

*Laura Radczuk, Joanna Markowska*

**INŻYNIERIA EKOLOGICZNA**  
**– POCZĄTEK XXI WIEKU**

---

***THE ECOLOGICAL ENGINEERING***  
***– BEGINNING OF THE XXI CENTURY***

**Streszczenie**

Pojęcie „inżynieria ekologiczna” pojawiło się w latach sześćdziesiątych XX wieku. Wprowadził je Howard T. Odum, który zdefiniował je jako wykorzystanie naturalnych procesów zachodzących w środowisku, w celu osiągnięcia korzyści zarówno przez człowieka jak i przez samo środowisko. Bracia Odum stwierdzili, że w granicach systemu inżynierii ekologicznej zawiera się ekosystem podlegający samoorganizacji, natomiast projektanci w inżynierii środowiska nie uwzględniają tej właściwości ekosystemu, którą jest samoorganizacja.

W artykule przedstawiono nie tylko ewolucję definicji inżynierii ekologicznej w kontekście światowym, europejskim i polskim, zarówno z punktu widzenia ekologa, jak i inżyniera technika, ale także zaprezentowano rozwój tej dyscypliny naukowej oraz obszar działania.

**Słowa kluczowe:** inżynieria ekologiczna, inżynieria środowiska

***Summary***

*The idea of the ecological engineering appeared in the 1960 s. Using this term, Howard T. Odum understands the use of natural processes for both humanity and ecosystems benefits.*

*The Odum brothers discovered that the boundary of ecological engineering systems includes the ecosystems that self organize to fit with technology, whereas environmental engineering designs normally stop at the end of the pipe.*

*The paper presents not only the evolution of ecological engineering definition from the point of view of ecological and technical engineering and in the world, european and polish context, but also the progress of this new discipline and application fields.*

**Key words:** *ecological engineering, environmental engineering*

## WPROWADZENIE

Pojęcie inżynierii ekologicznej funkcjonuje w Polsce od wielu lat. Nie zawsze było używane w tym samym sensie. Jest to zauważalne zwłaszcza w odniesieniu do środowisk przyrodników i techników. Pierwsi utożsamiają często tę dyscyplinę z ekologią stosowaną, kładąc szczególny nacisk na aspekt ekologiczny, drudzy najczęściej stawiają znak równości pomiędzy inżynierią środowiska i inżynierią ekologiczną, traktując te pojęcia jako synonimy.

### DEFINICJA INŻYNIERII EKOLOGICZNEJ

Termin inżynieria ekologiczna wprowadzili po raz pierwszy bracia Odum. W 1957 r. zaproponowali oni odnoszące się do ekosystemu, nowe sformułowanie „*self design*” / „*self organize*” [Odum, Odum 2003], które jest rozumiane jako reorganizacja ekosystemu, obejmująca zastępowanie i przesuwanie elementów tworzących skomplikowaną sieć powiązań w ekosystemie. Termin ten zaakceptowało środowisko naukowe, a w latach dziewięćdziesiątych XX wieku Międzynarodowe Stowarzyszenie Inżynierii Ekologicznej rozpoczęło jego rozpowszechnianie. W 1962 roku H. T. Odum zdefiniował inżynierię ekologiczną jako: „te przypadki w których relatywnie mała w stosunku do źródeł naturalnych energia dostarczana przez człowieka jest wystarczająca do uzyskania dużego efektu wynikającego z naturalnych procesów i zachowań”. Bracia Odum na podstawie swoich licznych badań nad przepływem strumieni energii przez ekosystem modyfikowali wielokrotnie pojęcie inżynierii ekologicznej, rozumiejąc ją m.in. jako „zarządzanie naturą” [Odum 1971], bądź jako „studia i praktykę stosowane w dopasowaniu technologii środowiskowych do naturalnych właściwości ekosystemów (*self design*)” [Odum, Odum 2003]. W 1989 Mitsch i Jørgensen przedstawili inżynierię ekologiczną jako „planowanie rozwoju społeczeństwa w jego naturalnym środowisku, w celu osiągnięcia wspólnych korzyści zarówno dla społeczeństwa jak i środowiska”. Następnie, w 1996 roku, pojęcie to zostało zmodyfikowane przez Mitscha, który nadał mu następującą postać: „inżynieria ekologiczna jest to planowanie zrównoważonych ekosystemów, które integrują społeczeństwo i środowisko dla ich wspólnych korzyści”. Bergen i inni [2001] rozwinęli definicję inżynierii ekologicznej, określając ją jako dyscyplinę obejmującą projektowanie zrównoważonych systemów z uwzględnieniem ekologicznych podstaw integrujących potrzeby społeczeństwa i środowiska naturalnego dla ich wspólnej korzyści. Kowalik [2004] napisał w sposób prosty, z technicznego punktu widzenia, o inżynierii ekologicznej, że jest to działalność inżynierska, której celem jest kształtowanie ekosystemów. Gosselin [2008] oddzielił część naukową od inżynierskiej i wyróżnił praktyczną inżynierię ekologiczną jako „konceptę, implementację i monitoring ekologiczny komponentu planowania lub / i zarządzania projektem dla osiągnięcia korzy-

ści przez społeczeństwo z uwzględnieniem środowiskowych oczekiwań” oraz naukową inżynierię ekologiczną jako „naukową bazę do rozwoju narzędzi, metod i koncepcji bezpośrednio wykorzystywanych w praktycznej inżynierii ekologicznej”.

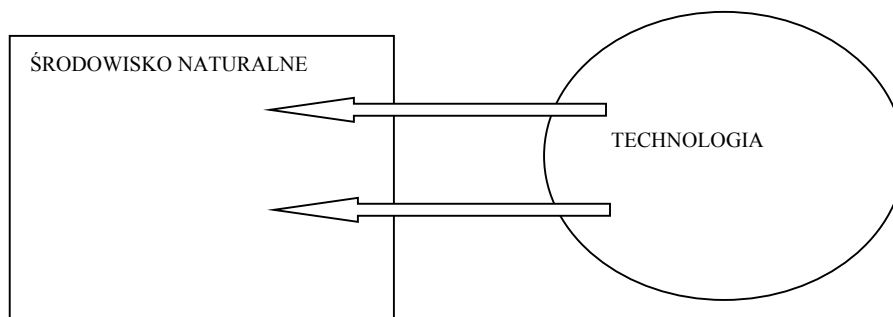
### DEFINICJA INŻYNIERII ŚRODOWISKA

Inżynieria środowiska pojawiła się jako oddzielna dyscyplina w połowie lat trzydziestych dwudziestego wieku, co było podyktowane odpowiedzią na wzrost degradacji środowiska spowodowaną przez działalność człowieka. Obejmuje ona prace związane z badaniem i zrozumieniem wpływu działalności gospodarczej na środowisko naturalne. Ponadto tworzy i rozwija bazę naukową niezbędną do rozwiązywania problemów środowiskowych, dotyczących przede wszystkim zanieczyszczenia środowiska (powietrze, woda, gleba), co jest zgodne z definicją podaną w Słowniku Geotechnologii Środowiska [2008] jako dyscypliny o mocno ugruntowanej praktyce korzystającej z typowych dla inżynierii narzędzi, takich jak pomiary, analiza, synteza i projektowanie.

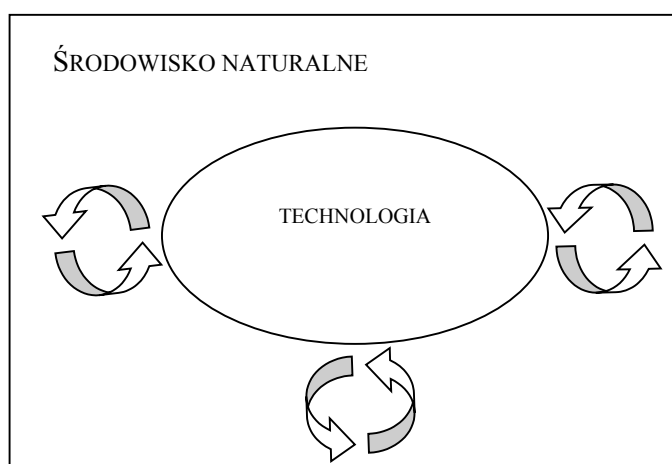
### INŻYNIERIA EKOLOGICZNA A INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

Kowalik traktuje inżynierię ekologiczną jako dział inżynierii środowiska [2004]. Obszar działania zarówno jednej jak i drugiej jest właściwie ten sam – środowisko naturalne. Obie są naukami interdyscyplinarnymi. Łączą one dziedziny: techniczną, biologiczną i rolniczą. Jako dyscypliny dotyczą problemów związanych z zanieczyszczeniem środowiska i jego degradacją, takich jak pozyskanie czystej wody, energii, ochrona naturalnych zasobów, oczyszczanie środowiska, odnawianie i odtwarzanie zdewastowanych ekosystemów, opracowywanie nowych technologii środowiskowych. Operują tymi samymi, dużymi skalami tak przestrzenną, jak i czasową. Nasuwa się więc pytanie: jaka jest różnica pomiędzy inżynierią ekologiczną a inżynierią środowiska?

Bracia Odum wskazują na to, że różnicę między nimi stanowi tzw. *Interfejs*, tj. ta część, która bezpośrednio odpowiada za relacje między środowiskiem a technologią [Odum, Odum 2003]. W przypadku inżynierii środowiska tylko technologia buduje tę część, natomiast w inżynierii ekologicznej *interfejs* tworzą jednocześnie technologie i ekosystemy, co dobrze ilustrują schematy na rysunku 1.



a) inżynieria środowiska



b) inżynieria ekologiczna

**Rysunek 1.** Relacja pomiędzy środowiskiem naturalnym a inżynierią środowiska i inżynierią ekologiczną

**Figure 1.** Relation between environment and environmental engineering and ecological engineering

Ideą inżynierii ekologicznej jest wykorzystanie samoorganizujących się ekosystemów (*self organizing ecosystems*) i takie dopasowanie technologii do naturalnych procesów, aby poniesiony koszt energetyczny był minimalny, a korzyści obejmowałyby jednocześnie rozwój społeczny i środowisko naturalne. W proces projektowania inżynierskiego włączone są aktywnie cykle naturalne. Produktem inżynierii środowiska jest technologia dedykowana środowisku, bazująca na wiedzy i praktyce inżynierskiej.

## MYŚL NAUKOWA I TECHNICZNA W INŻYNIERII EKOLOGICZNEJ

Wyróżniając, zgodnie z Gosselin [2008] naukową inżynierię ekologiczną jako przykład tendencji w rozwoju myśli naukowej, można zacytować propozycje H.T. Oduma [Odum, Odum 2003] dotyczące wprowadzenia kolejnych „praw energetycznych”. Zaproponował on czwarte prawo w postaci zasady maksymalizacji mocy. Mówi ono o tym, że uprzywilejowane są te systemy, które posiadają zdolność maksymalizacji strumieni energii użytecznej. Zasada ta wyjaśnia w dużym stopniu strukturę systemów i zachodzące w nich procesy. Kolejne piąte prawo dotyczy zasady hierarchii energii. W ekosystemie cała transformowana energia tworzy hierarchiczną sieć łączącą jeden rodzaj energii z drugim, czego dobrym przykładem jest tzw. łańcuch pokarmowy. Szóste prawo, jak tłumaczy H.T. Odum jest konsekwencją piątego i włącza cykle biogeochemiczne do hierarchii transformacji energii, co ma pełniej wyjaśnić rozkład przepływów strumieni materii wraz z ich koncentracją. Tilley odnosząc się do powyższych propozycji Oduma uważa, że są one dość kontrowersyjne, choć są logicznym rozszerzeniem I, II i III zasady termodynamiki, a proponowane prawa dotyczą systemów, których działanie nie mieści się w kanonach klasycznej termodynamiki. Rozwój myśli technicznej (praktyczna inżynieria ekologiczna) mogą, z powodzeniem, przybliżyć zasady proponowane przez Bergena i innych [Radczuk, Markowska 2006]:

1. projektuj, uwzględniając prawa obowiązujące w ekologii,
2. projektuj dla konkretnego miejsca,
3. utrzymuj niezależność wymagań funkcjonalnych projektu,
4. projektuj tak, aby zachować optymalną wydajność energii i informacji,
5. poznaj dokładnie wartości i cele, które motywują projekt.

**Pierwsza zasada.** Projektowanie z uwzględnieniem praw ekologicznych i znajomości procesów implikuje fakt, że inżynier nie traktuje przyrody jako przeszkody, ale uważa ją za równorzędnego partnera w projekcie. „Przyroda inżynierem” – jest to możliwe dzięki temu, że ekosystemy posiadają zdolność do samoorganizacji i samoregulacji (oczywiście w pewnym zakresie).

**Druga zasada.** Ta reguła wydaje się najbardziej adekwatna dla działalności inżynierskiej, odnoszącej się na przykład do projektowania zbiorników retencyjnych. Projektuj w kontekście miejsca – to poznanie miejsca i jego szczegółowa analiza (jakość i ilość zasobów wodnych, budowa geologiczna, ukształtowanie, pokrycie i użytkowanie terenu, powiązania z innymi naturalnymi ekosystemami itp.). Pozwala to na identyfikację ograniczeń dla projektu ze strony natury, a także na ustalenie rodzaju i zakresu działań, które będą możliwe do przeprowadzenia, bez negatywnego wpływu na środowisko i przy wykorzystaniu tzw. „siły natury”.

**Trzecia zasada.** W procesie projektowania chcemy otrzymać rozwiązanie proste i funkcjonalne, co w przypadku złożonych i skomplikowanych ekosyste-

mów jest trudne. W warunkach niepewności, która towarzyszy naturalnym systemom, dobrą strategią jest ustalanie szerokiego zakresu tolerancji dla naszych funkcjonalnych wymagań względem oczekiwanej realizacji projektu. Funkcjonalne wymagania są to potrzeby realizowane przez projekt.

**Czwarta zasada.** Zasada ta mówi, że dobry projekt to taki, którego realizacja i utrzymanie nie wymaga dużych nakładów energii ze źródeł konwencjonalnych. Ponadto minimalizacja informacji w projekcie czyni go prostym i łatwym w realizacji.

**Piąta zasada.** Ta zasada zwykle jest pomijana przez ekologów w odniesieniu do potrzeb społeczeństwa, mimo iż jest ono elementem ekosystemu. Z reguły potrzeby naturalnych systemów wysuwane są na pierwszy plan, mimo iż w definicji inżynierii ekologicznej na równi traktuje się społeczeństwo i środowisko naturalne. Nie mniej ważne jest jednak, aby motywacja projektu ujmowała wartości niemierzalne, etyczne, moralne i duchowe, zarówno w stosunku do społeczności, jak i do przyrody ożywionej i nieożywionej, a w szczególności do systemów podtrzymujących życie.

#### DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-TECHNICZNA NA POLU INŻYNIERII EKOLOGICZNEJ

Intensywna działalność na polu inżynierii ekologicznej może być datowana od roku 1992, kiedy to pojawiło się międzynarodowe czasopismo naukowe *Ecological Engineering*, na bazie którego powstało w 1993 roku Międzynarodowe Stowarzyszenie Inżynierii Ekologicznej (the International Ecological Engineering Society (IEES)). Misją Stowarzyszenia jest tworzenie wspólnego, międzynarodowego forum dla osób, które są zaangażowane twórczo w realizację projektów z zakresu inżynierii ekologicznej. Jest to organizacja *non-profit*, która realizuje swoje posłannictwo poprzez umacnianie i pogłębianie współpracy między ekologami a inżynierami, ułatwianie kontaktów międzynarodowych, wymianę informacji pomiędzy organizacjami naukowymi, edukacyjnymi, rządowymi i pozarządowymi oraz jednostkami przemysłowymi. Stowarzyszenie wydaje internetowy biuletyn z zakresu inżynierii ekologicznej -ecoeng, organizuje kursy, udostępnia niektóre proste narzędzia internetowe pomocne w projektowaniu oraz platformę internetową do realizacji drogą zdalną międzynarodowych projektów.

Drugą znaczącą organizacją jest Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierii Ekologicznej (the American Ecological Engineering Society (AEES)), powołane do życia w 1999 roku przez naukową społeczność piętnastu uniwersytetów w Stanach Zjednoczonych. Podstawą do powołania organizacji była konieczność opracowania programów nauczania w wyższych uczelniach i zasad certyfikacji w dyscyplinie inżynierii ekologicznej.

W Polsce od roku 1990 działa Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej (PTIE). Na stronie internetowej tej organizacji znajduje się definicja inżynierii ekologicznej, która brzmi: „Inżynieria ekologiczna to teoretyczna i stosowana wiedza z wielu dziedzin nauki i techniki. Stanowi podstawę racjonalnego użytkowania i ochrony środowiska przyrodniczego oraz naturalnych i antropogenicznych zasobów. Służy ona ekologicznemu rozwojowi cywilizacji”. Od 2000 roku Towarzystwo publikuje czasopismo naukowo-techniczne „Inżynieria Ekologiczna”. Organizacja wydaje także materiały konferencyjne z organizowanych przez siebie konferencji, seminariów i sympozjów. Idea inżynierii ekologicznej rozwija się w polskim środowisku akademickim, choć trudno znaleźć taki przedmiot, o tak brzmiącej nazwie, na uczelni technicznej czy przyrodniczej. Prekursorami podejścia ekologicznego w inżynierii na Akademii Rolniczej we Wrocławiu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu) byli między innymi prof. Stanisław Bac senior oraz prof. Zbigniew Dziewoński, którzy podkreślali nierozłączną spójność między techniką i przyrodą. W latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku prof. Dziewoński przedstawił po raz pierwszy w Polsce kompleksowe spojrzenie na retencjonowanie wód i jego znaczenie w ogólnej gospodarce wodnej, organizując w swoim środowisku wrocławską szkołę „małej retencji”. Według nowoczesnych poglądów, jakie wówczas lansował, zadaniem retencji jest nie tylko magazynowanie wody dla celów bezpośredniego zużycia, lecz w pierwszym rzędzie regulacja i kontrola obiegu wody w środowisku, co gwarantuje lepsze możliwości ochrony i odnowy zasobów wodnych i racjonalną gospodarkę nimi bez naruszania równowagi środowiska. Aktualnie przy Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu działa Dolnośląski Oddział PTIE, którego prezesem jest prof. dr hab. inż. Krzysztof Nyc.

## **PODSUMOWANIE**

Z podstawowego, ogólnego założenia badawczego inżynierii ekologicznej wynika, iż wszystkie elementy środowiska naturalnego są z sobą powiązane łańcuchem zależności, tworząc jeden układ – system. Skomplikowana struktura tych ulegających przemianom zależności i wzajemnych powiązań sprawia, iż analizowanie i prognozowanie musi być odniesione także do całego układu środowiska. Takie podejście towarzyszy tej dyscyplinie od momentu jej powstania. Podkreślano i podkreśla się znaczenie środowiska jako systemu, choć ostatnio zwraca się uwagę na potrzebę zwrócenia większej uwagi na pojedyncze elementy systemu.

W Polsce inżynieria ekologiczna nie jest ujęta w oficjalnym spisie dziedzin i dyscyplin naukowych. Na uczelniach przyrodniczych (akademie rolnicze i uniwersytety przyrodnicze) i technicznych przeważa techniczne podejście do zagadnień związanych z tą dyscypliną.

## BIBLIOGRAFIA

- Bergen S. C., Bolton S. M., Fridley J. L. *Design principles for ecological engineering*. Ecological Engineering 18, Elsevier, 2001, s. 201–210.
- Gosselin F. *Redefining ecological engineering to promote its integration with sustainable development and tighten its links with the whole of ecology*. Ecological Engineering 32, Elsevier, 2008, s. 199–205.
- Kowalik P. *Inżynieria ekologiczna*. Wykład inauguracyjny na nowym Wydziale Inżynierii Łądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej. Pismo PG nr 9, 2004, s. 17–18.
- Odum H. T., Odum E. C. *Concepts and methods of ecological engineering*. Ecological Engineering 20, Elsevier, 2003, s. 339–361.
- Odum H. T. *Environment, Power and Society*. Wiley, New York 1971, s. 331.
- Radczuk L., Markowska J. *Podstawy ekologiczne i hydrologiczne projektowania zbiorników*. Problemy Hydrotechniki. Modelowanie i hydroinformatyka oraz wybrane zagadnienia ochrony przeciwpowodziowej. Red. St. Kostecki, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. 2006, s. 533–545.
- Strony internetowe:  
<http://www.iees.ch/>, stan z dnia 02.07.2008 r  
<http://www.aeesociety.org/>, stan z dnia 02.07.2008 r  
<http://www.bio-ecology.pl/ptie.html>, stan z dnia 02.07.2008 r  
<http://www.iseg.giees.uncc.edu/dictionary.cfm>, stan z dnia 02.07.2008 r (Słownik Geotechnologii Środowiska)

Prof. dr hab. Laura Radczuk  
Instytut Inżynierii Środowiska  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Dr inż. Joanna Markowska  
Katedra Rolniczych Podstaw Kształtowania Środowiska  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Recenzent: Prof. dr hab. Włodzimierz Parzonka