

**Konrad Żelazowski\***

Uniwersytet Łódzki

## ZASTOSOWANIE DYNAMIKI SYSTEMÓW W MODELOWANIU RYNKU NIERUCHOMOŚCI

### STRESZCZENIE

Dynamika systemów jest podejściem badawczym umożliwiającym modelowanie zachowań złożonych systemów. W porównaniu z tradycyjnym podejściem umożliwia nie tylko odwzorowanie istotnych elementów modelowanego systemu, lecz także weryfikację jego zachowań w czasie. Ze względu na niezaprzeczalne korzyści wynikające z zastosowania koncepcji dynamiki systemów, należy ona do coraz popularniejszych narzędzi modelowania procesów ekonomicznych.

Celem artykułu jest przedstawienie potencjalnego zastosowania dynamiki systemów w modelowaniu rynku nieruchomości. Zaprezentowano zmodyfikowaną wersję modelu FDW oraz symulacje funkcjonowania rynku nieruchomości w reakcji na zdefiniowane scenariusze.

**Słowa kluczowe:** dynamika systemów, modelowanie rynku nieruchomości, model FDW.

### Wprowadzenie

Rynek nieruchomości należy do systemów gospodarczych, których modelowanie nastęrcza wiele problemów. Jest on niejednorodny, składa się z wielu segmentów, których funkcjonowanie determinują odmienne czynniki, segmentów, mogących się także wza-

<sup>1</sup> Adres e-mail: [kzelazowski@uni.lodz.pl](mailto:kzelazowski@uni.lodz.pl).

jemnie przenikać (np. przez zmianę przeznaczenia nieruchomości) lub uzupełniać. Złożony charakter rynku nieruchomości utrudnia budowę modeli, które w swojej definicji powinny reprezentować uproszczony obraz rzeczywistości gospodarczej, a zarazem wiernie odwzorowywać jego heterogeniczną i wielowymiarową naturę.

Rynek nieruchomości ma także silne powiązania z innymi rynkami, w tym z rynkiem budowlanym, z którym tworzy sektor nieruchomości, rynkiem kapitałowym, który jest źródłem finansowania inwestycji nieruchomościowych i dokonuje ich rynkowej wyceny oraz z rynkiem pracy. Ponadto jego funkcjonowanie warunkuje grupa czynników ekonomicznych, prawnoinstytucjonalnych oraz politycznych. W przeciwieństwie do innych systemów znaczenie czynników pozaekonomicznych na rynku nieruchomości jest zdecydowanie większe, dlatego uwzględnienie ich wszystkich w modelu nie zawsze jest możliwe.

Pojawiające się ograniczenia w modelowaniu złożonych procesów i systemów przyczyniły się do wypracowania nowego podejścia badawczego, umożliwiającego ich efektywniejszą analizę. Rozwiązaniem tym jest dynamika systemów.

Celem artykułu jest wskazanie użyteczności dynamiki systemów w modelowaniu i analizie rynku nieruchomości. Potencjał poznawczy i aplikacyjny tego podejścia badawczego zaprezentowano na przykładzie modelu nieruchomości komercyjnych (model FDW).

## 1. Istota dynamiki systemów

Dynamika systemów (*System Dynamics* – SD) to koncepcja modelowania struktur i systemów o charakterze społecznym, ekonomicznym, ekologicznym, politycznym opracowana pod koniec lat 50. XX wieku w MIT przez Jaya Forrestera. Umożliwia pełniejsze zrozumienie funkcjonowania złożonych systemów, identyfikację współzależności pomiędzy ich składowymi oraz analizę ich zachowań w czasie [Golnam, Ackere, Wegmann, 2010, s. 4].

Dynamika systemów jest odpowiedzią na pewne ograniczenia tradycyjnego podejścia do modelowania złożonych struktur, wśród których należy wymienić między innymi:

- a) trudności w odwzorowaniu złożonych współzależności między zmiennymi charakteryzującymi badany system; dotyczy to między innymi odzwierciedlenia zjawiska sprzężenia zwrotnego między analizowanymi procesami;

- b) pomijanie czynnika czasu jako istotnej zmiennej warunkującej funkcjonowanie badanego systemu, ograniczając tym samym możliwość identyfikacji efektów krótko- i długoterminowych czy zmiennych istotnych dla funkcjonowania systemu w perspektywie długookresowej;
- c) ograniczone możliwości rozbudowy lub modyfikacji modelu.

Zastosowanie dynamiki systemów w dużym stopniu umożliwia wyeliminowanie tych ograniczeń w procesie modelowania. Wśród niezaprzeczalnych zalet SD wyróżnia się między innymi możliwość skutecznego odwzorowania interakcji między zmiennymi w czasie, lepsze zrozumienie zachowań złożonych systemów, skuteczniejsze symulowanie ich funkcjonowania, efektywniejsze pod względem kosztów i czasu poszukiwanie rozwiązań dla zdefiniowanych problemów badawczych [Wasbes, 2010].

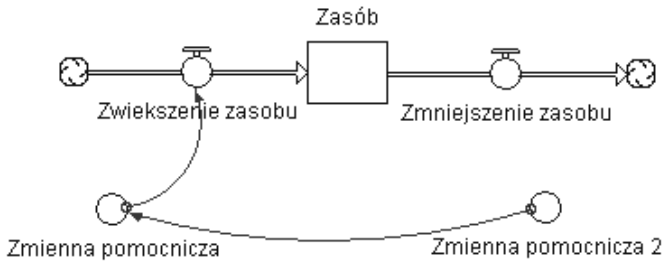
Proces badawczy z wykorzystaniem dynamiki systemów jest wieloetapowy, obejmuje bowiem:

- a) identyfikację problemu badawczego lub systemu będącego przedmiotem modelowania;
- b) wskazanie hipotez badawczych;
- c) przygotowanie modelu odwzorowującego zachowanie badanego systemu;
- d) ocenę poprawności modelu i jego zgodności z rzeczywistym zachowaniem modelowanej struktury lub zjawiska;
- e) symulowanie funkcjonowania badanego systemu w celu weryfikacji hipotez badawczych lub rozwiązania problemu badawczego;
- f) wybór optymalnego rozwiązania lub sformułowanie wniosków z weryfikacji postawionych hipotez [Sokołowski, Banks, 2010, s. 37].

Etap konstrukcji modelu rozpoczyna identyfikacja najistotniejszych zmiennych i procesów tworzących przedmiotowy system. Kolejnym krokiem jest określenie kierunku i rodzaju zależności między wyszczególnionymi komponentami. Schemat modelu tworzony w ramach dynamiki systemów jest oparty na predefiniowanych elementach. Zasób (przedstawiany w postaci prostokąta) określa poziom wybranej zmiennej, istotnej dla modelowanego procesu. Przepływy odwzorowujące proces zwiększenia lub zmniejszenia zasobu mają graficzną postać zaworu (skierowanego do lub od zasobu). Symbol koła odwzorowuje uwzględnione w modelu zmienne uzupełniające, procesy pośrednie lub stałe. Kierunek zależności między zdefiniowanymi zmiennymi i procesami wyznaczają strzałki [Reimann, Thompson, Wei-

nel, 2007, s. 890]. Graficzną postać podstawowych składników modelu w koncepcji SD przedstawiono na rysunku 1.

Rysunek 1. Podstawowe składowe modelu w dynamice systemów



Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu iThink Idee Systems.

W ostatniej fazie przygotowywana jest zmatematyzowana postać modelu w formie równań różniczkowo-różnicowych. W takiej postaci model jest podstawą analizy zachowań badanego systemu.

## 2. Model rynku nieruchomości w koncepcji dynamiki systemów

W artykule zaprezentowano zmodyfikowaną postać modelu FDW autorstwa trzech ekonomistów: J. Fishera [Fisher, 1992], D. DiPasqualea oraz W. Wheatona [DiPasquale, Wheaton, 1992]. Model odwzorowuje funkcjonowanie rynku nieruchomości komercyjnych (np. rynku nieruchomości biurowych) i rynków z nim powiązanych (rynek kapitałowy oraz rynek budowlany). Tworzą cztery powiązane ze sobą systemy:

1. Rynek powierzchni – segment rynku nieruchomości, w którego ramach właściciele powierzchni komercyjnej wynajmują ją użytkownikom. W modelu segment ten jest reprezentowany przez funkcję popytu na powierzchnię (np. biurową). Dla uproszczenia analizy przyjęto, że głównym czynnikiem determinującym zmiany popytu jest rynkowa stawka czynszu. Uwzględniono również zmienną pomocniczą (zaburzenie popytu) wprowadzającą pozytywne bądź negatywne szoki popytowe.

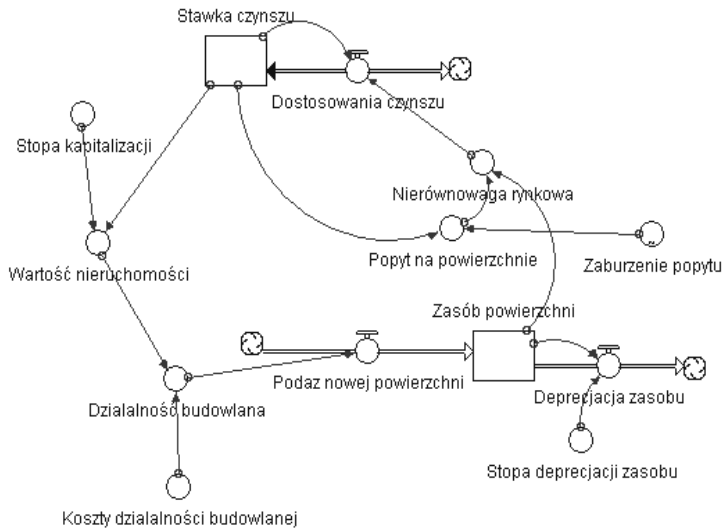
2. Rynek kapitałowy – odwzorowuje proces wyceny nieruchomości jako aktywów inwestycyjnych. W modelu przyjęto uproszczoną formułę wyceny nieruchomości, wykorzystując podejście dochodowe, technikę kapitalizacji prostej, w której zakłada się stabilizację rocznych strumieni dochodów generowanych przez wycenianą nieruchomość. Zmiennymi determinującymi poziom wartości nieruchomości są: stawka czynszu – określająca wysokość strumieni dochodów uzyskiwanych z nieruchomości, oraz stopa kapitalizacji wyznaczająca poziom ryzyka inwestowania w nieruchomości.

3. Rynek budowlany – stanowi źródło podaży nowej powierzchni komercyjnej. Aktywność tego rynku została bezpośrednio uzależniona od rentowności działalności budowlanej (w modelu określonej jako różnica między wartością nieruchomości a kosztami działalności budowlanej). Oznacza to, że perspektywa wysokich zysków z nowych projektów deweloperskich będzie sprzyjać realizacji nowych przedsięwzięć. Z kolei spadkowi rentowności tejże działalności towarzyszyć będzie spadek liczby nowych inwestycji, a tym samym spadek podaży nowej powierzchni.

4. Rynek nieruchomości – segment ten określa zasób powierzchni komercyjnej przeznaczonej pod wynajem na rynku powierzchni. Zasób ten może być dostosowywany *in plus* poprzez nowe inwestycje realizowane na rynku budowlanym oraz *in minus* na skutek deprecjacji istniejącego zasobu.

Schemat modelu FDW uwzględniający wyszczególnione subrynki przedstawiono na rysunku 2.

Rysunek 2. Zmodyfikowana postać modelu FDW w koncepcji dynamiki systemów



Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu iThink Idee Systems.

Zapis matematyczny modelu rynku nieruchomości jest następujący:

1. Rynek powierzchni:

$$\text{popyt na powierzchnię} = 1\,200\,000 - 3000 - \text{stawka czynszu} \quad (1)$$

$$\text{stawka czynszu}(t) = \text{stawka czynszu}(t-dt) + (\text{dostawowania czynszu}) \cdot dt \quad (2)$$

$$\text{dostawowania czynszu} = 12 \cdot (\text{nierównowaga rynkowa} \cdot \text{stawka czynszu} - \text{stawka czynszu}) \quad (3)$$

$$\text{nierównowaga rynkowa} = \frac{\text{zasób powierzchni}}{\text{popyt na powierzchnię}} \quad (4)$$

2. Rynek kapitałowy:

$$\text{wartość nieruchomości} = \frac{(\text{stawka czynszu} \cdot 12)}{\text{stopa kapitalizacji}} \quad (5)$$

3. Rynek budowlany:

$$\text{podaż nowej powierzchni} = \text{działalność budowlana} \quad (6)$$

$działalność\ budowlana = 9 \cdot (wartość\ nieruchomości\ t-1 - koszty\ działalności\ budowlanej)$  (7)

4. Rynek nieruchomości:

$zasób\ powierzchni\ (t) = zasób\ powierzchni\ (t - dt) + (podaż\ nowej\ powierzchni - deprecjacja\ zasobu) \cdot dt$  (8)

$deprecjacja\ zasobu = stopa\ deprecjacji\ zasobu \cdot zasób\ powierzchni_{t-1}$  (9)

Wartości początkowe zmiennych:

- stawka czynszu = 40,
- zasób powierzchni = 1 000 000,
- koszty działalności budowlanej = 2000,
- stopa deprecjacji zasobu = 0,054,
- stopa kapitalizacji = 0,06.

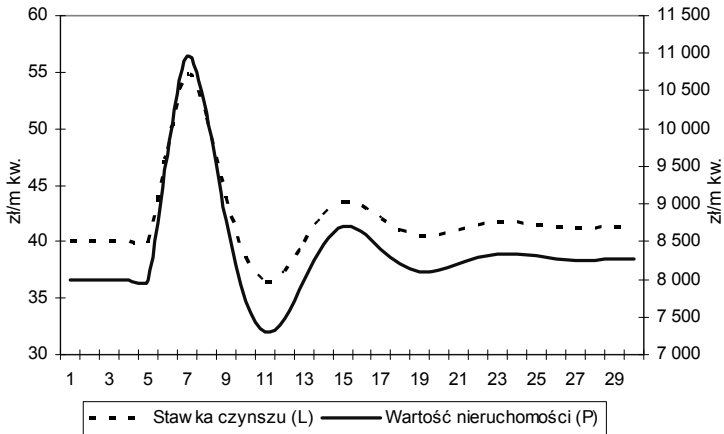
Model przedstawia funkcjonowanie hipotetycznego rynku nieruchomości komercyjnych. W formułach definiujących zależności ilościowe między zmiennymi przyjęto arbitralny poziom parametrów, umożliwiający osiągnięcie początkowego stanu równowagi rynkowej.

### 3. Symulacje funkcjonowania rynku nieruchomości

Przygotowany model umożliwia przeprowadzenie analiz symulacyjnych funkcjonowania rynku nieruchomości dla zdefiniowanego scenariusza rynkowego. W artykule zaprezentowano dwa scenariusze reakcji rynku nieruchomości komercyjnych na typowe zdarzenia rynkowe.

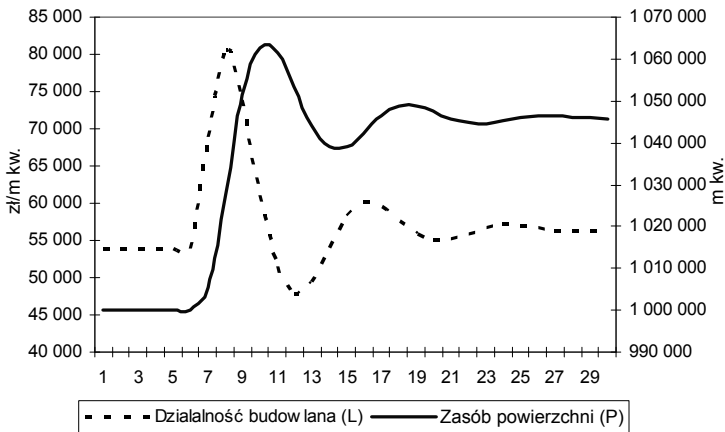
W pierwszym scenariuszu założono pojawienie się pozytywnego szoku popytowego na rynku powierzchni (wzrost zapotrzebowania na powierzchnię komercyjną o 2,5%). Rynek nieruchomości wraz z rynkami powiązаныmi zostaje wytrącony z pierwotnego stanu równowagi (pierwsze 5 okresów analizy). Wzrost popytu na powierzchnię komercyjną, gdy inne warunki pozostają niezmiennione (stała podaż powierzchni), prowadzi do wzrostu stawek czynszu. Reakcją rynku kapitałowego na wyższe stawki czynszu przy stałym poziomie ryzyka inwestowania w nieruchomości, jest wzrost ich wartości. Rosnąca wartość nieruchomości, przy stałym poziomie kosztów działalności budowlanej stymuluje wzrost rentowności działalności deweloperskiej/budowlanej, czego efektem jest większa liczba

Rysunek 3. Ścieżka dostosowań stawek czynszu oraz wartości nieruchomości w reakcji na pozytywny szok popytowy



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 4. Ścieżka dostosowań działalności budowlanej oraz zasobu powierzchni komercyjnej w reakcji na pozytywny szok popytowy



Źródło: opracowanie własne.

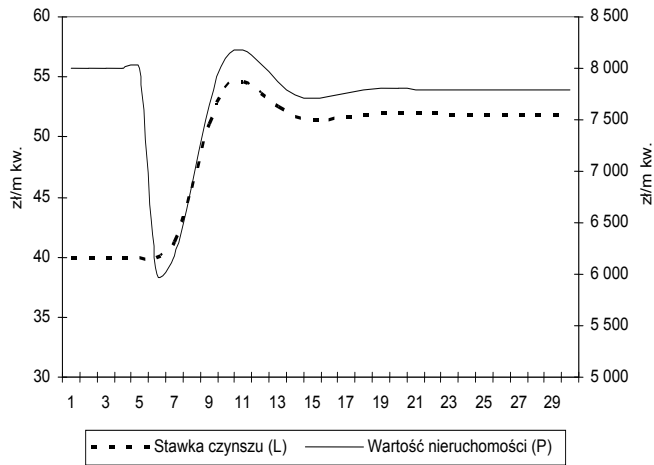
realizowanych inwestycji z zakresu nieruchomości komercyjnych. Po zakończeniu ich realizacji zasilają one rynek nową podażą powierzchni komercyjnej, zamykając tym samym pierwszy cykl dostosowawczy badanego systemu. Wraz z przyro-



stem podaży powierzchni komercyjnej rozpoczyna się nowy cykl dostosowawczy. Mechanizm rynkowy wykazuje tendencję do wygaszania kolejnych cykli, kierując rozpatrywany system do nowego stanu równowagi. Stan ten w porównaniu z równowagą początkową charakteryzuje się wyższym poziomem stawek czynszu, wyższą wartością nieruchomości, większą aktywnością rynku budowlanego oraz większym zasobem powierzchni możliwej do wynajęcia. Scharakteryzowany proces dostosowawczy przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

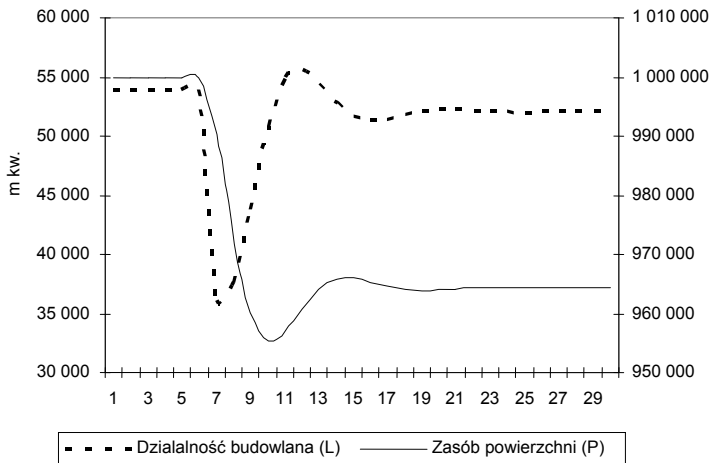
W drugim scenariuszu przyjęto założenie, że po okresie równowagi rynkowej (pierwsze 5 okresów) rynek doświadcza wzrostu ryzyka inwestycyjnego (wzrost stopy kapitalizacji z poziomu 6% do 8%). Wzrost ryzyka inwestowania w nieruchomości komercyjne, gdy inne warunki są niezmiennie (stabilne stawki czynszu), prowadzi do spadku wartości nieruchomości (te same strumienie dochodów generowane są przez bardziej ryzykowną inwestycję). Wraz ze spadkiem wartości nieruchomości przy stałych kosztach działalności budowlanej spada jej rentowność. W efekcie zmniejsza się liczba nowych inwestycji realizowanych na rynku budowlanym. Rynek nieruchomości zasilany mniejszą niż do tej pory podażą nowej powierzchni oraz przy stałej stopie deprecjacji istniejącego zasobu doświadcza zmniejszenia zasobu powierzchni możliwej do wynajęcia. Po pierwszym cyklu dostosowawczym badany system doświadcza kolejnych o charakterze gasnącym. Mechanizm rynkowy prowadzi rynek nieruchomości i rynki z nim powiązane do nowego stanu równowagi, charakteryzującego się w porównaniu ze stanem wyjściowym wyższym poziomem stawek czynszu, niższą wartością rynkową nieruchomości, mniejszą aktywnością rynku budowlanego oraz mniejszym zasobem powierzchni przeznaczonym pod wynajem. Proces dostosowawczy systemu dla drugiego scenariusza przedstawiono na rysunkach 5 i 6.

Rysunek 5. Ścieżka dostosowań stawek czynszu oraz wartości nieruchomości w reakcji na wzrost ryzyka inwestowania na rynku nieruchomości



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 6. Ścieżka dostosowań działalności budowlanej oraz zasobu powierzchni komercyjnej w reakcji na wzrost ryzyka inwestowania na rynku nieruchomości



Źródło: opracowanie własne.

## Podsumowanie

Przedstawiony model rynku nieruchomości umożliwia pełniejsze zrozumienie złożoności mechanizmu jego funkcjonowania oraz specyfiki jego powiązań z pozostałymi rynkami. Ponadto jest skutecznym narzędziem analizy procesu kształtowania się wartości rynkowej nieruchomości, rynkowych stawek czynszów oraz pozwala wskazać czynniki mające istotny wpływ na ich zmiany.

Wnioski, jakie płyną z symulacji przeprowadzonych na podstawie zaprezentowanego modelu potwierdzają konieczność postrzegania rynku nieruchomości jako układu dynamicznego, podlegającego systematycznym zmianom. W tym aspekcie koncepcja dynamiki systemów jest efektywnym narzędziem jego modelowania. Pozwala nie tylko na tworzenie złożonych modeli jego funkcjonowania, lecz również umożliwia symulację jego zmian w czasie.

## Literatura

- DiPasquale D., Wheaton W. (1992), *The Markets for Real Estate Assets and Space: A Conceptual Framework*, „Journal of the American Real and Urban Economics Association” No. 1.
- Fisher J.D. (1992), *Integrating Research on Markets for Space and Capital*, „Real Estate Economics” Vol. 20.
- Golnam A., Ackere A. van, Wegmann A. (2010), *Integrating System Dynamics and Enterprise Modeling to Address Dynamic and Structural Complexities of Choice Situations*, Conference Paper, 28th International Conference of The System Dynamics Society, Seoul, Korea, July 25–29.
- Reimann P., Thompson K., Weinel M. (2007), *Collaborative Learning by Modeling: Observations in an Online Setting*, Proceedings Ascilite, Singapore.
- Sokołowski J.A., Banks C.M. (2010), *Modeling Complex Social Behavior: A System Dynamics Approach*, Conference Paper, 19<sup>th</sup> Conference on Behavior Representation in Modeling and Simulation, Charleston, 21-24 March.
- Wasbes J. (2010), *Modeling Dynamic Systems. An introduction to System Dynamics Modeling*, Conference Presentation, Environmental Evaluators Networking Conference June 7–8.

## APPLICATION OF SYSTEM DYNAMICS IN MODELING OF REAL ESTATE MARKETS

### Abstract

System dynamics is a research approach which makes it possible to model the behavior of complex systems. Compared to traditional approach, it allows not only to present essential elements of a selected system and their interrelations but also to examine how the system changes over time. Due to the unquestionable advantages of System Dynamics modeling, it has become a popular modeling tool for economic processes.

The aim of the article is to exemplify a possible application of System Dynamics in real estate market analysis. A modified version of FDW model is presented as well as simulations of real estate market reaction to defined scenarios.

*Translated by Konrad Żelazowski*

**Keywords:** system dynamics, modeling of real estate market, FDW model.

**Kod JEL:** R30.