

JERZY SŁAWSKI*

ZNACZENIE SYSTEMU TRANSPORTOWEGO
JAKO CZYNNIKA STRUKTUROTWÓRCZEGO –
ANALIZY SYMULACYJNE Z ZASTOSOWANIEM
SIECI REGULARNYCHIMPACT OF TRANSPORT SYSTEM ON LAND USE
DISTRIBUTION – SIMULATIONS ON REGULAR
NETWORKS

Streszczenie

Artykuł podejmuje temat zjawisk leżących u podstaw relacji między rozwojem zagospodarowania a systemem transportu. Brak równowagi między rozmieszczeniem działalności i rozkładem kontaktów między działalnościami jest przyczyną przekształceń zagospodarowania. Do wyjaśnienia procesów zachodzących w przestrzeni osadniczej zastosowano techniki modelowania i symulacji komputerowej. W artykule użyto modelu przesunięć bilansujących – przesunięcie źródeł i celów T. Zipsera – opartego na mechanizmie kontaktów *Intervening Opportunities*. Na przykładzie kilku wariantów sieci regularnych pokazano, że struktura przestrzenna jest w znacznym stopniu pochodną dostępności wyznaczonej przez kształt i parametry sieci transportowej. Wpływ systemów transportowych na rozkład koncentracji jest tym silniejszy, im wyższy jest poziom gospodarczy i cywilizacyjny systemu osadniczego. Zjawisko *urban sprawl* to w świetle przeprowadzonych doświadczeń odmiana procesu koncentracji, zachodzącego w warunkach ograniczeń, gdzie dostępność komunikacyjna stanowi jeden z podstawowych czynników lokalizacji.

Słowa kluczowe: urbanizacja, rozwój osadnictwa, system transportowy, interakcja, *Intervening Opportunities*, symulacja, sieci regularne, urban sprawl

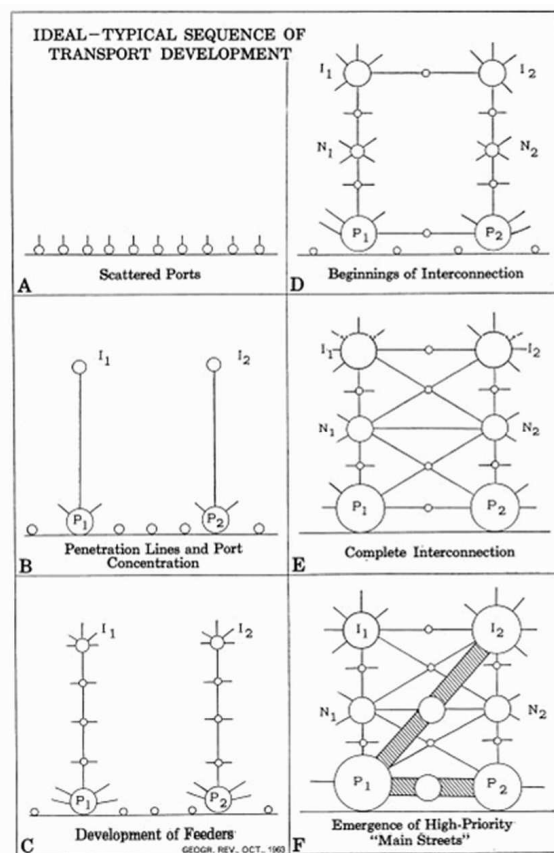
Abstract

The main goal of the contribution is exploration of the impact of the transportation on the development of land use. Disequilibrium between distribution of contacts and distribution of activities is the main force of the urban evolution. Method of computer modelling and simulation has been applied to analyse interactions and transformations of land use. Balancing displacements – allocation of origins and destinations model of T. Zipser – based on the *Intervening Opportunities* theory. A set of simulations on few theoretical, regular regional structures have been conducted. The outcomes of the simulations indicate the impact of transportation networks on land use allocation. The stronger the economy and welfare of the society, the stronger impact of transport system on land use allocation. The urban sprawl has been identified as a form of land use concentration progressing in the presence of limits of land use saturation. As a type of concentration process, urban sprawl is significantly affected by accessibility determined by transport network.

Keywords: urbanization, land use, transportation, interaction, *Intervening Opportunities*, simulation, regular networks, urban sprawl

* Dr inż. Jerzy Sławski, Katedra Planowania Przestrzennego, Wydział Architektury, Politechnika Wroclawska.

Procesy rozwoju osadnictwa i przekształceń infrastruktury transportowej pozostają w silnej relacji, w każdej skali przestrzennej – urbanistycznej i regionalnej. Z jednej strony wzrost gęstości zagospodarowania wymusza rozwój sieci transportowej, z drugiej – rozwój infrastruktury stymuluje zmiany zagospodarowania przestrzennego. Zjawisko to jest powszechnie dostrzegane, ale dalekie od dogłębnego zrozumienia. Badania prowadzone w tej dziedzinie najczęściej prowadzą do wskazywania charakterystycznych wzorców przekształceń osadnictwa i sekwencji zdarzeń wynikających z interakcji między zagospodarowaniem i infrastrukturą transportową. Jako przykład może posłużyć propozycja przedstawiona w pracy [4] (rys. 1).



Rys. 1. Typowa sekwencja rozwoju osadnictwa w krajach zamorskich [4, s. 504]: A – rozproszone porty; B – koncentracja portów (P_1 i P_2) i tworzenie linii penetracji (P_1 do I_1 oraz P_2 do I_2); C – rozwój dróg zaopatrzenia (nowe węzły na liniach P_1 do I_1 oraz P_2 do I_2); D, E – rozwój połączeń między ośrodkami $P_1, P_2, I_1, I_2, N_1, N_2$; F – powstawanie dróg głównych (z P_1 do P_2 oraz z P_1 do I_2)

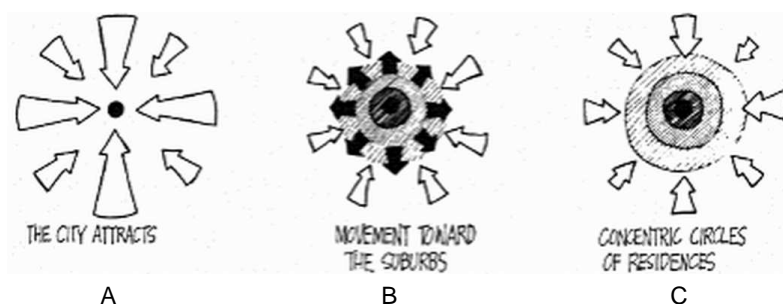
Fig. 1 Typical sequence of urban development in overseas countries [4, p.504]: A – Scattered Ports; B – Port concentration (P_1 and P_2) and penetration lines (P_1 to I_1 and P_2 to I_2); C – Developments of supply infrastructure (new nodes on the roads P_1 to I_1 and P_2 to I_2); D, E – development of interconnections between nodes $P_1, P_2, I_1, I_2, N_1, N_2$; F – Emergence of high priority roads (from P_1 to P_2 and from P_1 to I_2)

Tymczasem nadal pozostają bez odpowiedzi liczne pytania, takie jak: w jakich warunkach i w jakim stopniu inwestycje transportowe indukują rozwój zagospodarowania; jakie korzyści osiągają właściciele terenów w wyniku rozwoju infrastruktury transportowej; do jakiego stopnia wybór lokalizacji działalności zależy od dostępności kształtowanej przez system transportowy. Jednak jedno z najbardziej fundamentalnych pytań dotyczy prognozowania możliwych scenariuszy rozwoju zagospodarowania w dłuższej perspektywie, w konsekwencji rozwoju systemu transportowego. Warto też zwrócić uwagę, że w praktyce rozwój systemów transportowych ma charakter zasadniczo reaktywny, to znaczy stanowi reakcję na istniejący lub przewidywany popyt na przewozy, który jest rezultatem przekształceń zagospodarowania. Reaktywne podejście do rozwoju systemów transportowych oznacza sprowadzenie przekształceń systemów transportowych do roli kompensacyjnej, zapominając o możliwej roli stymulującej rozwój przestrzenny.

Współczesne zintegrowane planowanie idzie w kierunku wykorzystania stymulującego potencjału tkwiącego w układach transportowych. Oznacza to znacznie większy konstruktywny i proaktywny udział planowania transportu przyczyniającego się do zrównoważonego rozwoju przestrzennego oraz poprawy dostępności i szans rozwoju dla użytkowników przestrzeni osadniczej.

Aby odpowiedzieć na wyżej sygnalizowane pytania, konieczne jest postawienie problemu zjawisk zachodzących w przestrzeni osadniczej w kategoriach systemowych. Punktem wyjścia do zrozumienia procesów makroskalowych są zjawiska mikroskalowe – zachowania użytkowników w przestrzeni osadniczej. Systemowy charakter przestrzeni osadniczej podkreślał F.S. Chapin [1], twierdząc, że przestrzeń osadnicza to system działalności, to ośrodek interakcji (mających formy przestrzenne).

Interakcje w przestrzeni osadniczej wywołują różnorodne procesy lokalizacji działalności. Na rysunku 2 przedstawiono te zachodzące w przestrzeni osadniczej.



Rys. 2. Procesy koncentracji funkcji centralnych i deglomeracji mieszkalnictwa [3]: A – faza koncentracji mieszkalnictwa i funkcji centralnych; B – faza deglomeracji mieszkalnictwa; C – faza stabilizacji struktury miasta

Fig. 2. Concentration processes of central activities and residential de-glomeration [3]: A – housing and central activities concentration phase; B –housing de-glomeration phase; C – city structure stabilization phase

Zgodnie z jedną z hipotez, interakcja między systemami transportowymi i strukturą zagospodarowania wiąże się z mechanizmami rynków w przestrzeni urbanistycznej. W przestrzeni zagospodarowanej występuje kilka równoważących sił rynkowych: cen towarów i usług, płac, kosztów transportu i kosztów dzierżawy gruntów itp.

T. Zipser rolę sił równoważących w procesach kształtowania przestrzeni zurbanizowanej wyraził następująco: „Procesy urbanizacji to procesy przekształcające wyjściowy stan zagospodarowania w kierunku uzyskania stanu bardziej odpowiadającego warunkom określonego prawdopodobieństwa kontaktów oraz równowagi” [5].

Interakcja między rozmieszczeniem działalności i systemem transportowym objawia się dwojako. Rozkład przestrzenny działalności indukują rozkład podróży kształtowany przez preferencje i koszty przemieszczeń, z drugiej strony, wybór lokalizacji działalności zależy od systemu transportowego, który determinuje kierunki i koszty przejazdów związane z przyszłym spodziewanym funkcjonowaniem działalności.

Oba te aspekty interakcji mają ewidentny związek, każda bowiem działalność istniejąca, która podejmuje decyzje o zmianie lokalizacji, lub nowa działalność poszukująca przyszłej lokalizacji, w procesie wyboru opiera się w znacznym stopniu na ocenie atrakcyjności potencjalnych miejsc lokalizacji. Atrakcyjność to pojęcie, które może podlegać wymiarowaniu. Takie wymiarowanie można zrealizować poprzez określenie popytu na dany typ działalności w potencjalnych miejscach lokalizacji działalności. Popyt na określony rodzaj działalności (dostarczającej na rynek usługi towary, siłę roboczą itp.) w danym miejscu w przestrzeni osadniczej można wyrazić liczbą spodziewanych zakończeń podróży generowanych przez inne działalności, których potrzeby realizuje analizowany rodzaj działalności. W przypadku niektórych typów działalności (np. usług) rozkład popytu w rzeczywistej przestrzeni można oszacować na podstawie rzeczywistego rozkładu zakończeń podróży, których celem jest analizowany typ działalności. Rozkład popytu można również odtwarzać w warunkach modelowych. Mechanizm *Intervening Opportunities* Schneidera [5] jest bodaj najbardziej uzasadnionym modelem zdolnym odtwarzać zachowania przestrzenne (kontakty). Zgodnie z modelem Schneidera dla każdej działalności (aktywności) zlokalizowanej w obszarze i , poszukującej miejsca realizacji określonej potrzeby, można obliczyć prawdopodobieństwo (szansę) realizacji tej potrzeby w obszarze j , obejmującym D_j potencjalnych celów (miejsc zakończenia podróży)

$$P_{ij} = [\exp(-s a_{ij}) - \exp(-s(a_{ij} + D_j))] \quad (1)$$

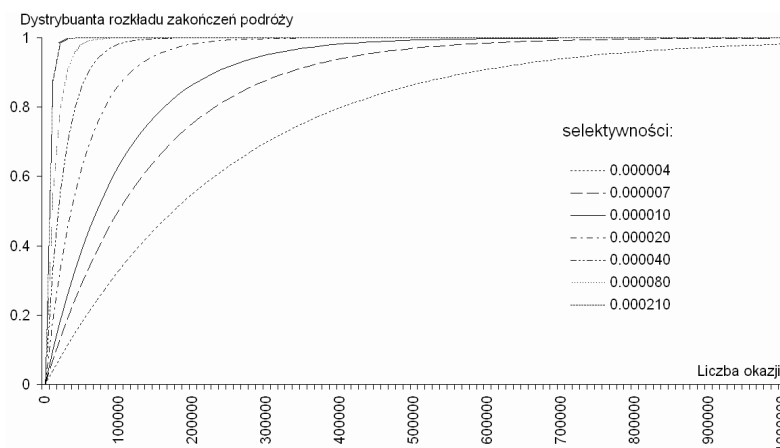
lub w innej postaci

$$P_{ij} = [1 - \exp(-s D_j)] \exp(-s a_{ij}) \quad (2)$$

gdzie a_{ij} oznacza liczbę potencjalnych celów podróży leżących bliżej obszaru źródłowego niż obszar j .

Oprócz przestrzennego rozkładu działalności (aktywności) stanowiącej potencjalne miejsce realizacji potrzeby, wpływ na prawdopodobieństwo realizacji potrzeby ma parametr s zwany selektywnością kontaktu. Parametr ten zależy od wybredności (wybiórczości), jaka charakteryzuje aktywność źródłową w związku z realizacją rozważanej potrzeby. Na rys. 3 przedstawiono wpływ parametru selektywności na gęstość rozkładu prawdopodobieństwa zakończenia podróży.

Mnożąc wartość prawdopodobieństwa zakończenia podróży ze wzoru (1) przez wielkość O_i reprezentującą liczbę podróży generowanych przez aktywność źródłową w obszarze i , otrzymuje się liczbę oczekiwanych zakończeń podróży T_{ij} rozpoczętych w obszarze i , a zakończonych w obszarze j (wzór (3)).



Rys. 3. Model *Intervening Opportunities*. Dystrybuanty rozkładów prawdopodobieństwa zakończeń podróży dla różnych wartości parametru selektywności

Fig. 3. *Intervening Opportunities* model. Cumulative distribution functions of trips probability for various selectivity parameters

$$T_{ij} = O_i[\exp(-s a_{ij}) - \exp(-s (a_{ij} + D_j))] \quad (3)$$

Przeprowadzając obliczenia dla każdej pary obszarów i, j uzyskuje się macierz przepływów $\mathbf{T} = [T_{ij}]$. Na rys. 4 przedstawiono przykładowy rozkład przepływów dla układu pięciu obszarów (miast w systemie regionalnym).

Sumując przepływy zakończone w danym miejscu pochodzące ze wszystkich źródeł

$$T_j = \sum_{i=1}^N T_{ij} \quad (4)$$

otrzymuje się wielkość, która określa poziom zapotrzebowania na działalność poszukiwaną przez źródła kontaktów. Wielkość T_j można inaczej nazwać popytem na działalność stanowiącą cel kontaktu w obszarze j . Poziom popytu (T_j) w każdym obszarze ($j = 1, \dots, N$) można zestawzić z wielkościami skupisk aktywności stanowiących cele kontaktów (D_j). W ten sposób dochodzi się do relacji popyt-podaż. Relacja ta określona jest w każdym obszarze, w którym występuje działalność stanowiąca cel kontaktu.

W obszarach, w których relacja spełnia równanie

$$D_j = \sum_{i=1}^N T_{ij} \quad (5)$$

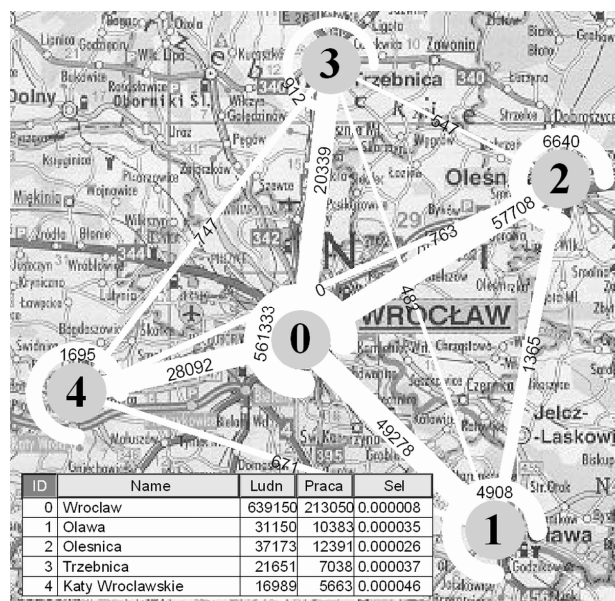
występuje równowaga popytu i podaży działalności stanowiącej cel kontaktu. Równowaga podaży i popytu dóbr, usług itp. jest jednym z zasadniczych elementów ładu przestrzennego, i właśnie taka sytuacja jest pożądana w każdym miejscu przestrzeni osadniczej. Tymczasem wiele przeprowadzonych analiz wskazuje, że w układach rzeczywistych najczęstszym przypadkiem jest brak zgodności między podażą i popytem. Możliwe są dwa przypadki, z których pierwszy to

$$D_j > \sum_{i=1}^N T_{ij} \quad (6)$$

kiedy podaż przekracza popyt. W obszarach, gdzie pojawia się taka relacja, występuje przesłanka do odpływu działalności, której ta sytuacja dotyczy. Taki proces następuje nie natychmiastowo, lecz w pewnej perspektywie czasowej, zależnej od mobilności rozważanych typów działalności (przedsiębiorstw, instytucji, gospodarstw domowych itp.). Drugi przypadek to taki, kiedy popyt przewyższa podaż

$$D_j < \sum_{i=1}^N T_{ij} \quad (7)$$

co oznacza, że oferta w rozważanym miejscu jest niższa niż zapotrzebowanie na działalność stanowiącą cel kontaktu. Taka sytuacja jest czynnikiem stymulującym rozwój (koncentrację) działalności w miejscach o powyższej charakterystyce.



Rys. 4. Rozkład podróży między pięcioma miastami Dolnego Śląska. Widoczne wartości reprezentują oczekiwane liczby przepływów w dwie strony. W zamieszczonej tabeli widoczne są wielkości reprezentujące rozmieszczenie aktywności źródłowych (mieszkalnictwo) i celowych (miejsca pracy) oraz selektywności podróży dla wybranych miejscowości

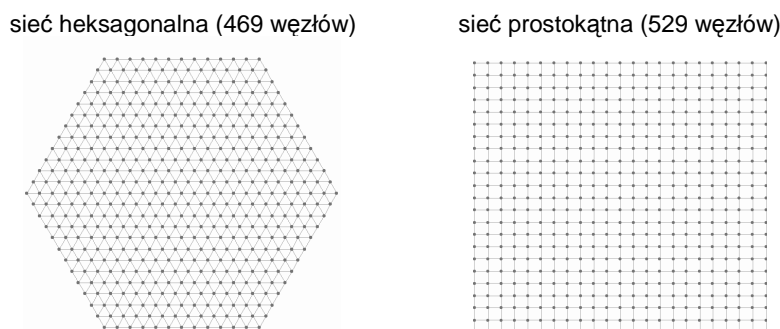
Fig. 4. Trips distribution between five cities of Lower Silesia. Values visible over the white strips represent expected flows in two directions. Attached table shows allocation of origins (housing) and destinations (work places) and selectivity for each city

Omówione relacje stanowią istotne wskaźniki wyznaczające kierunki rozwoju lub zmian przestrzennego rozmieszczenia działalności. Działalności mają tendencje do przepływu (przenoszenia się) z miejsc o nadwyżce podaży w stosunku do popytu do miejsc,

gdzie popyt jest wyższy niż podaż. Proces ten można odnieść do zjawiska zachowania mas w polu sił w fizyce. Nawiązując do uniwersalnych praw wypracowanych na gruncie fizyki proces migracji działalności powinien trwać do chwili, kiedy nastąpi osiągnięcie równowagi (równowaga podaży i popytu) w całym obszarze systemu przestrzennego.

Tę ideę procesu migracji działalności zastosował T. Zipser [5], tworząc symulacyjne modele przesunięć bilansujących. Jeden z nich – model przesunięcie źródeł i celów – został użyty w tym artykule do analizy wpływu sieci transportowych na dynamikę procesów koncentracji (migracji) działalności w przestrzeni osadniczej. Mechanizm zmian przestrzennego rozmieszczenia działalności w modelach przesunięć bilansujących opiera się na analizie przestrzennego rozkładu kontaktów między dwoma typami działalności, z których jeden zwany jest aktywnością źródłową, a drugi aktywnością celową. W celu aktualnego rozmieszczenia działalności symuluje się przepływy (kontakty) między skupiskami aktywności źródłowej i celowej. Zestawienie rozkładu zakończeń podróży i rozkładu aktywności celowej staje się podstawą przeprowadzenia relokacji aktywności celowej. W ślad za przemieszczeniem aktywności celowej następuje relokacja aktywności źródłowej, tak aby zachować stałą proporcję między wielkością skupiska aktywności źródłowej i celowej w każdym obszarze. Proces symulacji kontaktów i relokacji jest powtarzany cyklicznie aż do momentu osiągnięcia równowagi.

Przeprowadzono próby symulacji na dwóch hipotetycznych układach osadniczych o regularnych strukturach sieci transportowych: sieci heksagonalnej z 469 węzłami oraz sieci prostokątnej z 529 węzłami (rys. 5). Zastosowanie sieci regularnych podyktowane było chęcią wyeliminowania deformujących procesy koncentracji efektów, które powstają podczas symulacji na skutek nieregularności, jakie zawsze występują w rzeczywistych sieciach transportowych. Różnica liczby węzłów wynika wyłącznie z chęci utrzymania w obu sieciach maksymalnej symetrii układu, co ułatwi identyfikację poszukiwanych regularności i prawidłowości. W większości symulacji przyjęto jednakową prędkość poruszania się po wszystkich odcinkach sieci (50 km/h), a wyjątek stanowi seria symulacji, gdzie testowano wpływ deformacji dostępności poprzez przyśpieszenie prędkości na wybranych odcinkach sieci drogowej.



Rys. 5. Struktury teoretycznych, regularnych sieci transportowych

Fig. 5. Two types of regular transport network structures

W utworzonej strukturze przestrzennej rozmieszczono dwie kategorie działalności. Jedną to gospodarstwa domowe, których wielkość wyrażona jest liczbą mieszkańców.

Druga kategoria to wszystkie przedsiębiorstwa i instytucje, a jednostką skalującą jest liczba zatrudnionych. Zastosowanie takiej klasyfikacji aktywności podyktowane jest tym, że zgodnie z wieloma opiniami, powiązania między gospodarstwami domowymi a miejscami pracy są podstawowym czynnikiem miastotwórczym. Rozmieszczenie działalności odbywa się przez przypisanie porcji działalności węzłom sieci. Przyjęto wielkość zaludnienia całego obszaru na poziomie 2,5 mln oraz 1 mln miejsc pracy, co odpowiada rzeczywistej przestrzeni osadniczej typu duże województwo lub duża struktura metropolitalna.

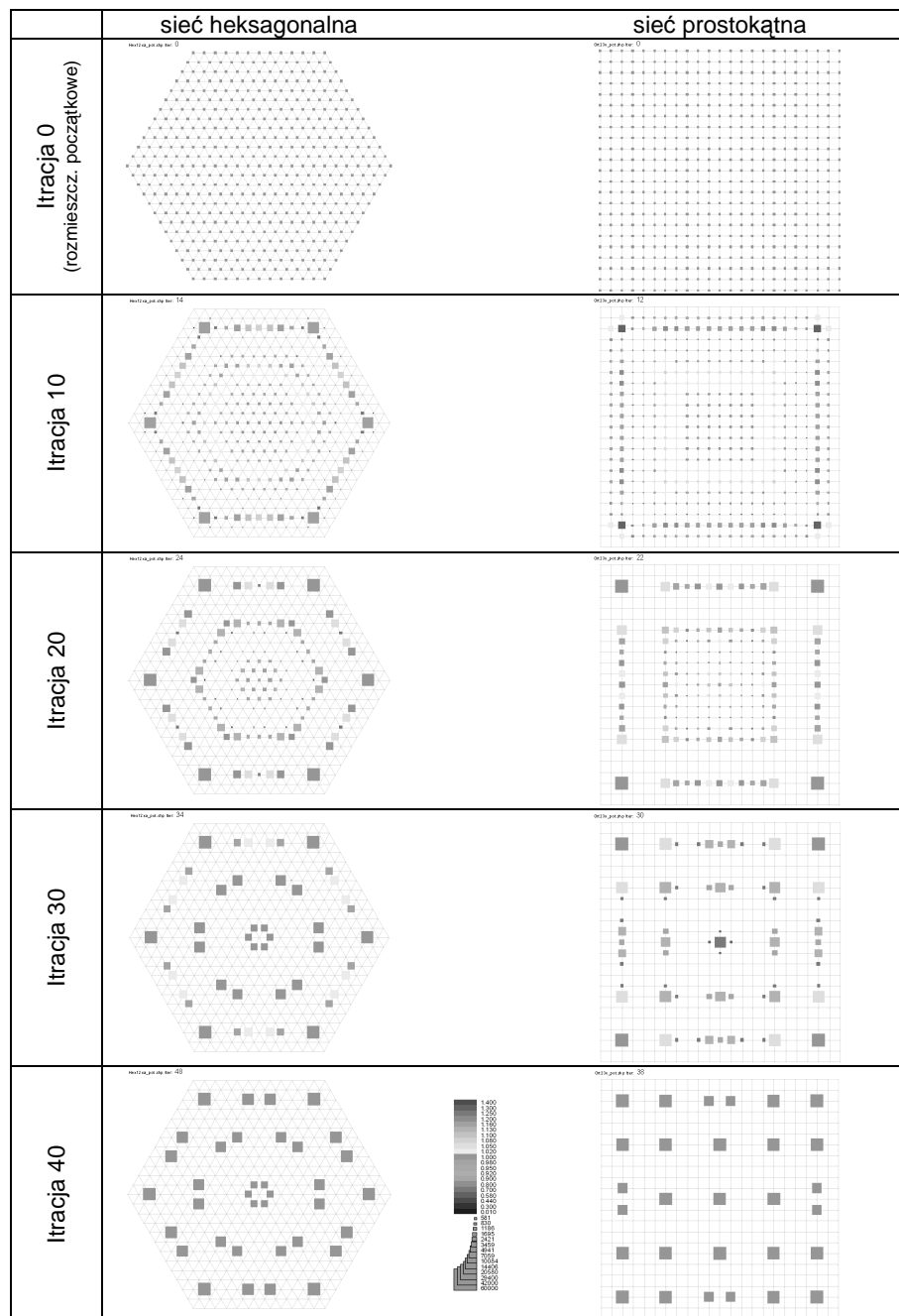
Wszystkie przeprowadzone symulacje rozpoczęto od równomiernego rozmieszczenia obu kategorii działalności. W ten sposób można oczekiwać, że uzyskane w wyniku procesu symulacji nowe rozmieszczenia zależały od dostępności wyznaczonej przez sieć transportową oraz od przyjętych warunków procesu koncentracji, a nie zostały wymuszone przez początkową strukturę zagospodarowania. W pierwszej wykonanej serii symulacji przeprowadzono kilkanaście symulacji z różnymi wartościami parametru selektywności, który reprezentuje wybredność mieszkańców w procesie wyboru miejsca pracy.

Zastosowano selektywności od $5 \cdot 10^{-6}$ (duża wybredność charakterystyczna dla obszarów Europy o bardzo wysokim poziomie rozwoju) do $400 \cdot 10^{-6}$ (mała wybredność charakterystyczna dla regionów, gdzie poziom rozwoju jest niski). Na rys. 6 przedstawiono porównawcze zestawienie wybranych etapów przykładowych dwóch przebiegów symulacji procesu koncentracji osadnictwa: pierwszy dla sieci heksagonalnej, drugi dla prostokątnej – oba z selektywnością podróży $210 \cdot 10^{-6}$. W obu przypadkach od początku symulacji postępuje proces koncentracji osadnictwa (mieszkalnictwa i miejsc pracy). Proces koncentracji aktywności prowadzi do układu policentrycznego, gdzie powstały koncentracje z 19 skupiskami (około 120 tys. mieszkańców i 50 tys. miejsc pracy każdy) dla sieci heksagonalnej i 25 skupiskami (około 100 tys. mieszkańców i 40 tys. miejsc pracy każdy) dla sieci prostokątnej.

Na rysunku 7 przedstawiono zestawione parami wyniki symulacji z różnymi selektywnościami. Dołączając do serii wyników rozmieszczenie końcowe z rys. 6, można obserwować zmiany przestrzennych rozkładów koncentracji dla szerokiego zakresu selektywności od $210 \cdot 10^{-6}$ do $7 \cdot 10^{-6}$. Łatwo można dostrzec, że poziom koncentracji rośnie wraz ze wzrostem wybredności (spadkiem selektywności), osiągając stan całkowitej koncentracji w pobliżu selektywności $7 \cdot 10^{-6}$. We wszystkich symulacjach wyraźnie powtarza się regularność i symetria rozwiązań, gdzie ogniskiem symetrii jest punkt środkowy sieci transportowej. Porównując parami wyniki symulacji dla obu sieci, widać, że poziomy koncentracji w obu przypadkach są zbliżone, choć nieco silniejszy wydaje się poziom koncentracji w przypadku sieci heksagonalnej. Sugeruje to, że sieć o strukturze trójkątowej silniej „wspiera” koncentracje niż sieć prostokątna. Jednak czynnikiem warunkującym tempo i stopień koncentracji jest selektywność kontaktów.

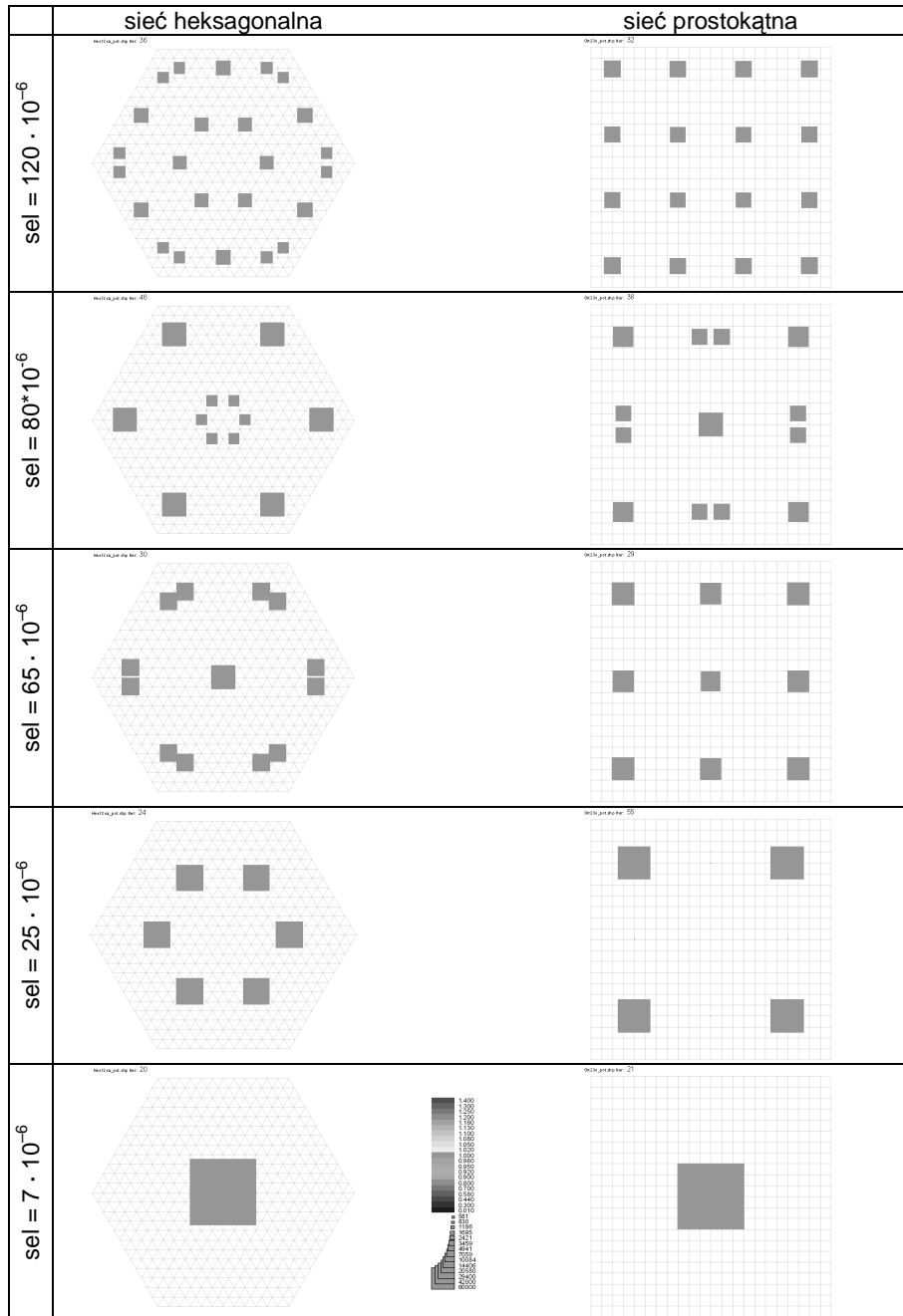
W drugiej serii symulacji użyto zmodyfikowane sieci transportowe. Modyfikacja polegała na zwiększeniu prędkości do 70 km/h na poziomej osi transportowej obu sieci (na rys. 8 w pierwszym wierszu pokazano przebiegi przyspieszonych osi). Wykonane symulacje różniły się wartością parametru selektywności.

Już pierwsze spojrzenie na wizualizację wyników symulacji (rys. 8) pokazuje, że zmiana dostępności (uzyskana przez modyfikację prędkości w sieci) wpłynęła na zmianę przestrzennych wzorców koncentracji, jednak nie we wszystkich zakresach selektywności kontaktów. Przy małej wybredności (dużej wartości parametru selektywności) przyspieszona oś transportowa nie ma wyraźnego wpływu na rozkład koncentracji. Dopiero przy



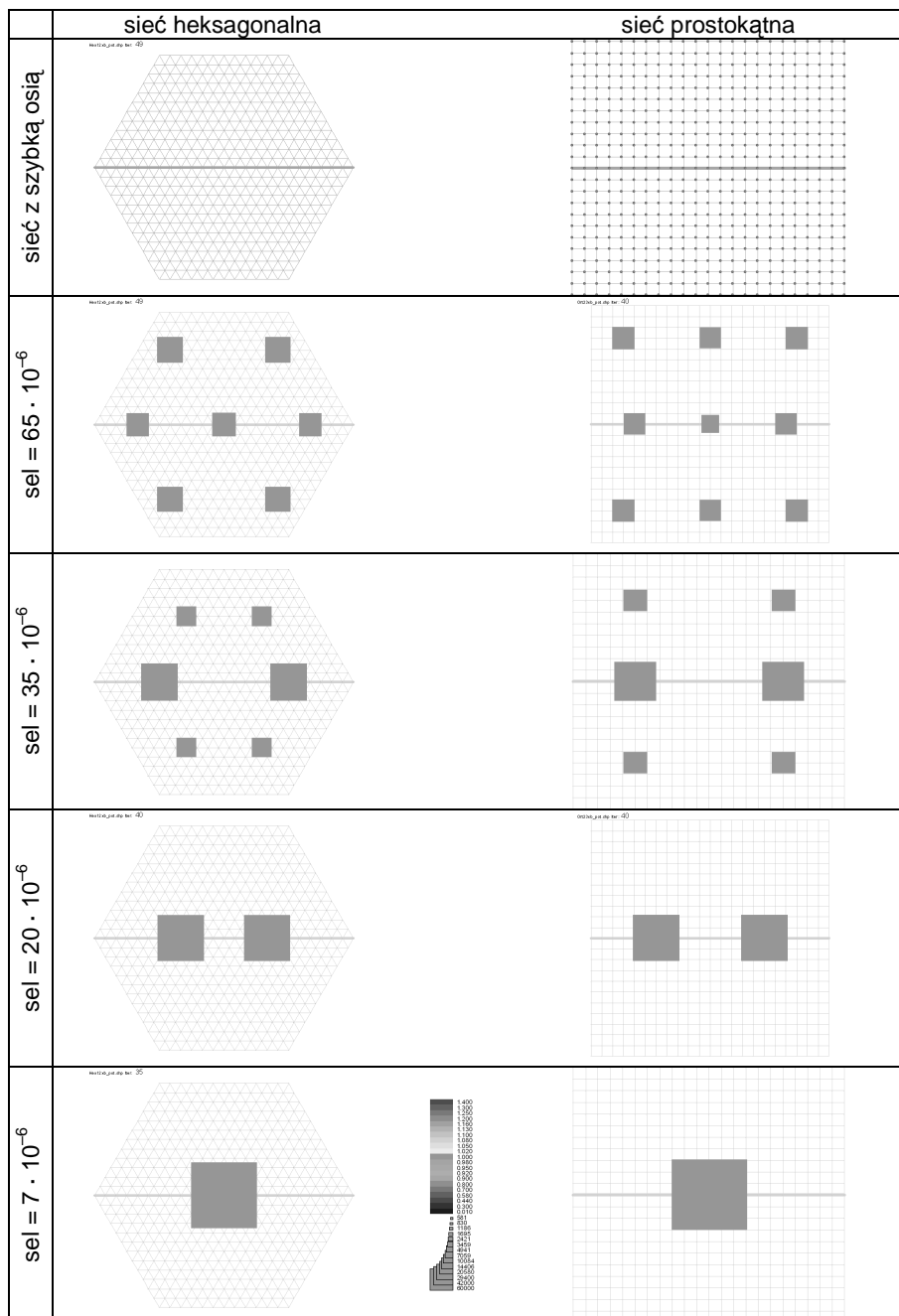
Rys. 6. Przebieg symulacji (koncentracje celów) dla dwóch wariantów sieci. Model przesunięcia źródeł i celów; liczba celów 1 000 000; $sel. = 210 \cdot 10^{-6}$

Fig. 6. Simulation process (trip destinations concentration) for two types of transport networks. Origin and destination allocation model; number of destinations 1 000 000; $sel. = 210 \cdot 10^{-6}$



Rys. 7. Wyniki symulacji (koncentracje celów) dla dwóch wariantów sieci. Model przesunięcie źródeł i celów; liczba celów 1 000 000; sel. $\in \langle 120 \cdot 10^{-6}, 7 \cdot 10^{-6} \rangle$

Fig. 7. The simulation outputs (trip destinations concentration) for two types of transport networks. Origin and destination allocation model; number of destinations 1 000 000; sel. $\in \langle 7 \cdot 10^{-6}, 120 \cdot 10^{-6} \rangle$



Rys. 8. Wyniki symulacji; dwa warianty sieci z osią przyspieszoną o 40%; model przesunięcie źródeł i celów; liczba celów 1 000 000; $sel. \in \langle 65 \cdot 10^{-6}, 7 \cdot 10^{-6} \rangle$

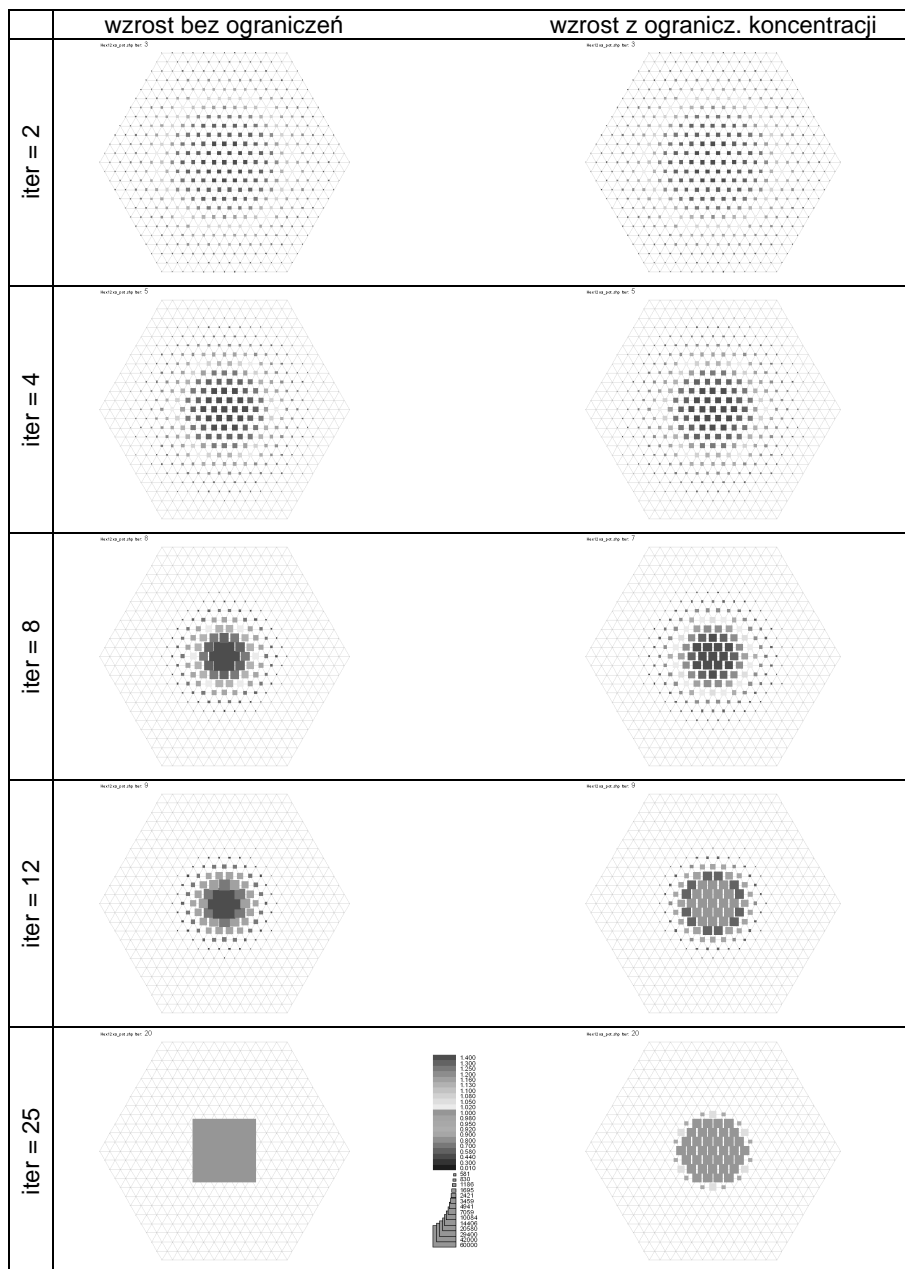
Fig. 8. The simulation outputs: two types of the transport networks, central axis speedup by 40%; number of destinations 1 000 000; $sel. \in \langle 7 \cdot 10^{-6}, 65 \cdot 10^{-6} \rangle$

selektywności $65 \cdot 10^{-6}$ (drugi wiersz na rys. 8) pojawia się widoczna deformacja wielkości koncentracji, zachowując jednocześnie rozmieszczenie koncentracji bardzo podobne do tego, które obserwowano w poprzedniej serii z porównywalnymi selektywnościami.

Można przypuszczać, że zmiany dostępności wywołane przez awans prędkości połączenia o skali regionalnej mają niewielki wpływ na procesy koncentracji spowodowane przez relacje (kontakty) charakteryzujące się małą wybrednością – relacje charakteryzujące się niewielką średnią długością podróży. Tymczasem symulacje charakteryzujące się wyższymi wybrednościami kontaktów wskazują na silny, a nawet bardzo silny wpływ sieci transportowych na rozkład koncentracji. Przy selektywnościach bliskich $35 \cdot 10^{-6}$ dość regularny przestrzennie policentryczny układ składający się z sześciu koncentracji wykazuje dużo silniejszą koncentrację na głównej osi transportowej, a dalszy spadek selektywności prowadzi do liniowego układu policentrycznego (na rys. 8 pokazano przypadek biegunowy) ułożonego wzdłuż osi transportowej. Dalszy spadek parametru selektywności prowadzi w końcu do układu monocentrycznego.

Podsumowując ten etap prób symulacyjnych, widać, że zdolność sieci transportowej do wywoływania koncentracji ma charakter względny i zmienia się w zależności od poziomu rozwoju gospodarczego i cywilizacyjnego, który w zastosowanym modelu wyrażany jest przez parametr selektywności charakteryzujący zachowania przestrzenne użytkowników przestrzeni osadniczej. Wpływ sieci transportowej wyraźnie rośnie wraz ze wzrostem selektywności. Tak więc sieć transportowa ma silniejszy stymulujący wpływ na kierunki przemian przestrzeni osadniczej w obszarach o wysokim poziomie rozwoju, zaś wpływ ograniczony w obszarach o niskim poziomie rozwoju.

Obserwacja wyników przeprowadzonych symulacji nasuwa wniosek, że postęp gospodarczy i cywilizacyjny wywołuje pogłębiający się proces koncentracji w sieci osadniczej. Z drugiej strony, analiza procesów przemian rzeczywistych układów przestrzennych w krajach o dynamicznym wzroście gospodarczym pokazuje, że zjawisko wzrostu koncentracji w dużych miastach ulega zahamowaniu, a nawet może ulegać spadkowi. Zjawisko to dotyczy przede wszystkim mieszkalnictwa, ale często również przemysłu, które poszukują lokalizacji poza obrębem dużych miast. Zjawisko to – nazywane rozlewaniem się aglomeracji (*urban sprawl*) – jest szeroko badane i komentowane. Często w literaturze pojawiają się sugestie, że *urban sprawl* to zjawisko przeciwne do procesu koncentracji – zjawisko o charakterze przypadkowym, niekontrolowanym, nazywane czasem procesem dekoncentracji. Pojawiają się opinie, że rola zjawiska koncentracji zanika, a na jego miejsce pojawia się zjawisko odwrotne, wywołujące deglomerację działalności. Procesy koncentracji, jak pokazano w tym artykule, są naturalną konsekwencją kontaktów między działalnościami. Powstaje więc pytanie, czy kontakty we współczesnej przestrzeni osadniczej ulegają degradacji? Wydaje się, że wręcz przeciwnie. Nasilenie i rola kontaktów pozostaje kluczowym czynnikiem miastotwórczym, choć z powodu rozwoju motoryzacji nastąpiły zmiany zachowań przestrzennych związanych z kontaktami. Autor przeprowadził próbę symulacyjną, która może rzucić inne światło na obserwowany proces rozlewania się aglomeracji. Symulacja ta została wykonana na sieci heksagonalnej z selektywnością $7 \cdot 10^{-6}$. W symulacji tej uruchomiono dodatkowy mechanizm, którego zadanie polega na hamowaniu koncentracji w obszarach, gdzie wielkość skupiska działalności osiąga założony poziom saturacji (wykorzystanie dostępnego terenu). Punktem startowym symulacji było rozmieszczenie równomierne aktywności (po 5330 jednostek aktywności źródłowej, 2132 jednostek aktywności celowej w każdym z 469 węzłów sieci), łącznie 2,5 mln mieszkańców i 1 mln miejsc pracy – identycznie jak w poprzednio przeprowadzonych symulacjach.



Rys. 9. Przebieg symulacji bez ograniczeń (strona lewa) i z ograniczeniem maks. = 25 000 w węzłach potencjałowych (strona prawa); model przesunięcie źródeł i celów; liczba celów $1 \cdot 10^6$; sel. = $7 \cdot 10^{-6}$

Fig. 9. Process of simulation with no restrictions (left hand side) and with restriction of max. = 25 000 of destination in each node (right hand side); origin and destination allocation model; number of destinations 1 000 000; sel. = $7 \cdot 10^{-6}$

Przyjęto, że wielkości koncentracji w węzłach sieci nie mogą przekroczyć 62 500 mieszkańców (aktywność źródłowa) i 25 000 miejsc pracy (aktywność celowa). Wyniki symulacji zaprezentowano na rys. 9. W kolumnie prawej przedstawiono wybrane etapy przebiegu procesu symulacji. W kolumnie lewej zaprezentowano dla porównania te same etapy wcześniej przeprowadzonej symulacji – bez ograniczeń wielkości koncentracji.

W obu symulacjach zastosowano tę samą selektywność, która indukuje znaczne siły koncentrujące, a w systemie tej skali w efekcie prowadzi do układu monocentrycznego. Proces zmian w obu symulacjach do czwartej iteracji włącznie przebiegał identycznie (pierwsze dwa wiersze na rys. 9). Późniejszy etap w obu symulacjach przebiegał odmiennie. W symulacji bez ograniczeń proces można porównać do fali prowadzącej stopniowo do całkowitego skupienia aktywności w jednym, centralnym węźle sieci osadniczej. Tymczasem w drugiej symulacji, poczynając od piątej iteracji, kiedy to centrum układu ulega saturacji, proces dalszej koncentracji w ścisłym centrum zanika (zanik lokalny koncentracji), ale nie zanika proces koncentracji w skali całej sieci osadniczej. Koncentracja postępuje nadal, ale jej kulminacja obejmuje kolejne, oddalające się strefy otaczające węzeł centralny. Wygląda to jak fala wzrostu, która „odbija” się od punktu centralnego i rozlewa się na tereny okalające obszar centralny (efekt ten widać najwyraźniej w wierszu iter 12, kolumna prawa na rys. 9. – ciemniejszy pierścień wskazuje położenie grzbietu fali wzrostu). Proces zanika, gdy węzły o najlepszym położeniu przestrzennym wchłoną całość zagospodarowania, osiągając przy tym poziom saturacji. Zjawisko to do złudzenia przypomina przebieg procesu *urban sprawl*, gdzie fala rozwoju zagospodarowania stopniowo rozlewa się na tereny przyległe do centrum gospodarczego regionu, stopniowo obejmując coraz dalsze obszary. Płyne stąd wniosek, że *urban sprawl* to nie proces przypadkowy i chaotyczny, lecz zjawisko oparte na obiektywnych i mierzalnych przesłankach. Z perspektywy przeprowadzonej symulacji *urban sprawl* należy traktować nie jako proces przeciwny do koncentracji, lecz jako odmianę procesu koncentracji wywołowaną przez kontakty między działalnościami, procesu koncentracji postępującego w warunkach rosnącego znaczenia ograniczeń, którym podlega proces koncentracji. Ograniczenia mogą mieć różnorodną naturę i formę. Zajętość (stopień wypełnienia) terenu to tylko jedna z form ograniczeń tworząca dość sztywną granicę wzrostu. Inaczej działa ograniczenie wynikające z decyzji administracyjnych, które mogą w sposób stopniowy udostępniać tereny rozwojowe, a jeszcze inaczej działają ograniczenia wynikające z rynku nieruchomości, gdzie cena gruntu lub renta gruntowa może ograniczać dostępność terenu dla części działalności.

Przeprowadzone symulacje wyraźnie potwierdzają rolę sieci transportowych w kształtowaniu sieci osadniczej. Wpływ systemów transportowych na kierunki przemian sieci osadniczej są tym silniejsze, im wyższy jest poziom rozwoju gospodarczego. Poziom gospodarczy wpływa także na układ koncentracji, wywołując struktury policentryczne o liczbie węzłów zależnej od poziomu rozwoju społeczno-ekonomicznego, a od pewnego poziomu rozwoju prowadzi do układów monocentrycznych. Z symulacji płynie też wniosek, że zjawisko *urban sprawl* to odmiana procesu koncentracji, kiedy osiąga się poziom nasycenia w punktach centralnych przestrzeni zurbanizowanej. Na kierunki i tempo rozlewania się zagospodarowania silny wpływ wywiera dostępność kształtowana przez systemy transportowe.

Literatura

- [1] Chapin F.S., *Urban Land Use Planning*, wyd. 2, University of Illinois Press; 1965.
- [2] Hensher D.A., Button K.J., *Handbook of Transport Modelling*, Emerald Group Publishing, Pergamon, Amsterdam 2000.
- [3] Rosnay J., *The Macroscopic – a New World Scientific System*, Harper & Row Publishers, New York–Hagerstown–San Francisco–London 1979.
- [4] Taaffe E.J., Morrill R.L., Gould P.R., *Transport expansion in underdeveloped countries: a comparative analysis*, *Geographical Review* 53, 1963, 503-529.
- [5] Zipser T., Sławski J., *Modele Procesów Urbanizacji, Teoria i jej wykorzystanie w praktyce planowania*, PWE, Warszawa 1988.