

Jerzy ZAJĄC¹
Tomasz WIĘK¹
Andrzej JUREK¹

**WYKORZYSTANIE SKANERA LASEROWEGO DO ZAPEWNIENIA
BEZPIECZEŃSTWA AUTONOMATYCZNEGO POJAZDU MOBILNEGO**

W pracy zajęto się problematyką bezpieczeństwa automatycznych pojazdów mobilnych. Omówiono zasadę działania i możliwości skanera laserowego S300 firmy SICK AG. Przedstawiono sposób wykorzystania sprzętu i oprogramowania opracowanego przez tę firmę do zapewnienia bezpiecznego poruszania się zbudowanego w Politechnice Krakowskiej prototypu automatycznego pojazdu mobilnego.

**IMPLEMENTATION OF LASER SCANNER TO PROVIDE SAFETY
OF AUTOMATIC GUIDED VEHICLE**

The paper considers safety issues of Automatic Guided Vehicles. Principles of operation and general capabilities of safety laser scanner SICK S300 were discussed. Moreover, the paper presents how safety equipment and software designed by SICK AG were implemented to the prototype of automatic guided vehicle built in Cracow University of Technology.

1. WSTĘP

W nowoczesnych systemach produkcyjnych coraz częściej spotkać można podsystemy transportu międzyoperacyjnego zbudowane z automatycznych pojazdów mobilnych AGV (ang. *Automatic Guided Vehicles*). Sterowanie podsystemem transportowym realizowane było dotychczas najczęściej w sposób scentralizowany przy założeniu deterministycznych warunków realizacji zadań. Obecnie w literaturze dotyczącej omawianej problematyki coraz częściej pojawiają się rozwiązania rozproszone uwzględniające możliwość występowania zakłóceń. Wybór sposobu sterowania podsystemem transportowym wpływa na autonomię decyzyjną pojazdów mobilnych reprezentowanych przez ich układy sterowania. Bez względu na to jaki sposób sterowania zastosujemy oraz jaki sposób nawigacji zostanie wykorzystany pojawią się problemy bezpieczeństwa wynikające z bezobsługowego charakteru poruszania się pojazdu. Aby zapewnić bezpieczeństwo poruszającym się pojazdom a także elementom środowiska przemysłowego, w którym się

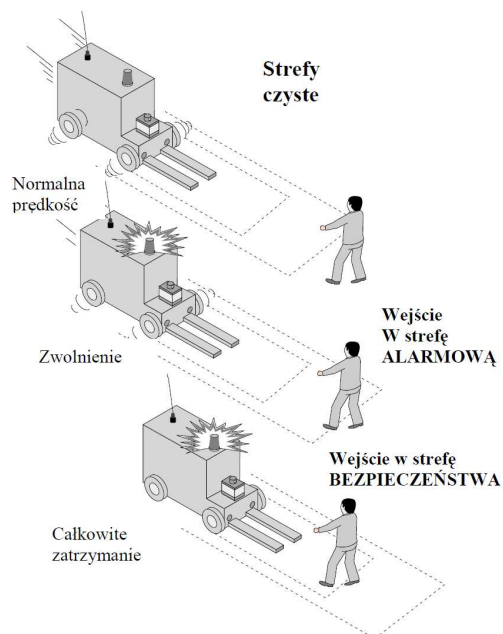
¹ Politechnika Krakowska, Zakład Zautomatyzowanych Systemów Produkcyjnych
Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków. E-mail: (zajac,wiek)@mech.pk.edu.pl, pkjurek@gmail.com

poruszają (w tym ludziami), niezbędne jest wyposażenie pojazdów w układy sensoryczne umożliwiające wykrywanie potencjalnych zagrożeń i ograniczające do minimum możliwość jej wystąpienia.

Bezpieczeństwo zależy w dużej mierze od prawidłowego zastosowania obowiązujących norm i dyrektyw. Aktualnie każde urządzenie przed dopuszczeniem do użytkowania musi spełniać rygorystyczne normy bezpieczeństwa narzucone przez prawo kraju, na terenie którego urządzenia ma zostać dopuszczone do użytkowania. W celu zapewnienia odpowiedniego, zgodnego z wymaganiami, poziomu bezpieczeństwa stosuje się specjalistyczne, certyfikowane urządzenia, które właściwie podłączone i skonfigurowane tworzą system bezpieczeństwa. Takimi urządzeniami mogą być: wyłączniki bezpieczeństwa, przekaźniki bezpieczeństwa, rygle, zasuwki, blokady itp. Istnieje wiele pojedynczych elementów jak i całych systemów bezpieczeństwa dedykowanych do konkretnych typów maszyn i urządzeń, np.: systemy bezpieczeństwa pras krawędziowych czy zrobotyzowanych gniazd produkcyjnych [2]. Każdy z powyższych zastosowań charakteryzuje się pewną specyfiką wynikającą z poziomu interakcji człowiek-maszyna. Systemy bezpieczeństwa pojazdów mobilnych są jednymi z najtrudniejszych w implementacji gdyż nie jest możliwe wydzielenie zamkniętych stref pracy tych urządzeń. Poruszają się one zazwyczaj wzdłuż wytyczonych szlaków komunikacyjnych w środowisku hali produkcyjnej, gdzie znajdują się inne maszyny i urządzenia oraz ludzie mogący znaleźć się na trasie przejazdu platformy mobilnej. Problem ten staje się szczególnie widoczny w przypadku zaawansowanych, autonomicznych pojazdów mobilnych, które wykorzystują nawigację laserową [6], mają możliwość wyboru trasy [3] oraz omijania przeszkód takich jak np.: inny pojazd, pozostawiona europaleta czy człowiek.

W ostatnich latach coraz większą popularność zdobywają systemy bezpieczeństwa oparte na rozwiązaniach optycznych oraz zaawansowanej elektronice mikroprocesorowej. Projektanci maszyn i urządzeń mają do dyspozycji wyrafinowane urządzenia takie jak: laserowe skanery bezpieczeństwa czy programowalne przekaźniki bezpieczeństwa spełniające najsurowsze wymagania z tego zakresu. W dalszej części pracy zajęto się laserowymi układami sensorycznymi, w które należy wyposażać automatyczny pojazd mobilny, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia jego kolizji z otoczeniem. Typowe zastosowanie skanera laserowego w urządzeniach mobilnych przedstawia rys. 1. Urządzenie ma zaprogramowane dwie strefy: strefę bezpieczeństwa i strefę alarmową. W momencie, gdy pojazd wjedzie do strefy alarmowej następuje zwolnienie ruchu oraz włączone zostają sygnalizatory świetlne i akustyczne. Gdy pojazd naruszy strefę bezpieczeństwa następuje jego całkowite zatrzymanie.

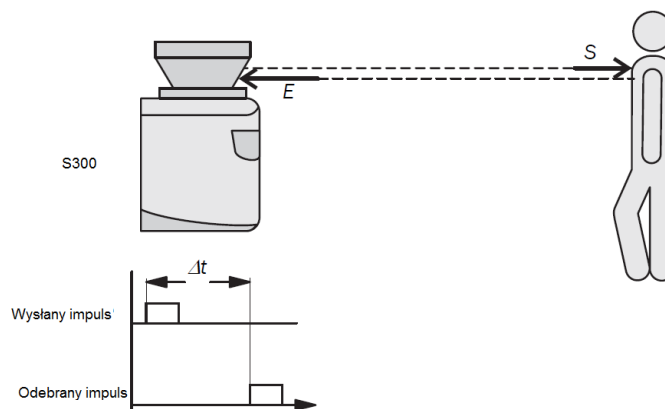
Laserowe urządzenia sensoryczne stosowane w przemysłowych systemach bezpieczeństwa oferuje bardzo wiele firm w tym tacy giganci rynku automatyki przemysłowej jak Allen-Bradley, Honeywell, Schneider Electric, SICK czy Siemens. Klient ma więc możliwość dużego wyboru dostawców oraz rozwiązań. W prezentowanym w dalszej części pracy systemie bezpieczeństwa prototypu pojazdu mobilnego [7] wykorzystane zostały podzespoły wyprodukowane przez firmę SICK AG. Wybór urządzeń tej firmy podyktowany był jej wieloletnim doświadczeniem w projektowaniu i budowie zaawansowanych systemów bezpieczeństwa. Głównymi elementami systemu są: laserowy skaner bezpieczeństwa S300 [4] w wersji profesjonalnej oraz programowalny przekaźnik bezpieczeństwa FlexiSoft CPU1 [1].



Rys.1. Zastosowanie skanera laserowego w rozwiązaniach mobilnych [5]

2. ZASTOSOWANIE SKANERA SICK S300 W AUTOMATYCZNYM POJEŹDZIE MOBILNYM

Laserowy skaner bezpieczeństwa S300 Professional jest zaawansowanym sensorem optycznym, które za pomocą wiązki laserowej monitoruje otaczającą go przestrzeń w zakresie 270° i promieniu 8m. Na rysunku 2 przedstawiono główną zasadę, na jakiej opiera się sposób działania skanera S300.



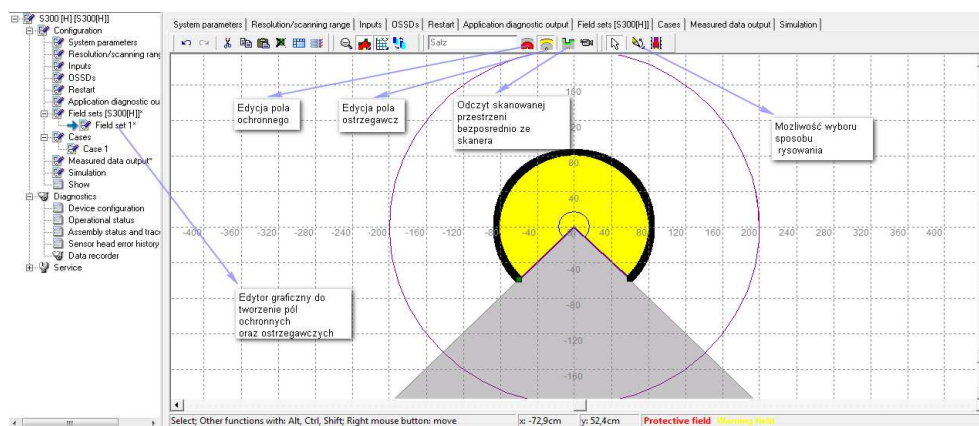
Rys.2. Sposób pomiaru przez skaner S300 [4]

Urządzenie to mierzy czas po jakim wysłana wiązka podczerwieni wróci do odbiornika zainstalowanego w skanerze. Skaner wysyła krótki impuls podczerwony (S), w tym samym czasie zostaje włączony „elektroniczny stoper,„. Kiedy wiązka podczerwieni napotyka obiekt odbija się od niego i dociera do detektora w skanerze S300 (E). Na podstawie różnicy czasu Δt pomiędzy wysłaniem a odebraniem impulsu skaner S300 oblicza dystans obiektu od skanera.

Skaner S300 umożliwia zaprogramowanie 4 różnych obszarów monitorowania składających się z pary stref: ostrzegawczej/alarmowej o promieniu 8m oraz chronionej/bezpieczeństwa, której maksymalny promień wynosi 2m. Wybór jednego z czterech obszarów monitorowania może być dokonany na 2 sposoby. Pierwszy - za pomocą zewnętrznego sterownika poprzez dedykowane linie wejściowe skanera (IN_A, IN_B). Drugi, który szczególnie nadaje się do zastosowania w pojazdach mobilnych, polega na powiązaniu wybranej strefy z aktualną prędkością platformy. Rozwiązanie to wymaga wyposażenia automatycznego pojazdu mobilnego w enkoder inkrementalny sprzężony z kołem napędowym. Sygnały A i B enkodera należy połączyć z liniami wejściowymi skanera. Uzależnienie wyboru stref od prędkości platformy jest bardzo istotne z punktu widzenia systemu bezpieczeństwa oraz parametrów funkcjonalnych platformy. Przy zwiększeniu prędkości poruszania się następuje automatyczna zmiana strefy monitorowania na większą, dzięki czemu poziom bezpieczeństwa zostaje utrzymany.

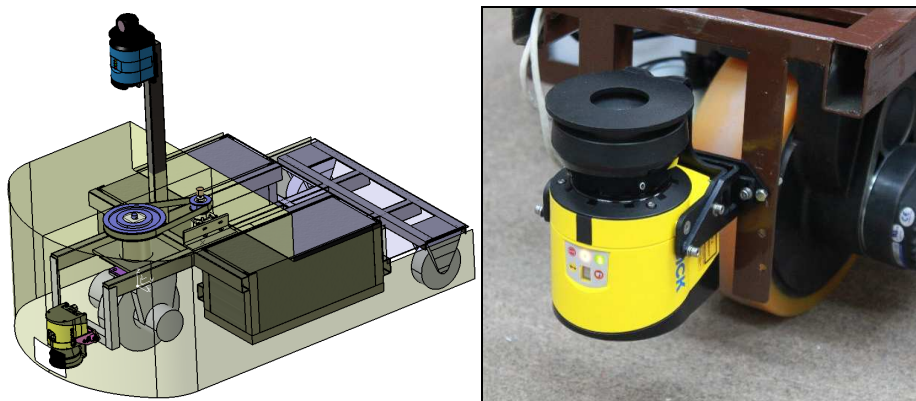
Naruszenie każdej ze stref jest odpowiednio sygnalizowane, co pozwala na podjęcie stosownych działań. W przypadku naruszenia strefy ostrzegawczej może nastąpić ograniczenie prędkości jazdy oraz włączenie sygnalizacji świetlnej i dźwiękowej. Ma to na celu zminimalizowanie negatywnych skutków zatrzymania awaryjnego, będącego następstwem naruszenia strefy ochronnej.

Programowanie pól ochronnych i ostrzegawczych odbywa się za pomocą programu SICK CDS (ang. *Configuration & Diagnostic Software*), dedykowanego do urządzeń bezpieczeństwa tej firmy. Jego główną zaletą jest przejrzystość obsługi oraz przyjazny edytor graficzny do tworzenia stref ostrzegawczych i chronionych. Na rysunku 3 przedstawiono wygląd edytora graficznego ze strefą chronioną zaznaczoną żółtym kolorem.



Rys. 3. Graficzny edytor strefy ostrzegawczej

Skaner bezpieczeństwa S300 został zamocowany z przodu prototypu automatycznego pojazdu mobilnego opracowanego w Politechnice Krakowskiej [7]. Chodziło o to, aby uzyskać maksymalny możliwy obszar monitorowania. Sposób montażu skanera na platformie mobilnej został przedstawiony na rysunku 4.

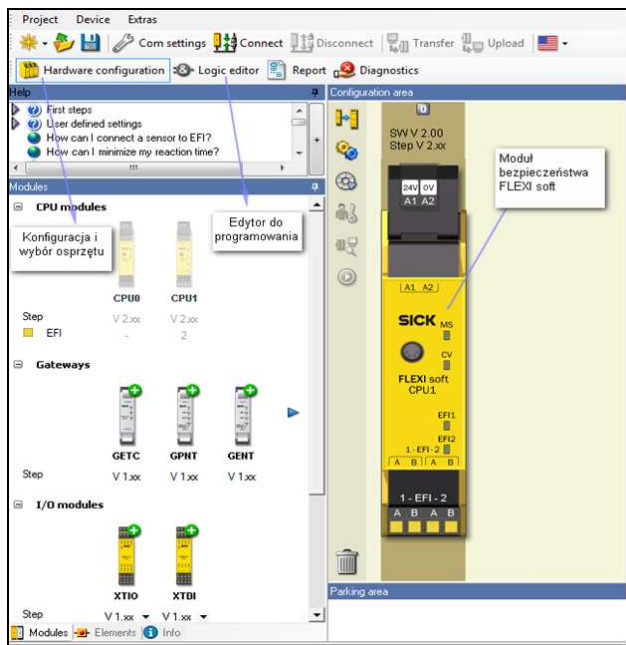


Rys. 4. Sposób montażu laserowego skanera bezpieczeństwa [7]

Kolejnym bardzo ważnym elementem systemu bezpieczeństwa jest programowalny przekaźnik bezpieczeństwa FlexiSoft. Jest on elementem reprezentującym najnowsze trendy i standardy w dziedzinie przekaźników bezpieczeństwa. Dotychczas obwód bezpieczeństwa realizowany był głównie w technologii stykowej, poprzez odpowiednie zaprojektowanie i wykonanie pętli obwodów bezpieczeństwa przechodzących kolejno przez wszystkie elementy składowe systemu (wyłączniki, przekaźniki, stacyjki, itp.). Obecnie dostępna technologia, zaimplementowana w przekaźniku FlexiSoft pozwala na znaczne uproszczenie projektowania systemu bezpieczeństwa poprzez ograniczenie do niezbędnego minimum wymaganego okablowania. Wszystkie elementy systemu podłączone są bezpośrednio do przekaźnika FlexiSoft, a zależności między nimi (pętla obwodu bezpieczeństwa) są realizowane w sposób programowy. Przekaźnik umożliwia stosowanie wielu różnych bloków logicznych i funkcyjnych pozwalając na realizację bardzo zaawansowanych funkcji bezpieczeństwa. Do programowania przekaźnika służy specjalny program FlexiSoft Designer (Rys. 5), który dodatkowo pozwala na symulację zaprojektowanego obwodu bezpieczeństwa oraz generowanie raportów.

Na aktualnym etapie prac nad prototypem automatycznego pojazdu mobilnego, jego system bezpieczeństwa składa się z następujących elementów:

1. Skaner bezpieczeństwa S300 professional.
2. Programowalny przekaźnik bezpieczeństwa FlexiSoft z modułem I/O – XTIO.
3. Wyłącznik bezpieczeństwa.
4. Stacyjka wyboru trybu pracy.
5. Przekaźnik potwierdzenia gotowości sterownika napędów jazdy oraz skrzętu.
6. Przekaźnik potwierdzenia gotowości głównego sterownika platformy mobilnej.
7. Przycisk RESET.

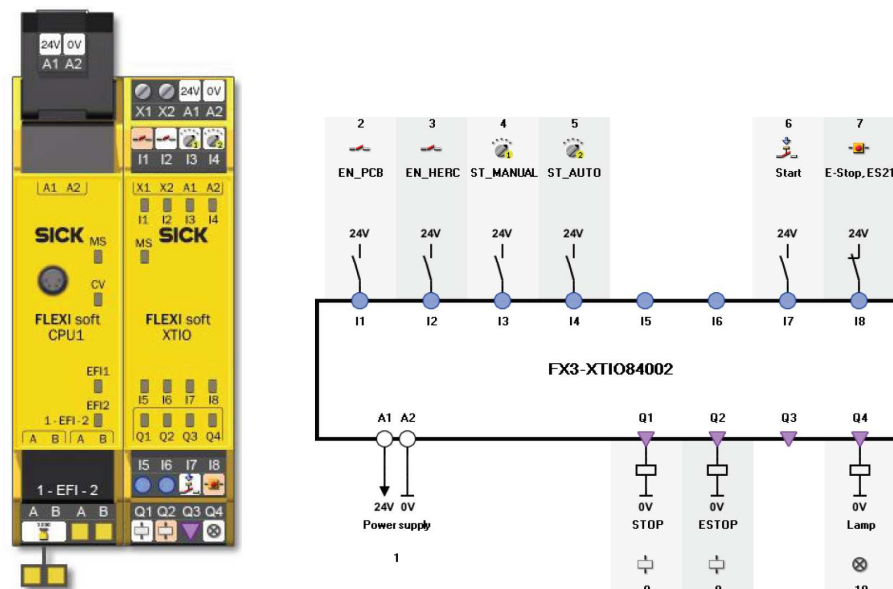


Rys. 5. Oprogramowanie narzędziowe do przekaźnika FlexiSoft

Sygnaly ze wszystkich wymienionych elementów doprowadzone są do przekaźnika (Rys. 6) FlexiSoft gdzie jest zaimplementowana funkcja bezpieczeństwa zależna od trybu pracy, nastawionego za pomocą stacyjki. Sygnaly ze skanera bezpieczeństwa podłączone są poprzez magistralę komunikacyjną EFI (ang. *Enhanced Function Interface*), a pozostałe bezpośrednio na terminale zaciskowe. Listę wszystkich sygnałów obsługiwanych przez system bezpieczeństwa przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Lista sygnałów systemu bezpieczeństwa

Nazwa sygnału	Nr. portu przekaźnika	Opis
EN_PCB	I1	Gotowość sterownika napędów
EN_HERC	I2	Gotowość sterownika głównego
ST_MANUAL	I3	Tryb ręczny
ST_AUTO	I4	Tryb automatyczny
START/RESET	I7	Start trybu pracy / reset błędu
E-STOP	I8	Wyłącznik bezpieczeństwa
WF	EFI	Strefa ostrzegawcza
PF	EFI	Strefa ochronna
STOP	Q1	Przełącznik zadawania prędkości
ESTOP	Q2	Przełącznik blokady napędu
LAMP	Q4	Sygnalizacja stanu systemu bezpieczeństwa



Rys. 6. Podłączenie sygnałów do sterownika FlexiSoft (sposób graficzny i blokowy)

Opis trybów pracy automatycznego pojazdu mobilnego.

Tryb pracy: **Stop**

Automatyczny pojazd mobilny nie ma możliwości poruszania się. Luzownik hamulca koła napędowego jest zwolniony oraz sterownik napędu nie jest zasilany (wyjścia Q1 i Q2 są w stanie niskim).

Tryb pracy: **Ręczny**

Automatyczny pojazd mobilny ma możliwość poruszania się tylko i wyłącznie w trybie ręcznym. Hamulec koła napędowego jest odblokowany, a sterownik napędu zasilany (wyjścia Q1 i Q2 w stanie wysokim). W tym trybie sygnały ze skanera bezpieczeństwa są ignorowane w celu umożliwienia ręcznego wyprowadzenia platformy ze strefy kolizyjnej, dlatego sterowanie platformą w tym trybie mimo automatycznego ograniczenia prędkości do minimalnej wymaga od operatora uwagi i szczególnej ostrożności.

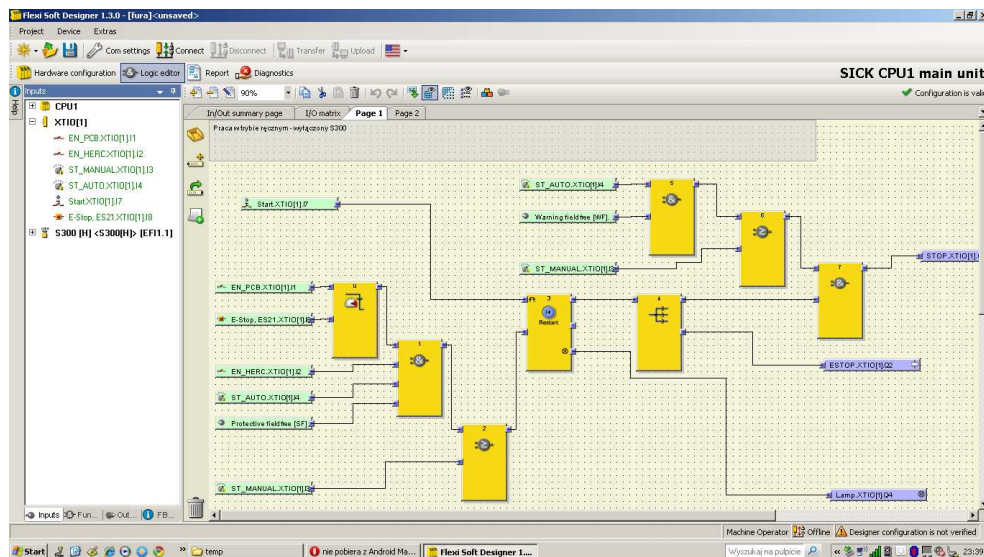
Tryb pracy: **Auto**

Automatyczny pojazd mobilny może poruszać się w trybie automatycznym pod nadzorem swojego komputera sterującego. Luzownik hamulca koła napędowego jest zwolniony, a sterownik napędu zasilany. Po spełnieniu warunków uruchomienia trybu automatycznego jest on podtrzymywany do momentu naruszenia strefy ostrzegawczej lub warunków

bezpieczeństwa. Naruszenie strefy ostrzegawczej powoduje swobodne zatrzymanie platformy mobilnej i wstrzymanie dalszej jazdy do czasu usunięcia obiektu znajdującego się w tej strefie. Monitorowanie strefy ochronnej/bezpieczeństwa jest wykonywane niezależnie. W przypadku jej naruszenia następuje automatyczne wyłączenie sterownika napędu i blokada koła napędowego poprzez załączenie hamulca. Ponowne uruchomienie trybu automatycznego może nastąpić tylko i wyłącznie po spełnieniu warunków startu i wciśnięciu przycisku RESET. Zastosowanie takiego rozwiązania podyktowane jest założeniem, że przy normalnej, prawidłowej pracy platformy mobilnej w trybie automatycznym naruszenie strefy chronionej nie powinno mieć miejsca. Jeżeli taka sytuacja wystąpiła to należy przeanalizować jej przyczyny, a przed wznowieniem pracy skontrolować stan platformy i ładunku. Zatrzymanie z dowolnej prędkości musi następować w obszarze strefy ostrzegawczej.

Przycisk awaryjnego zatrzymania jak i sygnał gotowości sterownika napędów jest monitorowany niezależnie od wybranego trybu pracy.

Uwzględniając powyższe założenia, opracowano funkcję bezpieczeństwa i zrealizowano ją za pomocą dostępnych w sterowniku bezpieczeństwa bloków logicznych AND i OR oraz bloków funkcyjnych RESET i FAST SHUT OFF (Rys. 7). Wielką zaletą przekaźnika FlexiSoft są bloki funkcyjne, w szczególności wymienione powyżej. Pozwalają one na znaczne uproszczenie pętli bezpieczeństwa. Blok funkcyjny RESET odpowiada za monitorowanie warunków startu danego trybu pracy, a FAST SHUT OFF bezzwłocznie wyłącza obwody wyjściowe przekaźnika w przypadku zaniku sygnału ze wskazanego wejścia bloku (działa na zasadzie przerwań, a nie normalnego cyklu programu, którego czas wykonania jest zależny od stopnia zaawansowania funkcji bezpieczeństwa).



Rys. 7. Implementacja funkcji bezpieczeństwa w programie Flexi Soft Designer

3. PODSUMOWANIE

Problematyka bezpieczeństwa odgrywa zasadniczą rolę w zagadnieniach transportu międzyoperacyjnego realizowanych w środowisku produkcyjnym. Życie i zdrowie ludzkie jest bezspornie najwyższą wartością, którą należy bezwzględnie chronić. Już dawno minęły czasy, kiedy człowiek był narażony na bezpośrednie niebezpieczeństwo, a unikanie tego zagrożenia spoczywało wyłącznie na jego czujności i refleksie. Współczesne rozwiązania techniczne, takie jak zaprezentowane w pracy skaner laserowy oraz programowalny przełącznik bezpieczeństwa, pozwalają na budowanie systemów bezpieczeństwa, które w sposób zasadniczy ograniczą ryzyko związane z bezpieczeństwem ludzi i urządzeń. Ma to pierwszoplanowe znaczenie w systemach zautomatyzowanych wykorzystujących autonomiczne (bezobsługowe) pojazdy mobilne realizujące zadania transportu międzyoperacyjnego.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego własnego Nr N N503 214237 pt. "Integracja rozproszonego systemu sterowania produkcją z podsystemem transportu międzyoperacyjnego zbudowanym z autonomicznych wózków mobilnych", finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2009-2011.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Flexi Soft. Modular Safety Controller Hardware. Operating instructions. http://www.sick-automation.ru/images/File/pdf/DIV02/flexi_soft_manual.pdf
- [2] Guidelines Safe Machinery – Six steps to a safe machine. http://www.sick.com/us/en-us/home/products/product_portfolio/optoelectronic_protective_devices/Pages/safety_guide.aspx, 2011
- [3] Małopolski W.: *Metoda wyznaczania dowolnych tras przejazdu obiektów systemu transportowego w środowisku symulacyjnym Arena*. Pomiar Automatyka Robotyka, Nr 2, 2011.
- [4] Safety laser scanner SICK S300. Operating instructions. <http://www.sick-automation.ru/images/File/pdf/DIV02/S300%20manual.pdf>, 2011.
- [5] Skaner laserowy kategorii 3, FF-SE Honeywell. http://www.honeywell.com.pl/pdf/komponenty_automatyki/urz_ochronne/se.pdf
- [6] Więk T.: *Laserowy system nawigacji platformy mobilnej na przykładzie skanera NAV300*. Pomiar Automatyka Robotyka, Nr 2, 2011.
- [7] Zajac J., Krupa K., Słota A., Więk T.: *Autonomiczna platforma mobilna do realizacji transportu międzyoperacyjnego – projekt wstępny*. Logistyka, nr. 6, 2010, s. 3779-3788.