



7. OPTIMALIZACJA SIECI LOGISTYCZNEJ Z WYKORZYSTANIEM GRAVITY POINT



W rozdziale omówiono problem optymalizacji sieci logistycznej przy użyciu Gravity Point (Gravity Model). Sieć łańcucha dostaw przetwarza surowce na produkty końcowe i oczywiście dostarcza je do klientów końcowych (konsumentów). Obejmuje różne rodzaje obiektów. Planowanie i projektowanie sieci łańcucha dostaw (Supply chain network design, SCND) jest ważnym zagadnieniem związanym z zarządzaniem łańcuchem dostaw (SCM). Do najważniejszych poruszanych zagadnień tego rozdziału zaliczono:

- sieć łańcucha dostaw,
- sieć dystrybucji,
- gravity Point.

7.1. Wprowadzenie

Planowanie i projektowanie sieci łańcucha dostaw (Supply chain network design, SCND) jest ważnym zagadnieniem związanym z zarządzaniem łańcuchami dostaw (SCM). Łańcuch dostaw rozumiany jest jako złożona sieć przedsiębiorstw i obiektów, które w większości są rozmieszczone na rozległym obszarze geograficznym. Ten łańcuch dostaw powinien synchronizować szereg powiązanych ze sobą działań poprzez sieć.

Sieć łańcucha dostaw przetwarza surowce na produkty końcowe i oczywiście dostarcza je do klientów końcowych (konsumentów). Obejmuje różne rodzaje obiektów. Planowanie i projektowanie sieci łańcucha dostaw skupia się więc na identyfikacji liczby i rodzajów poszczególnych ogniw i koordynacji działań między nimi. Typowe ogniwa w sieci łańcucha dostaw składają się z dostawców i podwykonawców, zakładów produkcyjnych i montażowych, centrów dystrybucyjnych, magazynów i klientów (Govindan i in., 2017). Zaś typowe przepływy



materiałów odbywają się od dostawców do klientów. Wyodrębnić również można przepływy zwrotne (tzw. logistyka zwrotna). Pamiętać również należy o konieczności planowania i projektowania przepływów i radzenia sobie z problemami związanymi z wieloma wariantami/typami produktów. Analiza związana z lokalizacją danego obiektu w łańcuchu dostaw jest ważną kwestią dla obsługi tego łańcucha i kosztów.

7.2. Sieć logistyczna

Złożoność sieci łańcucha dostaw jest istotna i wpływa na podejmowanie decyzji planistycznych wraz z klasycznymi decyzjami dotyczącymi alokacji lokalizacji w celu uzyskania zintegrowanego systemu (Govindan i in., 2017).

Uwzględniając trzy poziomy podejmowania decyzji, na **poziomie strategicznym** konieczne jest podjęcie decyzji dotyczących łańcucha dostaw, takich jak: (1) liczba, (2) lokalizacja i (3) pojemność obiektów. Decyzje strategiczne zwykle obejmują horyzont czasowy około trzech do pięciu lat. Strategiczne decyzje dotyczące projektowania sieci logistycznej wpływają na efektywność obsługi popytu klientów. Decyzje projektowe nie mogą być podejmowane bez uwzględnienia wpływu na decyzje operacyjne. **Decyzje taktyczne** obejmują zwykle od trzech miesięcy do trzech lat. Przykładowo decyzje cenowe są zwykle umieszczane na poziomie planowania taktycznego. **Decyzje operacyjne** (np. decyzje dotyczące tras pojazdów) są często związane z zakresem od godziny do jednego trymestru (Govindan i in., 2017). Oczywiście zakres podejmowanych decyzji może zależeć od charakteru łańcuchów dostaw.

Wybór najlepszej lokalizacji obiektu gospodarczego może być rozpatrywany w ujęciu lokalizacji ogólnej lub szczegółowej. Lokalizacja ogólna określa pewien obszar, na którym ma zostać zlokalizowany dany obiekt gospodarczy.

Można wyróżnić wiele czynników, które mają wpływ na lokalizację obiektu w łańcuchu dostaw. Są to między innymi:

- źródła pozyskania surowców i lokalizacja rynków materiałów do produkcji (głównie surowce, komponenty),
- tradycje przemysłowe regionu, w tym dostępność do dostawców i odbiorców (szczególnie istotne dla aktywności ogniw pośrednich),



- siła robocza (możliwości pozyskania zatrudnienia, wynagrodzenie, dostępność, poziom kwalifikacji),
- możliwości dostawy czynników energetycznych,
- przepisy podatkowe i ograniczenia administracyjne,
- klimat i warunki terenowe,
- dostępność dróg i punktów transportowych,
- charakterystyka stosunków ludnościowych, społeczno-politycznych,
- charakterystyka infrastruktury (drogi, szkoły, komunikacja),
- możliwości rozbudowy obiektu.

Natomiast lokalizacja szczegółowa wskazuje konkretną nieruchomość lub teren, na którym obiekt ma powstać. Wybór lokalizacji szczegółowej powiązany jest z np. jej uzbrojeniem technicznym, dostępnością infrastruktury transportowej (drogi lokalne), jak również miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego.

W ujęciu bardziej szczegółowym brać należy również pod uwagę:

- stawki wynagrodzeń w zakładach sąsiednich,
- możliwości komunikacyjne dla załogi i opłaty za przejazdy,
- możliwości zakupu pożądanej działki w wybranym regionie,
- drogi, autostrady i uzbrojenie terenu w sieci wodne, gazowe...
- strefy bezpieczeństwa dla zapachów, hałasu i zanieczyszczeń,
- ukształtowanie terenu pozwalające na budowę obiektów produkcyjnych i pomocniczych, parkingów oraz
- możliwość przyszłej rozbudowy zgodnie, z potrzebami procesu produkcyjnego i wymaganiami władz architektoniczno-budowlanych.

Zakres lokalizacji szczegółowej nie jest objęty w tym opracowaniu.

Należy pamiętać, że łańcuchy dostaw funkcjonują w zmiennym otoczeniu. Niejednokrotnie zdarza się, że obiekty są zamykane, otwierane lub ponownie otwierane więcej niż raz w ustalonym horyzoncie planowania. Dynamika rynku wymusza podejmowanie kolejnej decyzji, tj. kwestia związana ze zwiększaniem, zmniejszaniem lub przenoszeniem zdolności produkcyjnych obiektów w sieci logistycznej. Kolejną ważną kwestią są wszelkiego typu **zakłócenia** funkcjonowania łańcuchów dostaw. Zakłócenie łańcucha dostaw to zdarzenie, które może wystąpić w części łańcucha dostaw z powodu np. klęsk żywiołowych (np. trzęsień



ziemi i powodzi) oraz celowych lub niezamierzonych działań człowieka (np. wojny i ataki terrorystyczne). Jest identyfikowane jako zdarzenie, które przerywa przepływ materiałów w łańcuchach dostaw, powodując nagłe zatrzymanie przepływu towarów. Nawet niewielkie zakłócenie może mieć druzgocący wpływ na funkcjonowanie łańcuchów dostaw, ponieważ kaskadowo przechodzi przez łańcuch (Grzybowska i Stachowiak, 2022). A skoro łańcuchy dostaw są złożonymi i niejednorodnymi strukturami, to są podatne na zagrożenia i trudne w zarządzaniu.

Sieć dystrybucji, często końcowa część sieci SC, składają się ze strumieni produktów z magazynów do klientów lub sprzedawców detalicznych. Projektowanie takiej sieci wymaga rozwiązania dwóch trudnych problemów optymalizacji kombinatorycznej, w tym określenia lokalizacji obiektu i tras pojazdów do obsługi klientów.

7.3. Koncepcja zastosowania modelu grawitacji w sieci logistycznej

Budowa rozsądnej sieci logistycznej jest kluczem do rozwoju logistyki regionalnej. Model grawitacji wywodzi się z grawitacji Newtona – przypomnijmy: prawo grawitacji to prawo powszechnego ciążenia, którego zadaniem jest opisanie, z jaką siłą ciała wzajemnie się przyciągają.

Stopniowo koncepcję zastosowania modelu grawitacji stosowano w innych badaniach, obszarach i dziedzinach poprzez analogię do fizyki. W późniejszej ekspansji, oprócz dowodu na istnienie samej teorii modelu grawitacyjnego, została ona zastosowana w wielu dyscyplinach. Wśród nich najszerzej rozwijają się badania związane z handlem, miejskimi powiązaniem przestrzennymi i logistyką. I tak:

- Reilly jako pierwszy zastosował model grawitacyjny do badania relacji między miastami (1929),
- Stewart wysunął koncepcję modelu grawitacyjnego (1948),
- Tinbergen wprowadził model grawitacyjny (GM) do handlu międzynarodowego (1962),
- Huff zaproponował zastosowanie modelu grawitacyjnego do szacowania udziału w rynku (1963),



- Bergstrand sprecyzował podażową stronę gospodarek, wskazując teoretyczne podstawy zależności między wyposażeniem w czynniki produkcji a wymianą handlową ze stałą elastycznością transformacji (Constant Elasticity of Transformation – CET) (1989),
- Kong i inni zbadali projekt sieci terenów zielonych przy użyciu modelu grawitacyjnego (2010),
- Duanmu i inni opracowali połączony model grawitacji i algorytm genetyczny do badania dystrybucji ładunków (2012),
- Puertas i inni wykorzystali model grawitacyjny do analizy sieci logistycznej – oszacowania wskaźnika wydajności logistyki (2014),
- Zhu i Fan wykorzystali model grawitacyjny do zbadania intensywności połączeń logistycznych w śródlądowej logistyce regionalnej (2017).

Odległość w modelu Newtona jest przybliżeniem oporu ruchu, czyli czynnikiem osłabiającym siłę przyciągania. Oznacza to, że im bardziej oddaleni są od siebie partnerzy, tym mniej intensywny jest ich wzajemny handel. Głównym powodem takiego stanu jest istnienie kosztów transakcyjnych handlu, które rosną wraz z wydłużaniem się odległości geograficznej. Do tych kosztów należą m.in. koszty transportu czy też ubezpieczenia ładunku (Bułkowska, 2018).

Położenie geograficzne jest od zawsze czynnikiem warunkującym działalność gospodarczą. Uległo zmianie znaczenie i możliwości transportu. Geografia jest jednym z głównych źródeł kosztów handlu, czyli cech przestrzennych krajów wpływających na ich krajowe i międzynarodowe koszty transportu. Cechy, które brane są pod uwagę obejmują odległość geograficzną między obiektami lub krajami. W przypadku analizy krajów analiza obejmuje odpowiedzi na pytania: czy kraje mają wspólną granicę?, czy są państwami śródlądowymi?, czy są państwami wyspiarskimi?. Intuicja wskazuje, że większa odległość geograficzna, brak wspólnej granicy i/lub większe oddalenie od partnera handlowego negatywnie wpływają na koszty transportu. Tym samym ma negatywny wpływ na handel międzynarodowy. Konsekwencje te można złagodzić poprzez rozwój infrastruktury, taki jak tworzenie autostrad, tuneli, lotnisk i portów (Azmi, i in., 2024).

Jednym z czynników lokalizacji obiektów gospodarczych jest bliskość rynku zbytu. Sąsiedztwo to nabiera nowego i kluczowego znaczenia. Staje się ponownie atutem po



doświadczeniach pandemii Covid-19 oraz w odniesieniu do poprawy odporności łańcuchów dostaw na zakłócenia.

Dotyczy to szczególnie przedsiębiorstw, które:

- produkują lub dostarczają nietrwałe dobra,
- charakteryzują się dużą elastycznością cenową podaży lub oferowanych usług,
- wytwarzają produkty, które cechuje duża zmienność popytu,
- wytwarzają lub przewożą dobra uciążliwe w transporcie.

7.4. Typowy proces decyzyjny dotyczący lokalizacji obiektu w łańcuchu dostaw

W krótkim okresie menedżer musi działać w ramach ograniczeń narzuconych mu przez lokalizację. Jednak w długim okresie lokalizacja staje się zmienną i menedżer może podejmować decyzje zmieniającą lokalizację w celu wyjścia naprzeciw wymaganiom klientów, dostawców czy zmianom narzuconym przez konkurencję.

Zewnętrzne czynniki wpływające na motywację dokonania analizy lokalizacji nowego obiektu lub zmiany lokalizacji obiektu to:

- ekspansja na nowe rynki,
- przesunięcia skupisk zamieszkania,
- zagrożenia ze strony konkurencji,
- pojawienie się nowych rynków zaopatrzenia.

Lokalizacja powinna spełniać dwa kryteria: ilościowe (kosztowe) i jakościowe. W pierwszej kolejności rozważane są kryteria ilościowe.

Wzór lokalizacji obiektu ma postać:

$$C = \frac{\sum r_i \cdot d_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot D_i \cdot M_i}{\sum r_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot M_i}$$

gdzie:

C – centrum masy

d_i – odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła surowca i

D_i – odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła rynku zbytu i

S_i – wolumen wagowy surowców nabywanych w źródłach zaopatrzenia i



M_i – wolumen wagowy wyrobów gotowych sprzedawanych na rynku i

r_i – stawka przewozowa dla wyrobu gotowego i

R_i – stawka przewozowa dla surowca i .

Formuła stosowana w Excelu:

centrum masy = $a + b / c + d$

$a = \text{SUMA} [\text{stawka przewozowa dla surowca}_{(i)} * \text{odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła surowca}_{(i)} * \text{wolumen wagowy surowca}_{(i)}]$



$b = \text{SUMA} [\text{stawka przewozowa dla wyrobu gotowego}_{(i)} * \text{odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła rynku zbytu}_{(i)} * \text{wolumen wagowy wyrobu gotowego}_{(i)}]$

$c = \text{SUMA} [\text{stawka przewozowa dla surowca}_{(i)} * \text{wolumen wagowy surowca}_{(i)}]$

$d = \text{SUMA} [\text{stawka przewozowa dla wyrobu gotowego}_{(i)} * \text{odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła rynku zbytu}_{(i)}]$

7.5. Modele grawitacyjne dezagregowane i zagregowane

Istnieje wiele wariantów modelu grawitacyjnego, które mogą posłużyć do symulacji przepływów między sprzedawcami detalicznymi a konsumentami. Wybór modelu zależy od celu jego zastosowania oraz od danych dostępnych do dopasowania modelu. Przy wyborze modelu grawitacyjnego ważnym czynnikiem jest również poziom agregacji. Interakcje zakupowe między konsumentami a sprzedawcami detalicznymi można przedstawić w modelu **dezagregowanym**, który szacuje zachowanie konsumentów. Można także przedstawić w modelu **zagregowanym**. W tym wariantcie punkty sprzedaży detalicznej w strefie są oceniane wspólnie (Schlaich, 2020). W modelach zagregowanych zanika charakterystyka poszczególnych sklepów oraz dokładne odległości między konsumentem a sprzedawcą detalicznym. Z drugiej strony agregacja na strefy znacznie zmniejsza złożoność modelu wraz ze zmniejszaniem się zestawu miejsc docelowych.



Spośród wszystkich modeli interakcji przestrzennych w handlu detalicznym model grawitacji Huffa (1963) jest jednym z najczęściej stosowanych. W swojej początkowej formie model ten oblicza prawdopodobieństwo patronatu w zależności od wielkości sklepu i odległości transportu.

W modelach grawitacyjnych istotną kwestią jest określenie zmiennej opisującej „siłę wzajemnego przyciągania” partnerów handlowych, czyli modelową zmienną objaśnianą (zależną). Modele grawitacyjne zapewniają geografom i ekonomistom elastyczne narzędzie do analizy.

7.6. Model wyważonego środka ciężkości

Metoda wyważonego środka ciężkości jest stosowana do określenia lokalizacji pojedynczego obiektu gospodarczego (np. magazynu). Uwzględnia źródła popytu o różnym znaczeniu i położeniu. Przy czym położenie jest określane przy pomocy współrzędnych (X, Y), które to współrzędne oznaczają pozycję punktu na mapie. Znaczenie zaś związane jest z np. wielkością dostaw, liczbą ludności zamieszkujących daną lokalizację lub wartości sprzedaży. Można również wykorzystać jeszcze inny wskaźnik, ważne by został dopasowany właściwie do sytuacji. Opisana metoda wykorzystuje ważone współczynniki punktu zaopatrzenia, a więc generuje na mapie punkt oznaczony współrzędnymi.

W metodzie ważonego współczynnika środka ciężkości należy korzystać z modelu:

$$X^* = \frac{\sum W_i \cdot X_i}{\sum W_i}$$

$$Y^* = \frac{\sum W_i \cdot Y_i}{\sum W_i}$$

gdzie,

X_i, Y_i – współrzędne i-tego źródła popytu

W_i – waga i-tego źródła popytu

Obliczone przy pomocy modelu współrzędne ważne (X^*, Y^*) wskazują właściwą lokalizację punktu zaopatrzenia, uwzględniając znaczenie (ważność) poszczególnych źródeł popytu.



Formuła stosowana w Excelu:



współrzędne punktu zaopatrzenia (X) = SUMA[(wskaźnik ważony źródła popytu_(i) * współrzędne X_(i))] / SUMA współrzędne X_(i)

współrzędne punktu zaopatrzenia (Y) = SUMA[(wskaźnik ważony źródła popytu_(i) * współrzędne Y_(i))] / SUMA współrzędne Y_(i)

Metoda wyważonego środka ciężkości pozwala na wyznaczenie lokalizacji jednego obiektu gospodarczego na wybranym obszarze geograficznym. Metoda jest prosta w zastosowaniu i sprowadza się do wyznaczenia dwóch parametrów na siatce geograficznej.

Rozwinięciem tej metody jest model:

$$Współrzędne_{(X,Y)} = \frac{\sum r_i \cdot d_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot D_i \cdot M_i}{\sum r_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot M_i}$$

gdzie,

$Współrzędne_{(X,Y)}$ – środek ciężkości

r_i – stawka przewozowa dla wyrobu gotowego i

d_i – odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła surowca i

S_i – wolumen wagowy surowców nabywanych w źródłach zaopatrzenia i

R_i – stawka przewozowa dla surowca i

D_i – odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła rynku zbytu i

M_i – wolumen wagowy wyrobów gotowych sprzedawanych na rynku i

Obliczenia są wykonywane dla współrzędnych pionowych i poziomych.

Formuła stosowana w Excelu:



Licznik_(X) = SUMA (stawka przewozowa dla wyrobu gotowego_(i) * odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła surowca_(xi) * wolumen wagowy surowców nabywanych w źródłach zaopatrzenia_(i)) + SUMA (stawka przewozowa dla surowca_(i) * odległość od punktu 0 na siatce



do punktu lokalizacji źródła rynku zbytu_(xi) * wolumen wagowy wyrobów gotowych sprzedawanych na rynku_(i))

Mianownik = SUMA (stawka przewozowa dla wyrobu gotowego_(i) * wolumen wagowy surowców nabywanych w źródłach zaopatrzenia_(i)) + SUMA (stawka przewozowa dla surowca_(i) * wolumen wagowy wyrobów gotowych sprzedawanych na rynku_(i))

współrzędne punktu zaopatrzenia (X) = Licznik_(x) / Mianownik

Licznik_(y) = SUMA (stawka przewozowa dla wyrobu gotowego_(i) * odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła surowca_(yi) * wolumen wagowy surowców nabywanych w źródłach zaopatrzenia_(i)) + SUMA (stawka przewozowa dla surowca_(i) * odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła rynku zbytu_(yi) * wolumen wagowy wyrobów gotowych sprzedawanych na rynku_(i))

Mianownik = SUMA (stawka przewozowa dla wyrobu gotowego_(i) * wolumen wagowy surowców nabywanych w źródłach zaopatrzenia_(i)) + SUMA (stawka przewozowa dla surowca_(i) * wolumen wagowy wyrobów gotowych sprzedawanych na rynku_(i))

współrzędne punktu zaopatrzenia (Y) = Licznik_(y) / Mianownik

7.7. Model grawitacyjny w handlu międzynarodowym

Tinbergen (1962) jako pierwszy przełożył intuicyjne wyjaśnienie dwustronnych przepływów handlowych w handlu międzynarodowym. Jego odkrycia położyły podwaliny pod współczesny model grawitacji, który zakłada, że handel między narodami jest wprost



proporcjonalny do wielkości ich gospodarek i odwrotnie proporcjonalny do kosztów handlu. Należy to rozumieć następująco:

- od większych krajów oczekuje się większej wymiany handlowej,
- od krajów, które są bardziej oddalone od siebie, oczekuje się, że będą handlować mniej (prawdopodobnie z powodu wyższych kosztów handlu).

Od tego czasu model ten jest szeroko stosowany w literaturze branżowej, w celu wyjaśnienia przepływów w handlu międzynarodowym. Ze względu na skuteczność modelu grawitacyjnego w badaniach handlowych, zaobserwowaliśmy znaczny wzrost zastosowania modelu grawitacyjnego do oceny różnych aspektów handlu międzynarodowego (Azmi, i in. 2024).

$$X_{ij} = \alpha_i + \beta_1 \cdot GDP_i + \beta_2 \cdot GDP_j + \beta_3 \cdot TC_{ij} + \mu_i$$

gdzie:

X_{ij} – przepływ w handlu międzynarodowym z kraju I do kraju J

GDP_i i GDP_j – produkt krajowy brutto kraju pochodzenia i kraju przeznaczenia

TC_{ij} – koszt handlu między dwoma krajami, oszacowane przez odległość geograficzną między stolicami

μ_i – błąd losowy

α_i – punkt przecięcia modelu

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ - współczynniki mierzące wpływ zmiennych objaśniających.

Formuła stosowana w Excelu:



przepływ w handlu = punkt przecięcia + współczynnik₍₁₎ * dochód eksportującego kraju + współczynnik₍₂₎ * dochód importującego kraju + współczynnik₍₃₎ * koszt handlu między dwoma krajami + błąd losowy

Znane są również różne warianty prezentowanego modelu. Poniżej jeden z nich:

$$X_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot y_i + \beta_2 \cdot y_j + \beta_3 \cdot n_j + \beta_4 \cdot n_i + \beta_5 \cdot d_{i,j} + \beta_6 \cdot D_{ij} + \mu_{ij}$$

gdzie

X_{ij} – przepływ w handlu (eksport lub import z kraju i do kraju j)



y_i – dochód eksportującego kraju i

y_j – dochód importującego kraju j

n_j – populacja kraju i, j

$d_{i,j}$ – odległość między krajami i i j

D_{ij} – zmienna zero-jedynkowa o wartości 1, jeśli kraje i i j są członkami określonych preferencyjnych obszarów handlowych, oraz 0 jeśli jest inaczej

β_0 – reprezentuje punkt przecięcia

$\beta_1 - \beta_6$ – odpowiednio współczynniki $y_i, y_j, n_j, n_i, d_{i,j}, D_{ij}$

μ_i – błąd losowy

Formuła stosowana w Excelu:



przepływ w handlu = punkt przecięcia + współczynnik₍₁₎ * dochód eksportującego kraju + współczynnik₍₂₎ * dochód importującego kraju + współczynnik₍₃₎ * populacja kraju j + współczynnik₍₄₎ * populacja kraju i + współczynnik₍₅₎ * odległość między krajami + współczynnik₍₆₎ * zmienna zero-jedynkowa + błąd losowy

7.8. Grawitacyjny model lokalizacji obiektów konkurencyjnych

Większość konkurencyjnych modeli lokalizacji obiektów zakłada, że cała dostępna siła nabywcza jest dzielona między konkurencyjne obiekty.

Motywy przewodnim wszystkich konkurencyjnych modeli lokalizacji jest istnienie wzajemnych powiązań między czterema zmiennymi: siłą nabywczą (popytem), odległością, atrakcyjnością obiektu i udziałem w rynku. Pierwsze wskazane zmienne są zmiennymi niezależnymi, natomiast udział w rynku jest zmienną zależną.

Każdy konkurujący ze sobą obiekt np. handlowy ma "strefę wpływów". Jest ona określona przez jego poziom atrakcyjności. Atrakcyjniejsze obiekty mają większy promień strefy wpływów. Siła nabywcza wydatkowana przez konsumenta w strefie wpływów kilku obiektów jest równo dzielona między konkurujące ze sobą obiekty (Drezner i Drezner, 2016).



Konkurencyjne modele lokalizacji mają szereg zastosowań, np. umożliwiają lokalizację centrów handlowych, sklepów (np. spożywczych, specjalistycznych – AGD; obuwie; księgarnie; komputery, biżuteria...), restauracje (fast food, kawiarnie, lodziarnie...), stacje benzynowe, oddziały banków i inne.

7.9. Model grawitacyjny dla międzykontynentalnego łańcucha dostaw

Modele grawitacyjne mogą służyć jako odpowiednie narzędzia oceny do szacowania dostaw ładunków do portów, przy czym ważną rolę odgrywają czas i koszty związane z odległością (Wang i Li, 2021). Aby przeanalizować wzorce interakcji regionów sprzedaży detalicznej związane z różnymi aglomeracjami Reilly stworzył model grawitacyjny przepływów towarowych jako:

$$X_{ij} = \alpha \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}^2}$$

gdzie:

X_{ij} – przepływ w łańcuchu dostaw

d_{ij} – odległość przestrzenna

P_i, P_j – populacja w miejscu pochodzenia i i miejsca docelowego j

α – współczynnik grawitacyjny, stała równa 1

Formuła stosowana w Excelu:



**przepływ w łańcuchu dostaw = współczynnik grawitacyjny *
populacja w miejscu pochodzenia_(i) * populacja w miejscu
pochodzenia_(j) / odległość przestrzenna²**

W modelu tym znane jest położenie wszystkich miast węzłowych. Przyciąganie grawitacyjne między miastami można określić na podstawie wielkości miasta i odległości przestrzennej.



Pytania do rozdziału

1. Jakie zewnętrzne czynniki wpływają na decyzję o zmianie lokalizacji obiektu?
2. Jakie są główne zalety i ograniczenia stosowania różnych wariantów modelu grawitacyjnego w symulacji przepływów między sprzedawcami detalicznymi a konsumentami?

LITERATURA

Azmi, S. N., Khan, K. H., i Koch, H. (2024). Assessing the effect of INSTC on India's trade with Eurasia: an application of gravity model. *Cogent Economics & Finance*, 12(1).

Bergstrand J.H. (1989) The generalized gravity equation, monopolistic competition, and the factor-proportions theory in international trade, *Review of Economics and Statistics*, 71(1), 143-153.

Bułkowska M. (2018) Model grawitacyjny w handlu zagranicznym: wybrane aspekty teoretyczne i metodyczne. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, (529), 39-47.

Drezner, T., i Drezner, Z. (2016). Sequential location of two facilities: Comparing random to optimal location of the first facility. *Annals of Operations Research*, 246, 1-15.

Duanmu J., Foytik P., Khattak A. i Robinson R.M. (2012) Distribution analysis of freight transportation with gravity model and genetic algorithm. *Transportation research record*, 2269(1), 1-10.

Govindan K., Fattahi M. i Keyvanshokoo E. (2017) Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions, *European Journal of Operational Research*, 263(1), 108-141.

Grzybowska K. i Stachowiak A. (2022) Global changes and disruptions in supply chains – preliminary research to sustainable resilience of supply chains. *Energies*, 15 (art. 4579), 1-15.

Huff, D. L. (1963). A probabilistic analysis of shopping center trade areas. *Land economics*, 39(1), 81-90.



Kong F., Yin H., Nakagoshi N. i Zong Y. (2010) Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and urban planning*, 95(1-2), 16-27.

Puertas R., Martí L. i García L. (2014) Logistics performance and export competitiveness: European experience. *Empirica*, 41, 467-480.

Reilly, W. J. (1929). *Methods for the study of retail relationships* (Vol. 44). Austin: University of Texas, Bureau of Business Research.

Schlaich T., Horn A.L., Fuhrmann M. i Friedrich H.(2020) A Gravity-Based Food Flow Model to Identify the Source of Foodborne Disease Outbreaks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17(2):444. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020444>

Stewart J.Q. (1948) Demographic gravitation: evidence and applications. *Sociometry* 11(1/2), 31-58.

Tinbergen J. (1962) *Shaping The World Economy Suggestions for an International Economic Policy*, The Twentieth Century Fund, New York.

Wang H. i Li M. (2021) Improved gravity model under policy control in regional logistics. *Measurement and Control*, 54(5-6), 811-819. doi:10.1177/0020294020919849

Zhu X. i Fan Y. (2017) Research on the construction of regional hub-and-spoke logistics network in Guangxi under the gravity model. *Bus Econ Res*, 9, 214-217.