

Anna Turczak*

Zachodniopomorska Szkoła Biznesu w Szczecinie¹

Patrycja Zwiech**

Uniwersytet Szczeciński²

OPTIMALIZACJA LOKALIZACJI DLA NOWOPOWSTAŁEGO OBIEKTU

STRESZCZENIE

Celem artykułu jest przedstawienie metody wyboru lokalizacji nowego obiektu oraz wykazanie jej przydatności w praktyce. Proponowany sposób może zostać wykorzystany do porównania kilku wariantów lokalizacji nowopowstałego zakładu produkcyjnego, centrum dystrybucji, sklepu detalicznego, hurtowni czy magazynu. Przy wyborze umiejscowienia nowego obiektu należy uwzględnić wiele różnych czynników, które będą miały wpływ na jego przyszłą działalność, ale przede wszystkim powinno się brać pod uwagę jego odległość od źródeł zaopatrzenia i rynków zbytu. W artykule wykazano, że średnia ważona odległość jest miarą, która może służyć porównaniu kilku wariantów zlokalizowania projektowanego obiektu.

Słowa kluczowe: wybór lokalizacji, współrzędne optymalnego punktu lokalizacji, koszty transportu, średnia ważona odległość, model matematyczny

* Adres e-mail: aturczak@zpsb.szczecin.pl

** Adres e-mail: patrycjazwiech@tlen.pl

Wstęp

Wybór lokalizacji jest jedną z najważniejszych decyzji projektowych związanych z utworzeniem nowego zakładu produkcyjnego, centrum dystrybucji, sklepu detalicznego, hurtowni czy magazynu [Stoner, Wankel 1996, 179]. Decyzja lokalizacyjna ma bowiem ogromny wpływ na późniejsze działanie nowopowstałego obiektu i determinuje jego rozwój w długim okresie [Krawczyk 2011, 372]. Celem inwestora będzie takie zlokalizowanie swojego przedsięwzięcia, aby do minimum ograniczyć wielkość kosztów (w tym koszty późniejszej dystrybucji) oraz maksymalnie wykorzystać szanse, jakie stwarzają warunki otoczenia [Jasiński 2005, 37].

Przy wyborze umiejscowienia nowego obiektu powinno się uwzględniać szereg różnorodnych czynników, które w większym bądź mniejszym zakresie będą rzutowały na możliwości i koszty działalności tworzonej jednostki. Wśród tych czynników można wymienić między innymi [Grzybowska 2009, 178–179]:

- a) bariery oraz ułatwienia rozwoju gospodarczego na danym terenie;
- b) lokalne przepisy i podatki;
- c) koszty gruntów i dostępność miejsca na ewentualną późniejszą rozbudowę;
- d) poziom umiejętności pracowników pozyskiwanych na danym rynku w relacji do stawek ich wynagrodzeń (korzystny będzie jak najwyższy stosunek kwalifikacji rekrutowanych pracowników do kosztów ich zatrudnienia) [Pierścionek 1996, 321];
- e) relacje z instytucjami i władzami lokalnymi;
- f) uzbrojenie terenu oraz dostępność usług komunalnych i telekomunikacyjnych koniecznych do funkcjonowania nowego obiektu;
- g) warunki klimatyczne i ukształtowanie terenu;
- h) spełnienie wszelkich wymogów bezpieczeństwa (np. dotyczących ryzyka powodzi czy podtopień);
- i) dostępność usług transportowych i ceny takich usług;
- j) udogodnienia infrastrukturalne, dostępność nowoczesnej sieci komunikacyjnej, wysoką jakość dróg transportowych i możliwość bezkolizyjnych przejazdów, co będzie rzutowało na sprawność realizacji dostaw od podmiotów zaopatrujących i wysyłek do klientów [Śliwczyński 2008, 117].

Jeśli w oparciu o wymienione powyżej kryteria wyselekcjonowanych zostało kilka potencjalnych lokalizacji o równorzędnej bądź porównywalnej atrakcyjności,

powstaje problem wskazania najlepszej z nich w oparciu o obiektywne i merytorycznie uzasadnione kryterium¹. W takim przypadku należałoby wybrać taki wariant z grupy rozpatrywanych, dla którego całkowite koszty transportu ponoszone przez nowopowstały obiekt są najniższe. Ograniczenie kosztów transportu pozwoli bowiem na wzrost efektywności realizowanego przedsięwzięcia inwestycyjnego [Brzeziński 2006, 195]. Zaleca się zatem wskazanie tego miejsca, dla którego łączne koszty transportu do obiektu (czyli z rynków zaopatrzenia) i od obiektu (czyli na rynki zbytu) byłyby najniższe z możliwych.

Celem niniejszego artykułu jest zaproponowanie metody wyboru lokalizacji nowopowstałego obiektu oraz wykazanie jej aplikacyjności. Przedstawioną metodę przetestowano w praktyce do porównania dwóch wariantów lokalizacji nowego magazynu przedsiębiorstwa „Z”². W artykule stawia się hipotezę, iż średnia ważona odległość jest miarą, która może służyć porównaniu kilku wariantów umiejscowienia nowego obiektu, a także, że decyzja podjęta na podstawie średniej ważonej odległości będzie taką samą decyzją, jak ta podjęta na podstawie wartości całkowitych kosztów transportu. W ramach artykułu zrealizowano następujące zadania:

- a) zbudowano formułę pozwalającą na określenie odległości między nowym obiektem a jego poszczególnymi dostawcami (odbiorcami);
- b) zdefiniowano funkcję mierzącą całkowite koszty transportu, obciążające nowopowstałą jednostkę;
- c) wyprowadzono formułę służącą wyznaczeniu średniej ważonej odległości dla każdego z rozpatrywanych wariantów;
- d) porównano średnią ważoną odległość otrzymaną dla wybranego wariantu z minimalną wartością takiej odległości możliwą do uzyskania dla istniejących lokalizacji dostawców i odbiorców, stawek przewozowych i wielkości przewozów.

¹ Rozwiązanie zadania lokalizacji za pomocą modelu matematycznego zostało po raz pierwszy zaproponowane przez Alfreda Webera [Weber 1909, za: Krawczyk 2001, 97]. Jego model jako narzędzie szukania najlepszej lokalizacji zarówno dla magazynów, terminali, jak i zakładów produkcyjnych, został szeroko opisany w publikacjach dotyczących problematyki transportowej i logistycznej.

² Nazwa przedsiębiorstwa została zmieniona.

Matematyczny opis problemu decyzyjnego

Niech tworzony magazyn³ ma n dostawców oraz m odbiorców. Współrzędne na płaszczyźnie każdego z n dostawców oznaczono przez x_{iD} i y_{iD} ($i = 1, 2, \dots, n$), a współrzędne każdego z m odbiorców oznaczono przez x_{jO} i y_{jO} ($j = 1, 2, \dots, m$). Wielkości dostaw od poszczególnych dostawców do nowego magazynu wynoszą q_{iD} , a z tego magazynu do poszczególnych odbiorców – q_{jO} . Wielkości q_{iD} i q_{jO} są planowanymi wartościami średnimi za przyjęty okres (na przykład za tydzień, miesiąc czy rok). Znane są również stawki przewozowe dotyczące transportu od poszczególnych dostawców (p_{iD}) oraz stawki przewozowe dotyczące transportu do poszczególnych odbiorców (p_{jO})⁴.

Rozpatrywane są dwa potencjalne warianty lokalizacji dla nowego obiektu – wariant A i wariant B. Współrzędne punktu na płaszczyźnie dla wariantu A to x_A i y_A , a współrzędne dla wariantu B – odpowiednio x_B i y_B . Postawionym zadaniem jest wybór tego wariantu, dla którego całkowite koszty transportu ponoszone przez nowopowstały obiekt są niższe. Narzędziem analitycznym, w oparciu o które wybrany zostanie lepszy z wariantów, będzie średnia ważona odległość.

Odległość euklidesową⁵ między i -tym dostawcą a nowym magazynem umiejscowionym w punkcie A można obliczyć ze wzoru⁶:

$$d_{iD;A} = \sqrt{(x_{iD} - x_A)^2 + (y_{iD} - y_A)^2}$$

³ Opisujący problem decyzyjny może dotyczyć wyboru lokalizacji nie tylko nowopowstałego magazynu, lecz również zakładu produkcyjnego, centrum dystrybucji, sklepu detalicznego czy hurtowni. Bez względu jednak na to, który z wymienionych obiektów będzie rozważany, do rozwiązania problemu decyzyjnego można zastosować ten sam model matematyczny.

⁴ Zasadniczą kwestią przy budowie modelu, który ma służyć znalezieniu najlepszej lokalizacji dla nowopowstałego obiektu, jest zidentyfikowanie i przypisanie wag kluczowym zmiennym, które mają wpływ na podejmowaną decyzję [zob. Gorecki 2010: http://sites.duke.edu/urbaneeconomics/files/2010/11/Gorecki_Econ245_DurhamPaper.pdf, dostęp: 14.12.2014]

⁵ Odległość euklidesowa między dwoma punktami na płaszczyźnie jest równa długości odcinka, który je łączy [Milewski 2013, 58].

⁶ Zgodnie z twierdzeniem Pitagorasa odległość $d(P, Q)$ dwóch dowolnych punktów $P = (x_1, y_1)$ i $Q = (x_2, y_2)$ w przestrzeni dwuwymiarowej można wyznaczyć ze wzoru: $d(P, Q) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ [Kozarzewski i in. 2000, 11].

gdzie:

- x_{iD} – współrzędne i -tego dostawcy;
- x_A, y_A – współrzędne punktu A;
- $d_{iD;A}$ – odległość między i -tym dostawcą a punktem A.

Analogicznie obliczyć można odległość między j -tym odbiorcą a nowym magazynem znajdującym się w punkcie A.

Koszty transportu zależą od trzech czynników [Gołomska 2006, 140–141]: wielkości dostaw (np. w tonach), stawek przewozowych (np. w zł za tonokilometr) oraz odległości (w kilometrach). Wtedy koszty transportu – od czy do kooperanta – stanowią iloczyn trzech wymienionych czynników i wyrażone są w zł ($t \times \text{zł}/\text{tkm} \times \text{km} = \text{zł}$). Toteż, całkowite koszty transportu dla wariantu A będą sumą iloczynów poszczególnych odległości $d_{iD;A}$ ($d_{jO;A}$), przewożonych ilości q_{iD} (q_{jO}) i jednostkowych kosztów transportu (tzw. stawek przewozowych) p_{iD} (p_{jO}), czyli:

$$F_A = \sum_{i=1}^n d_{iD;A} q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m d_{jO;A} q_{jO} p_{jO}$$

gdzie:

- F_A – całkowite koszty transportu w przypadku wyboru wariantu A;
- q_{iD} – wielkość dostaw od i -tego dostawcy;
- q_{jO} – wielkość dostaw do j -tego odbiorcy;
- p_{iD} – stawka przewozowa dotycząca transportu od i -tego dostawcy;
- p_{jO} – stawka przewozowa dotycząca transportu do j -tego odbiorcy.

W przedstawionym modelu poczynione zostało założenie, iż przewożone ilości oraz stawki przewozowe są stałe, a zmienne są jedynie poszczególne odległości, gdyż zależą od umiejscowienia danego punktu lokalizacji na mapie. Oznacza to, że funkcja F zbudowana dla wariantu A różni się od funkcji F zbudowanej dla wariantu B tylko poszczególnymi odległościami d .

Średnia ważona odległość \bar{d}_A jest taką odległością, która – w przypadku zastąpienia nią w wyrażeniu:

$$F_A = \sum_{i=1}^n d_{iD;A} q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m d_{jO;A} q_{jO} p_{jO}$$

wszystkich wartości $d_{iD;A}$ oraz wszystkich wartości $d_{jO;A}$ – da tę samą wartość funkcji F_A ⁷. Zatem:

$$\sum_{i=1}^n \bar{d}_A q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m \bar{d}_A q_{jO} p_{jO} = \sum_{i=1}^n d_{iD;A} q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m d_{jO;A} q_{jO} p_{jO}$$

I dalej:

$$\bar{d}_A \left(\sum_{i=1}^n q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m q_{jO} p_{jO} \right) = \sum_{i=1}^n d_{iD;A} q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m d_{jO;A} q_{jO} p_{jO}$$

Podzielenie obu stron uzyskanego równania przez wyrażenie w nawiasie daje ostateczną formułę na średnią ważoną odległość między punktem A oraz wszystkimi kooperantami nowopowstałego magazynu:

$$\bar{d}_A = \frac{\sum_{i=1}^n d_{iD;A} q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m d_{jO;A} q_{jO} p_{jO}}{\sum_{i=1}^n q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m q_{jO} p_{jO}}$$

Dla punktu B zaproponowane wzory będą prezentowały się analogicznie jak dla punktu A.

Postawionym w artykule zadaniem jest wybór tej lokalizacji, dla której całkowite koszty transportu ponoszone przez analizowany magazyn będą niższe. W przypadku propozycji A koszty te wynoszą F_A , a w przypadku propozycji B – F_B . Ponieważ:

$$F_A = \bar{d}_A \left(\sum_{i=1}^n q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m q_{jO} p_{jO} \right) \quad \text{oraz} \quad F_B = \bar{d}_B \left(\sum_{i=1}^n q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m q_{jO} p_{jO} \right)$$

toteż wybór niższej wartości funkcji F oznacza w zasadzie wybór niższej wartości \bar{d} , ponieważ czynnik $\sum_{i=1}^n q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m q_{jO} p_{jO}$ jest identyczny tak w przypadku funkcji F_A , jak i w przypadku funkcji F_B . Wynika z tego, że średnia ważona odległość może być wykorzystywana jako bardzo proste narzędzie wyboru korzystniejszej lo-

⁷ Gdyby dla pewnego zestawu obserwacji zaistniała konieczność zmiany ich wartości na wartość jednakową, która dałaby taką samą sumę jak suma obserwacji przed zmianą, to ta jednakowa wartość musiałaby być równa średniej arytmetycznej [por. Aczel 2005, 21].

kalizacji z kilku rozpatrywanych wariantów, a wybór wariantu o niższej wartości średniej ważonej odległości zapewni niższe całkowite koszty transportu. Postawiona w artykule hipoteza została więc zweryfikowana pozytywnie.

Interesująca może być również odpowiedź na pytanie, w jakim punkcie musiałby zostać umiejscowiony nowopowstały obiekt, aby dla danych lokalizacji dostawców i odbiorców oraz danych stawek przewozowych i wielkości przewozów średnia ważona odległość była minimalna oraz ile ta minimalna wartość wówczas by wynosiła. Otóż, współrzędne takiego optymalnego punktu lokalizacji byłyby następujące [por. Freund, Perles 2007, 49–50]:

$$x_{op.} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{iD} q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m x_{jO} q_{jO} p_{jO}}{\sum_{i=1}^n q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m q_{jO} p_{jO}}, \quad y_{op.} = \frac{\sum_{i=1}^n y_{iD} q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m y_{jO} q_{jO} p_{jO}}{\sum_{i=1}^n q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m q_{jO} p_{jO}}$$

Z budowy powyższych wzorów wynika, że im stawki przewozowe p_{iD} są wyższe w stosunku do stawek przewozowych p_{jO} , tym położenie optymalnego punktu będzie bliższe miejscom lokalizacji dostawców. Natomiast, im stawki przewozowe p_{jO} są wyższe w stosunku do stawek przewozowych p_{iD} , tym położenie optymalnego punktu będzie bliższe miejscom lokalizacji odbiorców. Zatem zróżnicowanie stawek przewozowych przesuną optymalny punkt lokalizacji w kierunku tych kooperantów, w przypadku których transport odbywa się po wyższych stawkach. W ten sposób skracają się bowiem długości tych tras, na których przewóz realizowany jest po wyższych stawkach, a wydłużają się długości tych tras, na których przewóz realizowany jest po niższych stawkach.

Mając już wyznaczone współrzędne $x_{op.}$ i $y_{op.}$, można obliczyć odległości między optymalnym punktem lokalizacji i poszczególnymi kooperantami, a następnie na podstawie otrzymanych odległości można wyznaczyć średnią ważoną odległość [zob. Klosem, Drexl 2004, 3]. Zatem, taką minimalną wartość średniej ważonej odległości oblicza się ze wzoru [por. Gołemska 2006, 85–86]:

$$\bar{d}_{min.} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{iD;op.} q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m d_{jO;op.} q_{jO} p_{jO}}{\sum_{i=1}^n q_{iD} p_{iD} + \sum_{j=1}^m q_{jO} p_{jO}}$$

gdzie:

$\bar{d}_{\min.}$ – minimalna średnia ważona odległość;

$d_{iD,op.}$ – odległość między i -tym dostawcą a optymalnym punktem lokalizacji;

$d_{jO,op.}$ – odległość między j -tym odbiorcą a optymalnym punktem lokalizacji.

Każdy punkt lokalizacji o współrzędnych innych niż $x_{op.}$ i $y_{op.}$ da więc wyższy wynik średniej ważonej odległości od tego uzyskanego z podanej powyższej formuły. Co za tym idzie, również wartość całkowitych kosztów transportu ponoszonych przez nowopowstały obiekt przy jakichkolwiek wartościach x i y różnych od $x_{op.}$ i $y_{op.}$ będzie wyższa od minimalnej.

Opisane powyżej metody zastosowane zostały przez autorki artykułu w praktyce do ustalenia ostatecznej lokalizacji magazynu centralnego przedsiębiorstwa handlowego „Z”.

Przykład użycia średniej ważonej odległości do wyboru korzystniejszej lokalizacji

Przedsiębiorstwo handlowe „Z” prowadzi cztery sklepy sprzedaży detalicznej, a głównymi jego dostawcami są trzej producenci. Opisany podmiot gospodarczy zamierza utworzyć magazyn centralny jako podstawowe źródło zaopatrzenia swoich sklepów, a ponieważ chce, aby łączne koszty transportu (tj. koszty transportu masy towarowej od producentów do planowanego magazynu i następnie do wspomnianych sklepów detalicznych) były jak najmniejsze, powstaje problem, gdzie ten magazyn zlokalizować⁸.

W tabeli 1 umieszczono niezbędne informacje na temat umiejscowienia poszczególnych dostawców i odbiorców, planów przedsiębiorstwa dotyczących wielkości średnich miesięcznych przewozów oraz wartości stawek przewozowych, które będą obciążały nowopowstały magazyn.

⁸ Decyzja jest zawsze wyborem jednego z możliwych w danej sytuacji wariantu działania. Wobec konieczności dokonywania wyborów stawiają ludzi sytuacje decyzyjne, czyli takie, które charakteryzuje istnienie wielości (przynajmniej dwóch) możliwych sposobów działania oraz przymus wybrania jednego z nich (nie można jednocześnie zrealizować wszystkich lub kilku) [Kozłowski, Piotrowski 1995, 88].

Tabela 1. Dane o poszczególnych dostawcach i odbiorcach

DOSTAWCY	Podaż dostawców q_{iD}	Obowiązujące stawki przewozowe p_{iD}	Pierwsza współrzędna x_{iD}	Druga współrzędna y_{iD}
Dostawca 1	848	2	5	4
Dostawca 2	920	1,6	6	10
Dostawca 3	112	2,5	11	6

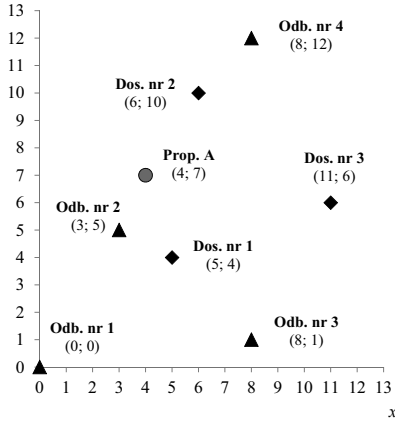
ODBIORCY	Popyt odbiorców q_{jO}	Obowiązujące stawki przewozowe p_{jO}	Pierwsza współrzędna x_{jO}	Druga współrzędna y_{jO}
Odbiorca 1	459	1,8	0	0
Odbiorca 2	383	1,8	3	5
Odbiorca 3	473	1,8	8	1
Odbiorca 4	538	1,8	8	12

Źródło: opracowanie własne na podstawie informacji otrzymanych z przedsiębiorstwa „Z”.

Współrzędne jednostek wymienionych w tabeli 1 ustalone zostały na podstawie mapy, na którą naniesiono kartezjański układ współrzędnych, przy czym początek układu współrzędnych przypisano jednostce najbardziej wysuniętej na południowy zachód (czyli odbiorcy 1)⁹. Rozpatrywane są dwa warianty umiejscowienia nowego magazynu – punkt A albo punkt B. Punkt A ma współrzędne: $x_A = 4$, $y_A = 7$, a współrzędne punktu B są następujące: $x_B = 9$, $y_B = 6$. Postawionym zadaniem jest wybór – w oparciu o położenie wszystkich trzech dostawców i czterech odbiorców – takiego punktu lokalizacji, który byłby korzystniejszy dla nowego magazynu. Na rys. 1 przedstawiono umiejscowienie nowego magazynu w wariantcie A, a na rys. 2 – w wariantcie B.

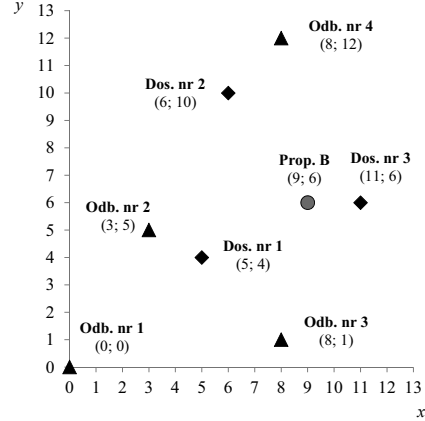
⁹ Dzięki temu zabiegowi wszystkie obiekty będą znajdowały się w pierwszej ćwiartce układu współrzędnych, a zatem współrzędne x i y poszczególnych obiektów będą miały wartości nieujemne [Śliwczyński 2008, 115].

Rys. 1. Propozycja lokalizacji A



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2. Propozycja lokalizacji B



Źródło: opracowanie własne.

Odległości euklidesowe między poszczególnymi dostawcami/odbiorcami a punktem A wynoszą [por. Sydsæter, Hammond 1995, 49–50]:

$$\text{punkt A i dostawca 1: } d_{1D;A} = \sqrt{(x_{1D} - x_A)^2 + (y_{1D} - y_A)^2} \approx \mathbf{3,16} ;$$

$$\text{punkt A i dostawca 2: } d_{2D;A} = \sqrt{(x_{2D} - x_A)^2 + (y_{2D} - y_A)^2} \approx \mathbf{3,61} ;$$

$$\text{punkt A i dostawca 3: } d_{3D;A} = \sqrt{(x_{3D} - x_A)^2 + (y_{3D} - y_A)^2} \approx \mathbf{7,07} ;$$

$$\text{punkt A i odbiorca 1: } d_{1O;A} = \sqrt{(x_{1O} - x_A)^2 + (y_{1O} - y_A)^2} \approx \mathbf{8,06} ;$$

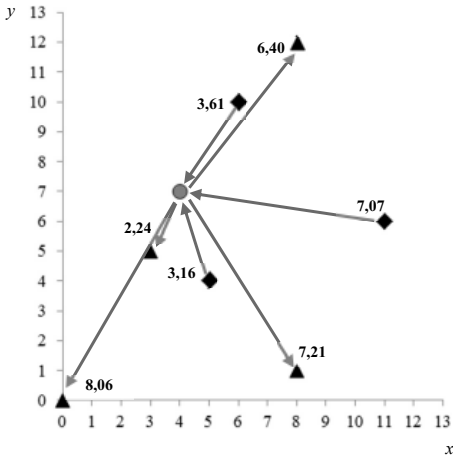
$$\text{punkt A i odbiorca 2: } d_{2O;A} = \sqrt{(x_{2O} - x_A)^2 + (y_{2O} - y_A)^2} \approx \mathbf{2,24} ;$$

$$\text{punkt A i odbiorca 3: } d_{3O;A} = \sqrt{(x_{3O} - x_A)^2 + (y_{3O} - y_A)^2} \approx \mathbf{7,21} ;$$

$$\text{punkt A i odbiorca 4: } d_{4O;A} = \sqrt{(x_{4O} - x_A)^2 + (y_{4O} - y_A)^2} \approx \mathbf{6,40} .$$

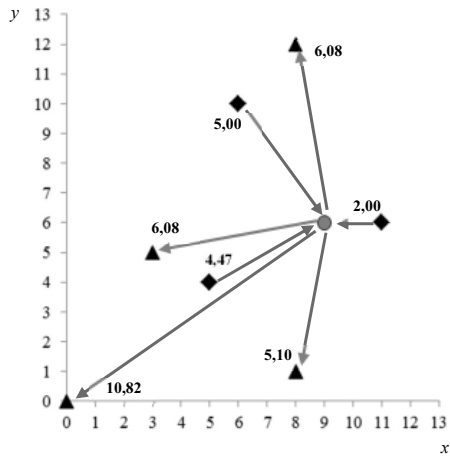
Natomiast odległości między dostawcami/odbiorcami a punktem B wynoszą odpowiednio: 4,47; 5,00; 2,00; 10,82; 6,08; 5,10; 6,08. Na rys. 3 zaprezentowano wszystkie odległości obliczone dla wariantu A, a na rys. 4 dla wariantu B [por. Becker i in. 2004, 81–82].

Rys. 3. Odległości dla wariantu A



Źródło: opracowanie własne
na podstawie rys. 1.

Rys. 4 Odległości dla wariantu B



Źródło: opracowanie własne
na podstawie rys. 2.

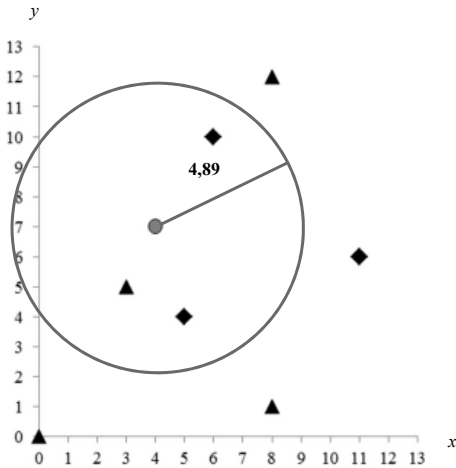
Znając już poszczególne odległości można obliczyć odległość średnią, która będzie stanowiła długość trasy. Obliczona średnia musi być średnią arytmetyczną ważoną, przy czym wagami powinny być przewożone ilości oraz stawki przewozowe (czyli jednostkowe koszty transportu). Zatem, im większe będą przewożone ilości i/lub stawki obowiązujące na danej trasie, tym długość tej trasy będzie miała większy wpływ na wynik otrzymanej średniej¹⁰. Dla punktu A średnia ta ma wartość 4,89, a dla punktu B – 5,73. Na rys. 5 zaprezentowano średnią odległość obliczoną dla propozycji A, a na rys. 6 – dla propozycji B.

Średnia ważona odległość w przypadku propozycji B jest o 17,1% większa niż średnia ważona odległość w przypadku propozycji A. Wartość funkcji F dla wariantu B (38.866,8) jest więc też o 17,1% wyższa od wartości tej funkcji dla wariantu A (33.193,4). Nie ulega zatem wątpliwości, że ze względu na niższe łączne koszty transportu masy przewożonej od dostawców oraz do odbiorców należałoby wybrać wariant A, jako ten korzystniejszy dla nowopowstałego obiektu. Toteż projektowany magazyn powinien zostać zlokalizowany w punkcie o współrzędnych (4, 7) i wówczas suma kosztów transportu, które obciążałoby ten magazyn, byłaby

¹⁰ Wpływ danej wartości na poziom średniej arytmetycznej jest tym większy, im wyższa jest waga przypisana tej wartości [por. Bielecka 2001, 102].

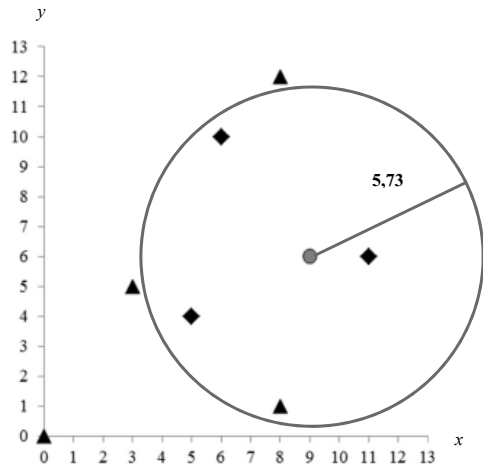
o 14,6% niższa od tych ponoszonych przez ten magazyn w przypadku zlokalizowania go w punkcie o współrzędnych (9, 6).

Rys. 5. Średnia odległość od A



Źródło: opracowanie własne
na podstawie rys. 3.

Rys. 6. Średnia odległość od B



Źródło: opracowanie własne
na podstawie rys. 4.

Warto też odpowiedzieć sobie na pytanie, czy lokalizacja wyznaczona w punkcie (4, 7) jest lokalizacją optymalną, a jeżeli nie, to jaka jest różnica między średnią długością trasy obliczoną dla wariantu A oraz średnią długością trasy obliczoną dla lokalizacji optymalnej (czyli średnią długością trasy minimalną). Otóż obliczone współrzędne punktu optymalnego wynoszą $x_{op.} \approx 5,46$ oraz $y_{op.} \approx 5,76$ i wówczas odległości między dostawcami/odbiorcami, a punktem optymalnym to: 1,82; 4,27; 5,55; 7,94; 2,57; 5,40; 6,73. Wtedy średnia długość trasy obliczona dla wariantu optymalnego jest na poziomie $\bar{d}_{min.} \approx 4,48$. Oznacza to, że średnia ważona odległość w przypadku wyselekcjonowanej i zaakceptowanej propozycji A jest o 9,3% większa od najniższej wartości możliwej w tych warunkach do osiągnięcia.

Podsumowanie

Przy wyborze spośród kilku wariantów najlepszej lokalizacji nowego zakładu produkcyjnego, centrum dystrybucji, sklepu detalicznego, hurtowni czy magazynu

powinno się brać pod uwagę m.in. odległości nowotworzonej jednostki od poszczególnych źródeł zaopatrzenia oraz od rynków zbytu. Jako kryterium wyboru miejsca lokalizacji nowopowstałego obiektu można przyjąć minimalizację całkowitych kosztów transportu, które miałyby w przyszłości ten obiekt obciążać. A zatem jeśli rozważanych jest kilka potencjalnych opcji dotyczących umiejscowienia nowego punktu, należałoby dla każdej z rozpatrywanych możliwości obliczyć wartość całkowitych kosztów transportu obciążających nowy obiekt i wybrać ten wariant, dla którego uzyskany wynik będzie miał niższą wartość. W niniejszym artykule wykazano, że przy przyjęciu pewnych założeń porównanie średniej ważonej odległości obliczonej dla każdego z wariantów pozwala na podjęcie takiej samej decyzji, jak porównanie łącznych kosztów transportu pomiędzy wariantami, stąd kryterium decyzyjne w postaci minimalizacji tych kosztów może zostać zastąpione kryterium decyzyjnym w postaci minimalizacji średniej ważonej odległości.

W przedstawionym w artykule przykładzie przedsiębiorstwa „Z” średnia ważona odległość była miarą, która posłużyła porównaniu dwóch wariantów umiejscowienia nowego magazynu, a decyzja podjęta na podstawie średniej ważonej odległości była taką samą decyzją, jak ta podjęta na podstawie wartości całkowitych kosztów transportu. Należy jednak zaznaczyć, iż było to możliwe jedynie przy spełnieniu pewnych warunków. Oto najważniejsze z tych warunków:

- 1) Zestaw dostawców i odbiorców oraz ilości dostarczanej masy towarowej od/do poszczególnych kooperantów są takie same w przypadku każdego z rozpatrywanych wariantów lokalizacyjnych.
- 2) Stawki przewozowe obowiązujące na trasie między nowopowstałym obiektem a danym kooperantem są stałe i niezależne od dzielącej ich odległości.

Oczywiście w innych praktycznych przykładach założenia 1) i 2) nie zawsze będą spełnione, stąd proponowany w artykule model należy przyjąć jako w pełni użyteczny jedynie w przypadku prawdziwości przedstawionych założeń.

Dodatkowo w zaprezentowanych w artykule formułach obliczeniowych wszystkie odległości wyznaczono po liniach prostych i stąd nigdy nie będą się one dokładnie pokrywały z wynikami, które by uzyskano poruszając się po liniach dróg. Wobec tego należy liczyć się z faktem, iż rzeczywiste długości tras (a więc i związane z nimi koszty przewozu) będą wyższe od odległości przyjętych w opracowanym tutaj modelu [Skowronek, Sarjusz-Wolski 2008, 239]. Model ten można jednak potraktować jako pewien punkt wyjścia, a następnie dowolnie modyfikować go do-

stosowując do zaistniałych potrzeb. W konkretnych warunkach korzystania z niego można więc obliczone odległości skonfrontować z aktualną siecią dróg i do dalszych obliczeń przyjąć rzeczywistą długość trasy łączącej punkty na mapie.

Literatura

- Aczel A.D. (2005), *Statystyka w zarządzaniu*, PWN, Warszawa.
- Becker A., Hącia E., Kondratowicz-Pozorska J., Machowska-Szewczyk M. (2004), *Badania operacyjne*, Stowarzyszenie Naukowe Instytut Gospodarki i Rynku, Szczecin.
- Bielecka A. (2001), *Statystyka w zarządzaniu. Opis statystyczny*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Przedsiębiorczości i Zarządzania im. Leona Koźmińskiego w Warszawie, Warszawa.
- Brzeziński M. (2006), *Logistyka w przedsiębiorstwie*, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa.
- Freund J.E, Perles B.M. (2007), *Modern Elementary Statistics*, Pearson Prentice Hall, United States of America, Upper Saddle River, New Jersey.
- Gołębska E. (2006), *Podstawy logistyki*, Wydawnictwo Naukowe Wyższej Szkoły Kulpieckiej, Łódź.
- Gorecki M., *The Optimal Business Location Model*, "Durham Paper. Urban Economics" 2010, No. 245. http://sites.duke.edu/urbaneconomics/files/2010/11/Gorecki_Econ245_DurhamPaper.pdf, (dostęp 14.12.2014).
- Grzybowska K. (2009), *Podstawy logistyki*, Wydawnictwo Difin, Warszawa.
- Jasiński Z. (2005), *Podstawy zarządzania operacyjnego*, Oficyna Ekonomiczna, Oddział Polskich Wydawnictw Profesjonalnych Sp. z o.o., Kraków.
- Klose A., Drexel A. (2004), *Facility location models for distribution system design*, "European Journal of Operational Research", <http://web.stanford.edu/class/msande312/restricted/klos04facility.pdf>, (dostęp 13.12.2014).
- Kompendium wiedzy o logistyce* (2006), red. E. Gołębska, PWN, Warszawa.
- Kozarzewski R., Matuszewski W., Zacharski J. (2000), *Matematyka dla ekonomistów. Część 2*, Wyższa Szkoła Ekonomiczno-Informatyczna w Warszawie, Warszawa.
- Koźmiński A.K., Piotrowski W. (1995), *Zarządzanie. Teoria i praktyka*, PWN, Warszawa.
- Krawczyk S., *Zarządzanie procesami logistycznymi*, PWE, Warszawa 2001.
- Logistyka. Teoria i praktyka* (2011), red. S. Krawczyk, Wydawnictwo Difin, Warszawa.
- Milewski D. (2013), *Relacje procesów logistycznych jako czynnik efektywności ekonomicznej przedsiębiorstw produkcyjnych*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin.
- Pierścionek Z. (1996), *Strategie rozwoju firmy*, PWN, Warszawa.

- Skowronek Cz., Sarjusz-Wolski Z. (2008), *Logistyka w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa.
- Stoner J.A.F., Wankel Ch. (1996), *Kierowanie*, PWE, Warszawa.
- Sydsæter K., Hammond P.J. (1995), *Mathematics for Economic Analysis*, Prentice Hall, United States of America, Upper Saddle River, New Jersey.
- Śliwczyński B. (2008), *Planowanie logistyczne*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.
- Weber A. (1909), *Über den Standort der Industrien*, Mohr, Tübingen.

OPTIMIZATION OF LOCATION FOR NEWLY ESTABLISHED FACILITY

Abstract

The purpose of this article is to present a method of choosing a location of a new facility and to prove its usefulness in practice. The suggested method can be used to compare several variants of location of a newly established manufacturing facility, distribution centre, retail store, wholesale or warehouse. When a location of a new facility is being selected, many different factors should be taken into account that will affect the future operations of the facility. Above all the distance from sources of supply and sales markets has to be taken into consideration. The article shows that the weighted average distance is a measure that can be used to compare several options of location of a newly established facility.

Translated by Anna Turczak

Keywords: choice of location, coordinates of location optimal point, transport costs, weighted average distance, mathematical model

JEL Code: L91, D23, C02

