



Mariusz Dacko • Paulina Bielecka

DYNAMIKA SYSTEMÓW JAKO NARZĘDZIE PRZECIWDZIAŁANIA TRAGEDII DÓBR WSPÓLNYCH

Mariusz Dacko, dr inż. – Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

Paulina Bielecka, mgr inż. – Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

adres korespondencyjny:

Instytut Ekonomiczno-Społeczny

al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków

e-mail: m.dacko@ur.krakow.pl

SYSTEMS DYNAMICS AS A TOOL TO OVERCOME THE TRAGEDY OF THE COMMONS ENVIRONMENTAL RESOURCES

SUMMARY: The thesis raises the issue of the tragedy of the commons environmental resources. The problem was considered using a system dynamics approach. The article discusses the archetype of the Tragedy of the Commons, which initiated a deeper analysis of the problem using dynamic models. Performed simulations allowed the system to point out causes of overexploitation of the resource, which leads to its exhaustion. The study presents and discusses model of sustainable resource management. This model includes the new rules in its structure, which guarantee respect for the resource limitations of the system.

KEYWORDS: use of common environmental resources, tragedy of the commons environmental resources, system dynamics, sustainable resource management

Wstęp

Wszędzie tam, gdzie grupy ludzi wspólnie korzystają z zasobów środowiska, pojawia się ryzyko nadmiernej ich eksploatacji lub całkowitego zużycia. Głębsze rozważania nad tym problemem zostały podjęte w latach sześćdziesiątych XX wieku, kiedy na łamach czasopisma „Science” została przedstawiona teoria znana tragedią współużytkowania (*The Tragedy of the Commons*)¹. Jej autorem był doktor mikrobiologii Garrett Hardin. Teoria ta znana jest również pod nazwą tragedii wspólnego pastwiska oraz tragedii dóbr wspólnych. Tragedia wspólnego pastwiska wyjaśnia jak indywidualnie racjonalne ludzkie działania doprowadzają do stanów społecznie nieoptymalnych. Hardin obrazowo przedstawił tragedię współużytkowania, powołując się na sytuację, w której kilku użytkowników korzysta ze wspólnego pastwiska. Był to wyrazisty opis pułapki, w którą wpadają konsumenci wspólnych zasobów². Tworzą oni system, który popada w pogłębiającą się dysfunkcję im uporczywiej jego uczestnicy próbują czerpać nieograniczone korzyści z ograniczonego zasobu.

Problemem dóbr wspólnych zajmowała się między innymi laureatka Nagrody Nobla w dziedzinie ekonomii, Elinor Ostrom³. Zagadnienie to rozpatrywał także Peter Senge⁴, twórca Piątej Dyscypliny – systemowego nurtu nauk o zarządzaniu. Ostrom zajęła się kwestią zarządzania „dobraami wspólnej puli” (*common-pool resources*) poszukując dowodów na to, że ludzie, jeśli tylko zechcą, potrafią się zorganizować tak, aby nie doprowadzić do zupełnego wyczerpania takich dóbr⁵. Zasoby wspólnej puli (czyli niektóre zasoby środowiska, usługi publiczne) charakteryzują się tym, że są dostępne dla wszystkich i nie ma możliwości zablokowania dostępu do nich wybranym użytkownikom. Zwykle ludzie rywalizują więc między sobą o możliwość konsumpcji owych zasobów. Wykorzystanie dobra przez jednego użytkownika zmniejsza jego dostępną ilość i szanse skorzystania zeń w tym samym czasie przez innych użytkowników⁶. Gdy rosnące zapotrzebowanie na dobro przekroczy jego bezwzględną granicę, system przestanie działać. Jedynym sposobem, by temu zapobiec jest działanie kolektywne – wypracowanie zasad korzystania ze wspólnego dobra, którym wszyscy użytkownicy solidarnie się podporządkują. Senge spoglądał na ten problem wykorzystując analizę systemową. Opracował on archetyp, który wyjaśnia, jak dochodzi

¹ G. Hardin, *The Tragedy of the Commons*, „Science Magazine” 1968 nr 162, s. 1243-1248, www.sciencemag.org [18-07-2014].

² Ibidem.

³ E. Ostrom, R. Gardner, J. Walker, *Rules, Games & Common-Pool Resources*, Michigan 1994, www.press.umich.edu [27-09-2014].

⁴ P. Senge, *Piąta Dyscyplina. Teoria i praktyka organizacji uczących się*, Warszawa 2012.

⁵ E. Ostrom, R. Gardner, J. Walker, op. cit.

⁶ E. Ostrom, *The Danger of Self-Evident Truths*, „Political Science and Politics” 2000 nr 33, s. 33-44, www.jstor.org [18-07-2014].

do nadmiernej eksploatacji zasobu, a w konsekwencji naruszenia jego zdolności odtworzeniowych lub jego zupełnego wyczerpania⁷. Owa zbyt intensywna eksploatacja jest wynikiem indywidualnie racjonalnego dążenia użytkowników wspólnego dobra do uzyskania z niego jak największych korzyści. W niniejszej pracy zaprezentowano i omówiono archetyp systemowy tragedii współużytkowania. Przedstawiono następnie model dynamiki systemu dotkniętego takim problemem i zaproponowano sposób jego rozwiązania.

Model tragedii dóbr wspólnych

Tragedię dóbr wspólnych rozpatrywano na gruncie wielu dziedzin naukowych. Interesowali się nią nie tylko przedstawiciele ekonomii, psychologii, socjologii, czy ekologii. Duży wkład w zbadanie tego zagadnienia wniosła też cybernetyka z teorią systemów⁸ oraz teoria gier⁹. Szczególnie inspirujące wydaje się ujęcie systemowe, w ramach którego opracowany został archetyp tragedii współużytkowania¹⁰. Bazując na pętlach dodatnich i ujemnych sprzężeń zwrotnych archetyp ten przedstawia ogólny model systemu, w którym dochodzi do wyczerpania wspólnego dobra przez jego dwóch symbolicznych użytkowników. Podobnie jak inne archetypy, również i ten ujawnia pewien generalny wzorzec zachowania systemów. Można by go streścić następująco: w systemach, w których z definicji występuje synergiczne współoddziaływanie wielu elementów, ich indywidualne działania mogą prowadzić do zbiorowego problemu, którego nie da się rozwiązać indywidualnie. Dzięki poznaniu archetypów można lepiej zrozumieć zasady działania systemów i znaleźć sposoby na ich usprawnienie. Powszechność systemów uzasadnia stosowanie podejścia systemowego w rozwiązywaniu rozmaitych problemów – w tym także problemów zrównoważonego gospodarowania środowiskiem.

Systemowy archetyp tragedii współużytkowania opracował teoretyk zarządzania Peter Senge¹¹. W propagowanej przezeń Piątej Dyscyplinie archetypy wykorzystuje się do odkrywania zasadniczych przyczyn wadliwego funkcjonowania organizacji i poszukiwania ich skutecznych rozwiązań. Trzeba jednak nadmienić, że dzięki odpowiednim narzędziom systemy można badać i usprawniać, poszukując w ich strukturach i zachowaniach nie tylko archetypów, lecz także budując ich modele i przeprowadzając symulacje. W niniejszej pracy archetyp był jedynie

⁷ P. Senge, op. cit.

⁸ H. Bossel, *Modeling and Simulation*, Germany 1994; P. Roopnarine, *Ecology and the Tragedy of the Commons*, "Sustainability" 2013 nr 5; J. Barkley Rosser, *Complex Evolutionary Dynamics in Urban-Regional and Ecologic-Economic Systems*, Springer 2011.

⁹ M. Malawski, A. Wieczorek, H. Sosnowska, *Konkurencja i kooperacja. Teoria gier w ekonomii i naukach społecznych*, Warszawa 1997.

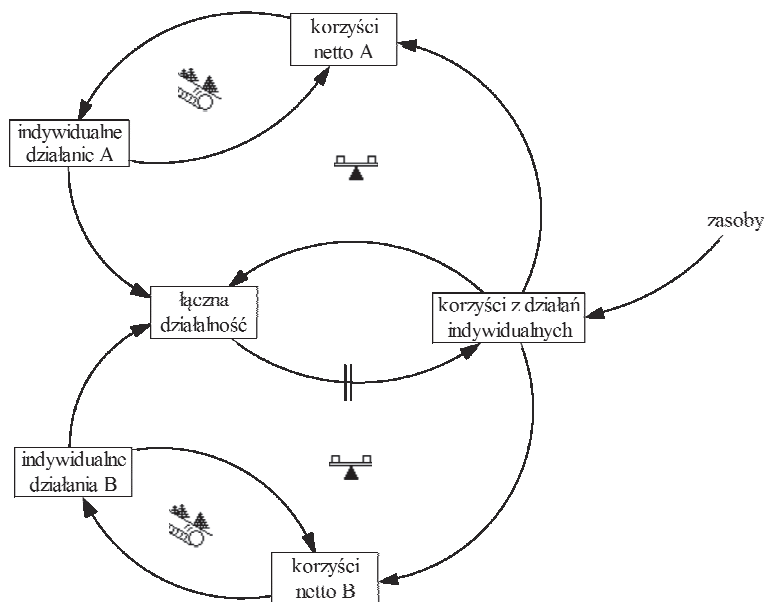
¹⁰ W. Braun, *The System Archetypes*, 2002, www.albany.edu [20-08-2014].

¹¹ P. Senge, op. cit.

punktem wyjścia do zaprezentowania modelu dynamicznego umożliwiającego symulację systemu dotkniętego tragedią dóbr wspólnych.

W archetypie tragedii współużytkowania Senge wyróżnił dwie pętle wzmacniające i dwie pętle równoważące (rysunek 1). Działania użytkowników A i B podlegają wspólnemu ograniczeniu w postaci dostępności zasoby.

Rysunek 1
Archetyp tragedii współużytkowania



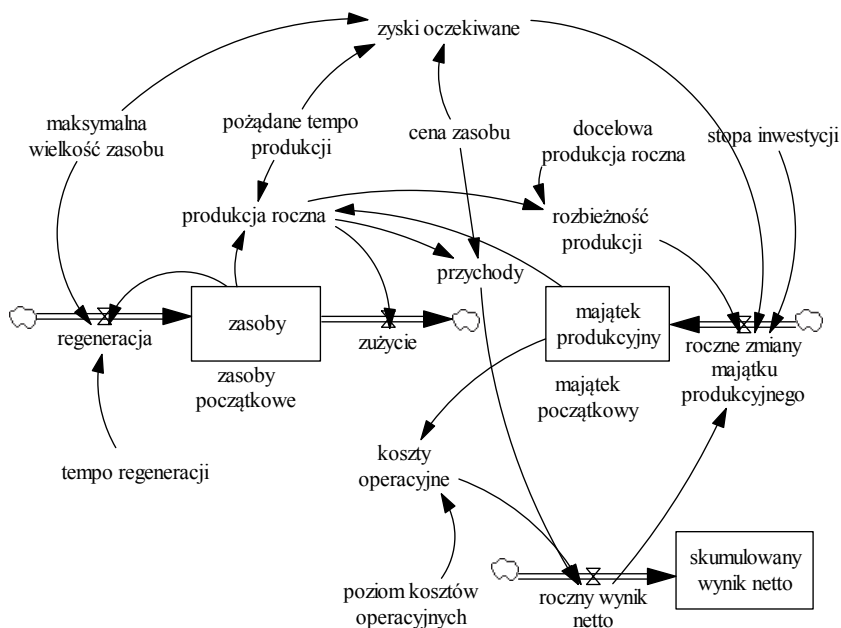
Źródło: opracowanie własne na podstawie: P. Senge, op. cit.

Diagram przyczynowo-skutkowy archetypu tragedii współużytkowania ujawnia zasadnicze sprzężenia pomiędzy elementami systemu. Podmioty A i B korzystają z ogólnie dostępnego zasobu wedle własnego uznania i potrzeb. Na początku ich działania przynoszą im znaczące korzyści, jednakże z czasem korzyści te maleją. Użytkownicy intensyfikują więc swoje działania, w efekcie czego zasób podlegać będzie nadmiernej eksploatacji, bądź też zostanie całkowicie zużyty. Rzeczywistość jest zwykle bardziej złożona, jednak wszędzie tam gdzie dochodzi do współużytkowania zasobów mechanizm ich nadmiernej eksploatacji jest ten sam. Uszczegółowieniem zaprezentowanego archetypu będzie model dynamiczny, który umożliwi przeprowadzenie symulacji badanego zjawiska. W artykule wykorzystano model dynamiczny zaproponowany przez Bosse-

la¹². Model ten został przy wykorzystaniu programu Vensim uproszczony, tak aby w jego analizie można było się skoncentrować na kwestii zasadniczej, czyli na mechanizmie prowadzącym do przekroczenia zdolności odtworzeniowych środowiska.

Rysunek 2

Model wyjściowy tragedii współużytkowania (MW)



Źródło: opracowanie własne na podstawie: H. Bossel, *System ...*

W modelu występują trzy zmienne kumulatywne, zwane też zasobami: majątek produkcyjny, zasoby i skumulowany wynik netto. Zmienne kumulatywne obrazują wartości pewnych wielkości ekonomicznych w danej chwili. Zmienne te zawsze powiązane są ze strumieniami, które je zasilają bądź uszczuplają. Strumienie, ze względu na swój charakter, rozpatrywane są w ujęciu czasowym. Zmienne tego typu należy rozumieć jako przepływy danego medium (w tym przypadku pewnej wielkości ekonomicznej) w jednostce czasu¹³. W rozważanym modelu występują cztery strumienie o różnym charakterze:

- regeneracja – strumień zwiększający zasoby;

¹² H. Bossel, *System ZOO 2 Simulation Models Climate, Ecosystems, Resources*, t. 2, Norderstedt 2007.

¹³ M. Dacko, *Model rozwoju obszarów wiejskich objętych siecią Natura 2000*, w: A. Bołtromiuk (red.), *Uwarunkowania zrównoważonego rozwoju gmin objętych siecią Natura 2000*, Warszawa 2011.

- zużycie – strumień zmniejszający zasoby;
- roczny wynik netto – strumień zmieniający skumulowany wynik netto;
- roczne zmiany majątku produkcyjnego – strumień modyfikujący wielkość majątku produkcyjnego.

Należy zauważyć, że strumień może mieć charakter jednokierunkowy (na przykład zużycie, regeneracja) lub dwukierunkowy (na przykład roczny wynik finansowy czy roczne zmiany majątku produkcyjnego). Oprócz zasobów i strumieni w modelu wyróżniono czternaście zmiennych pomocniczych, czyli: zyski oczekiwane, maksymalna wielkość zasobu, pożądane tempo produkcji, cena zasobu, docelowa produkcja roczna, stopa inwestycji, produkcja roczna, przychody, rozbieżność produkcji, zasoby początkowe, tempo regeneracji, majątek początkowy, koszty operacyjne, poziom kosztów operacyjnych. Zostały one za Bosselem opisane konkretną wartością lub wzorem, co dokumentują zamieszczone poniżej równania modelu. Wartości zmiennych pomocniczych ustala się podczas symulacji tak, aby znaleźć możliwie wierne odwzorowanie modelowanych procesów oraz wskazać realne warunki równowagi systemu. Zarówno zmienne pomocnicze, strumienie, jak i zasoby można praktycznie dowolnie modyfikować. Przy konstruowaniu modelu konieczne jest też rozstrzygnięcie w jakim wymiarze czasowym będzie on rozpatrywany. W niniejszym modelu za jednostkę czasu przyjęto 1 rok, krok czasowy przyjęto jako $dt=0,05$, zaś horyzont czasowy symu-

Tabela 1
Zestawienie równań wygenerowanych przez program Vensim

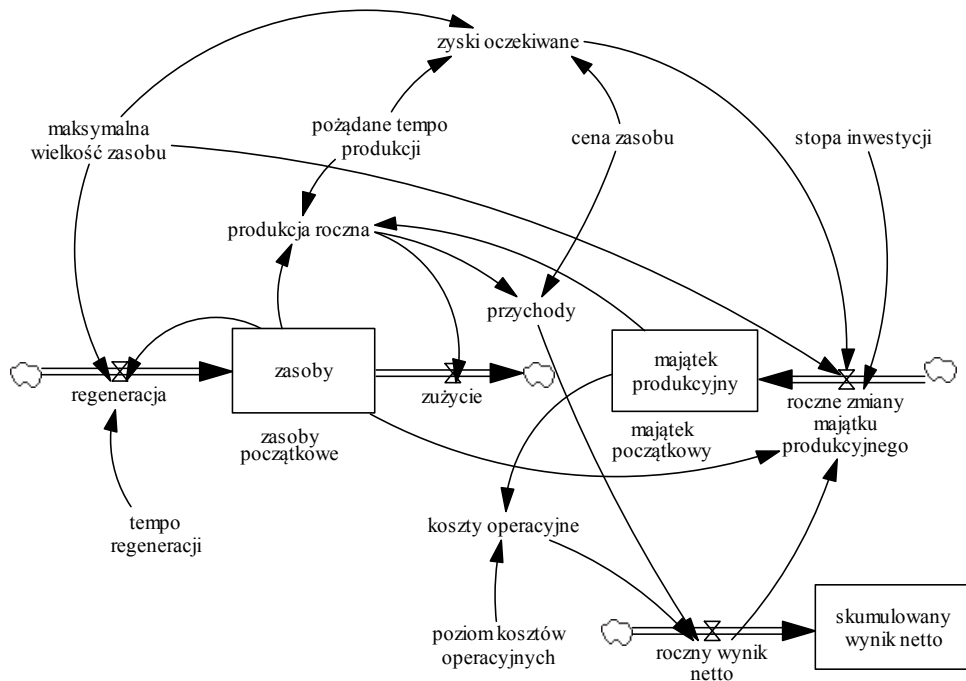
Numer równania	Treść równania	Jednostki (Units)
01	cena zasobu = 1	[\$/t]
02	docelowa produkcja roczna = 1	[t/Year]
03	FINAL TIME = 100	[Year]
04	INITIAL TIME = 0	[Year]
05	koszty operacyjne = poziom kosztów operacyjnych * majątek produkcyjny	[\$/Year]
06	majątek początkowy = 0.01	[\$]
07	majątek produkcyjny = INTEG (roczne zmiany majątku produkcyjnego, majątek początkowy)	[\$]
08	maksymalna wielkość zasobu = 1	[t]
09	poziom kosztów operacyjnych = 0.1	[1/Year]
10	pożądane tempo produkcji = 1	[1/(\$*Year)]
11	produkcja roczna = pożądane tempo produkcji * zasoby * majątek produkcyjny	[t/Year]
12	przychody = cena zasobu * produkcja roczna	[\$/Year]
13	regeneracja = tempo regeneracji * zasoby * (1 - zasoby / maksymalna wielkość zasobu)	[t/Year]

Numer równania	Treść równania	Jednostki (Units)
14	roczne zmiany majątku produkcyjnego = rozbieżność produkcji * roczny wynik netto * stopa inwestycji / zyski oczekiwane	[\$/Year]
15	roczny wynik netto = przychody - koszty operacyjne	[\$/Year]
16	rozbieżność produkcji = 1 - produkcja roczna / docelowa produkcja roczna	1
17	skumulowany wynik netto = INTEG (roczny wynik netto, 0)	[\$]
18	stopa inwestycji = 0.1	[1/Year]
19	tempo regeneracji = 0.1	[1/Year]
20	zasoby odnawialne = INTEG (regeneracja - zużycie, zasoby początkowe)	[t]
21	zasoby początkowe = 1	[t]
22	zużycie = produkcja roczna	[t/Year]
23	zyski oczekiwane = cena zasobu * pożądane tempo produkcji * maksymalna wielkość zasobu	[1/Year]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: H. Bossel, *System ...*

Rysunek 3

Model zrównoważonego gospodarowania (MZR)



Źródło: opracowanie własne na podstawie: H. Bossel, *System ...*

lacji wyniósł 100 lat. Równania modelu wygenerowane przy wykorzystaniu programu Vensim przedstawiono w tabeli 1.

W modelu Bossela początkowo dodatnie roczne zmiany majątku produkcyjnego sukcesywnie powiększają majątek produkcyjny. Tym samym zwiększa się też zależna od wielkości owego majątku produkcja roczna. Tak długo, jak roczny wynik netto pozostaje dodatni, majątek produkcyjny rośnie powiększany o jego dodatnie roczne zmiany. Jednakże dalszy wzrost produkcji rocznej wpłynie na zmniejszenie ilości zasobów odnawialnych, a co za tym idzie – zwrótnie przyczyni się do jej załamania w kolejnych latach. Kiedy powiększa się majątek produkcyjny, proporcjonalnie wzrastają także koszty operacyjne pomniejszające roczny wynik netto. Wraz z wyczerpywaniem się zasobów wynik netto dąży do zera, a następnie przybiera wartości ujemne. Z tą chwilą użytkowanie środowiska zaczyna przynosić straty. Mimo to produkcja jest kontynuowana aż do całkowitego wyczerpania zasobu. Zasób zostaje wyeksploatowany, gdy poziom jego zużycia przekroczy poziom regeneracji. Aby zapobiec tragedii współużytkowania, Bossel proponuje wkomponowanie w model mechanizmu, który zagwarantowałby zrównoważone gospodarowanie wspólnym dobrem. Wymaga to utworzenia nowych pętli sprzężeń zwrotnych oraz wyeliminowania niektórych zmiennych pomocniczych, które odpowiadały za nadmierne zużycie zasobu.

W modelu zrównoważonego gospodarowania dobrem wspólnym zrezygnowano ze zmiennej pomocniczej określającej docelową wielkość produkcji oraz ze zmiennej pomocniczej służącej do oceny rozbieżności produkcji bieżącej i docelowej. Elementy te w swej pierwotnej postaci nie gwarantowały prawidłowego działania systemu, nie umożliwiły one też osiągnięcia stanu społecznie optymalnego, w którym nie zostałyby przekroczone możliwości odtworzeniowe środowiska.

Przedwcześnie i zbyt intensywnemu zużywaniu zasobu zapobiegną nowe pętle sprzężeń zwrotnych – odpowiedniki nowych reguł użytkowania dobra w rzeczywistości. W modelu zrównoważonego gospodarowania uwzględniono wpływ maksymalnej wielkości zasobu i aktualnego poziomu zasobów na roczne zmiany majątku produkcyjnego. W tabeli 2 zestawiono te elementy równań, które w modelu wyjściowym (MW) uległy modyfikacji umożliwiającej przejście do zrównoważonego gospodarowania zasobem (MZR).

Po tych modyfikacjach możliwe było ustalenie zasobowej granicy dla rocznych zmian majątku produkcyjnego. W modelu zrównoważonym przyrost majątku produkcyjnego zmierzał do zera, gdy dostępność zasobu spadała do połowy jego maksymalnej wielkości. Zasadniczym kryterium dla ustalania tempa rocznych zmian majątku nie była już bowiem ambicja osiągnięcia docelowej produkcji rocznej, lecz kwestia dostępności zasobu (tabela 1).

Tabela 2

Zestawienie porównawcze elementów równań modelu wyjściowego (MW), które zmodyfikowano przechodząc do modelu zrównoważonego (MZR)

Zmienna	Model wyjściowy (MW)	Model zrównoważony (MZR)
Docelowa produkcja roczna	1	-
Roczne zmiany majątku produkcyjnego	rozbieżność produkcji * roczny wynik netto * stopa inwestycji / zyski oczekiwane	(zasoby / (maksymalna wielkość zasobu / 2) - 1) * ABS (roczny wynik netto * stopa inwestycji / zyski oczekiwane)
Rozbieżność produkcji	1 - produkcja roczna / docelowa produkcja roczna	-

Źródło: opracowanie własne na podstawie: H. Bossel, *System ...*

Wyniki modeli

Działanie obu modeli zbadano przy różnych wartościach tempa regeneracji zasobu oraz majątku początkowego rozpatrując dziewięć analogicznych scenariuszy (tabela 3 i 4). Porównując wyniki zbadano stan zmiennych kumulatywnych, czyli: zasobów, skumulowanego wyniku netto oraz majątku produkcyjnego na koniec okresu symulacji (a więc po upływie 100 lat).

Symulację rozpoczęto od analizy przypadku, gdy wartość poziomu regeneracji zasobu jest równa zero. Ten wariant dotyczył więc dobra nieodnawialnego. W modelu wyjściowym niezależnie od wielkości majątku początkowego zasoby zostałyby zupełnie wyczerpane przed upływem 100 lat. W zrównoważonym modelu przy majątku początkowym na umownym poziomie 0,01 po upływie 100 lat zasób wciąż jeszcze mógł być eksploatowany. We wszystkich rozpatrywanych wariantach odtwarzalności zasobu i wielkości majątku początkowego model zrównoważony gwarantował lepszy skumulowany wynik netto dzięki adekwatniejszemu dostosowaniu wielkości majątku produkcyjnego do istniejących zasobów. Warto zauważyć, że zrównoważony model był realistyczny – nie zapobiegał on całkowitemu zużyciu zasobu nieodnawialnego, jednak sprzyjał takiemu gospodarowaniu nim, aby było ono długotrwałe i przynosiło użytkownikom maksymalne korzyści w dłuższej perspektywie. Potwierdzeniem niech będzie porównanie kształtowania się zmiennych kumulatywnych obu modeli dla przykładu eksploatacji zasobu odnawiającego się w umiarkowanym tempie przy przeciętnej wielkości majątku początkowego (rysunek 4).

W modelu zrównoważonym zużycie zasobu pozostawało pod kontrolą, ponieważ w jego działanie wkomponowano mechanizm, który pozwalał dostosować wielkość majątku i poziom produkcji do posiadanych zasobów i tempa ich regeneracji. Dzięki temu majątek angażowany do przetwarzania zasobu podlegał ograniczeniom (podobnie jak zasoby) i możliwy stawał się długotrwały wzrost wyniku netto. Jest to zasadnicza różnica między prezentowanymi modelami.

Tabela 3
Zestawienie wyników symulacji dla modelu wyjściowego (MW)

Majątek początkowy	Tempo regeneracji zasobu								
	0,0			0,1			0,2		
	Zasoby	Skumul. wynik netto	Wielkość majątku prod.	Zasoby	Skumul. wynik netto	Wielkość majątku prod.	Zasoby	Skumul. wynik netto	Wielkość majątku prod.
0,01	0,00	0,43	0,05	0,02	1,14	0,12	0,04	2,05	0,20
0,1	0,00	-0,20	0,07	0,00	0,05	0,10	0,05	0,76	0,16
0,2	0,00	-0,82	0,11	0,00	-0,70	0,12	0,02	-0,40	0,15

Tabela 4
Zestawienie wyników symulacji dla modelu zrównoważonego (MZR)

Majątek początkowy	Tempo regeneracji zasobu								
	0,0			0,1			0,2		
	Zasoby	Skumul. wynik netto	Wielkość majątku prod.	Zasoby	Skumul. wynik netto	Wielkość majątku prod.	Zasoby	Skumul. wynik netto	Wielkość majątku prod.
0,01	0,08	0,67	0,02	0,47	2,16	0,05	0,50	3,71	0,10
0,1	0,00	0,08	0,06	0,07	1,11	0,10	0,50	4,19	0,10
0,2	0,00	-0,56	0,09	0,00	-0,30	0,10	0,08	1,01	0,18

Z przeprowadzonych symulacji wynikało, że współużytkowane zasoby ulegają szybkiemu wyczerpaniu, gdy nie są podejmowane żadne działania w celu optymalizacji ich eksploatacji. Model zrównoważony wskazywał, że mądre gospodarowanie pozwala korzystać długoterminowo także z zasobów nieodnawialnych dzięki pogodzeniu dwóch celów: maksymalizacji korzyści społeczno-gospodarczych i minimalizacji strat w środowisku. Symulacje przedstawiające zachowanie modeli dla różnych wartości majątku początkowego zaangażowanego do przetwarzania zasobu o różnej zdolności odtwarzania każdorazowo potwierdzały wyższość modelu zrównoważonego. Zaprezentowane w tabelach 3 i 4 symulacje wykazały jak wyglądałby końcowy stan zasobów przy różnych wartościach majątku początkowego i odmiennych filozofiach gospodarowania, w których mogą dominować cele produkcyjne (model wyjściowy) bądź, których nadrzędną zasadą jest szacunek dla zasobów (model zrównoważony). Warto też zwrócić uwagę na czas, po upływie którego doszłoby w poszczególnych wariantach do wyczerpania zasobu w modelu wyjściowym i zrównoważonym. Tu również uwidaczniała się przewaga modelu zrównoważonego (tabela 5).

Rysunek 4

Symulacja zachowania modelu wyjściowego (MW) oraz zrównoważonego (MZR) przy parametrach: tempo regeneracji zasobu = 0,1; majątek początkowy = 0,01

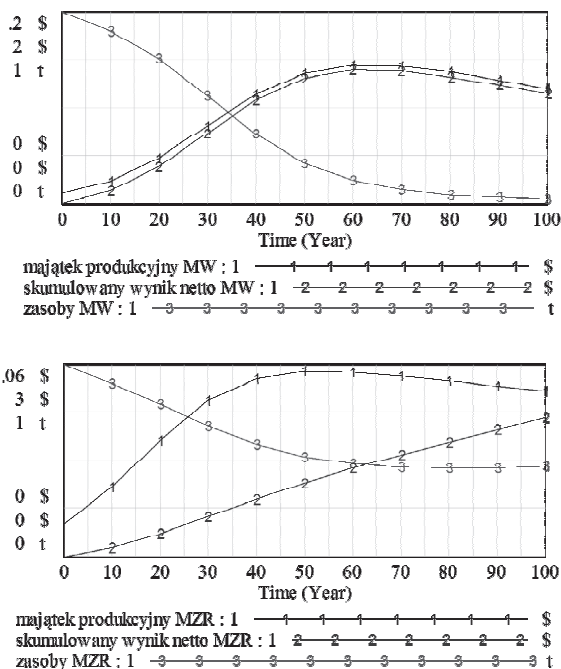


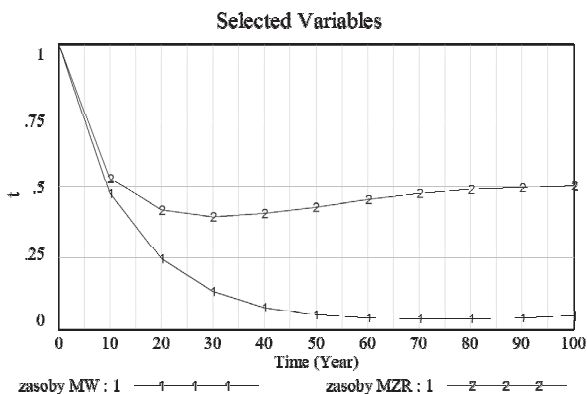
Tabela 5

Porównanie czasu wyczerpania zasobów w modelu wyjściowym (MW) i zrównoważonym (MZR)

Majątek początkowy	Tempo regeneracji zasobu					
	0,0		0,1		0,2	
	Czas wyczerpania zasobu [lata]					
	MW	MZR	MW	MZR	MW	MZR
0,01	90	-	100	-	-	-
0,1	30	50	60	-	-	-
0,2	20	30	30	50	60	-

Nowe reguły gospodarowania zaimplementowane w modelu zrównoważonym gwarantowały dłuższe korzystanie zarówno z zasobów nieodnawialnych i tych, które mają zróżnicowaną zdolność regeneracji (tabela 5). W przypadku zasobów nieodnawialnych w modelu wyjściowym wyeksploatowanie zasobu następowało odpowiednio po 90, 30 i 20 latach, a w modelu zrównoważonym

Rysunek 5
 Zużycie zasobów w modelu wyjściowym (MW) i zrównoważonym (MZR)
 przy parametrach: tempo regeneracji zasobu = 0,2; majątek początkowy = 0,1



dobro zużywało się po ponad 100 latach, a następnie po 50 i 30. W przypadku dobra regenerującego się w tempie 0,1 model zrównoważony dopuszczał zużycie zasobu przed upływem 100 lat tylko w sytuacji dużego majątku początkowego (równego 0,2). Tymczasem w modelu wyjściowym w każdym z wariantów zaangażowania majątku początkowego zasoby zużywały się przed końcem okresu symulacji.

W sytuacji, gdy poziom regeneracji dobra był najwyższy, model zrównoważony nie dopuszczał do jego wyczerpania przed upływem okresu symulacji. Zasoby zużywane były do osiągnięcia wartości optymalnej (czyli połowy ich maksymalnej wielkości). Dostosowana do niej była produkcja, dzięki czemu zużycie stabilizowało się i utrzymywało na stałym poziomie (rysunek 5).

Podsumowanie

Niekontrolowana eksploatacja zasobów środowiska prowadzi do ich szybkiego zużycia – szczególnie, kiedy są one przedmiotem współużytkowania. W artykule, wykorzystując dynamikę systemów wykazano, że przy braku działań równoważących produkcję i wykorzystanie ograniczonych dóbr, ich zużycie może prowadzić do znaczących strat nie tylko środowiskowych (wyczerpanie zasobu), ale i społeczno-ekonomicznych (ujemny wynik gospodarowania, niewykorzystany majątek produkcyjny). Obiecujących możliwości poprawy tej niekorzystnej sytuacji można upatrywać w podejściu systemowym. Poszukując w strukturach systemów uniwersalnych wzorców zachowań (archetypów) można odkryć zasadnicze przyczyny zaistniałej dysfunkcji. Opracowane na tej podstawie modele symulacyjne mogą ułatwić wybór działań naprawczych. Zastoso-

wanie dynamiki systemów minimalizuje przy tym ryzyko podjęcia błędnych decyzji. Wszak koszty eksperymentowania z modelami systemów gospodarczych pozostają zawsze nieporównywalnie mniejsze od kosztów eksperymentowania z żywą tkanką gospodarczą.

Modele dynamiki systemów ułatwiają zrozumienie skutków ograniczoności zasobów przyrody i wypracowywanie takich rozwiązań, które mogą przynieść długofalowe korzyści społeczeństwu gospodarującemu tymi zasobami. Obcując z systemami w życiu codziennym często zapominamy bowiem, że są one zbiorami synergicznie oddziałujących ze sobą elementów – wadliwe działanie jednego z nich skutkuje wadliwym działaniem całego systemu. Tak też dzieje się w przypadku tragedii dóbr wspólnych, do których należą zasoby środowiska. W ujęciu systemowym zrównoważone gospodarowanie takimi dobrami nie jest zatem przejawem altruistycznej troski człowieka o środowisko. Jest raczej troską o dobrą kondycję złożonego organizmu, w którym dobry stan jego jednego elementu (środowiska) gwarantuje dobry stan pozostałych elementów (gospodarki i społeczeństwa).

Literatura

- Barkley Rosser J., *Complex Evolutionary Dynamics in Urban-Regional and Ecologic-Economic Systems*, Springer 2011
- Bossel H., *Modeling and Simulation*, Germany 1994
- Bossel H., *System ZOO 2 Simulation Models Climate, Ecosystems, Resources*, t. 2, Norderstedt 2007
- Braun W., *The System Archetypes*, 2002, www.albany.edu
- Dacko M., *Model rozwoju obszarów wiejskich objętych siecią Natura 2000*, w: A. Bołtromiuk (red.), *Uwarunkowania zrównoważonego rozwoju gmin objętych siecią Natura 2000*, Warszawa 2011
- Hardin G., *The Tragedy of the Commons*, "Science Magazine" 1968 nr 162, www.sciencemag.org
- Malawski M., Wieczorek A., Sosnowska H., *Konkurencja i kooperacja. Teoria gier w ekonomii i naukach społecznych*, Warszawa 1997
- Ostrom E., Gardner R., Walker J., *Rules, Games & Common-Pool Resources*, Michigan 1994, www.press.umich.edu
- Ostrom E., *The Danger of Self-Evident Truths*, "Political Science and Politics" 2000 nr 33
- Roopnarine P., *Ecology and the Tragedy of the Commons*, "Sustainability" 2013 nr 5
- Senge P., *Piąta Dyscyplina. Teoria i praktyka organizacji uczących się*, Warszawa 2012