

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

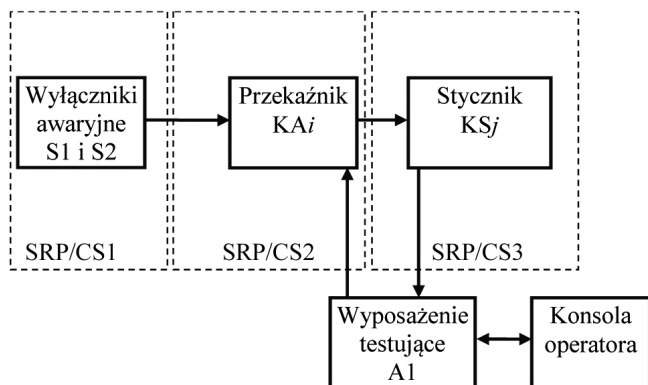
realizującego funkcję zatrzymania awaryjnego robota MPI wg normy PN-EN ISO 13849-1:2008. Ocenę ryzyka, składającą się z analizy ryzyka i ewaluacji ryzyka wg PN-EN ISO 12100:2010, przedstawiono w pracy [5].

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

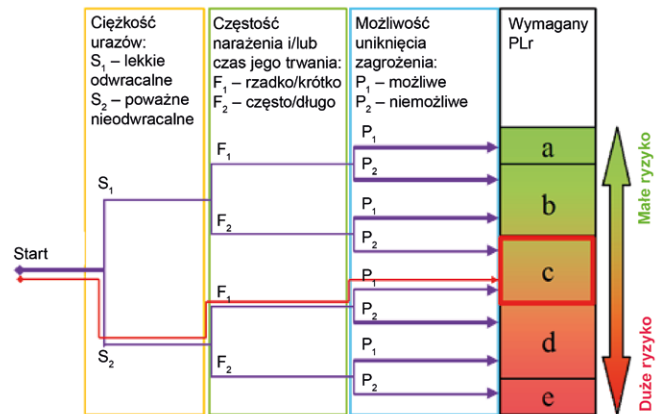


Rys. 2. Identyfikacja podsystemów SRP/CS realizujących funkcję zatrzymania awaryjnego MPI

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 przekaźników KA1 do KA5. Styki przełączne przekaźnika KA_i załączają cewki styczników KS1 do KS5. Styki główne KS_j 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_j. Oprócz tego istnieje możliwość funkcjonalnego wyłączenia przekaźników KA_i 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 (MTTFd – 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:

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

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_i 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:

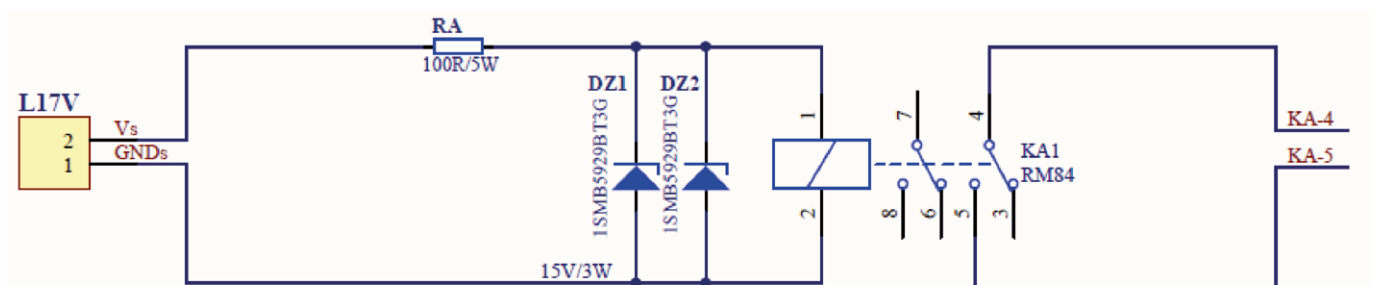
$$\frac{1}{MTTF_{d_{SRP/CS2}}} = \frac{1}{MTTF_{d_{el1}}} + \dots + \frac{1}{MTTF_{d_{eln}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{MTTF_{d_{eli}}} \quad (2)$$

Tabela 1. MTTFd elementów obwodu przekaźnika

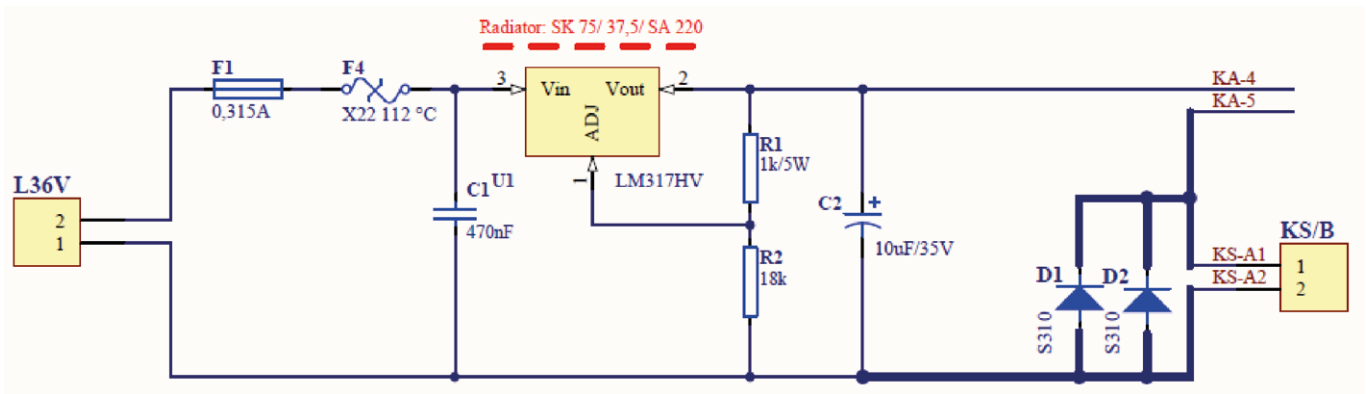
Nazwa elementu	1/MTTF _{d_{eli}} [lat]
RA	2,46E-5
DZ1	2,63E-5
DZ2	2,63E-5
Obwód drukowany PCB	1,91E-5
Przekaźnik KA1	1,08E-3
Listwa przyłączowa L17V	8,76E-5
SUMA	1,26E-3

Na podstawie wzoru (2) uzyskano MTTFd_{SRP/CS2} = 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_j ma tę samą ilość przełączeń co przekaźnik KA_i, 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_{SRP/CS3} = 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
SUMA	2,01E-3

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

Środek / Wymaganie		Punkty/ Spełnione
Odseparowanie	Odseparowanie obwodów sygnałowych (przewodów elektrycznych), dostateczne odstępów powierzchniowe i powietrzne	15 / TAK ¹
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 ²
	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 ³
	Testy podsystemu pod kątem czynników środowiskowych	10 / TAK ⁴

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 odstępów 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
MTTFd							
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 $PLr = c$.

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