



Mateusz Grzeziak

Uniwersytet Szczeciński
Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania
Instytut Informatyki w Zarządzaniu
Katedra Metod Komputerowych w Ekonomii Eksperymentalnej
mateusz.grzeziak@gmail.com

ZASTOSOWANIE METOD PODEJMOWANIA DECYZJI W SYSTEMIE SDSS DLA GOSPODAROWANIA WODĄ W REGIONIE

Streszczenie: Problem gospodarowania wodą ma kluczowe znaczenie dla funkcjonowania społeczności i biznesu. Możliwości usprawnienia zaopatrzenia w wodę poprzez poprawę funkcjonowania przedsiębiorstw wodociągowych można poszukiwać, konstruując zintegrowane systemy informatyczne dla tych firm.

Elementami tych systemów powinny być odpowiednio dobrane metody i modele podejmowania decyzji. Umożliwiają one dokonywanie racjonalnych wyborów odnośnie do wyboru miejsc pozyskiwania i produkcji wody, budowania i usprawniania struktury sieci wodociągowych, poprawy funkcjonowania przedsiębiorstw zaopatrzenia w wodę oraz lepszego wykorzystania urządzeń magazynujących i uzdatniających wodę.

Proponowany w artykule system SDSS (*Spatial Decision Support System*) z zaimplementowanymi metodami optymalizacyjnymi może spełnić oczekiwane wymagania pod warunkiem jego prawidłowej konstrukcji oraz zapewnienia mu zasilania informacyjnego z gminy i przedsiębiorstwa.

Słowa kluczowe: gospodarka wodą, system SDSS, podejmowanie decyzji.

Wprowadzenie

Problem gospodarowania wodą to jeden z najważniejszych problemów współczesnego świata, zarówno w skali makroekonomicznej, jak i regionalnej. Występujący również w Polsce od lat deficyt zasobów wody wymusza oszczędne gospodarowanie dostępnymi jej zasobami, ale także podejmowanie długofalowych działań na rzecz poprawy bilansu wodnego. Niestety, trwała poprawa ilości i jakości dostępnych zasobów wody w Polsce to odległa przyszłość, w dodatku uwarun-

kowana realizacją kapitałochłonnych inwestycji w infrastrukturę wodną oraz zmianami nawyków społeczeństwa i gospodarki.

W tej sytuacji podstawowym bieżącym zadaniem dla władz i instytucji odpowiedzialnych za gospodarowanie wodą pozostaje racjonalne wykorzystanie istniejących zasobów przy jednoczesnym podejmowaniu przedsięwzięć inwestycyjnych odnośnie do pozyskania i dystrybucji wody oraz korzystania z urządzeń infrastruktury wodnej. Należy pamiętać, że gospodarowanie wodą to nie tylko zapewnienie dostaw, ale i odbiór wody zużytej w celu jej oczyszczenia i odzyskania dla celów gospodarczych.

Przedmiotem zainteresowania autora i celem artykułu jest prezentacja elementów systemu informatycznego SDSS (*Spatial Decision Support System*), którego integralną częścią są procedury optymalizacyjne, umożliwiające poprawę i usprawnienie procesów dostawy i dystrybucji wody. Możliwości i ograniczenia związane ze stosowaniem tych procedur są przedmiotem dyskusji w prezentowanej pracy.

Już pobieżna obserwacja organizacji dostawy wody w gminach nasuwa myśl, że w jej trakcie dochodzi do wielu nieprawidłowości i marnotrawstwa. Dzieje się tak zarówno w trakcie pozyskiwania, czyli produkcji wody do celów bytowych i komunalnych, jak i w jeszcze większym stopniu podczas przesyłu i odbioru wody przez klientów. Nie jest to oczywiście tajemnicą, gdyż łatwo zauważyć pojawiające się ubytki wody na skutek awarii sieci przesyłowych, niedbalstwa pracowników firm wodociągowych czy niefrasobliwości użytkowników końcowych. Lekarstwem na zauważane nieprawidłowości, stosowanym w Polsce od momentu transformacji gospodarczej, było stopniowe odejście od opłat ryczałtowych i powszechny montaż indywidualnych liczników poboru wody. Dało to wymierne skutki w postaci zmniejszenia powszechnego marnotrawstwa i odczuwalnych finansowo obciążeń.

Drogą do kompleksowego uregulowania problemów niedoboru wody, zapewnienia niezawodnych i właściwych jakościowo dostaw oraz racjonalnego nią gospodarowania obecnie i w przyszłości jest zbudowanie uniwersalnego systemu regulującego wszystkie etapy procesu gospodarowania wodą – od źródła do końcowego użytkownika. W tym systemie konieczne jest uporządkowanie procedur pozyskiwania wody, racjonalny proces dystrybucji oraz dyscyplinowanie klientów poprzez przemyślaną politykę wyznaczania cen dostarczonej wody.

Ponieważ w gminach najczęściej mamy do czynienia z przedsiębiorstwem – jedynym dostawcą wody, czyli w praktyce monopolistą, stąd istotne jest uwzględnienie aspektów związanych z racjonalną gospodarką we wspomnianej firmie. Jest to możliwe, gdyż władze lokalne mają z mocy prawa istotny wpływ na jego poczynania, często są też współwłaścicielami wspomnianej firmy.

1. System SDSS jako narzędzie racjonalizacji gospodarowania wodą

Elementem spinającym składniki procesu gospodarowania wodą w gminach powinien być zdaniem autora zintegrowany system informatyczny SDSS wraz z zaimplementowanymi do niego metodami i technikami optymalizacyjnymi, który może pomóc monitorować działalność zarówno samych producentów wody, nadzorować sieci dystrybucyjne, jak również spełniać wymagania i oczekiwania klientów, w tym odbiorców końcowych. Istotę i sposób konstrukcji systemu SDSS przedstawiono w wielu publikacjach, m.in. [Shouyong i in., 1999], [Jaru-pathirun i Zahedi, 2005], [Nermend, 2008], [Kwietniewski, 2013].

W praktyce składa się on z dwóch ściśle współpracujących podsystemów: DSS (*Decision Support System*) oraz GIS (*Geographical Information System*). Pierwszy pełni rolę modułu analitycznego wspomagającego podejmowanie decyzji, drugi zaś wielowymiarowej bazy danych, niezbędnej w analizach procesów decyzyjnych.

Jedną z ważniejszych części opisywanego systemu jest baza metod i modeli służących do analizy sytuacji i generowania wariantów decyzyjnych dla wspomagania zarządzania przedsiębiorstwem wodociągowym. Jej zaletą jest możliwość uzupełniania zawartości o kolejne elementy składowe wraz z pojawianiem się kolejnych potrzeb i zadań.

Do przeprowadzania analiz potrzebne są odpowiednie dane, które w proponowanym systemie są pobierane z różnych źródeł. Pierwszym z nich jest wewnętrzna baza danych oparta na systemie GIS zawierająca kompleksowe informacje dotyczące działalności firmy oraz ciągi danych zapisywane z dużą częstotliwością. Wśród tych informacji znajdują się dane o majątku i zasobach firmy, strukturze obsługiwanej sieci wodociągowej, zatrudnionej kadrze, inwestycjach, konserwacji i remontach oraz finansowych aspektach jej działalności (np. przychody, koszty, zysk, amortyzacja, podatki itd.). Ważne ze względu na prowadzone analizy są informacje o bieżącej działalności przedsiębiorstwa, w szczególności produkcji, przepływie, podaży wody oraz o jej jakościowych parametrach. Tego rodzaju informacje powinny być zbierane systematycznie w sposób ciągły. Daje to szansę na pełną informację zarówno o popycie na wodę w ciągu całego badanego okresu, jak też na uchwycenie wszelkich nieprawidłowości, awarii i innych nieprzewidywanych sytuacji w każdym momencie w badanym przedziale czasowym. Drugim źródłem danych są zewnętrzne bazy, jak lokalne tworzone w gminach oraz ogólnopolskie, np. w GUS. Dostarczają one informacji o lokalnych planach zagospodarowania przestrzennego, liczbie i strukturze mieszkańców, działalności

gospodarczej na terenie badanej gminy, infrastrukturze technicznej oraz normach i regulacjach prawnych dotyczących badanego problemu.

Równie ważnym elementem systemu jest moduł prezentujący otrzymane wyniki w odpowiednio dopasowany sposób. Dzięki zastosowaniu technologii GIS możliwe jest otrzymywanie wyników w postaci map, schematów, wykresów, tabel, a także w dowolnie żądanym formacie pliku wyjściowego. Daje to decydentom możliwość porównywania różnych wariantów decyzyjnych, oszacowania potencjalnych kosztów podejmowanych decyzji i każdorazowo brania pod uwagę finansowych i społecznych skutków zamierzonych działań.

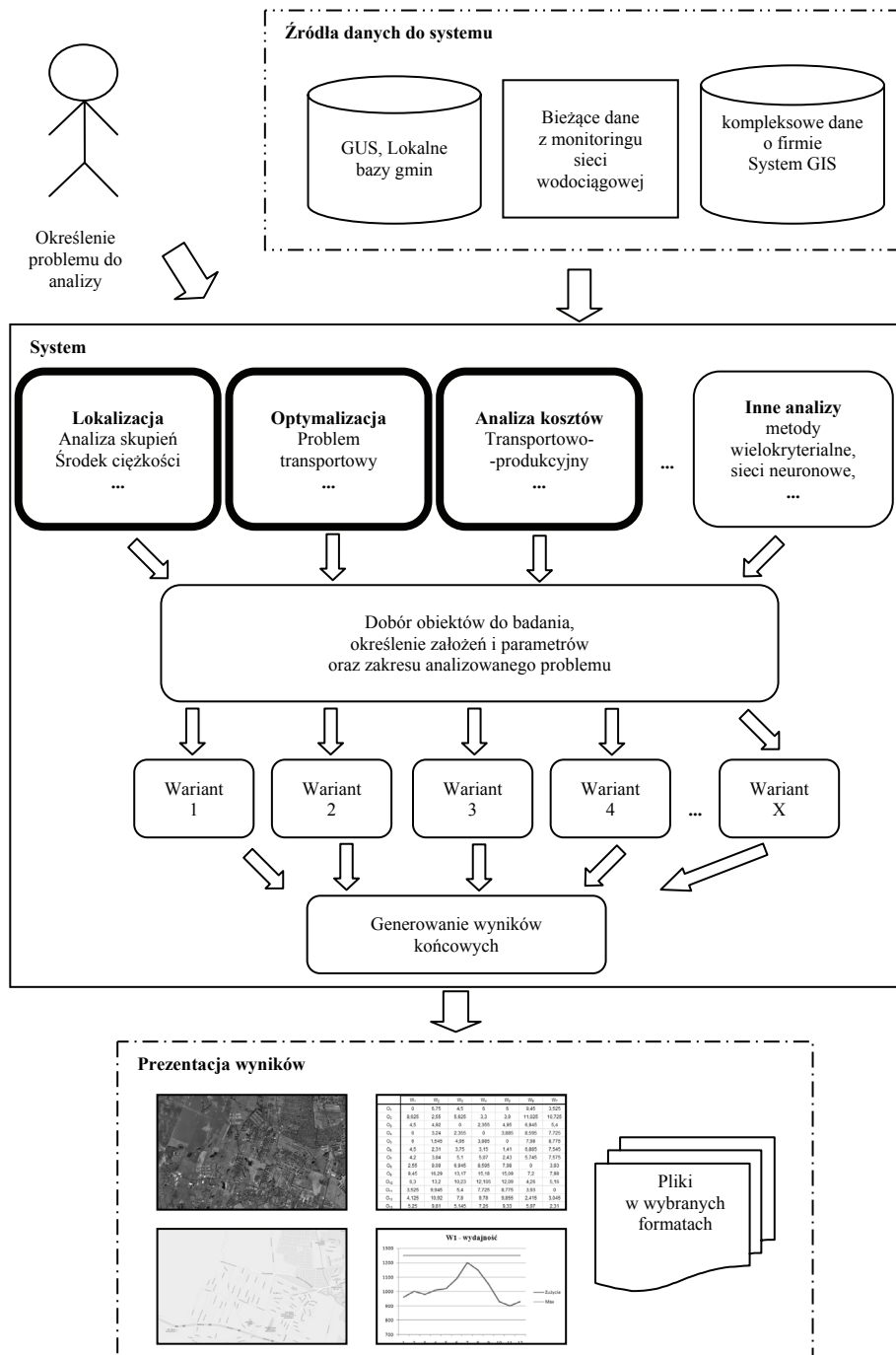
Jego podstawowym zadaniem byłoby wykonywanie analiz różnych aspektów dotyczących funkcjonowania przedsiębiorstwa wodociągowego, a także prezentacja otrzymanych wyników w wybranej przez użytkownika formie.

Ogólną koncepcję wspomnianego systemu przedstawiono na rys. 1.

Zasadnicze elementy prezentowanego systemu to składowe umożliwiające:

- generowanie rozwiązań najbardziej istotnych problemów gospodarowania wodą,
- lokalizację ujęć wody – zarówno istniejących, jak też potencjalnych,
- identyfikację przebiegu sieci i jej korekt stosownie do zmieniających się potrzeb użytkowników,
- ocenę globalnych kosztów funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę i ich znaczącą redukcję.

Istotne jest rozstrzygnięcie, które techniki optymalizacji należałoby wykorzystać przy konstrukcji tego systemu. Trzeba wziąć pod uwagę, że posługiwać się nimi będą służby na szczeblu gmin, a więc muszą być w miarę proste i zrozumiałe, tak aby potwierdziły swą użyteczność w praktyce.



Rys. 1. Koncepcja systemu wspomagania decyzji w przedsiębiorstwie wodociągowym

2. Decyzje lokalizacyjne – kwestie wyboru miejsc pozyskania wody

Podejmowanie decyzji gospodarczych w aspekcie lokalizacji i rozmieszczenia odbywa się na ogół z wykorzystaniem metod określanych w badaniach operacyjnych jako rozwiązywanie problemów rozdziału lub przemieszczania. Problemy te należą do najstarszych zagadnień opisanych i stosowanych w badaniach operacyjnych. Wywodzą się one z klasycznych zagadnień transportowych, które zostały przedstawione w wielu publikacjach, np. [Wagner, 1980], [Sikora (red.), 2008].

Klasyczny problem lokalizacji miejsc pozyskania wody można zapisać w następujący sposób:

$$L(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} > V_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m V_i > \sum_{j=1}^n b_j \quad (4)$$

$$V_i < \sum_{j=1}^n b_j, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (5)$$

gdzie:

m – liczba miejsc produkcji wody (ujęć),

n – liczba miejsc odbioru wody,

x_{ij} – ilość uzdatnionej wody przemieszczana w relacji od i -tego miejsca produkcji (ujęcia) do j -tego odbiorcy,

c_{ij} – koszt jednostkowy przesłania (lub odległość) wody od i -tego miejsca produkcji do j -tego odbiorcy,

b_j – zapotrzebowanie (popyt) na wodę u j -tego odbiorcy,

V_i – potencjalna zdolność wytwórcza i -tego ujęcia wody.

Należy pamiętać, że zapisany w ten sposób problem dotyczy sytuacji, w których dopiero planuje się budowę zarówno stacji uzdatniania, jak też sieci wodociągowych. Jest to więc sytuacja dość rzadka i raczej nietypowa. W zdecydowanej większości przypadków istnieje już przynajmniej w części sieć, a także

istnieją – chociaż w niedostatecznej ilości – miejsca poboru wody. Tym samym problem sprowadza się do przeprowadzenia inwestycji w zakresie uzupełnienia i wymiany części sieci wodociągowej oraz rozbudowy lub stworzenia nowych miejsc produkcji wody. Zasadnicze rozstrzygnięcie polegać będzie na konfrontacji stworzonej przez rozwiązanie zadania (1)-(5) potencjalnej sieci wodociągowej i nałożenie jej na istniejącą. W tych warunkach istnieje możliwość tworzenia dowolnej liczby kombinacji rozwiązań, biorących pod uwagę zarówno nowe elementy systemu zaopatrzenia w wodę, jak i już istniejące. Takie rozstrzygnięcia będą dotyczyły okresu bieżącego oraz przyszłości, co wymaga wzięcia pod uwagę planowanych inwestycji komunalnych i produkcyjnych, planów budowy nowych domów, a zwłaszcza osiedli, istotnych zmian w liczbie mieszkańców i strukturze ich osiedlania się itd.

Do wyznaczania nowych miejsc lokalizacji obiektów, zwłaszcza pojedynczych, można wykorzystywać też pojęcie środka ciężkości. Metoda określania środka ciężkości jest szczególnie użyteczna wtedy, gdy chodzi o rozmieszczenie takich składowych, które powinny charakteryzować się możliwie dogodnym położeniem w stosunku do określonej jednostki centralnej, np. magazynu centralnego, centrum rozdziału towarów czy miejsca zarządzania wieloma podobnymi obiektami. Problem ten rozpatrywano m.in. w pracy [Hozer (red.), 1998, s. 40 i nast.]. W rozpatrywanej w artykule sytuacji chodzi głównie o znalezienie optymalnych miejsc lokalizacji dodatkowych ujęć wody.

Oznaczmy przez P_1, P_2, \dots, P_n miejsca zużycia wody, a przez k_1, k_2, \dots, k_n – jednostkowe koszty jej przemieszczania z punktu centralnego do miejsca zużycia. Wtedy punkt P będzie poszukiwanym punktem centralnym, jeżeli spełniony zostanie warunek:

$$\Phi(P) = \sum_{j=1}^n k_j l_j \rightarrow \min, \quad (6)$$

gdzie:

l_j – odległość przestrzenna między j -tym punktem zużycia a miejscem lokalizacji obiektu dostarczającego wodę (punktem centralnym).

Podstawowy problem sprowadza się do analitycznego określenia położenia punktu centralnego z wykorzystaniem pojęcia środka ciężkości. Podstawą do wyznaczenia punktu centralnego może być możliwie dokładna mapa terenu zawierająca wspomniane wyżej miejsca. Wielkości k_j są przyłożone w punktach P_1, P_2, \dots, P_n równoległe względem osi OK w trójwymiarowym układzie współ-

rzędnych XYK i o tym samym zwrocie, natomiast l_1, l_2, \dots, l_n oznaczają odpowiednio odległość między punktem j -tym a punktem centralnym.

Wielkości k_j powinny spełniać warunek względnej stabilności, czyli nie powinny ulegać zbyt szybkim zmianom w czasie, ponieważ mogą za każdym razem powodować zmianę położenia punktu centralnego.

Poszukiwany punkt centralny znajduje się w obrębie wieloboku wyznaczonego przez punkty P_1, P_2, \dots, P_n przy założeniu, że nie pokrywa się z żadnym z tych punktów, a suma momentów wynosi zero. Dla punktu centralnego spełniony jest warunek (6).

Współrzędne położenia punktu centralnego na płaszczyźnie OXY wyznacza się następująco:

$$p = \frac{\sum_{j=1}^n k_j p_j}{\sum_{j=1}^n k_j} \quad q = \frac{\sum_{j=1}^n k_j q_j}{\sum_{j=1}^n k_j} \quad (7)$$

gdzie:

p_j, q_j – odległości poszczególnych punktów P_1, P_2, \dots, P_n obliczone odpowiednio od osi X i Y; do ich wyznaczenia można posłużyć się znaną metodą określania odległości między dwoma punktami terenu na podstawie mapy, gdy znana jest podziałka, w której została ona wykonana.

W pracy [Wasiak, 2011, s. 119] sugeruje się, aby we wzorach (7) zastąpić wielkości k_j przez ich kwadraty, jeżeli poszukuje się w zagadnieniu lokalizacyjnym minimum sumy odległości średniokwadratowej. W wyniku analizy wielu przykładów, zdaniem cytowanego autora, z reguły jakość otrzymanego rozwiązania jest lepsza, aniżeli przy wykorzystaniu formuły (7).

Następnie wyznacza się odległości przestrzenne l_1, l_2, \dots, l_n między punktami P_1, P_2, \dots, P_n a punktem centralnym. W tym celu można wykorzystać następujące równania:

$$l_j = \sqrt{(p_j - p)^2 + (q_j - q)^2} \quad (8)$$

Oczywiście rzeczywiste długości tras łączących poszczególne punkty z punktem centralnym są dłuższe od teoretycznych prostoliniowych połączeń. Można wtedy wyznaczyć:

$$l'_1, l'_2, \dots, l'_n$$

odległości komunikacyjne oraz

różnice odległości

$$\Delta l_j = l'_j - l_j$$

przy czym dla każdego j spełniona jest nierówność $l'_j < l_j$.

Obliczone różnice odległości można wykorzystać do wyznaczenia promienia obszaru lokalizacji punktu centralnego $d(l)$:

$$d(l) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n k_j (l'_j - l_j)^2}{\sum_{j=1}^n k_j}} \quad (9)$$

Warunek (6) da się wtedy zapisać w ostatecznej postaci tak, że dla danego punktu centralnego jest spełniony warunek:

$$\Phi(P) = \Phi[(p, q) \pm d(l)] = \sum_{j=1}^n k_j l'_j \rightarrow \min \quad (10)$$

Wyrażenie $(p, q) \pm d(l)$ określa obszar lokalizacji punktu centralnego ze środkiem o współrzędnych (p, q) i promieniu $d(l)$. Pojęcie obszaru lokalizacji ma bardzo ważne znaczenie, gdyż wybierając lokalizację miejsca pozyskania wody czy przepompowni, kierujemy się również innymi względami, przykładowo ukształtowaniem terenu, położeniem węzłów komunikacyjnych czy dotychczasową zabudową. Jeżeli użyje się do obliczeń $d(l)$ jako wag poszczególnych k_1, k_2, \dots, k_n , to umożliwi to preferowanie przesunięcia punktu centralnego w kierunku punktu P_e , dla którego zachodzi $k_e \geq k_1, k_2, \dots, k_n$. Wybierając konkretną lokalizację, można więc uwzględnić dodatkowe czynniki lokalizacyjne – ekonomiczne i pozaekonomiczne.

Ciekawą dyskusję na temat optymalnych lokalizacji obiektów przeprowadzono w cytowanej pracy M. Wasiaka. Zwrócono uwagę na fakt, że podejście sieciowe podobne do prezentowanego wyżej, z uwzględnieniem zróżnicowania strumieni przemieszczanych ładunków, jak też różnych stawek przewozowych dla poszczególnych relacji, prowadzi do konieczności akceptacji rozwiązań przybliżonych, a więc nieoptymalnych.

Dla określania lokalizacji źródeł wody ważne jest rozstrzygnięcie również następujących kwestii:

- jednoobiektość metody (niemożność jednoczesnego określenia lokalizacji dla wielu obiektów),
- trudności w ustaleniu rzeczywistego przebiegu szlaków komunikacyjnych (drogi nie przebiegają według linii prostej, konieczność wzięcia pod uwagę mostów itp.),
- przyjęcie wyłącznie jednego kryterium,

- duża szansa uzyskania rozwiązania, które ze względów praktycznych będzie bezużyteczne, jeśli punkt lokalizacji zostanie wyznaczony w miejscu zabronionym lub praktycznie nieprzydatnym.

Wprawdzie przebieg szlaków komunikacyjnych nie musi być identyczny jak sieci wodociągowych, ale w praktyce tak właśnie jest, gdyż z reguły budowa sieci wzdłuż dróg czy ulic wynika z możliwości dostępu do nich w przypadku awarii, rozbudowy, tworzenia nowych przyłączy itp.

Korzystanie z metody sieciowej w aktualnych warunkach preferuje precyzję uzyskania współrzędnych poszukiwanego punktu. Współcześnie istnieje możliwość dokładnego wyznaczenia tego punktu dla dowolnego obiektu. Korzystając z map numerycznych, można zastosować współrzędne geograficzne, czyli długość i szerokość geograficzną. Tak wyrażone współrzędne można przeliczyć ze stopni na kilometry dla dowolnego miejsca na mapie.

Utworzywszy mapę numeryczną, można na nią nanieść punkty dostaw, czyli miejsca produkcji wody lub jej przechowywania, oraz z pewnym przybliżeniem miejsca zużycia. To przybliżenie wynika z faktu, że miejsca zużycia wody są z reguły rozproszone (setki i tysiące indywidualnych odbiorców niedaleko od siebie), a istnieje konieczność ich sumarycznego potraktowania dla np. miejscowości, osiedla czy ulicy.

Punkt odniesienia stanowiący początek układu współrzędnych będzie wartością minimalną z szerokości i długości geograficznej punktów obsługiwanych przez obiekt poddany lokalizacji, czyli:

$$X_0 = \min\{X_j\} \quad Y_0 = \min\{Y_j\} \quad (11)$$

gdzie:

X_i, Y_i – współrzędne geograficzne i -tego obiektu w stopniach ($^\circ$),

X_0, Y_0 – współrzędne geograficzne punktu odniesienia w stopniach ($^\circ$).

Można następnie przeliczyć stopnie geograficzne na jednostki odległości, co pozwoliłoby ustalić współrzędne każdego punktu w jednostkach odległości według wzorów:

$$\begin{aligned} x_j &= \cos^{-1}(\sin^2(Y_j) + \cos^2(Y_j) \cos(X_j - X_0))\alpha, \\ y_j &= (Y_j - Y_0), \end{aligned} \quad (12)$$

gdzie:

x_j, y_j – współrzędne j -tego obiektu w km,

α – współczynnik przeliczeniowy stopni na km w km° .

3. Układ sieci wodociągowej i ocena kosztów funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę

Przebieg sieci wodociągowej w gminie jest zdeterminowany przez infrastrukturę mieszkaniową, rozmieszczenie obiektów przemysłowych i gospodarstw rolnych oraz dotychczas prowadzone prace inwestycyjne. Tym samym jego ustalanie od początku nie ma racji bytu. Teoretycznie na podstawie zidentyfikowanych miejsc aktualnego i potencjalnego poboru wody oraz rozmieszczenia najważniejszych odbiorców można wyznaczyć takie trasy przesyłu wody, które gwarantują optymalne koszty tej operacji. Ze względów praktycznych nie można skorzystać bezpośrednio z tak proponowanego rozwiązania. Pozostaje konfrontacja otrzymanego rozwiązania z istniejącą aktualnie infrastrukturą przesyłową.

W praktyce konieczny jest ciągły monitoring oraz stopniowa wymiana poszczególnych elementów sieci ze względu na ich zużycie fizyczne i wadliwe materiały, z których została zbudowana (np. z azbestu). Tym samym racjonalne postępowanie powinno polegać na stopniowym dopasowywaniu dotychczasowego układu sieci do docelowego, według odpowiednio ustalonego w firmie harmonogramu. Harmonogram powinien uwzględniać konieczność wymiany odcinków sieci wynikającą z zużycia fizycznego lub technologicznego, prowadzenia nowych inwestycji oraz zmian w strukturze popytu na wodę.

Biorąc pod uwagę końcowych użytkowników systemu SDSS najlepszym, zdaniem autora, rozwiązaniem byłoby wykorzystanie decyzyjnych modeli transportowo-produkcyjnych. Ich najważniejszą zaletą jest możliwość stosowania przy stosunkowo mało rozbudowanej bazie danych. Podstawowe wymagane informacje dotyczą wysokości łącznych kosztów produkcji i przesyłu wody w sieci, długości jej odcinków, podaży wody i zapotrzebowania użytkowników w badanych okresach.

Ogólne zadanie optymalizacyjne przyjmie wtedy następującą postać:

$$L(d) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} \cdot d_{ij} \rightarrow \min \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^m d_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

$$c_{ij} = p_{ij} + c_i \quad (16)$$

$$d_{ij} \geq 0 \quad (17)$$

gdzie:

c_i – koszty produkcji wody w i -tym ujęciu,

p_{ij} – jednostkowe koszty przesyłu wody od i -tego ujęcia do j -tego odbiorcy,

d_{ij} – dobową ilość przesyłanej wody od i -tego ujęcia do j -tego odbiorcy,

b_j – zapotrzebowanie j -miejsca zużycia wody,

a_i – maksymalna wydajność i -tego miejsca produkcji wody.

Przykłady empiryczne i dyskusję o walorach oraz dylematach zastosowania modelu (13)-(17) przedstawiono w pracy [Grzesiak, 2014].

Ważnym problemem, którego rozważenie w kontekście gospodarowania wodą w gminie wydaje się konieczne, jest polityka zarządzania zasobami w przedsiębiorstwie wodociągowym. Charakterystyczną cechą takich przedsiębiorstw jest tworzenie i utrzymywanie grupy pracowników odpowiedzialnych za bieżące naprawy i remonty. Istotne jest przy tym, w jaki sposób określić liczebność tej grupy, aby zapewnić ciągłość funkcjonowania sieci wodociągowej.

W tym celu można wykorzystać znane modele masowej obsługi, pozwalające na wyznaczenie optymalnej liczebności brygady, w zależności od ustalonego wcześniej rozkładu awarii oraz rozkładu czasów ich usuwania. Kluczowy problem sprowadza się do precyzyjnej ewidencji występowania poszczególnych zdarzeń i przebiegu ich obsługi. Daje to możliwość ustalenia minimalnych kosztów funkcjonowania wspomnianej brygady, biorąc pod uwagę wynagrodzenia pracowników, koszty zużytych materiałów i narzędzi, liczbę awarii w jednostce czasu oraz czas likwidacji konkretnego zdarzenia.

Ustalenie rzeczywistych rozkładów odstępów czasu między awariami oraz rozkładów czasów usuwania awarii wymagałoby odpowiednio długiego zbierania informacji na te tematy, wynikającego ze statystycznych własności wspomnianych rozkładów.

Pełna ocena kosztów funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę wymaga dodatkowo wszechstronnej oceny racjonalności gospodarowania w przedsiębiorstwie zaopatrzenia w wodę. Taka ocena jest możliwa poprzez pogłębioną analizę statystyczno-ekonometryczną. Jej przeprowadzenie jest uwarunkowane dostępem do szczegółowych danych analitycznych badanego przedsiębiorstwa w układzie co najmniej kwartalnym lub miesięcznym w perspektywie powyżej 5 lat. Niestety, większość tego rodzaju firm, szczególnie w małych gminach, przechodziła różne procesy restrukturyzacyjne (fuzje, podziały, tworzenie nowych instytucji), co skutkowało brakiem ciągłości zbieranych informacji oraz zmianami w ich strukturze. Dlatego pełna analiza gospodarowania w wyżej wymienionych przedsiębiorstwach byłaby możliwa dopiero po upływie kilku lat od wdrożenia i konsekwentnego stosowania systemu klasy SDSS.

Podsumowanie

Jak wynika z przeprowadzonych rozważań, istnieją realne możliwości implementacji do systemu SDSS dla gospodarowania wodą niektórych procedur optymalizacyjnych. Ich opracowanie i wdrożenie będzie napotykało wiele trudności, dlatego wskazane byłoby przeprowadzenie prób ich zastosowania w ograniczonym zakresie w tych przedsiębiorstwach wodociągowych i gminach, gdzie istnieją sprzyjające warunki i determinacja, jeśli chodzi o poprawę zaopatrzenia w wodę i obniżenie kosztów jej dostaw.

Właściwe gospodarowanie zasobami wody w Polsce, chociaż odbywa się na szczeblu regionalnym, jest strategicznym problemem ogólnopolskim. Każde działanie usprawniające i porządkujące tę dziedzinę gospodarki powinno być pozytywnie ocenione. Wydaje się, że w Polsce nie wykorzystuje się dorobku i pomysłów realizowanych w innych krajach, które również mają kłopoty z niedoborem wody. Potrzebny jest wspólny wysiłek zarówno władz centralnych, jak i lokalnych, aby ostatecznie rozwiązać powstałe problemy. Zadaniem władz centralnych jest przygotowanie i wdrożenie spójnych rozwiązań prawnych w tym zakresie oraz przygotowanie infrastruktury w skali ogólnopolskiej (zbiorniki retencyjne, zabezpieczenia przeciwpowodziowe, regulacje odcinków rzek itp.). Do zadań władz lokalnych powinno należeć przede wszystkim: zapewnienie mieszkańcom nieprzerwanych dostaw dobrej jakości wody w warunkach gwarantujących zachowanie równowagi środowiskowej, przestrzeganie przepisów prawa oraz rozwój ekonomiczny i społeczny swoich regionów.

Zarysowany szkic problematyki gospodarowania wodą na szczeblu lokalnym nie jest oczywiście kompletny. Temat jest zbyt obszerny, aby w krótkim artykule przekazać wszystkie najważniejsze aspekty diskutowanego zagadnienia. Każdy z poruszonych problemów wymagałby szerszego i wszechstronniejszego rozwinięcia.

Literatura

- Grzesiak M. (2014), *Metodyka badania i oceny racjonalności ekonomicznej w gospodarce wodą w regionie*, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin (rozprawa doktorska).
- Hozer J. (red.) (1998), *Zastosowanie programowania matematycznego w ekonomii*, wyd. II, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin.
- Jarupathirun S., Zahedi F. (2005), *GIS as Spatial Decision Support Systems* [w:] J.B. Pick (ed.), *Geographic Information Systems in Business*, Idea Group Publishing, Hersey, USA.

- Kwietniewski M. (2013), *GIS w wodociągach i kanalizacji*, WN PWN Warszawa.
- Nermend K. (2008), *Rachunek wektorowy w analizie rozwoju regionalnego*, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin.
- Shouyong Y., Chunsheng X., Yanyou Q., Qing T., Sha S. (1999), *Spatial Decision Support System and its General Platform*, Towards Digital Earth – Proceedings of the International Symposium on Digital Earth Science Press.
- Sikora W. (red.) (2008), *Badania operacyjne*, PWE, Warszawa.
- Wagner H. (1980), *Badania operacyjne*, PWE, Warszawa.
- Wasiak M. (2011), *O optymalności lokalizacji obiektów metodą sieciową*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport, z. 78.

APPLICATION OF DECISION MAKING METHODS IN SDSS SYSTEM FOR REGIONAL WATER MANAGEMENT

Summary: The problem of water management has key meaning for communities and business. Improvements in waterworks can be conducted through creation of integrated IT system.

Dedicated IT system should include a variety of suitably selected decision-making methods. These allow to find optimal or suboptimal solutions regarding choice of water intake and production places, construction and improvement of water supply network, rationalization of functioning of water supply companies, improvement of usage of installations for water treatment and storage.

The proposed in the article SDSS (Spatial Decision Support System) system with implemented optimization methods can fulfil expected requirements through proper construction and providing information supply from commune and water supply company.

Keywords: water management, SDSS system, decision making.