

*Mieczysław Kozaczko*

*Politechnika Poznańska  
e-mail: kozaczko@poczta.fm*

## Efektywność komunikacyjna miasta zwartego

**Zarys treści:** Urbanizacja czasów uprzemysłowienia postawiła znak równości między zawartością a przegęszczeniem tkanki. Urbanistyczne lekarstwo – rozgęszczenie struktury – okazało się równie szkodliwe jak sama choroba: rozproszone współczesne miasta pochłaniają coraz więcej cennych obszarów, a rosnące zużycie energii w transporcie miejskim staje się kluczowym parametrem rozwoju. Współczesne planowanie urbanistyczne potrzebuje skutecznych narzędzi do budowy miast o wysokiej gęstości, bez utraty przestrzennych jakości.

**Słowa kluczowe:** energochłonność miejskiego transportu, miasto zwarte

### Wstęp. Cel pracy

Niniejszy artykuł poświęcono cesze spoistości miejskiej struktury. Rozdział „Diagnoza” eksponuje tezę: niepohamowany wzrost energochłonności i terenożerności współcześnie budowanych miast wynika z rozerwania sprzężenia między powierzchnią terenów miejskich a liczbą mieszkańców. W rozdziale „Spoistość struktury” – stanowiącym założenie dla rozważań – sięgnięto do teoretycznych podstaw zjawiska przestrzennej spoistości: siła spoistości kształtuje miasto, nadając mu pewne powtarzalne cechy, przedstawione na przykładzie kilkunastu zbadanych struktur urbanistycznych. Rozdziały: „Czwarty wymiar kształtu miasta” oraz po nim następujące opisują narzędzie, pozwalające projektantowi śledzić na bieżąco energetyczne skutki podejmowanych działań planistycznych. Przykładem wycinkowego użycia narzędzia jest energetyczna optymalizacja lokalizacji przystanku w Szamotułach.

### Diagnoza

Począwszy od względów obronności po wygodę wspólnego bytowania i kontaktów społecznych (a w szczególności wymiany handlowej) – wszystko przyczyniało się do wysokiej gęstości struktury miejskiej. Budynki umieszczano tak blisko siebie, jak to tylko było możliwe, tworząc układy spoiste. Długa historia miasta tradycyjnego jest ewolucją zagadnienia: „jak pomieścić więcej na jak najmniejszym obszarze”.



Ryc. 1. Tereny miejskie a liczba mieszkańców

Aktualny aż do czasów burzliwej industrializacji wzorzec miasta spoistego charakteryzował się strukturalną równowagą: na jednego mieszkańca przeciętnego europejskiego miasta przypadało – mniej więcej – tyle samo miejskich terenów. Jak widać na rycinie 1, aż do połowy XIX w. stosunek powierzchni miasta do liczby jego obywateli oscylował wokół stałej wartości, wynoszącej około 50 m<sup>2</sup>/os.

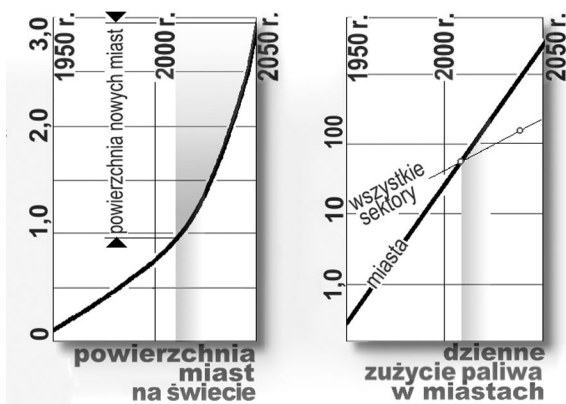
Urbanizacja czasów industrialnych dość szybko ujawniła wady zabudowy zwartej i zagęszczonej nad miarę. Poszukiwania tejże miary przez rodzącą się urbanistykę nowoczesną przyczyniły się do wprowadzenia w układ czynników miastotwórczych nowych sił, rozgęszczających urbanistyczną strukturę. Jak wynika z ryciny 1, stabilny do około 1850 r. wykres zależności powierzchni miasta od liczby mieszkańców wychyla się w górę w reakcji na dwa zjawiska: industrializację (1) oraz motoryzację (2). Wykresy sporządzone dla Poznania, Warszawy, Krakowa i innych miast stają się dziś niepokojąco zbliżone ze scenariuszem przewidywanym przez UNDESA (2014, s. 1) (szara linia wykresu). Czarne kropki to dane dla niektórych miast z okresu po 2010 r. (Bertaud 2003, Budzyński 2013).

Między 2015 a 2050 r. liczba mieszkańców nowych miast zwiększy się o 2,5 mld ludzi, natomiast powierzchnia miast realizowanych w „paradygmacie rozproszonym” wzrośnie trzykrotnie (UNDESA 2014, s. 1).

W 2050 roku komunikacja w miastach będzie pochłaniać dziesięciokrotnie więcej energii niż obecnie, jeśli nie podejmie się zdecydowanych działań. Prawa strona ryciny 2 ujawnia wielokrotnie szybszy wzrost zużycia energii przez komunikację w miastach, w stosunku do wzrostu następującego w pozostałych sektorach gospodarki.

Okazuje się więc, że w coraz bardziej rozpraszającym mieście efektywność komunikacji<sup>1</sup> na powrót staje się problemem krytycznym. Rozproszenie niegdyś sta-

<sup>1</sup> Komunikacja w niniejszym opracowaniu jest traktowana możliwie najszerszej – jako niezbędne do funkcjonowania miasta procesy transportu–przesyłu energii i materii, włączając w to wszelkie rodzaje miejskiej komunikacji.

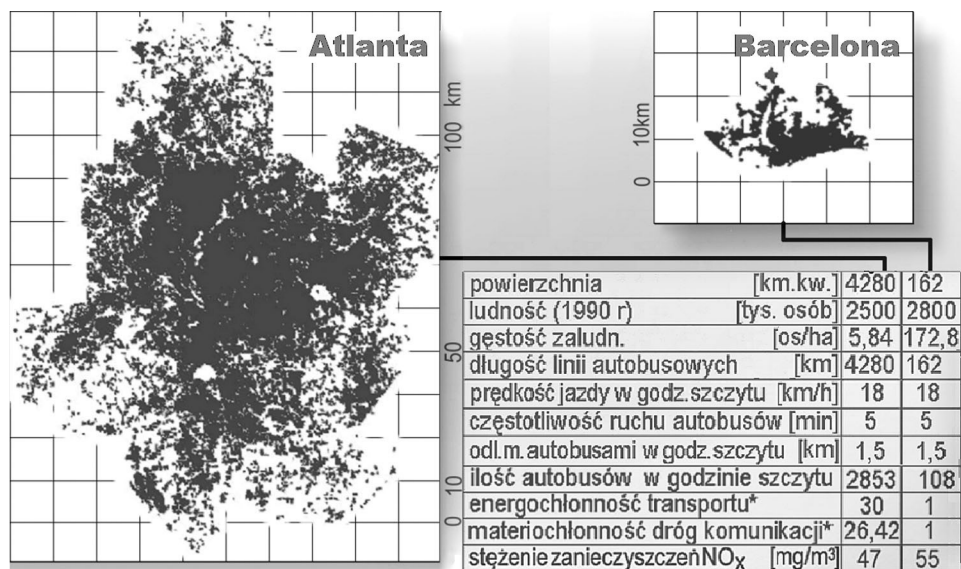


źródło wykresów: UN DESA, 2014 Revision

Ryc. 2. Wykres z lewej strony: powierzchnia miast świata – terenożerność obecnie budowanych struktur. Wykres z prawej strony: globalne zużycie energii przez komunikację w miastach (grubsza linia) na tle energochłonności wszystkich sektorów (cienka linia) Źródło: UNDESA (2014).

nowiące lekarstwo, dziś samo jest przyczyną cywilizacyjnej choroby. Rozerwane sprzężenie między powierzchnią miasta a liczbą jego mieszkańców jest jej objawem.

Na rycinie 3 dla celów porównawczych zestawiono (w tej samej skali) dwa miasta: „nowoczesną” Atlantę i „tradycyjną” Barcelonę. Jakkolwiek oba miejskie układy mają podobną liczbę mieszkańców, wynoszącą około 2,5 mln obywateli,



Ryc. 3. Zestawienie w tej samej skali Atlanty i Barcelony (stan z 2000 r.). Tabela zawiera dane dotyczące energochłonności transportu w obu miastach

Źródło: Bertaud (2003, s. 12, 15).

to rozproszenie struktury w Atlancie stanowi przyczynę tego, że jest ona 26 razy większa powierzchniowo od Barcelony. Łączna długość dróg komunikacji kołowej jest w Atlancie również 26 razy większa niż w Barcelonie.

Dane z bezpośrednich pomiarów transportu miejskiego (Bertaud 2002, s. 10) wykazują, że komunikacja autobusowa pochłania w Atlancie 30 razy więcej energii niż w Barcelonie (po ujednoczeniu wszystkich parametrów). Inne źródła (Newman, Kenworthy 2006, s. 36) określają z kolei energochłonność ruchu samochodów osobowych. Jest ona 20-krotnie większa w Atlancie niż w Barcelonie. Z całą pewnością zestawienie to wykazuje w pewnym przybliżeniu także proporcje strat przesyłowych następujących w obu miastach. Dotyczy to zatem nie tylko przewozu osób, lecz także wszelkich ładunków towarowych, odpadów stałych, ciekłych, zasilania w wodę, ciepłik itd.

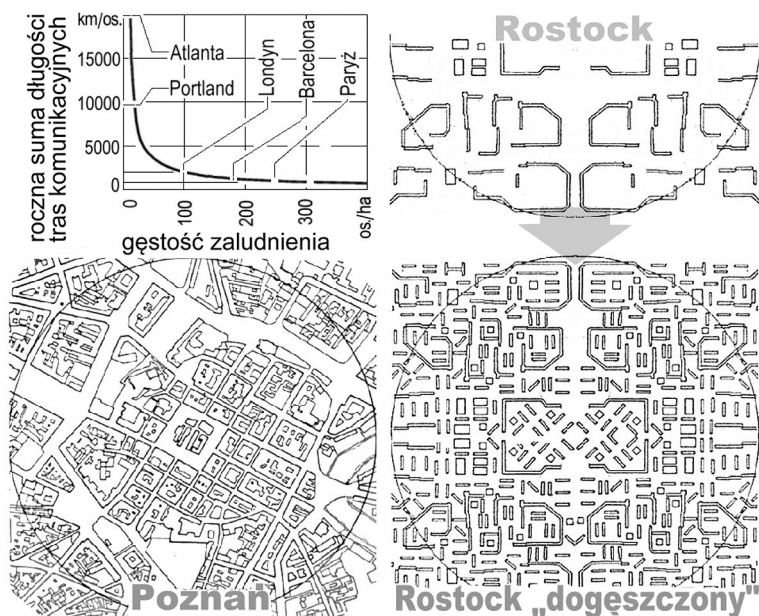
Co zaskakujące, zanieczyszczenie środowiska (mierzone za pomocą średniego rocznego stężenia  $\text{NO}_x$ ) w Atlancie wynosi 47  $\text{mg}/\text{m}^3$ , a w Barcelonie 55  $\text{mg}/\text{m}^3$  (Bertaud 2003, s. 20). Zważywszy na fakt, że w Barcelonie 55% samochodów ma znacznie bardziej uciążliwy dla środowiska napęd dieslowski (w Atlancie wyjątkowy), a także pokaźny barceloński kołowy ruch turystyczny (niewliczany do powyższego bilansu, a dodatkowo obciążający środowisko), można przypuszczać, że sanitarne korzyści w mieście rozproszonym są szkodliwym planistycznym przesądem.

Łatwość przełamania oporu przestrzeni osiągnięta dzięki motoryzacji ma swoją cenę i jest ona wyliczalna. Przeciętny mieszkaniec Atlanty, poruszając się po swoim mieście, pokonuje samochodem osobowym ponad 20 tys. km rocznie, statystyczny obywatel Barcelony – około 1000 (Newman, Kenworthy 2006, s. 36). Mieszkańcy Atlanty rocznie tracą więc cały miesiąc, jeżdżąc po mieście samochodem w warunkach deprywacji sensorycznej (deformującej wzorce społecznych zachowań; Hall 2001, s. 10). W Paryżu podróże samochodem pochłaniają co najwyżej dwa dni w roku (a i to przy dwukrotnie mniejszej średniej prędkości jazdy). Inne połączenia komunikacyjne odbywają się tam w przestrzeni publicznej, pełnej społecznych interakcji i będącej przy tym swego rodzaju medium – regulatorem zachowań w sztucznym środowisku życia. Ekologia kulturowa, a także etologia, uważają dużą intensywność społecznych interakcji za fundament miejskości: najważniejszy czynnik nadający ewolucji *homo urbanus* właściwy kierunek (Burgess, Bogue 1967, s. 92). Jak widać, całkowity koszt rozproszenia struktury jest niezmiernie wysoki – poczynając od rozwlekłości miast pochłaniających coraz to więcej terenów przyrodniczo cennych, na negatywnych skutkach w prawie każdej sferze życia kończąc.

## Spoistość struktury

Dziś weryfikacja hipotez dotyczących niektórych sił nadających miastu kształt jest stosunkowo łatwa. Techniki CAD pozwalają bowiem odświeżyć rozpatrywane niegdyś zagadnienia, wyabstrahować mierzalne skutki działania tych sił i spojrzeć na procesy komunikacji od nowa.

Na rycinie 4 ukazano różnicę między gęstością zabudowy (parametrem ilościowym) a spoistością – cechą jakościową.



Ryc. 4. Gęstość miejskiej struktury a przestrzenna spoiwość

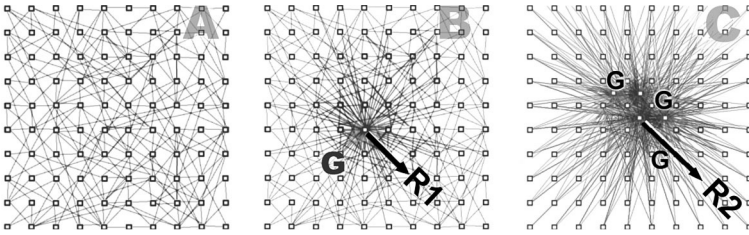
Z lewej strony ryciny znajduje się spoiwa tkanka Poznania, z prawej dzielnica Rostocku – Dierkow, „dogęszczona” w teoretycznej symulacji do wartości przeciętnej w tkance Poznania (oba wycinki są w tej samej skali). Zabudowy nowoczesnej nie można zagęścić tak jak w tkankach tradycyjnych, nie powodując jednocześnie, że stanie się ona bezużyteczna funkcjonalnie. Wykres przedstawia łączną długość tras komunikacyjnych pokonywanych rocznie, w zależności od gęstości zaludnienia.

Analizując procesy powstawania spoiwości *ab ovo*, należy stwierdzić, że niektóre elementy miasta potrzebują intensywniejszej wzajemnej komunikacji, aniżeli części pozostałe. Jako przykład takiego elementu można przyjąć sklep spożywczy służący otaczającej go zabudowie mieszkaniowej (oznaczony literą G na ryc. 5). Z komunikacyjnego punktu widzenia stanowi on tzw. generator ruchu (Fonoroff 1955, s. 238). Sklep funkcjonalnie wiąże ze sobą inne elementy w zasięgu zależnym od atrakcyjności oferowanego asortymentu. W strefie wzmożonego ruchu, będącej pochodną atrakcyjności oferty, warto wykorzystać obecność potencjalnych klientów, sprzyjającą lokalizacji kolejnych usług. Zwiększą one zasięg atrakcyjnej dla nich strefy.

Przestrzeń atrakcyjną tworzą miejsca, w których można zrealizować określoną potrzebę – miejsca użyteczne i często wykorzystywane. Słowem, często odwiedzane<sup>2</sup>. Im częściej odwiedzane, tym bliżej centrum winny być usytuowane dla

<sup>2</sup> Częstotliwość połączeń stanowi podstawę teorii ekonomicznych dotyczących procesów miastotwórczych. Parametr częstotliwości połączeń z obszarem centralnym stanowi w swej istocie metodologiczne założenie Christallera (1966, s. 51).

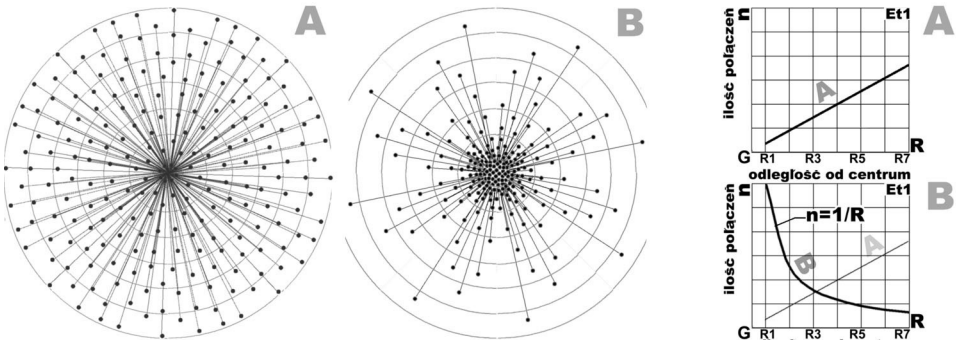




Ryc. 5. Od lewej (A) – połączenia między budynkami w strukturze teoretycznej; B – budynki o zróżnicowanych funkcjach różnicują charakter ruchu w przestrzeni (zjawisko generatora ruchu G); R1 – zasięg oddziaływania pojedynczego generatora ruchu; C – nowe generatory ruchu wprowadzone do struktury tak, by wzajemnie korzystając z generowanych przez siebie powiązań i współtworzyć obszar spójny o zasięgu oddziaływania R2

wspólnego pożytku. Bliskość centrum<sup>3</sup> stwarza większą sposobność odwiedzin, napotkania na swej drodze tak zlokalizowanej oferty. Im bardziej dany budynek wymaga połączeń z innymi (i im bardziej jego bliskość jest im potrzebna z powodów funkcjonalnych), tym większa winna być jego przestrzenna dostępność. Słowem – tym wyższą cenę opłaca się ponieść za umieszczenie go na obszarze centralnym<sup>4</sup>. Ten mechanizm ukazuje rycina 6.

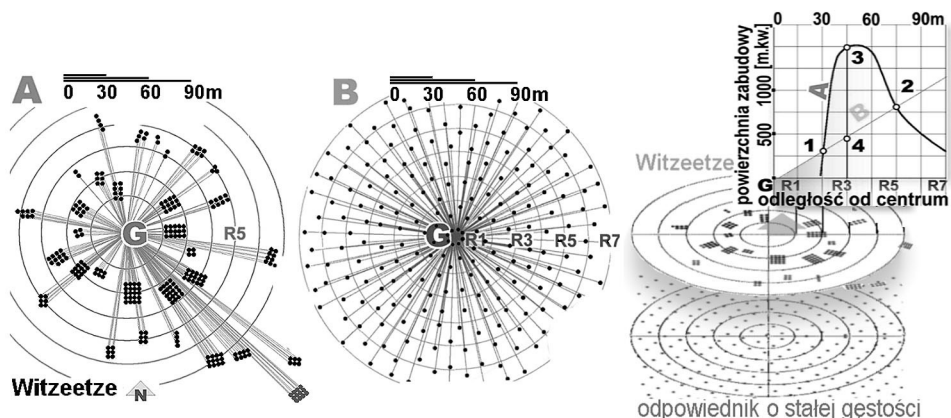
Jeśli ogólna dostępność funkcji zlokalizowanych w poszczególnych budynkach nie jest istotna, to mogą one być rozmieszczone w przestrzeni równomiernie, podobnie jak w układzie A na rycinie (budynki oznaczono tu kropkami). Wówczas ilość połączeń budynków ze środkiem układu (a także dowolnym innym jego punktem) jest proporcjonalna do ich odległości od tego punktu, co ukazuje wykres w górnym prawym narożniku.



Ryc. 6. Mechanizm powstawania obszaru spójnego

<sup>3</sup> Dla uporządkowania: centrum jest rozumiane jako pojedynczy (początkowo) generator ruchu. Po umieszczeniu w miejskiej strukturze kolejnych generatorów centrum zaczyna stanowić środek ciężkości całej sieci komunikacyjnej.

<sup>4</sup> W realnej miejskiej strukturze lokalizacja każdego budynku ma swą cenę (w postaci ceny terenu, renty gruntowej itp.). Jest ona w pewnej korelacji z wykresem na rycinie 6, stanowiąc jedno z podstawowych narzędzi przestrzennej gospodarki w miastach.



Ryc. 7. Zabudowa wsi Witzeetze i jej teoretyczny odpowiednik o stałej gęstości

szaru jest ważne i stanowi jego funkcjonalny środek ciężkości (układ B), to funkcje (np. sklep) o większej częstotliwości połączeń z budynkami pozostałymi są lokalizowane tak blisko centrum, jak to tylko możliwe. Przestrzeń przestaje być jednorodna. Jej obszar centralny staje się spoisty i nasycony atrakcyjną zabudową. Ilość połączeń ze środkiem układu jest wówczas odwrotnie proporcjonalna do odległości od niego (jak na wykresie dolnym).

Christaller miarą atrakcyjności centrum ustanowił intensywność połączeń z centrum. Analizował połączenia wirtualne (telekomunikacyjne) i na tej podstawie wyznaczał istotne cechy centralnych obszarów (Rychłowski 1967, s. 23). Siłą rzeczy nie ujmował w swych rozważaniach oporu napotykanego w przestrzeni rzeczywistej podczas przemieszczania się. Abstrahował od zużycia energii w procesach komunikacji (podobnie jak i jego następcy, np. Lösch 1940, Janiszewska 2009, s. 11–21).

Jednakowoż, rozważając zjawisko przestrzennej atrakcyjności w niewielkiej skali miasta, należy procesom komunikacji nadać wymiar energetyczny. Efektywna analiza parametrów połączeń rzeczywistych jest możliwa dziś dzięki współczesnym technikom informatycznym.

Przykład analizy procesów komunikacji w prostym układzie urbanistycznym wsi Witzeetze<sup>5</sup> przedstawiono na rycinie 7. Umownym centrum wsi oznaczonej literą A jest tu zadrzewiony plac służący sąsiedzkim kontaktom i skupianiu zwierząt hodowlanych na noc. Strukturę B tworzy cała zabudowa Witzeetze, rozłożona równomiernie w kole odpowiadającym powierzchni wsi (liczonej wewnątrz ogrodzeń). Wykresy ukazują rozkład zabudowy względem centrum. Zabudowa wsi ciąży ku placowi i jest na jego granicy zagęszczona bardziej niż w odpowiedniku teoretycznym, co widać na wykresie między punktami 1 i 2. W odległości R3 = 45 m różnica między wartością rzeczywistą a teoretyczną jest trzykrotna (punkt 3 odpowiada zabudowie o sumarycznej powierzchni 1490 m<sup>2</sup>, punkt 4 – 450 m<sup>2</sup>).

<sup>5</sup> Dziś część Klein Witzeetze, Küsten, Niemcy. Dane kartograficzne za: Koch (1996, s. 395). To typowy przykład pospolitego skupiska domów, gdzie porządek geometryczny jest ograniczony do jednego parametru: możliwie małej odległości między budynkami zwróconymi w stronę centrum.

Pojedynczy punkt na rysunku oznacza zrealizowane połączenie danego budynku z centrum. Lecz punkt ten może zarazem oznaczać położenie tegoż budynku w mieście. Punkty można więc „zmaterializować”, przypisując im rzeczywistą powierzchnię zabudowy: część rzutu budynku, którą reprezentują. W lewej części rysunku budynki Witzeetze podzielono na jednakowe części zabudowy wielkości  $5 \times 5$  m. Części te rozłożono zgodnie z rzeczywistym układem urbanistycznym (struktura A). Całą tę zabudowę można także – dla porównania – rozmieścić równomiernie tak, by uzyskać teoretyczny odpowiednik wsi (struktura B na rysunku). Równomiernemu rozkładowi zabudowy w odpowiedniku teoretycznym B odpowiada wykres tworzący linię prostą (układ współrzędnych z prawej strony rysunku). Z kolei wykres sporządzony dla zabudowy rzeczywistej A odbiega znacząco od tej prostej, wykazując efekty działania siły nadającej układowi spoistość.

## Siła atrakcyjności – siła spoistości

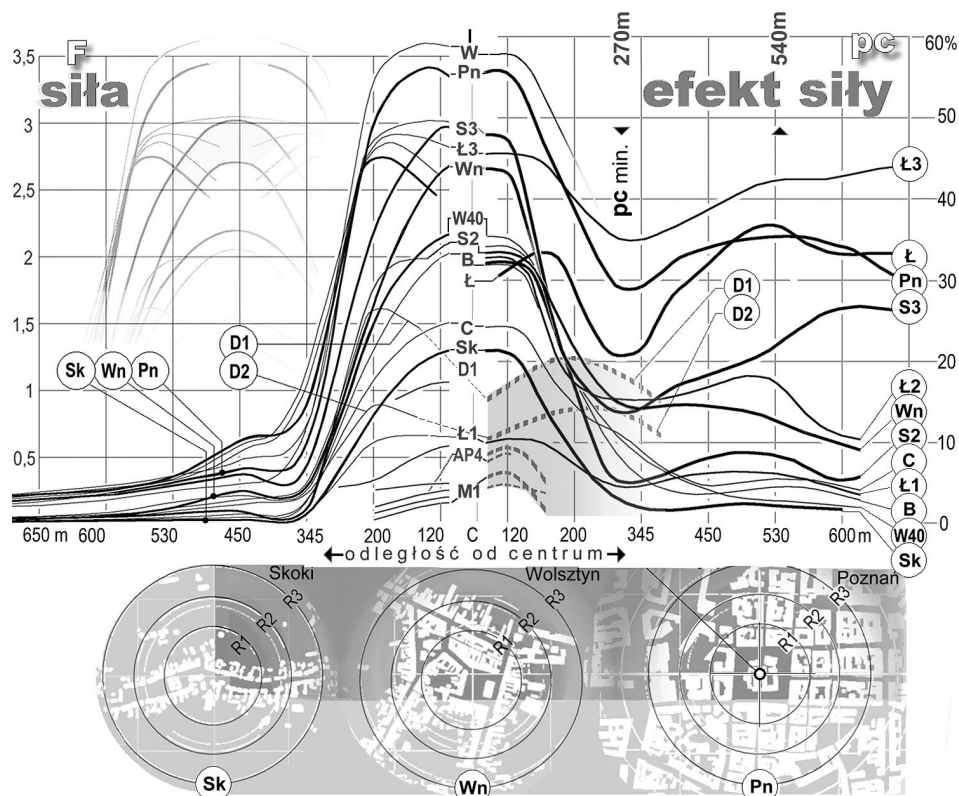
Potencjalny konsument oferty znajdującej się w pewnym miejscu każdorazowo dokonuje prostego, intuicyjnego bilansu dostępności: miejsce to jest atrakcyjne wówczas, gdy – przede wszystkim – dotarcie do niego nie kosztuje nazbyt wiele. Miejsce jest atrakcyjne, gdy wydatek energetyczny związany z dojściem do niego jest dla mnie akceptowalny. Siła atrakcyjności musi więc mieć wartość co najmniej równą oporowi przestrzeni – oporowi drogi, którą należy pokonać, by skosztować rozważaną ofertę. Grawitacyjne modele układów komunikacyjnych definiują opór przestrzeni następująco<sup>6</sup>:  $F_o = Pz/R^2$  ( $F_o$  – to wielkość oporu stawianego przez przestrzeń w odległości  $R$  od punktu pomiaru, a  $Pz$  odpowiada powierzchni zabudowy w tej odległości). Zatem, *per analogiam*, siła atrakcyjności działająca w pewnej odległości od centrum jest wprost proporcjonalna do powierzchni zabudowy leżącej w tejże odległości:

$$F = Pz/R^2$$

$F$  jest więc siłą swoistej funkcjonalnej grawitacji, siłą przyciągania ku różnorodnym ofertom skupionym w centrum. Z drugiej strony siła ta jest także miarą spoistości obszaru, zyskiwanej dzięki opisanemu wyżej mechanizmowi zrównoważonej akumulacji zabudowy. Mechanizm ten polega na tym, że niemierzalne przejawy atrakcyjności (dostępność dóbr, wartość estetyczna poszczególnych miejsc, walory widokowe, unikalne cechy historyczne itd.) są permanentnie „testowane” przez inwestorów ponoszących ryzyko: „czy umieszczenie tu kolejnej zabudowy może jeszcze stanowić źródło zysku?”. Miejska struktura nasycza się zabudową i zwiększa atrakcyjność przestrzeni aż do granicy wyznaczonej przez użytkowników. To oni swą frekwencyjnością wyznaczają pułap nasycenia zabudową, jak również zasięg obszaru spoistego. Narasta on wokół niepowtarzalnych

<sup>6</sup> Wszelkie polowe zależności charakteryzuje zasada odwrotnej proporcjonalności względem kwadratu odległości. Zasada ta odnosi się do pola grawitacyjnego, magnetycznego, elektrycznego itd. Powszechnie stosuje się ją także w teoriach systemów komunikacji, np. Bell (1966, s. 20).





Ryc. 8. Siła spoiwości i efekt jej działania – kształt miasta. Pęk krzywych w układzie współrzędnych z lewej strony to wykresy siły spoiwości  $F$  dla niektórych miast. Wykresy w układzie z prawej strony ukazują akumulację zabudowy w tych miastach, będącą skutkiem oddziaływania siły spoiwości. Przedstawiają one profile zabudowy, zdefiniowane jako procentowy udział powierzchni zabudowy w całkowitej powierzchni terenu, w zależności od odległości od centrum. Oznaczenia: W – Warszawa; Pn – Poznań; S3 – Szamotuły; Ł3 – Łódź 2009 r.; Wn – Wolsztyn; W40 – Września 1940 r.; S2 – Szamotuły 2010 r.; B – Buk; Ł – Łódź; C – Czarnków; Sk – Skoki; D1 – Rostock Dierkow 1; Ł1 – Łódź 1828 r.; AP4 – Angelica Parada; M1 – Międzyrzec Podlaski 1950 r.; D2 – Rostock Dierkow 2. Dolny pas rysunku: trzy obszary spoiwiste o różnym stopniu wypełnienia zabudową

wartości generujących zarówno heteroteliczne procesy komunikacji (realizujące różne zamiary użytkowników-konsumentów), jak i procesy autoteliczne, związane z samymi walorami obszaru spoiwatego (gdy jakość samej przestrzeni jest ich wyłącznym, „turystycznym” podłożem).

Siła spoiwości mierzy więc istniejący w zabudowie efekt sprzężenia wszystkich impulsów centrotwórczych. Stanowi ilościowy wykładnik cechy jakościowej, jaką jest atrakcyjność przestrzeni. Używając języka Laplace’a (Białkowski 1980, s. 75), przestrzeń urbanistyczna ma charakter polowy: jest polem działania niezliczonych, złożonych, tymczasowych i trwałych impulsów – miastotwórczych sił o różnej mocy. Niektóre z nich działają na tyle zgodnie i uporczywie, że ich

wypadkowa stopniowo przekształca miejską strukturę. Dzięki tej wypadkowej – niebędącej niczym innym, jak siłą spoistości właśnie – miejska substancja narasta w czasie i jest przebudowywana. Forma miasta jest spetryfikowanym produktem tej permanentnej wypadkowej. Naturalny rozwój miasta polega na zagęszczaniu zabudowy, prowadzącym do stanu równowagi charakterystycznej dla pola spistego. Profile zabudowy ujawniają regularność w ukształtowaniu obszarów spistych. Niezależnie więc od wielkości miasta i stopnia wypełnienia tkanki siła spoistości stabilizuje rozległość obszarów o wysokiej gęstości zabudowy. Wyodrębniają się one z otoczenia promieniem około 200–250 m. Miasto, początkowo mieszczące się w takim module, wypełnia się zabudową aż do osiągnięcia progu wzrostu. Jeśli ma nadal rozwijać się, zachowując przy tym spisty charakter, to jego przestrzenna ekspansja musi polegać na formowaniu w bezpośrednim sąsiedztwie kolejnych obszarów spistych, wypełniających się do poziomu optymalnego podobnie jak obszar genetycznie pierwotny.

## Czwarty wymiar kształtu miasta

Kształt miasta zawiera w sobie potencjał formującej go siły spoistości. Jedną z emanacji tego potencjału jest energochłonność procesów komunikacji.

Omawiane tu narzędzie<sup>7</sup> pozwala na bieżącą (podczas projektowania) kontrolę energetycznej warstwy tworzonych kształtów. Umożliwia precyzyjne, jakościowo-ilościowe kształtowanie złożonych struktur przestrzennych.

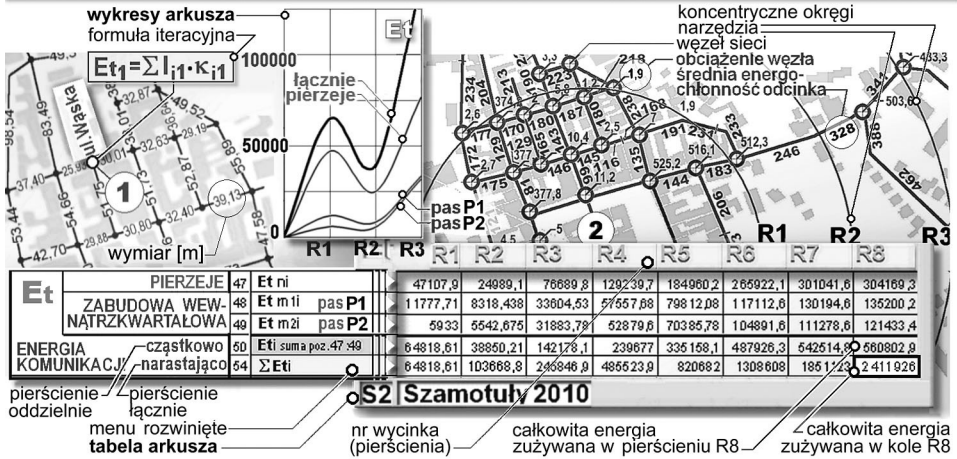
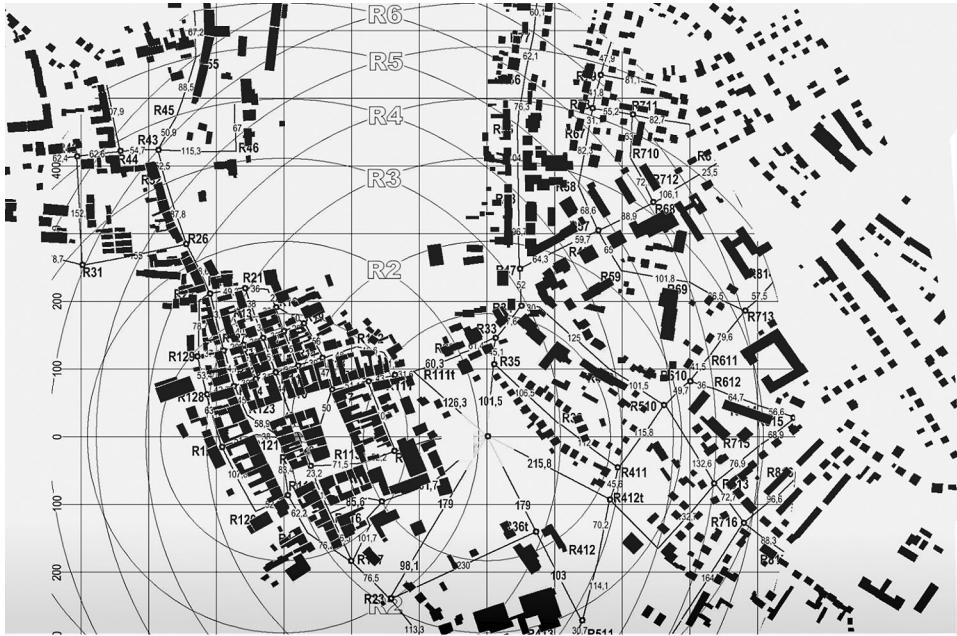
Narzędzie przetwarza wektorowe dane o zabudowie, czego efektem jest rozkład siły spoistości w przestrzeni urbanistycznej struktury. Następnie algorytmy modułu, uwzględniając kształt sieci komunikacyjnej, wyliczają pochodne siły spoistości w wyznaczonych miejscach. Jedną z tych pochodnych jest energochłonność procesów transportowych. Wyliczone dane są uwidaczniane w tabelach i na wykresach.

Na rycinie 9 przedstawiono strukturę Szamotuł (warstwę odwzorowania geometrycznego obejmującą zabudowę miasta w sieci dróg). Poddano ją tu analizie z zastosowaniem przesuwnego układu koncentrycznych pierścieni. Koncentryczne okręgi, oznaczone jako R1, R2 itd., dzielą sieć dróg na wycinki, a zabudowę na pierścieniowe sekcje. Wraz ze zmianą „punktu przyłożenia” ich środka automatyczne formuły iteracyjne ukazują w arkuszu istotne dane o zużyciu energii.

U dołu rysunku: wycinek arkusza kalkulacyjnego wykazuje energię zużywaną na połączenie wszystkich budynków z centrum 2, rozdzielając przy tym budynki na pierzeje i zabudowę tylną w dwóch pasach P1 i P2 (pas P1 obejmuje zabudowę wewnętrzną położoną w odległości od 10 m do 20 m od linii zabudowy, a P2 – od 20 m do 30 m).

Na wykresach wartości  $y$  to sumy energii odpowiadające odległościom  $x$  od centrum. Przykładowo (dolna część rysunku): jednorazowe pokonanie drogi do centrum ze wszystkich budynków leżących w kole o promieniu R8 wokół tegoż

<sup>7</sup> Jego podstawy zostały sformułowane w trakcie prac nad projektem badawczym N N527 348934 realizowanym w latach 2008–2010.



Ryc. 9. Szamotuły. Zużycie energii w procesach komunikacji na przykładzie niewielkiego miasta

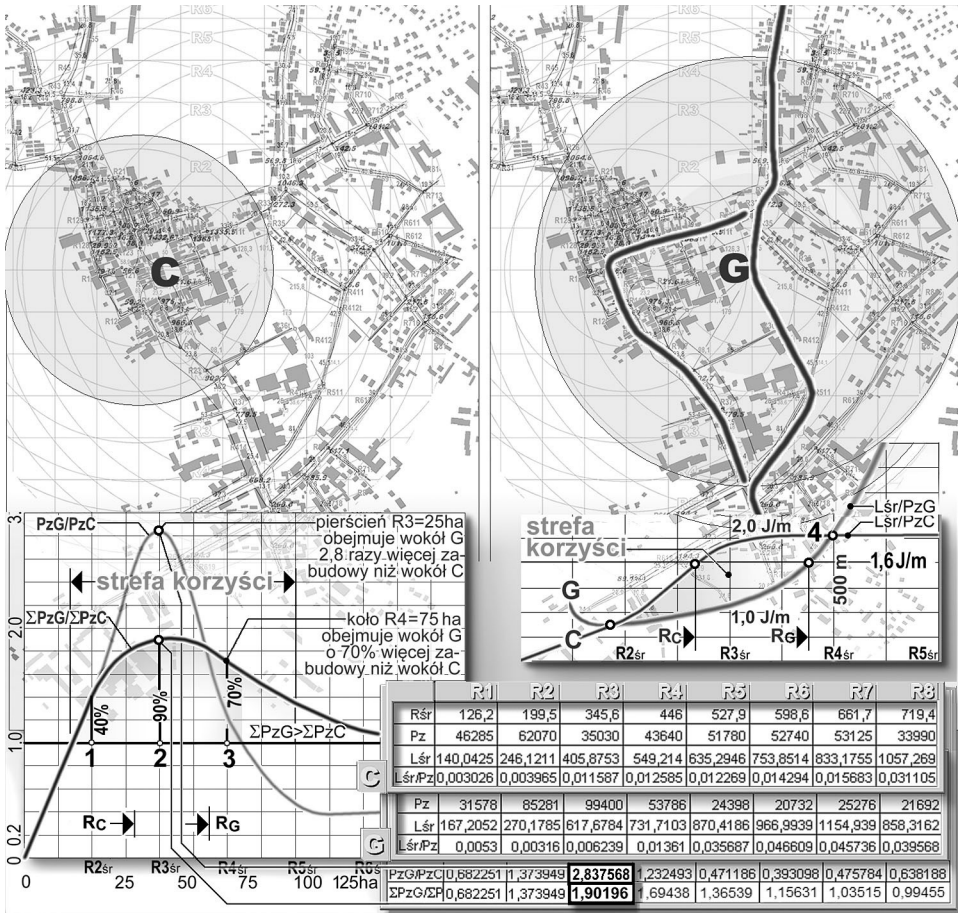
centrum pochłania 2 411 926 jednostek energii, co widać w dolnym prawym narożniku rysunku (w pozycji „całkowita energia zużywana w kole R8”). Jednostki te są niemianowane, a ich wartość zależy od użytego środka komunikacji. Gdyby połączenia te odbywały się pieszo, wymagałyby one 506,5 MJ energii (co wynika z prostego podstawienia wartości jednostki energii dla ruchu pieszego, wynoszącej 160 J/m; Weyand 2010, s. 39–75). Dla porównania: ruch pieszego „spływający” z ul. Wąskiej do punktu 1 zużyłby 18,1 kJ energii.



## Umiejscowienie generatora ruchu. Optymalizacja sieci

Omawiane narzędzie pozwala na energetyczną optymalizację sieci komunikacyjnej. Może – na przykład – automatycznie wykryć taki punkt w strukturze, w którego zasięgu leży jak najwięcej zabudowy, do którego wszyscy jej mieszkańcy dotrą więc najmniejszym łącznym kosztem. Jest to istotne dla każdego generatora ruchu (np. parkingu buforowego lub przystanku komunikacji zbiorowej).

Z lewej strony ryciny 10 ukazano pierwotną lokalizację przystanku autobusowego C, w rynku – centrum Szamotuł. Jak jednak pokazuje narzędzie, istnieje znacznie lepsze miejsce dla przystanku, przesunięte o 300 m (G w prawej części ryciny). Przystanek tu umieszczony może wygodnie obsługiwać znacznie więcej mieszkańców. Na obszarze 50 ha wokół przystanku C mieszkają 1942 osoby<sup>8</sup>. Po przesunięciu przystanku 50-hektarowy obszar wokół G obejmuje już 3962 mieszkańców, a więc dodatkowe 1750 osób ponad powyższe 1942. Docierają one do



<sup>8</sup> Przyjmując niezbędną w obliczeniach porównawczych ścisłą proporcjonalność liczby mieszkańców do optymalizacji lokalizacji generatora ruchu w Szamotułach

przystanku znacznie mniejszym kosztem czasu i drogi (średnio o 157 m na osobę). Korzyści płynące z przesunięcia przystanku rozciągają się aż do odległości 650 m (z wyjątkiem najbliższego obszaru w promieniu około 100 m od przystanku, gdzie w oczywisty sposób uprzywilejowani są mieszkańcy z przystankiem na rynku).

Zamieszczone na rysunku (z lewej) wykresy ukazują rozkład zabudowy istniejącej wokół G, w stosunku do rozmieszczenia zabudowy istniejącej wokół C. W punkcie oznaczonym cyfrą 1 na wykresach koło o powierzchni 25 ha wokół G mieści o 40% więcej zabudowy niż taki sam obszar wokół C. Na 50 ha wokół G leży niemal dwukrotnie więcej zabudowy niż wokół C (punkt 2), a na powierzchni 75 ha wokół G znajduje się o 70% więcej zabudowy niż w otoczeniu C (punkt 3). Wykresy z prawej dotyczą ilości energii zużywanej na komunikacyjną obsługę jednostkowej powierzchni zabudowy dla obu lokalizacji przystanku. Jeśli przyjąć, że np. ilość 1,6 J/m tego wydatku energii jest wartością graniczną z punktu widzenia wyгоды dojścia pieszego<sup>9</sup>, to w tak zdefiniowanym wygodnym zasięgu przystanku C leży obszar o powierzchni około 35 ha, a G – obszar o powierzchni 70 ha.

Jak widać na wykresach po prawej, do komunikacyjnej obsługi zabudowy leżącej w odległości około 350 m od przystanku C potrzeba 2,0 J/m energii<sup>10</sup>. Po przesunięciu przystanku do G analogiczny koszt (dla tej samej odległości 350 m) można obniżyć dwukrotnie.

## Zakończenie

Analiza scenariuszy globalnego rozwoju prowadzi do konstatacji, że powrót do miasta zwarteo jest koniecznością, jeśli bieg planetarnych procesów urbanizacyjnych ma przybrać charakter pozytywny. Współczesna urbanistyka potrzebuje efektywnych narzędzi, pozwalających konstruować miasta o wysokiej gęstości bez utraty walorów jakościowych. Jak dotąd jednak, energetyczne następstwa swych działań twórca może jedynie oszacować, zdając się na niedoskonałą w tej mierze intuicję i własne przecucia. Jeśli urbanistyka ma pozostać sztuką budowy miast, to niezbędny jest instrument pozwalający projektantowi natychmiast, w trakcie swych działań, ujrzeć czwarty wymiar tworzonych kształtów: potencjalną energię w nich zawartą. Ilościowa miara ładu energetycznego – równie „naoczna”, jak jakościowa miara ładu wizualnego – pozwoli urbanistom na kreację ładu zrównoważonego: kontrolę tworzonych jakości oraz ilości.

<sup>9</sup> Rozmieszczając generatory ruchu pieszego, można ustalić a priori energetyczny limit nieuciążliwego dotarcia do generatora (tu przyjęto – przykładowo – 1,6 J/m).

<sup>10</sup> Tyle energii potrzeba do obsługi 1 m<sup>2</sup> powierzchni zabudowy, po ujednoczeniu wszystkich czynników, które mogą zniekształcić wyłączną zależność zużycia energii od geometrycznych własności tras ruchu (czyli po zastosowaniu metody *ceteris paribus*).



## Literatura

- Bell G. 1966. Factors affecting the distribution of work trips in urban areas. M. Eng. Sc. thesis. School of Traffic Engineering, University of New South Wales.
- Bertaud A. 2002. Note on Transportation and Urban Spatial Structure. [W:] ABCDE Conference Materials. Washington.
- Bertaud A. The Spatial Organization of Cities: Deliberate Outcome or Unforeseen Consequence. [W:] World Development Report 2003. Dynamic Development in a Sustainable World.
- Białkowski G. 1980. Stare i nowe drogi fizyki. U źródeł fizyki współczesnej. WP, Warszawa.
- Budzyński I. (red.) 2013. Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2013 r. GUS, Warszawa.
- Burgess E., Bogue D. (red.) 1967. Urban Sociology. Phoenix Books, Chicago, London.
- Christaller W. 1933/1966. Central Places in South Germany, Prentice Hall Inc.
- EIA 2007. International Energy Annual 2005.
- EIA 2008. World Energy Projections Plus.
- IEA 2011, 2011. Outlook. Global Energy Trends.
- Elzenberg H. 1995. Monadologia Leibniza. Przegląd Filozoficzny – Nowa Seria, 4/1.
- Fonoroff A. 1955. The Relationship of Zoning to Traffic-Generators. Law and Contemporary Problems.
- Hall E.T. 1984. Poza kulturą. PWN, Warszawa.
- Hall E.T. 2001. Ukryty wymiar. MUZA SA, Warszawa.
- Janiszewska A. 2009, Gospodarka przestrzenna – definicje i powiązania z innymi naukami. Space-Society-Economy, 9, WNG, Łódź.
- Kozaczko M. 2004. Prawo Parkinsona w kompozycji urbanistycznej. WPK, 2-A.
- Koch W. 1996. Baustilkunde. Mosaik Verlag, Muenchen.
- Lorenz K. 1986. Regres człowieczeństwa. PIW, Warszawa.
- Lösch A. 1961. Gospodarka przestrzenna. Teoria lokalizacji. Tłum. K. Dziewoński, W. Lisowski. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Meadows D.L. 1972. Limits to Growth. Universe Books N.Y.
- Newman P., Kenworthy J. 2006. Urban Design to Reduce Automobile Dependence, Opolis. An International Journal of Suburban and Metropolitan Studies, 2.1, Art. 3.
- Rose K. 2014. Composing Energy Futures to 2050. World Energy Council, London.
- Rychłowski B. 1967. Regionalizacja ekonomiczna. Zagadnienia podstawowe. Instytut Geografii PAN, Prace Geograficzne 64. PWN, Warszawa.
- Szczepaniak R. 2015. BIM: fakty i mity. Zawód: Architekt, 46.
- UNDESA (United Nations, Department of Economic and Social Affairs) 2014. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights, ST/ESA/SER.A/352.
- Weyand P.G. 2010. The mass-specific energy costs of human walking is set by stature. Journal of Experimental Biology, 213.
- Yi-Fu T. 1987. Przestrzeń i miejsce. PIW, Warszawa.

## The Effectiveness of Transportation in Compact City

**Abstract:** Compactness is the main feature of the traditional city: “compact is beautiful”. However, the processes of industrialization and the phenomenon of motorization led to its obsolescence: “compact means unhealthy”. Patterns of the compact city were replaced by sprawl. Nowadays, dispersed city structures consume more and more valuable areas. Increasing energy consumption in urban transport processes becomes a critical parameter of development. Modern urban planning requires effective tools to construct a high density cities without loss of values of quality.

**Key words:** energy of transportation, city compactness