POSTĘPY W INŻYNIERII MECHANICZNEJ
DEVELOPMENTS IN MECHANICAL ENGINEERING
6(3)/2015, 35-42
Czasopismo naukowo-techniczne – Scientific-Technical Journal

Katarzyna MATUSZCZAK, Józef FLIZIKOWSKI

ZAGADNIENIA OGÓLNE DOTYCZĄCE OBCIĄŻENIA ŚRODOWISKA W CYKLU ŻYCIA ELEKTROWNI WIATROWEJ

Streszczenie: Rozwój energetyki konwencjonalnej prowadzi do zmniejszania, a w konsekwencji zaniku zasobów nieodnawialnych (węgiel kamienny, ropa naftowa itd.). Niezbędna jest produkcja sztucznych, tanich, ekologicznych i odnawialnych dóbr energetycznych. Potencjał taki ma energia wiatru, która jest ogromnym stale odnawiającym się zasobem. Celem pracy była analiza i ocena użytecznych i szkodliwych obciążeń systemu oraz środowiska, generowanych w cyklu życia elektrowni wiatrowej. Przedstawiono powiązania pomiędzy oddziaływaniem obiektu na środowisko a rodzajem destrukcyjności, jakie wywołuje. Omówiono metodę LCA, która powiązana ze wskaźnikami użyteczności może być przydatna w ocenie i projektowaniu obciążeń środowiska w cyklu życia elektrowni wiatrowej.

Słowa kluczowe: elektrownia wiatrowa, cykl życia, obciążenia środowiska, odnawialne źródła energii, destrukcyjność

1. WSTĘP

Rozwój energetyki konwencjonalnej na świecie doprowadził do zmniejszenia zasobów nieodnawialnych. Ciągły rozwój gospodarczy i rosnące zużycie surowców energetycznych przyczyniają się do postępującego procesu degradacji ekosystemu i krajobrazu naturalnego [5]. Konieczny jest postęp technologii wykorzystujących alternatywne źródła energii. Jednym z nich jest energia wiatru. Elektrownie wiatrowe produkują „czyste" potencjały energii, nie emitując niebezpiecznych zanieczyszczeń do atmosfery. Obciążenia, jakie elektrownia ta może wywołać dla operatorów, obiektu obrabianego (wiatru), w środowisku naturalnym i sztucznym mogą mieć miejsce w różnych fazach cyklu życia. Należy wziąć pod uwagę następstwa destrukcyjnego oddziaływania obciążeń całych elektrowni wiatrowych, ich zespołów, podzespołów roboczych, elementów, materiałów i tworzyw, z których składają się mechanizmy nie tylko w trakcie eksploatacji, ale także w czasie wytwarzania oraz zagospodarowania poużytkowego.

mgr inż. Katarzyna MATUSZCZAK, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, ul. Bernardyńska 6, 85-029 Bydgoszcz, e-mail: matuszczakkatarzyna@gmail.com
prof. dr hab. inż. Józef FLIZIKOWSKI, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz, e-mail: Jozef.Flizikowski@utp.edu.pl

Nie istnieje technologia energetyki, która byłaby w pełni przyjazna środowisku przyrodniczemu [7]. Po zakończeniu cyklu życia elektrowni wiatrowej powstaje wiele odpadów zarówno z materiałów metalowych (aluminium, miedź, żeliwo itp.), jak i niemetalowych (tworzywa sztuczne wypełnione włóknem szklanym, beton) [3]. Opracowanie inżynierii zintegrowanej użyteczności elektrowni wiatrowych, ich projektowania, wytwarzania, eksploatacji i wybór odpowiedniego sposobu zagospodarowania pożytkowego jej potencjałów energomaterialnych może zminimalizować ryzyko szkodliwego oddziaływania na operatorów, funkcjonalność systemu, ekologiczność i sozologiczność, a szczególnie na emisje substancji do środowiska przyrodniczego, jego zanieczyszczenia czy zużywanie elementów roboczych konstrukcji elektrowni. Dodatkowo może wpłynąć pozytywnie na ochronę zdrowia człowieka.

Celem pracy jest analiza i ocena możliwych obciążeń operatorów, systemu i środowiska powstałych w cyklu życia elektrowni wiatrowej.

Dla osiągnięcia celu postanowiono rozwiązać problem, skierowany na uporządkowany opis szeroko rozumianych warunków technicznych (operatorów, przetwarzania, środowiska naturalnego i sztucznego), niezbędnych do wystąpienia postulowanych stanów użyteczności energetyki wiatrowej (wysokiej, wyższej, najwyższej: ergonomiczności, funkcjonalności, ekologiczności, sozologiczności). Omówiono relację pomiędzy stanem technicznym obiektu a środowiskiem.

2. WPŁYW ELEKTROWNI WIATROWEJ NA ŚRODOWISKO

Energia wiatru to ogromne, stale odnawiające się zasoby. Rozwój energetyki wiatrowej przyczynia się do eliminacji zużycia konwencjonalnych zasobów energetycznych (węgla kamiennego, ropy naftowej, gazu ziemnego itd.), które wciąż ulegają zmniejszeniu w związku z ich intensywną eksploracją (rozwojem przemysłowym). Na aktualnym etapie wdrożeń, badań i rozwoju, szczególnie oddziaływań elektrowni wiatrowej na środowisko, panuje wiele negatywnych opinii na temat możliwości intensywnego postępu energetyki wiatrowej. Zdanie prezentowane przez wielu badaczy dotyczy głównie wytwarzanych infradźwięków, drgań, hałasu słyszalnego. Zgodnie z opinią panującą w mediach i wśród badaczy, zjawiska obciążeń fizycznych emitowanych do środowiska wpływają destrukcyjnie na faunę, florę, a także zdrowie ludzi [1].

W celu określenia wpływu elektrowni wiatrowej na środowisko wykonuje się analizy metodą LCA (*Life Cycle Assessment*). Podczas badania cyklu życia obiektu uwzględnia się etapy: projektowania, produkcji, użytkowania, zagospodarowania pożytkowego. Na każdym z wymienionych etapów mogą wystąpić szkodliwe oddziaływania na środowisko. Negatywny wpływ elektrowni wiatrowej może odzwierciedlić się w różnych komponentach środowiska przyrodniczego. Zmiany klimatu, wytwarzanie związków promieniotwórczych, postępujący proces zakwaszenia/eutrofizacji to przykłady możliwych szkodliwych oddziaływań/następstw. Metoda LCA stanowi cenne narzędzie, dzięki któremu

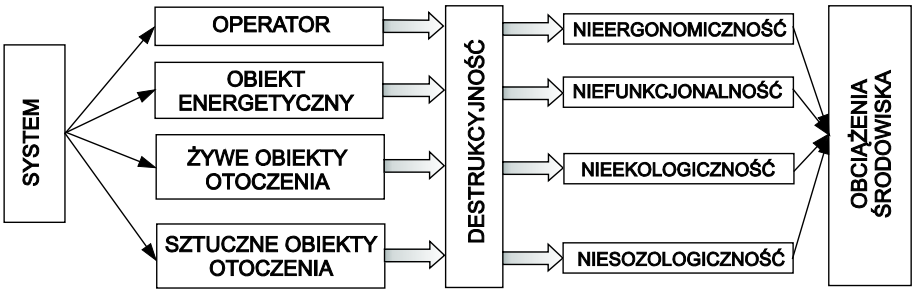
można określić oddziaływanie danego obiektu na środowisko na podstawie realnych danych, a nie tylko hipotez badawczych. Daje to możliwość obiektywnej analizy, oceny, a przede wszystkim wspomagania projektowania technik efektywnego eliminowania negatywnego wpływu maszyny lub procesu wobec środowiska [2]. Niestety procedury analizy LCA, skierowane na środowisko naturalne, nie uwzględniają szerokiego spektrum obiektów związanych z elektrowniami wiatrowymi, np. operatorów, obiektów obrabianych, urządzeń technicznych, ich wzajemnych relacji.

3. OBCIĄŻENIA GENEROWANE PRZEZ ELEKTROWNIE WIATROWE

Obciążenia generowane przez wytwarzaną, eksploatowaną i likwidowaną elektrownię wiatrową są to wszelkie zjawiska przyczyniające się do zubożenia zasobów biotycznych i abiotycznych, zanieczyszczenia środowiska, a także degradacji ekosystemu, krajobrazu, człowieka, zużywania się elementów maszynowych i potencjałów związanych z użytkowaniem elektrowni. Ich wynikiem są destrukcyjne następstwa oddziaływania systemów technicznych, którymi w omawianym przypadku są elektrownie wiatrowe (rys. 1). System poprzez oddziaływanie na człowieka, rośliny, zwierzęta, surowce naturalne i wytworzone, ujawnia destrukcyjny dla otoczenia charakter jego elementów, a przede wszystkim relacji. Destrukcyjność opisywana jest czterema wymiernymi następstwami:

- dla operatorów – nieergonomicznością,
- dla układów technologicznych przetwarzania wiatru – niefunkcjonalnością,
- dla obiektów żywych – nieekologicznością,
- dla obiektów wytworzonych, sztucznych – niesozologicznością.

Na każdym etapie cyklu życia elektrowni wiatrowej może mieć miejsce negatywne oddziaływanie na operatorów, obiekt przetwarzany, środowisko naturalne i sztuczne (rys. 1).



Rys. 1. Elementy i relacje obrazujące wpływ systemu technicznego na obciążenia operatora, układu technicznego i środowiska w cyklu życia elektrowni wiatrowej [6]
Fig. 1. The elements and relationships to illustrate the impact of the technical system on a man, technical system and environment load in the life cycle of a wind power plant [6]

Nieergonomiczność określa wielkość negatywnego oddziaływania zespołu roboczego na operatora. Może nim być zarówno operator, jak i mieszkaniec pobliskiego otoczenia obiektu. Jako miarę pozytywnych oddziaływań energetyki wiatrowej na operatorów zaproponowano ergonomiczność stanowiska pracy, działania, wytworu, odniesioną do:

- właścicieli źródła, gruntu, pozyskania, inwestorów,
- wytwórców,
- sprzedawców,
- sieci przesyłowych,
- operatorów sieci przesyłowej,
- spółek dystrybucyjnych,
- operatorów sieci dystrybucyjnej,
- kupujących na rzecz odbiorców,
- oferentów energii,
- użytkowników, odbiorników, odbiorców.

Niefunkcjonalność kształtowana jest jako skutek niedokładności realizacji funkcji, jako nieefektywność danego obiektu. Funkcjonalność, będąca wielkością dopełniającą, określana jest w trzech aspektach: energetycznym, ekonomicznym i ekologicznym (wzory od (1) do (3)).

efektywność energetyczna:

$$e_e = \frac{\text{korzyści energetyczne}}{\text{koszty energetyczne}} \tag{1}$$

efektywność ekonomiczna:

$$e_{eko} = \frac{\text{korzyści ekonomiczne}}{\text{koszty ekonomiczne}} \tag{2}$$

efektywność ekologiczna:

$$e_{EKO} = \frac{\text{korzyści ekologiczne}}{\text{koszty ekologiczne}} \tag{3}$$

Na funkcjonalność elektrowni wiatrowej ma wpływ z jednej strony doskonała, optymalna konstrukcja środków technicznych, maszyn, urządzeń i instalacji energetyki wiatrowej (EW), na co składa się:

- fenomenalna konstrukcja procesowa,
- wysokosprawna konstrukcja sterownicza,
- samoorganizująca konstrukcja informacyjna,
- niezawodna konstrukcja logistyczna,

które umożliwią drastyczną poprawę, w ramach reinżynierii. Z drugiej – użyteczność sposobów przetwarzania:

- pokrycie przewidywanego, zmiennego w czasie zapotrzebowania, przy minimum kosztów eksploatacji,

- kompensacja czynnych i biernych strat przesyłu w systemie, przy pokryciu przewidywanego zapotrzebowania,
- spełnienie różnorodnych ograniczeń eksploatacyjnych (ograniczenia termiczne lub stabilności w liniach, poziomy napięć w węzłach itp.),
- zapewnienie elastyczności wytwarzania w czasie rzeczywistym dla zbilansowania odchyleń (jeśli takie wystąpią) od wartości przewidywanego zapotrzebowania,
- zapewnienie rezerwowania w przypadku awaryjnego odłączenia dowolnego elementu w systemie energetycznym (cel n-1).

Nieekologiczność określana jest jako negatywne oddziaływanie zespołu roboczego na żywe elementy środowiska przyrodniczego, w szczególności na glebę, rośliny, zwierzęta, zbiorniki wodne. Najważniejsze aspekty, stanowiące problematykę oddziaływania elektrowni wiatrowej na środowisko naturalne dotyczą:

- degradacji siedlisk ptactwa oraz pozostałej fauny wolnożyjącej,
- emisji infradźwięków, drgań, hałasu, które mogą negatywnie wpływać na organizmy żywe i zdrowie człowieka,
- zakłócania harmonijnej atrakcyjności krajobrazu [1].

Niesozologiczność opisuje negatywne oddziaływanie na sztuczne (wytworzone) obiekty otoczenia, czyli elementy materiały, tworzywa konstrukcyjne zespołów roboczych. Użyteczne wykorzystanie sztucznych, wytworzonych przez ludzi, odnawialnych źródeł energii (np. energii wiatru) jest niezbędne w dobie ciągłego wzrostu zużycia zasobów konwencjonalnych, które wciąż ulegają redukcji. Światowa Rada Energetyki (*Wold Energy Council*) zauważa konieczność rozwoju sztucznych, tanich i ekologicznych zasobów energii. Dzięki temu oprócz wytworzonych rezerw energetycznych dochodzi do zmniejszenia emisji szkodliwych związków zanieczyszczających atmosferę. Elektrownie wiatrowe produkują „czystą" energię. Mogą również negatywnie oddziaływać na środowisko. Największe obciążenia środowiska mogą mieć miejsce w czasie ich produkcji, transportu oraz zagospodarowania pożytkowego elementów elektrowni.

Duże znaczenie w generowaniu obciążeń środowiska ma sposób zagospodarowania pożytkowego elementów, materiałów, tworzyw i czynników (smarnych, hydrauliki siłowej) po zakończeniu cyklu życia elektrowni wiatrowej. Elementy obiektu skonstruowane są z różnych materiałów. Mogą one być źródłem powstawania związków powodujących znaczące zmiany w środowisku, począwszy od jego zakwaszenia po zmiany klimatyczne. W celu zminimalizowania obciążeń środowiska w znaczeniu ekologiczności należy wybrać odpowiedni sposób zagospodarowania pożytkowego konstrukcji elektrowni wiatrowej. Recykling w przeciwieństwie do gromadzenia odpadów na składowisku, może znacznie zwiększyć użyteczność i ograniczyć ilość substancji emitowanych do środowiska [3].

4. POSTULOWANA UŻYTECZNOŚĆ ELEKTROWNI WIATROWYCH

Użyteczność produktu, procesu energetyki wiatrowej jest symbolem pojęcia, które oznacza jedną ze zbiorczych charakterystyk (jakości mocy i energii, bezpieczeństwa użytkowników, procesu przetwarzania), wyrażającą – za pomocą charakterystyk energetycznych, ekonomicznych, ekologicznych – skuteczność transformacji potencjałów działania. Użyteczność traktowana jest jako cecha: systemowa, mierzalna, stosowana przy porównywaniu systemów danej klasy, wyrażająca różne aspekty działania w różnych przedziałach czasu, wyrażana różnie w zależności od klasy systemów ich przeznaczenia i warunków [8.

Z wymienionych powodów istnieje wiele definicji użyteczności odnoszących się do różnych obiektów. Ze względu jednak na zakres energetyki wiatrowej ograniczono się do wymienienia i zwrócenia uwagi na niektóre rodzaje. Wychodząc z opisowej definicji użyteczności działania, jej kontekstu produktowego i procesowego (energetycznego, ekologicznego i ekonomicznego), formalną jej postać ($U(t)$) można podać jako iloczyn efektywności ($E(t)$) i bezpośrednio poniesionych nakładów ($N(t)$) w danym przedziale czasu $(0, t)$.

$$U(t) = E(t) \cdot N(t) \tag{4}$$

Wielkości $U(t)$ i $N(t)$ oznaczają wartości użytków oraz nakładów do chwili t od początku działania ($t_\sigma = 0$). Funkcja $N(t)$ w przedziale $(0, t)$ jest niemalejącą funkcją czasu, tak że w każdym z elementarnych przedziałów (Δt lub dt) elementarna wartość nakładów jest nie mniejsza od zera:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} \geq 0 \tag{5}$$

zaś wartość funkcji $N(t)$ w zależności od tego, czy funkcja $n(t)$ jest ciągła, lub dyskretna, wyznacza się z zależności:

$$\begin{aligned} N(\tau) &= \int_o^\tau n(t)\,dt \\ N(\tau) &= \sum_i n_i \cdot \Delta t \end{aligned} \tag{6}$$

Funkcja $U(t)$ w rozpatrywanym przedziale czasu może przybierać wartości dodatnie, jak i ujemne.

$$u(t) = \frac{dU(t)}{dt} \tag{7}$$

Na podstawie wartości funkcji elementarnych $u(t)$ w zależności od tego, czy są to funkcje ciągłe lub dyskretne, można wyznaczać zależności:

$$U(\tau) = \int_0^{\tau} u(t)dt$$
$$U(\tau) = \sum_i n_i \cdot \Delta t_i \tag{8}$$

Termin nakłady rozumieć należy jako część zasobów, nośników energii wody, operatorów, maszyn, środowiska naturalnego i sztucznego, zużytego w działaniu systemu energetycznego. Nakład może być wyrażony różnymi składnikami w różnych jednostkach.

Użyteczność działania w przestrzeni energetycznej, ekologicznej, ekonomicznej należy rozumieć jako tę część korzyści (skutku, produktu) działania, która ma przydatność użytkową i której uzyskanie było celem działania. W przypadku $E(t)$ = const, efektywność spełnia warunek współczynnika kierunkowego prostej ($E = m = tg\alpha$), obrazującej zależność rosnących użytków jako wynik zwielokrotnienia o m nakładów. Załóżmy, że przedział czasu Δt, w którym rozpatrujemy działanie, jest nieskończenie mały, czyli że Δt dąży do zera. Graniczną wartość ilorazu zmiany użytków ΔU przez przyrost nakładów ΔN w przedziale czasu Δt, gdy Δt dąży do zera, nazywa się miarami efektywności systemu energetyki wiatrowej [8]:

$$E(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{U(t+\Delta t) - U(t)}{N(t+\Delta T) - N(t)} \tag{9}$$

5. PODSUMOWANIE

Na każdym etapie cyklu życia elektrowni wiatrowej generowane są obciążenia środowiska. Mogą one negatywnie oddziaływać na operatorów, obiekt eksploatowany, a także środowisko (naturalne oraz sztuczne). Destrukcyjność elektrowni wiatrowej określana jest w czterech obszarach nieergonomiczności, niefunkcjonalności, nieekologiczności oraz niesozologiczności. Cykl życia elektrowni wiatrowej związany jest z jej wytworzeniem, eksploatacją, a także zagospodarowaniem poużytkowym materiałów konstrukcyjnych oraz towarzyszącym im czynników (materiały eksploatacyjne, np. środki smarowe). Ostatni wymieniony etap w cyklu życia omawianego obiektu ma ogromne znaczenie w generowaniu obciążeń środowiska. Recykling elementów, w odniesieniu do składowania powstałych odpadów, może znacząco ograniczyć emisję szkodliwych substancji do środowiska naturalnego. Stosowanie metody LCA w ocenie generowanych obciążeń, wzbogaconej badaniami, teorią użyteczności działania, w cyklu życia obiektu może być przydatne w określeniu negatywnego oddziaływania i wspomagania projektowania użyteczności zespołu roboczego elektrowni wiatrowej. Szczególne znaczenie takiej metodyki może dotyczyć obiektów szerzej powiązanych z elektrownią wiatrową (operatorów, obiektów

technicznych itd.), a dotychczas niepoddawanych ocenie. W związku z tym wykorzystanie metody LCA, powiązanej z szacowaniem użyteczności, w ocenie cyklu życia elektrowni wiatrowej ma charakter innowacyjny i oryginalny.

LITERATURA

[1] BARANOWSKI A, BOROWSKI S., i in.: Farmy wiatrowe. Zagrożenie dla człowieka i środowiska. Wyd. Uczeln. UTP, Bydgoszcz, 2014.
[2] DURAIRAJ S.K.: Evaloation of Life Cycle Cost Analysis methodologie. Corp. Environ. Strategy, 9, 30- DOI:10.1016/S1066-7938(01)00141-5, 2002.
[3] FLIZIKOWSKI J.: Systemy wytwarzania uwzględniające nowe źródła energii i obniżenie emisji zagrożeń. Sprawozdanie z badań BS/17/2013, UTP, Bydgoszcz, 2014.
[4] KOWALSKI Z., KULCZYCKA J.: Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA). Wyd. PWN, Warszawa, 2007.
[5] NOWAK W.: Zastosowanie odnawialnych źródeł energii. Wyd. Politechnika Szczecińska, 2008.
[6] PIASECKA I.: Badanie i ocena cyklu życia zespołów elektrowni wiatrowych. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, 2014.
[7] PIASECKA I.: Modele cyklu życia w ocenie destrukcyjności wirnika elektrowni wiatrowej. Cz. I. Podstawy teoretyczne. Inż. Ap. Chem., 53(2), 2014, 103-104.
[8] POWIERŻA L.: Zarys inżynierii systemów bioagrotechnicznych. Część I. Podstawy. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom-Płock, 1997.
[9] www.wec-pksre.pl.

GENERAL ISSUES IN THE ENVIRONMENTAL LOAD IN LIFE CYCLE OF POWER WIND

Summary: The development of conventional energy leads to a reduction, and consequently loss of non-renewable resources (coal, oil, etc.). It is necessary to manufacture artificial, cheap, clean and renewable energy goods. This potential has a wind, which is constantly renewing itself a huge resource. The aim of the study was to investigate, analyze and evaluate useful and harmful burden on the system and the environment, generated in the lifecycle of a wind power plant. It shows the relationship between the property's impact on the environment, and it produces a kind of destructiveness. Outlines a method for LCA, which related to the indicators of utility, may be useful in the evaluation and design the environmental load in the life cycle of a wind power plant.

Key words: wind power, life cycle, environmental load, renewable energy sources, destructiveness