

PRACE NAUKOWE

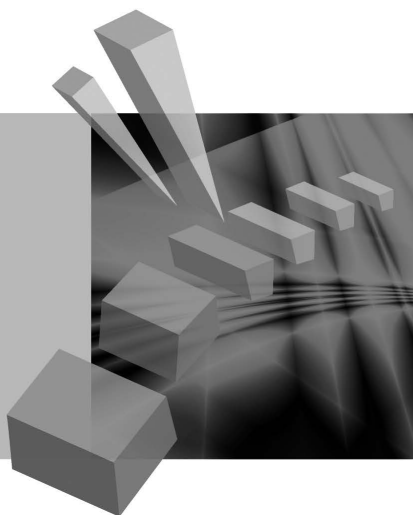
Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

238

Zastosowania badań operacyjnych Zarządzanie projektami, decyzje finansowe, logistyka



Redaktor naukowy

Ewa Konarzewska-Gubała



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2011

Recenzenci: Stefan Grzesiak, Donata Kopańska-Bródka, Wojciech Sikora,
Józef Stawicki, Tomasz Szapiro, Tadeusz Trzaskalik

Redaktor Wydawnictwa: Elżbieta Kożuchowska

Redaktor techniczny: Barbara Łopusiewicz

Korektor: Barbara Cibis

Łamanie: Małgorzata Czupryńska

Projekt okładki: Beata Dębska

Publikacja jest dostępna w Internecie na stronach:

www.ibuk.pl, www.ebscohost.com,

The Central and Eastern European Online Library www.ceeol.com,

a także w adnotowanej bibliografii zagadnień ekonomicznych BazEkon

http://kangur.uek.krakow.pl/bazy_ae/bazekon/nowy/index.php

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania znajdują się

na stronie internetowej Wydawnictwa

www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Kopiowanie i powielanie w jakiegokolwiek formie

wymaga pisemnej zgody Wydawcy

© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2011

ISSN 1899-3192

ISBN 978-83-7695-195-9

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Druk: Drukarnia TOTEM

Spis treści

Wstęp.....	9
------------	---

Część 1. Zarządzanie projektami i innowacjami

Tomasz Błaszczyk: Świadomość i potrzeby stosowania metod badań operacyjnych w pracy polskich kierowników projektów	13
Barbara Gładysz: Metoda wyznaczania ścieżki krytycznej przedsięwzięć z rozmytymi czasami realizacji zadań	25
Marek Janczura, Dorota Kuchta: Proactive and reactive scheduling in practice.....	34
Tymon Marchwicki, Dorota Kuchta: A new method of project schedule levelling	52
Aleksandra Rutkowska, Michał Urbaniak: Harmonogramowanie projektów na podstawie charakterystyk kompetencji – wrażliwość modelu na różne aspekty liczb rozmytych	66
Jerzy Michnik: Zależności między kryteriami w wielokryterialnych modelach zarządzania innowacjami	80

Część 2. Podejmowanie decyzji finansowych

Przemysław Szufel, Tomasz Szapiro: Wielokryterialna symulacyjna ocena decyzji o finansowaniu edukacji wyższej	95
Marek Kośny: Koncepcja dominacji pierwszego i drugiego rzędu w analizie wzorca zmian w rozkładzie dochodu.....	111
Agnieszka Przybylska-Mazur: Podejmowanie decyzji monetarnych w kontekście realizacji celu inflacyjnego	120
Agata Gluzicka: Analiza ryzyka rynków finansowych w okresach gwałtownych zmian ekonomicznych	131
Ewa Michalska: Zastosowanie prawie dominacji stochastycznych w konstrukcji portfela akcji	144
Grzegorz Tarczyński: Analiza wpływu ogólnej koniunktury giełdowej i wzrostu PKB na stopy zwrotu z portfela akcji przy wykorzystaniu rozmytych modeli Markowitza.....	153

Część 3. Problemy logistyki, lokalizacji i rekrutacji

Paweł Hanczar, Michał Jakubiak: Wpływ różnych koncepcji komisjonowania na czas realizacji zamówienia w węzle logistycznym	173
Mateusz Grzesiak: Zastosowanie modelu transportowego do racjonalizacji dostaw wody w regionie	186
Piotr Wojewnik, Bogumił Kamiński, Marek Antosiewicz, Mateusz Zawisza: Model odejść klientów na rynku telekomunikacyjnym z uwzględnieniem efektów sieciowych	197
Piotr Miszczyński: Problem preselekcji kandydatów w rekrutacji masowej na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa	211

Część 4. Pomiar dokonań, konkurencja firm, negocjacje

Marta Chudykowska, Ewa Konarzewska-Gubała: Podejście ilościowe do odwzorowania celów strategicznych w systemie pomiaru dokonań organizacji na przykładzie strategii miasta Wrocławia	231
Michał Purczyński, Paulina Dolata: Zastosowanie metody DEA do pomiaru efektywności nakładów na reklamę w przemyśle piwowarskim	246
Mateusz Zawisza, Bogumił Kamiński, Dariusz Witkowski: Konkurencja firm o różnym horyzoncie planowania w modelu Bertrand z kosztem decyzji i ograniczoną świadomością cenową klientów	263
Jakub Brzostowski: Poprawa rozwiązania negocjacyjnego w systemie <i>Nego-Manage</i> poprzez zastosowanie rozwiązania przetargowego	296

Część 5. Problemy metodologiczne

Helena Gaspars-Wieloch: Metakryterium w ciągłej wersji optymalizacji wielocelowej – analiza mankamentów metody i próba jej udoskonalenia.	313
Dorota Górecka: Porównanie wybranych metod określania wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych	333
Maria M. Kaźmierska-Zatoń: Wybrane aspekty optymalizacji prognoz kombinowanych	351
Artur Prędko: Spojrzenie na metody estymacji w modelach regresyjnych przez pryzmat programowania matematycznego	365
Jan Schneider, Dorota Kuchta: A new ranking method for fuzzy numbers and its application to the fuzzy knapsack problem	379

Summaries

Part 1. Project and innovation management

Tomasz Błaszczuk: Awareness and the need for operations research methods in the work of Polish project managers	24
Barbara Gładysz: A method for finding critical path in a project with fuzzy tasks durations	33
Marek Janczura, Dorota Kuchta: Proaktywne i reaktywne harmonogramowanie w praktyce	51
Tymon Marchwicki, Dorota Kuchta: Nowa metoda niwelacji harmonogramu projektu	64
Aleksandra Rutkowska, Michał Urbaniak: Project scheduling using fuzzy characteristics of competence – sensitivity of the model to the use of different aspects of fuzzy numbers	79
Jerzy Michnik: Dependence among criteria in multiple criteria models of innovation management	92

Part 2. Financial decision-making

Przemysław Szufel, Tomasz Szapiro: Simulation approach in multicriteria decision analysis of higher education financing policy	110
Marek Kośny: First and second-order stochastic dominance in analyses of income growth pattern	119
Agnieszka Przybylska-Mazur: Monetary policy making in context of execution of the strategy of direct inflation targeting	130
Agata Gluzicka: Analysis of risk of financial markets in periods of violent economic changes	143
Ewa Michalska: Application of almost stochastic dominance in construction of portfolio of shares	152
Grzegorz Tarczyński: Analysis of the impact of economic trends and GDP growth in the return of shares using fuzzy Markowitz models	169

Part 3. Logistics, localization and recruitment problems

Paweł Hanczar, Michał Jakubiak: Influence of different order picking concepts on the time of execution order in logistics node	185
Mateusz Grzesiak: Application of transportation model for rationalization of water supply in the region	196
Piotr Wojewnik, Bogumił Kamiński, Marek Antosiewicz, Mateusz Zawisza: Model of churn in the telecommunications market with network effects	210

Piotr Miszczyński: The problem of pre-selection of candidates in mass recruitment on the example of the chosen company.....	227
--	-----

Part 4. Performance measurement, companies competition, negotiations

Marta Chudykowska, Ewa Konarzewska-Gubała: Quantitative approach to the organization strategy mapping into the performance measurement system: case of strategy for Wrocław city	245
Michał Purczyński, Paulina Dolata: Application of Data Envelopment Analysis to measure effectiveness of advertising spendings in the brewing industry	262
Mateusz Zawisza, Bogumił Kamiński, Dariusz Witkowski: Bertrand competition with switching cost.....	295
Jakub Brzostowski: Improving negotiation outcome in the NegoManage system by the use of bargaining solution.....	309

Part 5. Methodological problems

Helena Gaspars-Wieloch: The aggregate objective function in the continuous version of the multicriteria optimization – analysis of the shortcomings of the method and attempt at improving it.....	332
Dorota Górecka: Comparison of chosen methods for determining the weights of criteria for evaluating decision variants	350
Maria M. Kaźmierska-Zatoń: Some aspects of optimizing combined forecasts.....	363
Artur Prędko: Mathematical programming perspective on estimation methods for regression models	378
Jan Schneider, Dorota Kuchta: Nowa metoda rankingowa dla liczb rozmytych i jej zastosowanie dla problemu rozmytego plecaka	389

Mateusz Grzesiak

Uniwersytet Szczeciński

ZASTOSOWANIE MODELU TRANSPORTOWEGO DO RACJONALIZACJI DOSTAW WODY W REGIONIE

Streszczenie: W wielu regionach Polski istnieje wadliwa struktura miejsc pozyskania wody. Punkty wydobywania od wielu lat się nie zmieniły, co niepotrzebnie generuje wysokie koszty jej pozyskania i produkcji. W trakcie transformacji gospodarki nastąpiły istotne zmiany miejsc zapotrzebowania na ten surowiec, a więc ważne stało się lepsze dopasowanie punktów jego produkcji do miejsc zużycia. W artykule autor proponuje zastosowanie prostego i użytecznego podejścia optymalizacyjnego w procesie racjonalnej lokalizacji punktów produkcji wody w regionie. Przedmiotem zainteresowania są wybrane gminy woj. zachodniopomorskiego. Rozstrzygnięcie tego dylematu może w znaczącym stopniu przyczynić się do zmiany geografii miejsc pozyskania wody oraz w konsekwencji do obniżenia jej ceny dla użytkowników końcowych.

Słowa kluczowe: lokalizacja, optymalizacja, gospodarka wodą.

1. Wstęp

W wielu regionach Polski pozostałością po minionych czasach jest wadliwa struktura miejsc pozyskania wody. Punkty jej wydobywania były lokalizowane na podstawie zapotrzebowania istniejącego w latach 60. i 70. ubiegłego wieku. Do dziś pozostają w niezmiennym układzie, niepotrzebnie generując wysokie koszty pozyskania i produkcji wody. Dodatkowo istotnym obciążeniem budżetów odbiorców końcowych pozostaje finansowanie jej przesyłu na duże odległości, co wynika z faktu, iż obecny układ zapotrzebowania się zmienił. Powody takich zmian to najczęściej powstanie nowych punktów generujących popyt na wodę lub wzrost zapotrzebowania w istniejących przy niezmiennych mocach produkcyjnych obsługujących je ujęć. Powstaje wówczas konieczność transportu wody z odległych i nie w pełni wykorzystywanych źródeł.

Dodatkowym problemem pojawiającym się przy obecnym stanie infrastruktury wodociągowej jest trudność z zapewnieniem ciągłego, nieprzerwanego dostępu do wody. Wynika ona z dwóch powodów. Po pierwsze, występuje brak połączeń w infrastrukturze, zapewniających zastępowalność ujęć wyłączonych czasowo z użytko-

wania. Po drugie, pojawiają się trudności z precyzyjną identyfikacją miejsc wystąpienia awarii powodujących przerwy lub zakłócenia w dostarczaniu wody.

Potrzebę zmiany układu i sposobu wykorzystania istniejących ujęć wody, jak również całej sieci wodociągowej potęguje fakt, że wraz z wejściem w strukturę Unii Europejskiej polski rząd zadeklarował usunięcie i wymianę do 2030 roku wszelkich elementów konstrukcyjnych zawierających azbest. W wyniku tej deklaracji w badanym przez autora regionie konieczna będzie wymiana lub zaprzestanie użytkowania około 60% rurociągów wykonanych w technologii betonowo-azbestowej. Taka sytuacja daje jednocześnie szansę, aby przy okazji wywiązania się z tego obowiązku tam, gdzie to możliwe, wytyczyć nowe, lepiej dopasowane do potrzeb, trasy przepływu wody.

Nie trzeba nikogo przekonywać, jakie znaczenie ma dostępność wody do celów komunalnych i przemysłowych w rozwiniętej gospodarce. W związku ze zmianą miejsc zapotrzebowania na ten surowiec w trakcie transformacji gospodarki ważne staje się lepsze dopasowanie punktów jego produkcji do zużycia poprzez modernizację infrastruktury wodociągowej.

Zidentyfikowane problemy z istniejącą infrastrukturą wodociągową można więc przedstawić w następujących punktach:

- brak dopasowania lokalizacji ujęć wody do obecnego stanu zagospodarowania przestrzennego,
- konieczność sukcesywnej wymiany urządzeń przesyłowych (głównie rur),
- duże koszty utrzymania infrastruktury (ujęcia, laboratoria, rurociągi, przepompownie itd.),
- problemy ze sprawnością i szybką likwidacją awarii wodociągowych (trudności ze znalezieniem miejsc występowania częstych awarii),
- niepełna dokumentacja istniejącej infrastruktury wodociągowej.

W tym kontekście celem artykułu jest propozycja wykorzystania modelu transportowego do racjonalnego wyboru ujęć wody. Rozstrzygnięcie przedstawionych dylematów może w znaczącym stopniu przyczynić się do zmiany geografii miejsc pozyskania wody oraz w konsekwencji do obniżenia jej ceny dla użytkowników końcowych.

2. Konstrukcja modelu podejmowania decyzji lokalizacyjnej dla ujęć wody

Przy doborze sposobu rozwiązania przedstawionych zagadnień do najważniejszych dla końcowego użytkownika właściwości należą prostota stosowania i łatwość interpretacji wyników. Wynika to z tego, że proponowana metoda ma znaleźć się na późniejszym etapie badań w bazie metod zasilającej system informatyczny klasy SDSS (*Spatial Decision Support System*). SDSS jest połączeniem klasycznego systemu wspomaganie decyzji z systemem informacji geograficznej. Dzięki takiemu zestawieniu system powinien posiadać bogatą bazę metod dających wsparcie dla za-

rzządzających firmą wodociągową przy różnych problemach decyzyjnych, jak również zachować wysoką sprawność i łatwość przetwarzania danych geograficznych. Wybrane do zaimplementowania w bazie danych metody powinny zatem umożliwiać prostą automatyzację działań, a wykorzystywanie generowanych przez nie rezultatów nie powinno sprawiać trudności w interpretacji użytkownikowi końcowemu, niebędącemu ekspertem z dziedziny metod ilościowych.

Przedstawione w niniejszym artykule zastosowanie podejścia opartego na klasycznym zagadnieniu transportowym jest zdaniem autora proste i przydatne do zaimplementowania we wspomnianym systemie. Stanowi więc niejako wstęp do tworzenia szerszej i bardziej złożonej bazy na późniejszych etapach pracy.

Wykorzystując takie podejście, autor stara się odpowiedzieć na pytanie decydenta: „Jakie rozmieszczenie ujęć wody w regionie daje możliwość stworzenia sieci wodociągowej z możliwie najmniejszym wykonaniem pracy przesyłowej?”

Zapis klasycznego zagadnienia transportowego dla omawianego podejścia jest następujący:

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

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

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

$$x_{ij} \geq 0,$$

$$c_{ij} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mn} \end{bmatrix},$$

gdzie: m – liczba czynnych ujęć wody,

n – liczba miejsc poboru wody (osiedla, firmy, gospodarstwa rolne),

a_i – dobową wielkość produkcji wody w i ujęciu,

b_j – dobowe zapotrzebowanie na wodę odbiorcy j ,

c_{ij} – odległość (w km) między ujęciem i a odbiorcą j ,

x_{ij} – dobowy przesył wody między ujęciem i a odbiorcą j .

Wyjaśnienia wymaga wybór współczynników funkcji kryterialnej. Najczęściej korzysta się z kategorii kosztów jednostkowych transportu bądź przesyłu. Ze względu na charakter zagadnienia i bieżące uwarunkowania oraz trudności ze zdobyciem wiarygodnych informacji zdecydowano o wykorzystaniu jedynie odległości pomiędzy miejscami poboru i zużycia wody. Generalnie odległości te są proporcjonalne do ponoszonych kosztów przesyłu.

Rozwiązywanie zadań transportowych lub im pokrewnych nie przedstawia specjalnych trudności. W tym celu można wykorzystać znane podejścia, które od lat są prezentowane w literaturze, np. [Domschke, Drexl 1998; Sikora (red.) 2008]. Można

też wykorzystać opublikowane algorytmy, które ułatwiają znalezienie efektywnych rozwiązań [Trzaskalik 2008].

3. Charakterystyka zagadnienia na przykładzie wybranej gminy

Do badania została wybrana jedna z gmin w województwie zachodniopomorskim. Charakteryzuje się ona istotnym wzrostem liczby mieszkańców w ostatnich latach, a według prognoz demograficznych taka tendencja ma być kontynuowana w następnych okresach. Sytuacja ta wynika z dużej migracji ludności z aglomeracji na teren sąsiadującej gminy ze względu na możliwość korzystnego zakupu domu lub działki budowlanej na jej terenie przy zachowaniu dobrego dojazdu do centrum miasta.

Tabela 1. Liczba mieszkańców i średni popyt na wodę w m³/dobę w wybranej gminie w latach 2010 oraz 2015

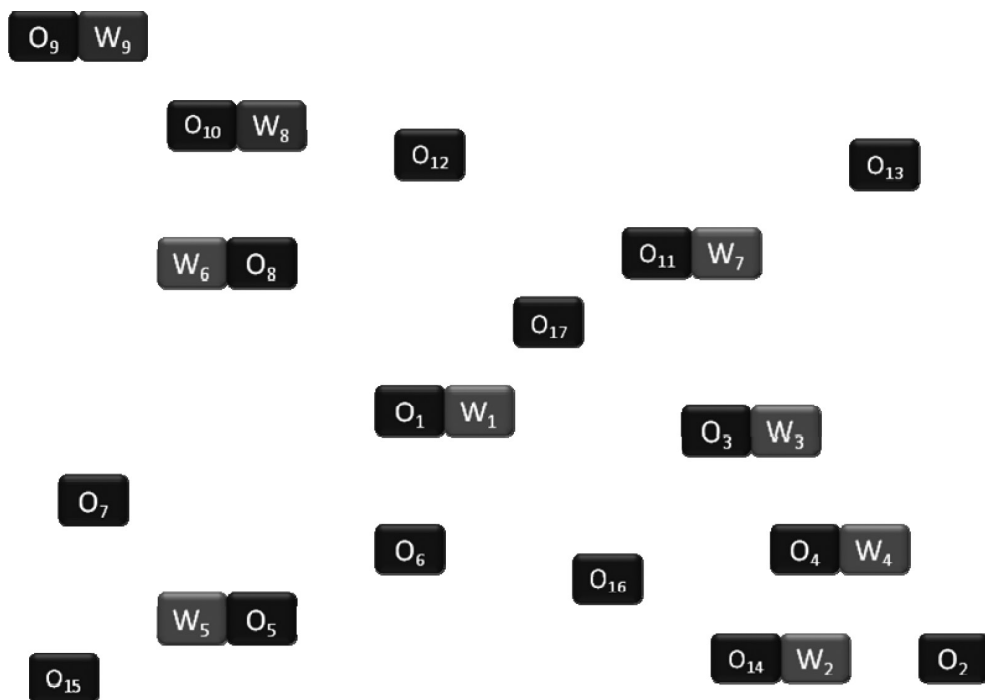
Odbiorcy	2010		2015	
	Zaludnienie	Podaż	Zaludnienie	Podaż
O ₁	8000	1328	15200	2523
O ₂	8000	1328	6000	996
O ₃	4200	697	5500	913
O ₄	12000	1992	15000	2490
O ₅	3000	498	5000	830
O ₆	400	66	500	83
O ₇	400	66	500	83
O ₈	1800	299	2200	365
O ₉	400	66	450	75
O ₁₀	400	66	450	75
O ₁₁	1000	166	1500	249
O ₁₂	400	66	500	83
O ₁₃	1000	166	800	133
O ₁₄	5700	946	6500	1079
O ₁₅	1400	232	1500	249
O ₁₆	400	66	500	83
O ₁₇	650	108	800	133
	49150	8159	62900	10441

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z gminy.

W tabeli 1 zestawiono liczbę mieszkańców w poszczególnych punktach odbioru wody (O₁, ..., O₁₇) w roku 2010 oraz szacowaną liczbę mieszkańców w tych punktach w roku 2015. Popyt na wodę dla lat 2010 oraz 2015 obliczono na podstawie norm

określonych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody (DzU 2002, nr 8, poz. 70).

Rysunek 1 przedstawia uproszczony schemat rozlokowania punktów poboru wody oraz popytu na nią w analizowanej gminie. Symbole O_1, O_2, \dots, O_{17} oznaczają zidentyfikowanych odbiorców wody. Elementy oznaczone jako W_1, W_2, \dots, W_7 przedstawiają układ obecnie eksploatowanych ujęć wody. Symbole W_8 oraz W_9 reprezentują miejsca, w których możliwe jest uruchomienie w zależności od potrzeb nowych punktów poboru wody.



Rys. 1. Uproszczony schemat rozlokowania punktów popytu na wodę oraz ujęć obecnych i potencjalnych

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 1 celowo nie przedstawiono istniejących połączeń między poszczególnymi punktami, ponieważ na tym etapie badania potrzebna jest informacja o potencjalnie najlepszym rozmieszczeniu ujęć wody przy istniejącym układzie zapotrzebowania, jak też dla przewidywanego w roku 2015. Ponadto ze względu na przewidywany wzrost zużycia wody ważną staje się informacja, które źródła będą w przyszłości zasilać dodatkowo rejony z potencjalnym lokalnie niedoborem. Tę informację trzeba następnie uwzględnić podczas planowania przebiegu unowocześ-

nionej sieci wodociągowej. Poza tym biorąc pod uwagę fakt, że około 60% istniejących w gminie rurociągów wymaga wymiany lub zaprzestania użytkowania, warto podjąć próbę wytyczenia optymalnego przebiegu sieci, a następnie wykorzystać lub unowocześnić dotychczasowe odcinki rurociągu tylko tam, gdzie będzie się pokrywał z nowym układem.

4. Proponowane rozwiązanie zagadnienia

W badaniu rozlokowania ujęć wody w wybranej gminie autor rozpatrzył pięć wariantów: dwa z nich dotyczą liczby mieszkańców w roku 2010, a pozostałe trzy warianty – szacowanej liczby mieszkańców w 2015 roku.

Wariant V_1 odnosi się do sytuacji, gdy przyjmiemy liczbę mieszkańców z roku 2010 przy aktualnej liczbie i rozlokowaniu źródeł wody. Wariant V_2 zakłada liczbę ludności z roku 2010 oraz wykorzystanie dodatkowych dwóch źródeł wody powstałych w miejscach, w których już zidentyfikowano możliwość ich stworzenia. Wariant V_3 bierze pod uwagę sytuację, gdy oszacowano liczbę ludności w roku 2015 oraz wykorzystano obecnie funkcjonujące ujęcia wody.

W wariancie V_4 przyjęto liczbę mieszkańców gminy na rok 2015 oraz dodano jedno nowe źródło wody. W wariancie V_5 również przyjęto liczbę mieszkańców gminy z roku 2015 oraz uwzględniono wykorzystanie dwóch dodatkowych źródeł.

Tabela 2. Zestawienie założeń w poszczególnych wariantach rozwiązania

Wariant	Liczba mieszkańców z roku	Układ ujęć wody
V_1	2010	niezmienione
V_2	2010	dodatkowe 2
V_3	2015	niezmienione
V_4	2015	dodatkowe 1
V_5	2015	dodatkowe 2

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3 zawiera macierz odległości między wszystkimi punktami odbioru wody (O_i) a miejscami jej poboru (W_i), zarówno obecnie wykorzystywanymi, jak i zidentyfikowanymi jako potencjalne. Odległości przyjęto w linii prostej, chociaż w rzeczywistości odcinki sieci będą najczęściej wzdłuż dróg. Niepełna dokumentacja przebiegu sieci utrudnia jednoznaczne przypisanie rzeczywistych odległości wszystkim badanym odcinkom. Dobową wydajność potencjalnych ujęć wody (W_8 i W_9) przyjęto na poziomie średniej wydajności z pozostałych istniejących, co można uzasadnić tym, że leżą one na tym samym obszarze wodonośnym.

Tabela 3. Odległości między miejscami poboru wody a miejscami jej wykorzystania (w km)

	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉	O ₁₀	O ₁₁	O ₁₂	O ₁₃	O ₁₄	O ₁₅	O ₁₆	O ₁₇
W ₁	0,00	8,63	4,50	6,00	6,00	4,50	4,20	2,55	9,45	6,30	3,53	4,13	5,25	6,75	7,28	4,43	2,55
W ₂	6,75	2,55	4,92	3,24	1,55	2,31	3,84	9,09	16,29	13,20	9,95	10,92	9,81	0,00	3,89	2,67	8,97
W ₃	4,50	5,63	0,00	2,36	4,95	3,75	5,10	6,95	13,17	10,23	5,40	7,80	5,15	4,92	7,62	2,58	5,24
W ₄	6,00	3,30	2,36	0,00	3,89	3,15	5,07	8,60	15,18	12,11	7,73	9,78	7,26	3,24	6,60	2,51	7,38
W ₅	6,00	3,90	4,95	3,89	0,00	1,41	2,43	7,98	15,09	12,09	8,78	9,86	9,33	1,55	2,72	2,43	8,07
W ₆	9,45	11,03	6,95	8,60	7,98	6,89	5,75	0,00	7,20	4,26	3,93	2,42	5,97	9,09	9,12	6,84	2,82
W ₇	3,53	10,73	5,40	7,73	8,78	7,55	7,58	3,93	7,98	5,16	0,00	3,05	2,31	9,95	10,95	6,83	1,02
W ₈	6,30	15,00	10,23	12,11	12,09	10,92	10,01	4,26	3,09	0,00	5,16	2,48	7,02	13,20	13,08	10,77	5,01
W ₉	9,45	18,00	13,17	15,18	15,14	14,01	12,96	7,20	0,00	3,09	7,98	5,43	9,54	16,29	16,01	13,83	8,06

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli 4 zawarto wydajność istniejących źródeł wody. W przypadku ujęć potencjalnych (W_8 i W_9) branych pod uwagę w niektórych wariantach rozwiązania zakłada się wydajność na poziomie średniej wydajności z pozostałych ujęć w regionie.

Tabela 4. Wydajność istniejących ujęć wody w m³/dobę

Ujęcie	Wydajność wodociągu
W ₁	1248
W ₂	1200
W ₃	1776
W ₄	1032
W ₅	1320
W ₆	960
W ₇	1632

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5. Rozwiązanie dla wariantu pierwszego

V ₁	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉	O ₁₀	O ₁₁	O ₁₂	O ₁₃	O ₁₄	O ₁₅	O ₁₆	O ₁₇
W ₁	1248																
W ₂		254												946			
W ₃		119	697	968													
W ₄				1032													
W ₅		822			498												
W ₆						66	66	300	66	66		66			232		
W ₇	80										166		166			66	108

Źródło: opracowanie własne.

$$L_1(x) = 13\,301,4; \text{ Rezerwa} = 1011$$

W tym wariantcie istnieje rezerwa pozyskania wody o wysokości 1011 m³ na dobę. Gwarantuje to pokrycie dodatkowego popytu przy założeniu, że wszystkie ujęcia i miejsca poboru są połączone w sieci. Praca przesyłowa wynosi 13 301,4 m³ * km/dobę.

$$L_2(x) = 12\,544,98; \text{ Rezerwa} = 3611$$

Po dołączeniu dwóch potencjalnych ujęć rezerwa wody wzrasta do 3611 m³ na dobę, a praca przesyłowa zmniejsza się do 12 545 m³*km/dobę. Taka sytuacja daje możliwość elastycznego gospodarowania wodą, ale wymagałaby dodatkowych inwestycji w uruchomienie nowych ujęć. Wykorzystanie tych ujęć byłoby jednak początkowo niewielkie.

Tabela 6. Rozwiązanie dla wariantu drugiego

V ₂	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉	O ₁₀	O ₁₁	O ₁₂	O ₁₃	O ₁₄	O ₁₅	O ₁₆	O ₁₇	
W ₁	1248																	
W ₂		254												946				
W ₃			119	697	960													
W ₄					1032													
W ₅			822			498												
W ₆							66	66	300				66			232		
W ₇	80	133											166	166			66	108
W ₈											66							
W ₉									66									

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 7. Rozwiązanie dla wariantu trzeciego

V ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉	O ₁₀	O ₁₁	O ₁₂	O ₁₃	O ₁₄	O ₁₅	O ₁₆	O ₁₇
W ₁	1248																
W ₂		121												1079			
W ₃			913	863													
W ₄				1032													
W ₅				158	830	83									249		
W ₆				38			83	365	75	75		83	25			83	133
W ₇	1275										249		108				

Źródło: opracowanie własne.

$$L_3(x) = 11\,447,09; \text{ Rezerwa} = -1274$$

Przy uzupełnieniu sieci do roku 2015 o wszystkie brakujące połączenia bez dołączania nowych ujęć (W₈ i W₉) pojawia się deficyt wody w regionie w wysokości 1274 m³ na dobę. Praca przesyłowa w tej sytuacji ulega zmniejszeniu do 11 447,1 m³*km/dobę. Taka modernizacja byłaby niewystarczająca i groziłaby okresowymi brakami wody u różnych odbiorców.

Tabela 8. Rozwiązanie dla wariantu czwartego

V ₄	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉	O ₁₀	O ₁₁	O ₁₂	O ₁₃	O ₁₄	O ₁₅	O ₁₆	O ₁₇
W ₁	1248																
W ₂		121												1079			
W ₃			913	863													
W ₄				1032													
W ₅			490		830												
W ₆			97			83	83	365							249	83	
W ₇	234	288		595							249		133				133
W ₈	1041								75	75		83					

Źródło: opracowanie własne.

$$L_4(x) = 25\,156,62; \text{ Rezerwa} = 26$$

Wprowadzenie do użytku nowego ujęcia wody poprawia ujemny bilans zużycia, ale rezerwa wyniesie zaledwie 26 m³ na dobę. To nie gwarantowałoby jednak bezpiecznego poziomu dostaw w przypadku np. awarii lub ponadprzeciętnego zapotrzebowania. Wzrost pracy przesyłowej do wysokości 25 156,6 m³*km/dobę wynika z tego, że dodatkowe źródło wody znajduje się na obrzeżach eksploatowanej sieci, tym samym znacznie zwiększa pracę przesyłową, a więc i koszty przesyłu wody.

Tabela 9. Rozwiązanie dla wariantu piątego

V ₅	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉	O ₁₀	O ₁₁	O ₁₂	O ₁₃	O ₁₄	O ₁₅	O ₁₆	O ₁₇
W ₁	1248																
W ₂		121												1079			
W ₃			913	863													
W ₄				1032													
W ₅		490			830												
W ₆		97				83	83	365							249	83	
W ₇	234	288		595								249	133				133
W ₈	1041									75		83					
W ₉								75									

Źródło: opracowanie własne.

$$L_5(x) = 24\,924,87; \text{ Rezerwa} = 1326$$

Po dołączeniu dwóch dodatkowych ujęć rezerwa wzrasta do wysokości 1326 m³ na dobę. Pojawia się więc bezpieczny poziom rezerwy, a wielkość pracy przesyłowej tylko nieznacznie zmniejsza się do 24 924,87 m³*km/dobę. Ten wariant jest więc do przyjęcia w roku 2015, pod warunkiem że zakładany przyrost liczby mieszkańców zrealizuje się, zużycie wody zaś będzie odpowiadało założonym normom.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone rozważania prowadzą do konkluzji, że użycie zaproponowanego podejścia jest możliwe i pozwala na sformułowanie interesujących wniosków. Biorąc pod uwagę przedstawioną sytuację i przewidywany scenariusz dla analizowanej gminy, można sformułować następujące wnioski:

- w najbliższych latach konieczne są działania dla poprawy wydajności sieci wodociągowej ze względu na wzrost liczby mieszkańców i konieczność inwestycji modernizacyjnych,
- realnie istniejącą możliwością jest uruchomienie i wykorzystanie potencjalnych ujęć wody, co wiąże się jednak ze znacznymi kosztami,
- z tego punktu widzenia preferowane byłoby w miarę możliwości powiększenie wydajności istniejących ujęć lub stworzenie nowych w okolicy centrum gminy,

- zaprezentowane w przykładzie podejście może być stosowane do rozwiązania problemu rozlokowania ujęć wody w przypadku, gdy nie bierzemy pod uwagę rzeczywistych kosztów eksploatacji sieci wodociągowej,
- w następnym etapie autor zamierza przeprowadzić kompleksową analizę kosztów i korzyści funkcjonowania wszystkich możliwych ujęć wody wraz z ich dyskryminacją na ujęcia czynne, konieczne do uruchomienia i potencjalne,
- pożądane byłoby zastosowanie metod teorii grafów do wskazania sposobu dokonania połączeń między węzłami sieci, tak aby zminimalizować koszty jej modernizacji, wymiany i późniejszej eksploatacji,
- podczas wyznaczania nowego przebiegu sieci konieczne będzie wskazanie miejsc kluczowych dla umieszczenia monitoringu przepływu wody w sieci.

Kontynuując badania nad przedstawionym problemem racjonalizacji dostaw wody w regionie, w kolejnych publikacjach autor zamierza w rozwiązaniach uwzględnić rzeczywistą sieć wodociągową.

Literatura

- Domschke W., Drexl A. [1998], *Einführung in Operations Research*, Springer-Verlag, Berlin.
- Hryniewicz O., Straszak A., Studziński J. [2008], *Badania Operacyjne i Systemowe: środowisko naturalne, przestrzeń, optymalizacja*, IBS Polska Akademia Nauk, Warszawa.
- Kuczewski K. [1993], *Kształtowanie wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę, usuwania i oczyszczania ścieków*, Zeszyt Problemy Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych nr 672, Wrocław.
- Mielcarzewicz E.W. [1977], *Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę*, Arkady, Warszawa.
- Sikora W. (red.) [2008], *Badania operacyjne*, PWE, Warszawa.
- Trzaskalik T. [2008], *Wprowadzenie do badań operacyjnych*, PWE, Warszawa.

APPLICATION OF TRANSPORTATION MODEL FOR RATIONALIZATION OF WATER SUPPLY IN THE REGION

Summary: Many regions in Poland have inaccurate structure of water extraction places. The points of extraction didn't change since a very long time generating high costs of acquirement and production of water. During the economy transformation important changes in water demand geography succeeded. As a result it is important to reshape the water extraction and distribution network, so that it responds to new demand. In the article author propose to use simple and useful optimization approach for the process of rationalization of water extraction points localisation in the region. The subject of interest are the chosen communes in West Pomeranian region. The solution of this dilemma can highly influence changes in geography of water extraction points and in consequence lower water price for end users.

Keywords: localization, optimization, water management.