

**Mateusz Słupiński**

Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska

## **Prognozowanie w okresie wydłużonym z wykorzystaniem krzywej S w odniesieniu do wyników projektu „Quality of Life”**

**Streszczenie.** Przedstawione przykładowe parametry mierzalne do roku 2020 przechodzą przez stadium dojrzałości lub osiągnięcia górnego pułapu  $\kappa$ . W celu kontynuowania prognozowania dalszego wzrostu poza rok 2020 istnieje konieczność wprowadzenia monitorowania nowego rozwiązania. Nowe rozwiązania mogą już istnieć lub zostaną stworzone. W przypadku rozwiązań istniejących mogą one jeszcze obecnie być nierozpoznane, niemierzone i znajdować się w okresie początkowego wzrostu czyli  $y < 10\% \kappa$ . W poniższym artykule konferencyjnym przedstawiono wprowadzenie do analizy krzywych logistycznych oraz wprowadzenie do wydłużenia prognozy poza pierwszą krzywą logistyczną.

**Słowa kluczowe:** krzywa logistyczna, sieć sprzeczności, następstwo krzywych logistycznych

### **1. Wstęp**

#### **1.1. Krzywa logistyczna, krzywa S**

Krzywą  $S^1$  zapisano pierwotnie w wyniku obserwacji wzrostu ludzkiej populacji. Z punktu widzenia matematycznego krzywa S jest prostą krzywą logistyczną. W innym ujęciu krzywa S jest także symetryczną, trójparametryczną krzywą logarytmiczną. Krzywa S jest wykreślona w prostokątnym układzie

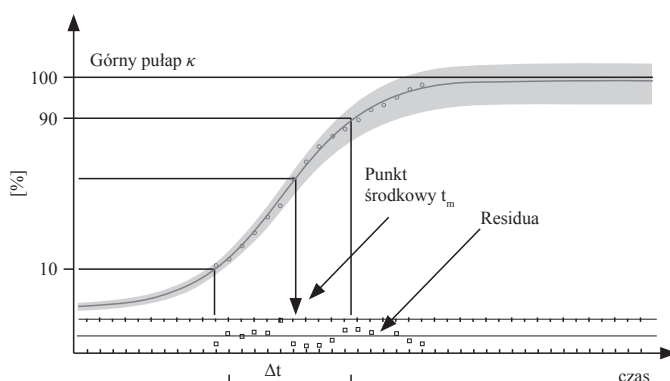
---

<sup>1</sup> T.R. Malthus, *An essay on the principle of population*, J. Johnson, London 1798.

współrzędnych. Oś pozioma jest osią czasu. Oś pionowa w typowym podejściu jest to skumulowana liczba opisująca określony parametr<sup>2</sup>, np. liczba bakterii, liczba prób jądrowych, uznanie publiczności. Innym sposobem opisanie osi pionowej może być stosunek funkcji użytecznej do funkcji szkodliwej, zawierającej poniesione koszty, czyli wykorzystane zasoby<sup>3</sup>. Dalsze szczegółowe informacje na temat konstrukcji i dopasowaniu krzywej S podają<sup>4</sup>.

## 1.2. Czytanie krzywej logistycznej

Wynik dopasowania krzywej logistycznej do serii danych opisujących system sformułowany jest w trzech parametrach: górny pułap ( $\kappa$ ), punkt środkowy ( $t_m$ ), tempo wzrostu ( $\Delta t$ ), (rys. 1). Górny pułap ( $\kappa$ ) to poziom asymptoty ograniczającej dalszy wzrost krzywej. Punkt środkowy krzywej wzrostu ( $t_m$ ) podawany jest jako czas potrzebny do osiągnięcia połowy (50% $\kappa$ ) wysokości górnego pułapu. Tempo wzrostu opisuje nachylenie lub inaczej szerokość krzywej. Tempo wzrostu można opisać jako czas trwania  $\Delta t$ , czyli czas pomiędzy osiągnięciem 10% i 90% pułapu górnego ( $\kappa$ ), (rys. 1).



Rys. 1. Krzywa logistyczna otrzymana w wyniku dopasowania do serii danych; wykres podstawowy przygotowany za pomocą „Loglet Lab 2.0” The Rockefeller University, 2003

Źródło: opracowanie własne.

<sup>2</sup> T. Modis, *Strengths and weaknesses of S-curves*, „Technological Forecasting and Social Change” 2007, Vol. 74, s. 866-872; D. Kucharavy, R. De Guio, *Logistic Substitution Model and Technological Forecasting*, w: *8th ETRIA World TRIZ Future Conference*, University of Twente, Enschede, 2008, s. 9.

<sup>3</sup> D. Kucharavy, R. De Guio, *Application of S-shaped curves*, w: *ETRIA Conference TRIZ Future 2007*, Frankfurt am Main, 2007. T. Modis, *Predictions – 10 Years Later*, Growth Dynamics, Geneva 2002; P.S. Meyer, J.W. Yung, J.H. Ausubel, *A primer on logistic growth and substitution – The mathematics of the Loglet Lab software*, „Technological Forecasting and Social Change” Vol. 61, July 1999, s. 247-271.

<sup>4</sup> Ibidem.

## 2. Praca nad krzywymi logistycznymi

Dane źródłowe do konstrukcji krzywych logistycznych zostały zgromadzone w czasie prac z ekspertami zaproszonymi do pracy w projekcie. Zebrane informacje i dane zostały poddane dodatkowej obróbce z wykorzystaniem narzędzi foresight, tj.: modelu sprzeczności, sieci sprzeczności, map sprzeczności, prognozowania technologicznego, Dynamiki Systemów, techniki SWOT, uproszczonego Backcasting. Opracowania wyników tych prac zostały przedstawione w raportach projektowych oraz udostępnione na stronie projektu<sup>5</sup>. W wyniku prac z ekspertami i analizy przy pomocy narzędzi foresight wyselekcjonowano zespół czynników krytycznych dla jakości życia. Dla każdego z tych czynników poszukiwano faktycznych mierników wskazujących zaawansowanie ich rozwoju. Dane liczbowe, potrzebne do zbudowania serii danych, zaczerpnięto z ogólnodostępnych darmowych źródeł statystycznych, tj. GUS i EuroStat. Krzywe logistyczne dopasowano do serii danych z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania<sup>6</sup>.

### 2.1. Jak posunąć się poza bieżące rozwiązanie?

Wykreślenie krzywej dla pojedynczego parametru daje w wyniku estymację rozwoju do momentu osiągnięcia górnego pułapu ( $\kappa$ ). Okres czasowy zależy indywidualnie od rodzaju miernika, mogą to być lata w przypadku zjawisk w gospodarce lub godziny w procesach chemicznych. W przypadku kiedy seria danych i dopasowana krzywa logistyczna pokazują, że system znajduje się poza okresem wzrostu początkowego, czyli powyżej 10%  $\kappa$ , np. na etapie 20-30% wysokości  $\kappa$ , to przebieg krzywej logistycznej poza ostatnią daną z serii danych jest estymacją opierającą się na zasadach krzywej logistycznej, czyli zasadzie ograniczoności zasobów. Jest to informacja o estymowanym dalszym przebiegu rozwoju systemu. Z wyników dopasowania można odczytać czas trwania rozwoju oraz górny pułap  $\kappa$  dające obraz prognozy rozwoju analizowanego rozwiązania.

Wykroczenie poza pojedynczą krzywą wymaga poznania nowego rozwiązania dla problemu związanego z czynnikiem krytycznym dla, w przypadku projektu QoL, jakości życia. Nowe rozwiązanie kontynuuje realizację, opisywanej wcześniej przez pierwszą krzywą, nadrzędnej potrzeby, przy zachowaniu tej samej jednostki pomiaru. Przykładowo, zbieranie surowców wtórnych to realizacja

<sup>5</sup> Publikacje projektu „Quality of Life” Wrocław: Projekt „Quality of Life”, Uniwersytet Ekonomiczny, 2010, [www.qol.ue.wroc.pl/publikacje/](http://www.qol.ue.wroc.pl/publikacje/) [1.11.2012].

<sup>6</sup> „Loglet Lab. 2.0”; IIASA, Transitions to New Technologies, [www.iiasa.ac.at/Research/TNT/index.html?sb=1](http://www.iiasa.ac.at/Research/TNT/index.html?sb=1) [1.11.2012].

nadrzędnej potrzeby ograniczenia ilości odpadów wymagających składowania na składowiskach odpadów. Punkty skupu makulatury i skupu złomu to przykład jednego z rozwiązań. Kolejnym rozwiązaniem zwiększającym skalę obrotu odpadami jest segregowanie odpadów w gospodarstwach domowych. Posiadając dostęp do danych, można tu wyróżnić kilka podetapów, jak zbiórka wyłącznie szkła i makulatury uzupełniona w kolejnym etapie o zbiórkę tworzyw sztucznych, w kolejnym o odpady do kompostowania. W każdym przypadku miernikiem jest waga zebranych odpadów segregowanych.

## 2.2. Krzywe wielokrotne i następstwo krzywych

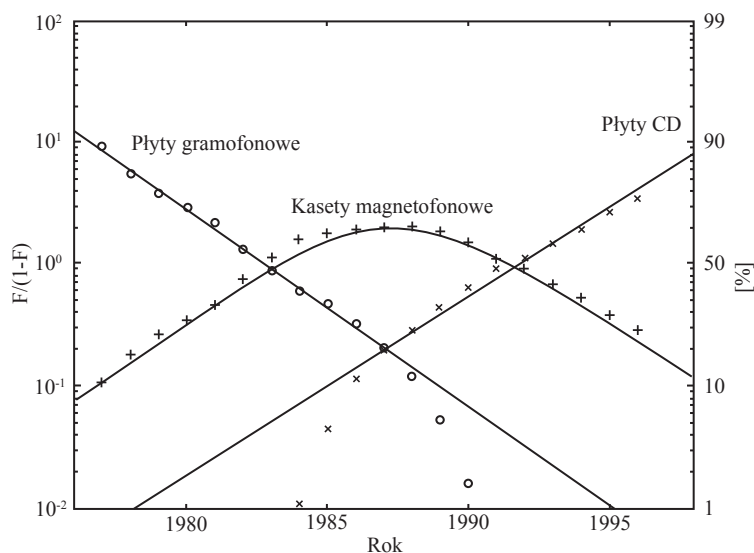
Podstawowym zagadnieniem w wykreślaniu krzywych logistycznych opisujących nowe rozwiązania jest wiedza o tym, co będzie kolejnym rozwiązaniem dla analizowanej nadrzędnej potrzeby. Wymagana jest tutaj znajomość otoczenia nadrzędnej potrzeby i wszelkich zagadnień z nią związanych. W opracowaniu wizerunku całościowego zagadnienia pomocne jest podejście systemowe, rozkładające całość na elementy składowe i wzajemne zależności. W projekcie QoL proces ten został usystematyzowany przy wykorzystaniu sieci sprzeczności<sup>7</sup>. Formułowanie problemu w postaci sprzeczności jest sposobem na ujednoczenie wyrażenia problemów. Połączenie problemów w sieć daje możliwość zaobserwowania punktów węzłowych o zwiększonym nagromadzeniu połączeń. W ten sposób identyfikowane są czynniki krytyczne dla nadrzędnej potrzeby. W przypadku projektu QoL potrzebą nadrzędną była jakość życia w zakresie specjalności poszczególnych obszarów badawczych, tj.: ochronie środowiska, bezpiecznej żywności, biotechnologii i farmaceutyce. Problemy przedstawione przez ekspertów sformułowano w postaci sprzeczności i połączono w sieci sprzeczności dla każdego z obszarów badawczych.

Korzystając z wiedzy zawartej w sieci sprzeczności, jako parametr do wykreślenia krzywej logistycznej został wybrany parametr opisujący jeden z czynników krytycznych. Jest to etap podstawowy wykorzystania sieci sprzeczności dla wyznaczenia i uzasadnienia wyboru danego parametru. Sieć sprzeczności jest wizerunkiem całego systemu problemów związanych z nadrzędną potrzebą zwiększenia jakości życia. Dzięki temu, po wyznaczeniu górnego pułapu ( $\kappa$ ) dla pierwszego rozwiązania, sieć sprzeczności daje wskazówki w poszukiwaniu kolejnego rozwiązania dla nadrzędnej potrzeby. Problemy są wieczne, a ich rozwiązania tylko tymczasowe, jak powiedział Niels Bohr. Problemy tworzące punkty węzłowe, a także problemy z nimi połączone w sieci sprzeczności pokazują potrzeby, które

<sup>7</sup> M. Słupiński, D. Kucharawy, „Raport z prac nad materiałem zebrany na spotkaniu #0 w projekcie «Quality of Life». Część 2. Wykorzystanie narzędzia Prognozowanie Technologiczne oparte na OTSM-TRIZ”, Wrocław: Projekt QoL, 2010, s. 13.

mają być realizowane przez kolejne rozwiązania. Obecne rozwiązanie powstało także jako odpowiedź na problemy przedstawione sieci sprzeczności, jednak zasoby do realizacji obecnego rozwiązania z czasem ulegają wyczerpaniu i powstaje potrzeba nowego rozwiązania. Obserwacja i analiza problemów otaczających dany czynnik krytyczny w sieci sprzeczności daje wskazówki do poszukiwania nowego rozwiązania. Dzięki następnej krzywej logistycznej analiza rozwoju realizacji potrzeby nadrzędnej wkracza w nowy okres i horyzont prognozy zostaje wydłużony. Zjawisko następstwa krzywych logistycznych bez zastosowania sieci sprzeczności zostało opisane w publikacji C. Marchetti'ego i N. Nakicenovica<sup>8</sup>.

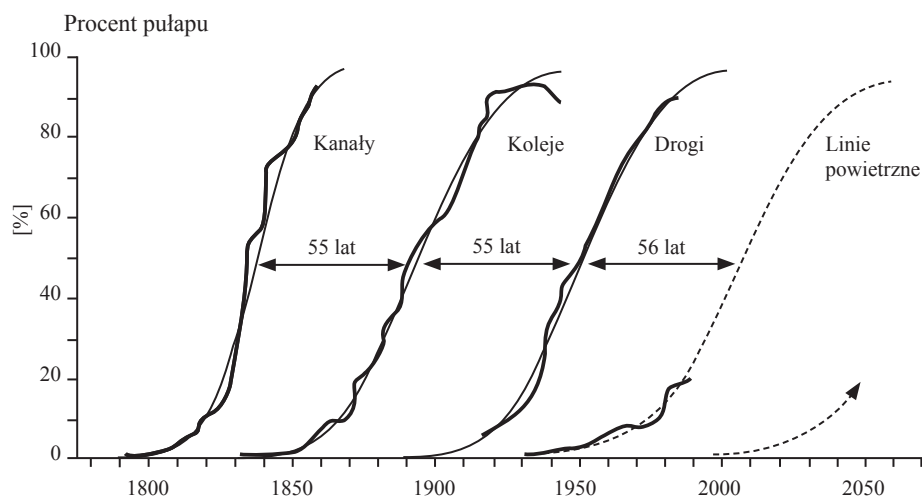
Poniżej przytoczono typowe przykłady następstwa krzywych logistycznych. Są to przykłady zaczerpnięte z literatury przedstawiające krzywą dzwonową dla stopnia przyrostów sprzedaży przemysłu nagraniowego w USA w zależności od nośnika. Drugim przykładem są krzywe logistyczne opisujące nowe rozwiązania w rozwoju sieci transportu w USA. Sieci transportowe zostały opisane długością w tej samej jednostce mile, a następnie znormalizowane, czyli odniesione do maksymalnego pułapu osiągniętego lub prognozowanego dla danej sieci.



Rys. 2. Dopasowanie następstwa krzywych logistycznych (krzywe stopnia wzrostu) dla nośników w przemyśle nagraniowym w USA

Źródło: P.S. Meyer, J.W. Yung, J.H. Ausubel, *A primer on logistic growth and substitution – The mathematics of the Loglet Lab software*, „Technological Forecasting and Social Change” Vol. 61, July 1999.

<sup>8</sup> C. Marchetti, N. Nakicenovic, *The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model*, Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis, 1979.



Rys. 3. Krzywe S opisujące rozwój poszczególnych sieci transportowych w USA. Krzywe znormalizowane do 100% przewidywanego pułapu

Źródło: T. Modis, *Predictions – 10 Years Later*. Geneva: Growth Dynamics, 2002; A. Grubler, *The Rise and Fall of Infrastructures Dynamics of Evolution and Technological Change in Transport*. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis IIASA, 1990.

### 3. Przykładowe krzywe logistyczne w projekcie QoL

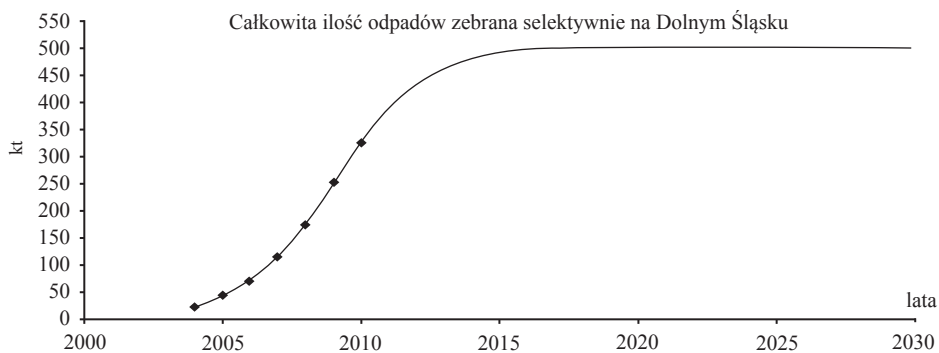
#### 3.1. Prognozy do roku 2030

Poniżej przedstawiono trzy przykładowe krzywe logistyczne sporządzone w ramach prac projektu „Quality of Life” (QoL). Na potrzeby niniejszej publikacji wydłużono skalę czasową wykresów do roku 2030; projekt QoL dotyczył okresu do roku 2020. Serie danych wykorzystane do dopasowania uzupełniono o dane z roku 2010 opublikowane po zakończeniu projektu.

Do pracy nad dopasowaniem i przekształcaniem krzywych logistycznych w projekcie QoL wykorzystano dwa programy: „Loglet Lab 2.0” opracowany w ramach *Program for the Human Environment*, na The Rockefeller University<sup>9</sup> i *IIASA Logistic Substitution Model II Version 0.9.22* opracowany przez IIASA w ramach *IIASA Transition to New Technologies (TNT) Program*<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> P.S. Meyer, J.W. Yung, J.H. Ausubel, op. cit.

<sup>10</sup> IIASA, op. cit.



Rys. 4. Motywacja do podjęcia zaangażowania – skumulowana ilość odpadów zebrana selektywnie, Dolny Śląsk

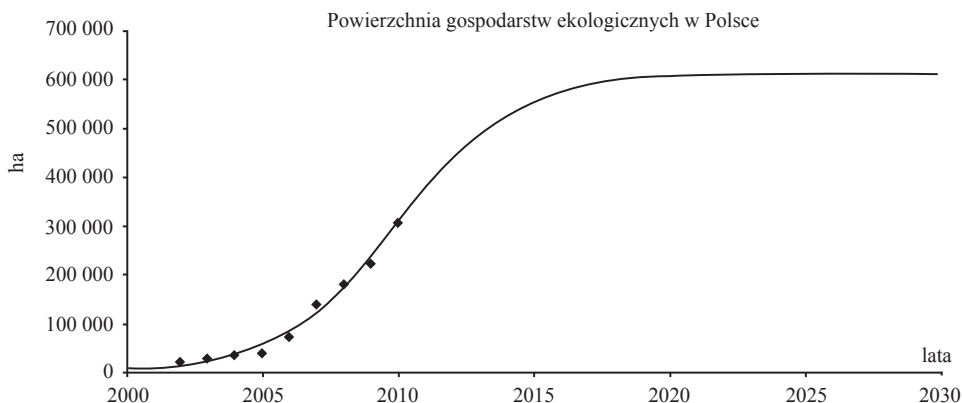
Źródło: GUS 2005-2011, opracowanie własne.

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
kt	24	19	25	47	61	78	71

Tabela 1. Parametry opisujące krzywą logistycznego wzrostu na rys. 4

Parametr opisujący krzywą	Wartość
Pułap górny $\kappa$	503,9 kt (kumulacja odpadów zebranych od roku 2004)
Punkt środkowy $t_m$	2009 r.
Tempo wzrostu $\Delta t$	7,23 lat

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Produkcja bezpiecznej żywności – powierzchnia gospodarstw ekologicznych w Polsce

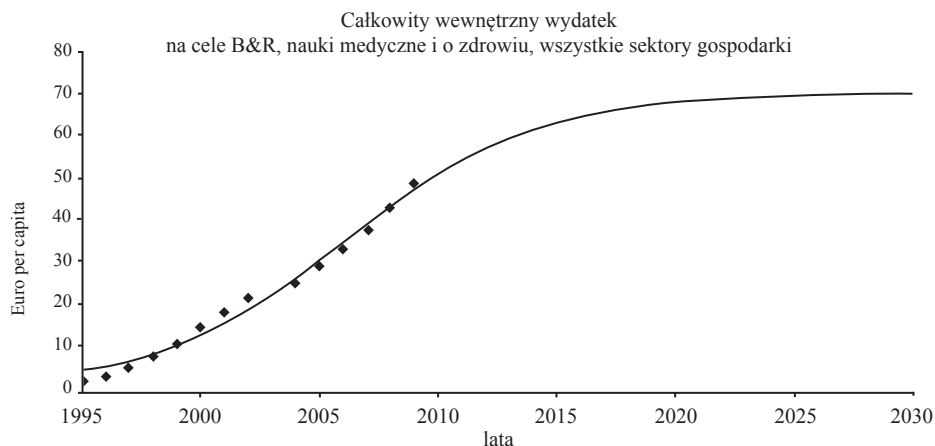
Źródło: GUS 2002-2010, opracowanie własne.

Rok	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ha	20 861,5	30 242,3	37 724,4	37 491,5	75 090,7	137 890,8	178 731,5	222 022	308 095

Tabela 2. Parametry opisujące krzywą logistycznego wzrostu na rys. 5

Parametr opisujący krzywą	Wartość
Pułap górny $\kappa$	612 310 ha
Punkt środkowy $t_m$	2010 r.
Tempo wzrostu $\Delta t$	9,6 lat

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Wyposażenie potrzebne do prowadzenia badań rozwojowych

Źródło: EuroStat, opracowanie własne.

Rok	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Euro na mieszkańca	1,4	1,9	2,3	2,7	3	3,8	3,7	3,6	3,3	3,7	4,4	4,5	5,4	5,8

Tabela 3. Parametry opisujące krzywą logistycznego wzrostu na rys. 6

Parametr opisujący krzywą	Wartość
Pułap górny $\kappa$	71,3 euro/mieszkańca (wartość kumulacji w euro wydanych rocznie od 1995 r.)
Punkt środkowy $t_m$	2006 r.
Tempo wzrostu $\Delta t$	18,1 lat

Źródło: opracowanie własne.

### 3.2. Przygotowanie do poszukiwania następnego rozwiązania

W identyfikacji czynników kluczowych dla jakości życia posłużono się siecią sprzeczności. Sieć sprzeczności przedstawia problemy zgłoszone przez ekspertów





publikacji przedstawiono przygotowania poczynione do poszukiwania kolejnego rozwiązania – sieć sprzeczności (rys. 7) – mającego za zadanie zwiększenie wykorzystania przez społeczeństwo bezpiecznej żywności.

Nowe poszukiwane rozwiązanie odnosi się do tego samego problemu lub systemu problemów, dla którego funkcjonowało rozwiązanie obecne. Model tych problemów został opracowany przy współpracy z ekspertami z poszczególnych dziedzin w ramach projektu QoL. Wyniki zapisano w postaci sieci sprzeczności<sup>11</sup>. Z informacji zapisanych w sieci sprzeczności wynika, że eksperci położyli nacisk na różne sposoby dostarczania bezpiecznej żywności, m.in. ekożywność, gospodarstwa agroturystyczne, liczbę gospodarstw ekologicznych. W innych parametrach kluczowych eksperci podkreślali także problemy: skalowalności działalności, świadomości konsumentów, marketingu oraz zarządzania (rys. 7)<sup>12</sup>. Opracowanie nowych rozwiązań i analiza ich ewolucji po roku 2020 wymaga dalszej współpracy z ekspertami z dziedziny bezpiecznej żywności, bazując na wiedzy zebranej w projekcie QoL. W pracach pomocne będą wiedza zapisana w sieciach sprzeczności i znajomość mechanizmu następstwa krzywych logistycznych.

Przykładem odpowiedzi na wymienione wcześniej problemy, nasuwającym się z obserwacji trendów światowych, może być nowe zjawisko, tzw. gospodarstw miejskich lub upraw miejskich (*urban farming*). Rozwiązanie to może przybierać różne formy – od indywidualnych przydomowych ogródków do gospodarstw funkcjonujących w obrębie miasta. Jest to zjawisko na tyle nowe i w większości przypadków niepodlegające kontroli, że brak jeszcze danych mogących je miarodajnie opisać na potrzeby prezentowanej analizy.

## 5. Podsumowanie

W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki z zastosowania krzywej logistycznej w prognozowaniu wartości wybranych wskaźników jakości życia wyznaczonych w projekcie „Identyfikacja potencjału i zasobów Dolnego Śląska w obszarze nauka i technologie na rzecz poprawy jakości życia – «Quality of Life»”. Wskaźniki jakości życia, opracowane w toku projektu z pomocą grupy narzędzi foresight, opisano parametrami mierzalnymi. Serie danych dla parametrów mierzalnych wykorzystano do dopasowania krzywych logistycznych.

We wnioskach przedstawiono wskazówki do identyfikacji rozwiązań zwiększających wydajność rozwiązań obecnych w celu dalszej poprawy wskaźników jakości życia poza rok 2020. W rozpoznaniu tych rozwiązań pomocne są sieci

<sup>11</sup> M. Słupiński, D. Kucharavy, op. cit.

<sup>12</sup> Ibidem.

sprzeczności opracowane w projekcie „Quality of Life”, oraz zjawisko następstwa krzywych logistycznych opisujących ewolucję następujących po sobie rozwiązań.

Dziękuję Panu Dmitry Kucharavy’emu za krytyczną ocenę elementów niniejszego artykułu.

## Literatura

- Grubler A., *The Rise and Fall of Infrastructures Dynamics of Evolution and Technological Change in Transport*, Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis IIASA, 1990.
- Kucharavy D., Guio R. De, *Logistic Substitution Model and Technological Forecasting*, w: *8th ETRIA World TRIZ Future Conference*, University of Twente, Enschede, 2008.
- Kucharavy D., Guio R. De, *Application of S-shaped curves*, w: *ETRIA Conference TRIZ Future 2007* Frankfurt am Main, Germany, 2007.
- Malthus T.R., *An essay on the principle of population*. J. Johnson, London 1798.
- Marchetti C., Nakicenovic N., *The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model*. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis, 1979.
- Meyer P.S., Yung J.W., Ausubel J.H., *A primer on logistic growth and substitution – The mathematics of the Loglet Lab software*, „Technological Forecasting and Social Change” Vol. 61, Jul 1999.
- Modis T., *Strengths and weaknesses of S-curves*, „Technological Forecasting and Social Change” 2007, Vol. 74.
- Modis T., *Predictions – 10 Years Later*. Growth Dynamics, Geneva, 2002.
- Słupiński M., Kucharavy D., „Raport z prac nad materiałem zebrany na spotkaniu #0 w projekcie „Quality of Life”. Część 2. Wykorzystanie narzędzia Prognozowanie Technologiczne oparte na OTSM-TRIZ”, Wrocław: Projekt QoL, 2010.
- “Loglet Lab 2.0”, The Rockefeller University, 2003.
- “Quality of Life” Uniwersytet Ekonomiczny, 2010, [www.qol.ue.wroc.pl/publikacje/](http://www.qol.ue.wroc.pl/publikacje/) [30.10.2012].
- IIASA, Transitions to New Technologies, [www.iiasa.ac.at/Research/TNT/index.html?sb=1](http://www.iiasa.ac.at/Research/TNT/index.html?sb=1) [30.10.2012].

### Long-term forecasting with S-curve in reference to results of “Quality of Life” project

**Summary.** This paper presents an overview of logistic curve study and an overview of forecast extension beyond first logistic curve thanks to utilization of network of contradictions. Selected research results present three curve fittings describing features critical to quality of life. Fittings are assisted with parametrical description. A logistic substitution and a network of contradictions are proposed as a support for further, long-term forecasting research.

**Key words:** logistic curve, network of contradictions, logistic curve substitution

