Doskonalenie Kadr Gospodarki

Akademia Energetyki

PRACE POD NAPIĘCIEM

Szkolenie dla prac pod napięciem przy urządzeniach i instalacjach elektroenergetycznych

Projekt jest współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, realizowany pod nadzorem Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości

ZIAD BIELSKO - BIAŁA Spółka Akcyjna

POLSKA AGENCJA ROZWOJU PRZEDSIĘBIORCZOŚCI
POLISH AGENCY FOR ENTERPRISE DEVELOPMENT

Sesja 7

Prace pod napięciem przy urządzeniach i instalacjach elektroenergetycznych

Wykładowcy:
inż. Stanisław Cader, mgr inż. Bogumił Dudek, inż. Roman Fober,
mgr inż. Tadeusz Gontarz, mgr inż. Witold Wiśniewski

Wykład osiemnasty

Zaastosowanie robotyzacji i technik sztucznej inteligencji w eksploatacji sieci elektroenergetycznej pod napięciem

Problematyka robotyzacji prac sieciowych była już poruszana w ramach *Akademii Energetyki*, pierwszy raz w wykładzie sesji 2, *Energetyka* nr 2/2005 oraz w niniejszej sesji, w wykładzie 3, *Energetyka* nr 1/2006. Tematyka ta, uzupełniona informacjami nt. technik sztucznej inteligencji [1–2], stanowi ciekawą perspektywę eksploatacji sieci w najbliższej przyszłości. Poszukiwaniami coraz bardziej wydajnych technik wspomagających prace pod napięciem od ponad ćwierćwiecza zajmują się kraje takie, jak: Japonia, Kanada, USA, Hiszpania oraz Włochy. W ostatnich kilku latach odnotowuje się znaczący wzrost zainteresowania robotyzacją w pracach pod napięciem w Argentynie, Brazylii i Chinach. W Chinach powstają nowe roboty, natomiast w Argentynie i Brazylii łączy się z powodzeniem pewne elementy istniejących robotów opisywanych w literaturze z tradycyjnymi metodami prac pod napięciem.

Obszerne przeglądy robotów i zrobotyzowanych usług stosowanych w pracach pod napięciem na świecie potwierdzają opłacalność wykorzystania robotów do różnych typów prac pod napięciem. We wspomnianych już publikacjach podano najważniejsze pojęcia z dziedziny robotyzacji.

Również w [3] dokonano przeglądu najważniejszych nowości z dziedziny zrobotyzowanych usług i urządzeń do prac pod napięciem. Nowości z dziedziny robotyzacji prezentowano na VII Konferencji ICOLIM w 2004 r. Od tego czasu odnotowano dalszy postęp w dziedzinie robotyzacji, prezentowany m.in. na konferencjach ICOLIM i ESMO w 2006 roku oraz w wielu publikacjach uwzględniających rolę sztucznej inteligencji (SI) w robotyzacji i automatyzacji procesów zachodzących w energetyce.

W Polsce jest to temat wciąż niedoceniany, jednak z uwagi na przewidywaną budowę elektrowni atomowej[1)], poszukiwania efektywnych technologii napraw sieci przesyłowej i dystrybucyjnych wart jest regularnych obserwacji i oceny.

Od telesterowania do autonomicznych robotów

Sposób wykonywana zadań przez człowieka i robota znacząco się różni. Ludzie wykonują prace w sposób elastyczny i często niekonsekwentny, roboty – przeciwnie.

Dynamiczny rozwój robotyki i metod sztucznej inteligencji spowodował udoskonalenie elastyczności maszyn w działaniu, lecz nadal w pętli sterowania robota niezbędna jest asysta człowieka. Do prac eksploatacyjnych stosuje się roboty autonomiczne,

[1)] W elektrowniach atomowych zastosowano wiele typów robotów, które były nieocenioną pomocą podczas usuwania awarii (Rosie w *Three Mile Island*, Pioneer w *Czarnobylu*) i realizacji prac blisko źródeł silnego promieniowania; do inspekcji prętów paliwowych reaktorów stosowano roboty podwodne.

roboty obsługiwane przez człowieka (teleroboty) oraz roboty zdalnie sterowane (telesterowanie). Duży wpływ na rodzaj stosowanego robota mają dwa czynniki związane ze środowiskiem pracy; są to różnorodność oraz dostępność.

Autonomiczne roboty nadal nie potrafią pracować niezawodnie w wielu dynamicznie zmieniających się środowiskach, dlatego też wymagają udziału człowieka bądź zdalnego sterowania. Środowiska charakteryzujące się utrudnionym dostępem dla człowieka (ze względu na zagrożenia lub fizyczne ograniczenia) są zazwyczaj polem do popisu dla robotów. Natomiast w środowiskach charakteryzujących się ponadto dużą zmiennością środowiska, najlepszym rozwiązaniem jest zazwyczaj zdalne sterowanie robotów przez człowieka. Dopóki nie nastąpi znaczący postęp w pracach nad robotami autonomicznymi, dopóty zaangażowanie człowieka w kooperację z robotami musi wzrastać wraz z rosnącą zmiennością środowiska.

Na rysunku 1 przedstawiono powyższą zasadę: tam gdzie zmienność jest mała, najbardziej efektywne są roboty autonomiczne, a zaangażowanie człowieka sprowadza się do poziomu strategicznego, czyli podejmowania decyzji.

W środowiskach o dużej zmienności w szerokim zakresie udział człowieka i jego zdolność podejmowania decyzji mają nie mniejsze znaczenie, choć człowiek musi przejmować na siebie sporą odpowiedzialność. Na najniższym poziomie człowiek jest odpowiedzialny za dopuszczenie do wykonywania przez robota pewnych czynności – jest to poziom zdalnego sterowania.

Roboty obsługiwane przez człowieka (teleoperatora) łączą w sobie zalety robotów autonomicznych oraz telesterowania robotów przy udziale człowieka w pętli sterowania. Takie powiązanie pozwala teleoperatorom na bardziej wydajne wykonywanie prac, a autonomicznym robotom pozwala lepiej radzić sobie ze zmiennym środowiskiem.

Na rysunku 1a przedstawiono zależność pomiędzy zmiennością środowiska a poziomem odpowiedzialności człowieka dla różnych typów robotów, a na rysunku 1b powiązanie typowych zadań eksploatacyjnych na tle różnego rodzaju robotyzacji. Ze względu na procedury inspekcji najczęściej wykorzystywane są do jej przeprowadzania roboty autonomiczne.

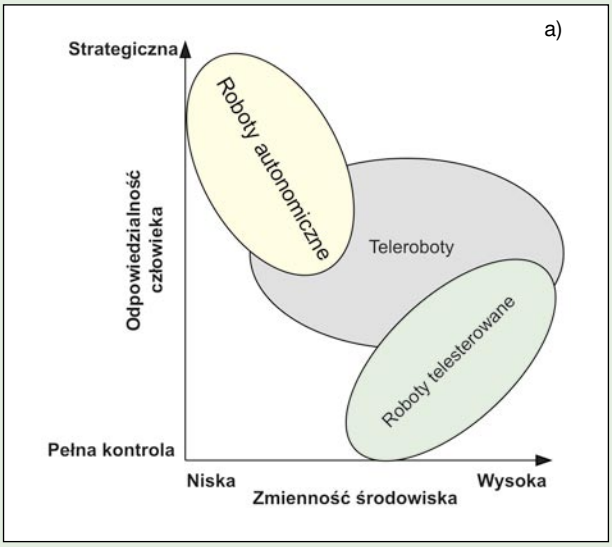
Planowane zabiegi eksploatacyjne z powodu interakcji ze środowiskiem wymagają zastosowania robotów obsługiwanych przez człowieka.

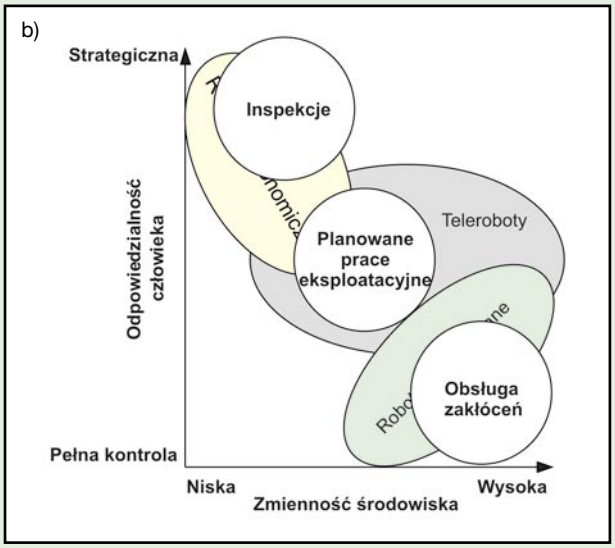
Obsługa zakłóceń, ze względu na swój nieprzewidywalny charakter, wymaga zastosowania robotów sterowanych zdalnie.

Na podstawie powyższego przeglądu rodzajów robotów stosowanych do poszczególnych zadań eksploatacyjnych można przedstawić kilka kierunków rozwoju robotyki w pracach eksploatacyjnych. Należą do nich prace nad: sterowaniem komputerowym, wirtualną rzeczywistością, rosnącą integracją sensorów i ich rosnącą czułością.

Sztuczna inteligencja w robotyce

Zauważalny w ostatnich latach dynamiczny rozwój prac nad sztucznymi sieciami neuronowymi, logiką rozmytą oraz algorytmami genetycznymi otworzył przed sektorem energetycznym nowe, bardzo ciekawe perspektywy dotyczące zastosowań zarówno programowych, jak i sprzętowych (roboty). Metody sztucznej inteligencji są wykorzystywane m.in. przy krótkoterminowym prognozowaniu zapotrzebowania na energię elektryczną, sterowaniu procesami w elektrowniach, planowaniu sieci elektroenergetycznych oraz gromadzeniu i selekcji informacji. Roboty mobilne mogą być wykorzystywane w pracach eksploatacyjnych jak i w pracach pod napięciem oraz przy diagnostyce i inspekcji na stacjach elektroenergetycznych [2].





Rys. 1. Zastosowania różnego typu robotów w zależności od zmienności środowiska, z określeniem wagi odpowiedzialności człowieka [1]

Roboty pozyskują wiedzę z otoczenia dzięki wykorzystaniu wszelkiego rodzaju czujników, systemów wizyjnych oraz kamer. Informacje pochodzące z otoczenia pozyskiwane przy wykorzystaniu tych systemów stanowią informacje wejściowe, które następnie są przetwarzane i interpretowane przez oprogramowanie. Dzięki współpracy nowoczesnego oprogramowania i coraz doskonalszych urządzeń wykonujących polecenia tychże programów można mówić o inteligentnych maszynach.

Jedną z cech robota, świadczącą o jego niezależności, jest autonomiczność, czyli zdolność do samorzutnego przystosowania się do niespotykanych wcześniej sytuacji środowiskowych. Poniekąd z autonomicznością robota można wiązać jego inteligencję. Słuszność przypisywania robotom zachowań inteligentnych wykazuje się dzięki porównaniu kilku podstawowych rodzajów inteligencji z cechami, którymi obdarzone są urządzenia składowe robota [1]. Do najczęściej stosowanych metod SI w robotach należą: sztuczne sieci neuronowe, logika rozmyta oraz *Data Mining*. W tabeli 1 przedstawiono kilka podstawowych zastosowań tych metod w robotach.

Tabela 1

Przykłady zastosowań metod SI w robotach [1]

Sztuczne sieci neuronowe	Logika rozmyta
• wyznaczanie trajektorii ruchu	• sterowanie prędkością obrotową silników
• sterowniki (kontrolery) manipulatorów	• pominięcie kamery i tym samym bazowanie na zdobytych wcześniej zdjęciach
• lokalizatory przeszkód	**Data Mining**
• systemy wizyjne	• identyfikacja i klasyfikacja obiektów widzianych okiem kamery – przy wykorzystaniu informacji statystycznych o cechach i klasach grup obiektów
• identyfikacja obrazów (twarzy) i obiektów (sylwetek)	
• detekcja ruchów z otoczenia	• podejmowanie decyzji – przy wykorzystaniu drzew decyzyjnych
• eliminacja szumów spowodowanych ruchem oraz odgłosów dochodzących z otoczenia	

Metody SI – realizacja sprzętowa

Postęp technologiczny oraz zauważalny spadek cen mikrokontrolerów powodują, że coraz częściej są one wykorzystywane do sterowania robotami zamiast stosowanych układów logicznych i analogowych. Głównymi zaletami mikrokontrolerów w porównaniu z układami logicznymi są: kilkukrotnie mniejsze zużycie prądu, prostsza budowa, łatwiejszy proces produkcyjny oraz łatwość w rozbudowie mikrokontrolera, sprowadzająca się do zmiany jego oprogramowania.

Najczęściej spotykanymi w robotach mikrokontrolerami są rodziny typu 8051. Szybki rozwój techniki mikrokontrolerów powoduje, że ich programowanie nie ogranicza się już jedynie do języka Asembler. Coraz więcej mikrokontrolerów oferuje obecnie kompilatory języków wyższego poziomu, tj. języka C++, PASCAL czy też BASIC. W językach tych możliwe jest implementowanie rozwiązań z zakresu sieci neuronowych oraz logiki rozmytej.

Jednym z przykładów możliwości zaimplementowania algorytmów logiki rozmytej w postaci sprzętowej jest zastosowanie jednostki decyzyjnej (*Decision Processor*) [1]. Oprócz zastosowań z zakresu SI, sterowanie prędkością obrotową silników stosowanych w robotach może odbywać się przy zastosowaniu modulacji szerokości impulsów. Realizacja sprzętowa tego rodzaju sterowania możliwa jest m.in. dzięki zastosowaniu procesorów sygnałowych (*Digital Signal Processors*).

Planowanie trajektorii robotów z wykorzystaniem metod SI

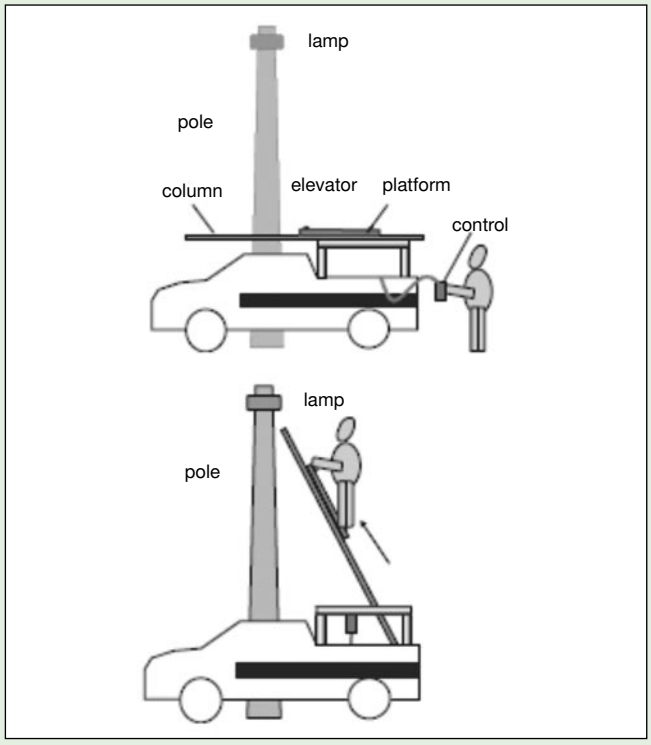
Jednym z aspektów przygotowywania mobilnych robotów do pracy w dynamicznie zmieniającym się środowisku jest planowanie trajektorii robotów tak, aby bezkolizyjnie pokonywały wyznaczony obszar pracy. Na złożoność zagadnienia składa się nie tylko techniczny aspekt budowy i działania robota (elementy składowe, oprogramowanie, sposób sterownia), ale także ukształtowanie otoczenia, w jakim robot ma pracować. Wyznaczenie bezkolizyjnej trajektorii robota poprzedza stworzenie algorytmu programu robota, który określa kolejność wykonywanych czynności i lokalizacji punktów w przestrzeni roboczej. Sam algorytm powstaje dzięki systemowi, na który składają się techniki sztucznej inteligencji [1], które pozwalają na rozpoznanie początkowego położenia obiektów i określenie sekwencji czynności zgodnych z postawionym zadaniem.

Przykłady zastosowań robotyzacji w energetyce dystrybucyjnej

Automatyczny wysięgnik do wymiany oświetlenia ulicznego

Jednym z przykładów wspierania rozwoju nowoczesnych technologii w elektroenergetyce jest wprowadzenie przez rząd Brazylii krajowego projektu mającego na celu poprawę poziomu technologicznego przedsiębiorstw elektroenergetycznych.

Celem badań prowadzonych we współpracy przedsiębiorstwa *CPFL-Paulista* oraz Uniwersytetu w Sao Paulo było stworzenie automatycznego wysięgnika przeznaczonego do wymiany oświetlenia ulicznego.



Rys. 2. Automatyczny wysięgnik do wymiany oświetlenia ulicznego (schemat działania) [1]

Efektem prac miała być lekka, zautomatyzowana i niedroga platforma ułatwiająca przeprowadzanie bezpiecznych prac przy wymianie oświetlenia ulicznego. Prace praktyczne poprzedzono badaniami literaturowymi, a także złożono wizyty w przedsiębiorstwach wykorzystujących roboty w podobnych pracach w USA oraz Japonii (*Kyushu Electric Power Company – KEPCO*). W związku z dużymi kosztami robotów wykorzystywanych w tych krajach i wysoką specjalizacją wykonywanych przez nie zadań oraz mając na uwadze wymagania rządowe dotyczące bezpieczeństwa prac na wysokości i ograniczone środki finansowe zdecydowano się stworzyć automatyczną platformę ułatwiającą dostęp do elementów oświetlenia ulicznego.

Platformę stanowi dwustopniowa kolumna teleskopowa zainstalowana na lekkiej półciężarówce. Przygotowanie do pracy obejmuje 2 etapy: podnoszenie konstrukcji oraz wjazd kosza z operatorem na wysokość (rys. 2).

Na ciężarówce oraz na ruchomym koszu są zainstalowane dwa sterowniki PLC. Obsługę platformy można prowadzić zarówno z ziemi, jak i z kosza. Procedury bezpieczeństwa wymagają zatrudnienia dwóch osób do prac eksploatacyjnych.

Na system napędowy składają się 2 wciągarki, sterowane za pomocą prostych poleceń z paneli sterowniczych. Głównymi zaletami platformy są: niewielka waga w porównaniu z rozmiarami, możliwość zamontowania na lekkiej półciężarówce, łatwość obsługi i sterowania, wysoki poziom bezpieczeństwa pracy (tab. 2).

Tabela 2

Dane techniczne ruchomej platformy do wymiany oświetlenia ulicznego [1]

Ruchoma platforma, wysięgnik	
Dane techniczne	**Wartości**
Maksymalna wysokość	9 m
Maksymalne obciążenie kosza	110 kg
Maksymalny czas przygotowania platformy do pracy	do 20 s
Maksymalny czas przemieszczenia kosza na maksymalną wysokość	do 2 min

Przyszłe udoskonalenia będą obejmowały zastosowanie bardziej wytrzymałych i lżejszych materiałów, oraz poprawa dostępności elementów oświetlenia ulicznego przy niezmienionej pozycji samochodu.

Automatyczny podnośnik do prac pod napięciem na stacjach transformatorowych 33, 66 i 132 kV

Efektem 5-letnich prac badawczo rozwojowych w argentyńskim *AES CORP (Empresa Distribuidora de Energía Norte)* jest automatyczny podnośnik do prac pod napięciem na stacjach transformatorowych. Podnośnik o danych przedstawionych w tabeli 3 powstał jako połączenie możliwości i elementów urządzeń stosowanych w pracach pod napięciem w Argentynie tj.: izolowane platformy, rusztowania, drabiny szkłoepoksydowe, ramiona przegubowe podnoszone klasy C, ramiona izolowane Ritz, drabiny teleskopowe (rys. 3–6).

Tabela 3

Wybrane dane techniczne automatycznego wysięgnika do prac pod napięciem na stacjach transformatorowych [1]

Automatyczny wysięgnik	
Dane techniczne	**Wartości**
Wysokość pracy od skraju kosza	Od 1,30 – 11,20 m (rys. 3 i 4)
Zasięg poziomy od skraju kosza	8,70 m (rys. 5)
Całkowita długość elementu izolacyjnego	2,250 m
Test napięciowy elementu izolacyjnego	50 kV
Droga upływu	5 944 mm
Waga	2 270 kg
Napięcie robocze	do 132 kV
Obciążenie kosza	128 kg
Testy elektryczne i mechaniczne	Zgodne z ANSI A 92 (dla podnośników klasy A)
Poziom głośności	55 dB w czasie pracy
Prędkość drogowa	90 km/h

Rys. 3. Minimalna wysokość osiągana przez wysięgnik [1]

Rys. 4. Maksymalna wysokość osiągana przez wysięgnik [1]

Rys. 5. Maksymalny zasięg poziomy osiągany przez wysięgnik [1]

Rys. 6. Zastosowanie wysięgnika na linii 132 kV [1]

Przykład zastosowania śmigłowców bezzałogowych

Helikoptery bezzałogowe do inspekcji linii

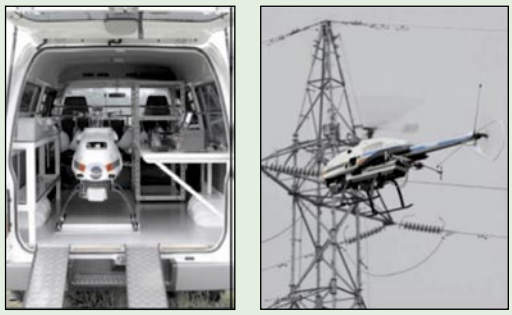
Jednym z najnowszych kierunków rozwoju usług lotniczych na rzecz prac inspekcyjnych linii elektroenergetycznych jest zastosowanie helikoptera bezzałogowego. Dzięki znaczącemu zmniejszeniu rozmiarów helikoptera zmniejszono koszty prac z powietrza oraz zwiększono dostępność badań inspekcyjnych tego rodzaju. Japońscy wynalazcy stworzyli niewielki bezzałogowy helikopter sterowany zdalnie z ziemi, ułatwiający inspekcję linii elektroenergetycznych.

Prototyp bezzałogowego helikoptera wyposażony jest w system kamer pozwalających na wykonanie 2- oraz 3-wymiarowych obrazów, a ich wysoka rozdzielczość oraz dopuszczalne znaczne zbliżenie do przewodów linii pozwala na inspekcję elementów samych linii oraz obiektów w pasach linii [1].

Głównym zadaniem helikoptera jest identyfikacja pęknięć w przewodach linii oraz określanie odległości drzew od przewodów.

Szersze wprowadzenie modelu do prac inspekcyjnych rozpoczęto w 2006 r. [1] (rys. 7). Prototyp opracowany w Polsce przedstawiono na rysunku 8.

a) b)



Rys. 7. Helikopter bezzałogowy do inspekcji linii: a) podczas transportu samochodem dostawczym, b) podczas inspekcji linii [1]

Rys. 8. Helikopter bezzałogowy prezentowany na konferencji PPN w Gdańsku w czerwcu 2007 r. [1]

Robotyzacja prac na liniach przesyłowych – pokonywanie przeszkód

Stworzenie zdalnie sterowanego robota zdolnego do pokonywania przeszkód na długich odcinkach linii elektroenergetycznych w sposób znaczący mogłoby skrócić czas trwania inspekcji, zwiększyć bezpieczeństwo samej inspekcji oraz obniżyć całkowite jej koszty. Powyższą ideą kierowali się naukowcy w Kanadzie oraz Chinach przy planowaniu nowych zdolności robotów.

Chiński robot inspekcyjny do prac na liniach przesyłowych

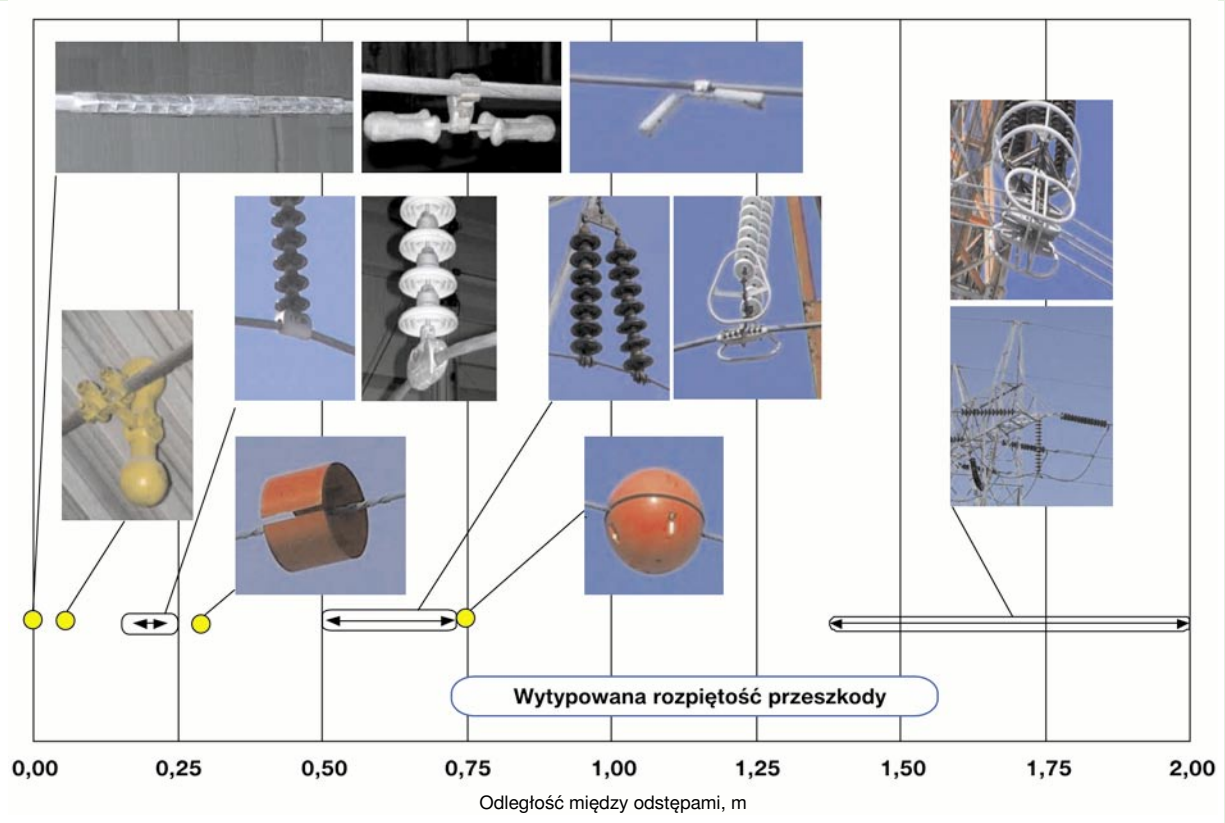
Naukowcy w Shenyang z Instytutu Automatyki Chińskiej Akademii Nauk w 4 lata stworzyli prototyp robota inspekcyjnego, oddanego do testów w 2006 r. Jest on przeznaczony do prac inspekcyjnych na liniach przesyłowych. Robot potrafi przemieszczać się swobodnie na linii pod napięciem 500 kV. Pierwsze plany stworzenia robota powstały w 1986 r. Prototyp robota jest efektem realizacji programu 863, będącego częścią chińskiego planu rozwoju zaawansowanych technologii, do którego przyłączyły się *Chińskie Północno-Wschodnie Sieci Elektroenergetyczne (Northeast China Grid Company)*[2].

[2] Internet: Xinhua, China develops robot for extra-high tension power line inspection, http://english.people.com.cn/200605/03/eng20060503_262855.htm

Kanadyjski robot inspekcyjny do prac na liniach przesyłowych [1]

Narzędzia i metody pozwalające na inspekcje linii elektroenergetycznych pod napięciem i prace naprawcze pod napięciem są bez wątpienia ważnymi obszarami badań i rozwoju. Technologia LineROVer powstała w przedsiębiorstwie *Hydro-Québec* [1] została po raz pierwszy zaprezentowana w 2000 r. Trwające nadal prace skupiają się głównie na przystosowywaniu robota do potrzeb klientów oraz rozwoju nowych technologii.

Roboty są wykorzystywane w całym zakresie prac związanych z zadaniami inspekcji i naprawy w niesprzyjających środowiskach i niedostępnych miejscach. Roboty znalazły zastosowanie w wielu niszowych rozwiązaniach w *Hydro-Québec*. Wynaleziony robot inspekcyjny wykonany w technologii LineRover jest w stanie pokonywać przeszkody w czasie jazdy po przewodzie pod napięciem. Robot potrafi pokonać przeszkody, takie jak: łańcuchy izolatorów, tłumiki drgań, kule ostrzegawcze, pierścienie ulotowe. Robot może się poruszać w kilku osiach, co pozwala na przystosowanie się w czasie rzeczywistym do różnych konfiguracji linii oraz do szerokiego zakresu przeszkód przy minimalnej wadze i gabarytach. Geometria robota była zaprojektowana tak, aby zapewnić, co najmniej 6 możliwych sekwencji pokonywania przeszkód, co czyni robota uniwersalnym i wszechstronnym w obliczu nieprzewidzianych sytuacji.



Rys. 9. Klasyfikacja przeszkód ze względu na ich rozpiętość [1]

Robot jest wyposażony w baterię pozwalającą na całodzienną pracę i może być sterowany zdalnie do 5 km. Zastosowane sterowanie i urządzenia elektroniczne pozwalają na intuicyjne sterowanie robotem przez człowieka.

Od początku roku 2002 grupa badaczy z instytutu badawczego *Hydro-Québec's (IREQ)* współpracując z zespołem *Hydro-Québec TransÉnergie's* opracowywała dwa prototypy robotów przeznaczonych do prac inspekcyjnych pod napięciem na liniach przesyłowych, które mogłyby pokonywać przeszkody w czasie przeprowadzanej inspekcji.

Pierwszy robot, wykonany w technologii RST-2X, jest przykładem prototypu o bardzo prostej budowie, który udowodnił zdolność do pokonywania łańcuchów izolatorów i odstępników na 4-przewodowej wiązce.

Od roku 2000 technologia LineROVer udowadnia swoją przydatność przy wykonywaniu zadań inspekcyjnych podczas prac pod napięciem. Niewielka waga (od 25–35 kg), która zależy od konfiguracji, pozwala na poruszanie się po przewodach odgromowych oraz fazowych dowolnej średnicy. Cały system ma niewielkie rozmiary, może więc być przewożony przez helikopter w odległe miejsca. Przegląd elementów, na jakie robot może się natknąć przedstawiono na rysunku 9. Przeszkody sklasyfikowano z uwzględnieniem odległości, którą robot musi pokonać.

Tabela 4

Dane techniczne robota wykonanego w technologii *LineScout* [1]

Charakterystyka elementów linii i otoczenia możliwych do pokonania przez robota	
Wyszczególnienie	**Wartości**
Średnica przewodu	12 – 60 mm
Średnica połączenia końcówek przewodów	25 – 85 mm
Maksymalna rozpiętość przeszkody	0,76 m
Maksymalna temperatura przewodu	95,0°C
Liczba przewodów w wiązce	1 – 4
Maksymalne nachylenie przęsła	30°
Temperatura otoczenia	0°C – 40°C
Dane techniczne robota – platformy	
Waga	100 kg
Długość	1,37 m
Wysokość	0,75 m
Siła napędowa	500 N
Prędkość liniowa	1,0 m/s
Żywotność baterii	5,0 h
Zasięg komunikacji z platformą	5,0 km
Maksymalne napięcie i prąd linii	735 kV – 1000 A

Drugi robot wykonany w technologii LineScout jest bardziej złożony, ale jednocześnie bardziej uniwersalny, a jego specyfikacja techniczna (tab. 4) dla projektowanej technologii została ustalona ze względu na przyszłe zadania, obowiązujące techniki prac pod napięciem oraz ogólny kontekst wykorzystania projektowanej technologii.

Prototyp robota w technologii LineScout został przetestowany w polu elektrycznym wytwarzanym przez linię pod napięciem 315 kV i w wyniku testu ani uszkodzeniu, ani zniszczeniu nie uległ żaden z elementów składowych. Odporność na silne pole magnetyczne także była przedmiotem testów na otwartej przestrzeni na specjalistycznej instalacji poprzez przemieszczanie robota wzdłuż przewodu pod obciążeniem 1000 A. Co ważniejsze, testy potwierdziły łatwość sterowania robotem LineScout i skuteczność działania reguł bezpieczeństwa przy pokonywaniu przeszkód na wysokości 30 m nad ziemią.

Podsumowanie

Główną zaletą wykonywanych przez roboty zadań jest zdolność przystosowywania się do zmiennych warunków podczas pracy na liniach dystrybucyjnych i przesyłowych, zwłaszcza pod napięciem, czyniąc wykonywane zadania bardziej efektywnymi niż obecnie oraz redukując ryzyko, na jakie narażeni są pracownicy eksploatacji linii, a w przyszłości także stacji.

Ciekawa przyszłość rysuje się w rozwiązaniach dotyczących użycia śmigłowców zarówno do prac diagnostycznych jak i eksploatacyjnych z udziałem załóg i bezzałogowych. Rozwój technologii zrobotyzowanych wymaga śledzenia postępu w technice sztucznej inteligencji, która coraz częściej jest wykorzystywana w nowoczesnych rozwiązaniach aparatury stosowanej w sieciach elektroenergetycznych. Rozszerzanie zakresu użycia robotów i upowszechnianie techniki prac pod napięciem rodzi nową jakość eksploatacji i diagnostyki.

LITERATURA

[1] Dudek B., Czapaj R.: Postęp w dziedzinie robotyzacji i technik SI w pracach sieciowych zwłaszcza pod napięciem, IX Konferencja „Prace pod napięciem w sieciach nn, SN, i WN w Polsce i na świecie", Gdańsk 2007, s. 19–30

[2] Dudek B., Czapaj R.: Roboty i sztuczna inteligencja w energetyce, *Energetyka* 2006, nr 10, s. 731–738

[3] Dudek B.: Robotyzacja wkracza do polskiej energetyki, *Biuletyn miesięczny PSE S.A.* 2006, nr 4, s. 15–22