

Zbigniew Siwoń

STOCHASTYCZNE MODELOWANIE ROZBIORU I DYSTRYBUCJI WODY

W ramach prac realizowanych w Centralnym Programie Badawczo-Rozwojowym 10.8. zostały sprecyzowane dyscypliny naukowe mieszczące się w zakresie wodociągów i kanalizacji. Za jedną z nich uznano „Stochastyczne modelowanie rozbiórów i dystrybucji wody”.

Celem niniejszego artykułu jest prezentacja i ocena tej dyscypliny naukowej. Artykuł zawiera najbardziej istotne treści ekspertyzy problemowej opracowanej przez autora w 1988 r. i będącej częścią ekspertyzy naukowej pt. „Kierunki i warunki osiągania postępu naukowo-technicznego w wodociągach i kanalizacjach”.

Definicja dyscypliny naukowej

Proponuje się następującą definicję analizowanej dyscypliny: System uzasadnionych i niesprzecznych twierdzeń oraz hipotez, zawierający uporządkowaną wiedzę o deterministyczno-losowych procesach rozbiórów wody w obszarach jej konsumpcji; o sposobach i metodach badania, matematycznego modelowania i prognozowania przebiegu owych procesów; a także o metodach wykorzystania przedmiotowej wiedzy naukowej do praktycznej działalności inżynierskiej.

Zakres metod naukowo-badawczych

Zjawiska zużycia (poboru, rozbiórów) i zapotrzebowania na wodę przez jej konsumentów, a także zjawisko odpływu ścieków bytowo-gospodarczych, mają — podobnie jak każdy proces fizyczny — charakter złożony: deterministyczno-losowy. Podlegają one, zatem, pewnym prawidłowościom, na które nakładają się czynniki losowe (przypadkowe). W praktyce najczęściej są stosowane dwie grupy modeli opisujących te zjawiska:

Model regresyjny. Szereg czasowy uśrednionych w określonych przedziałach czasu wartości poboru lub zapotrzebowania na wodę (zmienne objaśniane) jest opisywany za pomocą sumy funkcji będących liniową lub nieliniową kombinacją zmiennych objaśniających (ich wpływ na proces poboru wody powinien być istotny i dający się wyrazić w kategoriach ilościowych) oraz szeregu nieskorelowanych reszt, charakteryzujących losowe odchylenia wartości procesu od wartości owych funkcji. Modele tego typu znajdują zastosowanie przede wszystkim w różnego rodzaju

analizach zjawiska zużycia wody w określonym obszarze oraz w długoterminowym prognozowaniu potrzeb wodnych dla odległego horyzontu czasowego.

Modele probabilistyczne i stochastyczne. W pierwszych z nich wielkości charakterystyczne procesu poboru wody są opisywane w kategoriach rozkładów prawdopodobieństwa. Metody stochastyczne bazują na fakcie, że w ogólnym ujęciu modelem ciągu wartości (obserwacji) procesów zużycia wody lub odpływu ścieków jest proces stochastyczny $Q(t)$, będący zbiorem zmiennych losowych, który ze względu na wpływ trendu oraz czynników o zdecydowanie cyklicznym charakterze, jest niestacjonarny. Mimo jego rzeczywistej ciągłości w czasie rozpatruje się go jako ciąg losowy $\{Q_t\}$ (proces stochastyczny z czasem dyskretnym), w którym wskaźnik t (czas) przyjmuje określone wartości dyskretne. Ze względu m. in. na trudności w praktycznym wyznaczaniu wielowymiarowych rozkładów prawdopodobieństwa, stanowiących wyczerpującą charakterystykę procesu $\{Q_t\}$, do jego konstruowania i analizowania wykorzystuje się ostatnio najczęściej procedury oparte na szeroko pojętej analizie statystycznych szeregów czasowych (chronologicznych ciągów) $\{q_t\}$ wartości procesu, będących jego realizacjami.

Szeregi te mogą być badane za pomocą metod autoregresji, analizy widmowej, szeregów Fouriera i innych. Modele tej grupy różnią się między sobą m. in. sposobami szacowania trendu i komponenty periodycznej, natomiast łączy je wspólne założenie, że bieżące lub przyszłe wartości procesu są wyrażane wyłącznie lub między innymi za pomocą jego przeszłych obserwacji. W prognozowaniu wyznacza się dla każdego generowanego szeregu czasowego granice przedziałów ufności prognoz, w których z określonym prawdopodobieństwem (np. 95%) znajdują się przyszłe wartości rzeczywiste (przyszły przebieg procesu winien oscylować wokół generowanego w przedziale ufności zdefiniowanym przez możliwie najwyższe prawdopodobieństwo). Pozwala to na ocenę ryzyka związanego z decyzjami (np. inwestycyjnymi lub dotyczącymi strategii sterowania) opartymi na prognozach zapotrzebowania na wodę.

Ważną rolę w tej grupie metod odgrywają modele ARIMA (scałkowane modele autoregresji i średniej ruchomej). Stanowią one rodzinę liniowych modeli stochastycznych szczególnie przydatnych do analizy szeregów czasowych. Charakteryzują się różnymi właściwościami przy jednolitym zapisie formalnym oraz identycznych metodach estymacji parametrów

dla różnych typów i podklas modeli. Z wielu przyczyn modele te są bardzo wygodne w praktycznym stosowaniu. Nadają się szczególnie do bieżącego i krótkoterminowego prognozowania zapotrzebowania na wodę, chociaż w pewnych warunkach pozwalają także na prognozowanie dla odległych horyzontów czasowych.

Obszerny i szczegółowy przegląd możliwości i praktycznych wyników stosowania różnych metod regresyjnych, probabilistycznych i stochastycznych w modelowaniu procesu zużycia wody oraz prognozowania zapotrzebowania na nią, jest zawarty w pracach [1—3] autora.

Powiązania z innymi dyscyplinami naukowymi

Analizowana dyscyplina naukowa wykorzystuje metody statystyki matematycznej, rachunku prawdopodobieństwa oraz analizy statystycznych szeregów czasowych. W zastosowaniach praktycznych jest ona powiązana z teorią i metodami obliczania sieci i urządzeń wodociagowych, a w szczególności z matematycznym modelowaniem i metodami symulacji układów, z metodami ich optymalizacji oraz z teoretycznymi podstawami eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę.

Inżynierskie zastosowania dyscypliny naukowej

Stochastyczne modele zużycia (poboru) i zapotrzebowania na wodę w obszarach jej konsumpcji (miastach, aglomeracjach miejsko-przemysłowych, regionach wiejskich i regionach wodno-gospodarczych), a w szczególności modele stochastyczne, wykorzystujące metody analizy statystycznych szeregów czasowych, mogą być i są stosowane [1, 4—13]:

— W komputerowych badaniach symulacyjnych, których celem jest wszechstronna analiza działania systemu zaopatrzenia w wodę. Wyniki tych badań są niezwykle użyteczne zarówno w eksploatacji, jak i w projektowaniu racjonalnej rozbudowy systemów wodociagowych. Umożliwiają one bowiem symulację pracy układów w funkcji czasu, tj. w warunkach kolejno pojawiających się stanów rozbioru wody.

— W optymalnym komputerowym sterowaniu szeroko pojętymi procesami zaopatrzenia w wodę (ujmowanie, rozdział dyspozycyjnych zasobów, oczyszczanie, transportowanie i dystrybucja). Modele prognostyczne zapotrzebowania na wodę są niezbędnym elementem algorytmu optymalnego sterowania, którego celem jest wybór — na podstawie wyników analiz symulacyjnych — optymalnej strategii eksploatacji systemu wodociagowego, ustalenie i aktualizowanie w większości przypadków odrębnie dla każdej doby lub tygodnia (horyzont optymalizacji), zależnie od rodzaju zadania. Struktura systemu wodociagowego decyduje

o typie zadania sterowania, zaś charakter funkcji celu, ograniczeń i zmiennych decyzyjnych określa typ zadania optymalizacji. O praktycznej dokładności rozwiązań tych zadań decyduje najsłabsze ich ogniwo, którym są obecnie bieżące i krótkoterminowe prognozy poboru wody przez jej konsumentów, obliczane na podstawie odpowiednich modeli stochastycznych.

— W wyznaczaniu optymalnych poleceń operacyjnych przy kierowaniu procesami produkcji i oczyszczania wody.

— W planowaniu przyszłego rozwoju systemów zaopatrzenia w wodę i systemów wodno-gospodarczych. Do tych celów są wykorzystywane prognozy średnio- i długoterminowe, określane ostatnio m. in. na podstawie odpowiednio zaadaptowanych modeli ekonometrycznych, bazujących na metodach analizy statystycznych szeregów czasowych. W owych modelach wyznaczane są zwykle równania opisujące składową deterministyczną procesy (trend i komponentę periodyczną), natomiast pomijane lub eliminowane są jego komponenty losowe.

Aktualny stan rozwoju dyscypliny naukowej na tle poziomu światowego

Analizowana dyscyplina naukowa jest aktualnie uprawiana w kilku krajowych ośrodkach, z których wiodącymi są:

— Politechnika Wrocławska (Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska) we współpracy z WSI w Zielonej Górze (Instytut Inżynierii Sanitarnej),

— Politechnika Gdańska (Wydział Hydrotechniki),

— Akademia Rolnicza we Wrocławiu (Instytut Budownictwa Rolniczego).

W Politechnice Wrocławskiej prowadzone są od 1975 roku pod kierunkiem autora szeroko zakrojone badania nad probabilistycznym i stochastycznym modelowaniem procesów poboru i zapotrzebowania na wodę w miastach i aglomeracjach miejsko-przemysłowych [1—5, 14] oraz (od 1986 r. we współpracy z WSI w Zielonej Górze) w regionach wiejskich [4, 5], a także badania nad zużyciem (poborem) wody w miejskich osiedlach i wielorodzinnych budynkach mieszkalnych [15—17]. Sformułowano i zweryfikowano stochastyczne modele procesów poboru wody i bazujące na nich metody bieżącego i krótkoterminowego prognozowania zapotrzebowania na wodę w miastach oraz (w ostatnich latach) w ośrodkach i regionach wiejskich [4, 5]. Do weryfikacji tych modeli i metod prognozowania użyto m. in. zbiory (szeregi czasowe) wyników pomiarów poboru wody w kilku wodociągach wiejskich prowadzonych przez AR we Wrocławiu. Prace dotyczące wiejskich systemów wodociagowych są aktualnie realizowane w ra-

mach CPBR — 10.8 i zostaną zakończone w 1990 roku.

Na podstawie wieloletnich ciągłych pomiarów rozbioru wody w wielu obiektach na terenie Wrocławia zbadano również rzeczywiste i określono racjonalne (uzasadnione) wartości wskaźników charakteryzujących ilość i nierównomierność poboru wody (w czasie) w osiedlach i wielorodzinnych budynkach mieszkalnych, zaopatrywanych w wodę poprzez lokalne systemy 1-strefowe z pompowniami hydroforowymi [15—17]. Ponadto w Politechnice Wrocławskiej przeprowadzono badania empiryczne nad dobowym i chwilowym poborem wody w budynkach wielorodzinnych odrębnie na cele higieniczne i spożywcze [18, 19] oraz badania teoretyczne nad stochastycznym modelowaniem procesu poboru wody w instalacjach wewnętrznych budynków mieszkalnych [20] i symulacją działania systemów wodociągowych w tych budynkach [21].

W Politechnice Gdańskiej prowadzone są wieloletnie badania dotyczące zużycia wody w budynkach mieszkalnych na terenie aglomeracji gdańsko-gdynskiej, charakteryzujących się różnym standardem sanitarnego wyposażenia mieszkań i sposobem zaopatrzenia w wodę [22]. Od kilku lat realizowane są również prace na temat struktury procesu zużycia wody w Trójmieście oraz na obszarze centralnego wodociągu zulańskiego. Ich efektem są opracowane deterministyczne modele poboru i zapotrzebowania na wodę w powyższych regionach, sformułowane w oparciu o zaadaptowane zasady modelowania ekonometrycznego [23]. Mogą mieć one zastosowanie w średnio- i długoterminowym (perspektywicznym) prognozowaniu potrzeb wodnych dla celów programowania rozwoju regionalnych systemów wodociągowych.

W Akademii Rolniczej we Wrocławiu realizowane są od 1926 r. badania w ramach CPBR-10.8 nad procesem rozbioru wody w ośrodkach i regionach wiejskich dla potrzeb projektowania systemów wodociągowych i ich elementów. W ramach tych badań prowadzone są ciągle pomiary poboru wody w kilku obiektach wiejskich, różniących się między sobą charakterem i specyfiką zużycia wody. Przewiduje się zakończenie badań w 1990 roku.

Ponadto w kilku innych ośrodkach naukowych w kraju (Politechnika Śląska — Instytut Inżynierii i Technologii Wody, Ścieków i Odpadów, Politechnika Warszawska — Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego, Politechnika Krakowska — Instytut Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska) są dorywczo realizowane badania nad zużyciem wody w wybranych obiektach miejskich i przemysłowych.

Reasumując można stwierdzić, że w zasadzie w kraju są rozwiązywane najważniejsze zagadnie-

nia naukowe z obszaru analizowanej dyscypliny, choć poziom naukowy i poznawczy oraz zakresy badań są bardzo zróżnicowane.

Aktualnemu stanowi nauki światowej z całą pewnością odpowiadają wyniki badań realizowanych w Politechnice Wrocławskiej nad probabilistycznym i stochastycznym modelowaniem procesu poboru wody oraz bieżącym i krótkoterminowym prognozowaniem zapotrzebowania na wodę w miastach i regionach wiejskich. Dotychczas opracowane i aktualnie konstruowane modele prognostyczne [1, 4, 5, 12] mogą być bezpośrednio wykorzystane w praktyce w algorytmach symulacji i wyznaczania optymalnej strategii sterowania systemami wodociągowymi (mogą być wprowadzone do pamięci komputera zarządzającego procesem sterowania).

Uwzględniając wyniki krajowych prac w zakresie metodologii optymalnego sterowania można zatem uznać, że istnieją realne przesłanki do wdrożenia w kraju systemów optymalnego komputerowego sterowania szeroko przyjętymi procesami zaopatrzenia w wodę miast, aglomeracji miejsko-przemysłowych oraz regionów wiejskich (aktualnie są realizowane pierwsze w Polsce tego rodzaju systemy, np. system komputerowego sterowania procesem zaopatrzenia w wodę regionu legnicko-głogowskiego). W obszarze metod średnio- i długoterminowego prognozowania potrzeb wodnych do celów programowania rozwoju systemów wodociągowych (w tym regionalnych systemów wiejskich) niektóre wyniki badań krajowych [23] są obiecujące. W szczególności są to metody prognozowania, w których wykorzystano odpowiednio zaadaptowane zasady modelowania ekonometrycznego, aczkolwiek wdrożenie tych metod do praktyki projektowej będzie możliwe dopiero po ich weryfikacji i modyfikacji na podstawie obszerniejszej bazy danych empirycznych.

Aktualnie dysponujemy w kraju dość bogatym materiałem empirycznym (dane pomiarowe) na temat procesu poboru wody w małych obiektach (np. w budynkach i osiedlach mieszkaniowych, obiektach użyteczności publicznej i innych). Jednakże rezultaty różnorodnych pomiarów i badań zrealizowanych w wielu ośrodkach przy zastosowaniu różnej aparatury pomiarowej i odmiennych sposobów opracowania wyników, nie zostały jak dotychczas uogólnione w celu istotnego unowocześnienia metodologicznych podstaw prognozowania uzasadnionych potrzeb wodnych, dla celów projektowania rozbudowy istniejących i projektowania nowych systemów wodociągowych.

Nie są jak dotychczas rozwiązywane w kraju problemy związane z przestrzenną nierównomiernością poboru wody (aczkolwiek są one w pewnym stopniu ujęte w poprzednio omówionych modelach stochastycznych) oraz z wykorzystaniem probabilistycznych modeli procesu poboru wody w projektowaniu sieci i obiektów wodociągowych.

Tendencje światowego rozwoju dyscypliny naukowej i możliwości jej rozwoju w kraju

Analiza piśmiennictwa z zakresu analizowanej dyscypliny naukowej [5—13, 24, 25] wskazuje, że w zagadnieniach związanych zarówno z eksploatacją (w tym w szczególności z optymalnym sterowaniem) systemów zaopatrzenia w wodę, jak i z projektowaniem tych systemów, ważną i stale rosnącą rolę odgrywają komputerowe badania symulacyjne ich działania. Wynika to m. in. z faktu, że w miarę wzrostu liczby ludności, aktywności gospodarczej oraz doskonalenia sposobów zaopatrzenia w wodę, zapotrzebowanie na nią osiągnęło rozmiary równe, a częstokroć w pewnych regionach przekraczające dyspozycyjne zasoby wodne. Zaspokojenie lokalnych potrzeb wodnych wymaga w tych warunkach stosowania rozwiązań szerokoprzestrzennych, a zatem kosztownych.

Różnorodne implikacje tego stanu rzeczy stawiają nauce i technice coraz to nowe zadania, do których należy zaliczyć m. in. całokształt problematyki związanej z technikami planowania i projektowania systemów wodociągowych oraz dotyczącej sterowania rozdziałem wody w tych systemach. Komputerowe badania symulacyjne są niezwykle użytecznym narzędziem umożliwiającym optymalizację rozwiązań różnorodnych zagadnień eksploatacyjnych i projektowych. W badaniach tych wykorzystywane są prognozy zapotrzebowania na wodę (bieżące, krótkoterminowe lub dla bardziej odległego horyzontu czasowego), wyznaczone ostatnio najczęściej za pomocą modeli bazujących na metodach analizy statystycznych szeregów czasowych. Umożliwiają one bowiem m. in. uwzględnienie zarówno specyfiki procesu poboru wody w badanym obszarze, jak i losowego charakteru oraz rzeczywistej dynamiki tego procesu.

Aktualnie stosowane w Polsce deterministyczne metody prognozowania zapotrzebowania na wodę sprowadzają się w zasadzie do sumowania potrzeb (wyrażonych w postaci jednostkowych wskaźników i współczynników nierównomierności poboru wody) dla poszczególnych celów, przy uwzględnieniu założeń planów zagospodarowania przestrzennego na temat wielkości obiektów. Sposób ten umożliwia w gruncie rzeczy mniej lub bardziej dokładną ilustrację stanu istniejącego. Pomija się przy tym zarówno rzeczywistą dynamikę oraz regularność losowych zaburzeń procesu konsumpcji wody, jak i indywidualne cechy systemu wodociągowego. Z powyższych względów ten sposób prognozowania w rzeczywistości nie nadaje się do wykorzystania w symulacyjnych analizach działania systemów wodociągowych.

Praktyczne wdrożenie bardziej nowoczesnych (niż obecnie stosowane) metod prognozowania perspektywnego (dla potrzeb projektowych) będzie możliwe pod warunkiem dysponowania odpowiednio obszernymi zbiorami danych wyjściowych, w tym danych empirycznych, obejmujących

wyniki pomiarów poboru wody w przeszłości. Wynika stąd konieczność prowadzenia — w szerszym niż dotąd zakresie — systematycznych badań nad zjawiskiem poboru wody zarówno w obiektach miejskich, jak i przede wszystkim w ośrodkach i regionach wiejskich, różniących się między sobą charakterem i specyfiką poboru wody. Należy przy tym wyraźnie podkreślić, że prognozowaniu powinny podlegać uzasadnione (racjonalne) potrzeby wodne odbiorców. Jest to związane z koniecznością dokonywania odpowiednich analiz materiału empirycznego z przeszłości i jego przetworzenie przed wprowadzeniem do bazy danych wyjściowych w modelach prognostycznych.

Kierunki rozwoju badań w kraju

W aspekcie informacji podanych poprzednio, za celowe i konieczne należy uznać prowadzenie oraz kontynuowanie systematycznych i obszernych pomiarów poboru wody, a także badań zjawiska zużycia wody w obiektach i obszarach jej konsumpcji, m. in. w celu:

- dalszego doskonalenia (zwiększenia efektywności) metod bieżącego i krótkoterminowego prognozowania zapotrzebowania na wodę dla potrzeb symulacji działania systemów wodociągowych i optymalnego sterowania procesami zaopatrzenia w wodę,

- unowocześnienia metod średnioterminowego prognozowania potrzeb wodnych dla celów projektowania systemów wodociągowych — w tym systemów regionalnych — z uwzględnieniem m. in. przestrzennej nierównomierności poboru wody oraz specyficznych cech projektowanego systemu wodociągowego.

Na podstawie tych metod powinny być określone uzasadnione (racjonalne) potrzeby wodne, tj. nie obciążone np. marnotrawstwem i nadmiernymi stratami wody. Wyniki prognozowania powinny umożliwić uzyskiwanie danych wyjściowych, niezbędnych do stosowania technik symulacyjnych w projektowaniu systemów wodociągowych. Pozwoli to na projektowanie rozwiązań racjonalnych i charakteryzujących się odpowiednią pewnością działania w różnych warunkach eksploatacyjnych.

Ocena krajowej bazy laboratoryjnej dla prowadzenia badań

Dla zrealizowania celów sformułowanych poprzednio niezbędne jest dysponowanie odpowiednio obszernym materiałem empirycznym, uzyskanym z pomiarów poboru wody w czynnych systemach wodociągowych (w praktyce pomiarów natężenia dopływu wody do systemu równocześnie ze wszystkich źródeł jego zasilania). Aparatura pomiarowa musi być dobrana tak, by zagwarantować ciągły zapis mierzonych wartości (objętości i czasu lub natężenia przepływu) oraz wystarczający poziom

wiarygodności i dokładności wyników. W Polsce w tym zakresie stosowane są:

— dla średnich i dużych obiektów: zwężki (najczęściej kryzy) miernicze współpracujące z przepływomierzami wskazująco-rejestrującymi o różnej konstrukcji (rtęciowe typu „waga pierścieniowa”, elektromagnetyczne lub inne),

— dla małych obiektów (np. wiejskich): wodomierze silnikowe (pojedyncze lub sprzężone) wyposażone w dodatkowy osprzęt elektroniczny umożliwiający przetworzenie objętości na natężenie przepływu i ciągłą rejestrację wyników na taśmie papierowej,

— limnigrafy rejestrujące w sposób ciągły zmiany poziomu wody w zbiornikach wodociągowych,

— ciśnieniomierze rejestrujące ciśnienie w wybranych punktach badanego systemu wodociągowego.

Powyższa aparatura wymaga w czasie eksploatacji odpowiedniej obsługi i konserwacji. Przepływomierze zwężkowe są dość powszechnie stosowane w miejskich przedsiębiorstwach wodociągowych. Nie zawsze są one jednakże prawidłowo dobrane i obsługiwane, co sprawia, że częstokroć poziom wiarygodności i dokładności pomiarów jest zbyt niski. Wg rozeznania autora, pod względem wyposażenia w aparaturę, w pełni przygotowane do prowadzenia kompleksowych badań zjawisk poboru i zapotrzebowania na wodę są Politechnika Wrocławska i Akademia Rolnicza we Wrocławiu. W innych ośrodkach naukowo-badawczych istnieją potencjalne możliwości zakupu lub odpowiedniej adaptacji urządzeń standardowych.

Warunki realizacji programu rozwoju dyscypliny

W celu intensyfikacji prac naukowo-badawczych w zakresie analizowanej dyscypliny niezbędne jest zorganizowanie zespołu naukowego, który opracowałby standardową metodykę badania zjawiska zużycia wody, w tym:

— metodykę ciągłych pomiarów poboru wody z wyszczególnieniem m. in. rodzajów i zakresów stosowalności dostępnej w kraju aparatury pomiarowej, spełniającej wymogi wiarygodności i dokładności wyników, technicznych warunków stosowania i instalowania tej aparatury, minimalnego czasu prowadzenia ciągłych pomiarów, sposobów sprawdzenia, czy wszyscy odbiorcy wody dysponują w każdych warunkach pełnym pokryciem ich potrzeb,

— rodzaj i zakres niezbędnych informacji o odbiorcach wody oraz o technicznych warunkach jej dostawy,

— metodykę opracowania i analizy wyników pomiarów, uwzględniającą deterministyczno-losową strukturę badanego procesu oraz ocenę racjonalności mierzonego zuży-

cia wody. Ze względu na duże liczebności zbiorów danych pomiarowych oraz dość złożony aparat matematyczny potrzebny do ich właściwej analizy, metodyka ta powinna być przedstawiona m. in. w formie zestawu algorytmów obliczeń, który mógłby być realizowany za pomocą techniki komputerowej.

Metodyka badań winna być opracowana przez powołany do tego celu zespół naukowy tak, aby rezultaty badań prowadzonych przez różne ośrodki i w różnych rejonach kraju były porównywalne i mogły być w pełni wykorzystane m. in. do istotnego unowocześnienia metod średnioterminowego prognozowania: uzasadnienia potrzeb wodnych dla celów projektowych oraz do stworzenia szerszych niż dotąd możliwości stosowania technik symulacyjnych w projektowaniu i eksploatacji systemów wodociągowych.

Niezbędne jest także wyprodukowanie i udostępnienie wytypowanym ośrodkom naukowo-badawczym odpowiedniej ilości osprzętu elektronicznego do powszechnie stosowanych w kraju wodomierzy silnikowych. Osprzęt ten umożliwia ciągłą rejestrację pomiarów objętości lub natężenia przepływu na taśmie papierowej.

Treści analizowanej dyscypliny naukowej mogą być wykorzystane do specjalistycznego wykształcenia inżynierów. Jako podręcznik z tego zakresu dla wykładowców oraz w pewnym stopniu dla studentów może być wykorzystywana monografia [1], zawierająca kolejno następujące rozdziały odpowiadające treści proponowanego programu ramowego: wprowadzenie, podstawowe definicje i pojęcia z zakresu stochastycznego modelowania i prognozowania zapotrzebowania na wodę, przegląd metod prognozowania zapotrzebowania na wodę, struktura szeregów czasowych obserwacji zużycia wody, analiza i modelowanie statystycznych szeregów czasowych, probabilistyczne właściwości zużycia wody oraz przykłady modeli procesu zużycia wody i modeli prognostycznych zapotrzebowania na wodę.

LITERATURA

1. Z. SIWON: Stochastyczne modelowanie procesu zużycia wody i prognozowanie zapotrzebowania na wodę w miastach. Prace Naukowe Inst. Inż. Ochr. Środow. Politechniki Wrocławskiej nr 56, Monografie nr 25, Wrocław 1986.
2. Z. SIWON: Podstawy probabilistycznego modelowania zużycia i zapotrzebowania na wodę w miastach. Archiwum Hydrotechniki, 1981, nr 3, ss. 399—435.
3. Z. SIWON: Über die statistische Analyse des Wasserverbrauchs in Städten als Voraussetzung für Wahrscheinlichkeitsmodelle. GWF Wasser-Abwasser, 1983, nr 8 ss. 272—278.
4. Z. SIWON, J. STANISŁAWSKI: Stochastyczne prognozowanie chwilowych poborów wody w miastach i wsiach. Ochrona Środowiska, 1988, nr 2(35), ss. 23—30.

5. Z. SIWOŃ, J. STANISŁAWSKI: Modelowanie i prognozowanie szeregów czasowych godzinowego poboru wody w miastach i regionach wiejskich. *Archiwum Hydrotechniki* (w druku).
6. W. NESTLER, L. LUCKNER, J. HUMMEL: Die Nutzung von Signalmodellen zur Wasserbedarfsprognose als Basis einer effektiven Steuerung von Wasserversorgungsprozessen. *Wasserwirtschaft-Wassertechnik*, 1982, nr 12, ss. 414—418.
7. R. HARRIS: Computer Modeling in Water System Planning and Design. *Journal AWWA*, 1984, 7, ss. 78—51.
8. B. COULBECK, S. T. TENNET, C.H. ORR: Development of a Demand Prediction Program for Use in Optimal Control of Water Supply. *Proc. 3 Int. Conf. on Systems Engineering*, Lancaster Polytechnic, Coventry 1985.
9. D. HÜNERBEIN: Steuerung und Überwachung von Wasserwerken mit Automationssystemen. *GWF Wasser-Abwasser* 1986, nr 5, ss. 167—174.
10. E. HEYMANN, H. NIMITZ, Z. MOSBRUCK: Prognosegestützte Prozessautomatisierung in einem Wasserwerk. *GWF Wasser-Abwasser*, 1987, nr 1, ss. 15—18.
11. A. RICHTER, A. BÖHM, J. MENTZEL, J. HÄUSLER: Computer-gestützte Zustandanalyse der Wasserversorgung der Stadt Meissen. *Wasserwirtschaft-Wassertechnik*, 1988, nr 4, ss. 89—90.
12. Z. SIWOŃ, J. STANISŁAWSKI: Über die stochastische Wasserbedarfsprognose als Basis zur Steuerung und Kontrolle von Wasser-versorgungsprozessen. *GWF Wasser-Abwasser*, 1988, nr 3, ss. 159—166.
13. R. WOBERSCHIL, K. LIPPELT: Computergestützte Prozessführung in Produktionsbereich Lobenstein. *Wasserwirtschaft-Wassertechnik*, 1988, nr 7, ss. 146—148.
14. Z. SIWOŃ, J. CIEŻAK: Über die den Stunden- und Tageswasserbedarf beeinflussenden Faktoren. *GWF Wasser-Abwasser*, 1981, nr 8, ss. 364—368.
15. Z. SIWOŃ: Statystyczna metoda analizy obserwacji zużycia wody w budynkach i osiedlach mieszkaniowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 1985, nr 7, ss. 150—154.
16. Z. SIWOŃ, J. CIEŻAK, S. BOGACZEWICZ: Badania zużycia wody w osiedlach wrocławskich. *Ochrona Środowiska*, 1986, nr 3(29), ss. 35—40.
17. Z. SIWOŃ, J. CIEŻAK, S. BOGACZEWICZ: Syntetyczne wskaźniki dobowego i godzinowego zużycia wody w osiedlach mieszkaniowych we Wrocławiu. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 1987, nr 1, ss. 10—13.
18. J. JANCZEWSKI, E.W. MIELCARZEWICZ, A. PAWLAK: Wielkość i zmienność w czasie zużycia wody na cele spożywcze i higieniczne. *Mat. konf. „Zagadnienia zaopatrzenia w wodę miast i wsi”*. PZITS, Poznań, ss. 169—183.
19. J. JANCZEWSKI: Badania współczynników maksymalnego w ciągu doby krótkotrwałego zużycia wody na cele spożywcze i higieniczne w budynkach mieszkalnych. *Rozprawa doktorska*. Wrocław 1986.
20. J. ZALESKI: Stochastyczne modelowanie procesu poboru wody w instalacjach wewnętrznych i jego zastosowanie. *Prace Nauk. Inst. Inż. Chem. i Urz. Ciepł. Polit. Wrocł.* nr 48, Monografie nr 26, Wrocław 1987.
21. A. TIUKAŁO: Symulacja systemów zaopatrzenia budynków w wodę — podstawy i zastosowania. *Prace Nauk. Inst. Inż. Chem. i Urz. Ciepł. Polit. Wrocł.* nr 49, Monografie nr 27, Wrocław 1987.
22. Z. SULIGOWSKI: Analiza zużycia i zaopatrzenia w wodę w osiedlach mieszkaniowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej*, nr 327, Budownictwo Wodne z. XXIV, Gdańsk 1981.
23. Z. SULIGOWSKI: Modelowanie procesu poboru wody wodociągowej. *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej* (w druku).
24. F. C. KEY: The Evolution of Water Demand Forecasting. *Journal AWWA*, 1985, nr 10, ss. 54—61.
25. T. D. HIRREL: Automatic Water Consumption Data Manipulation. *Journal AWWA*, 1986, nr 8, ss. 49—52.

STOCHASTIC MODELLING OF WATER DISTRIBUTION

"Stochastic Modelling of Water Distribution" is a scientific discipline which has been separated from other scientific disciplines from the domain "Water Supply and Sewerage Systems". The definition of the discipline is given and the methods of carrying out research are presented. The relationship of the sepa-

rated discipline with other scientific disciplines, and the range of engineering applications are discussed in details. Taking into account the state-of-the-art in this domain throughout the world, the developmental potential of this discipline has been outlined. Based on the experience of the Technical University of Wrocław, the R+D trends in the discipline of interest have been established.