
WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

NUMER 2

INSTYTUT AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

Piotr JEZIERSKI*

Instytut Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów
Wytwarzania, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice
* piotr.jezierski@vp.pl

PROJEKT ELEKTROWNI WIATROWEJ DLA DOMU JEDNORODZINNEGO – PIERWSZE STADIA PROCESU PROJEKTOWO-KONSTRUKCYJNEGO

Streszczenie: W niniejszym artykule przedstawiono poglądowo pierwsze stadia procesu projektowo-konstrukcyjnego projektu elektrowni wiatrowej dla domu jednorodzinnego. Projekt realizowano w ramach działalności Studenckiego Koła Naukowego Nowych Metod Konstruowania Maszyn im. prof. Janusza Dietrycha, działającego przy wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej.

1. Wstęp

Współczesny, dynamiczny rozwój nowoczesnych technologii, wywołuje ciągły wzrost zapotrzebowania ludzkości na energię elektryczną. Powszechność i liczebność środków technicznych, wykorzystujących tę energię w rozmaitych dziedzinach techniki, zmusza człowieka do poszukiwania coraz to nowszych źródeł elektryczności.

Wykorzystywane do tej pory sposoby produkcji tego typu energii nie zawsze wpływały korzystnie na szeroko rozumiane środowisko naturalne (flora, fauna, klimat). Metody przetwarzania surowców (głównie kopalnych) wykorzystywanych jako materiał do produkcji elektryczności wiązały się, a w świetle nadal stosowanych w niektórych krajach przestarzałych technologii, wiążą się nadal z produkcją zanieczyszczeń. Co więcej, stosowane na szeroką skalę surowce kopalne posiadają charakter nieodnawialny, tzn. ich zasoby są skończone, co czyni z nich wyczerpalne źródła energii.

Popularyzowaną obecnie alternatywą dla kopalnych, nieodnawialnych źródeł, jest energia atomowa. Ta jednak wymaga stosowania bardzo rygorystycznych środków bezpieczeństwa w stosunku do procesu produkcji (zarówno technicznych jak i „ludzkich”), a odpady radioaktywne, powstające po wyczerpaniu się materiału źródłowego, są praktycznie nieregenerowalne i nieużyteczne (powstaje poważny problem ze składowaniem substancji niebezpiecznych). Sam proces produkcji może być bardzo niebezpieczny. W razie zadziałania czynników nieprzewidywalnych (siły natury, wady instalacji, błąd człowieka) może dojść do wieloletniego zniszczenia środowiska i ogromnych ofiar w ludziach (zarówno w chwili zaistnienia awarii w trakcie procesu produkcji, jak i w wyniku jej konsekwencji).

Dlatego też w ostatnich latach coraz większe zainteresowanie zyskują naturalne, tzw. odnawialne źródła energii, takie jak światło słoneczne, prądy wodne, wiatr, energia ciepła wnętrza ziemi (geotermia). Źródła te nie są na razie tak wydajne jak „klasyczne”, ale ich nieocenionymi zaletami są powszechna dostępność, praktyczna nieograniczoność zasobów i (przy racjonalnym wykorzystaniu) brak negatywnego wpływu na środowisko.

2. Formalizacja potrzeby

Celem projektu było skonstruowanie przydomowej elektrowni wiatrowej dla domu jednorodzinnego. Jednym z podstawowych założeń dla rozważanego środka technicznego była możliwość jego uniwersalnego zastosowania, niezależnie od położenia geograficznego docelowego miejsca pracy (oczywiście ograniczając się wstępnie do terytorium naszego kraju). Uznano, że określenie domu jednorodzinnego jako jednostki odbiorczej dla elektrowni będzie odpowiednie dla sprecyzowania zakresu pracy mającej zaspokoić zapotrzebowanie „przeciętnego Kowalskiego” na energię elektryczną, przy jednoczesnym umożliwieniu mu ustawienia elektrowni „w ogródku”. Ustrój elektrowni miał ponadto umożliwić użytkownikowi własnoręczny montaż i ewentualny demontaż urządzenia, jego podstawową obsługę / konserwację, a także możliwość transportu, w średniej wielkości pojeździe samochodowym o przestrzeni ładunkowej ok. 2 [t].

Wynikiem etapu formalizacji potrzeby w omawianym projekcie były założenia projektowo-konstrukcyjne. Założenia te przybrały formę kryteriów, które wykorzystano w późniejszym etapie wyboru z pola możliwych rozwiązań (omówione w dalszej części) i sformułowane w następującej postaci:

- K1 – wysokość elektrowni (ustrój nośny wraz z zespołem roboczym) – do 15 [m],
- K2 – średnica podstawy opisanej (obszar, w którego zakresie powinna istnieć możliwość umieszczenia lub przytwierdzenia elementów bazowych elektrowni, tj. fundamentów lub / i lin odciągowych) – do 15 [m],
- K3 – masa całkowita kompletnego środka technicznego z wyłączeniem fundamentu – ok. 750 [kg] (umożliwienie bezproblemowego transportu),
- K4 – minimalna prędkość wiatru, wprawiająca w ruch element roboczy elektrowni (śmigło lub rotor) – 2 [m/s],
- K5 – moc generowana przez elektrownię – 4÷8 [kW],
- K6 – cena całego urządzenia – 15 000÷20 000 [PLN] (zakres cenowy dla tego typu środków technicznych dostępnych na rynku),
- K7 – niezawodność (opracowanie ustroju możliwie odpornego na uszkodzenia i awarie),
- K8 – możliwie wysoka bezobsługowość,
- K9 – dostępność materiałów konstrukcyjnych (obniżenie kosztów wytworzenia),
- K10 – możliwie szerokie zastosowanie, w trakcie opracowywania konstrukcji, elementów katalogowych i znormalizowanych (uproszczenie wytworzenia),
- K11 – łatwość transportu,
- K12 – łatwość montażu,
- K13 – łatwość demontażu,
- K14 – zastosowanie w trakcie opracowywania konstrukcji elementów regenerowalnych (środek techniczny przyjazny środowisku naturalnemu),
- K15 – odporność na warunki atmosferyczne (długa żywotność urządzenia),

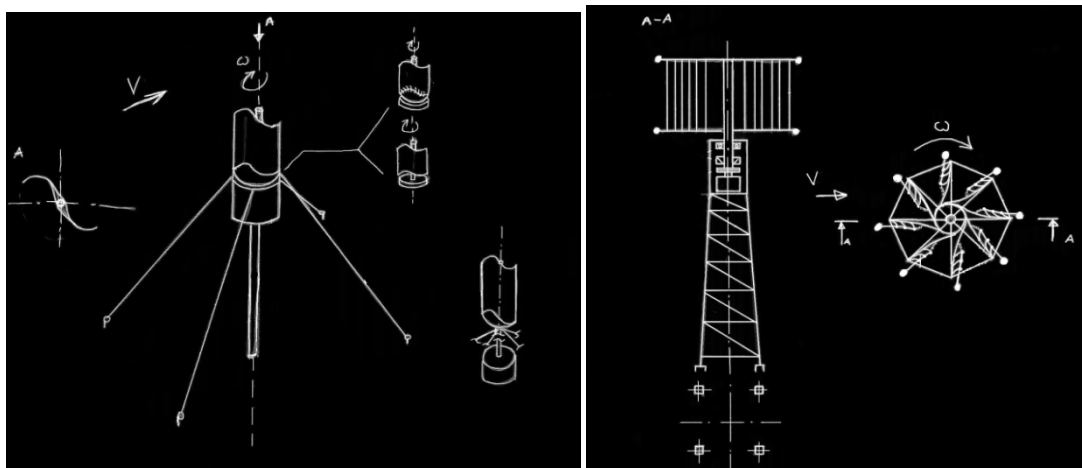
- K16 – zabezpieczenie przed uszkodzeniem lub zniszczeniem elektrowni na skutek działania nadmiernej prędkości wiatru,
- K17 – cichobieżność (minimalizacja wszelkich hałasów),
- K18 – uwzględnienie w konstrukcji regulowanego kąta natarcia i regulowanej długości łopat (mechanizm regulacji obrotów elementu roboczego),
- K19 – stateczność ustroju nośnego,
- K20 – bezpieczeństwo.

3. Utworzenie pola możliwych rozwiązań

Przy opracowaniu pola możliwych rozwiązań (tzw. koncygowaniu) wzorowano się na intuicyjnej metodzie 635 - sześć zespołów specjalistów, trzy koncepcje opracowane przez każdy z zespołów, pięć modyfikacji każdej z koncepcji (modyfikacje koncepcji przeprowadzają zespoły z wyłączeniem zespołu, który daną koncepcję opracował).

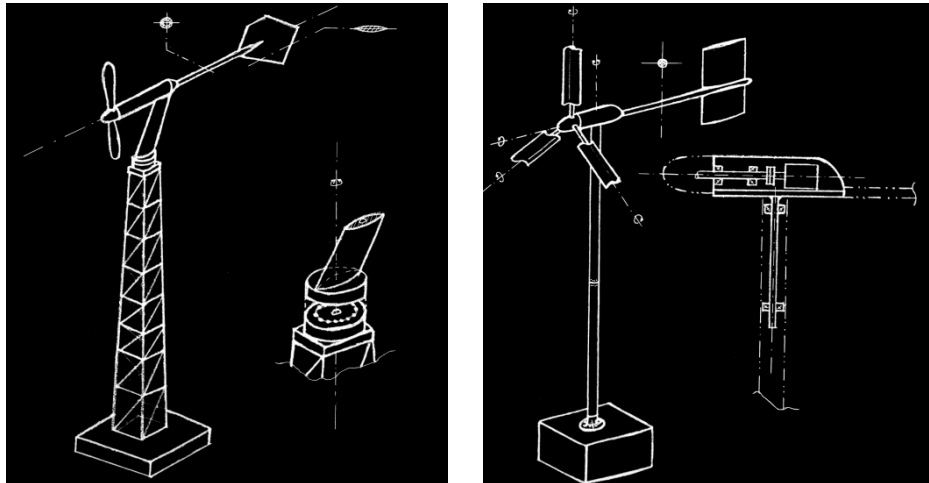
W wyniku procesu koncygowania utworzono łącznie dwadzieścia osiem różnych rozwiązań konstrukcyjnych, które następnie poddano ocenie wielokryterialnej. Przykładowe fragmenty szkiców koncepcji, spośród opracowanych, przedstawiono na rys.1 i rys.2.

Koncepcje, dotyczące pola możliwych rozwiązań, były zainspirowane dostępną literaturą fachową [1, 2], a także źródłami internetowymi. Starano się, aby poszczególne rozwiązania w obrębie pola wykazywały różnorodność konstrukcyjną. Dlatego też w polu znalazły się koncepcje z ustrojami nośnymi w postaci wież kratowych, masztów, z linami odciągowymi, bez lin, z elementem roboczym w postaci śmigła z klasycznymi łopatom lub z elementami walcowymi mającymi wykorzystywać tzw. efekt Magnusa, z elementem roboczym w postaci rotora Savoniusa lub w postaci pionowej łopaty.



Rys.1. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne opracowane w ramach utworzenia pola możliwych rozwiązań (I)

Fig.1. Examples of design solutions developed during the creation of possible solutions field (I)



Rys.2. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne opracowane w ramach utworzenia pola możliwych rozwiązań (II)

Fig.2. Examples of design solutions developed during the creation of possible solutions field (II)

4. Kryterialny wybór z pola możliwych rozwiązań

W celu wyboru rozwiązania optymalnego w zakresie utworzonego pola koncepcji posłużono się jedną z najprostszych metod zaliczanych do grupy metod optymalizacji parametrycznej – tzw. metodą punktową (dokładny opis metody można znaleźć np. w [3]).

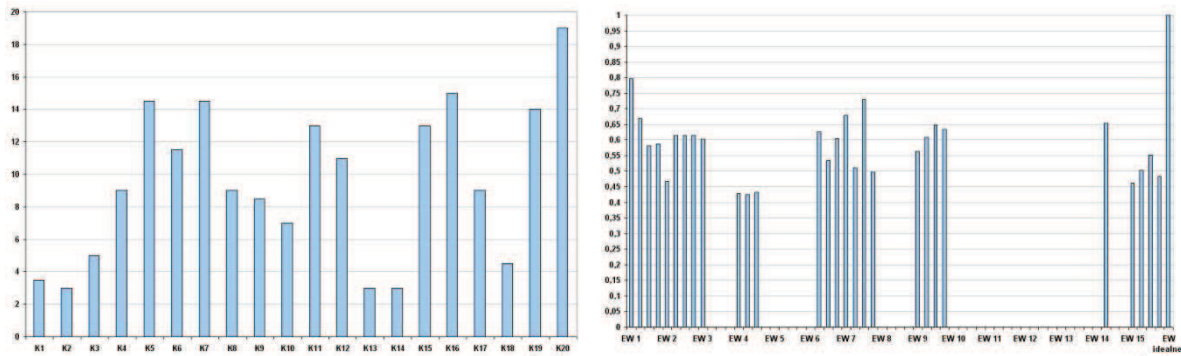
Aby uprościć zalgorytmizowane obliczenia etapu utworzono specjalną aplikację w postaci skoroszytu programu MS Excel, do której następnie wprowadzono wyniki oceny układu kryteriów oraz oceny wszystkich koncepcji z pola możliwych rozwiązań względem tego układu. Przykładowe fragmenty tabel ocen z aplikacji przedstawiono na rys.3 i rys.4.

W rezultacie przeprowadzonego wyboru wielokryterialnego, jako rozwiązanie konstrukcyjne spełniające najlepiej sformułowany układ kryteriów (rozwiązanie optymalne w granicach utworzonego pola rozwiązań), zidentyfikowano rozwiązanie przedstawione z lewej strony na rys.1. Przewaga tego rozwiązania nad innymi polegała przede wszystkim na małej liczbie potencjalnych elementów składowych (dzięki pionowej osi obrotu elementu roboczego) oraz potencjalnie najmniejszej wadze (także za sprawą małej liczby potencjalnych elementów i możliwości wykorzystania tworzyw sztucznych przy wytwarzaniu).

2		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	2		g	EW 1	EW 1.1	EW 1.2	EW 1.3	
3	Wysokość h = 15 [m]	K1	0,5	0,5	0	0	1	0	3	K1	Wysokość h = 15 [m]	3,5	3	3	3	
4	Średnica podstawy opisanej do 15 [m]	K2	0,5	0,5	0	0	0	0	4	K2	Średnica podstawy opisanej do 15 [m]	3	1	3	3	
5	Masa ustroju bez fundamentu ok. 750 [kg]	K3	0,5	0,5	0	0	0	0	5	K3	Masa ustroju bez fundamentu ok. 750 [kg]	5	3	1	1	
6	Minimalna siła wiatru 2 [m/s]	K4	1	1	1	0,5	0	0	6	K4	Minimalna siła wiatru 2 [m/s]	9	3	3	3	
7	Moc elektrowni P = 4-8 [kW]	K5	1	1	1	0,5	1	0	7	K5	Moc elektrowni P = 4-8 [kW]	14,5	2	2	2	
8	Cena 15 000 - 20 000 [PLN]	K6	0	1	1	1	0	0	8	K6	Cena 15 000 - 20 000 [PLN]	11,5	2	1	0	1
9	Niezawodność	K7	1	1	1	0,5	0,5	1	9	K7	Niezawodność	14,5	2	2	2	2

Rys.3. Utworzona aplikacja obliczeniowa MS Excel - widok fragmentu arkusza oceny układu kryteriów (z lewej) i oceny rozwiązań względem układu kryteriów (z prawej)

Fig.3. Created MS Excel calculation app – part view of the criteria's set assessment sheet (left) and evaluation of the possible solutions sheet (right)



Rys.4. Utworzona aplikacja obliczeniowa MS Excel – wykres wartości oceny kryteriów (z lewej) i wykres tzw. wskaźnika rozwiązania idealnego (z prawej)

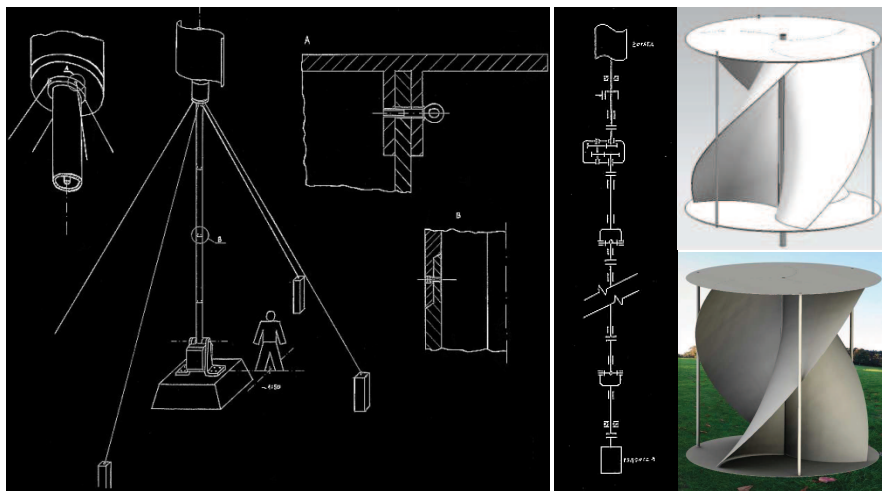
Fig.4. Created MS Excel calculation app – criteria evaluation values chart (left) and the so-called ideal solution ratio chart (right)

5. Wstępne uszczegółowienie rozwiązania do realizacji

Rozwiązanie konstrukcyjne wybrane w trakcie poprzedniego etapu zostało poddane dalszemu uszczegółowieniu (rys.5).

Uznano, że optymalnym rozwiązaniem, ze względu na możliwości transportu, będzie utworzenie modułowego ustroju elektrowni, w którego skład weszłyby: moduł podstawy, trzy moduły środkowe i moduł zespołu wiatrowego (każdy moduł o wysokości ok. 2 [m]). Cały ustrój elektrowni posiadałby możliwość „położenia” do pozycji poziomej dzięki zastosowaniu przegubu wspartego na dwóch wspornikach, przytwierdzonych do fundamentu (rozwiązanie to umożliwiłoby samodzielny montaż, konserwację i serwis).

Główny element modułu podstawy stanowiłaby katalogowa prądnica usytuowana „przed” przegubem „kładzenia” ustroju elektrowni. Prądnica, poprzez układ wałów napędowych, połączona byłaby z przekładnią mechaniczną (konieczność konwersji prędkości obrotowej



Rys.5. Kolejny poziom uszczegółowienia koncepcji elektrowni; od lewej: elektrownia w proporcji, koncepcje mocowania modułów masztu, schemat kinematyczny, element wykonawczy - rotor
Fig.5. Next level of detail of station's concept; from left: station in the ratio, concepts of pole's modules assembly, kinematic schema, working element - rotor

elementu roboczego – łopaty / rotora, na prędkość obrotową wymaganą przez prądnicę), ta z kolei sprzężona byłaby z wałem elementu roboczego, na którym zamontowany byłby hamulec mechaniczny (zabezpieczenie przed działaniem nadmiernej prędkości wiatru).

Budowa każdego modułu ustroju elektrowni, bazowałaby na metalowej rurze, odpowiednio ukształtowanej na końcach / końcu. Profilowanie takie umożliwi łatwe i jednocześnie wytrzymałe wzajemne łączenie modułów. We wnętrzu każdej rury-modułu znajdowałby się łożyskowany na końcach wał, a także sprzęgło Cardana, do łączenia wału z wałem modułu sąsiedniego. Dodatkowo sprzęgła Cardana w modułach pozwalałyby niwelować ewentualne wygięcia całego masztu elektrowni wywołane działaniem siły wiatru.

Trzy łopaty o śrubowych krawędziach zewnętrznych, przewidziane w konstrukcji rotora, zapewnią w miarę stałą powierzchnię roboczą (powierzchnię, którą rotor „odbiera wiatr”) bez względu na kąt ustawienia rotora w stosunku do kierunku wektora prędkości wiatru (problem występujący czasami w przypadku klasycznego rotora Savoniusa). Wykonanie elementów składowych rotora z tworzywa sztucznego (łopat, osi, wsporników i płyt ograniczających) pozwoli na utworzenie lekkiej i jednocześnie sztywnej struktury elementu.

6. Podsumowanie

Najważniejszym wnioskiem, jaki wyciągnięto w trakcie pracy, jest stwierdzenie trudności zagadnienia uniwersalności elektrowni korzystającej z naturalnego źródła energii. Przejawia się to głównie w kwestii dostępności źródła oraz jego „ciągłości”. Jeśli chodzi o siłę wiatru, to jej wartość oraz ciągłość działania jest w znacznym stopniu uzależniona od położenia geograficznego miejsca pracy, co praktycznie uniemożliwia skonstruowanie elektrowni wiatrowej o uniwersalnym przeznaczeniu. Wiatry występują prawie wszędzie, jednak nie można uznać ich za zjawisko występujące non-stop, jak ma to miejsce (w porównaniu) w przypadku np. energii strumienia rzeki, której działanie można uznać za prawie ciągłe, ale do której dostęp jest przestrzennie silnie ograniczony.

Literatura

1. Flaga A.: Inżynieria wiatrowa: Podstawy i zastosowania. Warszawa: Arkady, 2008.
2. Jagodziński W.: Silniki wiatrowe. Warszawa: PWT, 1959.
3. Gendarz P.: Aplikacje programów graficznych w uporządkowanych rodzinach konstrukcji. Gliwice: Wyd. Pol. Śl., 1998.

THE WIND POWER STATION PROJECT FOR DETACHED HOUSE – FIRST STAGES OF DESIGN-CONSTRUCTION PROCESS

Summary: The article presents first stages of design-construction process, of a wind power station project for a detached house. The project was conducted during the framework of students' additional scientific classes in the section of New Machine Design Methods by prof. Janusz Dietrych's name, working at the Faculty of Mechanical Engineering of the Silesian University of Technology.