Robot poruszający się po napowietrznych liniach energetycznych średniego i wysokiego napięcia

Krzysztof Giełdziński

Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Politechnika Gdańska

Streszczenie: W artykule przedstawiono innowacyjne rozwiązanie, jakim jest robot mobilny zdolny do poruszania się po napowietrznych liniach średniego i wysokiego napięcia. Omówiono wybrane aspekty środowiska, w jakim docelowo może znaleźć zastosowanie robot, jego konstrukcję mechaniczną, część elektryczno-elektroniczną oraz oprogramowanie nadzorujące pracę robota. Opisano również przeprowadzone badania weryfikacyjne na linii wysokiego napięcia.

Słowa kluczowe: robotyka, robot mobilny, linie napowietrzne, inspekcja, energetyka

DOI: 10.14313/PAR_211/84

1. Wprowadzenie

Podstawowym elementem każdego systemu energetycznego, związanego z dystrybucją energii elektrycznej, są linie przesyłowe. Można je podzielić na dwie grupy – linie kablowe i linie napowietrzne. Realizują one przesyłanie energii od miejsc wytwarzania do miejsc odbioru, stanowiąc tym samym jeden z najważniejszych aspektów bezpieczeństwa energetycznego krajów wysokorozwiniętych. Odpowiadają one za zapewnienie ciągłości i niezawodności dostaw energii elektrycznej. W związku z rosnącą z roku na rok konsumpcją energii konieczne jest nie tylko budowanie nowych elektrowni, ale także rozbudowa i zwiększenie zdolności przesyłowych systemu elektroenergetycznych linii napowietrznych. Poza tym kluczową rolę pełnią modernizacja, konserwacja oraz właściwa eksploatacja wspomnianych linii w celu zapobiegnięciu tzw. *blackoutów*, które skutkują wyłączeniem energii elektrycznej często na dużych i gęsto zaludnionych obszarach. W celu ograniczenia występowania tychże przerw opracowuje się rozwiązania w różnych obszarach techniki. Tworzone są procedury działania, nowe ulepszone systemy nadzorujące i rozwiązania techniczne przewodów elektroenergetycznych, a także rozwiązania niekonwencjonalne, takie jak na przykład roboty do prac na liniach przesyłowych [1].

W systemie energetycznym funkcjonującym w Polsce główną rolę w przesyłaniu energii odgrywają linie napowietrzne. Pomiędzy najstarsze urządzenia o nietypowym napięciu znamiono-

wym stopniowo wycofywane z eksploatacji, spotyka się i buduje następujące linie:

- linie 230/400 V, o długości kilkuset metrów, bezpośrednio zasilające budynki mieszkalne i innych drobnych odbiorców;
- linie 15 kV i 20 kV, o długości do kilkunastu kilometrów, wchodzące w skład sieci rozdzielczych dużych miast, zakładów przemysłowych i obszarów wiejskich oraz dosyłające energię do mniejszych miast i zakładów przemysłowych średniej wielkości;
- linie 110 kV, o długości do kilkudziesięciu kilometrów, dosyłające energię do GPZ (głównych punktów zasilających) większych miast i większych zakładów przemysłowych;
- linie 220 kV i 400 kV, o długości do kilkuset kilometrów, spełniające rolę linii przesyłowych pokrywających obszar całego kraju; w powiązaniu ze sprzęgającymi je stacjami tworzą system elektroenergetyczny, który łączy większe elektrownie i punkty poboru energii, a także ma połączenia z zachodnioeuropejskim systemem elektroenergetycznym.

Spotyka się również (głównie w krajach rozległych – Rosja, USA, Kanada) linie o wyższym napięciu znamionowym, np. 500 kV, 750 kV i 1200 kV prądu przemiennego [2].

Duża ilość linii energetycznych oraz ich różnorodność stwarza problemy związane z ich utrzymaniem, konserwacją i inspekcją. W związku z powyższym na całym świecie powstają różnego rodzaju konstrukcje urządzeń poruszających się po napowietrznych liniach przesyłowych energii elektrycznej. Do najbardziej znanych robotów zdolnych do przemieszczania się w omawianym środowisku należą robot Expliner japońskiej firmy Hibot i Kansai Electric Power Co. oraz robot LineScout firmy Hydro-Quebec.

Rys. 1. Robot Expliner [3]

Fig. 1. Expliner robot [3]

Pierwszy ze wspomnianych robotów – Expilner, jest konstrukcją zdolną poruszać się po dwóch wybranych liniach przesyłowych wysokiego napięcia. Podczas przemieszczania się dokonuje inspekcji i wykonuje odpowiednie pomiary, nie zważając na przeszkody pojawiające się na jego drodze. Robot Expliner potrafi pokonywać przeszkody, jakimi są różnego rodzaju zaciski i złączki, będące osprzętem linii energetycznej. Potrafi również przemieszczać się między fragmentami linii oddzielonymi słupem energetycznym. Zaawansowana metoda przenoszenia środka ciężkości robota za pomocą specjalnego ramienia oraz układ szczęk umożliwiający utrzymanie robota w miejscu, zapewnia sprawne omijanie napotkanej przeszkody – słupa czy izolatora. Jednakże wiąże się to z niedoskonałością tego robota. Konstrukcja urządzenia pozwala na sprawne poruszanie się i omijanie przeszkód, zarówno autonomicznie, jak i zdalnie, tylko na wybranych typach linii przesyłowych energii elektrycznej [4].

Drugą konstrukcją wartą krótkiego omówienia jest robot LineScout. Stanowi on znacznie bardziej rozbudowane urządzenie. Przeznaczony jest do poruszania się tylko po jednym przewodzie napowietrznym i wykonywania nie tylko inspekcji, ale także prostych czynności za pomocą zamontowanego manipulatora (np. odkręcanie lub dokręcanie śrub osprzętu linii). Robot LineScout sterowany jest przez operatora, który na bieżąco ma podgląd na to, co dzieje się wokół robota. Umożliwia to system wizyjny składający się z kilku kamer. Podobnie jak robot Expilner, LineScout potrafi omijać napotkane na linii napowietrznej przeszkody, jak na przykład zaciski, złączki, izolatory. Jednak wspomniana czynność sterowana jest przez operatora, a nie jak w poprzednio opisanej konstrukcji autonomicznie [5].

Omawiany w artykule robot powstał w odpowiedzi na brak w Polsce rozwiązań inspekcji linii napowietrznych z wykorzystaniem robotów. Stanowi on podstawę do dalszych badań i rozwoju technik inspekcyjnych tego typu. Podczas konstruowania robota nie dążono do utworzenia konstrukcji przewyższającej osiągnięcia firm z Japonii czy USA. Powodem tego była zbyt mała zdolność finansowa oraz przede wszystkim ograniczone zaplecze naukowo-techniczne twórców.

2. Przeznaczenie robota

Opracowany robot przeznaczony jest docelowo do prac związanych ściśle z energetyką – eksploatacją i utrzymaniem w należytym stanie sieci dystrybucyjnej energii elektrycznej. Robot w ramach wspomnianych prac może być wykorzystany do:

- inspekcji stanu technicznego przewodów napowietrznych, izolatorów i osprzętu elektroinstalacyjnego;
- odszraniania i odladzania przewodów napowietrznych;
- sprawdzania potencjalnych kolizji linii energetycznej z elementami otoczenia (np. gałęziami drzew);
- umieszczenia aparatu rentgenowskiego do przeprowadzania badań rdzeni przewodów.

Rys. 2. Robot LineScout [3]

Fig. 2. LineScout robot [3]

Wykorzystanie tego typu urządzenia może umożliwić ponadto zwiększenie bezpieczeństwa elektro monterów wykonujących prace powiązane z utrzymaniem linii średniego i wysokiego napięcia.

3. Część mechaniczna

Kluczową rolę w omawianym robocie odgrywa część mechaniczna. Założono, że konstrukcja urządzenia będzie wykonana w całości z blachy aluminiowej o grubości 4 mm, jej masa nie powinna przekraczać 20 kg i powinna umożliwiać swobodne manipulowanie przez jedną osobę oraz gwarantować łatwość umieszczenia na linii energetycznej. Ponadto jej zadaniem jest stanowanie podstawy dla układów napędowych, mechanizmu poruszania ramion oraz

wszelkich układów elektrycznych i elektronicznych.

Konstrukcję nośną podzielono na 3 zasadnicze części:

- podstawę robota wraz z obudowami elementów elektrycznych i elektronicznych;
- wózek napędowy;
- ramiona robota.

Pracę nad projektem konstrukcji nośnej rozpoczęto od zamodelowania istniejących elementów, jakie miały wchodzić w skład konstrukcji robota. Należą do nich: silniki, łożyska, przeguby kulowe, śruba trapezowa, nakrętka pociągowa, bloki montażowe śruby trapezowej, koła pasowe, sprężyny naciągowe, uchwyt robota. Modele poszczególnych elementów posłużyły do utworzenia modelu 3D całego robota. Model wraz z opisem poszczególnych elementów został przedstawiony na rys. 3.

Kolejnym istotnym elementem wchodzącym w skład części mechanicznej są układy napędowe. Pierwszy z nich odpowiada za przemieszczanie robota po linii energetycznej. Został on opracowany z wykorzystaniem silnika prądu stałego o mocy 80 W i napięciu znamionowym 40 V. Drugi układ napędowy realizuje ruch ramion, do góry i w dół, w celu docięnięcia rolek podporowych do przewodu. W tym układzie napędowych zastosowano również silnik prądu stałego, lecz o nieco mniejszej mocy – 50 W i napięciu znamionowym 40 V.

Układ służący do poruszania robota po linii energetycznej oprócz wspomnianego silnika składa się z przekładni ślimakowej oraz odpowiedniego układu kół zębatach, tworzących wraz z paskiem napędowych przekładnię pasową. Ponadto ważną rolę odgrywają rolki napędowe wykonane z tworzywa sztucznego – poliamidu, umieszczone na specjalnie przygotowanych wałkach i odpowiednio łożyskowane. Na rys. 4 przedstawiono model opisywanego układu napędowego.

Drugi układ napędowy został również wyposażony w przekładnię ślimakową. Ruch ramion realizowany jest za pomocą pociągowej śruby z gwintem trapezowym. Śruba ta jest napędzana z wyjścia przekładni silnika poprzez przekładnię pasową zębatą. Poruszanie ramion odbywa się za pomocą cięgien aluminiowych, łączących za pośrednictwem przegubów ramiona robota z nakrętką na śrubie trapezowej. Ruch nakrętki w górę

Rys. 3. Model 3D robota
Fig. 3. 3D model of robot

powoduje składanie się ramion (ruch ramion w górę – dociskanie do linii), natomiast ruch nakrętki w dół – rozkładanie.

Na podstawie tak przygotowanych modeli 3D wykonano fizyczny prototyp robota w skali 1:1. Na rys. 5 i 6 został przedstawiony efekt prac konstrukcyjnych i montażowych (z zamontowanym całym osprzętem elektrycznym i elektronicznym).

4. Część elektryczna i elektroniczna

Istotnym fragmentem omawianego robota jest część elektryczna i elektroniczna. Została ona wykonana w pełni samodzielnie tak, aby spełniać założoną funkcjonalność urządzenia. Na rys. 7 przedstawiono ogólny schemat blokowy układu elektryczno-elektronicznego.

Na schemacie zaznaczono najważniejsze elementy składowe układu elektronicznego robota. Poszczególne kolory odpowiadają:

- morelowy – główny mikrokontroler sterujący STM32 F4;
- żółty – elementy elektroniczne znajdujące się na płycie bazowej robota;
- zielony – peryferia robota, urządzenia zewnętrzne, które nie są montowane na płycie bazowej.

W celu realizacji układu elektryczno-elektronicznego zaprojektowano, a następnie wykonano płytę bazową (rys. 8). Umieszczono na niej m.in.: podstawę do zamontowania płyty ewaluacyjnej STM32F4 Discovery, układy przygotowania zasilania (m.in. przetwornica napięcia), układy pomiaru prądów silników i napięcia pakietu baterii, układy mostków H, realizujące sterowanie napędami.

Układem odpowiedzialnym za kontrolę pracy całego robota jest mikrokontroler STM32F407VGT6 umieszczony na płycie ewaluacyjnej Discovery. Jest to mikrokontroler, który wyposażony jest w rdzeń ARM Cortex M4, 1 MB pamięci typu Flash, 192 kB pamięci RAM, obsługuje interfejsy USB, USART, UART, SPI i CAN [6]. Realizuje on sterowanie i nadzo-

Rys. 4. Model 3D układu napędowego ruchu robota

Fig. 4. 3D model of the drive system robot movement

rowanie pracą całego robota. To właśnie na nim został zaimplementowany program sterujący i serwer do komunikacji ze stacją operatorską.

Ważnymi elementami układu elektronicznego są mostki H wykonane na tranzystorach MOSFET z kanałem typu n. Realizują one sterowanie prędkością i kierunkiem obrotu silnika napędu głównego i silnika ruchu ramion. Regulacja prędkości odbywa się z wykorzystaniem popularnej metody modulacji szerokości impulsów – PWM (ang. *Pulse Width Modulation*). Sygnał PWM generowany jest na odpowiednim wyjściu mikrokontrolera i przekazywany do układu sterującego (drivera) mostka H.

Sprężenie zwrotne, informujące o pracy silnika (prędkość obrotowa, pobierany prąd) realizowane jest z wykorzystaniem odpowiednich sensorów. Za pomiar prędkości odpowiada optyczny przetwornik obrotowo-impulsowy inkrementalny. Natomiast za pomiar prądu, jaki pobierany jest przez silnik, odpowiedzialny jest układ ACS712, wykorzystujący w tym celu zjawisko Halla.

Realizacji komunikacji bezprzewodowej między robotem a aplikacją sterującą dokonano z wykorzystaniem routera szerokopasmowego. W celu podłączenia układu STM32F4 z routerem skorzystano z dostępnego na rynku modułu komu-

Rys. 5. Ukończony prototyp robota
Fig. 5. Completed of robot

Rys. 6. Ukończony prototyp robota
Fig. 6. Completed prototype of robot

Rys. 7. Schemat blokowy układu elektryczno-elektronicznego robota
Fig. 7. Block diagram of the electro-electronic robot part

nikacyjnego z układem DP83848C. Moduł ten realizował tym samym warstwę fizyczną w komunikacji Ethernet.

Za sprzężenie zwrotne z otoczeniem robota odpowiadają czujniki ultradźwiękowe HC-SR04 oraz kamera. Czujniki ultradźwiękowe zostały zamontowane zarówno z przodu, jak i z tyłu robota. Umożliwiają one wykrywanie przeszkód w odległości do 4 m. Realizują tym samym zabezpieczenie robota przed kolizją, np. z izolatorem lub gałęzią, która zawisa na linii energetycznej. Kamera natomiast umożliwia operatorowi robota obserwację tego, co dzieje się przed robotem oraz dzięki niej może być wykonywana inspekcja czy to samej linii, czy też osprzętu.

Zasilanie całego urządzenia realizowane jest z wykorzystaniem samodzielnie zmontowanych dwóch pakietów akumulatorów litowo-jonowych, z których każdy ma napięcie 18,5 V oraz pojemność 3 Ah. Połączenie szeregowe tych pakietów umożliwia dysponowanie napięciem o wartości 37 V (bezpośrednio po naładowaniu napięcie ma wartość 41 V). Taka wartość w zupełności wystarcza, aby zasilac występujące w robocie napędy. Pojemność zastosowanych pakietów umożliwia około godzinną ciągłą pracę robota. Poziom naładowania baterii mierzony jest z wykorzystaniem przetwornika A/C wbudowanego w mikrokontroler STM32F4. Informacja o stanie baterii wysyłana jest na bieżąco do aplikacji sterującej.

5. Oprogramowanie i komunikacja

System sterowania robotem (rys. 10) został podzielony na dwie zasadnicze części:

- program sterujący zaimplementowany na platformie sprzętowej – mikrokontroler STM32F4 (napisany w języku C++)
- układ sterowania;
- aplikacja sterująca na komputerze klasy PC (napisana w języku C#) – interfejs użytkownika.

Za wymianę danych między wspomnianymi częściami systemu sterowania odpowiada bezprzewodowa sieć lokalna zbudowana z wykorzystaniem technologii Wi-Fi.

Program sterujący, zaimplementowany na platformie sprzętowej realizuje następujące czynności:

- obsługę czujników ultradźwiękowych;
- obsługę enkoderów napędów robota;
- obsługę komunikacji;
- obsługę napędów (m.in. realizację regulatorów PID);
- obsługę innych peryferii (włączniki krańcowe, kluczyk STOP, przycisk ręcznego sterowania ramion);
- wykonywanie pomiarów (prądy silnika, napięcie pakietów akumulatorów).

Strukturę programu sterującego zaimplementowanego na mikrokontrolerze STM przedstawiono na rys. 11.

Rys. 8. Płyta bazowa robota
Fig. 8. Robots main board

Rys. 9. Struktura systemu sterowania
Fig. 9. Structure of control system

W celu realizacji powyższych zadań w układzie sterowania znajdują się elementy (kod w języku C++) związane z:

- obsługą portów wejścia/wyjścia;
- obsługą systemu przerwań;
- obsługą timerów;
- obsługą przetworników analogowo-cyfrowych;
- generacją sygnałów PWM;
- obsługą stosu TCP/IP;
- obsługą interfejsu ethernetowego.

Drugą częścią systemu sterowania robotem jest interfejs użytkownika. Głównymi założeniami jakie zostały przyjęte w jego realizacji były:

- komunikacja wykorzystująca protokół TCP/IP (ang. *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) oraz model klient-serwer;
- wielowątkowość;
- wyposażenie w panel operatorski (graficzny interfejs użytkownika).

Osobne wymagania sformułowano dla panelu operatorskiego. Oczekuje się, aby:

- był czytelny, przejrzysty, intuicyjny i łatwy w obsłudze;
- zawierał okno pomocy, w którym operator znajdzie potrzebne informacje, dotyczące użytkownika robota;
- umożliwiał połączenie i rozłączenie się z robotem;
- gwarantował sterowanie ruchem robota (uruchomienie, zatrzymanie, wybór kierunku jazdy, płynną zmianę prędkości) oraz ruchem ramion (składanie i rozkładanie);
- zawierał informacje o aktualnym stanie robota, baterii, połączenia, przebytej odległości oraz o stanie czujników ultradźwiękowych;
- umożliwiał płynne nastawianie zakresu wykrywania przeszkód przez czujniki ultradźwiękowe – odległości, przy której robot ma się zatrzymać;
- umożliwiał włączenie podglądu z kamery umieszczonej na robocie.

Okno głównego panelu operatorskiego zostało przedstawione na rys. 12.

Bardzo ważnym aspektem w omawianym robocie jest komunikacja między aplikacją sterującą a programem sterującym. W celu wymiany danych wykorzystano dobrze znany model komunikacyjny – architekturę klient-serwer. Komunikacja wykorzystująca model klient-serwer polega na wysyłaniu przez klienta zapytań (żądań) o realizację określonej usługi. Serwer zaś realizuje ją i odpowiada klientowi na otrzymane od niego komunikaty [7].

Utworzenie komunikacji, wykorzystującej model klient-serwer, było możliwe po wcześniejszym zaimplementowaniu na mikrokontrolerze STM modelu warstwowego ISO/OSI. Implementacja ta

odbyła się z wykorzystaniem ogólnodostępnej biblioteki lwIP, rozpowszechnianej na licencji BSD (ang. *Berkeley Software Distribution Licence*). Biblioteka lwIP zawiera w sobie zaimplementowane m.in. protokoły: IP, TCP (ang. *Transmission Data Protocol*), UDP (ang. *User Datagram Protocol*), ARP (ang. *Address Resolution Protocol*), ICMP (ang. *Internet Control Message Protocol*), DHCP (ang. *Dynamic Host Configuration Protocol*), PPP (ang. *Point-to-Point Protocol*).

6. Badania weryfikacyjne

Zaprojektowany i wykonany praktycznie prototyp robota mającego docelowo poruszać się po napowietrznych liniach energetycznych został poddany badaniom weryfikacyjnym. Wspomniane badania składały się z kilku etapów.

Pierwszym etapem, po wykonaniu całej konstrukcji oraz układów elektrycznych i elektronicznych, było sprawdzenia poprawności działania robota poza środowiskiem pracy. Testy odbywały się na ziemi i polegały w głównej mierze na sprawdzeniu poprawności działania poszczególnych podzespołów oraz oprogramowania realizującego ich obsługę.

Rys. 10. Ogólna struktura programu sterującego na platformie sprzętowej – STM32F4
Fig. 10. The general structure of the control program on the hardware platform – STM32F4

Rys. 11. Okno głównego panelu operatorskiego
Fig. 11. Main window of the operations panel

Kolejnym etapem badań weryfikacyjnych było umieszczenie robota na specjalnie przygotowanym stanowisku badawczym. Zostało ono zrealizowane za pomocą liny żeglarskiej o przekroju zbliżonym do przekroju najczęściej spotykanych linii napowietrznych średniego napięcia. Lina została zamieszona na wysokości około 1,3 m od powierzchni ziemi (rys. 13).

Po przeprowadzeniu opisanych badań i zakończeniu ich pozytywnie, przystąpiono do ostatniego etapu. Polegał on na sprawdzeniu działania robota na rzeczywistej linii wysokiego napięcia czyli miejscu, w którym docelowo miałyby się poruszać. Do tego celu wybrano Międzynarodowe Centrum Szkolenia Energetyki w Straszynie stanowiące pewnego rodzaju poligon energetyczny. Na jego wyposażeniu znajdują się fragmenty linii napowietrznych niskiego, średniego i wysokiego napięcia (przewody, izolatory, słupy i pełen osprzęt linii elektroenergetycznej). W celu zweryfikowania poprawności działania wybrano odcinek linii napowietrznej wysokiego napięcia – 110 kV i słup kratowy przelotowy. Fragment ten był wyłączony spod napięcia.

W ramach przeprowadzonych testów zrealizowano docelowy scenariusz pracy robota. Po dotarciu na miejsce inspekcji linii energetycznej przygotowano miejsce dla operatora urządzenia. Następnie załączono zasilanie robota oraz uruchomiono interfejs użytkownika. Po poprawnym nawiązaniu połączenia bezprzewodowego przystąpiono do umieszczenia robota na linii. Dokonano tego z wykorzystaniem trzech elektromonterów – dwóch znajdujących się na słupie i jednego na ziemi. Robot został przetransportowany na wysokość ok. 16 m za pomocą linki pomocniczej. Następnie elektromonter na słupie zamontował robota z uprzednio rozłożonymi ramionami (upuszczonymi) na wybranym wcześniej przewodzie energetycznym. Urządzenie zostało zawieszona na układzie napędowym – rolkach napędowych i od tego momentu reszta działań zależała od operatora znajdującego się na ziemi. Jego pierwszą czynnością było złożenie ramion. Ramiona składały się do momentu uzyskania odpowiedniego docisku rolek do przewodu. Siła docisku regulowana jest za pomocą programowego ograniczenia prądu silnika ruchu ramion. Wartość wspomnianego prądu została dobrana na podstawie wielu testów. Dodatkowy docisk wózka jezdnych z układem napędowym i ramion do linii energetycznej został zapewniony za pomocą sprężyn naciągowych (widocznych na rysunkach przedstawiających robota). Tak przygotowany mechanizm dociskania robota do przewodu umożliwił wyeliminowanie jakichkolwiek poślizgów, a co za tym idzie przekłamań

w pomiarze przebytej przez robota drogi (pomiar wykonywany za pomocą przetwornika obrotowo-impulsowego).

Kolejną czynnością było włączenie z poziomu panelu operatorskiego systemu wizyjnego. Następnie operator ustawił odległości wykrywania przeszkód przez czujniki ultradźwiękowe oraz nastawił prędkość poruszania się i wybrał kierunek jazdy robota. Po wspomnianych intuicyjnych czynnościach możliwe było wprowadzenie urządzenia w ruch (przycisk „START” na panelu). W trakcie poruszania się robota po linii płynnie sterowano prędkością robota i jego kierunkiem jazdy. W miarę zbliżania się robota do przeszkody (w omawianym przypadku izolatora lub elektromontera) robot zatrzymywał się na ustawionej przez operatora odległości.

Zakończenie prac inspekcyjnych polegało na przejeździe robota do elektromontera, zaczepieniu linki pomocniczej a następnie rozłożeniu ramion do pozycji dolnej. Tak przygotowanego robota można było przetransportować z powrotem na ziemię.

Przeprowadzone na poligonie energetycznym badania weryfikacyjne przebiegły pomyślnie i dały pozytywny wynik. Wszystkie funkcjonalności robota sprawdziły się i nie spowodowały żadnych problemów zarówno operatorowi znajdującemu się na ziemi, jaki i elektromonterom na słupie.

7. Podsumowanie

Prezentowany w artykule robot jest rozwiązaniem nowatorskim na skalę kraju. Może znaleźć zastosowanie w wielu aspektach związanych z utrzymaniem i diagnozowaniem stanu linii energetycznych i ich osprzętu. Opisane urządzenie ma podobną funkcjonalność, jak rozwiązania amerykańskich i japońskich firm.

Jedynym ograniczeniem, jakie dotyczy tego typu konstrukcji jest fakt, że robot nie może przenosić się samodzielnie między przęsłami linii przesyłowej. Przeszkodą nie do pokonania przez tego typu urządzenia są izolatory i elementy konstrukcyjne do zawieszania przewodów. Rozwiązanie wspomnianego problemu może stać się tematem dalszych prac nad rozwojem opisanego robota. Pokonanie tej trudności umożliwi osiągnięcie konkuren-

Rys. 12. Badania weryfikacyjne na specjalnie przygotowanym stanowisku badawczym

Fig. 12. Verification tests on a special test stand

Rys. 13. Umieszczenie robota na linii elektroenergetycznej

Fig. 13. Putting the robot on the power line

cyjności na rynku. Innym tematem do rozważenia i dalszego rozwoju może być wyposażenie robota w przyrządy do specjalistycznego diagnozowania przewodów energetycznych. Takimi przyrządami mogłyby być aparat rentgenowski do prześwietlania rdzeni przewodów lub kamery termowizyjne. Dalsze prace nad przedstawionym robotem mogą być skierowane w stronę większej autonomiczności urządzenia. Konstrukcja mogłaby wtedy samodzielnie dokonywać inspekcji odcinka linii, a po zakończeniu pracy wracać do miejsca, gdzie znajduje się elektromonter lub przenosić się na kolejny odcinek (omijając izolatory lub słupy). Warte uwagi jest sprawa sposobu komunikacji. W aktualnej wersji robota wykorzystywana jest komunikacja bezprzewodowa Wi-Fi, której zasięg jest znacznie ograniczony. W celu zapewnienia redundancji komunikacji i zwiększenia zasięgu warto wykorzystać np. technologię GSM. Dodatkowo robot może być wyposażony w system GPS, dzięki któremu znane byłoby jego dokładne położenie oraz miejsca, w których dokonał już inspekcji.

Jak widać, istnieje wiele kierunków rozwoju opisanego w artykule robota. Powstała w ramach pracy inżynierskiej konstrukcja stanowi jedynie podstawę do dalszego rozwoju i badań. Może stać się polską alternatywą dla zagranicznych dostępnych już od kilku lat konstrukcji.

Przedstawiony robot mobilny poruszający się po napowietrznych liniach energetycznych został zaprojektowany, wykonany oraz zweryfikowany w docelowym miejscu pracy w ramach pracy inżynierskiej [8] realizowanej na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej przez inż. Krzysztofa Giełdzińskiego oraz inż. Roberta Przystalskiego. Opiekunem pracy był dr inż. Mariusz Dąbkowski. Praca została doceniona i uzyskała I nagrodę w VI Ogólnopolskim Konkursie Prac Dyplomowych Młodzi Innowacyjni 2014.

Bibliografia

1. Knych T., *Elektroenergetyczne przewody napowietrzne. Teoria – Materiały – Aplikacje*. Wydawnictwo AGH, Kraków 2000.

2. Musiał E., *Instalacje i urządzenia elektroenergetyczne*. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne Spółka Akcyjna. Warszawa 1998.
3. [<http://spectrum.ieee.org/robotics/industrial-robots/robotic-tightrope-walkers-for-shighvoltage-lines>] – IEEE Spectrum.
4. [www.hibot.co.jp/en/products/robots_1/expliner-robot-for-power-line-inspection_12] – HiBot.
5. [www.hydroquebec.com/innovation/en/pdf/2010G080-02A_LineScout.pdf] – Hydro-Quebec.
6. Nota katalogowa zestawu ewaluacyjnego STM32 F4 Discovery.
7. Peczarski M., *Mikrokontrolery STM32 w sieci Ethernet w przykładach*. Wydawnictwo BTC. Legionowo 2011.
8. Giełdziński K., Przystalski R., *Projekt i budowa robota mobilnego poruszającego się po napowietrznych liniach energetycznych średniego i wysokiego napięcia*, Praca inżynierska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2013. ■

Mobile robot moving on the overhead power line medium and high voltage

Abstract: Article is devoted to presenting innovative solution, which is a mobile robot capable of navigating the overhead lines of medium and high voltage. Design and construction of said device is a result of engineering Eng. Krzysztof Giełdziński and Eng. Robert Przystalski. The paper presents selected aspects of the environment in which ultimately would have found the use of the robot, the mechanical, structure, electric-electronic part and the part related to the software. Describes also the verification tests on high-voltage lines.

Keywords: robotics, mobile robot, overhead lines, inspection, energy

Artykuł recenzowany, nadesłany 17.05.2014 r., przyjęty do druku 10.08.2014 r.

inż. Krzysztof Giełdziński

Student I roku studiów drugiego stopnia na kierunku Automatyka i Robotyka na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. W 2014 r. uzyskał tytuł inżyniera na kierunku Automatyka i Robotyka o specjalności Robotyka i Systemy Mechatroniki. Od 2013 r. prezes Naukowego Koła Studentów Automatyki. Główne zainteresowania to: automatyka i robotyka przemysłowa oraz algorytmy genetyczne.

e-mail: krzysztofgielczynski@gmail.com