Raport Badawczy

Research Report

RB/20/2005

Modelowanie przestrzennych interakcji między lokalizacjami Cz. I

M. Bereziński, Z. Uhrynowski

Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk

Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences

POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 8373578

fax: (+48) (22) 8372772

Kierownik Pracowni zgłaszający pracę:
Dr inż. Jan Owsiński

Warszawa 2005

MODELOWANIE PRZESTRZENNYCH INTERAKCJI MIĘDZY LOKALIZACJAMI

(Część I)

Mirosław Bereziński, Zygmunt Uhrynowski
Instytut Badań Systemowych PAN
01-447 Warszawa, Newelska 6
e-mail: Miroslaw.Berezinski@ibspan.waw.pl
e-mail:Zygmunt Uhrynowski@ibspan.waw.pl

Streszczenie

Tradycyjne metody określania lokalizacji obiektów zakładają, że przestrzeń fizyczna kraju jest euklidesowa. Pozwoliło to przenieść na grunt teorii i praktyki gospodarki przestrzennej wiele idei i koncepcji fizycznych. Jedną z najbardziej znanych jest wyrażanie interakcji między obiektami w kategoriach wzajemnego ciążenia, co doprowadziło do sformułowania szerokiej klasy tzw. modeli grawitacyjnych. Praca ma charakter metodologiczny. Proponuje się, aby pójść dalej tropem fizyki i zastąpić pojęcie przestrzeni pojęciem czasoprzestrzeni, ze wszystkimi tego skutkami. Podstawowym z nich jest odejście od geometrii euklidesowej i zastąpienie jej geometrią riemanowską, w której najkrótsze odległości mierzy się wzdłuż krzywych geodezyjnych. Czynnikiem wywołującym zakrzywienie czasoprzestrzeni jest istnienie i rozkład rozmaitych mas. Miarą zakrzywienia jest stopień niezgodności wyników otrzymywanych dla przestrzeni Euklidesa z wynikami otrzymanymi dla przestrzeni Riemanna. Rozważania teoretyczne są zilustrowane przykładem dotyczącym określenia lokalizacji obiektu w zakrzywionej przestrzeni kraju oraz przykładem interakcji dwóch regionów w tej przestrzeni.

Słowa kluczowe: przestrzeń kraju, obiekty społeczno-gospodarcze, fizyka klasyczna, teoria względności, czasoprzestrzeń kraju, zakrzywienie czasoprzestrzeni kraju

1. Wprowadzenie

Przestrzeń społeczno-gospodarcza kraju jest złożonym systemem wielocelowym, którego podsystemami są przestrzenie szczególne, odpowiadające rozmaitym rodzajom i formom społecznej i gospodarczej działalności człowieka. Mówi się o przestrzeni społecznej, gospodarczej, transportowej, kulturowej itd. Przestrzenie szczególne nie są wzajemnie rozłączne, lecz wzajemnie przenikają się. W wyniku interakcji zachodzących między obiektami[1] należącymi do poszczególnych bądź różnych przestrzeni powstaje zjawisko wzajemnego wzmacniania się lub osłabiania zachodzących w nich procesów – zjawisko dodatniej lub ujemnej synergii.

Znamieniem tradycyjnego podejścia do modelowania przestrzennych interakcji zachodzących między obiektami przestrzeni społeczno-gospodarczej jest traktowanie jej jako przestrzeni euklidesowej. Pozwala to interpretować wzajemne oddziaływania między obiektami w kategoriach geometrycznych. Same obiekty są traktowane jako punkty geometryczne lub materialne, a modelami opisującymi ich wzajemne interakcje są formuły matematyczne, wyrażające fizyczne prawa wzajemnego przyciągania się lub odpychania obiektów fizycznych. Przykładem może być niezwykle szeroka klasa tzw. modeli grawitacyjnych, które w poszczególnych sferach działalności człowieka zostały w odpowiedni sposób zinterpretowane i są chętnie stosowane dla oszacowania siły wzajemnego oddziaływania na siebie miast, regionów, krajów, węzłów transportowych, portów lotniczych, ośrodków kulturowych i edukacyjnych itd. Nie ma żadnej przesady w stwierdzeniu, że dotychczasowy kierunek badań nad modelowaniem interakcji przestrzennych między obiektami jest zdominowany przez modele oparte na analogii tych interakcji do zjawisk

[1] Obiektem nazywamy każde zjawisko, proces lub twór materialny właściwy danej czasoprzestrzeni. Obiektami są więc skupiska ludności, jednostki administracyjne, regiony, procesy gospodarcze i społeczne, itd.

stanowiących przedmiot badania fizyki klasycznej. Jednak nie wszystkie osiągnięcia fizyki klasycznej, które mogłyby być wykorzystane w dziedzinie badań przestrzennych, znalazły w niej oddźwięk. Przykładem może być samo pojęcie przestrzeni. W podstawowym nurcie klasycznej fizyki zakłada się, że przestrzeń fizyczna jest przestrzenią euklidesową. A przecież zwieńczeniem fizyki klasycznej jest teoria względności, która operuje pojęciem czasoprzestrzeni. Czasoprzestrzeń nie jest jednak tworem euklidesowym. Jej geometria jest zupełnie inna niż geometria Euklidesa. Przestrzeń społeczno-gospodarcza kraju też nie jest euklidesowa, ponieważ immanentym wymiarem wszelkich zjawisk społecznych i gospodarczych jest czas. Czy więc nie należy zastanowić się nad konsekwencjami, jakie dla badań przestrzennych niesie teoria względności?

Aby zilustrować różnicę między tradycyjnymi fizycznymi ujęciami a koncepcją oferowaną przez teorię względności rozpatrzmy ruch Ziemi wokół Słońca. W fizyce nierelatywistycznej zakłada się, że pod wpływem siły grawitacyjnej wywieranej przez Słońce krąży ona wokół niego po eliptycznej orbicie, przy czym ruch ten odbywa się w przestrzeni euklidesowej. Inaczej tłumaczy to zjawisko teoria względności, która odrzuca pojęcie siły grawitacyjnej i traktowanie Słońca i Ziemi jako punkty materialne. Zwraca uwagę na to, że są one olbrzymimi masami i przyjmuje, których obecność zmienia geometrię przestrzeni, czyli zakrzywia przestrzeń. Przestrzeń fizyczna nie jest euklidesowa. Jest przestrzenią zakrzywioną, w której obowiązuje geometria Riemanna. Odpowiednikiem eliptycznej orbity Ziemi jest w tej geometrii krzywa geodezyjna, tj. krzywą o minimalnej długości w zakrzywionej przestrzeni. Wskutek tego wzajemne oddziaływania między masami wyrażają się w kategorii zakrzywienia przestrzeni, która faktycznie jest czasoprzestrzenią[2]. Syntezą tego kierunku myślenia jest stwierdzenie Einsteina, że zakrzywienie czasoprzestrzeni wy-

[2] W dalszym ciągu będziemy posługiwać się wygodniejszym pojęciem przestrzeni, pamiętając jednak, że chodzi o czasoprzestrzeń.

raża się przez rozkład znajdujących się w niej mas i przez ich ruchy. Za tym stwierdzeniem stoi układ nieliniowych cząstkowych równań różniczkowych, wiążących ze sobą funkcje wyrażające lokalne pojęcie odległości.

Jeżeli przenieść tę koncepcję na grunt badań przestrzennych, to dla geometrycznego opisu przestrzennych oddziaływań między obiektami trzeba by wprowadzić pojęcie zakrzywienia czasoprzestrzeni społeczno-gospodarczej. Czasoprzestrzeń ta obejmowałaby wszystkie rodzaje interakcji związanych z życiem społeczno-gospodarczym. Można więc powiedzieć, że zakrzywienie tej czasoprzestrzeni wyrażałoby się za pomocą terytorialnego rozmieszczenia obiektów społeczno-gospodarczych oraz zachodzących między nimi przepływów. Na przykład, jeżeli obiektami są regiony lub inne jednostki terytorialne, to interakcje między nimi można wyrażać w kategoriach przepływów siły roboczej, dóbr materialnych lub intelektualnych, przepływów energetycznych lub informacyjnych, dyfuzji innowacji itp.

Rozważenie tych analogii i ich pogłębienie w aspekcie urealnienia modeli oddziaływań przestrzennych między obiektami jest głównym celem tej pracy.

2. Klasyczny problem lokalizacyjny

W klasycznym zadaniu lokalizacyjnym trzeba wskazać optymalną lokalizację zakładu znając położenia trzech innych agentów, z których dwaj pełnią funkcję dostawcy zasobów niezbędnych do funkcjonowania zakładu, a trzeci reprezentuje rynek zbytu na jego produkcję. Optymalność jest rozumiana w sensie minimalizacji łącznych kosztów transportu

zasobów z miejsc ich położenia do zakładu oraz transportu wytworów jego produkcji do miejsca zbytu. Celem jest więc minimalizacja funkcji

$$K = r_1 m_1 d_1 + r_2 m_2 d_2 + r_3 m_3 d_3 , \tag{1}$$

przy ograniczeniu

$$G(d_1, d_2, d_3) = 0 , \tag{2}$$

gdzie r_i jest intensywnością transportu dobra *i*, zaś m_i - masą dobra *i*, która ma być przewieziona, d_i - odległością przewozu, przy czym $i = 1,2,3$. Jeżeli masa jest wyrażona w tonach, a odległość w kilometrach, to intensywność transportu powinna być odniesiona do tonokilometrów.

Z fizycznego punktu widzenia, równania (1) i (2) definiują pole sił zakładu, którego lokalizacji szukamy. Znaczy to, że każdemu punktowi rozpatrywanego trójkąta lokalizacyjnego (jego wierzchołkami są miejsca lokalizacji zasobów i rynku) jest przyporządkowana siła. Wektory tych sił wyznaczają powierzchnię kosztów transportu, przy czym gradient tej powierzchni jest równy zero tylko w tym punkcie, któremu odpowiada minimum funkcji kosztów.

Zmodyfikujmy to klasyczne zadanie lokalizacyjne przypisując każdemu z czterech rozpatrywanych obiektów masę. Niech M_i będzie masą przyporządkowaną obiektowi *i* (dostawcom zasobów i rynkowi), zaś M_0 - masą przyporządkowaną zakładowi, będącemu

przedmiotem lokalizacji. W świetle klasycznej fizyki newtonowskiej interakcje między tymi masami można scharakteryzować za pomocą energii potencjalnych

$$E_{01} = g\frac{M_0 M_1}{d_1},\ E_{02} = g\frac{M_0 M_2}{d_2},\ E_{03} = g\frac{M_0 M_3}{d_3}. \tag{3}$$

Ale same bezpośrednie interakcje między rozpatrywanymi masami nie dają pełnego obrazu sytuacji, bowiem między masami występują również reakcje zwrotne. Trzeba je brać pod uwagę, bowiem wywołują one określone efekty. Reakcjom zwrotnym też można przypisać odpowiednie energie potencjalne, z których każda ma określoną masę. Można więc wyobrazić sobie ciąg efektów sprzężeń zwrotnych

$$\begin{gathered} Z_1^{(1)}, Z_2^{(1)}, Z_3^{(1)} \\ Z_1^{(2)}, Z_2^{(2)}, Z_3^{(2)} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ Z_1^{(n)}, Z_2^{(n)}, Z_3^{(n)} \end{gathered} \tag{4}$$

z których każdy powinien być dodany do funkcji kosztów. Jeżeli więc uwzględnić te wszystkie dodatkowe człony, to funkcja celu (1) przyjmie postać

$$K = \sum_{i=1}^{3} r_i m_i d_i + g\sum_{i=1}^{3}\frac{M_0 M_i}{d_i} + \sum_{i=1}^{3} Z_i^{(1)} + \sum_{i=1}^{3} Z_i^{(n)}. \tag{5}$$

Zadanie polega więc na znalezieniu takiej lokalizacji zakładu, żeby wartość funkcji (5) była minimalna, przy ograniczeniu (2).

3. Liniowe zadanie lokalizacyjne z efektami sprzężenia zwrotnego

Przypuśćmy, że trzeba wskazać lokalizację zakładu, który ma obsłużyć jakiś duży rynek, na przykład region. Załóżmy, że wartość funkcji kosztów transportu rośnie w miarę wzrostu odległości d lokalizacji zakładu od regionu. Przyjmijmy, dla ustalenia uwagi, że jest to funkcja $y = ad^2$. Oprócz bezpośrednich kosztów transportu istnieją również inne koszty, które też są funkcją odległości zakładu od regionu. Są to koszty związane ze wzajemnym oddziaływaniem mas. Przyjmijmy, dla uproszczenia, że wszystkie masy, z wyjątkiem mas rynek i zakład, są pomijalnie małe. Niech M_0 będzie masą zakładu, a M_r masą rynku. Siła ich wzajemnego oddziaływania, wyrażona za pomocą energii potencjalnej $E_{01} = g\frac{M_0 M_r}{d}$, rośnie proporcjonalnie do wielkości lub wartości negatywnych kosztów zewnętrznych zakładu dla miasta. Przyjmijmy, że koszty te są proporcjonalne do iloczynu mas i odwrotnie proporcjonalne do ich odległości. W tym bardzo uproszczonym zadaniu lokalizacyjnym trzeba znaleźć lokalizację położoną w takiej odległości d od miasta, dla której funkcja kosztów ogólnych

$$K = ad^2 + g\frac{M_0 M_r}{d} \tag{6}$$

osiąga minimum. Z warunku koniecznego minimum wynika, że

$$2ad - g\frac{M_0 M_r}{d^2} = 0\,. \tag{7}$$

A zatem optymalna odległość zakładu od miasta wyraża się formułą

$$d^* = \sqrt[3]{g\frac{M_0 M_r}{2a}}\,. \tag{8}$$

Ponieważ dla każdego $d > 0$ druga pochodna funkcji (6) jest dodatnia, $2a + g\frac{M_0 M_r}{d^3} > 0$, więc d^* jest odległością gwarantującą minimum kosztów.

Zakład może mieć różne cele. Jeżeli przyjąć, że jest on zainteresowany tylko i wyłącznie maksymalizacją zysku, to dla wyboru odpowiedniej lokalizacji potrzeba, aby w swojej decyzji lokalizacyjnej uwzględnił on także pełne koszty związane z $E_{0r} = g\frac{M_0 M_r}{d}$. Mogą to być podatki nałożone na zakład. Mogą to być społeczne koszty negatywnych efektów zewnętrznych lokalizacji. Lokalizacja zakładu, którego masa jest duża w stosunku do masy miasta, powoduje powstanie nowych form interakcji między zakładem a miastem (przepływ siły roboczej, wzrost przewozów towarowych z miasta i źródeł zaopatrzenia do zakładu i odwrotnie, a te interakcje wywołują dodatkowe negatywne efekty zewnętrzne. Możliwym sposobem uwzględnienia tych efektów jest wyrażenie ich w języku energii po-

tencjalnej między masami M_0 i M_r. Można to osiągnąć mnożąc energię potencjalną E_{0r} przez stałą dodatnią α, wyrażoną w odpowiednich jednostkach fizycznych. Otrzymamy

$$M^* = \alpha g \frac{M_0 M_r}{d}. \tag{9}$$

Przyjmijmy, że stała α jest odwrotnie proporcjonalna do maksymalnej prędkości komunikacji (rozumianej jako przemieszczanie ludzi, informacji, energii itp.) masami M_0 i M_r i że prędkość ta jest bardzo duża. Wobec tego α jest bardzo małe i można pominąć wszystkie składniki zawierające M^* w co najmniej drugiej[3]. Ponieważ $g\frac{M_0 M_r}{d}$ reprezentuje zarówno oddziaływanie masy M_0 na masę M_r na odległość d, jak i oddziaływanie masy M_r na masę M_0 na odległość d, więc do obu tych mas musi być dodana masa dodatkowa M^*. A zatem, oddziaływanie wzajemnej interakcji zakładu i miasta na otoczenie można traktować jako dodanie tej dodatkowej masy M^* do rzeczywistych mas tych obiektów. W miejscu lokalizacji zakładu masa M^* wchodzi w interakcję z rzeczywistą masą M_0, wywołując dodatkowe oddziaływanie

$$g\frac{M^* M_0}{d}. \tag{10}$$

Analogicznie, masa M^* wchodzi w interakcję z rzeczywistą masą M_r wywołując dodatkowe oddziaływanie

[3] Jest to równoważne przyjęciu, że przybliżenie pierwszego rzędu nie jest pomijalne, ale drugiego – jest.

$$g\frac{M^{*}M_{r}}{d}. \tag{11}$$

Ponadto wchodzą również w interakcję same masy M^{*} wywołując oddziaływanie

$$g\frac{M^{*2}}{d}. \tag{12}$$

W porównaniu z dwoma poprzednimi jest to oddziaływanie bardzo słabe, niemniej jednak istnieje. W dalszych rozważaniach będziemy je pomijać.

Załóżmy, dla ustalenia uwagi, że chcemy wykorzystać fakt wzajemnego oddziaływania mas do scharakteryzowania kosztów degradacji środowiska geograficznego. Dodając do siebie wielkości (11) i (12) otrzymamy wyrażenie

$$g\frac{M^{*}(M_{0}+M_{r})}{d}, \tag{13}$$

które charakteryzuje dodatkowy koszt degradacji środowiska.

Powyższe rozumowanie sugeruje, że koszt degradacji środowiska, związany z realizacją przepływów w przestrzeni kraju może być traktowany jako równoważnik kosztów degradacji, których przyczyną może być każde skupisko masy, większe niż M^{*}.

Nasze rozważania mają przede wszystkim charakter metodologiczny, stąd wiele uproszczeń. Na przykład, dla celów czysto poglądowych przyjęliśmy, że współczynnik g ma stałą wartość. W wielu zastosowaniach wartość tego współczynnika trzeba będzie uzmiennić w taki sposób, aby odwzorowywał on względną wielkość obu rozważanych mas (liczb ludności, powierzchni, wielkości produkcji itp.). Im bardziej podobne do siebie będą wielkości tych mas, tym większa będzie wielkość dodatkowej interakcji spowodowanej efektem sprzężenia zwrotnego. Na przykład, ta dodatkowa interakcja będzie znacząca, gdy zakład zostanie zbudowany w odległości 20 km od centrum miasta liczącego 80000 mieszkańców i będzie zatrudniał 5000 pracowników, niż gdyby był umieszczony w takiej samej odległości od centrum miasta liczącego 1500000 mieszkańców. Jeżeli jedynym rodzajem komunikacji między zakładem i miastem jest transport samochodowy, to w pierwszym przypadku trzeba będzie zrealizować codziennie znacznie większą liczbę przejazdów samochodów osobowych i ciężarowych między miastem i zakładem i odwrotnie niż w przypadku drugim. .

Można sformułować również inne hipotezy dotyczące względnej wielkości rozpatrywanych mas. Każda z nich będzie w mniejszym lub większym stopniu skażona subiektywizmem badacza. Zauważmy jednak, że ponieważ

$$g\frac{M_0 M_r}{d} = g\frac{\frac{M_0}{M_r} M_r^2}{d}, \tag{14}$$

więc zarówno wielkość $g\frac{M_0 M_r}{d}$, jak i wielkość M^* zależą od względnego stosunku mas. Z drugiej strony, wyrażenia (4) i (14) zależą zarówno od względnego stosunku mas, jak i od kwadratu jednej z nich. Fakt ten również wskazuje na potrzebę bezpośredniego

zmodyfikowania wielkości (13) na przykład przez pomnożenie jej przez czynnik zależny tylko od względnej wielkości mas. Przyjmijmy, że czynnik ten ma postać $\kappa = \frac{1}{1-\beta}$. Odnośnie wielkości β załóżmy, że:

- Przyjmuje wartość zero, gdy względna wielkość mas jest stosunkowo mała, lub gdy wartość ta jest wprawdzie duża, ale mieści się w opisie wyrażonym formułą (13).
- Przyjmuje wartość dodatnią mniejszą od jedności, gdy względna wielkość mas jest wprawdzie duża, ale nie mieści się w opisie wyrażonym formułą (13).
- Dąży do zera, gdy masy istotnie różnią się między sobą.

Przykładem wielkości β, która ma te własności, jest

$$\beta = \frac{k(M_0 + M_r)}{(M_0 + M_r)^2}, \qquad k \in <0,4) \tag{15}$$

Pomnóżmy wielkość (13) przez współczynnik κ. Otrzymamy

$$g\frac{M^*(M_0 + M_r)}{d(1-\beta)}. \tag{16}$$

Wiekość ta ma sens kosztów wywołanych efektem sprzężenia zwrotnego w oddziaływaniu dwóch mas. Zauważmy, że pozwala ona zastąpić stałą grawitacji g nową stałą $\tilde{g} = \frac{g}{1-\beta}$, która zależy i od stałej grawitacji i od względnej wielkości mas.

Po uwzględnieniu wyrażenia (16) funkcja kosztów (6) przyjmie ostatecznie postać

$$K = ad^2 + g\frac{M_0 M_r}{d} + g\frac{M^*(M_0 + M_r)}{d(1-\beta)}. \tag{17}$$

Posługując się tą formułą trzeba pamiętać, że odwzorowany w niej efekt sprzężenia zwrotnego nie musi być trwały, ponieważ dotyczy bezpośrednich konsekwencji wzajemnego oddziaływania tylko dwóch mas. Znacznie trwalsze skutki zaistnieją wtedy, gdy liczba rzeczywistych mas będzie duża. Wzajemne oddziaływanie każdych dwóch z nich spowoduje powstanie dodatkowych mas energii. Między tymi masami będzie istniała złożona sieć wzajemnie wzmacniających się lub osłabiających oddziaływań. W wyniku tego efektu synergetycznego mogą wyłonić się skutki o charakterze trwałym.

4. Nieliniowość teorii relatywistycznej a oddziaływania przestrzenne

Modele grawitacyjne używane w fizyce newtonowskiej oraz modele grawitacyjne stosowane w klasycznej teorii lokalizacji mają dwie ważne wspólne własności. Po pierwsze, pole grawitacyjne generowane przez obiekt (np. miasto, region, kraj) jest w nich określone za pomocą jednego parametru, którym jest masa. Po drugie, pole grawitacyjne generowane przez układ mas jest sumą pól generowanych przez każdą z mas oddzielnie. Ta druga własność nazywa się w fizyce zasadą superpozycji i charakteryzuje każdą liniową teorię pola[4]. W liniowej teorii pola, takiej jak newtonowska teoria grawitacji, źródła (tj. masy) i efekty (tj. pola) są wzajemnie niezależne. Źródło determinuje efekty, ale efekty nie oddziałują

[4] Tj. teorię opisywaną za pomocą liniowych równań różniczkowych lub całkowych.

zwrotnie na źródła. Gdy rozpatruje się układ wielu źródeł, to zakłada się, że każde z nich działa niezależnie i zachowuje swoją odrębność w układzie. Efekt danego źródła jest zawsze taki sam bez względu na to, czy występują także inne źródła, czy też nie. Co więcej, jeżeli jest znany całościowy efekt układu, to można go zawsze jednoznacznie zdekomponować na takie składowe, z których każda jest efektem jednego źródła.

Chociaż liniowe teorie pola są w pewnych okolicznościach użytecznymi aproksymacjami sytuacji rzeczywistych, to jednak nie nadają się one, gdy w grę wchodzą badania społeczne i gospodarcze, a w szczególności potrzeba opisywania przestrzennych interakcji między obiektami właściwymi tym dziedzinom. W całokształcie procesów społecznych i i gospodarczych mają miejsce silne i różnorodne zależności, których aproksymowanie za pomocą modeli opartych na idei niezależności jest metodologicznie niepoprawne. Przykładem takiej niepoprawności mogą być wszelkie modele sieciowe, w których a priori przyjmuje się założenie o niezależności (np. model sieci komputerowej Kleinrocka (Kleinrock 1968)). Takie sytuacje zmusiły do poszukiwania nieliniowych teorii pola. Najbardziej znaną z nich jest teoria Einsteina. U jej podstaw leżą dwa postulaty:

- Efekty grawitacyjne w otoczeniu punktu materialnego nie są określone jedynie przez gęstość masy w tym punkcie, ale zależą także od wszystkich innych własności, które wpływają na gęstość masy w tym punkcie (np. od stanu ruchowego).
- Zostaje odrzucona zasada superpozycji, a więc teoria jest nieliniowa. Źródła nie pracują niezależnie lecz wszystkie wzajemnie na siebie oddziałują. Całkowite pole grawitacyjne w punkcie, generowane przez układ mas musi być widziabne i badane jako całość, tzn. nie może być zdekomponowane na niezależne części.

- Rozróżnienie między źródłem i efektem nie ma charakteru absolutnego, ponieważ źródła (tj. masy i ruch) determinują efekty grawitacyjne i są przez nie determinowane. Mamy więc do czynienia z układem sprzężenia zwrotnego, którego wejściami są źródła, a wyjściami są odpowiadające im efekty grawitacyjne, przy czym stany wejść zależą od stanów wyjść.

Łatwo znaleźć podobną wzajemną zależność w systemie społecznym. Załóżmy, że znana jest wielkość populacji w jakimś punkcie. Znajomość tylko tej jednej cechy nie wystarcza do pełnego opisu rozpatrywanej masy. Innymi ważnymi cechami, które muszą być również brane pod uwagę, może być poziom kultury społecznej i obywatelskiej, struktura społeczna populacji, poziom wiedzy, struktura zawodowa itp. Tak więc, atrakcyjność organizmu miejskiego dla każdej osoby mieszkającej w pewnej odległości od miasta nie wyraża się tylko poprzez liczbę mieszkańców miasta, ale mają na nią wpływ także inne cechy populacji, które razem składają się na obraz miasta i na jego masę, od której zależy pole jego oddziaływania.

Rozpatrzmy dla przykłady dwa miasta. Każdemu z nich odpowiada określone pole jego oddziaływania. Załóżmy, że nie oddziałują one na siebie, gdyż oddziela je od siebie jakaś przeszkoda naturalna, na przykład cieśnina. Ponieważ odległość ekonomiczna między nimi jest więc wielkością nieskończoną, więc modelem tej sytuacji jest układ dwóch mas położonych w nieskończonej odległości od siebie. Załóżmy, że pod cieśniną zbudowano tunel komunikacyjny dla ruchu samochodowego i kolejowego. Od chwili zaistnienia możliwości wzajemnego komunikowania się, wszelkie procesy zachodzące w jednym mieście wpływają kształtująco na procesy zachodzące w drugim. Wpływy te nie są jednak liniową kombinacją dwóch odrębnie działających pól oddziaływań, ponieważ łączny

wpływ obu tych pól jest większy niż suma wpływów obu pól. Pod wpływem wzajemnego na siebie odddziaływania (przepływy dobr, wymiana mieszkańców, otracie rynków pracy itp.) ludności, zaczną zmieniać się ilościowe i jakościowe charakterystyki każdego z miast. W podobny sposób zachowują się układy regionów i innych elementów przestrzeni, których masy – jakkolwiek by ich nie rozumieć - zmienią się pod wpływem interakcji.

6. Uwagi końcowe

Raport stanowi pierwszą część pracy poświęconej modelowaniu oddziaływań przestrzennych między lokalizacjami. Zwrócono w niej uwagę na interakcje zachodzące między fizyką newtonowską a teoriami przestrzennymi. Stwierdzono, że metodologicznie niepoprawne jest rozpatrywanie i modelowanie oddziaływań między obiektami w przestrzeni geograficznej, której systemowym elementem jest przestrzeń społeczno-gospodarcza, jako faktów dziejących się w przestrzeni euklidesowej. Przypomniano, że ponieważ przestrzeń fizyczna jest faktycznie czasoprzestrzenią, więc jej geometria odbiega od geometrii Euklidesa. Zaproponowano pojście dalej śladem fizyki i rozpatrywanie interakcji przestrzennych w czasoprzestrzeni o geometrii Riemanna. Jest to czasoprzestrzeń zakrzywiona, a miarą tego zakrzywienia jest stopień jej odstępstwa geometrycznego od przestrzeni Euklidesa. Źródłem zakrzywienia jest wielkość i rozkład mas, które mogą mieć różny sens ekonomiczny (liczba ludności, wielkość rynków pracy, wielkość lub wartość produkcji wytwarzanej w regionie, liczba młodzieży studiującej itp.). Na prostym przykładzie lokalizacji objaśniono ideę tzw. mas dodatkowych, powstających w efekcie wzajemnego oddziaływania mas ze sprzężeniem zwrotnym. Pokazano też, że masy te mają konkretne interpretacje ekonomiczne.

Literatura

Bereziński M., Lukowski G. (1991). Modelling of development processes. *Logos*. Special issue, **11**, 1-79.

Domański R. (1993). Zarys geografii społeczno-ekonomicznej. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Domański R. (2004). Geografia ekonomiczna. Ujęcie dynamiczne. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Feynman R.P., Leighton R.B., Sands M. (1970). Feynmana wykłady z fizyki. Tom II. Część 2. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.

Infeld L., Plebański J. (1960). Motion and relativity. Pergamon Press, New York.

Isard W. (1956). Location and space economy. MIT Press, Cambridge.

Kleinrock L. (1968). Communication nets – message flow and delay. MaGraw-Hill, New York.

Kołodziejski J., red. (1999). Transformacja polskiej przestrzeni w perspektywie długiego trwania. *Biuletyn KPZK*, Zeszyt 189, 1-311.

Kukliński A., red. (1997). Polska przestrzeń w perspektywie długiego trwania. *Biuletyn KPZK*, Zeszyt 178, 1-216.

Piskozub A. (2003). Czasoprzestrzeń transportowa. Wydawnictwo Adam Marszałek, Toruń.

Syrovatkin S. (1979). Einstein and the philosophical problems of 20th-century physics. Progress Publishers, Moscow.