Rafał Czapaj-Atłas, Bogumił Dudek

Rozwój dronów i ich zastosowań w energetyce

Development of drones and their application in power engineering

Gdzie diabeł nie może… tam drona pośle
(przysłowie bardziej współczesne)

Porównanie rozwoju Internetu i dronów jako elementów technologii wojskowej zastosowanych w dziedzinach cywilnych

Oba projekty nowoczesnych technologii są jak wiadomo efektem działań amerykańskiej agencji rządowej DARPA[1)] wspierającej rozwój technologii wojskowych i funkcjonującej w strukturach Departamentu Obrony USA. Agencja ta w 1967 roku rozpoczęła projekt budowy zdecentralizowanej sieci komputerowej, którą nazwano później ARPANET i która zapoczątkowała rozwój Internetu. Na początku lat 70. agencja DARPA współfinansowała opracowanie zestawu protokołów TCP/IP. Upowszechnienie Internetu na całym świecie od pierwszego projektu w 1969 r. do rozpowszechnienia wyszukiwarki Google trwało prawie 30 lat.

Podobny przedział czasowy odnotowuje się w przypadku dronów. DARPA stworzyła pierwszego drona w 1984 r. [1]. Obecnie po 30 latach drony trafiają „pod strzechy". Ostatnie kilka lat jest szczególnie dynamiczne w tym względzie.

W Polsce w odniesieniu do Internetu opóźnienie technologiczne wynosiło 2-5 lat – pierwszy komercyjny dostawca Internetu w Polsce rozpoczął działalność w 1992 r. (*ATM S.A.*), a 29 listopada 1999 r. rozpoczęła się pilotażowa sprzedaż SDI (Szybkiego Dostępu do Internetu, Stałego Dostępu do Internetu) z prędkością 115 kbit/s oferowana przez *TP S.A.* bez blokowania linii telefonicznej oraz sprzedaż stałych adresów IP [16].

W przypadku dronów obserwowane opóźnienie technologiczne jest mniejsze (1-2 lata). Obecnie są one sprzedawane m.in. w wielkopowierzchniowych sklepach z artykułami RTV-AGD. Już w połowie 2013 roku największa księgarnia wysyłkowa w USA, *Amazon*, prowadziła testy dostaw niewielkich przesyłek z wykorzystaniem dronów [16], a niedługo potem poczta DHL przeprowadziła podobne testy, również z sukcesem [17]. Nie dziwią już zastosowania dronów do dostarczania pizzy klientom.

Warto zauważyć, że w Krakowie w połowie czerwca 2014 r. prywatny operator pocztowy *InPost* idąc śladem *DHL* i *Amazon* zaprezentował możliwość dostarczania przesyłek za pomocą dronów rozszerzając usługę z wykorzystaniem robota naziemnego [18]. Jako drona wykorzystano *heksakopter* zbudowany na Politechnice Śląskiej, którego po dokonaniu zrzutu paczki zastąpił łazik marsjański *Hyperion* 2, zbudowany na Politechnice Białostockiej (zwycięzcy międzynarodowych zawodów University Rover Challenge w USA na pustyni w Stanie Nevada [19]), przewożąc paczkę i umieszczając ją w paczkomacie [20].

Drony w energetyce

Zastosowanie dronów w elektroenergetyce było przedmiotem publikacji w *Energetyce* już ponad osiem lat temu. Obejmowały one tę problematykę od pokazów dronów na konferencji prac pod napięciem w Gdańsku w 2007 roku i wykładu osiemnastego w sesji siódmej Akademii Energetyki „*Zastosowanie robotyzacji i technik sztucznej inteligencji w eksploatacji sieci elektroenergetycznej pod napięciem*" [5], aż po obszerny przegląd ich ówczesnych zastosowań w obszarze energetyki opublikowany na łamach *Energetyki* w 2014 r. [1].

Tematyka cywilnego wykorzystywania dronów nabiera coraz większego znaczenia ze względu zarówno na rozwój nowych zastosowań, jak i zagrożeń (np. dla ruchu lotniczego, a nawet zawodów sportowych – upadek drona tej zimy obok narciarskiego zjazdowca). Jak w każdym przypadku efektów postępu technicznego obejmujących zróżnicowane obszary użytkowania [1,2,3] pojawia się konieczność prawnego uregulowania wielu aspektów związanych z praktycznym wykorzystywaniem tego typu urządzeń. Odnosi się wrażenie, że konieczne stają się szybkie decyzje w zakresie powszechnej regulacji prawnej w tym względzie, jako że staje się bardzo prawdopodobne, że rozwój zastosowań dronów i jego dynamika będą podobne do tempa obserwowanego w przypadku telefonii komórkowej.

Dotyczy to także elektroenergetyki, oprócz bowiem zastosowania dronów w obszarze technicznym utrzymania sieci, nie jest wykluczone wykorzystanie ich w procesach zarządzania siecią i organizacji prac [4-13]. Pomysłowość w tym względzie może być ogromna i nawet obecnie trudno przewidzieć, które z opisywanych zastosowań zakorzeni się na stałe w energetyce.

[1)] Defense Advanced Research Projects Agency – DARPA (Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych w Obszarze Obronności). W latach 1958-1972 i 1993-1996 pod nazwą – Advanced Research Projects Agency – ARPA (Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych).

Dotychczasowe obszary zastosowania dronów w energetyce

Opisane w [1] obszary zastosowań dronów do realizowania potrzeb energetyki obejmowały zarówno sieci elektroenergetyczne (monitorowanie linii napowietrznych), jak i elektrownie konwencjonalne, jądrowe czy wykorzystujące OZE. W efekcie ich zastosowanie pozwalało na uzyskanie oceny:

- stanu zniszczeń po anomaliach pogodowych,
- stopnia odrostów roślinności w pobliżu linii napowietrznych,
- stanu luster w fotowoltaicznych elektrowniach słonecznych,
- stanu zniszczeń w elektrowniach atomowych oraz
- wyników inspekcji turbin wiatrowych i nawet hal elektrowni konwencjonalnych.

Niektórzy Autorzy [6] stawiają tezę o możliwości zastępowania śmigłowców używanych do oględzin elektroenergetycznych linii, gazociągów, trakcji kolejowej dronami (rys. 1). Nie negując tych tez można przypuszczać, że jednak zachowany zostanie w technice prac pod napięciem dotychczasowy stan usług śmigłowcowych.

Rys. 1. Zastępowanie oblotów śmigłowcowych dronami [6]

Wspomnieć także można, że w niektórych publikacjach [12] wskazane są jedynie możliwości zastosowania dronów w energetyce. Jednocześnie w coraz większej liczbie publikacji dotyczących dronów uzasadnia się konieczność zbierania nowych informacji i poszerzania wiedzy w tym zakresie i to nawet przed pojawieniem się rzeczywistych doświadczeń.

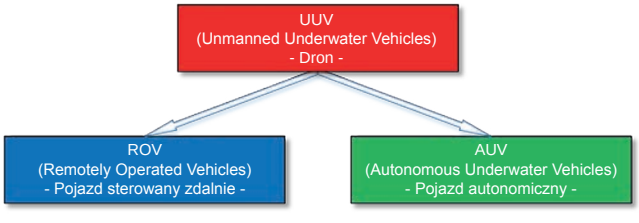
Ostatnio obserwowane kierunki rozwoju zastosowania dronów

Lata 2014-2015 to dynamiczny rozwój w technologii, ofercie i dostępności w obszarze dronów. Gdzie się nie obejrzeć, zalewa nas oferta mikro- czy minidronów. Od produktów nieco większych od zapalniczki (o wadze kilku dkg), aż po kilkukilogramowe profesjonalne maszyny o szerokim zakresie możliwości. Drony dodawane były nawet jako przynęta do abonamentu pewnej telefonii komórkowej. Jak grzyby po deszczu wyrosło w naszym kraju kilkadziesiąt firm oferujących profesjonalne usługi, przy wykorzystaniu dronów, na rzecz szeroko rozumianej energetyki. Wykorzystanie dronów w energetyce to głównie monitoring infrastruktury. Najpowszechniejszym wykorzystaniem dronów charakteryzują się elektrownie wiatrowe. Drony potrafią osiągnąć pułap nawet ok. 200 m, co pozwala na profesjonalną analizę najwyższych masztów tego typu elektrowni. Na targach ENERGETAB w 2014 roku jedna z firm prezentowała rozwiązanie, któremu przyznano wyróżnienie za *rozciąganie linek wstępnych za pomocą Robokoptera* (np. służących do przygotowania wymiany przewodów na elektroenergetycznych liniach) (rys. 2).

Rys. 2. Wyróżniona technologia z użyciem drona na ENERGETAB 2014 (fot. B. Dudek)

Rozwój infrastruktury energetycznej powoduje powstanie wielu różnych rozwiązań zarówno linii napowietrznych i kablowych, przesyłowych jak i dystrybucyjnych zlokalizowanych w różnych środowiskach. Oferta producentów w zakresie dronów rośnie lawinowo i w podobnym tempie rozwijany jest rynek usług z ich wykorzystaniem.

Coraz szybciej rośnie analogiczna oferta w zakresie bezzałogowych pojazdów podwodnych UUV (ang. Unmanned Underwater Vehicles). Pojazdy podwodne typu UUV, czasami nazywane podwodnymi dronami, ze względu na sposób sterowania, dzielą się na pojazdy zdalnie sterowane przez człowieka (ROV – Remotely Operated Vehicles) oraz na podwodne pojazdy autonomiczne (AUV – Autonomous Underwater Vehicles) sterowane w sposób niebezpośredni przez człowieka (rys. 3).



Źródło: Opracowanie własne na podstawie https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_underwater_vehicle

Rys. 3. Podział bezzałogowych pojazdów podwodnych UUV ze względu na sposób sterowania

Marynarka wojenna US NAVY oraz agencje amerykańskie NASA, DARPA, a także firmy prywatne na świecie intensyfikują prace nad produkcją dronów podwodnych. Ostatni incydent na morzu bałtyckim, który zaalarmował służby Szwecji, związany z obecnością niezidentyfikowanego podwodnego drona wokół gazociągu *Nordstream*, potwierdzają, że takie rozwiązania są już w użyciu. Bez względu na przyczynę obecności tej jednostki, militarno-szpiegowską czy przemysłową, okazuje się potrzebne rozpoznanie potencjalnych obszarów zastosowań pojazdów tego typu.

Drony nawodne i podwodne

Amerykańska DARPA pracuje nad projektem autonomicznego drona nawodnego rozpoznającego okręty podwodne. Nawodna jednostka pływająca stanowi hybrydę typowego okrętu wojennego i katamaranu (rys. 4a). Statecznik pionowy jest wyposażony w systemy bazujące na technologiach rozpoznawania i identyfikacji obiektów. Zastosowano czujniki i programy pozwalające na przetwarzanie obrazu przy wykorzystaniu głowic optoelektronicznych z dalmierzem laserowym oraz przy wykorzystaniu tzw. radarów nieaktywnych LIDAR (ang. Light Detection and Ranging) [22], które są niezawodne w funkcjonowaniu niezależnie od pogody i oferują duży zasięg, do 15 km [23]. Wspomniany system LIDAR wykorzystywany jest na świecie m.in. przy oblotach śmigłowcowych w celu mapowania terenu. Jednym z zastosowań tego systemu jest także ocena odrostów roślinności i zadrzewienia wokół tras napowietrznych linii przesyłowych.

Źródło: http://www.pb.pl/foto/3040982,10577,65008,24437. Dostęp 2015.12.10.

Źródło: http://zmianynaziemi.pl/WIDEO/PODWODNE-DRONY-WCHODZA-SLUZBY-AMERYKANSKIEJ-MARYNARKI-WOJENNEj. Dostęp 2015.12.10.

Rys. 4. Autonomiczne jednostki ACTUV (ang. AntiSubmarine Warfare Continuous Trail Unmanned)

Militarne drony podwodne, o kształcie przypominającym pociski podwodne przeszły w 2015 r. pozytywnie testy w USA NAVY [24]. Dron tego typu może nawet przez kilka lat przebywać pod wodą (rys. 4b), a wynurzenie na powierzchnię następuje w celu przesłania zgromadzonych danych. Drony tego typu zwane *Slocum Gliders* wykorzystują do poruszania się prądy oceaniczne i tym samym nie jest konieczne zasilanie paliwowe. Podobne rosyjskie rozwiązania typu *Koncept-M* są obecnie poddawane testom.

Oferowane na rynku są już podwodne drony dla każdego. Niewielkich rozmiarów podwodny pojazd na uwięzi jest kompaktowy w swoich rozmiarach oraz szybki (7 km/h) i umożliwia pracę pod powierzchnią wody do 100 m (rys. 5a) [25].

Kanadyjska firma *DeepTrekker* oferuje profesjonalne produkty dla podwodnej inspekcji i monitoringu. Jej produkty wykorzystywane są w obszarach, tj. połowy ryb, ocena infrastruktury platform wydobywczych i infrastruktury obiektów energetycznych (elektrownie wodne), badania zbiorników wodnych, podwodne akcje poszukiwawcze i ratunkowe, badania zewnętrznych struktur statków morskich. Szerokokątne kamery o kącie widzenia 270° umożliwiają łatwy monitoring przy minimalizacji liczby ruchów oraz skomplikowania ścieżki ruchu pojazdu (rys. 5b) [26]. Pojazdy te pozwalają na zanurzenie odpowiednio do głębokości 12, 75 oraz 150 m. Inną profesjonalną ofertą jest amerykańska propozycja typu *Voyager ROV System*. Model ten pozwala na zanurzenie do głębokości 76 m i zapewnia prędkość przemieszczania się pod powierzchnią wody równą ok. 3,5 km/h (rys. 5c).

Niestandardowe sposoby zasilania dronów

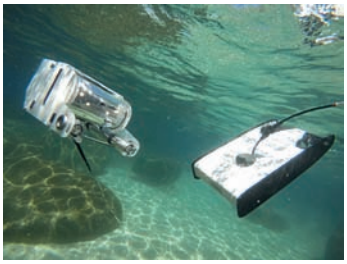
Dron ładowany z ziemi i wieżyczki słupa linii

Jedynie kwestią czasu było przyłączenie „na stałe" zasilania do autonomicznego drona, co stanowi remedium na bolączkę zasilanych bateryjnie dronów – czyli relatywnie krótki czas pracy w powietrzu. Amerykańska firma *Cyphyworks Inc.* z Bostonu, tworząca m.in. roboty i drony stworzyła drona PARC (ang. Persistent Aerial Reconnaissance and Communications), czyli systemu ciągłego powietrznego rekonesansu i komunikacji (rys. 6a). Ciągłość zasilania zapewniona jest przez połączenie za pomocą przewodu o niewielkim przekroju. Teoretycznie dron mógłby pracować w nieskończoność, jednakże producent zaleca zejście na ziemię po ok. 100 h nieprzerwanej pracy. Przewód zasilający posiada także funkcję przesyłu danych (z kamery HD wyposażonej w opcję rejestracji pasma podczerwonego oraz noktowizji ze stacją naziemną) [27]. Dron jest „samowystarczalny" do pułapu 150 m, a pułap osiągalny wynosi ok. 3 km. W przypadku zerwania przewodu („uwięzi") dron wyląduje samodzielnie, ponieważ jest wyposażony w baterię pokładową [28]. Omawiany dron wykorzystuje układ sześciu wirników i oprócz kamery będącej na wyposażeniu może zostać dodatkowo obciążony wagą ok. 3 kg.

Doktorant amerykańskiej MIT[2)] opracował w ramach pracy magisterskiej z 2011 r. koncepcję drona, który potrafi wylądować na przewodzie napowietrznej linii elektroenergetycznej [29].

2) Massachusetts Institute of Technology (MIT, pol. Instytut Techniki w Massachusetts) – amerykańska prywatna uczelnia techniczna, położona w Cambridge w regionie Nowa Anglia.

a)



Źródło: http://techcrunch.com/2015/10/29/underwater-drone-startup-openrov-launches-a-super-fast-exploration-robot/. Dostęp 2015.12.10.

b)

Źródło: http://www.deeptrekker.com/product/dtg2-pro/. Dostęp 2015.12.10.

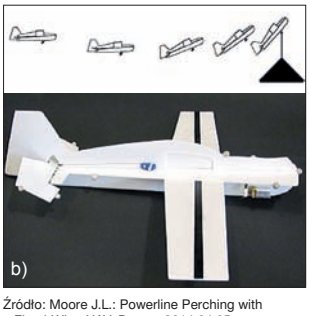
c)

Źródło: http://shop.videoray.com/shop-front#!/~/product/category=10290101&id=52908730. Dostęp 2015.12.10.

Rys. 5. Różne podwodne pojazdy typu ROV: a) projekt TRIDENT, b) typu DTG2 Pro, c) typu Voyager

Dalsze prace w laboratorium Informatyki i Sztucznej Inteligencji pozwoliły udoskonalić sam model koncepcyjny. W chwili obecnej dron potrafi wylądować na przewodzie i pobrać z niego energię w celu naładowania swoich akumulatorów (rys. 6b). Jednak jest to ciągle model testowany.

Źródło: http://www.sciencealert.com/this-unique-drone-can-fly-indefinitely-and-doesn-t-need-to-land. Dostęp 2015.12.10.



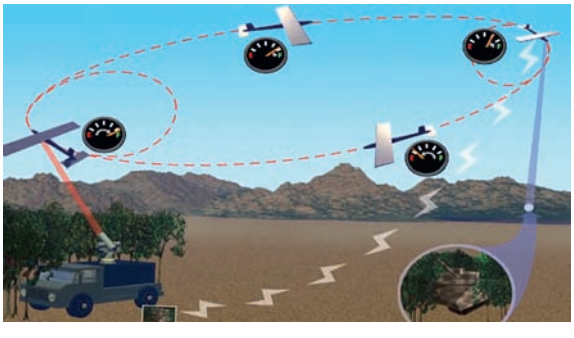
Źródło: Moore J.L.: Powerline Perching with a Fixed-Wing UAV. Dostęp 2014.04.05.

Rys. 6.
a) dron PARC pracujący na uwięzi;
b) koncepcja drona zasilanego z napowietrznej linii elektroenergetycznej

Koncepcja dronów ładujących swoje baterie wprost z przewodów linii napowietrznych rozpala wyobraźnię. Oprócz koncepcji drona lądującego bezpośrednio na przewodzie linii napowietrznej funkcjonują także koncepcje dronów wyposażonych w chwytaki na kształt haków, umożliwiających „zaczepienie się" o przewód linii oraz stacje dokujące zlokalizowane na konstrukcjach słupów, na których możliwe byłoby doładowanie baterii dronów.

Niekonwencjonalne ładowanie dronów

Czas lotu dronów powietrznych można także wydłużać poprzez doładowywanie wiązką laserową z naziemnej „stacji przewoźnej" zamontowanej na pojeździe. Koncepcję takiego rozwiązania zaprezentowano na rysunku 7.



Rys. 7. Koncepcja drona zasilanego wiązką laserową z przewoźnej stacji naziemnej [30]

Jedna z firma z Singapuru, dostarczająca rozwiązania technologiczne m.in. dla wojska oraz dla firm stosujących komunikację bezprzewodową, produkuje także drony. Wydłużanie czasu lotu produkowanych dronów osiągnęła dzięki zastosowaniu ogniw paliwowych o mocy do 3 kW (rys. 8). Drony wyposażone w nowoczesne ogniwa paliwowe pozwalają na nieprzerwaną pracę do 5 godzin. Stosowane były już do przeprowadzania inspekcji napowietrznych linii elektroenergetycznych, gazociągów oraz dla potrzeb badań geologicznych oraz monitorowania obszarów objętych klęskami żywiołowymi (głównie w przypadku pożarów lasów).

Źródło: www.hes.sg. Dostęp 2014.09.10.

Rys. 8. Dron wyposażony w ogniwa paliwowe

Pierwsze doświadczenia z zastosowania dronów do inspekcji linii w trudno dostępnym terenie

Polscy operatorzy systemów elektroenergetycznych mogą z powodzeniem wykorzystywać drony powietrzne do inspekcji i monitoringu napowietrznych linii elektroenergetycznych. Przykładowo takie podejście zastosowało *Power South Energy Cooperative* zlokalizowane niedaleko miasta Arlington w amerykańskim stanie Alabama (południowo-wschodnie wybrzeże USA), które zarządza elektroenergetycznymi liniami napowietrznymi o łącznej długości ponad 2200 mil. W pracach inspekcyjnych prowadzonych zarówno z ziemi jak i z powietrza wykorzystuje drony (rys. 9).

Źródło: https://www.nxtbook.com/nxtbooks/nreca/re0514/#/32. Dostęp 2014.09.10.

Rys. 9. Dron ośmiowirnikowy stosowany do wizualnej inspekcji napowietrznych linii elektroenergetycznych na terenach trudno dostępnych

Tereny, na których zlokalizowane są podległe temu przedsiębiorstwu linie charakteryzują się znaczną górzystością, zalesieniem oraz w wielu miejscach terenami podmokłymi. Drony są szczególnie przydatne do określania przerostów gałęzi

drzew, które zagrażają nadmiernym zbliżeniem do przewodów linii napowietrznych. Oprócz dronów stosowane jest także sprawdzone rozwiązanie – czyli oblot śmigłowcem wyposażonym w system LIDAR skanujący powierzchnię ziemi i wegetację roślinności w poszukiwaniu najbardziej newralgicznych miejsc z punktu widzenia bezpiecznych odstępów od przewodów. W przyszłości planowane jest wykorzystanie dronów wyposażonych w kamery termowizyjne do prac inspekcyjnych w najbardziej niesprzyjającym ukształtowaniu terenu. Nie bez znaczenia jest też fakt znacząco niższych kosztów przeprowadzenia prac inspekcyjnych w porównaniu z kosztami z zastosowaniem śmigłowców.

Autorskie wybrane pomysły zastosowań dronów w energetyce polskiej

Drony wspomagające oględziny zbiorników zapór wodnych elektrowni szczytowo-pompowych

Najczęściej stosowanymi na świecie magazynami energii elektrycznej „dużej mocy" są elektrownie szczytowo-pompowe (ESP). Energia potencjalna grawitacji przetworzona z energii elektrycznej jest gromadzona w zbiorniku górnym poprzez przepompowanie wody ze zbiornika dolnego. Szybki dostęp do turbin czy to w przypadku opróżnienia zbiornika górnego, czy w przypadku pracy pompowej, umożliwia operatorowi systemu przesyłowego szybką reakcję w celu korekcji bilansu krajowego systemu elektroenergetycznego. Do krajowych ESP należą między inymi elektrownie: *Żarnowiec*, *Porąbka Żar*, zespół elektrowni *Solina-Myczkowce*. Do wizualnej inspekcji dna zbiorników wodnych, w czasie gdy wypełnione są wodą, można zastosować rozwiązania typu zdalnie sterowane ROV lub autonomiczne AUV. Dodatkowo rozwiązanie typu DTG2 Pro może służyć do bardziej złożonych zadań. W obu przypadkach koszty zakupu mieszczą się w granicach od 1 do 6 tys. USD.

Drony powietrzne można wykorzystać do oceny wizualnej konstrukcji betonowych zapór [1]. Z kolei w przypadku oględzin wizualnych galerii technicznych w konstrukcjach zapór wodnych można wzbogacić pracą pojazdu naziemnego (lub robota) wyposażonego w odpowiednie kamery. Zarówno w przypadku drona jak i pojazdu naziemnego możliwe jest sterowanie takim pojazdem lub zaprogramowanie mu stałej ścieżki poruszania się. Wyposażenie, które może wchodzić w skład drona czy pojazdu jest jedynie kwestią wypadkowej wyobraźni, dostępu do technologii, potrzeb i rachunku ekonomicznego.

Drony wspomagające oględziny kabli prowadzonych po dnie zbiorników wodnych, w tym kabli podmorskich

Linie kablowe wysokiego napięcia prądu stałego HVDC (ang. High Voltage Direct Current) są stosowane coraz częściej. Należy do nich na przykład połączenie transgraniczne Polski ze Szwecją. Linie tego typu są częściowo prowadzone pod dnem morskim, a częściowo ułożone na tym dnie, co może narażać je na uszkodzenia typu mechanicznego np. wskutek przesuwania po dnie morskim kotwicy statków. Przeprowadzenie oględzin i lokalizacja miejsca uszkodzenia może zająć wiele godzin, czasami dni. Oczekiwanie na specjalistyczny statek może być długie, a jego wykorzystanie jest bardzo kosztowne.

W celu skrócenia czasu awarii i jej skutków można by rozważyć wykorzystanie podwodnych dronów (ROV – sterowanych na uwięzi) do poszukiwania miejsca awarii. Inną możliwością może być cykliczne przeprowadzanie mapowania powierzchni dna morskiego na trasie kabla z wykorzystaniem dronów podwodnych typu ROV AUV wyposażonych w system typu LIDAR, analogicznie do napowietrznych linii przesyłowych [3]. Tym samym możliwe byłoby uzyskanie narzędzia typu prewencyjnego dostarczającego dodatkowych informacji o możliwych zagrożeniach i w efekcie umożliwiającego podjęcie działań minimalizujących to ryzyko, bądź je wykluczających.

Drony wspomagające wstępne badania wizualne kotłów bloków wytwórczych

Bardzo częstą przyczyną awarii bloków wytwórczych są awarie kotłów, co skutkuje znaczącymi kosztami odstawień bloków w skali sektora wytwórczego każdego kraju. Do diagnostyki kotłów stosowane są m.in. roboty diagnostyczno-remontowe [1]. Ich zadania polegają głównie na lokalizacji uszkodzeń rur kotłowych. Dzięki zastosowaniu zrobotyzowanych rozwiązań uzyskuje się znaczące skrócenie czasu wykonywanych zadań (także ograniczenie ponoszonych kosztów). Diagnostyka kotłów bloków wytwórczych jest zagadnieniem złożonym ze względu na duże rozmiary, wysokie temperatury robocze panujące w paleniskach oraz ciśnienie panujące w instalacjach wodno-parowych kotłów. Z powyższego wynika konieczność wyłączenia kotła i jego schłodzenia w celu przeprowadzenia badań diagnostycznych w zakresie korozyjnego i erozyjnego zużycia kotłów. Do tej pory, w celu ochrony zespołów ludzkich oraz w celu zminimalizowania kosztów przygotowywania badań diagnostycznych, wykorzystywano m.in. roboty przemieszczające się po ścianach pionowych paleniska, zarówno na kołach, gąsienicach, jak i mobilnych platformach. Wydaje się, że dalsze zmniejszenie czasu i kosztów przygotowywania badań diagnostycznych może zostać uzyskane dzięki wcześniejszemu wprowadzaniu typu drona na uwięzi (model PARC). Wstępne wizualne oględziny mogą pozwolić na wytypowanie miejsc potencjalnych uszkodzeń.

Drony wspomagające procesy inwestycyjne obiektów sieci przesyłowej

Sprawność przebiegu procesów inwestycyjnych związanych zarówno z budową nowych obiektów jak i modernizacją starych zależna jest także od procedur odbiorczych. Sprawdzanie wykonania prac jest pracochłonne, wymagające nierzadko obecności w każdym miejscu (np. każdym słupie linii czy polu stacji). Drony napowietrzne mogą wspomagać np. procesy oceny wizualnej jakości powłok malarskich, a przy niewielkim zrobotyzowaniu można byłoby wykonywać pomiary grubości ich powłok. Interesującym zastosowaniem mogłoby być wyposażenie zaprogramowania drona do wykonania pomiarów pola elektromagnetycznego, poziomu hałasu w czasie ruchu próbnego linii.

Drony wspomagające procesy eksploatacyjne sieci przesyłowej i dystrybucyjnej

Rozpoznanie stanowisk pracy do procesów eksploatacyjnych w miejscach montażu sprzętu specjalistycznego poprawi jakość wykonywanych prac zarówno urządzeń wyłączonych, jak i znajdujących się pod napięciem. Obraz z miejsc montażu sprzętu pozwoli uniknąć zaskoczeń odmienności konstrukcji od oczekiwanej lub wskaże, które elementy można najefektywniej zastosować. Wspomaganie procesów eksploatacyjnych to sprawdzanie stanu zakratowania słupów o konstrukcji kratowej, być może w niedalekiej przyszłości obraz wizyjny będzie można porównywać z rysunkiem konstrukcyjnym w celu wykazania niezgodności. Zasadniczo wszystkie typy pomiarów można byłoby realizować przy użyciu dronów, np. pomiary zwisów przewodów lub ich odległości od ziemi i innych krzyżowanych obiektów, pomiary termowizyjne i korony, stan odstępników przewodów itp. Wreszcie drony mogą ułatwiać prowadzenie prac poprzez przenoszenie niewielkich ciężarów osprzętu sieciowego i/lub narzędzi specjalistycznych do prac pod napięciem.

Podsumowanie

Rozważne i odważne zastosowanie dronów do obsługi sieci i urządzeń energetycznych związanych z energią elektryczną, gazem i ciepłem może znacząco podnieść jakość ich obsługi, a nawet pozwolić na wcześniejsze wykrywanie stanów zagrożeń w ich funkcjonowaniu. Zachętą do zastosowań mogą być zarówno już dostępne polskie drony, jak i rozwiązania zagraniczne, których koszt nie jest wygórowany. Korzyści można uzyskać w poprawie efektywności pracy urządzeń energetycznych, sukcesywnym obniżaniu awaryjności poprzez profilaktyczne usuwanie dostrzeganych zagrożeń. W perspektywie widać konieczność łączenia wielu systemów zarządzania majątkiem sieciowym oraz deklarowanych znormalizowanych systemów zarządzania jakością, ochroną środowiska i bezpieczeństwem pracy.

PIŚMIENNICTWO

[1] Czapaj-Atłas R., Dudek B.: Drony, mini- i mikrodrony – przegląd obszarów zastosowań bezzałogowych statków powietrznych dla potrzeb monitoringu i inspekcji, w szczególności w obszarze energetyki. *Energetyka* 2014, nr 8, s. 485-492.

[2] Dudek B., Czapaj R.: A Big Intelligent Job – a Disencouragingly Difficult Challenge or a Chance for the Polish Power Industry. E*nergetyk*a 2008, nr 8, s. 370-375.

[3] Czapaj-Atłas R.: Obciążalność prądowa sieci – metody pomiarów i zwiększenie przepustowości. *Przegląd Elektrotechniczny* 2012, nr 10a.

[4] Dudek B., Kołakowski T.E.: *Energetyka* i stulecie prac pod napięciem na świecie i osiemdziesięciolecie PPN w Polsce. *Energetyka* 2012, nr 3/4, s. 183-190.

[5] Cader S., Dudek B., Fober R., Gontarz T., Wiśniewski W.: Zastosowanie robotyzacji i technik sztucznej inteligencji w eksploatacji sieci elektroenergetycznej pod napięciem. *Energetyka* 2007, nr 10, s. 733-740 (jako wykład osiemnasty w sesji 7 *Akademii Energetyki*).

[6] Dudek B.: Prace pod napięciem w sieci przesyłowej. Podręcznik *INPE* 2011, nr 36.

[7] Cigre Live Work – A management Perspective, Cigre brochure 561, Decembre 2013.

[8] Portillo B.M.: Helicopteros en lineas de transporte, CITTES'2013

[9] Earp G., Eyre-Walker R., Ellam A., Thomas A.: Advanced aerial inspection and asset management of electricity towers, ESMO '2011, Paper 8.

[10] Guillaume P.: Heliborne construction and maintenance of Lines PG, Cigre 2014, B2-115.

[11] Renier F.: Lattice tower corrosion inspection with UAV, *RTE France*, Cigre 2012, B2-303.

[12] Eck C., Zahn Z., Heer P., Imbach B.: Vision-based guidance algorithms for UAV power line inspection, Cigre-144, Canada Conference 2012.

[13] Shimo Y.: Development of power transmission line inspection system by unmanned helicopter, (Japan), Cigre 2006, B2/D2-106.

[14] http://www.darpa.mil/About/History/ARPA-DARPA_The_Name_Chronicles.aspx. Dostęp: 2014.08.20.

[15] http://pl.wikipedia.org/wiki/Historia_Internetu. Dostęp: 2014.08.20.

[16] http://www.amazon.com/b?node=8037720011. Dostęp: 2014.08.20.

[17] http://www.ft.com/cms/s/0/325b0c60-9a7c-11e3-8e06-00144feab7de.html#axzz3ApuRbOok. Dostęp: 2014.08.20.

[18] https://www.integer.pl/biuroPrasowe/paczkomat_robot_i_dron_czyli_poczta_przyszlosci_wedlug_inpost,674.html. Dostęp: 2014.08.20.

[19] http://pb.edu.pl/blog/2014/06/17/hyperion-2-w-krakowie/. Dostęp: 2014.08.20.

[20] http://gadzetomania.pl/1472,inpost-i-drony-mistrzowski-marketing-i-dziennikarska-nierzetelnosc. Dostęp: 2014.08.20.

[21] http://www.defence24.pl/211851. Dostęp: 2015.12.10.

[22] http://www.defence24.pl/211851,usa-drony-beda-zwalczac--okrety-podwodne. Dostęp: 2015.12.10.

[23] http://www.blogotech.eu/index.php/1805-darpa-szykuje-drony-polujace-na-okrety-podwodne. Dostęp: 2015.12.10.

[24] http://biznesalert.pl/US-NAVY-testuje-podwodne-drony. Dostęp: 2015.12.10.

[25] http://techcrunch.com/2015/10/29/underwater-drone-startup-openrov-launches-a-super-fast-exploration-robot/. Dostęp: 2015.12.10.

[26] http://www.deeptrekker.com/infrastructure/. Dostęp: 2015.12.10.

[27] http://cyphyworks.com/robots/parc/. Dostęp: 2015.12.08.

[28] http://www.technologyreview.com/news/543196/this-surveillance-drone-never-needs-to-land/. Dostęp: 2015.12.08.

[29] http://www.businessinsider.com/drone-power-line-perching--system-2014-4. Dostęp: 2014.04.12.

[30] http://endthelie.com/2012/07/13/new-ground-based-laser-can-extend-drone-flight-time-indefinitely. Dostęp: 2014.09.10.