

ZUŻYCIE WODY W STRUKTURALNEJ JEDNOSTCE MIESZKANIOWEJ WE WROCŁAWIU

Zapotrzebowanie na wodę w miastach, a także w rejonach, dzielnicach i osiedlach mieszkaniowych, jest wypadkową oddziaływania wielu różnorodnych czynników i uwarunkowań w czasie i przestrzeni. Możliwość prawidłowego prognozowania potrzeb odbiorców jest zatem zależna przede wszystkim od zasobu informacji wyjściowych, których źródłem muszą być między innymi obserwacje zużycia wody. Przewidywanie przyszłej konsumpcji wody z wyprzedzeniem dłuższym niż 1 rok może być prowadzone na podstawie znajomości genetycznych związków ilościowych między zużyciem wody a czynnikami go kształtującymi, albo bez przeprowadzania szczegółowej analizy zależności genetycznych. Zastosowanie pierwszej z tych metod wymaga dokładnego rozpoznania wszystkich czynników, wpływających na proces rozbioru wody, znajomości całokształtu genetycznych związków między elementami procesu oraz dysponowania wieloletnimi obserwacjami wszystkich jego elementów. Przy obecnym stanie wiedzy, rozwiązanie tego problemu nie jest możliwe. Bardzo trudno jest bowiem na podstawie analizy zjawisk zachodzących np. w przyrodzie (zmiany warunków meteorologicznych), stosunkach społecznych (nawyki, tryb życia i praca ludności, funkcja i stopień przemysłowienia miasta), czy technicznym wyposażeniu systemu zaopatrzenia w wodę (standard sanitarnego wyposażenia mieszkań, stan techniczny urządzeń i instalacji wodociągowo-kanalizacyjnych) ustalić jednoznaczną genetyczną zależność między zużyciem wody a czynnikami kształtującymi, tym bardziej, że wymienione zjawiska występują częstokroć w złożonych i wzajemnie powiązanych postaciach. Dodatkowym utrudnieniem jest obecnie brak możliwości liczbowego określenia niektórych zjawisk z przyporządkowaniem im wagi adekwatnej do ich roli w kształtowaniu poboru wody, np. nie ma obiektywnej metody, pozwalającej liczbowo określić atrakcyjność programu telewizyjnego i jego udziału w procesie zużycia wody w porównaniu z wpływem innych czynników.

Z wymienionych względów autorzy reprezentują pogląd, że do opisu średnioterminowego prognozowania zapotrzebowania na wodę w miastach, osiedlach i budynkach mieszkalnych celowe jest stosowanie modeli probabilistycznych, opartych na metodach statystyki matematycznej i rachunku prawdopodobieństwa

i nie wymagających analizy związków genetycznych. U ich podstaw leży między innymi ustalenie związków przyczynowych między poszczególnymi czynnikami a zużyciem wody na podstawie rachunku korelacyjnego. Modele te pozwalają na uniknięcie uproszczenia, polegającego na pominięciu jakichkolwiek czynników — w tym i losowych — kształtujących konsumpcję wody. Umożliwiają więc one nie tylko opis procesu i ocenę jego charakterystycznych wielkości, lecz również pozwalają na wnioskowanie i prognozowanie.

Przydatność modeli probabilistycznych przy prognozowaniu zapotrzebowania na wodę jest naszym zdaniem bezsporna, gdyż uwzględniają one częstość występowania oraz czas trwania charakterystycznych wielkości zużycia wody, zatem pozwalają na ocenę lub prognozę stopnia pewności zaspokojenia potrzeb odbiorców.

Wymienione względy skłoniły autorów do podjęcia badań nad probabilistycznym ujęciem zużycia wody w miastach i osiedlach dla potrzeb krótko- i średnioterminowego prognozowania [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Ich rezultatem jest między innymi zaprezentowany w pracach [3, 4, 5] model maksymalnego w dobie zużycia wody w miastach, sformułowany na podstawie analizy własnych obserwacji zużycia w 4 miejscowościach (Milicz, Koźle, Strzelce Opolskie i Kędzierzyn), liczących od 8.100 do 41.400 mieszkańców oraz na podstawie udostępnionych przez WPWiK pomiarów zużycia w Aglomeracji Łódzkiej w latach 1976—79. Wymienione miasta dysponowały w okresie badań pełnym pokryciem potrzeb wodnych wszystkich odbiorców.

Podstawę modelu stanowi zweryfikowane założenie, że maksymalne w dobie zużycie wody o różnym czasie trwania podlega lewostronnie ograniczonemu, trzyparametrowemu rozkładowi gamma (rozkładowi Pearsona III typu), a relatywnie małe błędy wynikające z jego konstrukcji (w Aglomeracji Łódzkiej w okresie 1976—79 największe względne błędy wyznaczenia wartości maksymalnego godzinowego zużycia wody o różnych prawdopodobieństwach przewyższenia nie przekraczały 5%), pozwalają uznać wyniki obliczeń za satysfakcjonujące. Do celów prognostycznych modeli może być wykorzystany w postaci zależności

$$q_{\text{maks}}(t,p) = A \cdot (m, Q_{\text{sr}}) \cdot p^m \cdot t^n \quad (1)$$

lub

$$q_{\text{maks}}^{60}(p) = A_1 \cdot (M, Q_{\text{sr}}) \cdot p^m \quad (2)$$

gdzie:

q_{maks} — maksymalne w dowolnej dobie zapotrzebowanie na wodę o różnym czasie trwania t , dm^3/s ,

q_{maks}^{60} — maksymalne godzinowe zapotrzebowanie na wodę, dm^3/s ,

p — prawdopodobieństwo przewyższenia,

t — czas trwania zużycia wody, min,

$A(M, Q_{\text{sr}})$, $A_1(M, Q_{\text{sr}})$ — parametry zależne od liczby mieszkańców M aglomeracji średniego w czasie roku zapotrzebowania na wodę Q_{sr} .

Znajomość równania, wiążącego maksymalne w dowolnej dobie zapotrzebowania na wodę z prawdopodobieństwem jego przewyższenia, umożliwia m. in. uwzględnienie przy projektowaniu rozbudowy lub analizie pracy systemu zaopatrzenia w wodę, poziomu zabezpieczenia niezawodności dostawy wody. Ponadto w dużych aglomeracjach miejsko-przemysłowych są przydatne metody oceny charakterystycznych (średnich) wielkości zużycia wody na podstawie małej (8 do 12) liczby dyskretnych pomiarów, w sezonowych okresach roku, co ułatwia np. ciągłą weryfikację prognozy zapotrzebowania na wodę. Szczegółowe informacje w tym zakresie podano w pracach [3, 4, 5].

U podstaw probabilistycznych modeli zużycia wody leży znajomość losowych właściwości badanej zmiennej. W celu zilustrowania tego problemu w odniesieniu do osiedli mieszkaniowych, w niniejszej pracy zaprezentowano analizę niektórych wyników badań zużycia wody, prowadzonych aktualnie w 4 osiedlach na terenie Wrocławia przez Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej we współpracy z Miejskim Przedsiębiorstwem Wodociągów i Kanalizacji. Analizie poddano obserwacje dobowego i godzinowego zużycia wody w osiedlu Huby-Gaj, wykonane w latach 1982 i 83.

Charakterystyka osiedla, metodyka badań i wybrane wyniki badań

Osiedle Huby-Gaj ma charakter typowo mieszkalny i w normatywie urbanistycznym oznaczone jest jako „strukturalna jednostka mieszkaniowa”. Zaopatrywane jest ono w wodę poprzez pompownię hydroforową. W czasie wykonywania pomiarów ciśnienie w sieci wodociągowej było w każdych warunkach wystarczające do pełnego pokrycia potrzeb wszystkich odbiorców. Osiedle liczy 2.060 mieszkańców w 656 mieszkaniach typu M1 do M7, wyposażonych w łazienkę, ubikację oraz zlewomywak kuchenny. Ciepła woda doprowadzana jest do odbiorców z osiedlowej wymiennikowni ciepła.

Strukturę demograficzną oraz tryb życia i pracy mieszkańców ustalono na podstawie ankiety. Ponieważ na wielkość zużycia wody może wpływać sposób prania bielizny stwierdzono, że

mieszkańcy 52,5% mieszkań wykonują pranie w mieszkaniach, 13,4% — w pralni, a 34,1% — różnie.

Ciągłe pomiary zużycia wody w omawianym osiedlu są prowadzone od 1.05.1982 roku przy użyciu kryzy mierniczej ISA z pomiarem przycieczowym, współpracującej z przepływomierzem wskazująco-rejestrującym typu Ringwaage, o prędkości przesuwu taśmy 80 mm/godz.

Istotnym czynnikiem wpływającym na dobowe i godzinowe zużycie wody są straty powstałe w wyniku przecieków z nieszczelnej sieci osiedlowej, a przede wszystkim przecieków przez nieszczelne spłuczki ustępowe w mieszkaniach. W stosunku do zmierzonego zużycia wody, ich przybliżony udział wyniósł od 22,4% do 90,5% (średnio 50,1%) w wiosenno-letnim (od maja do października) okresie 1982 roku i od 17,6% do 62,8% (średnio 32,0%) w jesienno-zimowym (od listopada do kwietnia) okresie roku 1982/83.

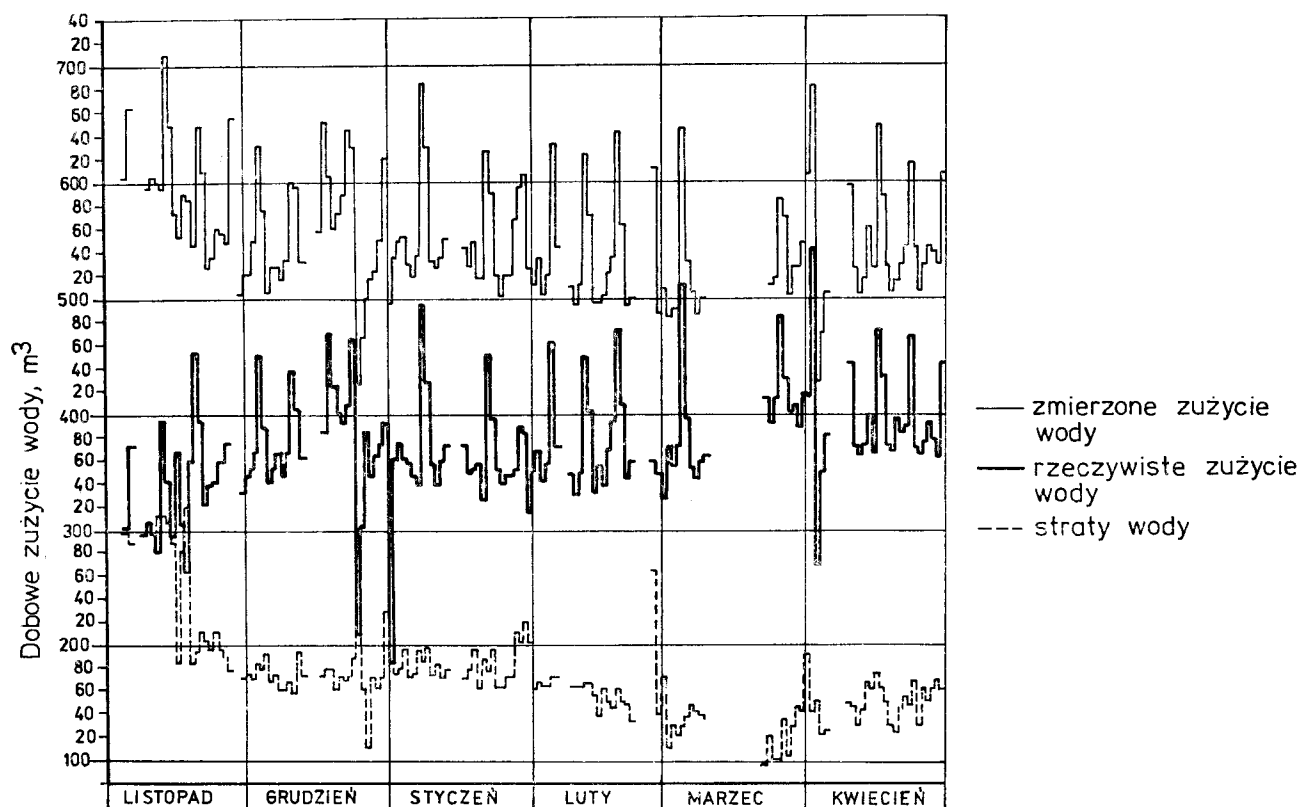
W celu zilustrowania tego problemu na rys. 1 zaprezentowano przykładowy wykres charakteryzujący zmiany w czasie jesienno-zimowego okresu 1982/83 roku zmierzonego dobowego zużycia wody, na tle wykresów obrazujących przybliżoną dobową wielkość strat wody i rzeczywiste zużycie przez odbiorców.

Duże straty wody spowodowane przeciekami powodują, że zestawione w tabeli 2 wskaźniki zużycia dobowego są wysokie i niewspółmierne z rzeczywistymi potrzebami odbiorców.

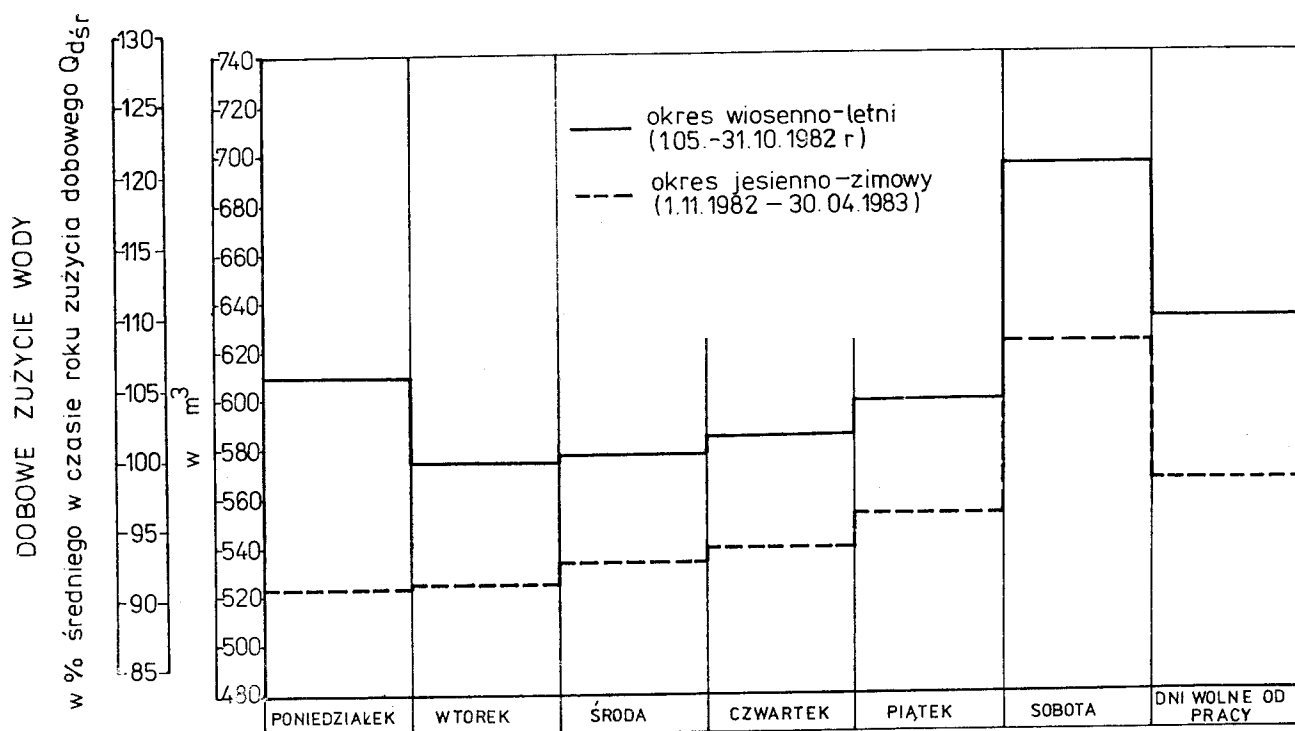
Dobowe zużycie wody w sezonowych okresach roku podlega charakterystycznym zmianom w cyklu tygodniowym. Ilustrują to wykresy zamieszczone na rys. 2, których rzędne stanowią średnie wartości zużycia w jednoimiennych dniach tygodnia. Uwidacznia się wyraźnie szczyt zużycia w czasie tygodnia, występujący z reguły w dniu przedświątecznym. Jest ono wówczas przeciętnie o 13,6% wyższe od wartości średniej w czasie cyklu tygodniowego. Zjawisko to jest zgodne z obserwacjami innych Autorów (np. [9, 11]).

Losowe właściwości dobowego zużycia wody

Zgodnie z zasadami sprecyzowanymi w pracy [3], w celu sformułowania prostych prób statystycznych, spełniających kryteria jednorodności i niezależności elementów, należy zbiory obserwacji dobowego zużycia wody podzielić na sezonowe (wiosenno-letni: od maja do października i jesienno-zimowy: od listopada do kwietnia) okresy roku oraz w ramach tych okresów na dni tygodnia o podobnym charakterze, tj. dni robocze, przedświąteczne i wolne od pracy (w tym wolne soboty). Eliminuje się wówczas tygodniową i sezonową cykliczność dobowego zużycia wody. Z uwagi na podobieństwo rozkładów empirycznych w dniach roboczych i przedświątecznych — zaniechano tego podziału (obserwacje w dniach przedświątecznych włączono do zbiorów dla dni roboczych).



Rys. 1 Wyniki pomiarów dobowego zużycia wody w jesienno-zimowym okresie 1982/83 roku. Osiedle Huby-Gaj



Rys. 2 Wykresy dobowego zużycia wody w czasie tygodnia

Ponadto odrębnie analizowano okresy remontu urządzeń ciepłowniczych (brak ciepłej wody od 5 do 19.05.82 r.) oraz okres do 30.04.82 r., w którym dostawa wody do osiedla była reglamentowana. Wartości zasadniczych parametrów statystycznych badanych prób zestawiono w tabeli 3.

W nawiązaniu do poprzednio opublikowanych w pracy [3] rozważań na temat losowych właściwości dobowego i godzinowego zużycia wody w miastach przyjęto, że badana zmienna podlega rozkładowi gamma. W celu zweryfikowania tej hipotezy zastosowano przekształcenie normalizujące oraz test

zgodności χ^2 Pearsona, omówione w pracy [3]. Zestawione w tabeli 3 wyniki tego testu dowodzą, że różnice między rozkładami empirycznymi i teoretycznymi można uznać za statystycznie nieistotne.

W tabeli 4 zestawiono wartości estymatorów 4 kwantyli rozkładu dobowego zużycia wody oraz odpowiadające im zakresy przedziału ufności dla poziomu istotności $P_\alpha=0,95$. Umożliwiają one m. in. ocenę związku między prawdopodobieństwem przewyższenia a wartością dobowego zużycia wody, a tym samym z prawdopodobną częstotliwością wystąpienia ewentualnej przewagi popytu nad dostawą wody. Ponadto górne ograniczenia przedziałów ufności mogą być traktowane jako tzw. „poprawki gwarancyjne”, tj. także wartości dobowego zużycia wody, które dla danego prawdopodobieństwa przewyższenia mogą wystąpić rzadziej, niż wartości estymatorów kwantyli.

W celu porównania ze wskaźnikami normatywnymi, konieczna jest znajomość maksymalnego dobowego zużycia wody.

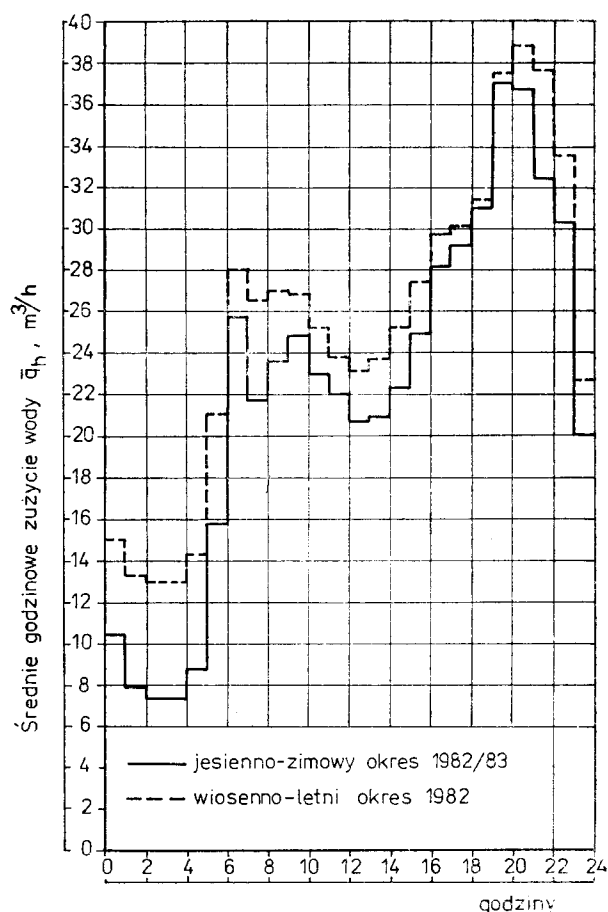
Zgodnie z zasadami rachunku prawdopodobieństwa jest to prawdopodobna wartość zużycia, która może być osiągnięta lub przekroczona 1 raz w okresie powtarzalności równym 1 rok. W badanych warunkach wynosi ona $382,7 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$.

Godzinowe zużycie wody

W celu uzyskania prostej próby statystycznej, roczne obserwacje godzinowego zużycia wody podzielono na okresy sezonowe (wiosenno-letni i jesienno-zimowy) oraz dni robocze, przedświąteczne i wolne od pracy, z wyłączeniem okresów remontu obiektów ciepłowniczych (brak ciepłej wody) i limitowania czasu dostawy wody, które opracowano oddzielnie. Po zastosowaniu przekształcenia normalizującego zmienną, zweryfikowano za pomocą testu χ^2 Pearsona zgodność między rozkładem empirycznym zmiennej znormalizowanej a rozkładem normalnym, uzyskując wynik pozytywny. W celu zilustrowania wielkości i dyspersji godzinowych poborów wody w osiedlu, w tabeli 5 zestawiono przykładowe wartości parametrów charakteryzujących wybrane zbiory statystyczne, a w tabeli 6 — estymatory czterech kwantyli rozkładu prawdopodobieństwa.

Tendencje w zmienności godzinowej konsumpcji wody w czasie doby charakteryzują uśrednione wykresy zamieszczone na rys. 3.

Uwidacznia się na nich wyraźnie znaczne zużycie wody w godzinach nocnych, czego powodem są straty wody spowodowane głównie przeciekami z nieszczelnych instalacji wewnętrznych. Wskutek zbliżonego ciśnienia w osiedlowej sieci wodociągowej w godzinach dziennych i nocnych straty te rozkładają się w czasie doby dość równomiernie. Stwierdzenie to jest zgodne z obserwacjami innych autorów, (np. [10]).



Rys. 3 Histogram godzinowej konsumpcji wody w czasie doby w osiedlu Huby-Gaj

Maksymalne w dobie godzinowe zużycie wody

Podstawę do projektowania osiedlowych sieci wodociągowych oraz do analizy pracy wodociągu stanowią wartości tzw. „maksymalnego godzinowego” zużycia wody. Z tego względu zwrócono przy opracowywaniu wyników badań szczególną uwagę na analizę wielkości i zmienności tego zużycia w skali roku. Zbadano 4 jednorodne próby statystyczne obejmujące zbiory maksymalnych w każdej dobie wartości godzinowego zużycia wody, w dwóch okresach sezonowych roku i w dwóch grupach dni (robocze i wolne od pracy).

Prawdopodobna wartość maksymalnego w dobie zużycia godzinowego, która może być osiągnięta lub przekroczona 1 raz w okresie roku, wynosi w badanych warunkach $7,04 \times 10^{-3} \text{ dm}^3/\text{mk}, \text{s}$ ($639,8 \text{ dm}^3/\text{mk}, \text{d}$), co odpowiada współczynnikowi ogólnej nierównomierności zużycia równemu 2,16.

Wnioski końcowe

Zaprezentowane skrótkowo w niniejszej pracy niektóre wyniki badań i rozważania na temat dobowego i godzinowego zużycia wody w strukturalnej jednostce mieszkaniowej na terenie Wrocławia, mają charakter informacyjny. Zaprezentowane wyniki pomiarów mogą być przydatne jako materiał porównawczy dla badań w obszarach zabudowy wielorodzinnej

o zbliżonym zagospodarowaniu przestrzennym. Wnioski wynikające z niniejszej pracy są następujące.

1. Do opisu i prognozowania zużycia wody w miastach, dzielnicach i osiedlach mieszkaniowych są szczególnie przydatne metody oparte na rachunku prawdopodobieństwa. Umożliwiają one między innymi ocenę oraz prognozę stopnia pewności zaspokojenia potrzeb odbiorców, związanego z prawdopodobną częstością wystąpienia przewagi popytu nad dostawą wody, a także pozwalają uwzględnić najbardziej istotne czynniki — w tym również losowe — kształtujące zużycie i zapotrzebowanie na wodę.

2. Zaobserwowane wysokie wartości wskaźnika dobowego zużycia wody są w znacznej mierze wynikiem strat wody, spowodowanych przeciekami z nieszczelnych instalacji wod.-kan. w budynkach i z wodociągowej sieci osiedlowej.

3. Rzeczywiste potrzeby wodne odbiorców mogą być prognozowane wyłącznie na podstawie analizy obserwacji zużycia wody. Bez prowadzenia tych obserwacji nie będzie możliwe właściwe uwzględnienie specyfiki istniejących warunków oraz racjonalizacja rozwiązań technicznych.

LITERATURA

1. J. R. BENJAMIN, C. A. CORNELL: Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów. WNT, Warszawa, 1977 r.
2. Z. KACZMAREK: Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1970 r.
3. Z. SIWOŃ: Podstawy probabilistycznego modelowania zużycia i zapotrzebowania na wodę w miastach. Archiwum Hydrotechniki 1981 r., nr 3.
4. Z. SIWOŃ, S. BOGACZEWICZ: Probabilistyczny model maksymalnego zużycia wody w Aglomeracji Łódzkiej. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, z. 8, 1983 r.
5. Z. SIWOŃ, S. BOGACZEWICZ: Characteristics of maximum water consumption in an industrialized urban area. Environment Protection Engineering, Vol. 10(1984), No. 1.
6. Z. SIWOŃ, J. CIEŻAK: Prognozowanie dobowego i godzinowego zużycia wody w miastach. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, z. 9—10, 1982.
7. Z. SIWOŃ, J. CIEŻAK: Über die Stunden — und Tageswasserbedarf beeinflussenden Faktoren. Das Gas und Wasserfach 122 (1981), H. 8.
8. Z. SIWOŃ, J. CIEŻAK, S. BOGACZEWICZ: Badania zużycia wody w osiedlach mieszkaniowych na terenie Wrocławia. Etap I. Raport Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1984.
9. Z. SULIGOWSKI: Zużycie wody w gospodarstwach domowych. Archiwum Hydrotechniki, nr 1, 1978.
10. Z. SULIGOWSKI: Badania ucieczek wody przez nieszczelne zawory czerpalne. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, z. 11, 1977.
11. B. TKACZUKOWA: Zużycie, nierównomierność i straty wody w gospodarstwach domowych. Zeszyty Naukowe IGK nr 35, Warszawa, 1973 r.