania mapy otoczenia maszyny na podstawie agregacji informacji [11]

Fig. 8. Scheme of the system for determining the map of the machine environment based on the aggregation of information [11]

W celu wykorzystania danych z pomiarów wybranej płaszczyzny w przestrzeni do wyznaczania położenia i kierunku maszyny, należy porównać je z danymi z poprzedniego pomiaru. W tym celu zastosowano metodę przypisywania cech (dopasowywania), która tworzy powiązanie między płaszczyznami zarejestrowanymi podczas kolejnych pomiarów.

Podejście do stanu bezpiecznego w autonomicznych pojazdach drogowych oznacza coś innego niż w przypadku pojazdów i maszyn nieporuszające się po drogach. Pojazdy na drodze powinny jak najdłużej zachowywać sterowność, pozostając w ruchu, aby uniemożliwić im nagłe przejście między jazdą i zatrzymaniem we wszystkich warunkach. W przypadku BMR, ze względu na różne środowisko pracy, funkcjonalność awaryjnego zatrzymania ma znaczenie krytyczne dla bezpieczeństwa i powinno ono móc być realizowane w jak największej liczbie przypadków bez zagrożenia dla innych maszyn i personelu.

## 5. Wnioski

Przeprowadzony przegląd istniejących norm ISO i IEC oraz elementów pracy związanych z maszynami autonomicznymi, wykazał, że obecne standardy są opracowywane głównie dla producentów maszyn, ale poglądy lub obowiązki na poziomie miejsca pracy nie są brane pod uwagę. Istnieją trzy różne podejścia do koncepcji bezpieczeństwa dla różnych warunków pracy. Jeden z nich opiera się na pokładowych systemach bezpieczeństwa, w tym systemach czujników i percepcji do zastosowań wewnętrznych. Drugi z nich prowadzi do oddzielenia i odizolowania autonomicznie działających maszyn oraz zastosowania kontroli dostępu do autonomicznej strefy operacyjnej. Trzeci polega głównie na zdolności operatora maszyny do zrozumienia sytuacji i prawidłowego reagowania na podstawie dostępnych informacji. Z technologicznego punktu widzenia wydaje się, że istnieje rozbieżność między wymaganiami bezpieczeństwa określonymi w normach a stanem wiedzy o obecnie dostępnej technologii.

Podczas gdy w pełni autonomiczny sprzęt budowlany będzie produktem niszowym dla ściśle zdefiniowanych zastosowań w ograniczonych przestrzeniach, zautomatyzowane systemy i funkcje półautonomiczne można zastosować w szerszym zakresie scenariuszy.

Rozpoznawalny trend w branży motoryzacyjnej (samochody osobowe i ciężarowe) ukierunkowany na wsparcie operatora poprzez inteligentne funkcje rozszerzy się również na maszyny robocze. Już zautomatyzowane podsystemy, takie jak zmiana biegów; tempomat itp. mogą być połączone z inteligentnymi funkcjami, aby jeszcze bardziej zwiększyć wydajność i produktywność, a także komfort operatora.

Badania nad w pełni autonomicznymi maszynami przyniosą cenne wyniki dla rozwoju zintegrowanych i rozszerzalnych funkcji asystenta operatora. Przykładowo, wymagania dotyczące komunikacji wzrosną ze względu na konieczność zapewnienia zabezpieczeń, które wymagają określonej ilości wiarygodnych danych jako podstawy do obliczenia ryzyka. Najnowocześniejsze technologie stosowane w warstwach niskiego poziomu, takie jak komunikacja CAN Bus, nie wystarczą do obsługi wyższej automatyzacji systemów i maszyn. Systemy rozproszone mogą być rozwiązaniem zapewniającym dodatkową warstwę bezpieczeństwa dla funkcji autonomicznych.

## Bibliografia

1. ISO 17757:2019 Earth-moving machinery and mining — Autonomous and semi-autonomous machine system safety.
2. ISO 18497:2018 Agricultural machinery and tractors — Safety of highly automated agricultural machines — Principles for design
3. ISO 3691-4:2020 Industrial trucks — Safety requirements and verification — Part 4: Driverless industrial trucks and their systems
4. IEC 61508-1:2010 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems- Parts 1–7.
5. ISO 26262-1:2011 Road vehicles – Functional safety – Parts 1–10
6. Płonecki L., *Cyfrowe sterowanie osprzętem maszyn do robot ziemnych na przykładzie jednonaczyniowej koparki hydraulicznej*. Monografie, Studia, Rozprawy nr 16, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1999.
7. <https://www.l-instruktor.pl/aktualnosci/unia-o-inteligentnych-samochodach.html#.YgFn6erMIdU>
8. Park H. S., Dang D., Nguyen T., Le N., *Implementation of a virtual autonomous excavator*, Transactions of FAMENA, International Scientific Journal University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Croatia, October 2017.
9. Szlagowski J. (red.), *Automatyzacja pracy maszyn roboczych. Metodyka i zastosowania*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.
10. Tiusanen R., Malm T., Ronkainen A., *An overview of current safety requirements for autonomous machines – review of standards*. “Open Engineering”, Vol. 10, No. 1, 2020, 665–673, DOI: 10.1515/eng-2020-0074.
11. Typiak A., *Sterowanie mobilnymi maszynami inżynierskimi w układzie teleoperacji*, WAT Warszawa 2013.
12. Typiak R., *Badanie wpływu konfiguracji układu akwizycyjnego obrazu na efektywność sterowania bezzałogową maszyną roboczą*, Rozprawa doktorska WAT, Warszawa 2016.
13. Volvo CE, *Volvo Corporate Presentation 2012*, <http://www.volvoce.com>, October 2020.

# Safety in the Use of Unmanned Working Machines

**Abstract:** The transition of automated machine systems towards autonomous operation is progressing fast in various industrial sectors. The following paper presents the current situation in the regulations that normalize and support the development of working machines for construction purposes. A review of the existing ISO and IEC standards alongside own work focusing on autonomous machines, as well as a review of different activities in international industry groups regarding automation and autonomy of machines have been presented. Three different approaches to the concept of safety have been identified for different working conditions. The paper also tackles issues of on-board machine communication. By analysing different systems and their basic requirements, several optimization possibilities have been identified in relation to combining different data sources. It has been shown that the combination of different systems at the machine level as well as the connection between different machines can have a major impact on the performance of both the entire system as well as on the machine itself.

**Keywords:** unmanned working machines, system safety, exploitation

## dr hab. inż. Andrzej Typiak

andrzej.typiak@wat.edu.pl  
ORCID: 0000-0003-1992-015X

Profesor na Wydziale Inżynierii Mechanicznej Wojskowej Akademii Technicznej. Wykładowca na kierunkach studiów: Energetyka, Maszyny inżynieryjno-budowlane i drogowe, Maszyny inżynieryjne, oraz Inżynieria systemów bezzałogowych. Autor wielu publikacji z obszaru zdalnego i autonomicznego sterowania maszynami inżynieryjnymi i pojazdami. Kierował czterema projektami badawczymi z tego obszaru. Prowadzi badania w obszarze sterowania maszyn inżynieryjnych i pojazdów w układzie teleoperacji, rozpoznania otoczenia na podstawie obrazów wizyjnych, lokalizowania obiektów i budowy mapy na podstawie pomiarów skanerami laserowymi oraz interfejsów do współpracy operator-maszyna.



## dr inż. Rafał Typiak

rafal.typiak@wat.edu.pl  
ORCID: 0000-0003-1380-9979

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej na kierunku Automatyka i Robotyka w 2008 r. Rozpoczął praktyki zawodowe a następnie półroczny staż w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów PIAP. Od końca 2008 r. pracownik Wojskowej Akademii Technicznej. W 2017 r. otrzymał tytuł doktora za pracę pt. „Wpływ konfiguracji układu akwizycji na sterowanie bezzałogową maszyną roboczą”. Aktualnie naukowo działa w obszarze automatyzacji i autonomizacji bezzałogowych platform lądowych. Specjalizuje się w opracowywaniu, wdrażaniu i testowaniu rozwiązań elektronicznych i programistycznych dla manipulatorów zrobotyzowanych i bezzałogowych pojazdów naziemnych (UGV). W trakcie pracy zawodowej zdobył również doświadczenie w zakresie projektowania konstrukcji mechanicznych oraz opracowywania hydrostatycznych układów napędowych.

