

# Algorytm wyznaczania Poziomu Zapewnienia Bezpieczeństwa na przykładzie funkcji zatrzymania awaryjnego inspekcyjnego robota górniczego

Leszek Kasprzyczak

## Wstęp

Mobilna Platforma Inspekcyjna (MPI) jest demonstratorem technologii opracowanym w ramach projektu pt. „Badanie i studium wykonalności modelu mobilnej platformy inspekcyjnej kategorii M1 z napędami elektrycznymi do stref zagrożonych wybuchem”, realizowanego w Programie Badań Stosowanych przez konsorcjum złożone z Instytutu Technik Innowacyjnych EMAG oraz Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP.

Motywacją do zaprojektowania MPI jest oczekiwanie, że inspekcyjne roboty górnicze będą stanowić wkrótce istotne wsparcie dla ratowników górniczych podczas prowadzenia akcji w niebezpiecznych strefach, podobnie jak ma to miejsce w działaniach saperskich i pirotechnicznych służb policyjnych. Świadczy o tym ilość konstrukcji robotów górniczych opracowywanych na świecie, spośród których wymienić można robota Numbat opracowanego w Australii, robota Wolvarine V-2 z USA, Gemini-Scout z USA, chińskie roboty opracowane przez Tangshan Kaicheng Electronic czy wreszcie polskie konstrukcje Górniczy Mobilny Robot Inspekcyjny GMRI oraz Mobilna Platforma Inspekcyjna MPI [1–4].


Roboty te mogą stanowić przedni zwiad dla ratowników, informując ich z wyprzedzeniem o występujących stężeniach niebezpiecznych gazów, takich jak tlenek węgla, dwutlenek węgla, metan, niski poziom tlenu, zagrożenia klimatyczne, oraz o stanie wyrobiska przy użyciu kamer. Dzięki temu sztab prowadzenia akcji może podjąć szybszą i trafniejszą decyzję odnośnie do dalszych czynności związanych z odcięciem wyrobiskiem.

Roboty górnicze oprócz wymagań funkcjonalnych muszą spełniać wymagania dyrektyw europejskich, takich jak ATEX, EMC i maszynowej MD. O ile wdrożenie rozwiązań dotyczących spełnienia wymagań dyrektyw EMC i MD nie ogranicza funkcjonalności robota, o tyle zastosowanie masywnych osłon ognioszczelnych, osłon z naciśnieniem czy hermetyzacji powoduje wzrost masy i gabarytów, a co za tym idzie – pogorszenie funkcjonalności maszyny. Jednakże zastosowanie pojedynczych lub nawet podwójnych niezależnych środków budowy przeciwybuchowej jest konieczne, aby urządzenie nie stało się nawet w warunkach najbardziej niekorzystnego uszkodzenia źródłem zapłonu otaczającej mieszaniny wybuchowej.

W niniejszej pracy przeanalizowany zostanie aspekt dotyczący bezpieczeństwa maszyn w zakresie układu sterowania

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono algorytm wyznaczania Poziomu Zapewnienia Bezpieczeństwa PL funkcji zatrzymania awaryjnego, zaimplementowanej w Mobilnej Platformie Inspekcyjnej. Najpierw zidentyfikowano podsystemy związane z realizacją funkcji bezpieczeństwa, po czym określono wymagany PLr na podstawie grafu ryzyka. Następnie wyznaczono poziomy PL poszczególnych podsystemów na podstawie parametrów MTTFd, DC, CCF i kategorii. Osiągnięty PL funkcji bezpieczeństwa wyznaczono na podstawie osiągniętych poziomów poszczególnych podsystemów i porównano go do wymaganego PLr.

Słowa kluczowe: inspekcyjny robot górniczy, dyrektywy ATEX, EMC i maszynowa w maszynach górniczych

 **Abstract:** The article presents the algorithm for determining of Performance Level PL of an emergency stop function which was implemented in the Mobile Inspection Platform. At first sub-systems related with realization of the safety function were identified, then the required PL was determined based on the risk graph. Afterwards PL levels were determined of the particular sub-systems based on categories, MTTFd, DC and CCF parameters. Achieved PL of the safety function was determined on the basis of achieved levels of the particular sub-systems and finally it was compared to the required PLr. (The algorithm for determining the Performance Level using the example of an emergency stop function of a mining inspection robot).

Keywords: mining inspection robot, ATEX, EMC, machinery directives in mining machines

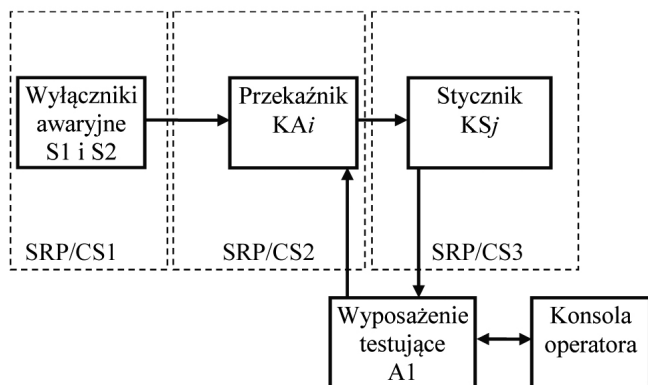
realizującego funkcję zatrzymania awaryjnego robota MPI wg normy PN-EN ISO 13849-1:2008. Ocenę ryzyka, składającą się z analizy ryzyka i ewaluacji ryzyka wg PN-EN ISO 12100:2010, przedstawiono w pracy [5].

## Określenie funkcji bezpieczeństwa

W myśl normy PN-EN ISO 12100 elementy sterownicze urządzenia do zatrzymania awaryjnego powinny być łatwo rozpoznawalne, dobrze widoczne i łatwo dostępne. Na rysunku 1



Rys. 1. Rozmieszczenie wyłączników awaryjnych S1 i S2 na Mobilnej Platformie Inspekcyjnej

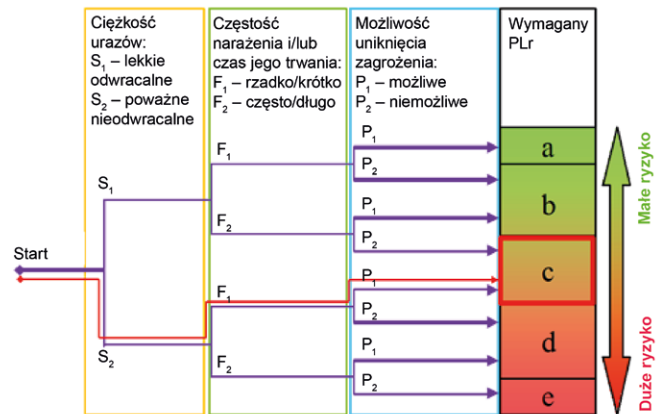


Rys. 2. Identyfikacja podsystemów SRP/CS realizujących funkcję zatrzymania awaryjnego MPI

przedstawiono robota MPI z zaznaczonymi wyłącznikami awaryjnymi.

Natomiast na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy pojedynczego obwodu siłowego, sterowania i bezpieczeństwa, realizującego funkcję zatrzymania awaryjnego. Ponieważ pojazd zawiera 5 głównych napędów (4 identyczne niezależne napędy na każde koło jezdne i jeden napęd układarki światłowodowej), w dalszej części publikacji omówiono tylko jeden z nich.

Wyłączniki awaryjne S1 i S2 połączone są szeregowo i odcinają napięcie z iskrobezpiecznego akumulatora od cewek przełączników KA1 do KA5. Styki przełącznicze przełącznika KA<sub>i</sub> załączają cewki styczników KS1 do KS5. Styki główne KS<sub>j</sub> podają napięcie z akumulatorów głównych do sterowników silnikowych AS1 do AS5, które sterują pracą bezszczotkowych silników prądu stałego BLDC. Potwierdzenie, czy dany stycznik został załączony lub uległ awarii, przesyłane jest do nadrzędnego pro-



Rys. 3. Graf ryzyka przypisania wymaganego PLr funkcji zatrzymania awaryjnego MPI

cesora silnikowego A1 poprzez styki pomocnicze styczników KS<sub>j</sub>. Oprócz tego istnieje możliwość funkcjonalnego wyłączenia przełączników KA<sub>i</sub> z nadrzędnego procesora silnikowego A1 w sposób programistyczny, zadany z konsoli operatora.

Na rysunku 2 zaznaczono trzy podsystemy związane z bezpieczeństwem, tzw. SRP/CS (*Safety Related Part of a Control System*).

### Wyznaczenie wymaganego PLr

W celu wyznaczenia dla całego systemu wymaganego Poziomu Zapewnienia Bezpieczeństwa PLr (*required PL*) posłużono się grafem ryzyka z rysunku 3.

Przyjęto następujące dane:

- ciężkość urazów: S2 – poważne, nieodwracalne (złamania, zmiążdżenia przy najechaniu);
- częstość narażenia i czas jego trwania: F1 – rzadko, krótko (maszyna nie pracuje w bezpośrednim otoczeniu ludzi);
- możliwość uniknięcia zagrożenia: P1 – możliwe (identyfikacja zagrożenia gołym okiem, obsługa MPI przez specjalistów, niska prędkość powstawania zagrożenia, prędkość maks. 0,7 m/s, możliwość ucieczki/uniku, intuicyjne rozmieszczenie przycisków wyłączenia awaryjnego).

Dla rozważanej funkcji zatrzymania awaryjnego otrzymano PLr = c.

### Parametry podsystemów SRP/CS

W celu wyznaczenia poziomu PL systemu złożonego z podsystemów SRP/CS należy najpierw określić poziomy PL każdego z podsystemów. Poziomy PL dla podsystemu wyznacza się na podstawie:

- struktury podsystemu (kategorii – B, 1, 2, 3, 4);
- wartości średniego czasu do niebezpiecznego uszkodzenia (MTTF<sub>d</sub> – krótki, średni długi);
- pokrycia diagnostycznego (DC – brak, niskie, średnie, wysokie);
- odporności na uszkodzenie spowodowane wspólną przyczyną (CCF – tylko dla kategorii 2, 3, 4).

**Struktury podsystemów i MTTFd**

Wyłączniki awaryjne S1 i S2 podłączone są pod względem elektrycznym szeregowo i w ten sam sposób pod względem niezawodnościowym, ponieważ ich rozmieszczenie przestrzenne na pojeździe jest na tyle odległe, że w przypadku uszkodzenia jednego z wyłączników operator nie może łatwo i szybko użyć drugiego wyłącznika. Z uwagi na to, że podsystem SRP/CS1 (wyłączniki awaryjne) jest jednokanałowy i nie posiada diagnostyki, można mu przypisać kategorię B lub 1 w zależności od osiągniętego średniego czasu do niebezpiecznego uszkodzenia MTTFd oraz od spełnienia odpowiednich wymagań z ISO 13849-1. Podsystem spełnia wymagania kategorii B oraz 1, ponieważ został zaprojektowany zgodnie z właściwymi normami oraz jest odporny na wpływy czynników zewnętrznych, a także spełnia podstawowe i wypróbowane zasady bezpieczeństwa. Zastosowane wyłączniki awaryjne uznaje się za wypróbowane elementy.

W celu obliczenia MTTFd należy dokonać założeń co do częstości przywołania funkcji bezpieczeństwa. Zakłada się, że MPI może pracować 90 dni na rok ( $d_{op}$ ) – co wynika z intensywności akcji ratowniczych (wartość wygórowana), 24 godz./dzień ( $h_{op}$ ), a przywołanie funkcji awaryjnego zatrzymania założono 1 cykl/godz. ( $t_{cycle}$ ) (na każdy wyłącznik awaryjny osobno, co jest wartością wygórowaną). Stąd na podstawie wzoru (C.2) z ISO 13849-1 średnia ilość cykli na rok  $n_{op}$  wynosi 2160 cykli/rok.

Tabela C.1 w ISO 13849-1 wiersz 12 podaje dla urządzeń stopu awaryjnego,  $B_{10d} = 100\,000$  cykli, gdzie  $B_{10d}$  jest to ilość cykli, po których 10% elementów ulega niebezpiecznemu uszkodzeniu.

MTTFd dla elementów przełączanych wyznacza się ze wzoru (C.1) ISO 13849-1:

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0,1 \cdot n_{op}} \text{ [lat]} \tag{1}$$

Po podstawieniu wartości otrzymuje się MTTFd = 462 lat, a więc jest w zakresie „długi”, co umożliwi przyporządkowanie podsystemowi SRP/CS1 kategorii 1.

Z uwagi na to, że w układzie są dwa wyłączniki awaryjne, a cykl załączenia każdego z nich określono raz na godzinę, to przekaźnik KA<sub>i</sub> będzie pobudzany dwukrotnie częściej, tj. 2 cykle/godzinę ( $t_{cycle}$ ). Parametry  $d_{op}$  i  $h_{op}$  pozostają jak poprzednio. Stąd średnia ilość cykli na rok  $n_{op} = 4320$  cykli/rok.

Na podstawie tabeli C.1 ISO 13849-1 wiersz 5 dla maksymalnie obciążonych przekaźników parametr  $B_{10d} = 400\,000$  cykli (gorszy przypadek w porównaniu z wierszem 3). Stąd MTTFd = 925 lat. Do rozpatrzenia pozostają jeszcze pozostałe elementy obwodu przekaźnika (rys. 4): RA, DZ1, DZ2 i PCB. W tabeli 1 podano ich średnie czasy do niebezpiecznego uszkodzenia przyjęte na podstawie baz danych Siemens SN 29500-2005-1 dla temperatury otoczenia 60°C.

Posługując się wzorem D.1 z ISO 13849-1, wyznaczono MTTFd dla obwodu przekaźnika:

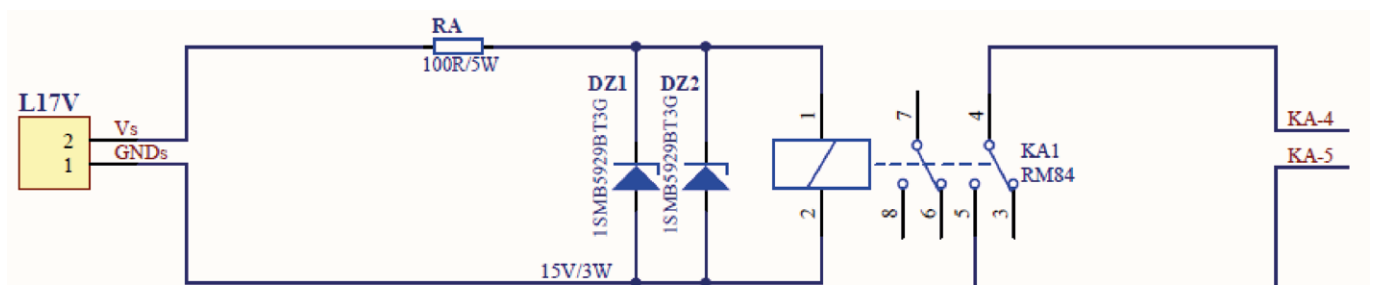
$$\frac{1}{MTTF_{d_{SRP/CS2}}} = \frac{1}{MTTF_{el1}} + \dots + \frac{1}{MTTF_{eln}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{MTTF_{eli}} \tag{2}$$

**Tabela 1.** MTTFd elementów obwodu przekaźnika

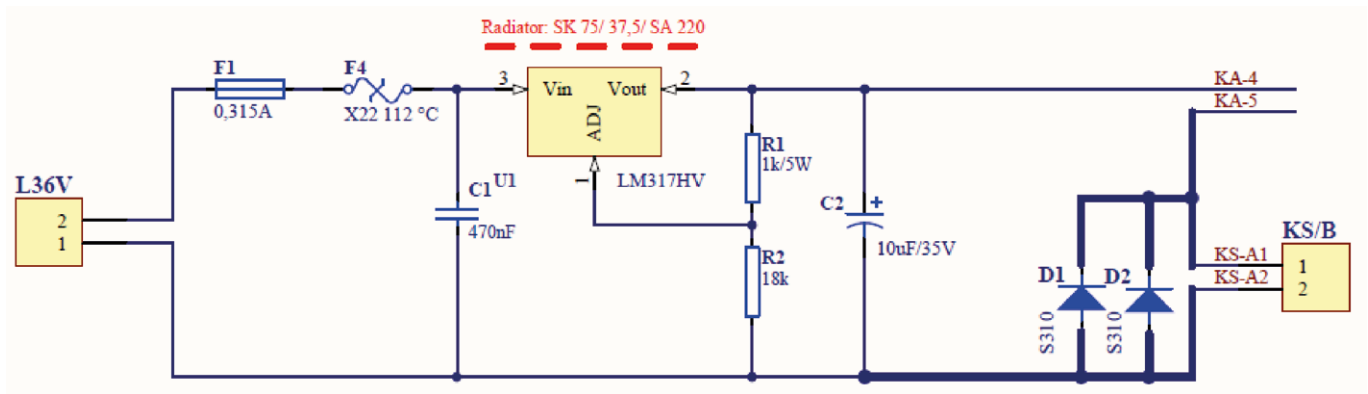
Nazwa elementu	1/MTTF <sub>eli</sub> [lat]
RA	2,46E-5
DZ1	2,63E-5
DZ2	2,63E-5
Obwód drukowany PCB	1,91E-5
Przekaźnik KA1	1,08E-3
Listwa przyłączowa L17V	8,76E-5
<b>SUMA</b>	<b>1,26E-3</b>

Na podstawie wzoru (2) uzyskano MTTFd<sub>SRP/CS2</sub> = 790 lat, a więc zgodnie z tabelą 5 ISO 13849-1:2006 jest to zakres „długi”. Ze względu na to, że podsystem SRP/CS2 (przekaźnik) jest jednokanałowy i jest złożony z części wypróbowanych z wykorzystaniem wypróbowanych zasad bezpieczeństwa, podsystem ten można zakwalifikować do kategorii 1, co potwierdza MTTFd „długi”.

Założono, że stycznik KS<sub>j</sub> ma tę samą ilość przełączeń co przekaźnik KA<sub>i</sub>, tj. 2 cykle/godzinę ( $t_{cycle}$ ). Parametry  $d_{op}$  i  $h_{op}$  pozostają jak poprzednio. Stąd średnia ilość cykli na rok  $n_{op} = 4320$  cykli/rok. Na podstawie tabeli C.1 ISO 13849-1 wiersz 5 dla nominalnie obciążonych styczników  $B_{10d} = 400\,000$  cykli (gorszy przypadek w porównaniu z wierszem 3 oraz gorszy przypadek w porównaniu do danych producenta). Stąd MTTFd<sub>SRP/CS3</sub> = 925 lat. Do rozpatrzenia pozostają jeszcze pozostałe elementy obwodu stycznika (rys. 5): F1, F4, C1, U1, R1, R2, C2 D1, D2 i obwód drukowany PCB.



**Rys. 4.** Schemat elektryczny podsystemu przekaźnika SRP/CS2



Rys. 5. Schemat elektryczny podsystemu stycznika SRP/CS3

W tabeli 2 podano ich średnie czasy do niebezpiecznego uszkodzenia, przyjęte jak poprzednio na podstawie baz danych Siemens SN 29500-2005-1.

Posługując się wzorem (2), wyznaczono  $MTTFd_{SRP/CS3}$  dla całego obwodu stycznika, który wynosi  $MTTFd_{SRP/CS3} = 497$  lat, a więc jest „długi”.

Ze względu na to, że podsystem SRP/CS3 (stycznik) jest jednokanałowy i złożony jest z części wypróbowanych z wykorzystaniem wypróbowanych zasad bezpieczeństwa oraz posiada diagnostykę poprzez podłączenie styków pomocniczych stycznika do wejścia cyfrowego nadrzędnego procesora silnikowego A1, przy czym styki główny i pomocniczy są sprzężone mechanicznie, podsystem ten można zakwalifikować do kategorii 2.

### Pokrycie diagnostyczne DC

Podsystem SRP/CS1 (wyłączniki awaryjne) złożony jest z dwóch połączonych szeregowo wyłączników awaryjnych S1 i S2 i nie posiada automatycznej funkcji diagnostycznej. W związku z tym przypisuje się DC „brak”. Podobnie jest

Tabela 2. MTTFd elementów obwodu stycznika

Nazwa elementu	$1/MTTFd_{el1}$ [lat]
F1	2,19E-4
F4	6,66E-5
C1	3,82E-5
U1	2,86E-4
C2	9,55E-5
R1	1,93E-6
R2	1,93E-6
D1	1,33E-5
D2	1,33E-5
Stycznik KS	1,08E-3
Obwód drukowany PCB	1,91E-5
Listwa przyłączowa L36V	8,76E-5
Listwa przyłączowa KS/B	8,76E-5
<b>SUMA</b>	<b>2,01E-3</b>



**Tabela 3.** Odporność na CCF (podsystem SRP/CS3)

Środek / Wymaganie		Punkty/ Spełnione
Odseparowanie	Odseparowanie obwodów sygnałowych (przewodów elektrycznych), dostateczne odstępki powierzchniowe i powietrzne	15 / TAK <sup>1</sup>
Zróznicowanie	Różne technologie lub fizyczne zasady, np. pierwszy kanał programowalny, a drugi kanał sprzętowy; pomiar cyfrowy i analogowy; elementy różnych producentów	20 / NIE
Projekt, zastosowanie, doświadczenie	Ochrona przed przepięciem, przeciążeniem	15 / TAK <sup>2</sup>
	Zastosowanie wypróbowanych elementów	5 / TAK
Ocena, analiza	Przeprowadzenie analizy rodzajów i skutków uszkodzeń (FMEA), aby uniknąć uszkodzeń spowodowanych wspólną przyczyną w projektowaniu.	5 / NIE
Kompetencje, szkolenia	Szkolenie projektantów w kierunku pojmowania przyczyn i skutków uszkodzeń spowodowanych wspólną przyczyną	5 / TAK
Wpływy środowiska	Badania na kompatybilność EMC	25 / TAK <sup>3</sup>
	Testy podsystemu pod kątem czynników środowiskowych	10 / TAK <sup>4</sup>

1. Elementy obwodu zasilającego cewkę stycznika KSj znajdują się na płycie drukowanej PCB z zachowaniem odpowiednich odstępów izolacyjnych powierzchniowych i powietrznych. Sterowanie cewką stycznika odbywa się z obwodu przekaźnika KA1. Obwód zasilania stycznika i sterowania z przekaźnika znajdują się na tej samej płycie drukowanej, przy czym obwód przekaźnika spełnia odpowiednie odstępki izolacyjne wynikające z normy PN-EN 60079-11, dla obwodu iskrobezpiecznego kategorii „ia”. Płyta drukowana umieszczona jest wewnątrz obudowy wykonanej z blachy ocynkowanej i jest zaizolowana zalewą silikonową. Wewnątrz tej obudowy wydzielono przestrzeń, w której umieszczono stycznik. Zastosowano listwy przyłączeniowe spełniające wymagania budowy przeciwwybuchowej „e” wg PN-EN 60079-7 oraz „ia” wg PN-EN 60079-11.
2. Zastosowano zabezpieczenia zwarciove i termiczne wg rysunku 5.
3. MPI badano w akredytowanym laboratorium badań kompatybilności elektromagnetycznej.
4. W dokumentacjach producentów przedstawiono parametry odporności na wibracje, wstrząsy, zakresy temperatury, stopień ochrony IP i inne czynniki środowiskowe dla poszczególnych elementów.

w przypadku podsystemu SRP/CS2 (przekaźnika), któremu przypisuje się DC „brak”.

Natomiast podsystem SRP/CS3 (stycznik) złożony z obwodu stycznika KS1 posiada funkcję diagnostyczną. Styk pomocniczy stycznika (NC) jest sprzężony mechanicznie ze stykami głównymi (NO). Wg tabeli E.1 ISO 13849-1 bezpośrednie monitorowanie urządzeń elektromechanicznych przez mechanicznie sprzężone styki pozwala uzyskać pokrycie diagnostyczne DC = 99%, zatem przypisuje się DC „wysokie”.

**Odporność na uszkodzenie spowodowane wspólną przyczyną CCF**

Zgodnie z ISO 13849-1 nie jest wymagana analiza CCF dla kategorii 1 (dotyczy to podsystemów SRP/CS1 i 2), natomiast analiza wymagana jest dla kategorii 2 (dotyczy SRP/CS3).

**Tabela 4.** Wyznaczanie PL podsystemów SRP/CS

Kategoria	B	1	2	2	3	3	4
DC	Brak	Brak	Niskie	Średnie	Niskie	Średnie	Wysokie
<b>MTTFd</b>							
Krótki	a	-	a	b	b	c	-
Średni	b	-	b	c	c	d	-
Długi	-	c	c	d	d	d	e

**Tabela 5.** Wyznaczenie PL systemu na podstawie znajomości PL podsystemów

Najniższy PL podsystemu	Liczba podsystemów posiadających najniższy PL	Maksymalny możliwy do uzyskania PL systemu
a	> 3	Niedozwolony
	≤ 3	a
b	> 2	a
	≤ 2	b
c	> 2	b
	≤ 2	c
d	> 3	c
	≤ 3	d
e	> 3	d
	≤ 3	e

W tabeli 3 zestawiono środki i wymagania. Projekt podsystemu SRP/CS3 spełnia wymagania/środki pozwalające uzyskać sumaryczną ilość 75 punktów, co zapewnia odporność podsystemu na CCF (wymagania spełnione są od 65 punktów wzwyż).

**Poziomy PL podsystemów SRP/CS 1-3**

Na podstawie tabeli 4 wyznacza się poziomy PL dla poszczególnych podsystemów.

Podsystem SRP/CS1, charakteryzujący się Kategorią 1, MTTFd „długi”, DC „brak”, CCF nie dotyczy, osiągnął poziom  $PL_{SRP/CS1} = c$ . Analogicznie jest w przypadku podsystemu SRP/CS2. Natomiast podsystem SRP/CS3, charakteryzujący się Kategorią 2, MTTFd „długi”, DC „wysokie”, CCF ≥ 65 punktów, osiągnął  $PL_{SRP/CS3} = d$ .

**Osiągnięty PL systemu**

Na podstawie poziomów PL każdego podsystemu wyznacza się wynikowy PL całego systemu bezpieczeństwa. Służy do tego tabela 5. Jako że łańcuch jest na tyle silny, na ile są silne najsłabsze ogniwa, w związku z tym w tabeli 5 rozpatruje się podsystemy SRP/CS 1 i 2. Najniższy PL podsystemu to PLc i są dwa tego typu podsystemy SRP/CS1 i SRP/CS2, natomiast SRP/CS3 posiada wyższy poziom PLd. W związku z tym wynikowy PL systemu jest równy PLc.

**Porównanie osiągniętego PL z PLr wymagany**

Porównując wymagany Poziom Zapewnienia Bezpieczeństwa PLr otrzymany na podstawie grafu ryzyka z rysunku 3 oraz osiągnięty Poziom Zapewnienia Bezpieczeństwa PL systemu (funkcji zatrzymania awaryjnego), stwierdza się, że spełniono wymaganie w postaci  $PL \geq PLr$ , gdyż  $PL = c$  oraz  $PLr = c$ .

BEZPIECZEŃSTWO

## Podsumowanie

MPI wyposażona jest w uchwyty do transportowania z wykorzystaniem suwnic i dźwigów, tj. zaczepy, śruby oczkowe, otwory gwintowane oraz posiada odpowiednio ukształtowane podwozie umożliwiające transport wózkami widłowymi. W celu zminimalizowania ryzyka podczas transportowania istotne jest przestrzeganie przez operatorów przepisów BHP danego środka transportu. W tym przypadku prawdopodobieństwo wystąpienia szkody jest niskie. W celu uniknięcia zagrożeń związanych z przecięciem ostrymi krawędziami i częściami wystającymi krawędzie blach zostały stępione i wyrównane, a naroża zaokrąglone. Natomiast w przypadku mało prawdopodobnej awarii, polegającej na niekontrolowanej jeździe pojazdu, wdrożono opisaną wyżej funkcję zatrzymania awaryjnego.

## Literatura


- [1] KASPRZYCZAK L., NOWAK D., GOŁĄBEK A.: *Przegląd inspekcyjnych robotów górniczych*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa” 9(511)/2013, s. 31–36.
- [2] GREEN J.: *Mine rescue robots requirements. Outcomes from an industry workshop*, Robotics and Mechatronics Conference (Rob-Mech), 2013, p. 111–116.
- [3] KASPRZYCZAK L., TRENCZEK S., CADER M.: *Robot for monitoring hazardous environments as a mechatronic product*. „Journal of

Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems” (JAMRIS), Vol. 6 no 4/2012, p. 57–64.

- [4] MURPHY R., KRAVITZ J. ET AL.: *Mobile robots in mine rescue and recovery*. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2009, p. 91–103.
- [5] KASPRZYCZAK L., SZWEJKOWSKI P., CADER M.: *Analiza funkcji bezpieczeństwa i dobór napędów dla górniczej Mobilnej Platformy Inspekcyjnej*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 2/2015 (106), s. 99–106.

Projekt finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Badań Stosowanych, realizowany przez konsorcjum naukowe: Instytut Technik Innowacyjnych EMAG i Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP. Nr umowy: PBS1/A2/12/2012; Czas realizacji: 1 XI 2012 – 31 VIII 2015.

Źródłem jest publikacja naukowa po Konferencji Bezpieczeństwa Przemysłowego, organizowana pod patronatem klubu Paragraf34, która odbyła się w listopadzie 2015 roku

 dr inż. Leszek Kasprzyczak – Instytut Technik Innowacyjnych EMAG, e-mail: kasprzyczak@ibemag.pl;

artykuł recenzowany

reklama