

Izabela PIASECKA

e-mail: piasecka-izabela@wp.pl

Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Modele cyklu życia w ocenie destrukcyjności wirnika elektrowni wiatrowej. Cz. I. Podstawy teoretyczne

Wprowadzenie

Na przełomie XIX i XX wieku nastąpił gwałtowny wzrost globalnej konsumpcji. Przez wiele lat społeczeństwa lekcewały skutki uboczne rozwoju gospodarczego, nie zwracając uwagi na niebezpieczeństwa zwiększającej się dewastacji środowiska oraz skończoności zasobów naturalnych [Davis i Peters, 2001; Essaki i Kato, 2005]. Podczas przetwarzania zasobów czyli pozyskania, przerobu, transportu, dystrybucji, użytkowania i zagospodarowania poużytkowego, w sposób ciągły powstaje antropopresja na środowisko. W krańcowym efekcie poziom zanieczyszczeń może przekroczyć możliwość biologicznego przeżycia ludzi i/lub innych organizmów żywych [Raupach i in., 2007; McCarthy, 2009].

Paliwa, które mogłyby zastąpić węgiel, ropę naftową czy gaz ziemny, nazywane są alternatywnymi. Wskazywano na nie już wiele lat temu, jednakże intensyfikacja badań nad nimi nastąpiła po pierwszym kryzysie naftowym. Zasadniczym argumentem, który przemawiał za koniecznością poszukiwania alternatywnych źródeł energii, był narastający efekt cieplarniany, powstający na skutek nadmiernej emisji m.in. CO₂ [Midilli i in., 2006; Gronowicz, 2008]. Odnawialne źródła energii należą do strategii zrównoważonego rozwoju. Zmniejszają zależność lub tworzą zupełną niezależność od importu energii, zapewniając bezpieczeństwo dostaw [Udo i Pawłowski, 2011; Duran i in., 2013]. Przyczyniają się do poprawy konkurencyjności przemysłu, mają pozytywny wpływ na rozwój regionalny i spadek bezrobocia [Michałowski, 2011, Duran i in., 2013].

Nie ma energetyki w pełni przyjaznej dla środowiska przyrodniczego, ludzkiego zdrowia i życia. Procesy pozyskiwania, przetwarzania, rozdzielania i transportowania nośników energii wiążą się z zagrożeniem dla środowiska. Energetyka wiatrowa w ostatnim piętnastolecu przeżyła dynamiczny rozwój. Moc zainstalowana w elektrowniach wiatrowych na całym świecie wynosi ok. 300 GW, a w Europie ok. 130 GW. Przeciętna długość cyklu życia siłowni wiatrowej to ok. 20 lat. Po tym okresie, muszą zostać poddane procesom zagospodarowania. Stosowanie energetyki wiatrowej ogranicza wydobycie surowców kopalnych, zużywanych w konwencjonalnych procesach pozyskiwania energii. Podczas zagospodarowania po zakończeniu cyklu życia, powstają szkodliwe oddziaływania, związki, emisje do gleby, wody i atmosfery oraz odpady (często niebezpieczne), które należy właściwie zutylizować [Joncas, 2010].

Celem pracy jest poznanie, opis, analiza i ocena działań minimalizacyjnych destrukcyjnego oddziaływania podczas wytwarzania, eksploatacji i recyklingu, zespołów roboczych elektrowni wiatrowych.

Destrukcyjność oddziaływania zespołów roboczych

Destrukcyjność oddziaływania zespołu roboczego określa stopień szkodliwego wpływu na otoczenie, obejmującego całokształt jego oddziaływań na środowisko. Oddziaływanie to może przejawiać się w różnej formie i za pośrednictwem różnorodnych czynników, np. w postaci materialnej, energetycznej, informacyjnej. Stopień i skutki destrukcyjności oddziaływań różnią się w zależności od emisji danych czynników i od wrażliwości poszczególnych elementów otoczenia.

Można wyodrębnić cztery typy destrukcyjnych oddziaływań zespołów roboczych elektrowni wiatrowej, a mianowicie: ergonomiczność, defunkcyjność, ekologiczność i sozologiczność.

Ergonomiczność to charakterystyka wyrażająca stopień destrukcyjnego oddziaływania zespołu roboczego na operatora.

Defunkcyjność charakteryzuje stopień destrukcyjnego oddziaływania na obiekt obrabiany (wiatr i ta część otoczenia na którą oddziałuje

zespół roboczy, zgodnie ze swym przeznaczeniem i na zasoby energii), bądź straty powstające w trakcie jego funkcjonowania.

Ekologiczność oznacza charakterystykę destrukcyjnego, lecz równocześnie niecelowego oddziaływania zespołu roboczego, np. wirnika elektrowni wiatrowej na żywe obiekty otoczenia (naturalne, przyrodnicze obiekty znajdujące się w otoczeniu zespołu roboczego oraz na środowisko energii).

Sozologiczność oznacza natomiast stopień destrukcyjnego oddziaływania na sztuczne obiekty otoczenia, a więc to wszystko, co zostało wytworzone z przetworzonych lub naturalnych surowców (infrastruktura techniczna, obiekty znajdujące się w otoczeniu zespołu roboczego elektrowni wiatrowej, w tym obiekty energetyki) [Powierża, 1997].

Destrukcyjność warunkuje emitowanie przez zespół roboczy strumieni informacji, energii i materii. Z bilansu wynika, że o destrukcyjności decyduje strumień rozproszений, strat S . Przez analogię do efektywności, z punktu widzenia zagrożeń, destrukcyjność może zostać formalnie zdefiniowana jako stosunek strat S do poniesionych nakładów N :

$$D = \frac{S}{N} \quad (1)$$

Przez analogię do efektywności funkcję mierników destrukcyjnego zagrożenia mogą pełnić wskaźniki destrukcyjności. Procedura ich tworzenia obejmuje ustalenie zbioru zmiennych:

$$X = \{X_k, k = \overline{1, K}\} \quad (2)$$

gdzie: $X_1 = S$ – straty, $X_2 = T$ – czas, $X_3 = G$ – charakterystyka obiektu, $X_4 = N$ – nakłady.

Kolejny krok stanowi ustalenie zbioru zmiennych dla każdego elementu X_k , zdefiniowanie zmiennej oraz $K^2(I+1)^2$ ilorazów:

$$X_k = \{X_{ki}, i = \overline{1, I}\} \quad (3)$$

$$X_{k,l+1} = \sum_1^I X_{ki} \quad (4)$$

$$p_{ij}^{kl} = \frac{X_{ki}}{ij} \quad (5)$$

gdzie: $k, l = 1 \dots K$ oraz $i, j = 1 \dots (I+1)$.

Następnym etapem jest uporządkowanie wskaźników p_{ij}^{kl} według indeksów k, l, i, j oraz zestawienie ich w obramowane macierze blokowe:

$$p^{kl} = \begin{bmatrix} [B^{kl}] & [V^{kl}] \\ [H^{kl}] & [a^{kl}] \end{bmatrix} \quad (6)$$

gdzie:

p – macierz wskaźników destrukcyjności p_{ij}^{kl}
 B^{kl} – wskaźniki szczegółowe,
 V^{kl}, H^{kl} – wskaźniki główne,
 a^{kl} – wskaźniki ogólne.

Ostatni etap to wnikliwe rozpatrzenie wskaźników macierzy wyrażającej relacje zachodzące pomiędzy stratami (S) i nakładami (N). Liczba i rodzaj szczegółowych miar destrukcyjności zależy od specyfiki zespołu roboczego elektrowni wiatrowej oraz jego klasy [Powierża, 1997].

Destrukcyjność a oceny cyklu życia (LCA)

Model środowiskowego oszacowania cyklu istnienia produktów, (*Environmental LCA of Products*) jest sposobem ilościowego określenia środowiskowego obciążenia. Jest on oparty na inwentaryzacji czynników środowiskowych, które odnoszą się do danego obiektu, może to być maszyna, urządzenie lub produkt. Mogą się one odnosić również od konkretnego procesu albo innej działalności w cyklu życia [Mueller-Wenk, 1992; Andersson i in., 1998; Braunschweig, Ulgiati i in., 2006].

Model LCA daje możliwość identyfikacji i oceny emisji substancji szkodliwych oraz zużycia materiałów i energii we wszystkich fazach istnienia danego zespołu roboczego, a więc od powstania w procesie produkcji, poprzez eksploatację, aż do zagospodarowania poużytkowego. Analiza LCA składa się z czterech podstawowych etapów: określenia celu i zakresu, analizy zbioru, oceny wpływu i końcowej interpretacji [Barbiroli, Raggi, 2003; Lenzen, 2002].

Niewątpliwą zaletę LCA i główne założenie tej techniki stanowi dążenie do uwzględnienia wszystkich czynników o potencjalnym destrukcyjnym wpływie na środowisko, które związane są z danym zespołem roboczym. Podczas prowadzenia badań tworzona jest struktura, wewnątrz której można zauważyć i ocenić związki pomiędzy odpadami generowanymi w każdej fazie, a ich destrukcyjnym oddziaływaniem na środowisko. Tak przygotowana baza stanowi podstawę do określania destrukcyjnego wpływu analizowanych czynników (pogrupowanych w kategoriach wpływu) na środowisko oraz wskazanie, w której z faz niosą one największe zagrożenia.

Szeroki zakres badań pozwala spojrzeć na analizowany obiekt, zarówno w sposób globalny, jak i przyrzeć się poszczególnym fazom w wymiarze zespołu roboczego, pojedynczego urządzenia, grupy urządzeń lub całego parku maszynowego. W czasie wzrastającego zainteresowania ekologią, LCA stanowi cenne narzędzie umożliwiające ochronę środowiska, ponieważ bazuje nie tylko na czysto hipotetycznych przewidywaniach i założeniach, ale głównie na realnych danych wejściowych oraz wyjściowych, przez co możliwym jest ustalenie konkretnych zagrożeń, jakie zespół roboczy lub proces niesie dla środowiska, pozwalając na niwelowanie negatywnego wpływu w jak najefektywniejszy sposób [Andersson i in., 1998; Durairaj, 2002].

Wskaźniki cyklu życia i destrukcji

Jako modele oceny wpływu do badań nad destrukcyjnością zespołu roboczego wirtualnej elektrowni wiatrowej zostały wybrane:

- Ekowskażnik 99 (*Eco-indicator 99*),
- CED (*Cumulative Energy Demand*),
- IPCC 2007 GWP 100a (*Intergovernmental Panel on Climate Change, Global Warming Potential, 100 years*).

Metoda Ekowskażnika 99 znajduje zastosowanie do obliczania ekologiczności, maksymalnych szkód środowiskowych, które mogą występować na terytorium Europy. Niektóre z ocenianych procesów, wpływają również na sytuację globalną. Z tego powodu uwzględnia się je podczas obliczania strat w tej metodzie. Ważny czynnik, mający wpływ na kształtowanie *Ekowskażnika 99*, stanowi układ trzech sfer występujących w cyklu życia zespołu roboczego, a mianowicie ekosfery, technosfery i sfery wartościowania. W metodzie *Ekowskażnika 99* wszystkie brane były pod uwagę w takim samym stopniu. Ważne jest, że model cyklu życia sporządzony został w sferze technicznej, a wyniki przedstawione były na tablicy inwentaryzacyjnej, która zostanie połączona z trzema kategoriami szkód, modelowanymi w sferze ekologicznej. Strefa wartościowania jest wykorzystana do przypisania odpowiednich wag, w celu uzyskania miarodajnego wskaźnika. Kryteria destrukcyjnych oddziaływań w analizie *Ekowskażnika 99* obejmują ergonomiczność: związki rakotwórcze, związki organiczne i nieorganiczne powodujące choroby układu oddechowego; ekologiczność: związki wpływające na zmiany klimatu, związki promieniotwórcze, związki wpływające na zubożenie warstwy ozonowej, związki wykazujące ekotoksyczność; sozologiczność i defunkcyjność: związki powodujące zakwaszenie i/lub eutrofizację, czynniki wpływające na użytkowanie gruntów, wydobywanie minerałów i paliw kopalnych. Wyniki badania metodą *Ekowskażnika 99* wyrażane są w jednostkach podstawowych (DALY, PAF·m²·rok, PDF·m²·rok, MJ surplus energy) lub punktach (Pt). Jeden punkt, to tysięczna część rocznych obciążeń środowiska, powodowanych przez jednego mieszkańca Europy [Goedkoop i Spriensma, 1995; Rags, 1995; Hanssen i Asbjornsen, 1996; Azapagic i Clift, 1999; Goedkoop i in., 2010].

Metoda CED pozwala na określenie skumulowanego zapotrzebowania na energię. Wszystkie wskaźniki podzielone są na siedem kategorii wpływu: dwie nieodnawialne (paliwa kopalne, energetyka jądrowa) oraz pięć odnawialnych (geotermia, biomasa, energia wiatru, słońca i wody).

Metoda IPCC daje możliwość ilościowej oceny wpływu poszczególnych gazów cieplarnianych (GHG) na efekt cieplarniany, w odniesieniu do CO₂. Przyjęty horyzont czasowy wyniósł 100 lat. Wskaźnik oceny wpływu na efekt cieplarniany odniesiony do dwutlenku węgla jest równy 1 (GHG = 1) [Blanchard i Fabrycky, 1998; Bovea, Powell, 2006; Goedkoop i in., 2010].

Podsumowanie

W cyklu życia elektrowni wiatrowej można wyróżnić cztery rodzaje oddziaływań destrukcyjnych: ergonomiczność, defunkcyjność, ekologiczność i sozologiczność.

LCA jest techniką zarządzania środowiskowego umożliwiającą opis, analizę oraz ocenę szkodliwych wpływów podczas wytwarzania, eksploatacji i recyklingu zespołów roboczych siłowni wiatrowych.

W badaniach nad cyklem życia wirtualnej elektrowni wiatrowej znajdują zastosowanie następujące modele oceny wpływu: *Ekowskażnik 99*, *CED* oraz *IPCC*.

LITERATURA

- Andersson K., Eide M.H., Lundquist U., Mattsson B., 1998. The feasibility of including sustainability in LCA for product development. *J. Cleaner Prod.*, **6**, 289–298. DOI: 10.1016/S0959-6526(98)00028-6
- Azapagic A., Clift R., 1999. Allocation of environmental burdens in multiple-function systems. *J. Cleaner Prod.*, **7**, 101–119. DOI: 10.1016/S0959-6526(98)00046-8
- Barbiroli G, Raggi A., 2003. A method for evaluating the overall technical and economic performance of environmental innovations in production cycles. *J. Cleaner Prod.*, **11**, 365–374. DOI: 10.1016/S0959-6526(02)00058-6
- Blanchard B.S., Fabrycky W.J., 1998. *Systems Engineering and Analysis*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA
- Bovea M., Powell J., 2006. Alternative scenarios to meet the demands of sustainable waste management. *J. Environ. Manage.*, **79**, 115– DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.06.005
- Braunschweig A., Mueller-Wenk R., 1992. *Oekobilanzen fuer Untemehmen, Ein Wegleitung fuer die Praxis*. Verlag Paul Hapt, Bern, Stuttgart, Wien
- Davis S., Peters G.P., Calderia K., 2011. The supply chain of CO₂ emissions. *Proc.Nat. Acad. Sci.*, **108**, 18554–18559. DOI: 10.1073/pnas.1107409108
- Durairaj S.K., 2002. Evaluation of Life Cycle Cost Analysis methodologies. *Corp. Environ. Strategy*, **9**, 30– DOI: 10.1016/S1066-7938(01)00141-5
- Duran J., Golušin M., Ivanović O.M., Jovanović L., Andrejević A., 2013. Renewable energy and socio-economic development in the European Union. *Problems of Sustainable Development*, **8**, nr 1, 105–114
- Essaki K., Kato M., Uemoto H., 2005. Influence of temperature and CO₂ concentration on the CO₂ absorption properties. *J. Mater. Sci.*, **40**, 5017–5019. DOI: 10.1007/s10853-005-1812-3
- Goedkoop M., Schryver A., Oele M., Roest D., Vieira M., Durksz S., 2010. *SimaPro 7. Tutorial*. PRÉ Consultants
- Goedkoop M., Spriensma R., 1995. *The Eco-indicator 99. A damage oriented approach for LCA*, Ministry VROM, Hague, Netherlands
- Gronowicz J., 2008. *Niekonwencjonalne źródła energii*, Wyd. Inst. Tech. Ekspł., Poznań
- Hanssen O.J., Asbjornsen O.A., 1996. Statistical properties of emission data in life cycle assessment. *J. Cleaner Prod.*, **4**, 149–157. DOI: 10.1016/S0959-6526(96)00041-8
- Joncas S., 2010. *Thermoplastic composite wind turbine blades. An integrated design approach*. Ipskamp Drukkers, Amsterdam, Netherlands
- Lenzen M., 2002. A guide for compiling inventories in hybrid life-cycle assessments; some Australian results. *J. Cleaner Prod.*, **10**, 545–572. DOI: 10.1016/S0959-6526(02)00007-0
- McCarthy J., 2009. Reflections on: our planet and life, origins and futures. *Science*, **326**, 1646–1655. DOI: 10.1126/science.1184937
- Michałowski A., 2011. Spatial environmental services in the approach of the assumptions of economics for sustainable development. *Problems of Sustainable Development*, **6**, nr 2, 117–126
- Midilli A., Diner I., Ay M., 2006. Green energy strategies for sustainable development. *Energy Policy*, **34**, 3623–3633. DOI: 10.1016/j.enpol.2005.08.003
- Powierza L., 1997. *Zarys inżynierii systemów bioagrotechnicznych. Część I. Podstawy*. Wyd. Inst. Tech. Ekspł., Radom – Płock
- Ragas A.M.J., 1995. Towards a sustainability indicator for production system. *J. Cleaner Prod.*, **3**, 123–129. DOI: 10.1016/0959-6526(95)00064-L
- Raupach M., Marland G., Ciais P., Canadell J., 2007. Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **104**, 10288– DOI: 10.1073/pnas.0700609104
- Udo V., Pawłowski A., 2011. Human progress towards equitable sustainable development – part II: Empirical exploration. *Problems of Sustainable Development*, **6**, nr 2, 33–62
- Ulgiati S., Raugi M., Bargigli S., 2006. Overcoming the inadequacy of single-criterion approaches to Life Cycle Assessment. *Ecological Modelling*, **190**, 432–442. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.022