POLITECHNIKA WARSZAWSKA

ISSN 0860-343X

PRACE NAUKOWE • INŻYNIERIA SANITARNA I WODNA • z. 11

Jan Tabernacki

# METODYKA ANALIZY POWSTAWANIA ZJAWISK PRZEPŁYWU I ZUŻYCIA WODY W INSTALACJACH WODOCIĄGOWYCH BUDYNKÓW MIESZKALNYCH

WYDAWNICTWA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ • WARSZAWA 1990

## Spis rzeczy — Содержание — Contents

Jan Tabernacki — Metodyka analizy powstawania zjawisk przepływu i zużycia wody w instalacjach wodociągowych budynków mieszkalnych . 3

**Методика анализа возникновения явлений течения и расхода воды в водопроводах жилых зданий.** . . . . . .

Methodology of Water Flow and Consumption Analysis in Water Systems of Apartment Buildings



628.1 : 696.11 : 519.673 ph

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

# PRACE NAUKOWE
# INŻYNIERIA SANITARNA
# I WODNA z. 11

[Habilitacja]

WARSZAWA 1990
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

REDAKTOR DZIAŁOWY
doc. dr hab. inż. Bożena Okołowicz-Grabowska

OPINIODAWCY
doc. dr hab. Janusz Jeżowiecki
prof. dr inż. Marek Roman

Opracowanie redakcyjne — mgr Kazimiera Kręc

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
C.94267
Biblioteka Główna

WYDAWNICTWA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ, 00-665 WARSZAWA, NOWOWIEJSKA 24
ИЗДАТЕЛЬСТВА ВАРШАВСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
00-665 ВАРШАВА, ул. НОВОВЕЙСКА 24
WARSAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PUBLICATIONS, 00-665 WARSAW, NOWOWIEJSKA 24

Nakł. 120 + 30. Ark. wyd. 9,17. Ark. druk. 9,5 Papier offset. kl. III. 70 g. Oddano do druku 1990.01.10. Druk ukończono w kwietniu 1990 r. Zamówienie nr 12/90. Cena zł. 5500,—

Zakład Graficzny Politechniki Warszawskiej, ul. Kopińska 12/16, 02-321 Warszawa

135-λ-90d

PRACE NAUKOWE POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

z. 11 Inżynieria Sanitarna i Wodna 1990

Jan Tabernacki

Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego

# METODYKA ANALIZY POWSTAWANIA ZJAWISK PRZEPŁYWU I ZUŻYCIA WODY W INSTALACJACH WODOCIĄGOWYCH BUDYNKÓW MIESZKALNYCH

Rękopis dostarczono 1989-06-28

Przedmiotem pracy było opracowanie metodyki analizy powstawania zjawisk przepływu wody i jej zużycia w instalacjach wodociągowych wielorodzinnych budynków mieszkalnych z wykorzystaniem dynamicznego modelowania symulacyjnego.

Celem rozważań było stworzenie nowego, nie stosowanego dotychczas w badaniach nad działaniem instalacji wodociągowych, narzędzia badawczego - strukturalnego modelu komputerowego symulacji działania instalacji w zadanych przedziałach czasowych.

Instalacje wodociągowe wielorodzinnych budynków mieszkalnych wyodrębniono z rzeczywistości jako systemy funkcjonalne traktowane jako część budynku będącą jednocześnie fragmentem systemu wodociągowego. Określono części składowe instalacji jako system autarkiczny, dokonano analizy sprzężeń elementów struktury oraz wniknięto w relacje zachodzące między instalacją a wodociągiem zewnętrznym. Doprowadziło to do określenia przestrzeni zdarzeń działania instalacji, w której wyróżniono jako zdarzenia:

- otwieranie zaworów czerpalnych przez użytkowników,
- transport wody przewodami instalacji od źródła wody do otwartych zaworów czerpalnych,
- wydatkowanie wody ze źródła do instalacji pod ciśnieniem zapewniającym dopłynięcie wody do otwartych zaworów,
- wydatkowanie wody na skutek niesprawności elementów instalacji prowadzących do strat i marnotrawstwa wody.

Na zjawisko przepływu składa się jednoczesne zachodzenie co najmniej trzech pierwszych zdarzeń.

Nawiązując do powyższego opracowano 4 modele: użytkowania instalacji, jej działania hydraulicznego, dynamiki źródła wody i powstawania strat wody. Mogą one być traktowane autarkicznie lub łącznie. To ostatnie jest możliwe dzięki wspólnej dla nich wszystkich: skali i dynamiki czasu. Następnie wykazano pełną przydatność opracowanych modeli do analizy problemów badawczych występujących w instalacjach, to jest do: prowadzenia badań fenomenologicznych zjawisk powstawania i przebiegu zuży-

wania wody, przepływu wody w przewodach, a także do prowadzenia badań nad określeniem granicznych warunków pracy instalacji. W nawiązaniu do wyodrębnionych problemów badawczych i zastosowań ich wyników podano kilkanaście przykładów wykorzystania opracowanych modeli, wykazując osiągnięcie postawionego na początku celu pracy.

## Zestawienie ważniejszych oznaczeń

a - współczynnik wydatku zaworu czerpalnego,
b - wykładnik potęgi,
c - współczynnik oporności hydraulicznej elementu instalacji,
d - średnica przewodu,
h - wysokość (odpowiednio do dolnego indeksu: geometryczna, ciśnienia, strat, itd.),
i, j - wskaźnik elementu zbioru,
k - liczebność zbioru,
m - mieszkanie,
n - liczebność zbioru,
q - jednostkowy przepływ wody (odpowiednio do dolnego indeksu),
r - użytkownik instalacji,
t - czas (wyróżnia się także odcinek czasu $\Delta t$ oraz czasy określone dodatkowo indeksem dolnym),
u - niesprawny zawór czerpalny,
z - zawór czerpalny,
A - współczynnik wydatku,
C - współczynnik oporności,
E - ilość energii w źródle,
H - wysokość ciśnienia (odpowiednio do indeksu dolnego),
I - zbiór elementów instalacji,
M - zbiór mieszkań
N - zbiór nawyków użytkowników,
Q - przepływ wody (odpowiednio do indeksu dolnego), zużycie, straty wody,
R - zbiór rodzin,

S - odchylenie standardowe (wartość, której dotyczy jest dodatkowo podana w nawiasie),
T - czas (wyróżnia się dodatkowo przedział czasu $\Delta T$ oraz czasy opisane dodatkowo indeksem dolnym),
V - objętość wody (odpowiednio do indeksu dolnego),
Z - zbiór zaworów czerpalnych,
RND - funkcja losowa (w symulacji komputerowej),
JO - jednostka obciążenia,
$\alpha;\beta$ - współczynniki charakterystyki hydraulicznej elementów instalacji,
$\gamma;\delta$ - współczynniki równań regresji,
$\Delta$ - różnica (przedział),
$\zeta$ - współczynnik oporów miejscowych,
$\lambda$ - współczynnik oporów liniowych,
$\tau_o$ - początek liczenia czasu (chwila rozpoczęcia pracy zaworu),
$\varphi$ - funkcja jednoczesności działania zaworów czerpalnych.

Indeksy dolne:
c - całkowity,
d - deterministyczny,
e - element,
g - geometryczny,
l - liniowy,
m - miejscowy,
o - początkowy,
p - przypadkowy (losowy),
r - racjonalny,
s - strat,
u - użyteczny lub użytkowy,
min - najmniejszy,
max - największy.

# 1. WPROWADZENIE

## 1.1. WSTĘP

W rozwoju badań wodociągów instalacje w budynkach były pierwotnie traktowane jedynie jako fragment wodociągu, w którym występuje zjawisko zużycia wody. Badania wielkości i zmienności tego zużycia stanowiły podstawę eksploatacji i programowania rozwoju wodociągów.

Stopniowo, wraz ze wzrostem kubatury budynków i zmianami w zasadach kształtowania urbanistycznego osiedli mieszkaniowych, instalacje wodociągowe zaczęły się rozbudowywać i komplikować technicznie. Obecnie stanowią one już samoistne obiekty badawcze, w których można znaleźć wiele problemów badawczych. Na czoło tych problemów wysuwa się ocena działania instalacji, dokonywana drogą analizowania zjawisk przepływu wody w instalacji. Początkiem tego jest pomiar zużycia wody, dokonywany jednak w innych niż dotychczas przedziałach czasowych - najczęściej znacznie krótszych. Takie badania prowadzi się drogą rejestracji wskazań przepływomierza zainstalowanego w połączeniu instalacji z rozdzielczą siecią wodociągową. W toku pomiarów pojawiają się różnego typu trudności: ulegają uszkodzeniom urządzenia miernicze lub rejestracyjne, pojawiają się okresowo braki wody w sieci. Nie zawsze udaje się uzyskać wymaganą dokładność pomiaru lub rejestracji. Interpretacja wyników pomiaru także jest źródłem kolejnych problemów. Każdy, kto wykonywał takie pomiary mógłby uzupełnić listę wymienionych problemów technicznych i wątpliwości metodycznych.

Autor niniejszej pracy wykonywał pomiary, uczestniczył w nich, a także kierował pracami pomiarowymi zużycia wody w budynkach. Wielokrotnie więc nasuwała się myśl podjęcia działania zmierzającego do usunięcia, choć części, problemów występujących w trakcie badań. Pomysł stworzenia modelu instalacji - odmiennego od dotychczasowego aparatu badawczego stosowanego samodzielnie lub jako pomoc w badaniach terenowych,

powstał pod wpływem zapoznawania się z symulacją systemów masowej obsługi. Inspiracją było podjęcie przez autora próby opracowania metody ustalania przepływów obliczeniowych do projektowania instalacji wodociągowych.

## 1.2. PRZEDMIOT I CEL PRACY

P r z e d m i o t e m pracy jest opracowanie metodyki analizy zjawisk przepływu i zużycia wody w instalacjach wodociągowych wielorodzinnych budynków mieszkalnych z wykorzystaniem dynamicznego modelowania symulacyjnego.

O g ó l n y m c e l e m pracy jest stworzenie nowego, nie stosowanego dotychczas w instalacjach wodociągowych, aparatu badawczego, w postaci strukturalnego modelu pozwalającego na symulację działania instalacji w wybranym przedziale czasu, w sposób zapewniający przydatność wyników symulacji do analizowania zjawisk powstawania przepływów i zużycia wody w instalacjach wodociągowych. Temu ogólnemu celowi podporządkowane zostały c e l e s z c z e g ó ł o w e obejmujące:

- ocenę możliwości zastosowania metod modelowania systemowego do instalacji wodociągowych,
- stworzenie dynamicznego modelu użytkowania instalacji wodociągowej w budynku mieszkalnym,
- skonstruowanie modelu działania hydraulicznego instalacji wodociągowej przydatnego do analizy hydraulicznej instalacji,
- opracowanie koncepcji modelowania strat wody w instalacji,
- opracowanie koncepcji modelu stanu źródła wody dla instalacji.

Każde ze stworzonych narzędzi badawczych zostanie w miarę możliwości wszechstronnie ocenione dla wykazania jego przydatności do prowadzenia badań zjawisk zachodzących w trakcie użytkowania i działania instalacji i oszacowania zakresu możliwych problemów, które mogą być rozwiązywane z jego zastosowaniem.

## 1.3. OKREŚLENIE WYBRANYCH POJĘĆ

W pracy będą stosowane terminy: zużycie wody, zapotrzebowanie na wodę, przepływ obliczeniowy. Są one często używane w wodociągach jako synonimy. W tej pracy będą one semantycznie samodzielne, co narzuca konieczność określenia zakresu ich pojmowania.

Z u ż y c i e wody będzie traktowane jako pobranie przez użytkowników z instalacji wodociągowej objętości wody określonej w zadanym przedziale czasu. Ta objętość będzie także określona jako całkowite zużycie wody stanowiące sumę: zużycia racjonalnego i strat wody. Za r a c j o n a l n e zużycie wody uznaje się umownie takie, które wynika z konieczności pełnego zaspokojenia potrzeb uzasadnionych warunkami życia i pracy oraz stanu zdrowia użytkownika instalacji. Na zasadzie dopełnienia, każde zużycie nieracjonalne traktuje się jako s t r a t y w o d y . Iloraz racjonalnego zużycia wody i czasu, w którym zostało ono określone będzie nazywany p r z e p ł y w e m r a c j o n a l n y m .

Jako prognostyczny odpowiednik zużycia wody będzie traktowane z a p o t r z e b o w a n i e na wodę. Duża część pomiarów prowadzonych w instalacjach jest podporządkowana chęci uzyskania danych przydatnych do prognozowania zużycia wody w projektowanych instalacjach. Iloraz zużycia wody i czasu, w którym zostało ono określone jest nazywany ogólnie przepływem. Wartości przepływu są zmienne i odpowiadają chwilowym stanom użytkowania instalacji. Dla zapewnienia przewodom instalacji przepustowości zaspokajającej wszelkie potrzeby jej użytkowników poszukuje się granicznych stanów użytkowania, którym odpowiadają maksymalne wartości przepływów. Takie stany odtwarza się w projektowaniu nazywając je warunkami obliczeniowymi, zaś występującym w nich przepływom nadaje się nazwę p r z e p ł y w ó w o b l i c z e n i o w y c h .

## 1.4. ZAKRES I METODA PRACY

Zjawisko zużycia wody jest wynikiem zajścia czterech zdarzeń w instalacji wodociągowej:
- użytkowania przyborów sanitarnych, z czym wiąże się otwarcie zaworów czerpalnych obsługujących przybory,
- dopływu wody przewodami instalacji do otwartych zaworów czerpalnych,
- wydatkowania wody ze źródła zasilającego instalację pod ciśnieniem zapewniającym jej dopływ do otwartych zaworów czerpalnych,
- powstawania strat i marnotrawstwa wody.

Usystematyzowaniu tych zdarzeń oraz w pełni zdyscyplinowanemu ich potraktowaniu sprzyja ogólna metodyka analizy systemowej [1÷6]. Stąd też następny rozdział tej pracy będzie dotyczył możliwości potraktowania instalacji wodociągowych jako obiektu modelowania systemowego. Zostanie wykazana możliwość wyodrębnienia instalacji z otoczenia i jej autarkicznego potraktowania. Na tym tle zostanie przeanalizowana konstrukcja modelu ujmującego skutecznie opis wymienionych na początku zjawisk.

Pierwszą z tych części składowych jest opisany w rozdziale 3 - model użytkowania instalacji. Stanowi on w pracy najpoważniejszy problem, bo modelowania zachowań ludzkich, co jak wynika z opinii znawców modelowania systemowego, takich jak G u t e n b a u m , S i e n k i e w i c z czy Z i e m b a , należy do zagadnień o wyjątkowym stopniu trudności. Efektem modelowania będzie harmonogram otwarć zaworów czerpalnych w ciągu doby. Dysponowanie stanem zaworów wynikającym z harmonogramu pozwala z kolei na dokonywanie analiz hydraulicznych przewodów tworzących instalację wodociągową. Model umożliwiający numeryczne przeprowadzanie takiej analizy opisano w rozdziale 4. Te dwa modele są opracowane bardzo szczegółowo. Nieco mniej szczegółowo potraktowano dwa następne modele opisane wspólnie w rozdziale 5. Przedstawiono tam koncepcję modelowania stanu źródła wody dla instalacji oraz koncepcję modelowania powstawania strat wody. Ostatni z mery-

torycznych - 6 rozdział poświęcono analizie i ocenie przydatności opracowanych modeli do rozwiązywania zagadnień badawczych pojawiających się w wyniku potraktowania instalacji jako obiektu obserwacji naukowej. Wykazuje się w nim pełną przydatność opracowanych modeli do rozwiązywania zarówno zagadnień naukowych jak i praktyczną ich przydatność do prac projektowych i analiz eksploatacyjnych już istniejących instalacji.

# 2. INSTALACJA WODOCIĄGOWA JAKO OBIEKT MODELOWANIA SYSTEMOWEGO

## 2.1. MOŻLIWOŚĆ WYODRĘBNIENIA INSTALACJI JAKO SYSTEMU

Problemem wyjściowym dla rozważań jest możliwość potraktowania instalacji wodociągowej jako systemu. Zgodnie z przyjmowaną w analizie systemów, najwygodniejszą dla modelowania, definicją cybernetyczną (G u t e n b a u m [4]) - pod pojęciem systemu rozumie się funkcjonalną całość wyodrębnioną z otoczenia, na którą otoczenie oddziałuje za pośrednictwem wielkości wejściowych, i która zwrotnie oddziałuje na otoczenie za pośrednictwem wielkości wyjściowych. Jak można zauważyć, pierwszym wymaganiem tej definicji jest wyodrębnienie z otoczenia pewnej funkcjonalnej całości. Dokonując tego w odniesieniu do instalacji wodociągowej należy uwzględnić, że jest ona fragmentem wodociągu z jednej strony, a z drugiej - fragmentem budynku, którego stanowi wyposażenie. Chcąc zatem wyodrębnić instalację wodociągową z otoczenia należy rozważyć jej relacje względem wodociągu i względem budynku.

Biorąc pod uwagę wodociąg jako całość instalacji, wodociąg stanowi swoiste wejście-wyjście. Z połączenia instalacji wodociągowych z przewodami rozdzielczymi sieci wodociągowych powstaje zapotrzebowanie na wodę, która jest podawana do połączeń i zużywana w instalacji. Wejściem jest zatem zapotrzebowanie na wodę - wyjściem zużycie wody.

Biorąc pod uwagę instalację wodociągową - zewnętrzna sieć wodociągowa stanowi źródło wody, w odniesieniu do którego formułuje się zgłoszenie do obsługi - zapotrzebowanie na wodę. Źródło może być przy tym (z pewnym uproszczeniem) sprawne - co pozwala dostarczyć wymaganą ilość wody pod potrzebnym ciśnieniem, lub niesprawne - występuje brak wody lub niedostateczne jej ciśnienie.

Relacja instalacja wodociągowa - budynek może być rozważana w wielu aspektach. Istotną dla tej pracy jest relacja funkcjonalna. W tej relacji budynek jest siedliskiem użytkowników instalacji wodociągowej. Użytkownicy operują zaworami czerpalnymi - otwierając je - zgłaszają zapotrzebowanie na wodę, zamykając - informują o zakończeniu zgłoszenia. Użytkownicy oczekują, dla każdego zgłoszenia - dostarczenia potrzebnej im ilości wody o dobrej jakości i pod dostatecznym ciśnieniem. Traktując budynek jako konstrukcję osłonową dla użytkowników i instalacji, można go w ogóle pominąć w rozważaniach i zajmować się jedynie użytkownikami zaworów czerpalnych.

Jak wynika z przeprowadzonych rozważań instalacja wodociągowa może być wyodrębniona z otoczenia i traktowana jako system względnie odosobniony. Wejściem do systemu są otwarcia zaworów przez użytkowników, zaś wyjściem jest zużycie wody podawanej przez źródło.

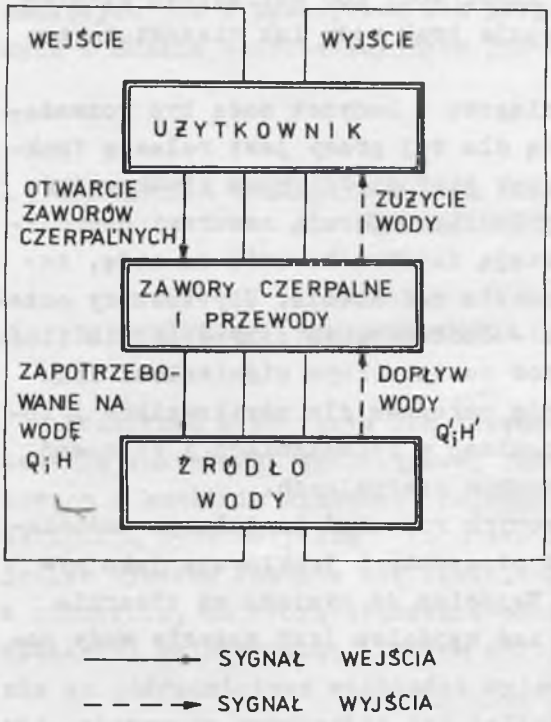
## 2.2. STRUKTURA SYSTEMU I SPOSÓB MODELOWANIA

Modelowanie instalacji jako systemu względnie odosobnionego wymaga określenia jego struktury dla nadania jednoznaczności sprzężeniom między jego składowymi. W omawianym systemie dają się więc wyodrębnić: użytkownicy, zawory czerpalne połączone przewodami[1)] oraz źródło wody. Poprawność określenia struktury i sprzężenia między składowymi można określić analizując działanie systemu.

---

1) Dotychczas właśnie ten element systemu jest określany mianem instalacji wodociągowej.

Działanie instalacji, jako systemu względnie odosobnionego składającego się z wymienionych elementów strukturalnych, można sobie wyobrazić posługując się schematem przedstawionym na rys.2.1. Pierwsze ze sprzężeń elementów występuje między użytkownikiem a zaworami czerpalnymi. Sygnał sterujący w postaci otwarcia określonej liczby zaworów czerpalnych powoduje wywołanie w przewodach zapotrzebowania na przepływ wody wraz z zapotrzebowaniem na energię do wywołania tego przepływu (wyrażaną zazwyczaj wysokością ciśnienia). Sygnał ten dochodzi do źródła wody i wywołuje w tym momencie odpowiedź zależną od stanu źródła (ze względu na małą ściśliwość wody i zachowanie prawa ciągłości jest to odpowiedź praktycznie natychmiastowa). Gdyby założyć, że stan źródła jest dokładnie zgodny z zapotrzebowaniem na wodę i energię, to w odpowiedzi otrzyma się zużycie wody równe zapotrzebowaniu. Jeżeli jednak stan źródła odbiega od zapotrzebowania - to w wyniku przekształcenia sygnału wejściowego przez przewody i zawory otrzyma się jako sygnał wyjściowy zużycie wody odmienne wartościowo od zapotrzebowania. To sprzężenie elementów systemu można określić jako zwrotne.




Rys.2.1. Działanie instalacji jako systemu względnie odosobnionego

Obok opisanego, w działaniu każdej instalacji występuje jeszcze jeden rodzaj sterowania zaworami czerpalnymi. Swoistym, choć nie pożądanym sygnałem sterującym, powodującym zużywanie wody mogą być różnego typu niesprawności elementów instalacji. Ogólnie to zużycie wody jest określane mianem strat wody.

Przystępując do modelowania opisanego działania systemu instalacji wodociągowej należy opracować:

a) model użytkowania instalacji odtwarzający zachowania użytkowników instalacji względem zaworów czerpalnych, czyli model powstawania sygnału wejściowego,

b) model dynamiki źródła wody,

c) model działania hydraulicznego instalacji odtwarzający zjawisko przepływu wody ze źródła do otwartych zaworów czerpalnych, czyli model przekształcania sygnału wejściowego w wyjściowy (odpowiadający sprzężeniu zwrotnemu),

d) model strat i marnotrawstwa wody.

## 2.3. KATEGORIA MODELI I SPOSOBY IDENTYFIKACJI

Sformułowanie struktury systemu i sposobu modelowania wymaga oceny kategorii modeli i zaplanowania sposobu ich identyfikacji. Rozważania te będą przeprowadzone dla poszczególnych modeli i modelu systemu jako całości, z wykorzystaniem doświadczeń analizy systemowej opisanych w piśmiennictwie [1÷6]. W przywołanym tu piśmiennictwie podano szereg ustaleń metodycznych dotyczących różnych sposobów modelowania, kategorii modeli, metod ich identyfikacji oraz kryteriów i metod weryfikacji modeli zalecanych w analizie i modelowaniu złożonych struktur systemowych.

Model powstawania sygnału wejściowego, dalej nazywany krótko modelem użytkowania instalacji, musi przede wszystkim opisywać zachowanie użytkowników. Użytkownikami instalacji wodociągowych w budynkach mieszkalnych są ludzie, dla których naturalnym rytmem życia jest powtarzalność cyklu dobowego i wynikający z niego sposób korzystania z wody do różnych celów. Korzystanie z zaworów czerpalnych polega na ich otwieraniu na określony czas, po upłynięciu którego następuje ich zamknięcie. Zatem zbiór czasów otwarć zaworów, stanowiący zbiór stanów systemu, jest zbiorem wartości dyskretnych. Jest on powtarzalny w kolejnych dobach dla poszczególnych ludzi tylko z określonym prawdopodobieństwem. Takie zbiory dla pojedynczych

osób są różne, zależnie od różnic wynikających z ich fizjologii, wieku, nawyków, wykształcenia, trybu życia, pogody, pory roku itd.

Uwzględniając powyższe można stwierdzić, że model użytkowania instalacji, w ramach ogólnej klasyfikacji modeli podanej przez G u t e n b a u m a [4] a także F i n d e i s e n a [3], powinien być: powtarzalny w cyklu dobowym, dynamiczny, ciągły w czasie, dyskretny w stanie i stochastyczny w określeniu wartości stanu. Nadanie modelowi dynamiki powinno przystosować go do badań przez symulację. Przydatne do tego będą ogólne doświadczenia podane w piśmiennictwie poświęconym technikom symulacyjnym [7÷10]. Jak już opisano, wynik modelowania sygnału wejściowego dociera natychmiast do źródła wody, które podaje sygnał zwrotny. Oznacza to, że kategoria modelu dynamiki źródła wody musi być zgodna z kategorią modelu zapotrzebowania na wodę. Ponieważ z kolei odpowiedź źródła wody jest wejściem do modelu hydraulicznego działania instalacji to i ten model musi być podobnej kategorii jak poprzednio. Analogicznie jest z modelem strat i marnotrawstwa wody.

Z przeprowadzonego rozważania wynika, że o kategoriach poszczególnych modeli, a zatem i o kategorii modelu instalacji jako systemu - decyduje model użytkowania instalacji. Identyfikacja, nazywana także przez S i e n k i e w i c z a [5] wprost - opisem funkcjonalnym modelu, jest w odniesieniu do modeli odwzorowujących zachowanie ludzi szczególnie trudna. Wartość takich modeli jest uznawana za bardzo dużą (G a s p a r s k i [6]) i są one szczególnie przydatne do projektowania. W pierwszym z modeli chodzi o określenie zachowania się ludzi z punktu widzenia ich potrzeb wodnych. Liczba i zmienność czynników decydujących o poziomie i trybie potrzeb wodnych człowieka powodują, że najwygodniej jest sformułować opisowo tylko ogólne zależności, natomiast próby ich modelowania oprzeć na losowaniu. Jak podaje G u t e n b a u m [4] dla tej sytuacji jest przydatne zastosowanie symulacji komputerowej. Nadaje to modelowi tę charakterystyczną cechę, że zmienne niezależne modelu odpowiadają wprost wielkościom rzeczywistym. Uznając ten kierunek działania za zgodny z potrzebami przyjmuje się, że identyfikacja modelu użytko-

wania instalacji nastąpi w formie opisu korzystania użytkowników z zaworów czerpalnych podanego w sposób umożliwiający opracowanie harmonogramu symulowania pracy zaworów czerpalnych w zadanym przedziale czasu.

Prostsza wydaje się identyfikacja modelu źródła wody. Istotą tego modelu jest możliwość prognozowania w zadanym przedziale czasu przebiegów dyspozycyjnego wydatku źródła wody i dyspozycyjnej wysokości ciśnienia wody w źródle. Identyfikacja modelu źródła wody może polegać na opracowaniu stochastycznej prognozy przebiegu możliwej wydajności źródła skorelowanej z odpowiadającą jej wysokością ciśnienia w zadanym przedziale czasowym.

Działanie hydrauliczne przewodów łączących zawory czerpalne podlega prawom mechaniki cieczy. W odniesieniu do tego elementu systemu identyfikacja musi polegać na ustaleniu zależności funkcyjnych między wypływem z zaworów czerpalnych a wysokością strat ciśnienia, wywołanych tym wypływem. W taki sam sposób można potraktować straty wody w instalacji.

Z powyższych rozważań wynika, że w odniesieniu do każdego z modeli cząstkowych jest potrzebny sposób identyfikacji dostosowany do charakteru modelu.

## 2.4. ZASADY WERYFIKACJI

Ogólnie przez weryfikację rozumie się porównanie wyników modelowania z zachowaniem systemu rzeczywistego [1÷6, 9]. Dla potrzeb weryfikacji system rzeczywisty może być reprezentowany przez wiedzę teoretyczną, dane doświadczalne itp. Na podstawie tej reprezentacji formułuje się zewnętrzne i wewnętrzne kryteria weryfikacyjne. Do kryteriów zewnętrznych należą: zgodność formalna i algorytmiczna, zaś wewnętrznych: zgodność heurystyczna i pragmatyczna. Zgodność formalna oznacza niesprzeczność logiczną i ewentualnie matematyczną, zgodność algorytmiczna - umożliwienie efektywnego wykonywania obliczeń (np. wykluczenie możliwości pojawienia się nieciągłości funkcji użytej do obliczeń). Podatność modelu na możliwość dokona-

nia z jego użyciem badań naukowych, to jest weryfikacji hipotez naukowych i formułowania nowych zadań badawczych jest nazywana zgodnością heurystyczną.

Za najważniejszą w modelowaniu jest uznawana zgodność strukturalna. Jest ona według G u t e n b a u m a [4] i F i n d e i s e n a [3] najwyższym stadium zgodności pragmatycznej, Z i e m b a [2] i Z e i g l e r [9] uważają zgodność strukturalną za rozstrzygające kryterium weryfikacji modelu, natomiast B o b r o w s k i [11] oraz L o r e n z i F r a n k [10] - za jedyne kryterium weryfikacyjne. Zgodność strukturalna polega na otrzymaniu zgodnych ze sobą wartości stanowiących wejście i wyjście systemu rzeczywistego i modelowego z jednoczesną zgodnością mechanizmów przekształcania wielkości wejściowych w wyjściowe dla obu systemów. Mówi się wówczas o pełnej zgodności strukturalnej modelu z rzeczywistością.

W odniesieniu do opracowywanych modeli zastosowanie kryteriów zgodności formalnej i algorytmicznej musi nastąpić już w chwili ich identyfikacji i algorytmizacji obliczeń, przy czym zewnętrzne kryteria weryfikacji zostaną dopasowane do kategorii modelu.

Heurystyczna ocena opracowywanych modeli cząstkowych i modelu systemu wymaga przeprowadzenia prób zastosowania modeli do badania zjawisk stanowiących już częściowo rozpoznane problemy badawcze w instalacjach wodociągowych w budynkach mieszkalnych. Wiąże się to także z weryfikacją zgodności strukturalnej. Analizując możliwość dokonania oceny zgodności strukturalnej opracowywanego modelu systemu z rzeczywistością można stwierdzić, że widzi się jedynie częściową możliwość dokonania pełnej oceny zgodności. Stwierdzenie pełnej zgodności strukturalnej powinno, zgodnie ze wstępnymi określeniami, zawierać dwa elementy: stwierdzenie zgodności wartości stanowiących wejście i wyjście dla systemu rzeczywistego i modelowanego oraz stwierdzenie zgodności mechanizmów przetwarzania wielkości wejściowych w wyjściowe dla obu systemów. Stwierdzenie zgodności wejścia i wyjścia wymagałoby posiadania dokładnych pomiarów harmonogramu otwarć i zamknięć zaworów czerpalnych wraz z pomiarem zużycia wody oraz ciśnień w kilku punktach instalacji

wodociągowej w budynku, w wybranym przedziale czasu. Wówczas po wprowadzeniu do opracowanych modeli wejścia - w postaci harmonogramu pracy zaworów, można by spróbować zbadać poziom rozbieżności zużycia wody między modelem a systemem rzeczywistym. Możliwości dokonania takiej oceny są ograniczone i zostaną dalej przedstawione szczegółowo dla każdego z opracowanych modeli i modelu jako całości. Biorąc pod uwagę działanie instalacji i przyjęty sposób modelowania można oczekiwać pełnej zgodności mechanizmów przetwarzania wielkości wejściowych (otwarć zaworów) w wyjściowe (zużycie wody).

Jak wynika z powyższych rozważań, istnieje pełna możliwość sformułowania kryteriów weryfikacji opracowywanych modeli i dokonania ich weryfikacji, włącznie z uznawaną za najważniejszą - weryfikacją zgodności strukturalnej.

## 2.5. WIELKOŚĆ MODELU

Jak już wspomniano, opracowywany model instalacji wodociągowej ma odwzorcowywać przede wszystkim instalacje dostosowane do obsługi budownictwa mieszkaniowego. Zatem jego wielkość powinna być dostosowana do praktyki budownictwa mieszkaniowego. W mieszkalnictwie najmniejszą jednostką wyposażoną w pełen zestaw przyborów sanitarnych jest mieszkanie lub budynek jednorodzinny, które z punktu widzenia modelowania należy uznać za najmniejszą jednostkę.

Jak podaje K o r z e n i e w s k i [12] - w budownictwie wielorodzinnym stosuje się jako najmniejsze, tak zwane małe domy wielorodzinne. Budynki te liczą od 1 do 2 klatek schodowych z 2÷3 mieszkaniami na klatce i od 2 do 4 kondygnacji. Przyjmując skrajne wartości otrzymuje się ok. 24 mieszkań, zaś przyjmując za G o r c z y c ą [13] średnio ok. 3,6 mieszkańca na mieszkanie - ok. 90 mieszkańców. Średnie budynki wielorodzinne mogą dochodzić do liczby ok. 100 mieszkań z ok. 350 mieszkańcami. Przekroczenie tej liczby oznacza wyjście poza 11 kondygnacji w pionie lub poza 2 klatki schodowe z liczbą 4 do 5 mieszkań na kondygnacji. Wiąże się to z koniecz-

B PW

nością podziału instalacji wodociągowej na strefy (przekroczenie 11 kondygnacji) lub na części funkcjonalne (3 klatki), albo na jedno i drugie. Tworzą się w ten sposób instalacje, z których każdą można potraktować jako osobną z punktu widzenia modelowania. Kolejną możliwością jest łączenie instalacji budynków mieszkalnych w grupy budynków zaopatrywanych w wodę z hydroforni grupowych. Postępuje się w ten sposób łącząc na ogół nie więcej niż 5 instalacji wodociągowych, co oznacza granicę ok. 500 mieszkań i ok. 1750 mieszkańców. Według K o r z e n i e w s k i e g o [12], przy takiej liczbie mieszkańców mogą już być potrzebne usługi, lokalizowane samodzielnie w pobliżu budynków, albo w budynkach. Konieczność włączenia usług zmieniałaby zaplanowany obraz modelu przewidzianego dla budownictwa mieszkaniowego.

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że skala modeli systemu instalacji wodociągowej w budynkach mieszkalnych powinna pozwalać na modelowanie zjawisk występujących w liczbie mieszkań nie przekraczających 500, co odpowiada orientacyjnie 1750 mieszkańcom.

## 2.6. PODSUMOWANIE

W niniejszym rozdziale analizowano możliwości zastosowania osiągnięć analizy systemowej do badania i modelowania instalacji w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych. Stwierdzono, że instalacja wodociągowa może być wyodrębniona i sklasyfikowana jako system. Jako całość funkcjonalna tak wyodrębniony system może być traktowany dwojako: oddziałuje na otoczenie jako fragment budynku, a zarazem jest składową systemu wodociągowego. Instalacja może być przedmiotem modelowania, w toku którego należy dążyć do opracowania modelu strukturalnego, powtarzalnego w cyklu dobowym, ciągłego w czasie, dyskretnego w stanie i stochastycznego w określeniu wartości stanu. Określenie struktury instalacji jako systemu i wewnętrznych sprzężeń jego elementów doprowadziło do stwierdzenia, że model powinien składać się z czterech części (podmodeli)

II Wt

obejmujących: użytkowanie instalacji, jej działanie hydrauliczne, dynamikę stanu źródła wody oraz straty i marnotrawstwo wody. Każda z tych części może być traktowana jako autarkiczny model, który może być wykorzystywany łącznie z pozostałymi lub samodzielnie. Łącznikiem modeli powinien być czas - stąd powinny one posiadać identyczną dynamikę. Rozważano sposoby identyfikacji i weryfikacji wyodrębnionych modeli wskazując ogólny kierunek postępowania dla realizacji tych czynności. Stwierdzono, że scenariusz modelowania powinien być dostosowany do prowadzenia badań instalacji przez symulację komputerową. Wskazano także, właściwy z punktu widzenia praktycznego wykorzystania modeli, obszar wielkości modelowanych instalacji. Górnym kresem wielkości tego obszaru w wielorodzinnym budownictwie mieszkaniowym jest ok. 500 mieszkań i ok. 1750 mieszkańców.

# 3. MODELOWANIE UŻYTKOWANIA INSTALACJI WODOCIĄGOWEJ

## 3.1. DEKOMPOZYCJA PROBLEMU UŻYTKOWANIA INSTALACJI I ZUŻYCIA WODY NA ZDARZENIA JEDNOSTKOWE

Użytkowanie instalacji wodociągowej, czego wynikiem jest zużywanie wody, można przedstawić, wykorzystując wprowadzone przez K o n i e c z n e g o [14], pojęcie prakseologicznego łańcucha działania. Łańcuch podstawowy o ogniwach zespolonych: podmiot - pośrednik - przedmiot, może być przedstawiony następująco:




Pośredników może być przy tym wielu i mogą być przedstawieni jako system połączonych ze sobą elementów: zawory czerpalne, przewody, połączenie, sieć wodociągu zewnętrznego, itd... Podstawowe znaczenie ma w tym układzie relacja zacho-

dząca między użytkownikami a zaworami czerpalnymi instalacji wodociągowej. Analizę tych relacji można rozpocząć od obserwacji jednorazowego korzystania z zaworu czerpalnego przez jednego użytkownika. Wykonanie przez użytkownika instalacji wodociągowej pojedynczej czynności, w której występuje zapotrzebowanie na wodę, polega na otwarciu zaworu czerpalnego w sposób pozwalający na osiągnięcie właściwego dla tej czynności natężenia wypływu wody ($q_u$) i utrzymaniu go w czasie ($t_u$) potrzebnym do zakończenia czynności. W wyniku tego zostaje zużyta woda o objętości ($V_c$):

$$V_c = q_u t_u \tag{3.1}$$

Poszerzenie zakresu obserwacji przez wprowadzenie przedziału czasu ($\Delta T$) oraz konieczności wykonania różnych czynności, z zachowaniem jednego zaworu i użytkownika, prowadzi do zużycia wody o objętości:

$$V_1 = \sum_{q_u \in Q_u} \left( q_u \sum_{t_u \in T_u < \Delta T} t_u \right) \tag{3.2}$$

W powyższym wzorze występują: zbiór $Q_u$ - wydajności użytkowych zaworu $q_u$ oraz zbiór czasów użytkowania zaworu $T_u$. Przestrzeń zdarzeń, w której można zdefiniować zbiór czasów trwania czynności (użytkowania zaworu) $T_u$ jest ograniczona czasem $\Delta T$. Powinien być spełniony także warunek $(\sum (t_u)_i < \Delta T)$. W tak ograniczonej przestrzeni można określić czas trwania czynności dwiema zmiennymi: długością trwania czynności - $t_u$ i chwilą jej rozpoczęcia - $\tau_o$. Długość trwania czynności jest funkcją rodzaju czynności, może być także determinowana dostępną wydajnością użytkową zaworu. Chwila rozpoczęcia czynności $\tau_o$ w zadanym przedziale czasu $\Delta T$, może zostać określona w zbiorze N nawyków korzystania z wody przez użytkownika. Korzystanie z instalacji wodociągowej w mieszkaniu polega na zaspokajaniu zapotrzebowania na wodę wynikającego z: nawyków pokarmowych, higienicznych (ciała i mieszkania) oraz konieczności spławiania moczu i kału. Te potrzeby człowieka podlegają naturalnemu rytmowi życia - stąd w analizie potrzeb wodnych człowieka wygodnie jest rozpatrywać jako wybrany przedział czasu dobę. Można zauważyć, że potrzeby wodne człowieka są zależne od wieku i aktywności dobowej.

Przykładowo najmłodsze dzieci (niemowlęta) wymagają przede wszystkim zaspokojenia głodu i pragnienia, nie posiadają żadnych nawyków higienicznych - są całkowicie zależne od rodziców. Stopniowo, wraz ze wzrostem i dojrzewaniem, kształtują się nawyki pokarmowe i higieniczne, zmieniając się z wiekiem. O sposobie korzystania z instalacji wodociągowej przez ucznia decyduje zasadniczo rozkład zajęć szkolnych i miejsce spożywania obiadu (dom lub stołówka szkolna) - przed południem, zaś konieczność pracy w domu, zajęcia pozaszkolne itd. - po południu. Dorosły mężczyzna pracujący i aktywny pozazawodowo - spożywa na ogół obiad po pracy i zajęciach pozazawodowych ok. 19 ÷ 20, podczas gdy jego rodzina - wcześniej. Zupełnie inaczej będzie wyglądał (z punktu widzenia użytkowania instalacji wodociągowej) dzień kobiety pozostającej w domu na urlopie macierzyńskim, jeszcze inaczej - na urlopie wychowawczym. Podane przykłady można oczywiście poszerzać - wspólną cechą dla wszystkich członków rodzin zajmujących wspólnie mieszkanie, jest właściwy dla jej członków indywidualnie, a dla rodziny w całości sposób korzystania z wody, który można sprowadzić do harmonogramu korzystania z zaworów czerpalnych. Harmonogram ten, zawierający właściwe dla danego użytkownika chwile włączeń zaworów ($\tau_o$) w zadanym przedziale czasu ($\Delta T$) stanowi reprezentację z b i o r u N n a w y k ó w u ż y t k o w a n i a instalacji wodociągowej. Zbiór ten jest charakterystyką potrzeb wodnych użytkowników. Powinien on zostać określony dla z-elementowego zbioru Z zaworów czerpalnych - wszystkich zainstalowanych w mieszkaniu. Uwzględnienie w prowadzonych poprzednio rozważaniach wszystkich zaworów w mieszkaniu prowadzi do określenia zużycia wody ($V_2$) przez użytkownika w zadanym przedziale czasu ($\Delta T$) ze wzoru:

$$V_2 = \sum_{z \in Z} \sum_{q_u \in Q_u} \left( q_u \sum_{t_u \in T_u} t_u \right) . \qquad (3.3)$$

Przyjmując, że rodzina stanowi r-elementowy zbiór R użytkowników instalacji wodociągowej zajmujących wspólnie mieszkanie, w obrębie którego określono poprzednio zbiór zaworów czerpalnych Z, można określić zużycie wody w mieszkaniu ($V_3$) w zadanym przedziale czasu $\Delta T$, jako sumę:

$$V_3 = \sum_{r \in R} \sum_{z \in Z} \sum_{q_u \in Q_u} \left( q_u \sum_{t_u \in T_u} t_u \right) . \tag{3.4}$$

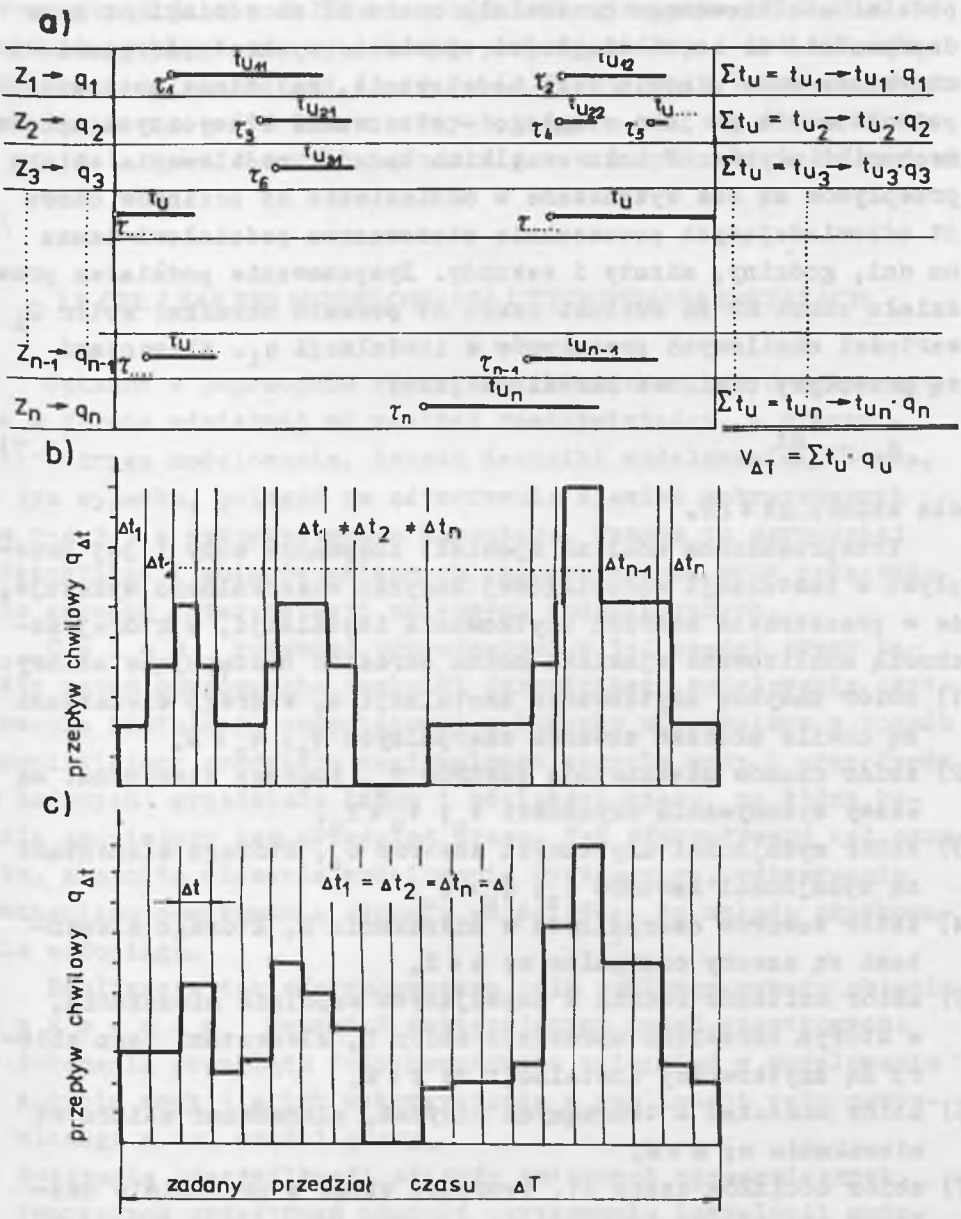
Przyjmując dalej, że budynek stanowi m-elementowy zbiór mieszkań M, można określić objętość wody ($V_4$) zużywanej w zadanym przedziale czasu $\Delta T$, jako:

$$V_4 = \sum_{m \in M} \sum_{r \in R} \sum_{z \in Z} \sum_{q_u \in Q_u} \left( q_u \sum_{t_u \in T_u} t_u \right) . \tag{3.5}$$

Powstawanie określonego analitycznie zjawiska zużycia wody w zadanym przedziale czasu $\Delta T$, w wyniku otwierania wielu zaworów czerpalnych z w chwilach $\tau_o$ i ich pracy w czasie $t_u$ z natężeniem wypływu $q_u$ każdy, przedstawiono na rys.3.1. Górna część tego rysunku (a), zawierająca harmonogram pracy zaworów czerpalnych, stanowi graficzną ilustrację powstawania zjawiska zużycia wody opisanego poprzednio zależnościami (3.2) do (3.5). Dolna część rysunku (b i c) ilustruje mechanizm powstawania zjawiska przepływu wody w instalacji w wyniku sumowania się wypływów z poszczególnych zaworów czerpalnych. Ustalenie objętości wody $V_{\Delta T}$ zużytej w zadanym przedziale czasu $\Delta T$ pozwala określić średni przepływ wody $Q_{\Delta T}$ jako:

$$Q_{\Delta T} = \frac{V_{\Delta T}}{\Delta T} . \tag{3.6}$$

Posługując się rysunkiem 3.1 łatwo wykazać, że tak określony przepływ ma wszelkie niedogodności średniej - przede wszystkim nie oddaje zmienności chwilowych natężeń przepływu wynikających z sumowania się wypływów z poszczególnych zaworów. Udostępnienie możliwości analizowania chwilowych przepływów wody wymaga podziału zadanego poprzednio przedziału czasu $\Delta T$ na krótsze odcinki czasu $\Delta t$. Na rys.3.1 pokazano dwa sposoby podejścia do tego zagadnienia. W części b) rysunku odcinki czasu $\Delta t$ są nierówne, a kolejne ich długości zostały dostosowane do chwil otwarcia i działania zaworów czerpalnych, natomiast w części c) rysunku dokonano równomiernego podziału przedziału $\Delta T$ na odcinki czasu $\Delta t$. Te dwa podziały ujawniają pewne osobliwości zjawiska przepływu w instalacji wodociągowej. Widać mianowicie w części b) rysunku, że przepływ wody w instalacji jest zjawiskiem dyskretnym w czasie. Odpowiednio zastosowany




Rys.3.1. Powstawanie zjawiska zużycia wody i przepływu w instalacji wodociągowej w wyniku pracy wielu zaworów czerpalnych: a) harmonogram otwarć i pracy zaworów czerpalnych, b) kształt wykresu słupkowego przepływów w wyniku dostosowania podziału przedziału czasu ΔT na odcinki Δt o długościach wynikających z chwil włączania zaworów, c) jak wyżej, lecz przy równomiernym podziale ΔT na odcinki czasu Δt

podział analizowanego przedziału czasu $\Delta T$ na odcinki $\Delta t$ może doprowadzić do quasi-ciągłości zjawiska. Dyskretność zjawiska zużywania wody ułatwia jego modelowanie, natomiast możliwość potraktowania go jako ciągłego - stosowanie klasycznych opisów mechaniki płynów. W toku wszelkich badań i modelowania zbioru przepływów są one wyznaczane w odniesieniu do odcinków czasu $\Delta t$ odpowiadających powszechnie stosowanemu podziałowi czasu na dni, godziny, minuty i sekundy. Dysponowanie podziałem przedziału czasu $\Delta T$ na odcinki czasu $\Delta t$ pozwala określać zbiór $Q_i$ wartości chwilowych przepływów w instalacji $q_i$. Elementami są przepływy chwilowe określone jako:

$$q_i = \frac{V_{\Delta t}}{\Delta t}, \tag{3.7}$$

dla zbioru $\Delta t \in \Delta T$.

Przeprowadzona analiza zjawisk: zużywania wody i jej przepływu w instalacji wodociągowej budynku mieszkalnego wykazuje, że w przestrzeni zdarzeń użytkowania instalacji, w której zachodzą analizowane zjawiska można określić następujące zbiory:

1) zbiór nawyków użytkowania instalacji N, którego elementami są chwile włączeń zaworów czerpalnych $\tau_o$; $\tau_o \in N$,
2) zbiór czasów użytkowania zaworów $T_u$, którego elementami są czasy wykonywania czynności $t_u$; $t_u \in T_u$,
3) zbiór wydajności użytkowych zaworów $Q_u$, którego elementami są wydajności zaworów $q_u$; $q_u \in Q_u$,
4) zbiór zaworów czerpalnych w mieszkaniu Z, którego elementami są zawory czerpalne z; $z \in Z$,
5) zbiór członków rodzin R zajmujących wspólnie mieszkanie, w którym określono uprzednio zbiór Z, elementami tego zbioru są użytkownicy instalacji r; $r \in R$,
6) zbiór mieszkań M tworzących budynek, elementami zbioru są mieszkania m; $m \in M$,
7) zbiór odcinków czasu $\Delta t$, tworzący zbiór w przedziale czasowym $\Delta T$; $\Delta t \in \Delta T$,
8) zbiór przepływów w instalacji $Q_i$, którego elementami są chwilowe przepływy $q_i$; $q_i \in Q_i$.

Relacje zachodzące między tymi zbiorami zostały określone zależnościami (3.2) do (3.7). Tworzenie tych zbiorów i ich relacji w postaci umownych zapisów dających się jednoznacznie in-

terpretować jest modelowaniem zjawisk opisanych zbiorami i ich relacjami. Zatem wymienione powyżej zbiory i ich relacje określone zależnościami (3.1) do (3.7) stanowią podstawę strukturalnego m o d e l u u ż y t k o w a n i a i n s t a l a c j i w o d o c i ą g o w e j w budynku mieszkalnym.

## 3.2. CEL I ZAKRES MODELOWANIA UŻYTKOWANIA INSTALACJI

Opisane w poprzednim rozdziale relacje mogą być odtwarzane w formie odmiennej od realnej rzeczywistości, a mianowicie - drogą modelowania. Istota techniki modelowania powinna, w tym wypadku, polegać na odtworzeniu zjawisk zobrazowanych na rys.3.1 z wykorzystaniem komputera. Wymaga to uprzedniej identyfikacji zbiorów zmiennych egzogenicznych oraz opracowania sposobu interpretacji zmiennych endogenicznych.

C e l e m rozważań prowadzonych w tej części pracy będzie zatem opracowanie techniki dynamicznego modelowania użytkowania instalacji wodociągowej w budynku mieszkalnym w sposób umożliwiający predykcję racjonalnego zużycia wody i przepływów w zadanych: przedziale czasu i odcinkach czasu, na które będzie podzielony ten przedział czasu. Tak sformułowany cel oznacza, z punktu widzenia modelowania systemowego, odtworzenie mechanizmu powstawania sygnału wejściowego do układu użytkowania wodociągu.

Realizacja tak sformułowanego celu ogólnego wymaga objęcia z a k r e s e m rozważań następujących zadań cząstkowych:

- dokonania przeglądu dotychczasowych osiągnięć w modelowaniu zużycia wody dla ich wykorzystania w realizacji celu postawionego w tej części pracy,
- dokonania identyfikacji zbiorów zmiennych egzogenicznych tworzących przestrzeń zdarzeń użytkowania instalacji wodociągowej w budynku mieszkalnym,
- dokonania identyfikacji zbiorów zmiennych endogenicznych tworzących zjawiska: przepływu i zużycia wody w modelowanej instalacji oraz sposobów ich interpretacji,

- opracowania algorytmu odtwarzania relacji zachodzących między zbiorami tworzącymi przestrzeń zdarzeń użytkowania instalacji,
- opracowanie metody, kryteriów i dokonania analizy weryfikacyjnej modelu.

## 3.3. DOTYCHCZASOWE PRÓBY MODELOWANIA ZUŻYCIA WODY I PROGNOZOWANIA ZAPOTRZEBOWANIA NA WODĘ

Biorąc pod uwagę potrzeby tej części pracy podzielono dostępne piśmiennictwo na trzy grupy. Pierwszą stanowią publikacje poświęcone interpretowaniu pomiarów zużycia wody i prognozowaniu zapotrzebowania na wodę w skali urządzeń wodociągowych obsługujących grupę budynków, osiedle, miasto. Druga grupa publikacji jest poświęcona badaniom zużycia wody w instalacjach wodociągowych pojedynczych budynków i sposobom określania przepływów obliczeniowych w tych instalacjach. Trzecia grupa - dotyczy problemu modelowania poboru wody w instalacjach wodociągowych.

Informacje zawarte w pierwszej grupie piśmiennictwa mają dla tej pracy przede wszystkim znaczenie metodyczne. Należy tu wziąć pod uwagę prace S i w o n i a z Zespołem [15÷21], T k a c z u k o w e j [22], S u l i g o w s k i e g o [23], J a n c z e w s k i e g o i M i e l c a r z e w i c z a [24], [25] oraz S z e t e l i [26]. Spośród prac zagranicznych w tej grupie należy zwrócić uwagę na osiągnięcia C i c h e ł a s z w i l i e g o [27], S t a r i n s k i e g o [28], oraz H u m m e l a z zespołem [29]. Porównania wymienionych i innych prac zagranicznych z krajowymi pod kątem ich wartości metodycznej wykazały, że krajowe osiągnięcia w tym zakresie w pełni dorównują, a w wielu wypadkach przewyższają, poziom prac zagranicznych.

Wyjściowym zagadnieniem dla wszelkich rozważań typu prognostycznego jest problem interpretacji wyników pomiarów zużycia wody. Pierwszym etapem jest interpretacja opisowa - najbogatsza u S u l i g o w s k i e g o [23], nieco węższa

u Janczewskiego i Mielcarzewicza [24,25], skromna u Siwonia [15] i Szeteli [26]. Następne stadia interpretacji obejmują zastosowanie statystyki pozycyjnej (praktycznie we wszystkich cytowanych pracach) z poszukiwaniem zależności korelacyjnych. Następny etap stanowi modelowanie stochastyczne zapotrzebowania na wodę, w trakcie którego ustalono uprzednio zależności są wykorzystywane do identyfikacji modeli. Z kolei wyjściowe zbiory pomiarów zużycia wody służą do weryfikacji opracowanych modeli stochastycznych. Ten sposób postępowania najpełniej opracował Siwoń [20] i konsekwentnie rozwija opracowaną metodykę [15÷21]. Analogiczny sposób postępowania przyjęli Janczewski z Mielcarzewiczem [24,25] oraz Szetela [26], podobnie przebiega to w pracach zagranicznych [27÷29]. Ze względu na przyjęty sposób opracowania replikatywność uzyskanych modeli jest oczywista, zgodność predykatywną i dynamikę wykazują modele Siwonia [20] i model Szeteli [26]. W modelach wykorzystuje się zależności stochastyczne modelowane rozkładami statystyk (np. typu gamma u Siwonia [15,20] i Janczewskiego z Mielcarzewiczem [24,25], procesy Markowa-Siwoń [18], analizę szeregów czasowych - Cichełaszwili [27], Hummel [29], Szetela [26]) i różne typy regresji wielomianowej - Szetela [26], Cichełaszwili [27].

Druga grupa analizowanych publikacji zawiera prace Janczewskiego i Mielcarzewicza [24,25], Gołębiewskiego i Hałupki [30], Doleckiego i Tabernackiego [31], piśmiennictwo radzieckie (obejmujące w sumie 27 pozycji literatury opracowane w tematyczny zestaw [32]), prace Huntera [33], Kawana [34], Tessendorfa [35], Knoblaucha i Bauera [36], Köppla [37,39], Feuricha [38], Pitscha [40]. Specyficznymi publikacjami wymagającymi także uwzględnienia w tej grupie są akty normatywne [41-45] oraz publikacje stanowiące podstawy lub komentarze do tych aktów [46,47].

W pracy Janczewskiego i Mielcarzewicza [24,25] podjęto problem modelowania zapotrzebowania na wodę (o czasie trwania 5-60 minut) dla pojedynczego budynku i grupy budynków z podziałem na cele spożywcze i higieniczno-sanitarne. Stosując opisaną już poprzednio metodykę skonstruowano w formie korelacji wielokrotnej model stochastyczny do określania natężenia przepływu wody w zależności od czasu trwania przepływu, liczby mieszkańców i prawdopodobieństwa osiągnięcia przepływu.

Prace Gołębiewskiego i Hałupki [30], Doleckiego i Tabernackiego [31], także Szopenskiego [32], Huntera [33] oraz autorów niemieckich [34÷39] i Pitscha [40] są poświęcone metodyce ustalania przepływów obliczeniowych dla wymiarowania przewodów instalacji wodociągowych. Analiza tych prac doprowadziła do stwierdzenia, że początkiem każdej metodyki wyznaczania przepływu obliczeniowego dla instalacji jest stochastyczny model stanu otwarć zaworów uznanych za wzorcowe. Poszukuje się w tym stanu granicznego - największej możliwej liczby jednocześnie otwartych zaworów, która odpowiada warunkom obliczeniowym. Są one formułowane najczęściej jako wartość prawdopodobieństwa otwarcia określonej liczby zaworów w zadanym przedziale czasu. W omawianej grupie publikacji różnie rozwiązuje się tak postawiony problem. Opracowane modele granicznych stanów otwarć zaworów czerpalnych znajdują praktyczne zastosowanie w normach określających sposoby wymiarowania sieci przewodów instalacyjnych [41÷45].

Problem modelowania poboru wody (czyli zapotrzebowania na wodę), najbliższy tematowi tej pracy, był opracowywany przez Jeżowieckiego i Tiukałę [48] oraz Zaleskiego [50].

Praca Jeżowieckiego i Tiukały [48] zawiera udaną próbę sformułowania modelu zapotrzebowania na ciepłą wodę i energię w przedziale czasowym nazywanym "czasem kąpieli głównej". Modelowano najpierw zapotrzebowanie na wodę dla 1 mieszkańca. Model identyfikowano posługując się badaniami Suligowskiego, zakładając wstępnie, że zapotrzebowanie to podlega rozkładowi logarytmiczno-normalnemu. Następnie wyesty-

mowano parametry rozkładu i zweryfikowano poprawność hipotezy testem Kołmogorowa-Smirnowa przy zadanym poziomie istotności, otrzymując pozytywny wynik testu. Tak utworzony model wykorzystano dla dalszych rozważań obejmujących wybrane problemy projektowania instalacji ciepłej wody, dowodząc przydatności opracowanego modelu.

Zmodyfikowany i rozszerzony sposób podejścia do modelowania poboru wody zaprezentował T i u k a ł o w następnej pracy [49]. W ramach tej pracy opracowano model poboru wody z instalacji wewnętrznej budynku mieszkalnego wielorodzinnego. Istotą modelu jest technika losowania liczby jednocześnie czynnych miarodajnych punktów czerpalnych w zadanej chwili czasowej. Jako miarodajny punkt czerpalny przyjęto strumień wody pobieranej w całym mieszkaniu określonej kategorii. Strumień ten modelowano heurystycznie przyjmując czteroparametrowy rozkład beta.

Wartości wypływu dla miarodajnych punktów czerpalnych wyznaczono wykorzystując prace Szopeńskiego. Opracowując metodę losowania liczby jednocześnie czynnych miarodajnych punktów czerpalnych założono, że prawdopodobieństwo ich działania jest tym większe, im większa jest liczba mieszkańców (kategoria) mieszkania. Następnie opracowano technikę losowania liczby jednocześnie czynnych miarodajnych punktów czerpalnych. Proponowaną technikę generacji stanów systemu nazwaną symulacją systemu zilustrowano przykładami zastosowań, z których wynika, że opracowany model jest szczególnie przydatny do generowania maksymalnych stanów granicznych w połączeniu instalacji z wodociągiem zewnętrznym, czyli do ustalania przepływów obliczeniowych i przepływów maksymalnych.

Tematycznie biorąc, uzupełnieniem modelu Tiukały jest model Z a l e s k i e g o [50]. W tym modelu wyjściowym do rozważań jest pojęcie standardowej charakterystyki poboru wody przez jedno mieszkanie kategorii M-1. Założono, że pobór wody w dowolnej chwili w takim mieszkaniu może być opisany rozkładem normalnym o wyznaczalnych parametrach. Pobór wody w systemie wielu mieszkań jest liniową kombinacją charakterystyk odpowiedniego rzędu. Po sformalizowaniu zapisu podano metodę estymacji parametrów modelu, po czym podjęto próbę jego opty-

malizacji. Próbowano również w modelu, w bardzo małym stopniu uwzględnić straty wody. Ograniczono się do uwzględniania jedynie płuczek ustępowych, stosując przy tym pojęcia z zakresu teorii niezawodności prowadzące do aktualnie niewyznaczalnych parametrów. Jak można stwierdzić z zaprezentowanych przykładów, opracowany model, wyznaczany w dobowej skali czasu, jest głównie przydatny do rozważań nad problemami zbiornikowymi (retencja wody, kumulacja energii cieplnej) szczególnie dla instalacji ciepłej wody. Ocena przydatności opisanych modeli do potrzeb niniejszej pracy wymaga uwypuklenia ich niektórych właściwości.

Stosując terminologię zaproponowaną w rozdz.1.3 tej pracy można stwierdzić, że przedmiotem modelowania w obu zreferowanych pracach jest racjonalne zapotrzebowanie na wodę w budynkach mieszkalnych. Oba modele nie wykazują zgodności strukturalnej z rzeczywistością w rozumieniu analizy systemowej [1÷6]. W rzeczywistości sygnałem wejściowym są otwarcia zaworów czerpalnych, natomiast w opisanych modelach - nominalna liczba mieszkańców obsługiwanych modelowaną instalacją podana w postaci liczby i kategorii mieszkań tworzących wielorodzinny budynek mieszkalny. Sygnał wejściowy jest przekształcany w wyjściowy przez zastosowanie probabilistycznej procedury losowania standardowych, uznanych za jednostkowe, poborów wody. W rzeczywistości to przekształcenie polega na tym, że po otwarciu zaworów czerpalnych powstają przepływy w przewodach instalacji wodociągowej. Zastosowane przekształcenie sygnału wejściowego w wyjściowy w obu modelach jest znane w literaturze pod nazwą czarnej skrzynki [6]. Sygnał wyjściowy jest natomiast zgodny z rzeczywistością - jest określony jako przepływ lub zestaw przepływów w zadanym czasie, pojawiający się w połączeniu instalacji ze źródłem wody.

Oba modele są zatem stochastyczne i w obu determinuje się probabilistycznie stany w dyskretnych chwilach czasowych. W obu modelach traktuje się jedno mieszkanie jako najmniejszą jednostkę strukturalną instalacji wodociągowej. Nie przedyskutowano minimalnych rozmiarów instalacji, dla której mogą być stosowane modele. Zgodnie z założeniami wyjściowymi jako zmienną losową, potraktowano takie parametry wpływające na po-

bór wody jak: struktura demograficzna mieszkańców, kultura higieny, standard wyposażenia sanitarnego mieszkań, struktura społeczna i czas pracy mieszkańców, dzień tygodnia itd. Porównując opisane modele z określoną w rozdziale 2.3 poszukiwaną kategorią modeli można łatwo stwierdzić, że chodzi o inną kategorię modeli. Oznacza to, że bezpośrednie wykorzystanie modeli Tiukały i Zaleskiego nie jest, w tym wypadku, ani możliwe, ani celowe. Można z nich natomiast wykorzystać doświadczenie metodyczne.

Przeprowadzoną syntetyczną charakterystykę dotychczasowych prób modelowania zapotrzebowania na wodę można podsumować następującymi stwierdzeniami:

- wysiłek twórców modeli zmierzał dotychczas głównie do wykorzystania modeli stochastycznych,
- modele typu stochastycznego odpowiadają na pytanie: jaka jest wartość szukanego zapotrzebowania na wodę lub przepływu w zadanym przedziale czasu z zadanym prawdopodobieństwem wystąpienia? nie precyzują natomiast chwili wystąpienia tych wartości, co powoduje, że są one bezpośrednio nieprzydatne do modelowania użytkowania instalacji wodociągowych, które muszą uwzględniać chwile włączeń zaworów czerpalnych,
- w trakcie identyfikacji i opracowywania sposobów interpretacji zbiorów zmiennych endogenicznych należy uwzględnić stosowane dotychczas sposoby interpretacji pomiarów zużycia wody z wykorzystaniem statystyki pozycyjnej,
- spośród analizowanych prac ocenia się jako bezpośrednio przydatną do weryfikacji opracowywanego modelu pracę J a n c z e w s k i e g o i M i e l c a r z e w i c z a [24,25], ze względu na zawarte w niej wyniki pomiarów zużycia wody w rzeczywistych budynkach mieszkalnych; dalej prace S i w o n i a z Z e s p o ł e m [24-27] i S u l i g o w s k i e g o [23] - ze względu na podane w nich wartości wskaźników jednostkowego zużycia wody oraz omówienie i charakterystykę zmienności dobowego i godzinowego zużycia wody na podstawie pomiarów, a także prace różnych autorów niemieckich [34÷37] i [51÷54] oraz angielskich [55÷59], w których zawarte są dane o zużyciu wody netto w gospodarstwach domowych i strukturze tego zużycia na różne cele.

## 3.4. IDENTYFIKACJA ZMIENNYCH MODELU

### 3.4.1. Wyodrębnienie zmiennych i metodyka ich identyfikacji

Przeprowadzona w rozdziale 3.1 analiza użytkowania instalacji wodociągowej i powstawania w niej zjawisk: zużywania i przepływu wody została zakończona wyróżnieniem zbiorów zmiennych w przestrzeni zdarzeń użytkowania instalacji. Te zmienne można zaliczyć do jednej z dwóch grup: zmiennych egzogenicznych (objaśniających) lub zmiennych endogenicznych (objaśnianych).
Do zmiennych egzogenicznych należą:
- mieszkania m,
- zawory czerpalne z,
- czasy użytkowania (pracy) zaworów czerpalnych $t_u$,
- wydajność użytkowa zaworów czerpalnych $q_u$,
- użytkownicy instalacji r,
- chwile włączenia zaworów czerpalnych $\tau_o$,
- przedział czasu $\Delta T$ i zbiór odcinków czasu $\Delta t$.

Do zmiennych endogenicznych należą:
- zużycie wody $V_u$ w zadanym przedziale czasowym $\Delta T$,
- przepływy wody $q_i$ w zadanych odcinkach czasu $\Delta t$, w przedziale czasowym $\Delta T$.

Wyróżnione zmienne można podzielić na grupy wymagające różnych sposobów podejścia do ich identyfikacji. Pierwszą grupę stanowią zmienne: mieszkania i zawory czerpalne. Są one najprostsze do identyfikacji, gdyż są jednoznacznie zdefiniowane w przestrzeni konstrukcją i wyposażeniem budynku. Należy jedynie opracować metodę odwzorowywania zbiorów tych zmiennych w formie przydatnej do modelowania. Drugą grupę stanowią zmienne: czasy użytkowania i wydajności użytkowe zaworów czerpalnych. Ich identyfikacja wymaga interpretacji wyników pomiarów wykonanych w istniejących instalacjach. Trzecią grupę stanowią zbiory zmiennych: użytkowników instalacji i chwil włączeń zaworów czerpalnych. Identyfikacja tych zmiennych i ich zbiorów będzie następowała w populacji mieszkańców wielorodzinnych budynków mieszkalnych o pełnym komforcie wyposażenia w przybory sanitarne. Dokonanie identyfikacji zbioru użytkowników wy-

maga interpretacji wyników badań socjologicznych i demograficznych nad rodzinami i ich członkami pozostającymi we wspólnym gospodarstwie domowym. Identyfikacja zbioru chwil włączeń zaworów wymaga zaplanowania, przeprowadzenia i opracowania obserwacji korzystania z instalacji wodociągowej przez użytkowników.

Identyfikacja przedziałów czasu $\Delta T$ i odcinków czasu $\Delta t$ wymaga szerszego przeanalizowania problemu czasu jako kategorii społecznej - socjologicznej, z jednej strony oraz fizycznego podejścia do kwantyfikacji czasu - z drugiej strony. Identyfikacja tych zmiennych powinna być dokonywana łącznie z analizą i dyskusją przeznaczenia zmiennych endogenicznych do oceny pracy instalacji wodociągowej.

### 3.4.2. Identyfikacja zmiennych egzogenicznych

#### 3.4.2.1. Mieszkania i zawory czerpalne

Wyróżnikiem identyfikującym mieszkanie jest jego wielkość mierzona liczbą osób, dla której je projektowano. K o r z e n i e w s k i [12] stwierdza stosowanie tego sposobu określania nominalnej wielkości mieszkania w całej Europie. W kraju usankcjonowano ten sposób podejścia prawnie po raz pierwszy w 1959 roku [60] przez wprowadzenie pojęcia kategorii mieszkania, oznaczającej liczbę osób, dla której przewidziano mieszkanie. W budownictwie wielorodzinnym, którego instalacji wodociągowych dotyczy opracowany model, przewiduje się obecnie stosowanie kategorii mieszkania od M-2 do M-6 [61]. Przyjmuje się, że w ramach modelu wielkość mieszkania jest identyfikowana jego kategorią.

Niezależnie od technologii budowy, budynki mieszkalne składają się na ogół z powtarzalnych kondygnacji. W obrębie klatek schodowych mieszkania takiej samej wielkości (kategorii) są ustawione w stosy - jedno nad drugim. Stos mieszkań określonej kategorii może być obsługiwany jednym lub dwoma pionami wodociągowymi. Architekci, odpowiedzialni za funkcjonalność mieszkań, prezentują pogląd o konieczności rozdziału funkcji dziennych od nocnych w obrębie mieszkania [12]. Wymaga to rozdzielenia od siebie kuchni i łazienki. Jak wykazały badania

autora [62] za najbardziej racjonalne należy uznać obsługiwanie mieszkań kategorii M-1 do M-3 - jednym wspólnym pionem łazienkowo-kuchennym, natomiast mieszkań M-4 i większych - dwoma pionami: łazienkowym i kuchennym, z wydzieleniem ustępu w osobne pomieszczenie usytuowane obok łazienki lub kuchni.

W nawiązaniu do powyższych ustaleń autor i S o s n o w s k i [62,63] kilkakrotnie analizowali, z uwzględnieniem obowiązujących wymagań technicznych [64], możliwości wyposażenia mieszkań w przybory sanitarne i związane z nimi punkty czerpalne (baterie, zawory). Wyniki analiz zawiera tablica 3.1.

T a b l i c a 3.1

Możliwe wyposażenie mieszkań w przybory sanitarne i związane z nimi zawory czerpalne (według analiz autora i S o s n o w s k i e g o [62,63], z uwzględnieniem obowiązujących zasad [64])

| Pomieszczenie | Wyposażenie | Kategoria mieszkania | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | M-2 | M-3 | M-4 | M-5 | M-6 |
| Kuchnia | Zlewozmywak | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Zmywarka | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Łazienka | Umywalka | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Wanna | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Pralka | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Bidet | | | ○ | ○ | ○ |
| | Natrysk | | | ○ | ○ | ○ |
| Ustęp | Zbiornik spłukujący miskę ustępową | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Umywalka | | | | ○ | ● |
| | | 1 komplet pionów | | 2 komplety pionów | | |

Oznaczenia: ● - wyposażenie standardowe,
○ - wyposażenie ponadstandardowe (komfortowe).

Uwaga: W mieszkaniach z 1 kompletem pionów pomieszczenie łazienki jest wyposażone w miskę ustępową.

Dane zawarte w tej tablicy identyfikują wyposażenie instalacji w zawory czerpalne w zależności od kategorii mieszkania. Zastosowany podział na wyposażenie standardowe i komfortowe określa możliwe granice zmienności liczby i rodzaju punktów czerpalnych.

3.4.2.2. Czas pracy i wydajność użytkowa zaworów czerpalnych

Czas pracy zaworu czerpalnego jest funkcją rodzaju czynności wykonywanej przez użytkownika instalacji. Dla określenia sposobu pracy zaworu czerpalnego i wynikającego z niego czasu pracy zaworu będzie dalej, w toku identyfikacji i modelowania, stosowana nazwa: tryb pracy zaworu czerpalnego. Stosując pojęcie trybu pracy, można wyróżnić zawory:

a) o jednym trybie pracy: w pralkach automatycznych i zmywarkach do naczyń, bidetowy, natryskowy, w zbiorniku spłukującym miski ustępowej,
b) o dwóch trybach pracy: zlewozmywakowy, umywalkowy, wannowy (bateria z natryskiem),
c) zawory o wielu trybach pracy - obecnie już nie stosowane w budownictwie mieszkaniowym wielorodzinnym.

Łatwo zauważyć, że idea trybu pracy zaworu wiąże się ze stopniem jego "specjalizacji". W miarę narastania specjalizacji obsługi użytkownika, maleje liczba trybów pracy zaworów czerpalnych, rośnie natomiast wyposażenie mieszkań w zawory - każda czynność jest wykonywana innym, specjalnie dla niej dobranym zaworem. Najbardziej obecnie wyspecjalizowane zawory - pralkowe, mają sposób pracy ściśle określony działaniem programatora pralki. Przykładem zaworu o wielu trybach pracy jest zawór czerpalny nad zlewem w kuchni stosowany w początkach rozwoju instalacji wodociągowych jako jedyny punkt czerpalny w mieszkaniu. Wartości czasów pracy zaworów czerpalnych stanowiących wyposażenie mieszkań zestawiono w tablicy 3.2. Granice tych wartości zostały ustalone w wyniku analizy pomiarów czasu pracy i korzystania z przyborów sanitarnych wykonanej przez autora. Każdy z wymienionych dotychczas zaworów czerpalnych charakteryzuje się, zależnie od ciśnienia wody, określonym zakresem wydajności. W tym zakresie zawiera się także wy-

T a b l i c a 3.2

Wartości czasów pracy zaworów w różnych trybach (według obserwacji autora)

| Zawór i pomieszczenie | Tryb pracy | Czas pracy zaworu [s] | |
|---|---|---|---|
| | | minimalny | maksymalny |
| Bateria umywalkowa | | | |
| - w łazience | - mycie rąk | 15 | 30 |
| | - korzystanie w trakcie kąpieli | 5 | 60 |
| - w ustępie | - mycie rąk | 10 | 25 |
| Bateria wannowa w łazience | - napełnianie wanny | 240 | 480 |
| | - mycie się pod prysznicem | 240 | 480 |
| Pływakowy zbiornika spłukujący miskę ustępową | napełnianie zbiornika | 150 | 200 |
| Bateria zlewozmywakowa w kuchni | - napełnianie naczyń | 5 | 15 |
| | - mycie naczyń: | | |
| | - po śniadaniu | 30 | 200 |
| | - po obiedzie | 180 | 540 |
| | - po kolacji | 120 | 460 |
| | łącznie: | 330 | 1200 |
| Zawór pralki automatycznej (zależnie od programu) | napełnianie zbiornika pralki | 120 | 840 |

dajność użytkowa zaworu. Pod pojęciem użytkowej wydajności zaworu czerpalnego należy rozumieć takie natężenie wypływu wody, które powoduje racjonalne zużycie wody na wykonanie czynności przez użytkownika z zachowaniem odczucia pełnego komfortu z korzystania z wody przez użytkownika.

Zakresy wydajności poszczególnych zaworów czerpalnych według badań H a ł u p k i [65] i S o s n o w s k i e g o [66] zestawiono w tablicy 3.3. Podano tam także ustalenia i propozycje różnych wartości wydajności użytkowej armatury czerpalnej.

Dane zestawione w tabl.3.2 i 3.3 identyfikują poszukiwane zmienne: czas użytkowania i wydajność użytkową zaworów czerpalnych.

T a b l i c a 3.3

Wydajność armatury czerpalnej zależnie od jej rodzaju i trybu pracy [62, 65, 66]

| Rodzaj zaworu i tryb pracy | Granice wydajności [$dm^3/s$] | Wydajność użytkowa [$dm^3/s$] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | (1) | (2) | (3) |
| Bateria umywalkowa | 0,06 ÷ 0,2 | 0,1 | 0,07 | 0,1 |
| Zawór zbiornika spłukującego miskę ustępową | 0,05 ÷ 0,16 | - | 0,07 | - |
| Bateria zlewozmywakowa | 0,06 ÷ 0,2 | 0,1 | | 0,2 |
| - napełnianie naczyń | | - | 0,15 | - |
| - mycie naczyń | | - | 0,1 | |
| Bateria wannowa | 0,15 ÷ 0,5 | | | |
| - napełnianie wanny | | 0,14 | 0,4 | - |
| - użycie prysznica | | 0,19 | 0,3 | - |
| Zawór pralki automatycznej | 0,2 ÷ 0,3 | - | 0,25 x) | - |

Objaśnienia:

(1) - propozycje sformułowane przez G o ł ę b i e w s k i e g o i H a ł u p k ę [65],
(2) - ustalenia autora i S o s n o w s k i e g o [62],
(3) - według badań S o s n o w s k i e g o [66] - dla ograniczników przepływu produkcji szwedzkiej,

x) Pojęcie wydajności użytkowej w odniesieniu do tego zaworu nie może być stosowane, podana wartość jest średnią wydajnością tego zaworu.

### 3.4.2.3. Użytkownicy instalacji i chwile włączenia zaworów czerpalnych

Przystępując do identyfikacji użytkowników zakłada się do dalszych rozważań, że osoby zajmujące wspólnie mieszkanie tworzą rodzinę pozostającą we wspólnym gospodarstwie domowym. Identyfikacja użytkowników przy takim założeniu wymaga analizy struktury rodzin zajmujących mieszkania określonych kategorii.

Realizacja identyfikacji dla potrzeb modelowania wymaga odpowiedzi na następujące pytania:
- ile osób może zajmować mieszkanie określonej kategorii?
- z ilu pokoleń może składać się rodzina?
- jaka może być struktura wieku członków rodzin?
- jaka może być struktura zawodowa członków rodzin?

Odpowiedzi na te pytania szukano wykorzystując wyniki pracy D o m i n o w s k i e g o i J a r z ą b e k [67] poświęconej badaniu warunków gospodarstw domowych w wielorodzinnej zabudowie mieszkaniowej zrealizowanej po 1974 roku. Przedmiotem badań były różnego typu zagadnienia socjologiczne takie jak: warunki życia rodzin, wyposażenie mieszkań, motywacje zmiany mieszkań itp. Badania zrealizowano w 5 wybranych osiedlach mieszkaniowych Warszawy, Łodzi i Gdańska. Łączna liczba analizowanych mieszkań wynosiła ok. 6000, łączna liczba mieszkańców - ok. 20000. Bardzo szczegółowe analizy prowadzono dla mniejszej liczby mieszkań i mieszkańców - od 100 do 700 gospodarstw domowych w poszczególnych osiedlach - zależnie od potrzeb i wymagań stawianych przez opracowywane zagadnienie. Niektóre wyniki badań prowadzonych w ramach omawianej pracy zostały wybrane i dodatkowo opracowane już przez autora w celu wykorzystania do identyfikacji zbioru użytkowników instalacji wodociągowych w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych.

Pierwszym z określonych na początku problemów jest identyfikacja liczebności rodzin zajmujących mieszkanie określonej kategorii. Analizując dane zestawione w tablicy 3.4 i rys.3.2 można zauważyć następujące ogólne prawidłowości dotyczące zaludnienia mieszkań poszczególnych kategorii:
- M-2 są najczęściej (75% przypadków) zamieszkałe przez 1 osobę, rzadziej przez 2 osoby, sporadycznie - 3 osoby,
- M-3 są najczęściej (85% przypadków) zamieszkałe przez 2÷3 osoby, rzadko przez 1 lub 4 osoby (po 6% przypadków), jednostkowo - przez 5 lub 6 osób,
- M-4 są najczęściej zamieszkałe przez 3÷4 osoby (85% przypadków), rzadziej przez 2 osoby, sporadycznie przez 5 lub 6 osób,
- M-5 i M-6 są najczęściej zamieszkałe przez 4÷5 osób, rzadziej przez 2 lub 6 osób.

Tablica 3.4

Identyfikacja liczebności zasiedlania mieszkań

| Kategoria mieszkania i liczba osób | | Względna częstość występowania liczby osób w osiedlu | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Chomiczówka | Targówek | Ursynów | Widzew | Zaspa | Średnio |
| M-2 | 1 | 0,820 | 0,764 | 0,762 | 0,555 | 0,867 | 0,758 |
| | 2 | 0,160 | 0,232 | 0,179 | 0,445 | 0,133 | 0,226 |
| | 3 | 0,020 | 0,004 | 0,060 | - | - | 0,016 |
| M-3 | 1 | 0,037 | 0,059 | 0,132 | 0,003 | 0,049 | 0,062 |
| | 2 | 0,447 | 0,364 | 0,400 | 0,367 | 0,310 | 0,355 |
| | 3 | 0,493 | 0,552 | 0,438 | 0,551 | 0,508 | 0,508 |
| | 4 | 0,023 | 0,025 | 0,024 | 0,004 | 0,120 | 0,064 |
| | 5 | - | - | 0,008 | 0,001 | 0,010 | 0,006 |
| | 6 | - | - | - | - | 0,003 | 0,003 |
| M-4 | 1 | 0,006 | 0,004 | 0,015 | 0,014 | 0,009 | 0,009 |
| | 2 | 0,086 | 0,072 | 0,128 | 0,075 | 0,077 | 0,121 |
| | 3 | 0,354 | 0,257 | 0,488 | 0,239 | 0,204 | 0,305 |
| | 4 | 0,533 | 0,653 | 0,343 | 0,631 | 0,657 | 0,565 |
| | 5 | 0,020 | 0,014 | 0,024 | 0,033 | 0,044 | 0,027 |
| | 6 i> | - | - | - | 0,008 | 0,009 | 0,003 |
| M-5 | 1 | - | 0,009 | - | 0,029 | 0,034 | 0,015 |
| | 2 | - | 0,023 | 0,043 | 0,057 | 0,068 | 0,043 |
| | 3 | 0,316 | 0,092 | 0,222 | 0,229 | 0,188 | 0,169 |
| | 4 | 0,368 | 0,321 | 0,494 | 0,257 | 0,352 | 0,374 |
| | 5 | 0,210 | 0,454 | 0,204 | 0,429 | 0,318 | 0,339 |
| | 6 i> | 0,106 | 0,100 | 0,030 | - | 0,040 | 0,059 |
| M-6 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 0,016 | - | - | 0,049 | 0,020 | 0,024 |
| | 3 | 0,127 | - | - | 0,219 | 0,088 | 0,119 |
| | 4 | 0,333 | - | - | 0,439 | 0,245 | 0,299 |
| | 5 | 0,317 | - | - | 0,268 | 0,380 | 0,347 |
| | 6 i> | 0,206 | - | - | 0,024 | 0,265 | 0,211 |

Źródło: opracowanie autora na podstawie danych zebranych przez D o m i n o w s k i e g o [67].

W poszczególnych z analizowanych osiedli występują nieznaczne odstępstwa od ogólnych prawidłowości, co łatwo zauważyć na rys.3.2.

Następnym z problemów jest konieczność identyfikacji składu rodzin. Pierwszym krokiem do tego jest określenie liczby pokoleń tworzących rodzinę. Posługując się danymi zestawionymi w tablicy 3.5 oraz opisem pracy [67] ustalono następujące pra-

Tablica 3.5

Identyfikacja struktury pokoleń w rodzinach zależnie od kategorii mieszkania

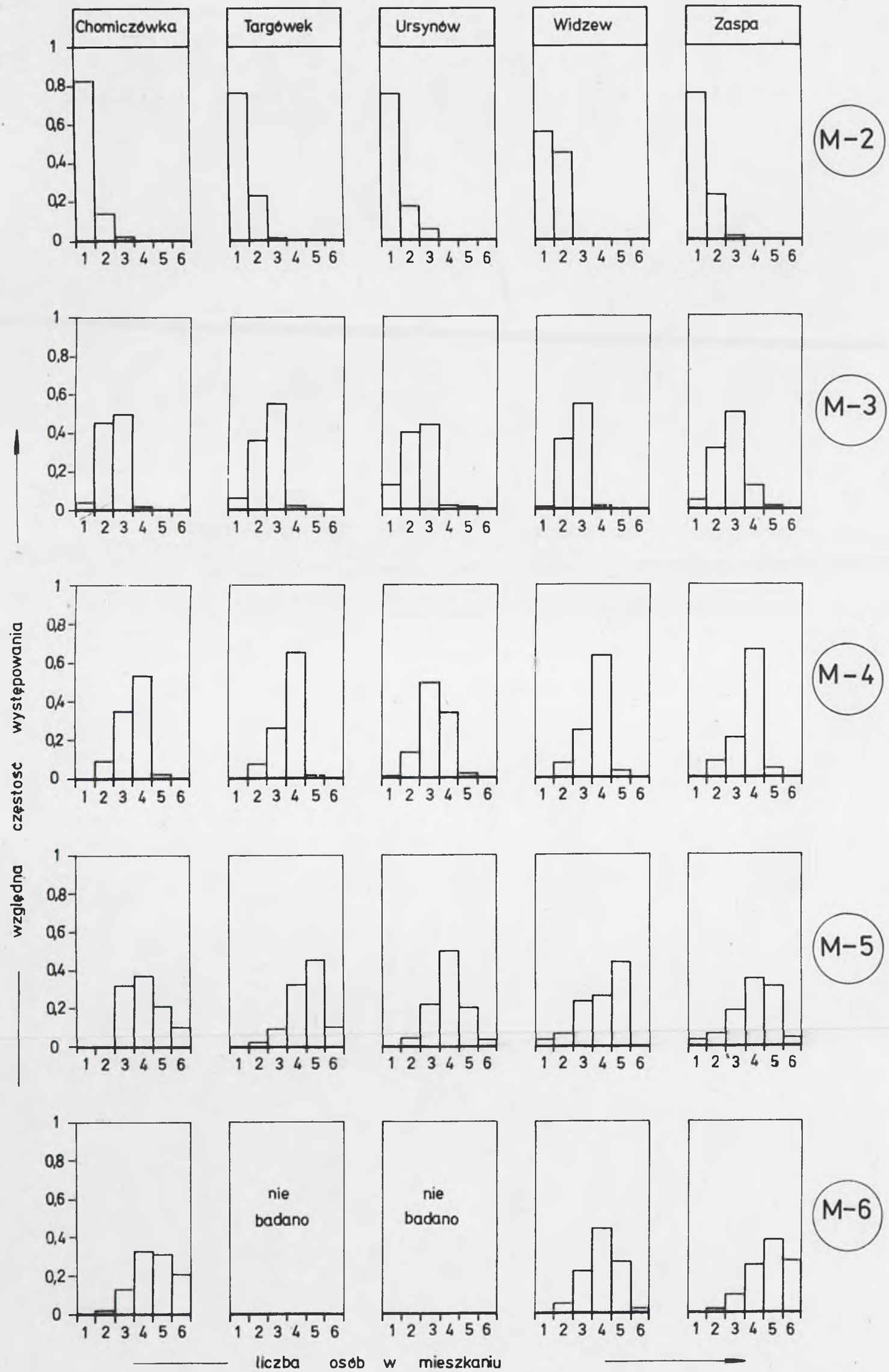
| Liczba pokoleń | Struktura pokoleń w mieszkaniu kategorii | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | M-2 | M-3 | M-4 | M-5 | M-6 |
| 1 | 0,81 | 0,16 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| 2 | 0,19 | 0,83 | 0,92 | 0,76 | 0,73 |
| 3 | - | 0,01 | 0,04 | 0,20 | 0,24 |
| 4 | - | - | 0,01 | - | - |

Źródło: opracowanie autora danych zebranych przez Dominowskiego w pracy [67].

widłowości dotyczące rodzin zajmujących mieszkania poszczególnych kategorii:

- M-2 zajmują najczęściej 1-pokoleniowe rodziny utworzone przez pary małżeńskie, rodziny 2-pokoleniowe w tych mieszkaniach to dorosłe dziecko z jednym z rodziców,
- M-3 zajmują najczęściej rodziny 2-pokoleniowe utworzone przez parę małżeńską z dzieckiem, rzadziej 1-pokoleniowe utworzone przez bezdzietną parę małżeńską,
- M-4 zamieszkują prawie wyłącznie (92% przypadków) rodziny 2-pokoleniowe złożone z pary małżeńskiej z dwojgiem dzieci,
- M-5 i M-6 są zajmowane najczęściej przez 2-pokoleniowe rodziny składające się z rodziców z dziećmi, rzadziej 3-pokoleniowe składające się z pary małżeńskiej z dziećmi i jednym (dwoma) seniorem.

Dalsze uszczegółowienie identyfikacji rodzin użytkowników instalacji wodociągowych wymaga analizowania struktury wieku i członków rodzin. Dane do analizy zestawiono w tabl.3.6 i 3.7.




Rys.3.2. Identyfikacja liczebności zasiedlenia mieszkań zależnie od ich kategorii w wybranych osiedlach w kraju

Tablica 3.6

Identyfikacja struktury rodzin mieszkających w budownictwie wielorodzinnym

| Opis | | Liczebność rodzin 2 | 3 | 4 5 i 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Charakterystyka rodzin | | | | | | |
| Liczba badanych rodzin | | 12 | 20 | 23 | 15 | 70 |
| Liczba osób | | 24 | 60 | 92 | 79 | 255 |
| - w tym: dzieci | | - | 18 | 45 | 36 | 99 |
| małżonków | | 18 | 38 | 44 | 17 | 117 |
| seniorów[1] | | 6 | 4 | 3 | 14 | 27 |
| Charakterystyka struktury | | | | | | |
| różnica wieku małżonków [a] | do 15 | 0,83 | 0,95 | 0,96 | 1,00 | 0,94 |
| | ponad 15[2] | 0,17 | 0,05 | 0,04 | 0,00 | 0,06 |
| typ pracy dorosłych | umysłowa | 0,54 | 0,45 | 0,49 | 0,44 | 0,47 |
| | fizyczna | 0,21 | 0,45 | 0,45 | 0,23 | 0,35 |
| | nie prac. | 0,25 | 0,10 | 0,06 | 0,33 | 0,18 |
| | razem | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| wiek dzieci i młodzieży [a] | $\leq 3$ | - | 0,28 | 0,27 | 0,33 | 0,29 |
| | 4 ÷ 6 | - | 0,33 | 0,22 | 0,19 | 0,23 |
| | 7 ÷ 14 | - | 0,22 | 0,25 | 0,31 | 0,26 |
| | 15 ÷ 19 | - | 0,11 | 0,04 | 0,11 | 0,09 |
| | 20 ÷ 24 | - | 0,06 | 0,22 | 0,06 | 0,13 |
| | razem | - | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Źródło: opracowanie autora z wykorzystaniem danych pracy [67].

Uwagi: 1) wliczono nie pracujących rencistów,
2) rodziny typu: dorosłe dziecko + 1 senior.

Posługując się tymi danymi i opisem pracy [67] ustalono następujące prawidłowości:

- małżeństwo tworzące rodziny pochodzą na ogół z tego samego pokolenia, na co wskazuje różnica wieku małżonków w większości przypadków mniejsza od 15 lat (w analizowanym zbiorze przeważają tak zwane małżeństwa rówieśnicze o różnicy wieku do 5 lat),

- wiek większości małżeństw wynosi od 25 do 39 lat,
- jeżeli małżeństwo w wieku 25÷39 lat ma 1 lub 2 dzieci, to są one w przedziale wieku do 13 lat,
- najmniej dzieci jest w przedziale wieku 14÷17 lat,
- małżeństwa w grupie wiekowej 40÷59 lat mają dzieci we wszystkich grupach wieku,
- w rodzinach 2-osobowych przeważa umysłowy typ pracy,
- w rodzinach 3 i 4-osobowych typ pracy umysłowej i fizycznej pozostają w równowadze,
- w rodzinach 5 i 6-osobowych przeważa typ pracy umysłowej.

Zestawione w omówionych tablicach różne wartości służące do identyfikacji rodzin będą bezpośrednio przydatne w toku modelowania do kontroli poprawności modelowania rodzin użytkowników.

Tablica 3.7

Identyfikacja struktury wieku mieszkańców budynków wielorodzinnych wybranych osiedli mieszkaniowych

| Wiek mieszkańców | Struktura wieku mieszkańców osiedla | | | | | Średnio |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Chomiczówka | Targówek | Ursynów | Widzew | Zaspa | |
| 0 ÷ 2 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| 3 ÷ 6 | 0,12 | 0,11 | 0,09 | 0,09 | 0,12 | 0,11 |
| 7 ÷ 13 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,10 | 0,09 |
| 14 ÷ 17 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,03 |
| 18 ÷ 24 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,09 |
| 25 ÷ 39 | 0,44 | 0,41 | 0,40 | 0,42 | 0,41 | 0,42 |
| 40 ÷ 59 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,16 | 0,14 | 0,14 |
| pow. 60 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,06 |
| razem | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Źródło: opracowanie autora danych zebranych przez D o m i n o w s k i e g o w pracy [67].

Z punktu widzenia użytkowania instalacji wodociągowej w mieszkaniu określonej kategorii i modelowania tego użytkowania istotne są nie tylko całe rodziny, ale przede wszystkim ich

poszczególni członkowie. Identyfikację użytkowników traktowanych indywidualnie przeprowadzono posługując się dotychczas omówionymi materiałami, poszerzonymi dodatkowo o wyniki badań budżetu czasu ludności Polski [68].

Biorąc pod uwagę dotychczasowe ustalenia dotyczące grup wieku oraz analizując indywidualnie budżety czasu różnych użytkowników instalacji wodociągowych, wyodrębniono 9 grup wiekowych użytkowników. W każdej z grup wyróżniono od 1 do 5 typów użytkowników różniących się dzienną aktywnością wpływającą na sposób korzystania z instalacji wodociągowej w mieszkaniu. Zestawienie wyodrębnionych grup i typów użytkowników podano w tabl.3.8. Tak przeprowadzona identyfikacja doprowadziła do wyróżnienia 31 indywidualnych typów użytkowników instalacji wodociągowych. Ten zbiór użytkowników jest minimalny, spełniającym warunek możliwości formowania rodzin spełniających poprzednio określone zależności strukturalne. Dla wyodrębnionych 31 typów użytkowników identyfikowano, indywidualnie dla każdego z nich, chwile włączenia poszczególnych zaworów czerpalnych. Realizowano to posługując się specjalnie opracowanym do tego celu formularzem pomocniczym pokazanym na rys.3.3. Identyfikację przeprowadzał autor wykonując wyrywkowe obserwacje w swoim bliższym i dalszym otoczeniu, a także posługując się wynikami cytowanych już badań [68] nad budżetem czasu ludności Polski. Przykładowo, na podstawie tych badań sporządzono, przedstawiony na rys.3.4 ogólny harmonogram granic pór wykonywania różnych czynności dnia roboczego, wymagających używania wody (linie ciągłe), a także nie wymagających na ogół korzystania z instalacji wodociągowej (linie przerywane). We wspomnianych badaniach GUS przeprowadzono identyfikację 52 różnych czynności, ustalając porę ich wykonywania w odniesieniu do ok. 45 tys. osób, w układzie kwadransowym w ciągu doby.

Obserwacje autora i wykorzystanie wyników badań budżetu czasu [68] pozwoliło zidentyfikować chwile włączeń zaworów czerpalnych dla wyodrębnionych poprzednio 31 typów użytkowników. Po identyfikacji będzie w stosunku do nich stosowana nazwa "typ nawyku" lub "grupa nawyku" korzystania z instalacji wodociągowej.

Tablica 3.8

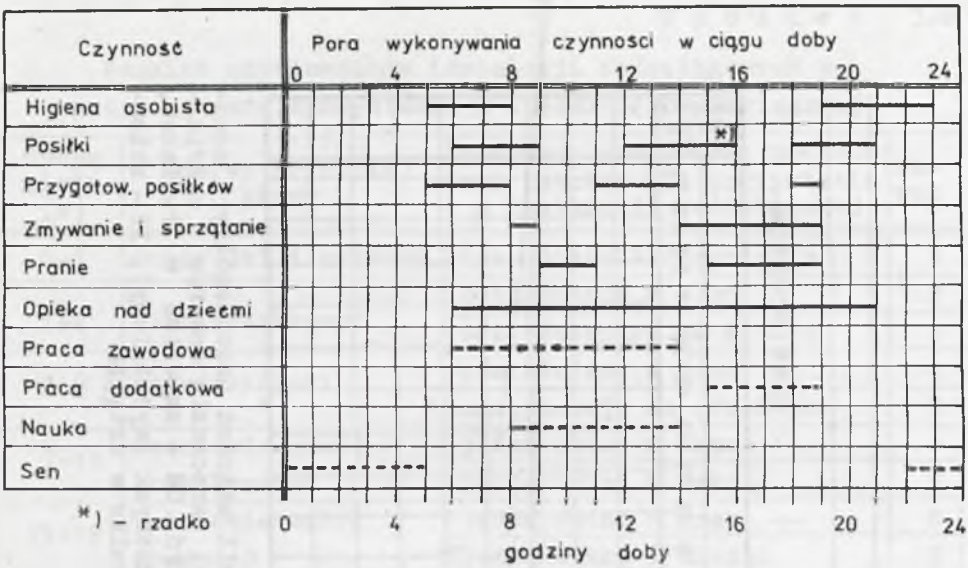
Podział użytkowników instalacji wodociągowych na grupy nawyków korzystania z instalacji wodociągowej

| Grupa wieku [a] | Charakterystyka grupy | Elementy aktywności dziennej istotne dla korzystania z instalacji wodociągowej | Nawyk |
|---|---|---|---|
| 0÷1 | noworodki i niemowl. | identyczna każdego dnia | 1 |
| 1÷2 | wiek "żłobkowy" | pozostające w domu | 2 |
| | | uczęszczające do żłobka | 3 |
| 3÷6 | przedszkolaki | pozostające w domu | 4 |
| | | uczęszczaj. do przedszk. | 5 |
| 7÷14 | uczniowie szkół podstawowych | jedzą obiad w domu | 6 |
| | | jedzą obiad w szkole | 7 |
| 15÷19 | uczniowie szkół średnich | jedzą obiad w domu | 8 |
| | | jedzą obiad w szkole | 9 |
| 20÷24 | młodzież pracująca lub akademicka | jedzą obiad w domu | 10 |
| | | jedzą obiad poza domem | 11 |
| 25÷39 | kobiety - matki dzieci do 19 roku życia | nie pracująca zawodowo | 12 |
| | | pracująca w godz. 6-14 | 13 |
| | | pracująca w godz. 8-16 | 14 |
| | mężczyźni - ojcowie dzieci do 19 roku życia | pracujący w domu | 15 |
| | | pracuj.6-14 + hobby dom. | 16 |
| | | pracuj.6-14 + akt.pozadom. | 17 |
| | | pracuj.8-16 + hobby dom. | 18 |
| | | pracuj.8-16 + akt.pozadom. | 19 |
| 40÷65 | kobiety - matki dzieci 7÷24 lat | nie pracująca zawodowo | 20 |
| | | pracująca w godz.6-14 | 21 |
| | | pracująca w godz. 8-16 | 22 |
| | mężczyźni - ojcowie dzieci 7÷24 lat | pracujący w domu | 23 |
| | | pracuj.6-14 + hobby dom. | 24 |
| | | pracuj.6-14 + akt.pozadom. | 25 |
| | | pracuj.8-16 + hobby dom. | 26 |
| | | pracuj.8-16 + akt.pozadom. | 27 |
| pow.65 | kobiety | pracująca zawodowo | 28 |
| | | emerytka | 29 |
| | mężczyźni | pracujący zawodowo | 30 |
| | | emeryt | 31 |

DZIEŃ: POWSZEDNI

| ZAWÓR | GODZINY DOBY 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 | CZAS PRACY ZAWORU |
|---|---|---|
| ZL | | |
| ZM | | |
| UM | | |
| WA | | |
| PR | | |
| BI | | |
| NA | | |
| PŁ | | |
| UM | | |

Rys.3.3. Wzór formularza do identyfikacji chwil włączeń poszczególnych zaworów czerpalnych przez użytkowników instalacji; oznaczenia zaworów czerpalnych: ZL - zlewozmywak, ZM - zmywarka do naczyń, UM - umywalka w łazience, WA - wanna, PR - prysznic, BI - bidet, NA - natrysk (wydzielony), PŁ - zbiornik spłukujący, UM - umywalka w ustępie




Rys. 3.4. Ogólny harmonogram granic pór wykonywania wybranych czynności w dniu roboczym - opis w tekście - (opracowanie autora na podstawie danych zebranych w toku badań budżetu czasu [68]): ——— czynności wymagające użycia wody, ----- czynności nie wymagające użycia wody

Opracowany sposób identyfikacji chwil włączeń zaworów czerpalnych ma charakter ogólny i może być stosowany dla dowolnego użytkownika.

### 3.4.3. Kwantyfikacja czasu i identyfikacja zmiennych endogenicznych

Identyfikacja przedziału czasu $\Delta T$ i odcinków czasu $\Delta t$ wymaga uprzedniej dyskusji dwóch zagadnień:

- pojęcia czasu w opracowywanym modelu,
- zasad wyboru i kwantyfikacji czasu ze względu na przeznaczenie zbiorów zmiennych endogenicznych.

Rozstrzygnięcie drugiego z wymienionych zagadnień oznacza jednocześnie dokonanie identyfikacji zbioru zmiennych endogenicznych.

Czas jako pojęcie dotyczy w opracowywanym modelu przede wszystkim użytkowników instalacji, którymi są ludzie. Zatem

należy ogólnie identyfikować czas jako kategorię społeczną. Ten sposób podejścia jest domeną socjologów i filozofów. Rozróżniają oni ( S i c i ń s k i [69], B a n a s z y k [70]) co najmniej czas: biologiczny, psychologiczny (indywidualny) i antropologiczny (społeczny). W części metodycznej już uprzednio wspomnianego opracowania budżetu czasu [68], proponuje się stosowanie, w odniesieniu do czasu traktowanego jako kategoria społeczna, pojęcia chronozofii społecznej. Główną procedurą badawczą tej nowej gałęzi nauki ma być badanie budżetu czasu. Ten sposób podejścia wnikający w tryb życia ludzi jest szczególnie przydatny w niniejszej pracy. Spośród wyników badania budżetu czasu przeprowadzonych przez GUS, interesujące są przede wszystkim te, które dotyczą gospodarstw domowych pracowniczych w miastach o liczbie ludności powyżej 20 tys. mieszkańców. Jako założenie przyjęto badanie dobowego budżetu czasu, w związku z czym nie interpretowano wyników pod kątem poszukiwania zmienności miesięcznej lub sezonowej. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono istnienie, różniących się od siebie dobowym budżetem czasu, następujących typów dni tygodnia:

- dzień roboczy (poniedziałek do piątku i robocza sobota),
- wolna sobota,
- niedziela.

Te dwa ostatnie dni, mimo że obydwa wolne, wyraźnie różnią się od siebie bilansem czasu.

Powyższe ustalenia przyjmuje się do opracowywanego modelu i traktuje jako identyfikację ogólnego podejścia do problemu czasu. Konsekwencją tego przyjęcia jest dalej kwantyfikacja fizyczna czasu na doby, godziny, minuty i sekundy.

Rozważania nad przeznaczeniem zbiorów zmiennych endogenicznych można rozpocząć od ogólnego stwierdzenia, że zbiory te stanowią podstawę analizy działania instalacji wodociągowych w budynkach. Wyniki tych analiz służą do projektowania nowych lub optymalizacji działania istniejących instalacji. W analizach działania instalacji można wyróżnić dwie grupy zadań. Pierwszą z nich stanowią zadania, nazwane dalej umownie przepływowymi, w których daną wyjściową są przepływy wody (np. dobór pomp, wymiarowanie przewodów itp.). Drugą grupę, nazwaną

dalej umownie zbiornikową, tworzą zadania, w których daną wyjściową jest zużycie wody. W obu grupach poszukuje się różnie rozumianych stanów granicznych działania instalacji. Ich występowanie wiąże się z określoną sytuacją użytkowania instalacji - przykładowo - wystąpienie największego zapotrzebowania na ciepłą wodę (w tym też najczęściej wystąpienia największej wartości przepływu wody) z tak zwaną główną (wieczorną) kąpielą użytkowników, ale badanie przecieków wody wymaga obserwacji nocą itd. Zatem wybór przedziału czasowego $\Delta T$ powinien być dokonany w zależności od celu badania, a istota wyboru dotyczy pory doby, w której będzie zlokalizowany przedział i wielkości tego przedziału. Dalszy podział na odcinki czasu $\Delta t$ zależy od rodzaju zadania. W zadaniach typu zbiornikowego interesujące jest sumaryczne zużycie wody i wówczas podział na odcinki $\Delta t$ ma znaczenie drugorzędne. W zadaniach przepływowych kwantyfikacja czasu w przedziale $\Delta T$ ma znaczenie podstawowe. Dotychczas są praktykowane przedziały na odcinki kwadransowe lub 10-minutowe [14,20,24] - do krótkoterminowego prognozowania przepływów, 3-min do 1-min [34,35] - przewidywanie chwilowych przepływów oraz 30 s do 5 s [54] - przepływy obliczeniowe.

Jak wynika z przeprowadzonych rozważań - szczegółowa identyfikacja zbioru zmiennych endogenicznych następuje dopiero po określeniu celu badań - w wypadku tej pracy - po określeniu celu modelowania. Identyfikacja ta polega na określeniu:

a) charakteru doby (robocza, wolna),
b) pory doby ze względu na interesującą w badaniu sytuacją użytkowania instalacji,
c) wielkości przedziału $\Delta T$ i sposobu kwantyfikacji tego przedziału na odcinki $\Delta t$ - zależnie od charakteru rozwiązywanego zadania.

W każdym wypadku posługiwania się opracowywanym modelem może być wybrany inny cel badań, co oznacza, że w opracowywanym scenariuszu modelowania należy udostępnić możliwość realizacji wszystkich zadań, z zastosowaniem fizycznej kwantyfikacji czasu.

## 3.5. ALGORYTMIZACJA MODELU

### 3.5.1. Scenariusz dynamicznej symulacji modelowania użytkowania instalacji

Dokonana w poprzednim rozdziale identyfikacja zbiorów zmiennych egzo- i endogenicznych doprowadziła do określenia zbiorów zdarzeń jednostkowych tworzących przestrzeń zdarzeń użytkowania instalacji. Relacje między tymi zbiorami zostały określone poprzednio zależnościami (3.1) do (3.7). Odtworzenie tych relacji w innej rzeczywistości niż materialnie istniejąca instalacja wodociągowa wymaga dodatkowo określenia następstwa zachodzenia zdarzeń, czyli stworzenia scenariusza modelowania.

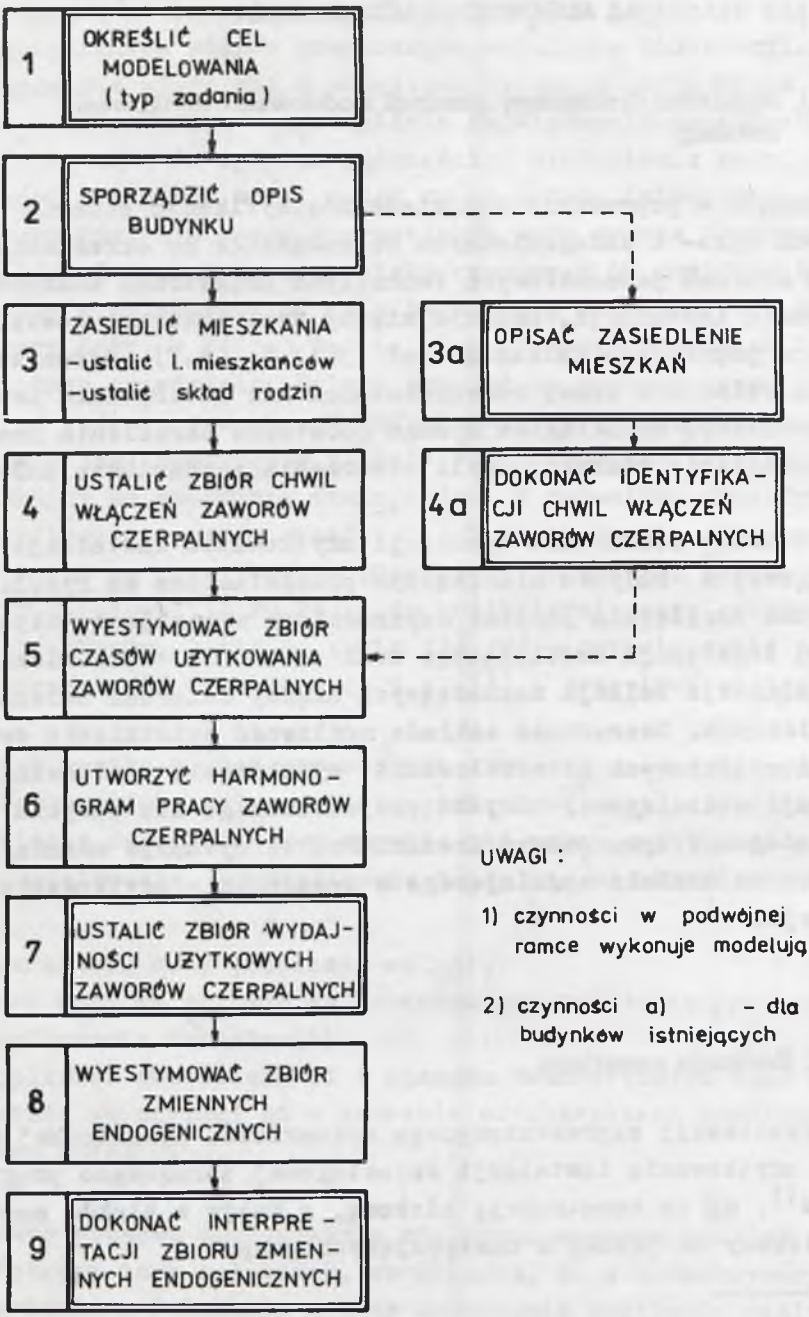
Opracowany scenariusz symulacji użytkowania instalacji wodociągowej w budynku mieszkalnym przedstawiono na rys.3.5. Scenariusz uwzględnia podział czynności na wymagające bezpośredniej ingerencji modelującego oraz pozostałe - przewidziane jako realizacja relacji zachodzących między zbiorami zmiennych egzogenicznych. Scenariusz zakłada możliwość zaistnienia dwóch sytuacji wyjściowych do modelowania: symulowanie użytkowania instalacji wodociągowej budynku projektowanego lub budynku istniejącego. W opracowanym scenariuszu te sytuacje różnią się zakresem udziału modelującego w symulowaniu użytkowania instalacji.

### 3.5.2. Realizacja scenariusza

Do realizacji zaprezentowanego scenariusza dynamicznej symulacji użytkowania instalacji wodociągowej opracowano program INSTASYM[1)]. Ma on konstrukcję blokową, a każdy z bloków może być zaliczony do jednej z następujących grup:

---

1) Program opracowano w języku Microsoft-Fortran do realizacji na komputerach typu IBM AT/XT z pamięcią 640 kB.




Rys.3.5. Scenariusz dynamicznej symulacji użytkowania instalacji wodociągowej w budynku mieszkalnym

a) blok sterujący - zapewnia nadzór nad realizacją kolejnych czynności scenariusza zależnie od podanego celu modelowania,
b) bloki realizacji symulacji użytkowania instalacji - wykonują czynności 2 do 8 scenariusza (rys.3.5),
c) blok analityczny - przygotowuje wstępne dane i prowadzi analizę statystyczną zbiorów endogenicznych dla umożliwienia realizacji czynności 9 scenariusza,
d) bloki narzędziowe - służące do zapisu i wizualizacji wyników symulacji w sposób przydatny do dalszych analiz.

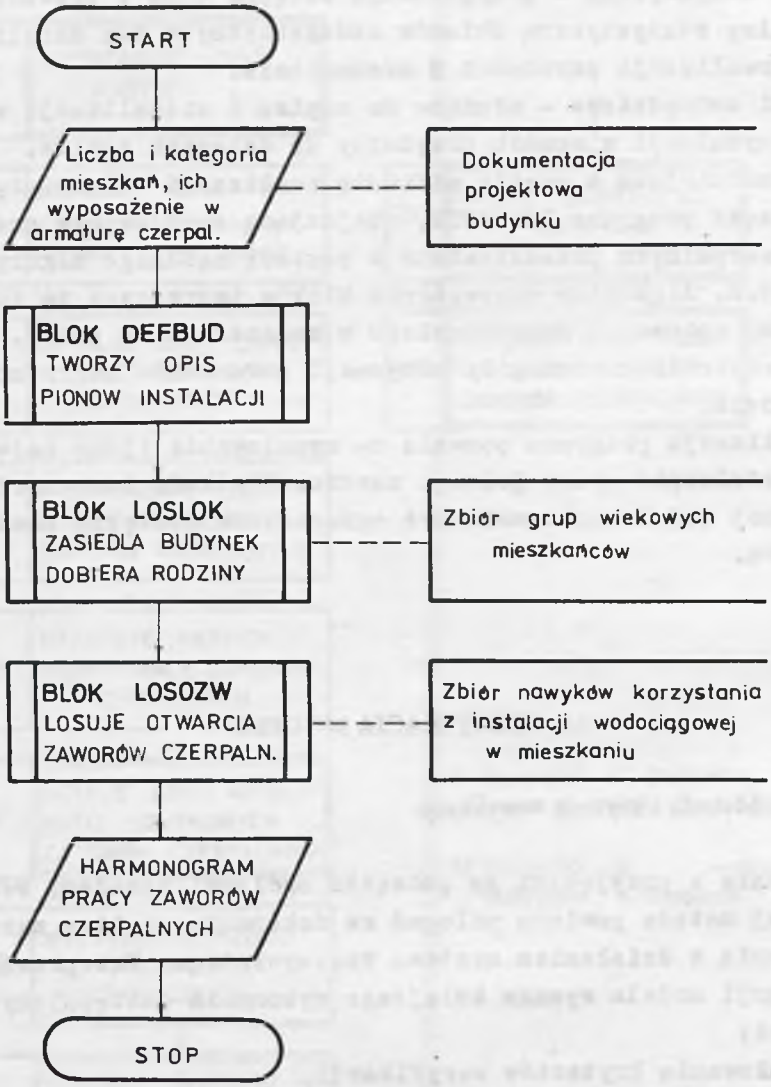
Najważniejszą z punktu widzenia realizacji celu niniejszej pracy część programu INSTASYM, obejmującą symulowanie pracy zaworów czerpalnych przedstawiono w postaci ogólnego algorytmu na rys.3.6. Algorytmy szczegółowe bloków tworzących tę część programu, opisano i przedstawiono w załączniku do pracy. Tam też przedstawiono szczegóły estymacji parametrów strukturalnych modelu.

Realizacja programu pozwala na symulowanie (jako najmniejszej instalacji) pracy jednego zaworu. Wielkość instalacji poddawanej modelowaniu może być ograniczona dostępną pamięcią komputera.

## 3.6. WERYFIKACJA MODELU

### 3.6.1. Metoda i kryteria weryfikacji

Zgodnie z przyjętymi na początku ogólnymi zasadami weryfikacji jej metoda powinna polegać na dokonaniu analizy zgodności modelowania z działaniem systemu rzeczywistego. Przeprowadzenie weryfikacji modelu wymaga kolejnego wykonania następujących czynności:
- sformułowania kryteriów weryfikacji,
- nadania wartości wielkościom kryterialnym lub rangi ich opisom,




Rys.3.6. Algorytm części programu INSTASYM służącej do symulowania pracy zaworów czerpalnych instalacji wodociągowej budynku

- dokonania analizy zgodności wartości kryterialnych z osiąganymi w wyniku modelowania,
- sformułowania wniosków.

Przystępując do formułowania kryteriów weryfikacji zakłada się, że opracowany model powinien:

a) być poprawny formalnie,

b) algorytm modelowania powinien być sprawny,

c) wykazywać zgodność pragmatyczną z rzeczywistością,

d) wykazywać zgodność heurystyczną z rzeczywistością.

Kryterium formalnej poprawności modelu wyraża się w uzyskaniu odpowiedzi na pytanie: czy w wyniku modelowania następuje przekształcanie wielkości wejściowej (instalacji wodociągowej budynku opisanej w formie liczby mieszkań, struktury ich kategorii i ich wyposażenia sanitarnego) w wielkość wyjściową (zużycie lub przepływ wody).

Kryterium sprawności algorytmu może być traktowane dwojako:

a) jako możliwość efektywnego wykonywania modelowania bez przerw w jego przebiegu spowodowanych błędami algorytmu lub programu jego realizacji,

b) jako możliwość uzyskania wyników badania modelu w czasie krótszym od potrzebnego do zbadania rzeczywistej instalacji istniejącego budynku, albo jako możliwość osiągnięcia wyników mniejszym nakładem środków materialnych i finansowych niż wymagałoby badanie istniejącej instalacji.

Spośród wymienionych możliwości przyjmuje się, jako kryterium sprawności algorytmu, że realizacja modelu powinna przebiegać każdorazowo sprawnie w czasie 100-krotnie mniejszym od potrzebnego do uzyskania wyników badania rzeczywistej instalacji. Wartościowo osiągnięcie tego kryterium oznacza, że niezależnie od wielkości instalacji wodociągowej, rzeczywisty czas symulacji 1 doby (to jest 24·60 = 1440 minut) nie powinien być dłuższy od 14 minut (1440 : 100 = 14,4 min).

Jak już wspomniano w rozdz. 2 tej pracy, kryterium zgodności pragmatycznej modelu z rzeczywistością jest uznawane powszechnie za najważniejsze ( G u t e n b a u m [4]; S i e n k i e w i c z [5]), a przez niektórych ( B o b r o w s k i [11]) - za jedyne kryterium poprawności mo-

delowania. W ramach tej pracy skorzystanie z tego kryterium oznacza konieczność porównania wyników modelowania użytkowania instalacji z wynikami badań działania instalacji w budynkach mieszkalnych. Za najwyższe stadium zgodności pragmatycznej z rzeczywistością jest uznawana zgodność strukturalna. Polega ona na otrzymaniu zgodnych ze sobą wartości stanowiących wejście i wyjście systemu modelowego i rzeczywistego, przy jednoczesnej zgodności mechanizmów przekształcania wielkości wejściowych w wyjściowe dla obu systemów. Posiłkowymi do stwierdzenia tego będą odpowiedzi na następujące pytania, stanowiące szczegółowe kryteria oceny modelu:

1) czy rodzaj i wartości wielkości wejściowych do modelu są zgodne z rzeczywistymi?

2) jakie ilości osób w mieszkaniach i budynkach są osiągane w modelu w porównaniu z rzeczywistymi?

3) czy w wyniku modelowania osiąga się godzinowe rozkłady zużycia wody podlegające prawidłowościom ustalonym w toku badań na instalacjach wodociągowych rzeczywistych budynków?

4) jak kształtują się wielkości wskaźnika jednostkowego zużycia wody w modelu w porównaniu z notowanymi w wyniku badań systemów rzeczywistych?

5) jaka jest modelowana struktura zużycia wody w gospodarstwach domowych w stosunku do rzeczywistej?

6) czy zużycia wody w zadanych przedziałach czasowych podlegają prawidłowościom statystycznym zbliżonym do otrzymywanych w wyniku interpretacji rzeczywistych zużyć wody?

Do odpowiedzi na te pytania zostaną wykorzystane wyniki badań instalacji wodociągowych w budynkach mieszkalnych zawarte w pracach: Janczewskiego i Mielcarzewicza [24,25], Siwonia [20] i Siwonia z zespołem [15÷19], Suligowskiego [23], publikacjach zagranicznych [35÷47] i [51÷59] oraz Tabernackiego [63]. Szczegółowe ustalenia wielkości kryterialnych i ich wartości w każdym z punktów oceny modelu z wykorzystaniem wymienionego piśmiennictwa zostaną podane bezpośrednio w toku analizy weryfikacyjnej.

Kryterium zgodności heurystycznej modelu z rzeczywistością oznacza podatność modelu na dokonywanie z jego zastosowaniem

badań naukowych w stopniu dorównującym systemowi rzeczywistemu. To kryterium ma charakter opisowy i nie będzie wartościowane do weryfikacji.

### 3.6.2. Analiza weryfikacyjna

Do chwili powstania niniejszego opisu dokonano ok. 3700 realizacji programu zawierającego weryfikowany model. Wyniki modelowania zostaną wykorzystane w ramach tego i następnych rozdziałów pracy. Stwierdzono, że w wyniku modelowania następuje przekształcanie zbiorów zmiennych egzogenicznych w zbiory endogeniczne w sposób zgodny z przyjętymi założeniami. W żadnym z przebiegów modelowania nie stwierdzono przerw w realizacji programu spowodowanych błędami algorytmu lub programu. Żaden z przebiegów nie trwał dłużej niż 12 minut. Przeprowadzone realizacje modelowania wykazały formalną poprawność modelu, sprawność jego algorytmu i programu.

Analiza weryfikacyjna kryterium zgodności pragmatycznej modelu z rzeczywistością będzie prowadzona w formie poszukiwania odpowiedzi na zadane poprzednio kolejne pytania.

Pierwsze z dwóch wprowadzonych kryteriów szczegółowych dotyczyły wielkości wejściowych do modelu. W podstawowej wersji modelu, przeznaczonej do analizowania użytkowania instalacji wodociągowych w budynkach projektowanych - wielkościami wejściowymi do modelowania są: liczba i kategoria wielkości mieszkań tworzących budynek oraz wyposażenie mieszkań w przybory sanitarne i odpowiadające im punkty czerpalne. Jak łatwo ustalić, posługując się publikacją autora [63], są to wielkości identyczne z używanymi w analizach instalacji w projektowanych budynkach mieszkalnych.

Pierwszą z czynności dokonywanych w toku modelowania jest określenie liczby lokatorów w każdym z mieszkań modelowanego budynku. Dla umożliwienia oceny wykonywania tej czynności w modelu wprowadzono do niego jako dane wyjściowe - jeden z budynków, w których prowadzili pomiary zużycia wody J a n c z e w s k i i M i e l c a r z e w i c z [24]. Wyniki modelowania liczby lokatorów porównano z warunkami rzeczywi-

stymi w tablicy 3.9. Zgodnie z informacjami zawartymi w opisie badań [24] - obiekt zasiedlono tuż przed rozpoczęciem pomiarów zużycia wody. Lokatorami budynków są głównie młode małżeństwa z 1 dzieckiem, rokujące nadzieję na dalszy rozwój rodziny.

T a b l i c a 3.9

Porównanie normatywnego, rzeczywistego i modelowanego zasiedlenia budynków na przykładzie budynków badanych przez J a n c z e w s k i e g o i M i e l c a r z e w i c z a [24]

| Nazwa budynku | Rzeczywista liczba i struktura mieszkań | Liczba lokatorów | | |
|---|---|---|---|---|
| | | normatywna | rzeczywista | modelowana |
| Segment E | 32 M-5<br>2 M-2 | 160 | 143 | 153 |
| Segment F | 16 M-3<br>16 M-4 | 128 | 130 | 122 |
| Segment G | 8 M-5<br>8 M-6 | 88 | 72 | 88 |
| Razem bud. 7 (E+F+G) | jw. | 376 | 345 | 363 |
| Budynek 7a | 16 M5<br>16 M6 | 176 | 141 | 165 |

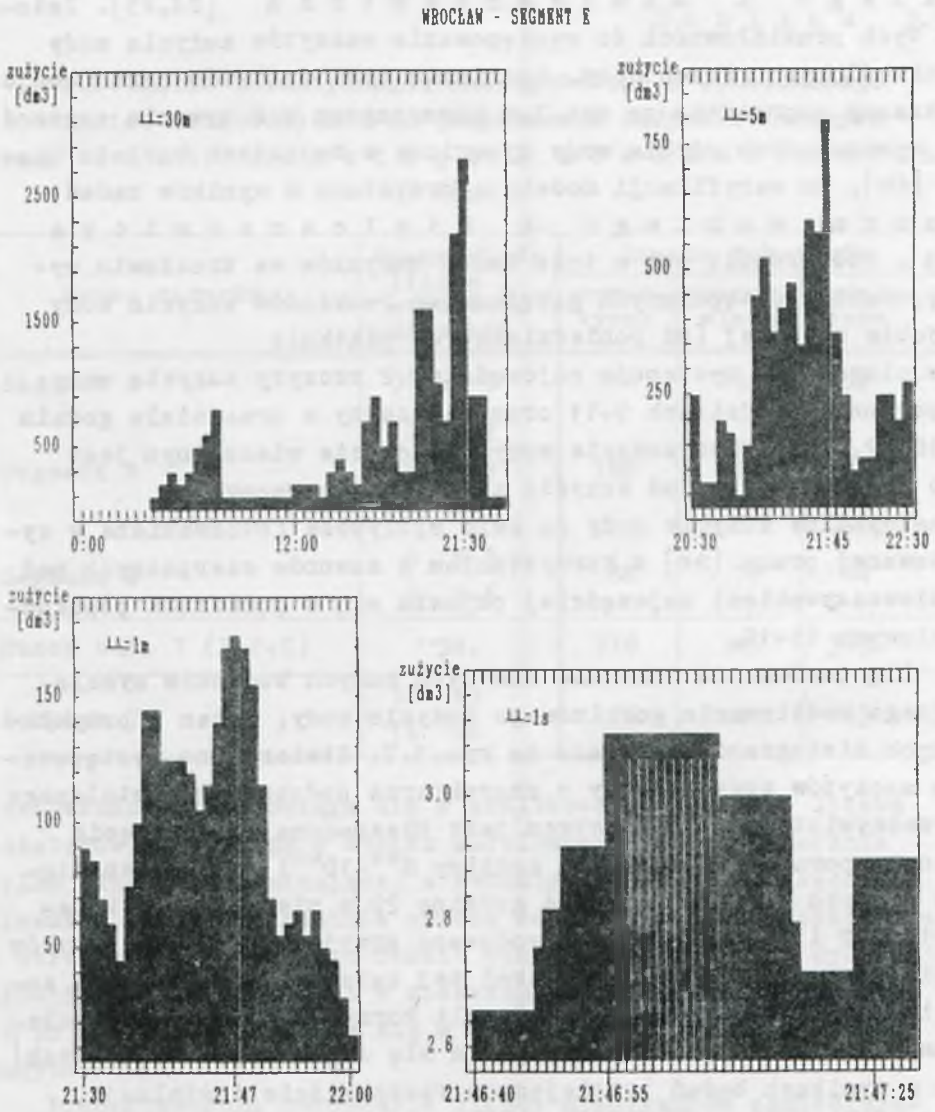
Taki właśnie stan osiąga się w analizowanym modelu - liczba lokatorów uzyskiwana w wyniku modelowania jest nieznacznie tylko niższa od wynikającej z normatywnej według kategorii mieszkań, lecz nieznacznie wyższa od rzeczywistej. Wniknięcie w strukturę modelowanych rodzin wykazało, że różnice występują głównie w liczbie dzieci w mieszkaniach kategorii M-5 i M-6, co najwyraźniej ujawniło się w segmencie E budynku 7 oraz w budynku 7a.

Przeprowadzone porównanie liczby mieszkańców zasiedlających rzeczywisty budynek z liczbą uzyskaną w wyniku modelowania daje pozytywny wynik weryfikacji modelu w zakresie poprawnego modelowania liczby mieszkańców.

Ogólne prawidłowości w godzinowym zużyciu wody w ciągu doby stwierdzono wielokrotnie w badaniach krajowych przeprowadzonych przez Siwonia, Siwonia z zespołem [15÷21], Suligowskiego [23] a także Janczewskiego i Mielcarzewicza [24,25]. Istota tych prawidłowości to występowanie szczytów zużycia wody w określonych porach doby. Istnienie tych szczytów odwzorowuje pokazany poprzednio na rys.3.4 harmonogram wykonywania czynności wymagających użycia wody ujawniony w badaniach budżetu czasu [68]. Do weryfikacji modelu skorzystano z wyników badań Janczewskiego i Mielcarzewicza [24]. Stwierdzili oni w toku badań budynków we Wrocławiu występowanie następujących godzinowych rozkładów zużycia wody w dobie roboczej (od poniedziałku do piątku):

- w ciągu doby występują najczęściej 2 szczyty zużycia wody: poranny w godzinach 9÷11 oraz wieczorny w przedziale godzin 18÷22, przy czym zużycie wody w szczycie wieczornym jest o ok. 20% wyższe od zużycia w szczycie porannym,
- maksymalne zużycie wody na cele spożywcze (utożsamiane w cytowanej pracy [24] z korzystaniem z zaworów czerpalnych nad zlewozmywakiem) najczęściej pojawia się w godzinach popołudniowych 15÷19.

Dla porównania dokonano dla tych samych budynków symulacyjnego modelowania godzinowego zużycia wody. Jeden z przykładowych histogramów pokazano na rys.3.7. Stwierdzono występowanie szczytów zużycia wody o charakterze podobnym do ustalonego w rzeczywistości. Odstępstwem jest nieznaczne przesunięcie szczytu porannego (w modelu godziny $8^{00}$÷$10^{00}$) oraz przesunięcie szczytu wieczornego poza godzinę 22 w mieszkaniach kategorii M-2 i M-3. Jest to spowodowane przyjętym modelem nawyków higienicznych lokatorów mieszkań tej kategorii. Maksymalne zużycie wody na cele spożywcze (czyli korzystanie z zaworów zlewozmywakowych w kuchniach) pojawia się w godzinach 15÷19, tak jak w wynikach badań istniejących rzeczywiście instalacji, choć dla małych mieszkań kategorii M-2 i M-3 przesuwa się niekiedy poza godzinę 19. Przeprowadzone porównanie charakteru zmienności godzinowego zużycia wody, powstającego w wyniku modelowania ze zmiennością tego zużycia występującą w rzeczywis-




Rys.3.7. Przykład histogramu zużycia wody opracowanego dla segmentu E we Wrocławiu programem INSTASYM modelu użytkowania instalacji (dane wyjściowe z pracy [24])

tości, pozwala uznać osiągnięcie zgodności modelowania z rzeczywistością. Daje to pozytywny wynik weryfikacji zdolności modelu do odtwarzania godzinowej zmienności zużycia wody.

Dla zbadania wartości jednostkowego zużycia wody w wyniku symulacji użytkowania instalacji wodociągowej opracowanym modelem, przeprowadzono ok. 3700 modelowań, w toku których uwzględniano różne wartości wydajności użytkowej zaworów czerpalnych i nawyki higieniczne lokatorów. Otrzymywano wartości jednostkowego zużycia wody od 80 do 200 $dm^3/(M \cdot d)$. Stwierdzono brak zależności wartości tego wskaźnika od liczby mieszkań lub kategorii ich wielkości, co świadczy o poprawności użytej procedury modelującej użytkowanie instalacji. Ocenę otrzymanych wartości jednostkowego zużycia wody przeprowadza się przez porównanie z wartościami uzyskiwanymi w pomiarach i przyjmowanymi w normatywach. Ponieważ modelowanie prowadzi do otrzymania wartości racjonalnego zużycia wody, to jest bez uwzględniania strat wody, odszukano w piśmiennictwie technicznym takie wyniki pomiarów zużycia wody, w których określano zużycie wody netto w gospodarstwach domowych. Porównania wartości wskaźnika zużycia wody netto z pomiarów i osiąganych w modelowaniu dokonano w tablicy 3.10. Porównanie odpowiednich wartości prowadzi do wniosku, że w modelowaniu osiąga się wartości zgodne z uzyskiwanymi w pomiarach rzeczywistych zużyć wody, co pozytywnie weryfikuje opracowany model.

Kolejnym kryterium szczegółowej weryfikacji modelu jest analiza zgodności rzeczywistej struktury zużycia wody w gospodarstwie domowym ze strukturą uzyskiwaną w wyniku modelowania użytkowania instalacji. Odpowiednie struktury zestawiono w tablicy 3.11. Wyróżnienie tylko 3 elementów struktury (celów) zużycia wody miało na celu jednoznaczne podporządkowanie zaworów czerpalnych w modelu i rzeczywistych instalacji. Porównanie wartości struktury zużycia wody mierzonego w rzeczywistości i modelowanego wskazuje na poprawność procedury modelującej użytkowanie instalacji.

Ostatnim ze szczegółowych kryteriów jest porównanie prawidłowości statystycznych występujących w modelowanych zbiorach zużyć i przepływów wody z prawidłowościami stwierdzanymi w wyniku analiz statystycznych zbiorów powstałych jako wyniki

T a b l i c a 3.10

Porównanie wskaźników jednostkowego zużycia wody w gospodarstwach domowych uzyskanych w wyniku pomiarów i normatywów z uzyskanymi w modelowaniu

| Źródło wiadomości | Wartości wskaźnika jednostkowego zużycia wody $dm^3/(M \cdot d)$ | |
|---|---|---|
| | netto*) | brutto |
| Pomiary Siwonia [20] we Wrocławiu | | |
| - średnio | 103 ÷ 111 | 249 ÷ 275 |
| - maksym. | 135 ÷ 178 | 288 ÷ 346 |
| Pomiary Suligowskiego [23] w Gdańsku w budynkach spółdzielcz. wielorodz. | | |
| - średnio | 80 ÷ 170 | 177 ÷ 226 |
| - maksym. | 220 | 210 ÷ 300 |
| Pomiary Janczewskiego i Melcarzewicza, we Wrocławiu [24,25] | 110 ÷ 130 | 169 ÷ 181 |
| Norma NRD [71] | 85 ÷ 210**) | - |
| Normatyw RFN [54] | 65 ÷ 275**) | - |
| Pomiary zużycia wody w RFN (1970-77) [57,58] | 118 ÷ 135 | 222 ÷ 231 |
| GRANICE | 65 ÷ 275 | 169 ÷ 346 |
| Testowany model | 80 ÷ 200 | - |

Uwagi:

*) Bez uwzględniania strat wody.

**) Dla budownictwa wielorodzinnego z pełnym wyposażeniem w przybory sanitarne.

T a b l i c a 3.11

Porównanie struktur zużycia wody w gospodarstwie domowym według różnych źródeł z wartościami otrzymywanymi w wyniku modelowania

| Źródło | Cel zużywania wody [%] | | |
|---|---|---|---|
| | spłukiwanie ustępu | picia, gotowanie i zmywanie naczyń | higiena ciała i mieszkania |
| Bailey [55] | 40 | 10,5 | 49,5 |
| Haney [56] | 37,4 | 23,3 | 50,3 |
| Bericht... [57] | 32 | 8 | 60 |
| Bröcker [58] | 27,6 | 8 | 64,4 |
| Gundermann [59]: | | | |
| - RFN | 31 | 9 | 60 |
| - Holandia | 30 | 15 | 55 |
| - Szwecja | 20 | 22 | 58 |
| - Japonia | 18 | 18 | 64 |
| - Wlk. Brytania | 35 | 14 | 51 |
| GRANICE | 18 ÷ 40 | 8 ÷ 22 | 49 ÷ 64 |
| Testowany model | 28 ÷ 42 | 15 ÷ 22 | 36 ÷ 58 |

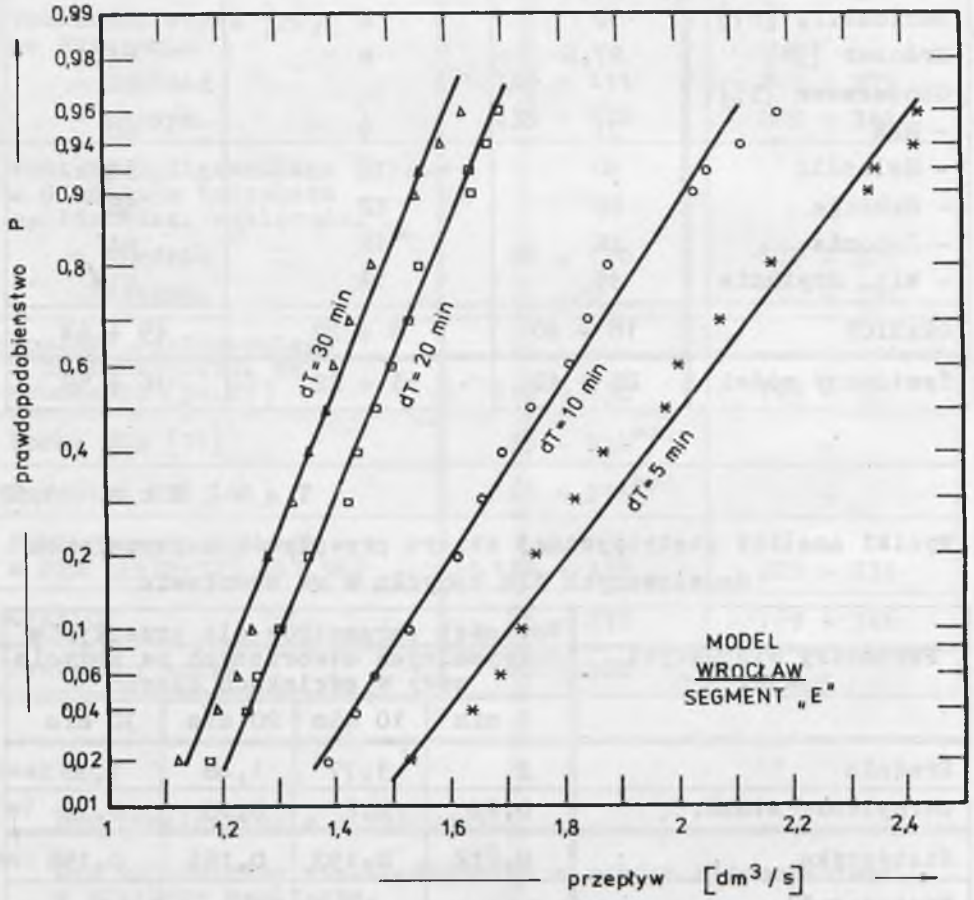
T a b l i c a 3.12

Wyniki analizy statystycznej zbioru przepływów maksymalnych modelowanych dla budynku E we Wrocławiu

| Parametry statystyki pozyc. | Wartości parametrów dla przepływów maksymalnych utworzonych ze zużycia wody w odcinkach czasu | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 5 min | 10 min | 20 min | 30 min |
| Średnia | 2 | 1,77 | 1,48 | 1,38 |
| Odchylenie stand. | 0,24 | 0,2 | 0,13 | 0,12 |
| Statystyka | 0,212 | 0,193 | 0,156 | 0,198 |
| Krytyczna*) $D_n$ (0,05) | 0,318 | 0,318 | 0,318 | 0,318 |

*) Test λ- Kołmogorowa.

pomiarów przeprowadzonych w instalacjach rzeczywistych budynków mieszkalnych. Takiego porównania można dokonać analizując dane zamieszczone w tablicy 3.12 i na rys.3.8. Powstały one w wyniku modelowania użytkowania instalacji w segmencie E - jednym z obiektów, w których przeprowadzili badania zużycia wody J a n c z e w s k i i M i e l c a r z e w i c z [25]. Badano hipotezę o normalnym rozkładzie przepływów maksymalnych w modelowanej instalacji. Zastosowano test λ-Kołmogorowa zgodności badanego rozkładu z rozkładem normalnym. Jak wynika z porównania wartości statystyki z wartością krytyczną,




Rys.3.8. Badanie hipotezy o normalnym rozkładzie przepływów maksymalnych modelowanych programem INSTASYM (dane wyjściowe według pracy [24]); dT - odcinki czasu, w których sumowano zużycie wody

zestawionych w tablicy 3.12 - hipotezy nie można odrzucić na poziomie ufności 0,095. W cytowanej pracy [25] Janczewski i Mielcarzewicz także nie odrzucili hipotezy o rozkładzie normalnym przepływów maksymalnych. Stwierdzono ponadto, otrzymanie w wyniku modelowania prawidłowości potwierdzającej dodatkowo poprawność procedury modelującej, a mianowicie - jak wynika z rys.3.12 wartości przepływów maleją ze wzrostem wielkości czasu. Jest to prawidłowość nie tylko wynikająca z rozumowania, potwierdza się ona także w pomiarach weryfikując ich poprawność. Takie rezultaty otrzymali także J a n c z e w s k i i M i e l c a r z e w i c z [25] dla segmentu E we Wrocławiu. Przeprowadzone analizy wyników statystycznej interpretacji zbiorów wyników modelowania weryfikują pozytywnie procedurę modelowania.

Spełnienie kryterium zgodności heurystycznej modelu z rzeczywistością jest o tyle łatwe do wykazania, że w rozdziale 3.5 analizowano sposoby identyfikacji zbiorów zmiennych endogenicznych wykazując konieczność stworzenia możliwości wykonywania badań w zakresie co najmniej dorównującym rzeczywistym warunkom. Podatność modelu na dokonywanie z jego zastosowaniem badań w stopniu dorównującym możliwościom istniejącym badaniom wykonywanym na istniejących instalacjach została wbudowana w model w toku jego identyfikacji.

Podsumowaniem przeprowadzonej analizy weryfikacyjnej mogą być następujące stwierdzenia:

- algorytm modelu jest poprawny formalnie, sprawny, wykazuje zgodność działania z rzeczywistością i stwarza dorównujące warunkom rzeczywistym możliwości prowadzenia badań,
- opracowany model spełnia warunki określone jako ogólne i szczegółowe kryteria weryfikacyjne.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia uznaje się model za pozytywnie zweryfikowany.

## 3.7. PODSUMOWANIE

Zakończony 3 rozdział pracy poświęcono modelowaniu użytkowania instalacji wodociągowych w wielorodzinnych budynkach mie-

szkalnych. Jako cel rozważań postawiono opracowanie techniki dynamicznego modelowania użytkowania instalacji w sposób umożliwiający predykcję racjonalnego zużycia wody i przepływów w zadanych przedziałach czasu i odcinkach, na które będą podzielone te przedziały. Ten cel rozważań został osiągnięty przez kolejne wykonanie następujących czynności: sformułowania zależności tworzących model, dokonania identyfikacji zbiorów jego zmiennych, opracowanie scenariusza realizacji modelu i zweryfikowanie go.

Rozważania rozpoczęto od określenia przestrzeni zdarzeń użytkowania instalacji w pojedynczym mieszkaniu, następnie rozszerzając ją na budynek. W tej przestrzeni wyróżniono zbiory zmiennych i określono zachodzące między nimi relacje. Pozwoliło to na stworzenie modelu, którego istotą jest odtwarzanie relacji zachodzących między zbiorami zmiennych egzogenicznych i tworzenie zbiorów endogenicznych w innej rzeczywistości niż istniejąca materialnie instalacja wodociągowa. Następnie, wykorzystując wyniki badań nad składem rodzin, użytkowaniem mieszkań, działaniem instalacji wodociągowej, korzystaniem z armatury czerpalnej, pomiary zużycia wody, pomiary budżetu czasu ludności kraju itp., dokonano identyfikacji zbiorów zmiennych egzogenicznych. Okazało się niezbędne do celów identyfikacyjnych opracowanie oryginalnej procedury identyfikacyjnej chwili włączeń zaworów czerpalnych, nie stosowanej do tej pory w badaniach nad działaniem instalacji wodociągowych. Również technika identyfikacji użytkowników instalacji jako członków rodzin z zastosowaniem wyników badań socjologicznych nie była dotychczas używana w badaniach wodociągów i kanalizacji i stanowi oryginalne osiągnięcie niniejszej pracy. Opracowana procedura identyfikacyjna dotyczy instalacji wodociągowych, ale może być przeniesiona wprost do badań nad działaniem instalacji kanalizacyjnych, natomiast po prostym przystosowaniu - uogólniona na dowolne urządzenia wodociągowe i kanalizacyjne. Daje to podstawy do tworzenia dynamicznych modeli symulacyjnych urządzeń wodociągowych i kanalizacyjnych. W wyniku identyfikacji uzyskano dane umożliwiające estymację parametrów strukturalnych modelu. Stworzenie możliwości realizacji modelu wymagało opracowania toku postępowania, na którego podstawie

opracowano program realizacji modelu na komputer. Program pozwala na dynamiczną symulację użytkowania instalacji wodociągowej. Model zweryfikowano opracowując uprzednio kryteria weryfikacji i wartości parametrów kryterialnych.

# 4. MODELOWANIE DZIAŁANIA HYDRAULICZNEGO INSTALACJI WODOCIĄGOWEJ

## 4.1. OGÓLNA KONCEPCJA, CEL I ZAKRES MODELOWANIA

Zaprezentowany w poprzednim rozdziale model użytkowania instalacji wodociągowej w budynku mieszkalnym pozwala w wyniku końcowym ustalić harmonogram otwarć zaworów czerpalnych pokazany przykładowo na rys.4.1. Dowolna kombinacja otwarć zawo-

WROCŁAW - SEGMENT E 21:46:55

| kdgn. | M5 A | | | | | | M5 B | | | | | | M5 C | | | | | | M5 D | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ZL | UM | WW | WP | PL | UU | ZL | UM | WW | WP | PL | UU | ZL | UM | WW | WP | PL | UU | ZL | UM | WW | WP | PL | UU |
| [8] | Z | Z | Z | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z | O | O | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z |
| [7] | Z | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z | O | O | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z |
| [6] | O | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z |
| [5] | Z | O | Z | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z |
| [4] | Z | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z | Z | O | Z | O | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z |
| [3] | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z |
| [2] | O | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z |
| [1] | Z | Z | Z | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z | Z | O | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | O | Z |
| | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 4 | 1 | 3 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| (25) | | | 6 | | | | | | 10 | | | | | | 7 | | | | | | 2 | | | |

Rys.4.1. Harmonogram otwarć zaworów - przykład stanu zaworów w budynku Segment E we Wrocławiu (dane wyjściowe według pracy [24] - modelowanie użytkowania instalacji programem INSTASYM; oznaczenia: z - zawór zamknięty, o - zawór otwarty

rów czerpalnych jest sygnałem sterującym powstania zapotrzebowania na wodę. Sygnał ten dochodzi do źródła wody (np. do połączenia z siecią wodociągową uliczną) i wywołuje odpowiedź

zależną od stanu źródła mierzonego aktualną możliwością pokrycia zapotrzebowania na wodę i energię potrzebną do wywołania jej przepływu. Gdyby wystąpiła pełna zgodność potrzeb instalacji i możliwości źródła, to wynikiem będzie powstanie zjawiska racjonalnego zużycia wody. Jeżeli jednak aktualny stan źródła odbiega od potrzeb wynikających z zapotrzebowania na wodę (i energię), to w wyniku przekształcenia sygnału sterującego przez sieć przewodów otrzyma się w efekcie zużycie wody i energii odmienne od racjonalnego.

W niniejszym rozdziale zostaną dokładniej rozważone możliwości otwartych zaworów czerpalnych przez sieć przewodów na sygnał wyjściowy w postaci zużycia wody, z uwzględnieniem stanu źródła wody. Istotą tak postawionego problemu jest konieczność dokonania analizy hydraulicznej instalacji wodociągowej dla znanych: charakterystyki zasilania i kombinacji otwarć zaworów czerpalnych. Jak wynika z publikacji G r a b a r c z y k a i C i e s i e l s k i e g o [72] już w końcu XIX w. podejmowano różne próby analizy układów hydraulicznych dla badania możliwości regulacyjnych tych układów. Obecnie stosuje się do takiej analizy w praktyce trzy metody: modelowanie z zastosowaniem analogowych analizatorów elektrycznych, metody z wykorzystaniem obliczeń komputerowych i metody graficzne.

Oceniając możliwości stosowania metod oraz ich dostępność stwierdzono, że dla potrzeb modelowania działania hydraulicznego instalacji wodociągowej należy skorzystać z metody wykorzystania obliczeń komputerowych jako podstawowej oraz metod graficznych do weryfikacji opracowanego modelu.

W rozważaniach nad modelowaniem działania hydraulicznego instalacji wodociągowej stawia się następujące cele:

- opracowanie metodyki modelowania hydraulicznego działania instalacji - jako cel ogólny,
- opracowanie sposobu tworzenia charakterystyki hydraulicznej instalacji wodociągowej - jako cel szczegółowy,
- umożliwienie określania zużycia wody na podstawie charakterystyki hydraulicznej - jako cel szczegółowy.

Realizacja określonych w ten sposób celów wymaga objęcia zakresem modelowania następujących czynności:

- oceny przydatności dotychczasowych prac nad analizą hydrauliczną układów sieci wodociągowych do problemów modelowania hydraulicznego działania instalacji,
- sformułowania równań opisujących hydrauliczne działanie instalacji,
- wskazanie sposobu odwzorowywania instalacji przydatnego z punktu widzenia wykorzystania obliczeń komputerowych,
- opracowania algorytmu sumowania charakterystyk hydraulicznych elementów instalacji dla utworzenia charakterystyki hydraulicznej całej instalacji,
- opracowanie sposobu graficznego wyznaczania charakterystyki hydraulicznej instalacji dla weryfikacji algorytmu rozwiązania na EMC.

## 4.2. DOTYCHCZASOWY STAN WIEDZY W ZAKRESIE MODELOWANIA PRACY HYDRAULICZNEJ W INSTALACJI WODOCIĄGOWYCH

Stosowane obecnie pojęcia modelowania (G u t e n b a u m [4], G a s p a r s k i [6], S i e n k i e w i c z [5], Z i e m b a [2]) jest tak pojemne, że praktycznie w odniesieniu do układów wodociągowych i ich elementów, każde obliczenie hydrauliczne poprzedzone analizą warunków ich pracy zmierzającą do ustalenia danych wyjściowych do obliczeń może być traktowane jako modelowanie. W szczególności dotyczy to projektowania, dla potrzeb którego prowadzi się analizy stanów granicznych i modeluje się te stany (przykładowo: obliczenie sprawdzające sieci wodociągowej pracującej jako źródło wody do gaszenia pożaru). Taki sposób podejścia narzuca konieczność wzięcia pod uwagę całości dotychczasowych osiągnięć w zakresie obliczania sieci wodociągowych. Dokonano zatem ogólnego przeglądu piśmiennictwa poświęconego metodom obliczania i analizy pracy sieci wodociągowych [73]. Stwierdzono, że obiektem bardzo licznych i zróżnicowanych tematycznie badań prowadzonych zarówno w kraju, jak i za granicą są w zasadzie wyłącznie obiegowe (pierścieniowe) sieci wodociągowe. Poszukiwania w piśmiennictwie ukierunkowane na założenie, że symu-

lacyjne modelowanie działania instalacji wodociągowej można z pewnym uproszczeniem sprowadzić do wielokrotnego obliczania hydraulicznego rozgałęzionej sieci wodociągowej, dały wynik negatywny. Nawet w pracach, które w tytule zapowiadają modelowanie sieci wodociągowych ( S u m a r o k o w [74]), obliczanie ( A b r a m o w o w [75,76], M i e l c a r z e w i c z [77]), czy też specjalne zagadnienia - jak analiza niezawodności układów wodociągowych ( I l i n [78]) pomija się obliczanie rozgałęzionych sieci wodociągowych, a w najlepszym razie prezentuje się obliczanie pojedynczych przewodów. Jak można przypuszczać, obliczenia typu projektowego w odniesieniu do rozgałęzionych sieci wodociągowych są uznawane za mało złożone zagadnienie. Prawdopodobnie źródłem tego poglądu jest jednoznaczne rozstrzygnięcie wydatków węzłowych, odcinkowych i kierunków przepływu już na wstępie obliczeń.

Ze zgromadzonego przez autora piśmiennictwa [73] wybrano te pozycje, które zawierają informacje przydatne pośrednio do rozwiązywania problemów modelowania działania hydraulicznego instalacji wodociągowych.

Ogólne metodyczne znaczenie mają publikacje: G r a b a r c z y k a i S z y m a c z e k [79÷82] - poświęcone formułowaniu i rozwiązywaniu problemów hydraulicznego obliczania przewodów, C i e s i e l s k i e g o [83] - poświęcona metodom odwzorowywania sieci wodociągowych na EMC oraz B y l k i [84] - poświęcona systematyzacji problemów decyzyjnych w projektowaniu wodociągów.

Ze względu na przewidywany sposób weryfikacji modelu interesujące są publikacje poświęcone metodom graficznego modelowania pracy układów wodociągowych: G r a b a r c z y k a i C i e s i e l s k i e g o [72] oraz podstawowa praca M i e l c a r z e w i c z a [77].

Interesujące są także poprzednio wymienione prace S u m a r o k o w a [74] i A b r a m o w a [75,76] przede wszystkim w części poświęconej obliczaniu sieci wodociągowych z wykorzystaniem EMC. Zrezygnowano natomiast z dalszych poszukiwań prac poświęconych projektowaniu instalacji wodociągowych z wykorzystaniem EMC, przede wszystkim dlatego, że autor niniejszej pracy, współpracując z D o l e c k i m [31]

- nie tylko już tego dokonał, ale także uzyskał własne doświadczenie w dziedzinie wykorzystania komputera do projektowania instalacji wodociągowych.

## 4.3. OPIS FUNKCJONALNY MODELU

### 4.3.1. Założenia wyjściowe

Przystępując do modelowania działania hydraulicznego instalacji wodociągowej w wielorodzinnym budynku mieszkalnym przyjmuje się następujące założenia wyjściowe:

1) modelowana instalacja istnieje materialnie lub w formie projektu,

2) znane są w chwili prowadzenia analizy hydraulicznej stany zaworów czerpalnych w całej instalacji; przyjmuje się, że zawory są dwustanowe: mogą być otwarte lub zamknięte,

3) znana jest w chwili prowadzenia analizy hydraulicznej wartość ciśnienia w punkcie zasilania instalacji w wodę.

Pierwsze z założeń oznacza, że są znane: kształt i wymiary geometryczne instalacji takie jak: średnice przewodów, ich materiał, długości odcinków, uzbrojenie, rodzaj zaworów czerpalnych itd. Drugie z założeń oznacza, że prowadzi się analizę dla ściśle określonej chwili czasowej, dla której uprzednio zarejestrowano stan zaworów czerpalnych w istniejącej instalacji lub dokonano symulacji stanu otwarć zaworów korzystając z modelu użytkowania instalacji (wówczas otrzymuje się harmonogram pokazany na rys.4.1). Trzecie z założeń dotyczy chwili czasowej określonej w poprzednim założeniu.

### 4.3.2. Równania opisujące działanie hydrauliczne instalacji

Przepływ wody w punkcie zasilania instalacji w wodę Q przy znanej wysokości ciśnienia w tym punkcie H, można określić jako sumę:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} q_i \, f(z_i), \tag{4.1}$$

gdzie:

Q - przepływ wody w punkcie zasilania instalacji występującej przy wysokości ciśnienia H w punkcie zasilania; $dm^3/s$,

q - wydajność zaworu czerpalnego oznaczonego indeksem i; $dm^3/s$,

f(z) - funkcja stanu otwarcia zaworu, oznaczonego indeksem i; wartości funkcji są określone w przedziale 0...1, przy czym umownie 0 - oznacza zamknięcie zaworu, zaś 1 - całkowite otwarcie.

Wydatek pojedynczego zaworu czerpalnego można wyznaczyć z jego charakterystyki hydraulicznej:

$$q_i = a_i \, h_i^{b_i}, \tag{4.2}$$

w którym: a, b - współczynniki wydatku zaworu danego typu; a [m/s],

h - wysokość ciśnienia dyspozycyjnego przed zaworem; m,

Wysokość ciśnienia dyspozycyjnego przed i-tym zaworem czerpalnym wyznacza się następująco:

$$h_i = H - h_{gi} - \sum_{i \in l} (h_l + h_m)_j, \tag{4.3}$$

gdzie:

H - wysokość ciśnienia wody w punkcie zasilania instalacji w wodę; m,

$h_g$ - geometryczna wysokość położenia zaworu oznaczonego indeksem i; m,

$h_l$ - wysokość liniowych strat ciśnienia występujących na j-tym odcinku, licząc po drodze przepływu wody od punktu zasilania w wodę do analizowanego zaworu czerpalnego; m,

$h_m$ - wysokość miejscowych strat ciśnienia występujących na j-tym odcinku; m,

j - indeks odcinka instalacji,

I - zbiór odcinków instalacji wodociągowej, które stanowią drogę od punktu zasilania do zaworu czerpalnego oznaczonego indeksem i.

Do ustalenia $h_l$ i $h_m$ można posłużyć się charakterystykami hydraulicznymi elementów instalacji, to jest odcinków rur o znanej długości i średnicy, kształtek i armatury, sprowadzonymi do postaci:

$$h_e = \alpha (q_e)^{\gamma}, \tag{4.4}$$

w którym:

$h_e$ - wysokość ciśnienia wody strat w trakcie przepływu przez element; odpowiednio: $h_e = h_l$ lub $h_e = h_m$; m,

$q_e$ - przepływ wody przez element; $dm^3/s$,

$\alpha$ i $\gamma$ - współczynniki wydatku przykładowo określone w tablicy 4.1.

T a b l i c a 4.1

Wartości współczynników $\alpha$ i $\gamma$ do wzoru (4.4)

| Element instalacji | Współczynnik | |
|---|---|---|
| | $\alpha \left[ m\ s^2\ dm^{-6} \right]$ | $\gamma$ [-] |
| Odcinek rury o długości 1 m | $0{,}08263\ \lambda \frac{1}{d^5}$ | 2 |
| Kształtka lub zawór o średnicy d [m] | $\frac{0{,}08263}{d^4}\ \zeta$ | 2 |
| Zawór czerpalny | $A^{*)}$ | $m^{*)}$ |

Uwaga: *) wartości A i m ustalono dla krajowej armatury czerpalnej w pracy S o s n o w s k i e g o [66].

Wartości $\lambda$ i $\zeta$ w tablicy 4.1 oznaczają odpowiednio: $\lambda$ - współczynnik strat liniowych, $\zeta$ - współczynnik strat miejscowych i mogą być wyznaczone powszechnie znanymi sposobami [63,68]. Wykorzystując pojęcie oporności elementu [63] odniesione do odcinka, na które podzielono instalację można zapisać:

$$h_l + h_m = c(q_o)^2, \tag{4.5}$$

przy czym:

$$c = \frac{0{,}08263}{d^4}\left(\frac{l}{d}\lambda + \zeta\right),$$

gdzie:

- $c$ - współczynnik oporności elementu uwzględniający oporność miejscową i liniową na odcinku; $s^{-2}\cdot m^{-6}\cdot m$,
- $l$ - długość odcinka przewodu; m,
- $d$ - średnica odcinka przewodu; m,
- $\lambda$ i $\zeta$ - współczynniki oporów, odpowiednio: liniowych i miejscowych (jak w tabl.4.1); bezwym.,
- $q_o$ - przepływ wody przez odcinek odcinkowy; $dm^3/s$.

Wykorzystując wzory (4.2) do (4.5) można wyznaczyć przepływ w punkcie zasilania instalacji w funkcji wysokości ciśnienia w punkcie zasilania (wzór (4.1)) następująco:

$$Q = \sum_{i \in I}^{n} a_i \left[ H - h_{gi} - \sum_{j \in I} c_j (q_{oj})^2 \right]^{b/m_i} f(z_i), \qquad (4.6)$$

w którym oznaczenia są zgodne ze stosowanymi w poprzednich wzorach.

Wykorzystanie opracowanych zależności polega na możliwości tworzenia układów równań, z których każde będzie opisywało zależność wydajności otwartego zaworu od ciśnienia dyspozycyjnego przed zaworem. Liczba tych równań będzie równa liczbie otwartych zaworów czerpalnych. Warunkiem rozwiązania układu równań będzie nieujemność pierwiastków oznaczająca, że w równaniu (4.3) powinno być spełnione

$$H > h_{gi} + \sum_{j \in I} c_j (q_{oj})^2 \qquad (4.7)$$

przez źródło wody w chwili, której dotyczy analizowana kombinacja otwarć zaworów czerpalnych. Niespełnienie warunku oznacza funkcjonalnie niedostarczenie wody do najwyżej położonych spośród otwartych (jednego lub kilku) zaworów czerpalnych.

Rozwiązanie układu równań, których liczba będzie równa liczbie otwartych zaworów czerpalnych instalacji prowadzi do odnalezienia wartości przepływu w punkcie zasilania instalacji

przy znanej wartości ciśnienia w tym punkcie. Zmiana wartości ciśnienia prowadzi do konieczności powtórzenia obliczeń.

W dużych instalacjach wodociągowych liczba zainstalowanych zaworów czerpalnych sięga do 3000 sztuk. Nawet zakładając, że liczba jednocześnie czynnych zaworów nie przekroczy 10%, otrzymuje się liczbę co najmniej kilkudziesięciu równań. Trzeba także uwzględnić uwikłaną postać równań. Jak wynika to z równania (4.6) i poprzednich - przepływy odcinkowe powstają bowiem przez sumowanie wypływu z otwartych zaworów czerpalnych, ten zaś jest zależny od wysokości ciśnienia przed zaworem, która z kolei zależy od strat ciśnienia na odcinku będącym funkcją przepływu odcinkowego. Wobec tego jedyną metodą rozwiązania układu równań jest zastosowanie metody kolejnych przybliżeń.

W dalszym toku niniejszej pracy zostanie przedstawiony inny sposób podejścia do sformułowanego problemu, a mianowicie rozwiązanie zadania wyznaczenia przepływu w punkcie zasilania przy znanej kombinacji otwarć zaworów czerpalnych przez analityczne lub wykreślne zbudowanie charakterystyki hydraulicznej instalacji. Pod tym pojęciem będzie rozumiana zależność (4.6) doprowadzona do postaci:

$$Q = A\, h^b, \tag{4.8}$$

w której A i b są traktowane jako współczynniki wydatku.

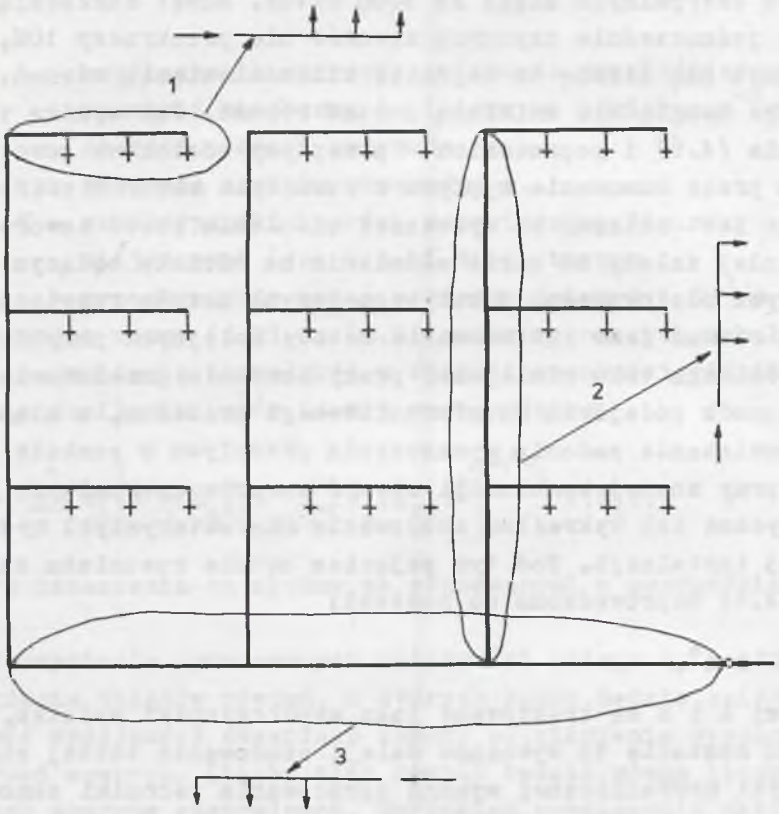
Jak zostanie to wykazane dalej, zbudowanie takiej charakterystyki hydraulicznej wymaga opracowania techniki sumowania charakterystyk elementów tworzących instalację wodociągową.

## 4.4. ALGORYTM KONSTRUKCJI CHARAKTERYSTYKI HYDRAULICZNEJ INSTALACJI WODOCIĄGOWEJ

### 4.4.1. Odwzorowanie instalacji wodociągowej

W odwzorowywaniu instalacji wodociągowej w budynku trzeba wziąć pod uwagę względy praktyczne: odwzorowanie powinno być zgodne z rzeczywistą funkcjonalnością modelowanej sieci oraz wygodne dla przyjętej techniki modelowania pracy tej sieci.

Dla dokonania analizy funkcjonalnej instalacji wodociągowej sporządzono schemat pokazany na rys.4.2. Doprowadzenie wody do punktu zasilenia do otwartych zaworów czerpalnych instalacji




Rys.4.2. Odwzorowanie instalacji wodociągowej: 1 - odwzorowanie odgałęzienia pionu z zaworami czerpalnymi, 2 - odwzorowanie pionu z odgałęzieniami do zaworów czerpalnych, 3 - odwzorowanie przewodu rozdzielczego do pionów

wodociągowej odbywa się siecią przewodów, w której funkcjonalnie wyróżnia się: przewody rozdzielcze, piony i połączenia do punktów czerpalnych. Analiza układu połączeń tych elementów składowych prowadzi do wniosku, że ich uogólnieniem dla potrzeb odwzorowania jest odcinek z wydatkami w określonych punktach. Różnica między pionami a pozostałymi składowymi polega na tym, że w odcinku odwzorowującym pion punkty wydatkowania wody mają różne geometryczne położenie względem punktu

przyjętego za odniesienie. Charakterystyczną cechą jest także jednoznaczne rozstrzygnięcie kierunków przepływu. W teorii grafów opisany i przedstawiony na rys.4.2 układ jest nazywany drzewem. Jest to najprostszy nietrywialny typ spójnego grafu zorientowanego [73]. Podane stwierdzenie pozwala w pełni skorzystać z doświadczeń [60÷63, 69] nad wykorzystaniem teorii grafów do odwzorowywania sieci wodociągowych do obliczeń komputerowych. Zostaną one wykorzystane w toku komputerowej realizacji modelu.

### 4.4.2. Technika sumowania charakterystyk elementów

W układzie funkcjonalnym instalacji wodociągowej pokazanym na rys.4.2 można wyróżnić szeregowe i równoległe hydrauliczne połączenie jej elementów. Szeregowe połączenie hydrauliczne charakteryzuje niezmienność przepływów, zaś ich połączenie równoległe - stałość różnicy wysokości ciśnień początku i końca połączonych elementów. Wykorzystując charakterystykę hydrauliczną elementu i określoną poprzednio wzorem (4.4):

$$h_i = \alpha_i q_i^{\gamma_i},$$

można przedstawić charakterystykę hydrauliczną n połączonych ze sobą elementów następująco:

$$h_n = \alpha_1 q_1^{\gamma_1} + \alpha_2 q_2^{\gamma_2} + \ldots + \alpha_n q_n^{\gamma_n}. \qquad (4.9)$$

Zakładając, że $\gamma_1 = \gamma_2 = \ldots = \gamma_n = \gamma$ oraz wykorzystując fakt, że dla elementów połączonych szeregowo $q_1 = q_2 = q_n = q$ uzyskuje się:

$$h_n = q^{\gamma}(\alpha_1 + \alpha_2 + \ldots + \alpha_n) = q^{\gamma} \sum_{i=1}^{n} \alpha_n. \qquad (4.10)$$

Dla elementów połączonych równolegle uzyskuje się tym samym sposobem:

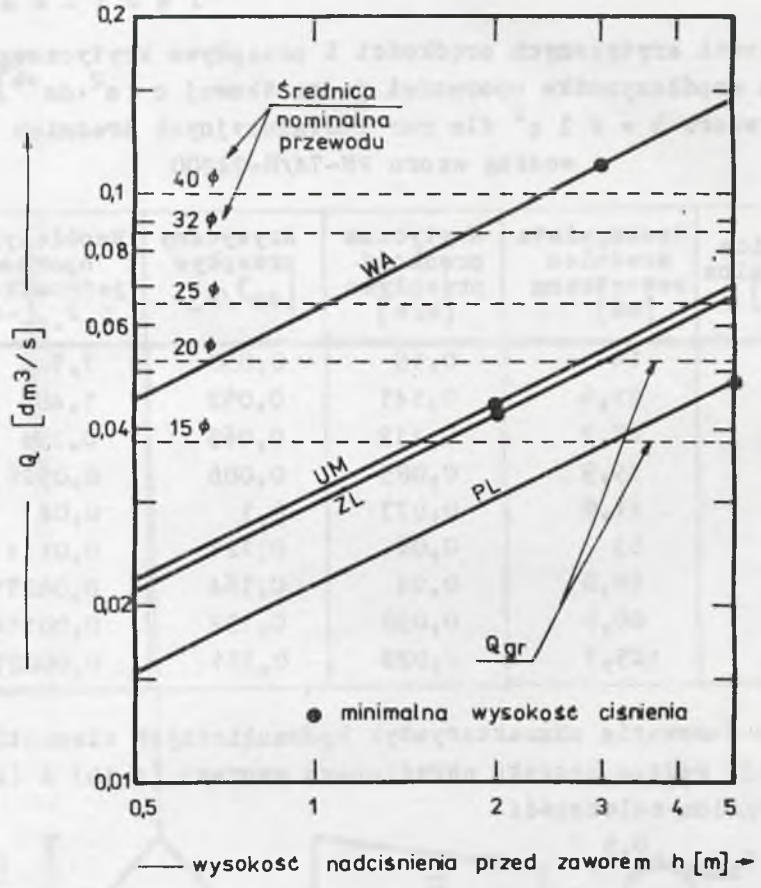
$$q_n = h^{-\frac{1}{\gamma}} \sum_{i=1}^{n} (\alpha_n)^{\frac{-1}{\gamma}} \qquad (4.11)$$

Praktyczne wykorzystanie podanych zapisów wymaga określenia wartości współczynników $\alpha$ i $\gamma$. Wartość współczynnika $\gamma$ we wzorze (4.10) zależy od charakteru ruchu wody w elemencie.

Konstrukcyjnie instalacja wodociągowa składa się z odcinków rur połączonych kształtkami i armatury czerpalnej. W opracowaniu wyników badań nad krajową armaturą czerpalną Gołębiewski i Hałupka [65] wykazali, że ruch wody w trakcie przepływu i wypływu z armatury czerpalnej ma charakter burzliwy w całym zakresie użytkowym pracy armatury czerpalnej. Podobne wnioski można wyciągnąć interpretując wyniki badań Sosnowskiego [66]. Posługując się tymi wynikami sporządzono charakterystyki hydrauliczne armatury czerpalnej w postaci: $h = c\,q^2$. Wybrane wartości współczynnika c $[m \cdot s^2 \cdot dm^{-6}]$ wynoszą:

- dla baterii wannowej $c = 244{,}14$,
- dla baterii umywalkowej $c = 1040{,}6$,
- dla baterii zlewozmywakowej $c = 1111{,}1$,
- dla zaworu zbiornika spłuk. $c = 2066$.

Posługując się tymi wartościami sporządzono charakterystyki hydrauliczne pokazane na rys.4.3. Następnie, posługując się krytyczną wartością liczby Reynoldsa Re = 2320 obliczono zestawione w tablicy 4.2 krytyczne wartości prędkości i przepływu dla przewodów instalacyjnych. Wybrane wartości naniesiono na rys.4.3. Pozwalają one stwierdzić, że w efekcie współpracy armatury czerpalnej z przewodami panuje w nich praktycznie wyłącznie ruch burzliwy. Należy zwrócić uwagę, że na rys.4.3 dobrano wysokości ciśnienia przed armaturą w zakresie jego najniższych wartości - punktami oznaczono minimalną wysokość ciśnienia postulowaną przez Gołębiewskiego i Hałupkę [65], dla poszczególnych zaworów czerpalnych. W wyniku przedstawionego rozumowania uznano za właściwe przyjęcie charakterystyki hydraulicznej odcinków przewodów w postaci: $h = c\,l\,q^2 = C\,q^2$. Wartości współczynnika oporności jednostkowej c dla rur instalacyjnych stalowych ocynkowanych średnich według PN 74/H-74200 zestawiono w tablicy 4.2. Analogicznie do poprzednich można wykorzystać kwadratową zależność wysokości strat ciśnienia od przepływu dla kształtek łączących rury. Niezbędne przy tym współczynniki oporów miejscowych $\zeta$




Rys.4.3. Charakterystyki hydrauliczne armatury czerpalnej i graniczne wartości przepływów $Q_{gr}$ w przewodach instalacji wodociągowej (opis w tekście)

można przy tym znaleźć w już poprzednio cytowanym piśmiennictwie [77]. Wygodnie będzie przy tym przypisać opory miejscowe odcinkom przewodów przez wprowadzenie zastępczych długości, według powszechnie znanego sposobu [77]. Ostatecznie przyjmuje się do praktycznych obliczeń charakterystyki hydrauliczne elementów instalacji w postaci:

$$h = C\,q^2 \quad \text{i odpowiednio:} \quad q = A\,h^{0,5}, \tag{4.12}$$

przy czym:

$$A = C^{-0,5}. \tag{4.13}$$

Tablica 4.2

Wartości krytycznych prędkości i przepływu krytycznego oraz współczynnika oporności jednostkowej c $[s^2 \cdot dm^{-6}]$ do wzoru $h = c\ l\ q^2$ dla rur instalacyjnych średnich według wzoru PN-74/H-74200

| Średnica nominalna [mm] | Rzeczywista średnica wewnętrzna [mm] | Krytyczna prędkość przepływu [m/s] | Krytyczny przepływ $[dm^3/s]$ | Współczynnik oporności jednostkowej $[s^2 \cdot dm^{-6}]$ |
|---|---|---|---|---|
| 15 | 16 | 0,19 | 0,038 | 7,786 |
| 20 | 21,6 | 0,141 | 0,052 | 1,486 |
| 25 | 27,2 | 0,112 | 0,065 | 0,394 |
| 32 | 35,9 | 0,085 | 0,086 | 0,0926 |
| 40 | 41,8 | 0,073 | 0,1 | 0,04 |
| 50 | 53 | 0,06 | 0,127 | 0,0111 |
| 65 | 68,8 | 0,04 | 0,164 | 0,00271 |
| 80 | 80,8 | 0,038 | 0,192 | 0,00114 |
| 100 | 105,3 | 0,029 | 0,251 | 0,000277 |

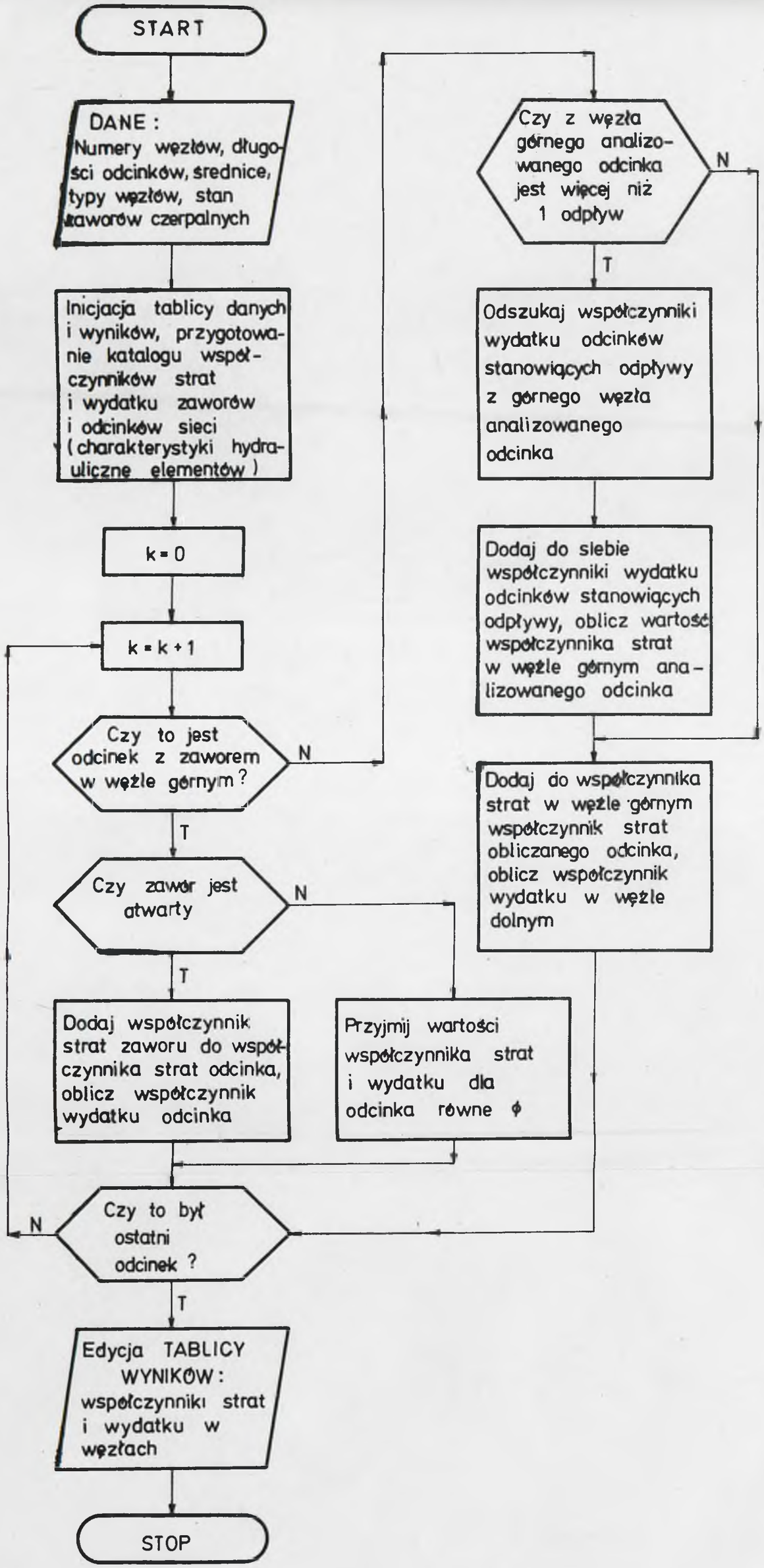
Wynikiem sumowania charakterystyk hydraulicznych elementów instalacji według sposobu określonego wzorami (4.10) i (4.11) będzie ogólna zależność:

$$Q = A_{inst}\ h^{0,5}, \tag{4.14}$$

stanowiąca poszukiwaną charakterystykę hydrauliczną instalacji. Może ona być wykorzystana do znalezienia poszukiwanego przepływu w punkcie zasilenia instalacji przy znanym ciśnieniu dyspozycyjnym w tym punkcie.

### 4.4.3. Komputerowa realizacja analitycznego tworzenia charakterystyki hydraulicznej instalacji

Do realizacji tworzenia charakterystyki hydraulicznej instalacji wodociągowej opracowano program CHARINST. Opis topologii instalacji odbywa się w formie tablicy, której kolumnami są zbiory: węzłów górnych, dolnych długości odcinków między węzłami, średnice odcinków, znaczniki typu węzła i jego




Rys.4.4. Algorytm tworzenia charakterystyki hydraulicznej instalacji przez sumowanie charakterystyk elementów

rodzaju (dotyczy to zaworów czerpalnych). W tablicy pozostają także wolne kolumny przeznaczone dla współczynników wydatku elementów. Zainicjowanie tablicy następuje po określeniu stanu otwarć zaworów analizowanej instalacji. Wówczas w wolne miejsca tablicy są wpisywane charakterystyki hydrauliczne elementów instalacji. Konstruowanie charakterystyki hydraulicznej instalacji dla zadanej kombinacji otwarć zaworów czerpalnych odbywa się drogą kolejnego analizowania poszczególnych węzłów poczynając od najwyżej i najdalej położonego od punktu zasilania instalacji otwartego zaworu czerpalnego. W kolejnych węzłach odbywa się badanie sposobu połączenia analizowanego elementu z następnym. Wynikiem badania jest stwierdzenie szeregowego lub równoległego połączenia elementów. Zależnie od wyniku sumuje się odpowiednie współczynniki wydatku elementów, po czym przechodzi się do następnego węzła. Tą metodą całość instalacji zostaje sprowadzona do końcowego węzła, w którym odbywa się zasilanie instalacji w wodę. W wyniku działania opisanego algorytmu otrzymuje się dla zadanej kombinacji otwarć zaworów czerpalnych charakterystykę hydrauliczną, to jest wartość współczynnika $A_{inst}$ równania (4.15). Dla znanej wartości ciśnienia dyspozycyjnego można obecnie obliczyć przepływ wody z punktu zasilania do instalacji. Rozwiązanie realizacyjne programu pozwala także dla opracowanej kombinacji otwarć zaworów odszukać współczynnik wydatku dowolnego węzła. Obliczenie wydatku w tym węźle wymaga oczywiście uwzględnienia jego wysokości położenia ponad punktem odniesienia, którym jest punkt zasilania instalacji.

Algorytm tworzenia charakterystyki hydraulicznej instalacji opisanym sposobem do programu CHARINST pokazano na rys.4.4. Użyte w opisie algorytmu terminy "współczynnik wydatku" oraz "współczynnik strat" oznaczają odpowiednio wartości A i C według wzorów (4.12) i (4.13).

## 4.5. WERYFIKACJA MODELU

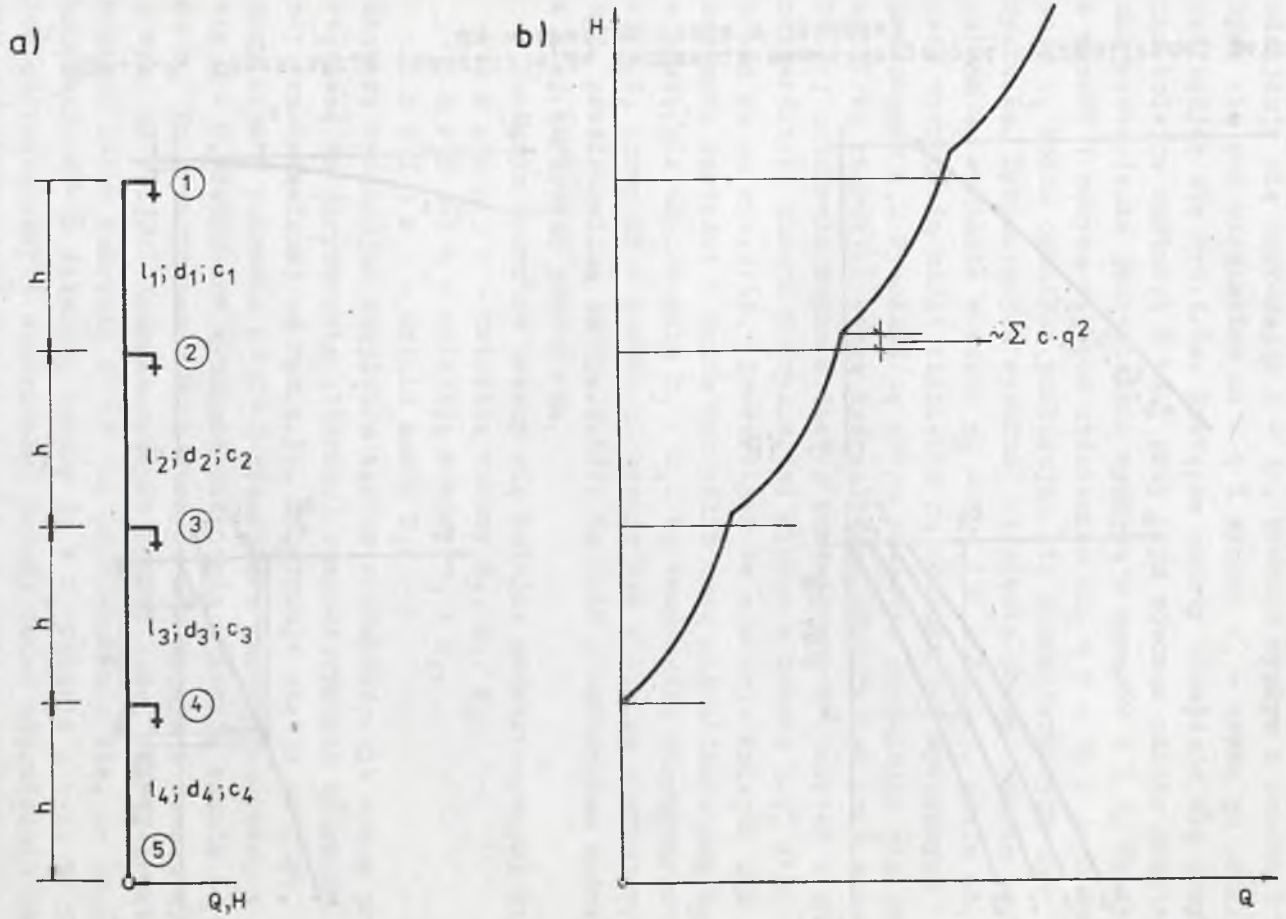
Opisany model hydraulicznego działania instalacji wodociągowej można zweryfikować dwoma sposobami. Pierwszym z nich jest

ocena logicznej i merytorycznej poprawności przedstawionego poprzednio algorytmu opartego na podstawach stosowanej hydromechaniki. Niezależnie od powyższej weryfikacji przyjęto, że opracowany algorytm powinien być zweryfikowany przez rozwiązanie problemu innym sposobem. Dysponowanie dwoma sposobami rozwiązania tego samego zagadnienia pozwala wprowadzić, jako kryterium weryfikacyjne, warunek zbieżności wyników analizy hydraulicznej pracy tej samej instalacji. W omawianym wypadku przyjmuje się, jako szczegółowe kryterium weryfikacyjne warunek, aby przy zadawanych wartościach ciśnienia w punkcie zasilenia instalacji otrzymywać w wyniku analizy obydwoma sposobami podobne wartości przepływu wody w punkcie zasilania.

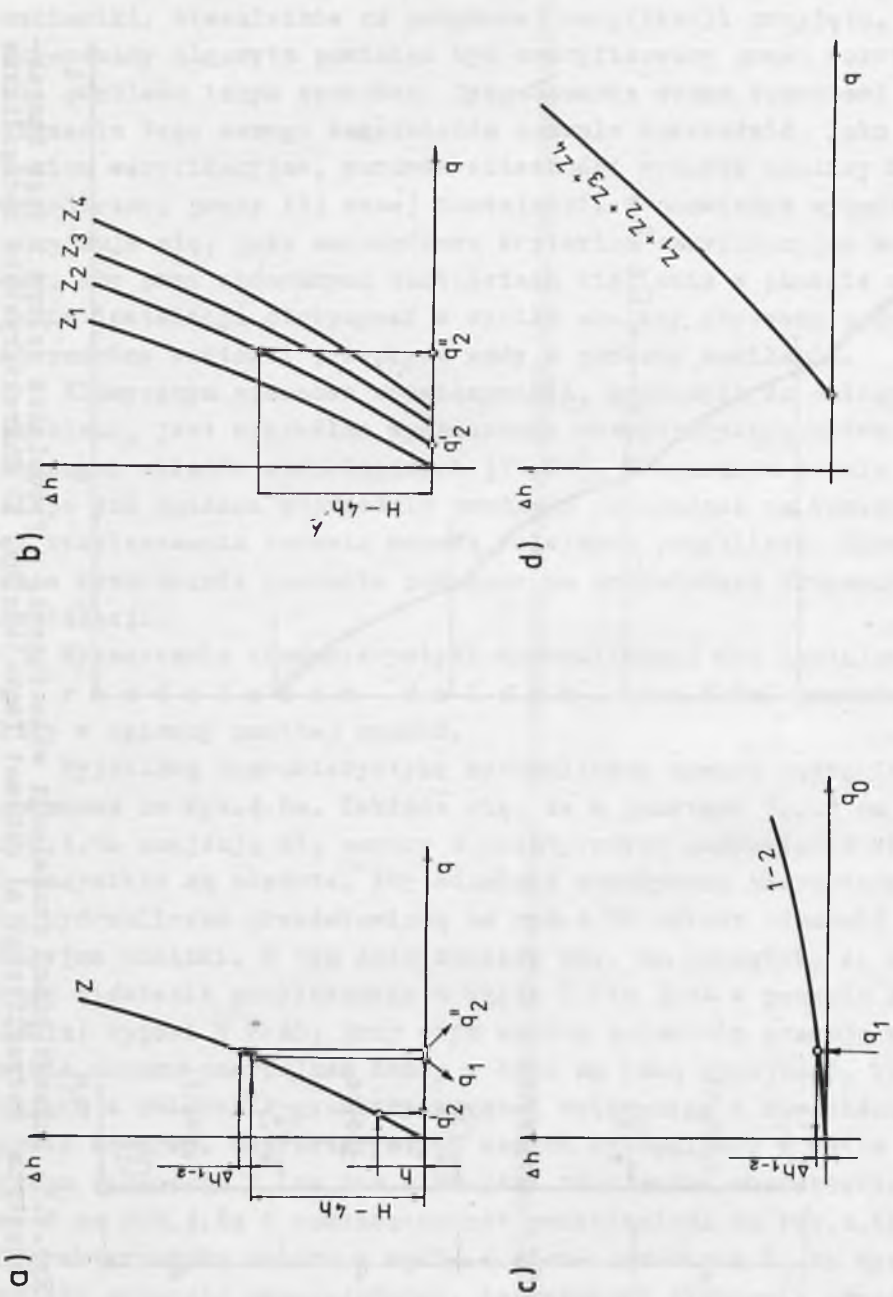
Klasycznym sposobem rozwiązywania, podobnych do opisanego problemu, jest wykreślne wyznaczanie charakterystyk hydraulicznych układów wodociągowych [77,83]. W opisanym modelu istnieje już opisana poprzednio trudność polegająca na konieczności rozwiązywania zadania metodą kolejnych przybliżeń. Opracowane rozwiązanie zostanie pokazane na przykładach fragmentów instalacji.

Wyznaczanie charakterystyki hydraulicznej dla instalacji z r o z d z i a ł e m d o l n y m (rys.4.5a) przebiegałoby w opisany poniżej sposób.

Wyjściową charakterystykę hydrauliczną zaworu czerpalnego Z pokazano na rys.4.6a. Zakłada się, że w punktach 1...4 na rys.4.5a znajdują się zawory o identycznych charakterystykach i wszystkie są otwarte. Aby odnaleźć sumaryczną charakterystykę hydrauliczną przedstawioną na rys.4.5b należy odnaleźć jej kolejne odcinki. W tym celu zakłada się, na początek, że wysokość ciśnienia przyłożonego w węźle 5 (to jest w punkcie zasilania) wynosi $H >> 4h$, przy czym według założenia pracują wszystkie zawory czerpalne. Każdy z nich ma inną wydajność, wynikającą z położenia geometrycznego i związanego z nim ciśnienia przed zaworem. Charakterystyka zaworu czerpalnego w węźle i pionu oznaczona $Z_1$ na rys.4.6b jest równoważna charakterystyce Z na rys.4.6a i została wprost przeniesiona na rys.4.6b. Charakterystykę zaworu w węźle 2 pionu oznaczoną $Z_2$ na rys.4.6b należy odnaleźć uwzględniając, że wysokość ciśnienia przed tym zaworem będzie większa od wysokości ciśnienia dla zaworu $Z_1$




Rys.4.5. Schemat pionu instalacji wodociągowej z rozdziałem dolnym i jego charakterystyka hydrauliczna: a) schemat funkcjonalny, b) charakterystyka hydrauliczna




Rys.4.6. Konstrukcje pomocnicze do tworzenia charakterystyki hydraulicznej metodą wykreślną (opis w tekście)

o geometryczną wysokość h powiększoną o sumę wysokości strat ciśnienia wywołanych przepływem $q_0$ na odcinku 1-2 (przepływ $q_0$ jest wypływem z zaworu $Z_1$). Pierwszy punkt charakterystyki $Z_2$ odnajduje się zakładając H = 4h. Wówczas wypływ z zaworu 2 odbywa się pod ciśnieniem $\Delta h = h$ i wynosi $q'_2$ - można go odnaleźć posługując się rys.4.6a. Następne punkty odnajduje się przyjmując kolejne wartości $H > 4h$, przy czym wówczas należy uwzględnić wystąpienie jednocześnie wypływu z zaworów 1 i 2. Wypływ z zaworu 1 odbywa się pod ciśnieniem $\Delta h_1 = H - 4h$ i jego wartość $q_1$ można odnaleźć posługując się charakterystyką na rys.4.6a. Dyspozycyjna wysokość ciśnienia przed zaworem czerpalnym $Z_2$ wyniesie wówczas $h_2 = H - (3h + \Delta h_{1-2})$, gdzie $\Delta h_{1-2}$ jest wysokością strat ciśnienia na odcinku 1-2 wywołanych przepływem $q_1$. Wysokość tę można odnaleźć posługując się pomocniczą charakterystyką hydrauliczną odcinka 1-2 (rys.4.6c). Po jej ustaleniu można obliczyć wartość $\Delta h_2$ i odczytać z charakterystyki zaworu Z (rys.4.6a) wypływ z zaworu 2-$q''_2$ i nanieść go na rys.4.6b. Powtarzając te operacje kolejno dla zadanych wartości H można wykreślić całą charakterystykę $Z_2$ a następnie odpowiednio $Z_3$ i $Z_4$. Po zsumowaniu charakterystyk $Z_1 \ldots Z_4$ (przy $\Delta h$ = const) otrzymuje się zbiorczą charakterystykę przedstawioną na rys.4.6d). Zgodnie z założeniem można z niej korzystać przy $H \geq 4h$.

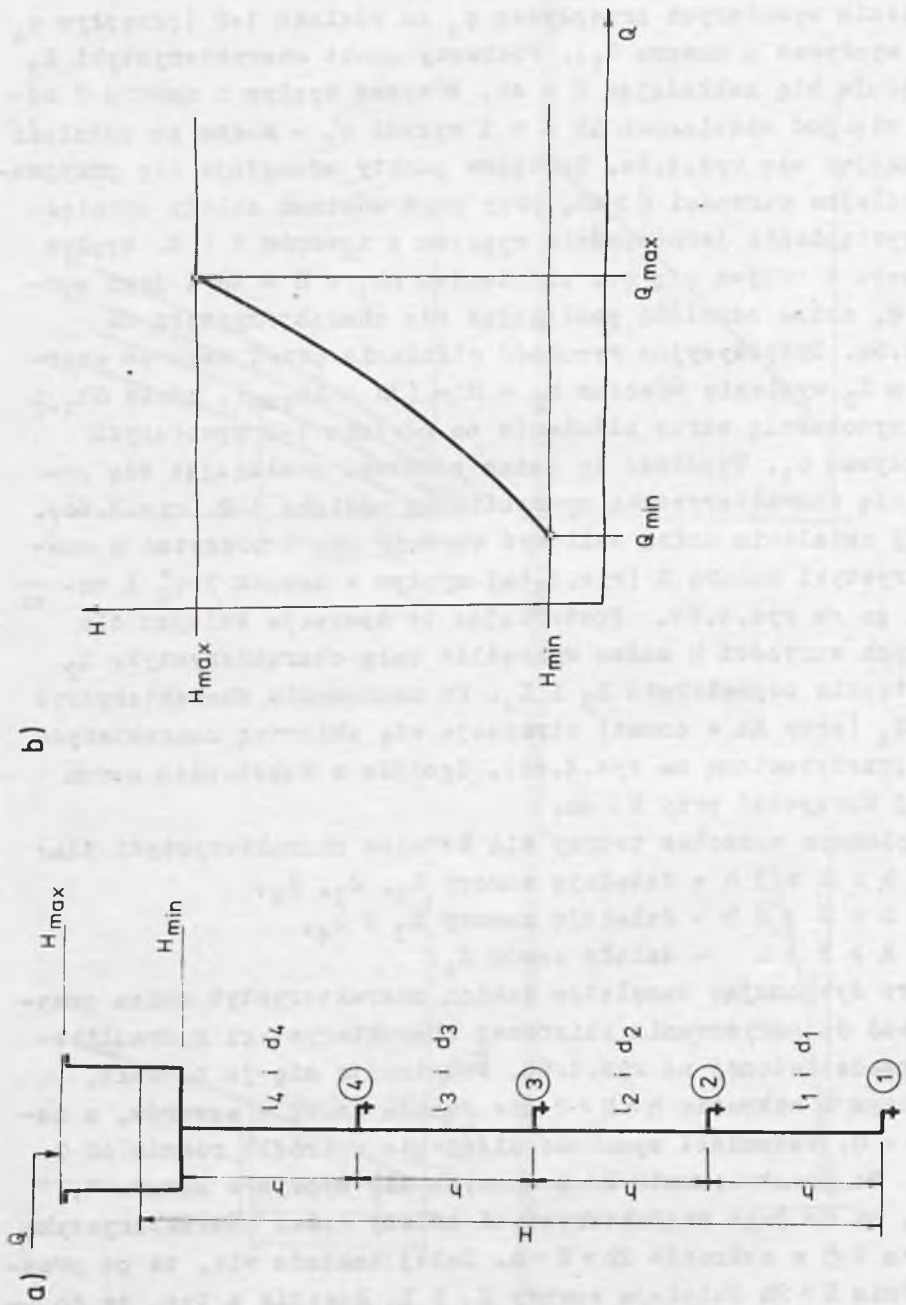
Opisanym sposobem tworzy się kolejne charakterystyki dla:

$4h \geq H \geq 3h$ - działają zawory $Z_2$, $Z_3$, $Z_4$,

$3h \geq H \geq 2h$ - działają zawory $Z_3$ i $Z_4$,

$2h \geq H \geq h$ - działa zawór $Z_4$.

Dopiero dysponując kompletem takich charakterystyk można przystępować do narysowania zbiorczej charakterystyki hydraulicznej przedstawionej na rys.4.5b. Konstruuje się ją od dołu, przy czym w zakresie $h > H > 0$ nie działa żaden z zaworów, a zatem Q = 0, natomiast wysokość ciśnienia w źródle rośnie od 0 do h. Po przekroczeniu $H > h$ zaczyna się wypływ z zaworu 4, z tym, że do jego charakterystyki należy dodać charakterystykę odcinka 4-5 w zakresie $2h > H > h$. Dalej zakłada się, że po przekroczeniu $H > 2h$ działają zawory $Z_3$ i $Z_4$ łącznie z tym, że do ich charakterystyki sumarycznej należy dodać odpowiednio odcinek charakterystyki 4-5 dla $q_3 + q_4$ i odcinek charakterystyki 3-4 dla $q_3$.




Rys.4.7. Schemat instalacji wodociągowej z rozdziałem górnym i jej charakterystyka hydrauliczna: a) schemat funkcjonalny, b) charakterystyka hydrauliczna

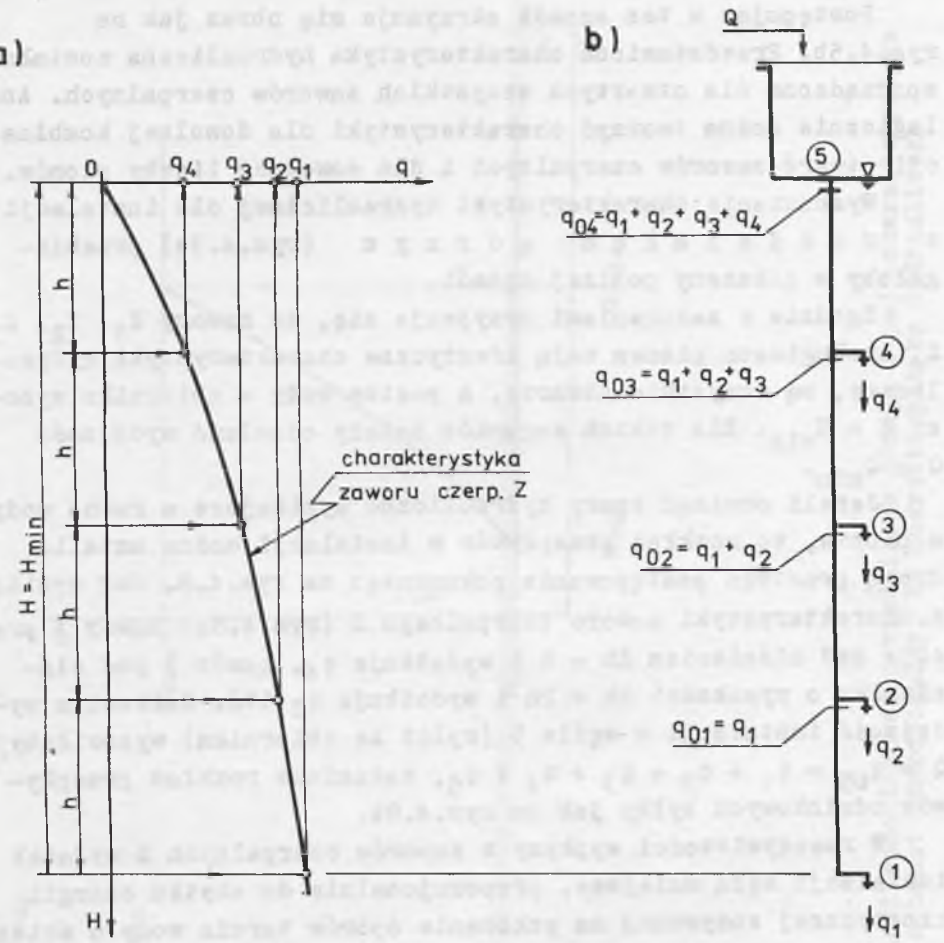
Postępując w ten sposób otrzymuje się obraz jak na rys.4.5b. Przedstawiona charakterystyka hydrauliczna została sporządzona dla otwartych wszystkich zaworów czerpalnych. Analogicznie można tworzyć charakterystyki dla dowolnej kombinacji otwarć zaworów czerpalnych i dla dowolnej liczby pionów.

Wyznaczanie charakterystyki hydraulicznej dla instalacji z r o z d z i a ł e m g ó r n y m (rys.4.7a) przebiegałoby w pokazany poniżej sposób.

Zgodnie z założeniami przyjmuje się, że zawory $Z_1$, $Z_2$, $Z_3$, $Z_4$ obsługiwane pionem mają identyczne charakterystyki hydrauliczne, są wszystkie otwarte, a poziom wody w zbiorniku wynosi $H = H_{min}$. Dla takich warunków należy odnaleźć wydajność $Q = Q_{min}$.

Jeżeli pominąć opory hydrauliczne wynikające z ruchu wody w pionie, to rozkład przepływów w instalacji można ustalić drogą prostego postępowania pokazanego na rys.4.8. Jak wynika z charakterystyki zaworu czerpalnego Z (rys.4.8a) zawór 4 pracuje pod ciśnieniem $\Delta h = h$ i wydatkuje $q_4$, zawór 3 pod ciśnieniem o wysokości $\Delta h = 2h$ i wydatkuje $q_3$ itd. Całkowita wydajność instalacji w węźle 5 (wylot ze zbiornika) wynosiłaby $Q = q_{05} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5$, natomiast rozkład przepływów odcinkowych byłby jak na rys.4.8b.

W rzeczywistości wypływy z zaworów czerpalnych i wydatek instalacji będą mniejsze, proporcjonalnie do ubytku energii kinetycznej zużywanej na pokonanie oporów tarcia wody o ścianki pionu. Ten ubytek energii będzie dalej nazywany dławieniem. Powoduje ono ograniczenie wypływu wody. Wielkość dławienia wyznaczyć można graficznie metodą kolejnych przybliżeń. Na rys.4.9 pokazano pierwsze przybliżenie dla zaworów $Z_4$ i $Z_3$. Konstrukcja wykreślna opiera się na spostrzeżeniu, że na odcinku 4-5 pionu nie może wystąpić przepływ większy od $q_{04}$, który jest przepływem granicznym, ustalonym bez dławienia (rys.4.8). Na charakterystyce hydraulicznej odcinka przewodu 4-5 odnajduje się punkt odpowiadający $q_{04}$, po czym odejmuje się od odcinka charakterystyki hydraulicznej $Z_4$ odcinek charakterystyki hydraulicznej przewodu 4-5 rozpoczynając od punktu $q = q_{04}$. Po wyznaczeniu "zdławionej" charakterystyki hydraulicznej $Z_5$ otrzymuje się w jej przecięciu z prostą odpowiadającą geome-

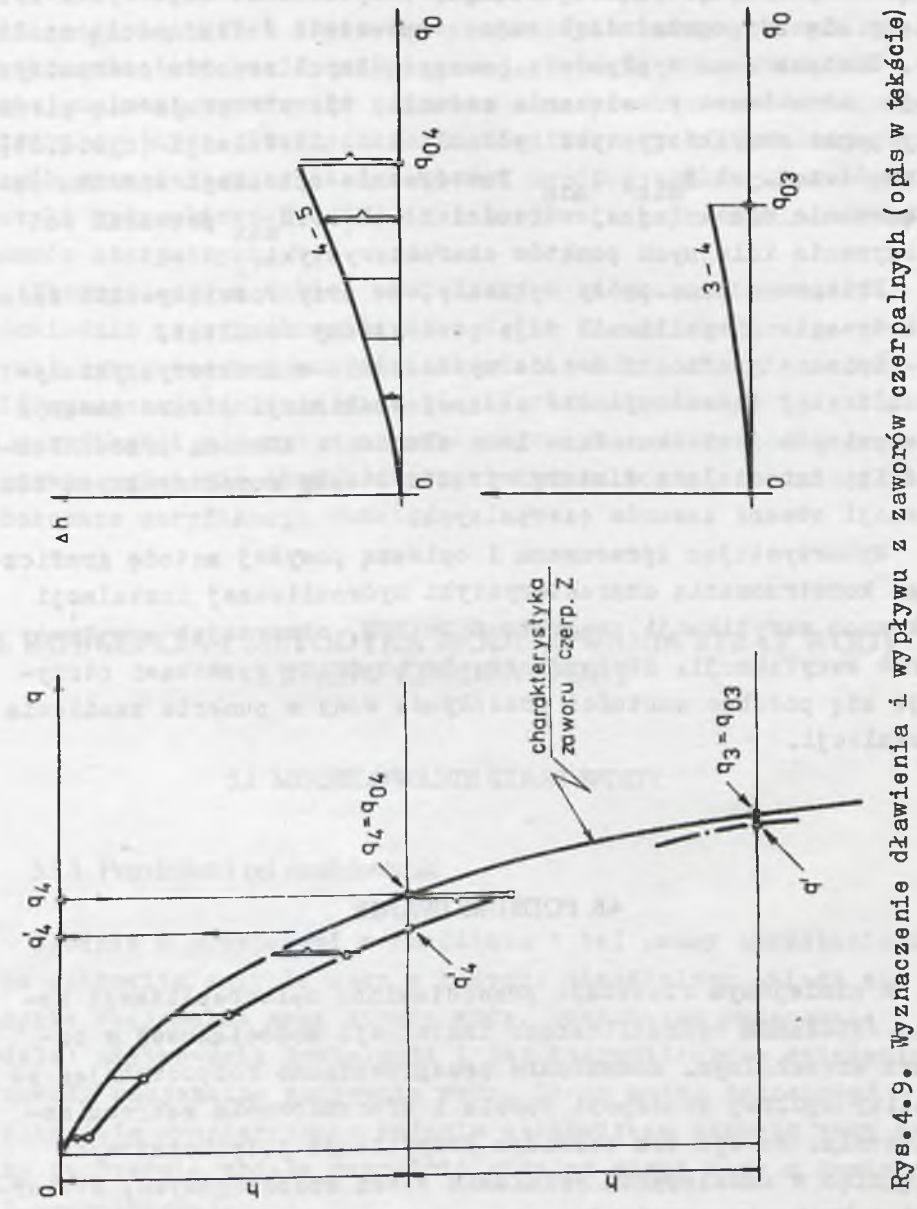



Rys.4.8. Schemat ustalania przepływów granicznych do charakterystyki hydraulicznej instalacji zasilanej od góry (opis w tekście)

trycznej wysokości h poprawioną wartość wypływów $q'_4$, która uwzględnia dławienie zaworu 4 odcinkiem 4-5 pionu. Analogicznie wyznacza się $q'_3$, $q'_2$ i $q'_1$. Odpowiednie wartości przepływów odcinkowych spełniają warunek:

$$q_{01} > q'_{01};\quad q_{02} > q'_{02};\quad q_{03} > q'_{03};\quad q_{04} > q'_{04}.$$

Oznaczałoby to, że dławienie jest mniejsze od wyznaczonego, a rzeczywiste przepływy większe od wyznaczonych. Wobec tego należy powtórzyć opisane postępowanie otrzymując w jego wyniku




Rys.4.9. Wyznaczenie dławienia i wypływu z zaworów czerpalnych (opis w tekście)

wartości $q''_1$; $q''_2$; $q''_3$; $q''_4$ i odpowiednio $q'''_{01}$; $q'''_{02}$; $q'''_{03}$; $q'''_{04}$, przy czym $q_{01} > q''_{01} > q'_{01}$ itd. Postępując w ten sposób doprowadza się do sytuacji, w której kolejne przybliżenie daje wynik różniący się od poprzedniego zadaną uprzednio dokładnością analizy. Wówczas suma wypływów z poszczególnych zaworów czerpalnych daje poszukiwane rozwiązanie zadania, tj. otrzymuje się pierwszy punkt charakterystyki hydraulicznej instalacji (rys.4.6b) o współrzędnych $H_{min}$, $Q_{min}$. Powtórzenie opisanego sposobu postępowania dla kolejnej wartości $H = H_1 \ldots H_{max}$ prowadzi do otrzymania kolejnych punktów charakterystyki.

Przeprowadzone próby wykazały, że przy rozwiązywaniu zadania trzecie przybliżenie daje poszukiwany rezultat.

Opisana graficzna metoda wyznaczania charakterystyki hydraulicznej instalacji dla zadanej kombinacji otwarć zaworów czerpalnych jest skuteczna lecz obarczona znaczną pracochłonnością, narastającą w miarę wzrostu liczby rozpatrywanych kombinacji otwarć zaworów czerpalnych.

Wykorzystując opracowaną i opisaną powyżej metodę graficznego konstruowania charakterystyki hydraulicznej instalacji dokonano weryfikacji programu CHARINST, otrzymując pozytywny wynik weryfikacji. Stwierdzono, że obydwoma sposobami otrzymuje się podobne wartości przepływów wody w punkcie zasilania instalacji.

## 4.6. PODSUMOWANIE

W niniejszym rozdziale przedstawiono opis realizacji modelu działania hydraulicznego instalacji wodociągowej w budynku mieszkalnym. Rozważania przeprowadzono rozpoczynając od analizy ogólnej koncepcji modelu i sformułowania zakresu modelowania. Na tym tle oceniono przydatność dotychczasowych osiągnięć w modelowaniu działania sieci wodociągowych, stwierdzając brak opracowań sformułowanego poprzednio problemu oraz przydatność niektórych dotychczasowych osiągnięć cząstkowych do rozwiązania postawionego problemu. Następnie sporządzono

opis funkcjonalny opracowywanego modelu w postaci równań ujmujących działanie instalacji. Liczba tych równań jest równa liczbie otwartych zaworów czerpalnych. Przyjęto, że ta liczba jest znana na skutek stosowania poprzednio opisanego modelu użytkowania instalacji wodociągowej. W nawiązaniu do opisu funkcjonalnego opracowano algorytm numerycznego sumowania charakterystyk hydraulicznych elementów tworzących instalację w sposób pozwalający uzyskać wartości współczynników charakterystyki hydraulicznej całej instalacji o znanym stanie otwarć zaworów czerpalnych.

Skorzystanie z takiej charakterystyki pozwala określić odpowiednio zapotrzebowanie na wodę (w formie chwilowego przepływu), przy zadanej wartości ciśnienia lub odwrotnie - określić wymagane ciśnienie dla osiągnięcia potrzebnego wydatku. Do weryfikacji algorytmu numerycznego opracowano sposób graficznego ustalania charakterystyki hydraulicznej instalacji i dokonano weryfikacji modelu.

# 5. KONCEPCJA I METODYKA MODELOWANIA STRAT WODY I STANU ŹRÓDŁA WODY

## 5.1. MODELOWANIE STRAT WODY

### 5.1.1. Przedmiot i cel modelowania

Zgodnie z przyjętymi w rozdziale 1 tej pracy określeniami - na całkowite zużycie wody w budynku mieszkalnym składa się zużycie racjonalne oraz straty wody. Dotychczas opracowane modele: użytkowania instalacji i jej hydraulicznego działania ujmowały racjonalne zużywanie wody. Chcąc zatem dysponować możliwością symulacyjnego badania całkowitego zużycia wody należy poprzednie modele uzupełnić modelem strat wody w instalacji wodociągowej.

Przedmiotem rozważań w tym rozdziale będzie koncepcja modelowania strat wody w instalacjach wodociągowych wielorodzinnych budynków mieszkalnych.

Celem rozważań będzie określenie przestrzeni zdarzeń jednostkowych strat wody, sformułowanie relacji między zdarzeniami w tej przestrzeni oraz podanie metodyki identyfikacji zmiennych stanowiących zdarzenia jednostkowe w sposób przydatny do modelowania zjawiska strat wody.

### 5.1.2. Pojęcie strat wody i mechanizm ich powstawania

Pod pojęciem strat wody rozumie się w wodociągach tę jej ilość, która jest tracona w wyniku niecelowego zużycia. Straty wody powstają w wyniku:

- wydatkowania przez niesprawną armaturę czerpalną (przecieki),
- wydatkowania przez niesprawne przewody,
- niepoprawnego rejestrowania zużycia wody,
- kradzieży wody,
- marnotrawstwa.

Przyjmuje się, że armatura czerpalna jest niesprawna w sposób powodujący powstawanie przecieków, jeżeli po jej poprawnym zamknięciu przez użytkownika obserwuje się wypływ wody. Ten typ niesprawności może być wynikiem naturalnego zużycia lub złej regulacji armatury. Obu powodom mogą sprzyjać niewłaściwe rozwiązania materiałowe lub konstrukcyjne (zła regulacyjność) armatury. Niesprawności przewodów polegają na przerwaniu ciągłości ścianek rur lub rozszczelnieniu połączeń. W domowych instalacjach wodociągowych takie niesprawności są likwidowane niezwłocznie po ich ujawnieniu się i dlatego straty wody z tego tytułu można pominąć. Straty w wyniku niepoprawnego pomiaru zużycia wody są wynikiem nieprawidłowego doboru wodomierza. W kraju to zagadnienie należy do mało zbadanych. Kradzież wody jest definiowana jako pobór wody bez rejestracji i zgody dostawcy wody lub pobór za jego zgodą ale z niezachowaniem określonych przez dostawcę warunków rejestracji zużycia. Marnotrawstwo jest najbardziej złożonym z dotychczas określonych składników strat wody. Składają się na nie czynniki obiektywne niezależne od użytkownika takie jak: źle

zorganizowany pobór wody, niesprawność cyrkulacji ciepłej wody, nieumiejętne korzystanie z zaworów czerpalnych, przypadkowe niedomknięcie zaworu itp., a także subiektywne, do których należy zaliczyć przede wszystkim różnorodne niewłaściwe (z punktu widzenia zużycia wody) nawyki użytkowników. Przykładowo za skutkujące marnotrawstwem można uznać systematyczne niedomykanie zaworów, golenie się mężczyzn przy otwartym zaworze, nawyki higieniczne wynikające z indywidualnych potrzeb psychicznych odmiennych od uzasadnionych warunkami pracy i życia itd.

Łatwo zauważyć, że całość strat wody można sprowadzić do sumy składników obiektywnie niezależnych od użytkownika oraz składników subiektywnych - zależnych od użytkownika. Spośród wymienionych na początku składników strat wody do niewątpliwie obiektywnych można zaliczyć trzy pierwsze oprócz wymienionych w ramach marnotrawstwa.

### 5.1.3. Możliwości i zakres modelowania

Oceniając możliwości modelowania strat wody można przyjąć, że ich ilościowa ocena wymaga uwzględnienia sumy dwóch składników:

$$Q_s = Q_d + Q_p, \tag{5.4}$$

gdzie:

$Q_s$ - straty wody w zadanym przedziale czasowym T; $L^3\ T^{-1}$,

$Q_d$ - deterministyczna część strat wody odpowiadająca składnikom nazwanym poprzednio umownie obiektywnymi; $L^3\ T^{-1}$,

$Q_p$ - przypadkowa część strat wody, odpowiadająca składnikom poprzednio określonym jako subiektywne; $L^3\ T^{-1}$.

Biorąc pod uwagę instalacje wodociągowe w budynkach mieszkalnych, można z rozważań wyeliminować całkowicie straty wody z niesprawnych przewodów, niepoprawnego doboru wodomierza oraz kradzieży wody. Wówczas jako składnik deterministyczny pozostają przecieki wody, zaś jako składnik przypadkowy - marnotrawstwo.

Identyfikację składników można przeprowadzić z przyjęciem poniżej podanego rozumowania.

Określenia przecieków wody dokonuje się zakładając, że liczba niesprawnych zaworów czerpalnych w analizowanej instalacji wynosi u. Na tę liczbę składa się i różnych typów zaworów, w których można wyróżnić j rodzajów uszkodzeń. Wówczas liczbę niesprawnych zaworów czerpalnych można określić jako zbiór:

$$u = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} u_{ij}, \tag{5.5}$$

w którym:

u - łączna liczba niesprawnych zaworów czerpalnych w analizowanej instalacji,

i - typ zaworu lub baterii czerpalnej; przykładowo: i = 1 dla baterii zlewozmywakowej, i = 2 dla baterii umywalkowej itd.,

j - rodzaj uszkodzenia; przykładowo: j = 1 dla uszkodzeń uszczelki, j = 2 dla uszkodzeń gniazda, j = 3 dla uszkodzeń mechanizmu docisku, j = 4 dla niesprawności zamknięcia zbiornika płuczącego, itd.

Straty wody z tytułu przecieków można zatem wyznaczyć dysponując zbiorem u, jako:

$$Q_d = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} u_{ij}\, q_{ij}, \tag{5.6}$$

w którym $q_{ij}$ - oznacza wydajność niesprawnego zaworu i-tego typu z j-tym rodzajem uszkodzenia.

Biorąc pod uwagę określoną w poprzednim rozdziale charakterystykę hydrauliczną zaworu czerpalnego można ostatnią zależność przedstawić w postaci:

$$Q_d = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} u_{ij}\, a_{ij} (h_{ij})^{0,5}, \tag{5.7}$$

gdzie:

$a_{ij}$ - współczynnik wydatku i-tego zaworu z j-tym rodzajem uszkodzenia,

$h_{ij}$ - wysokość ciśnienia dyspozycyjnego przed zaworem jak wyżej.

Określenie marnotrawstwa wody jako składnika przypadkowego wymaga analizowania wszystkich elementów składających się na zużycie wody. Całkowite zużycie wody można przedstawić jako sumę:

$$Q_c = Q_r + Q_s, \tag{5.8}$$

w której $Q_r$ oznacza racjonalne zużycie wody, natomiast $Q_s$ - straty wody w zadanym odcinku czasu. Biorąc pod uwagę dotychczasowe ustalenia dotyczące strat wody i wykorzystując wzór (5.4) można napisać:

$$Q_p = Q_c - (Q_r + Q_d). \tag{5.9}$$

Jak wynika z powyższego, ustalenie zmienności składnika przypadkowego, pod którym rozumie się marnotrawstwo wody, wymaga uprzedniego określenia wartości wszystkich składników zużycia wody. Możliwości dokonania tego zostaną oszacowane poniżej w dalszym toku pracy.

Z przeprowadzonych dotychczas rozważań wynika, że zakresem modelowania należy objąć dwa składniki strat wody odwzorowujące przecieki i marnotrawstwo wody.

### 5.1.4. Koncepcja i metodyka modelowania strat wody

Analizując możliwość modelowania przecieków wody należy zwrócić uwagę, że zależność (5.7) ujmuje szczegółowo związek między wartością strat wody a wysokością ciśnienia przed zaworem. To ostatnie może być określone w czasie sposobami podanymi w poprzednich rozdziałach. Oznacza to możliwość modelowania przecieków w zadanym odcinku czasu. Praktyczne skorzystanie z podanej zależności wymaga jednak podjęcia badań terenowych dla identyfikacji wartości funkcji rozkładu gęstości przeciekających zaworów czerpalnych:

$$G\left(\frac{u}{z}\right) = f(\Theta, e, j, z), \tag{5.10}$$

która określa zależność między liczbą zainstalowanych zaworów (z), a liczbą przeciekających (u) w zależności od wieku instalacji (θ), sposobu eksploatacji (e), charakteru uszkodzenia (j) i wielkości instalacji mierzonej liczbą zainstalowanych zaworów czerpalnych (z). Jednocześnie należy przeprowadzić badania stanowiskowe dla uzyskania charakterystyk hydraulicznych przeciekającej armatury. Wynikiem badań powinien być zbiór współczynników wydatku $a_j$ przeciekających zaworów dla poszczególnych typów uszkodzeń j. Dysponując podanymi wartościami można straty wody na skutek przecieków modelować z wykorzystaniem zależności:

$$Q_d = G\left(\frac{u}{z}\right) \operatorname{sign}\left(a_{ij}\, h_{ij}^{0,5}\right), \tag{5.11}$$

lub wykorzystując metodykę podaną w rozdziale 4:

$$Q_d(t_i) = G\left(\frac{u}{z}\right) A_s(t_i)^{0,5}. \tag{5.12}$$

Podana zależność stanowi ilościową charakterystykę przebiegu strat wody w zadanym przedziale czasu i można ją sporządzić w zadanych odcinkach czasu, tak jak dana jest charakterystyka stanu źródła wody.

Identyfikacja części strat wody odpowiadających marnotrawstwu, traktowana jako zużycie niecelowe wymaga skorzystania z zależności:

$$Q_p(t_i) = Q_c(t_i) - \left[Q_r(t_i) + Q_d(t_i)\right], \tag{5.13}$$

w której:

$Q_c(t_i)$ - całkowite zużycie wody w zadanym przedziale czasu; ustalane z jednoczesnych pomiarów zużycia i ciśnienia wody w połączeniu do budynku, $L^3\ T^{-1}$,

$Q_r(t_i)$ - racjonalne zużycie wody w analizowanym budynku w zadanym przedziale czasowym; ustalane przez wykorzystanie modelu opisanego w rozdz. 3; $L^3\ T^{-1}$,

$Q_d(t_i)$ - zużycie wody na skutek przecieków; ustalane wzorem (5.12); $L^3\ T^{-1}$.

Tak ustalona zależność pozwala uzyskać zbiór wartości zużyć wody na skutek marnotrawstwa. Zgodnie z założeniem ten zbiór jest traktowany jako zbiór wartości losowych, a zatem

może być opracowany statystycznie jako podstawa do zastosowania dowolnej klasycznej metody modelowania stochastycznego [11].

Omówiony dotychczas sposób modelowania strat wody można określić mianem koncepcji z pełną procedurą identyfikacyjną. Jej realizacja wymaga przeprowadzenia szczegółowych badań terenowych wnętrz budynków dla identyfikacji wartości funkcji gęstości przeciekających zaworów czerpalnych, a także badań stanowiskowych dla identyfikacji zbioru współczynników wydatku armatury przeciekających zaworów czerpalnych. Wyniki takich badań mogą następnie być wykorzystywane przez analogię dla innych budynków podobnej wielkości. Ten sposób podejścia, choć prawidłowy metodycznie, jest niezwykle kłopotliwy. Stąd można także zaproponować koncepcję modelowania z uproszczoną procedurą identyfikacyjną. Należy wykonać pomiary zużycia wody i ciśnienia zmienności w połączeniu budynku. Wówczas straty wody mogą być identyfikowane bez podziału na część deterministyczną i losową jako różnica:

$$Q_s(t_i) = Q_c(t_i) - Q_r(t_i), \tag{5.14}$$

w której:

$Q_s(t_i)$ - zużycie wody traktowane jako sumaryczne straty wody; $L^3 T^{-1}$,

$Q_c(t_i)$, $Q_r(t_i)$ - jak we wzorze (5.13).

Tak uzyskany zbiór wartości zużyć wody może być potraktowany jako zbiór wartości losowych i podobnie jak poprzednio opracowany statystycznie i modelowany stochastycznie.

## 5.2. MODELOWANIE STANU ŹRÓDŁA WODY DLA INSTALACJI

### 5.2.1. Przedmiot i cel modelowania

W dotychczasowych rozważaniach nad działaniem hydraulicznym instalacji i zjawiskiem strat wody zakładano, że ciśnienie wody w punkcie zasilania instalacji w wodę jest znane. Wartość tego ciśnienia ma wpływ na zużycie wody, a szczególnie - jak wykazano to w ramach tego rozdziału - na rozmiary

strat wody. Wartość ciśnienia wody w punkcie zasilania instalacji w wodę jest zmienna w czasie, a ta zmienność pozostaje w związku ze sposobem technicznego rozwiązania źródła wody dla instalacji. Logicznym następstwem dotychczas przeprowadzonych rozważań jest zatem konieczność ustosunkowania się do sposobu modelowania źródła wody dla instalacji. Ściślej - dla prowadzonych w tej pracy rozważań jest istotne określenie, jaką ilość wody może wydatkować źródło wody i pod jakim ciśnieniem. Dla łącznego potraktowania tych wielkości wprowadza się umowne pojęcie stanu źródła wody. Dalej zostanie ono zdefiniowane i ściślej omówione.

Przedmiotem rozważań w ramach tego rozdziału będzie koncepcja modelowania stanu źródła wody dla instalacji wodociągowej w wielorodzinnym budynku mieszkalnym.

Celem rozważań będzie opracowanie metodyki modelowania stanu źródła wody dla instalacji w sposób umożliwiający dynamiczną symulację tego stanu w zadanym przedziale czasowym.

### 5.2.2. Pojęcie stanu źródła wody

Pojęcie "stanu źródła" może być traktowane jako kategoria energetyczna odwzorowująca możliwości źródła w stosunku do potrzeb instalacji. Wartościowo stan źródła można określić w tym ujęciu jako ilość energii kinetycznej dostępnej w źródle wody. W chwili (t) można tę ilość energii określić jako iloczyn przepływu wody (q) i wysokości ciśnienia (h). Zatem w wybranym jako punkt zasilania w wodę instalacji wodociągowej punkcie sieci wodociągowej można określić stan źródła wody w trakcie dopływu do instalacji wody w ilości $q$ i pod ciśnieniem o wysokości $h$ jako:

$$E = q\,h. \tag{5.1}$$

Rozważania prowadzone w tej pracy dotyczą instalacji wodociągowych wielorodzinnych budynków mieszkalnych. Takie budynki są najczęściej ustawiane w zespołach urbanistycznych (osiedlach) w obrębie miast na terenach wyposażonych w uliczną sieć wodociągową, z której odbywa się zaopatrywanie instalacji do-

mowych w wodę. W dalszych rozważaniach ta właśnie sieć wodociągowa będzie traktowana jako źródło wody dla instalacji.

Ogólne właściwości źródła wody można wówczas określić biorąc pod uwagę ogólne wymagania, jakim powinna odpowiadać rozdzielcza sieć wodociągowa. Obowiązujące przepisy o przeciwpożarowym zaopatrzeniu wodnym [85] wymagają, aby sieć wodociągowa oprócz swojego normalnego przeznaczenia spełniała także rolę źródła wody do gaszenia pożaru. Najmniejsze średnice takiej sieci muszą wówczas wynosić 80 mm lub 100 mm, odpowiednio do średnic zamontowanych hydrantów zewnętrznych. Do bezpośredniego gaszenia pożaru wymaga się utrzymania w sieci ciśnienia 0,2 MPa, zaś przepustowość sieci musi wynosić co najmniej 20 $dm^3/s$ [86]. Porównując tę informację z najwyższymi wartościami chwilowych przepływów występujących w instalacjach wodociągowych bardzo dużych budynków ($q \ll 10$ $dm^3/s$), można uznać, w toku rozważania relacji instalacja wodociągowa pojedynczego budynku - sieć zewnętrzna, przepustowość sieci za zadowalającą w każdej sytuacji. Zakłada się zatem do dalszych rozważań, że o ile wodociąg zewnętrzny stanowiący źródło wody jest sprawny, to zawsze dostarczy do instalacji wymaganej ilości wody. Oczywistą konsekwencją powyższego założenia jest stwierdzenie, że o stanie źródła wody decyduje dyspozycyjna wysokość ciśnienia wody w źródle. Zatem przedmiotem dalszych rozważań musi być modelowanie ciśnienia wody w sieci wodociągowej w punkcie zasilenia instalacji w wodę.

Pojęcie stanu źródła wody będzie w nawiązaniu do tego używane z uproszczeniem polegającym na stosowaniu go jedynie do ciśnienia wody.

### 5.2.3. Obserwacje zmienności ciśnienia wody jako podstawa modelowania

W aktualnej praktyce projektowej wodociągów dokonuje się jedynie wyznaczenia skrajnych wartości ciśnienia w sieci wodociągowej. Minimalne ciśnienie jest wyznaczane z wymagania zapewnienia przeciwpożarowego zaopatrzenia wodnego, zaś maksymalne - z wymagań dopuszczalnego, ze względu na wytrzyma-

łość materiałów sieci i instalacji, roboczego ciśnienia wody. W rzeczywistości wartość ciśnienia wody w określonym punkcie sieci wodociągowej jest zmienna w czasie w pewnych granicach. Zależy ona od szeregu czynników takich jak: geometryczne położenie analizowanego punktu względem punktu (lub punktów) zasilania sieci, sposobu zasilania sieci, pory doby i wynikającego z niej rozkładu przepływów w sieci, czyli generalnie od schematu i sposobu pracy całości wodociągu. Bogactwo spotykanych w praktyce wariantów położenia budynków względem sieci wodociągowych i sposobów ich pracy uniemożliwia tutaj uogólnienia. W krajowej praktyce eksploatacyjnej wykonuje się na ogół wyrywkowe pomiary ciśnień w określonych punktach sieci ustawiając manometr z rejestracją na czas kilku godzin. Zadaniem tych pomiarów prowadzonych najczęściej na skutek skarg użytkowników na stały lub okresowy brak wody, jest uchwycenie granicznych wartości ciśnienia w analizowanym punkcie sieci. Są one podstawą do odpowiednich działań eksploatacyjnych lub inwestycyjnych zmierzających najczęściej do podniesienia ciśnienia wody. Nadmierna wartość ciśnienia, prowadząca przecież do marnotrawstwa energii, nie jest przy tym uznawana za niewłaściwą, o ile nie jest stałym źródłem niesprawności obsługiwanych urządzeń i armatury. Służby eksploatacyjne wodociągów miejskich w kraju potrafią jedynie w dużym przybliżeniu określić czasowy rozkład ciśnień w przestrzeni sieci którą eksploatują, a rzeczywiste dobowe rozkłady ciśnienia w sieciach nie są jeszcze ani rejestrowane, ani analizowane. Poszukiwania przeprowadzone przez autora wykazały, że świadome długotrwałe badania nad rozkładem ciśnień w sieciach krajowych wodociągów albo nie były prowadzone, albo ich wyniki nie zostały ujawnione w piśmiennictwie. Pod nadzorem autora pracy wykonano dłuższe obserwacje ciśnienia wody w połączeniach do budynków mieszkalnych w Warszawie [87]. Najdłuższy ciąg obserwacji wynosił 9 miesięcy (1.08.83 ÷ 23.3.84) i może on stanowić podstawę do wnioskowania o godzinowej zmienności ciśnienia w ciągu doby. Badania przeprowadzone w lutym, marcu i czerwcu 1985 roku są znacznie dokładniejsze, gdyż rejestracja ciśnienia była prowadzona w ciągach kilkudobowych z rejestracją wartości ciśnienia w odstępach ok. 35 sekundowych. Dały

one podstawę przede wszystkim do wniosków metodycznych dotyczących sposobu pomiaru i techniki interpretacji, ale mogą także służyć do uzyskania poglądu o zmienności ciśnienia w krótkich odcinkach czasu. Względną wadą tych pomiarów jest niewielka liczba miejsc, w których je prowadzono - 2 budynki oraz fakt, że oba obiekty leżały w tej samej części obszaru zasilania miasta Warszawy. Stąd prowadzone na ich podstawie dalsze rozważania trzeba potraktować jako przykładowe. Stwierdzono, że zmienność ciśnienia w kolejnych dobach jest powtarzalna. W przebiegu doby obserwuje się obniżenie ciśnienia w godzinach nocnych występujące na skutek wyłączania niektórych pomp w pompowni $II^{o}$, które to działanie jest wynikiem konieczności przestrzegania narzuconych limitów zużycia energii. Po porannym podwyższeniu ciśnienia jest ono stabilne do godzin wieczornych. Większa zmienność ciśnienia występowała w godzinach 21 ÷ 24, co w badanym obszarze zasilania najbliższych budynków można kojarzyć ze składem demograficznym mieszkańców (tzw. "stare" osiedle).

Godzinową zmienność ciśnienia można na podstawie opisanych badań uznać za spełniającą prostą zależność:

$$H(t) = h(t) \pm S(h), \qquad (5.2)$$

w której:

H(t) - wartość wysokości ciśnienia w połączeniu instalacji badanego budynku w godzinie t,

h(t) - średnia wartość wysokości ciśnienia w godzinie t,

S(h) - odchylenie standardowe od wartości średniej w godzinie t.

Interpretowanie zmienności ciśnienia w krótszych przedziałach czasu prowadzi do analogicznych do opisanych rezultatów.

### 5.2.4. Koncepcja i metodyka modelowania ciśnienia wody w punkcie zasilania instalacji

Istotą modelowania stanu źródła wody jest, jak wynika z dotychczasowych rozważań, konieczność odtwarzania chwilowego przebiegu zmian ciśnienia wody w punkcie zasilania instalacji w wodę w zadanym odcinku czasu.

Do modelowania chwilowych zmian ciśnienia można skorzystać z zależności:

$$H(dt_i) = h(dt_i) + RND\ \Delta h(dt_i), \qquad (5.3)$$

w której:

$H(dt_i)$ - wartość wysokości ciśnienia w punkcie zasilania instalacji w wodę w chwili i zadanego przedziału czasowego dt,

$h(dt_i)$ - średnia wartość wysokości ciśnienia jak wyżej,

$\Delta h(dt_i)$ - rozstęp wartości wysokości ciśnienia,

RND - funkcja losowa o zadanym rozkładzie.

Podana zależność ma charakter ogólny i jak łatwo porównać, prowadzi do bezpośredniego modelowania poprzedniej zależności (5.2) dla dowolnych przedziałów czasowych dt.

Metodycznie pierwszy etap modelowania powinien polegać na identyfikacji wielkości traktowanych jako stałe modelu, to jest h oraz Δh. Wymaga to znajomości (chociażby przybliżonej) zmienności ciśnienia w obszarze zasilania budynku, którego instalacja będzie poddawana modelowaniu. Zbiór pomiarów należy zinterpretować stosując do tego powszechnie znane metody statystyczne [11], ustalając w poszczególnych przedziałach czasowych wartość średniej wysokości ciśnienia $h_{śr}$ oraz odchylenia standardowego S(h). Należy także oszacować w zadanym przedziale czasu charakter rozkładu odchyleń od średniej. Taki zestaw wartości identyfikuje:

- wartość średniej wysokości ciśnienia w zadanym przedziale czasowym $h_{śr}$ - odtwarza $h(dt_i)$,
- odchylenie standardowe S(h) - odtwarza $\Delta h(dt_i)$,
- charakter rozkładu odchyleń od średniej pozwala ustalić wymagany rozkład funkcji RND.

W najbardziej uproszczonym sposobie modelowania do zastosowania wzoru (5.3) wystarcza informacja służb eksploatujących wodociąg w obszarze zasilania modelowanej instalacji wodociągowej o wartości średniej wysokości ciśnienia w odtwarzanym przedziale czasowym oraz jej zmienności (wartości graniczne) oraz przyjęcie założenia, że funkcja RND może zostać wzięta z tablicy wartości losowych.

### 5.3. PODSUMOWANIE

Niniejszy rozdział pracy zawiera koncepcję dwóch modeli dopełniających całości modelowania użytkowania instalacji wodociągowych w budynkach mieszkalnych.

Pierwszy z nich dotyczy strat wody. Stwierdzono, że istotne w instalacjach wodociągowych wielorodzinnych budynków mieszkalnych składniki strat wody to: przecieki wody i jej marnotrawstwo. Opracowano koncepcję dynamicznego symulowania przecieków i marnotrawstwa wody. Identyfikacja stałych opracowanego modelu wymaga badań terenowych i stanowiskowych. Podano metodykę takich badań.

Drugi z modeli, którego koncepcję podano w tym rozdziale, dotyczy symulowania stanu źródła wody dla instalacji. Umowne pojęcie stanu źródła wody zdefiniowano jako chwilowy stan energetyczny istniejący w sieci wodociągowej w punkcie połączenia z nią instalacji wodociągowej. Wyraża on możliwość zaspokojenia zapotrzebowania na wodę i energię do wywołania jej przepływu. Miernikiem stanu źródła jest ciśnienie wody. Stąd istotą koncepcji modelowania stanu źródła jest koncepcja modelowania zmienności ciśnienia wody w czasie. Sformułowano ją na podstawie obserwacji ciśnienia wody w warszawskiej sieci wodociągowej. Jest to powodem uznania modelu za koncepcję, której uogólnienie wymaga dalszych badań. Ocena proponowanej metodyki prowadzi do wniosku, że skuteczność modelowania jest zadowalająca z punktu widzenia potrzeb niniejszej pracy.

## 6. OCENA PRZYDATNOŚCI OPRACOWYWANYCH MODELI DO ANALIZY PROBLEMÓW WYSTĘPUJĄCYCH W INSTALACJACH WODOCIĄGOWYCH

### 6.1. WYODRĘBNIENIE PROBLEMÓW BADAWCZYCH

W toku wyodrębniania instalacji wodociągowej jako systemu, przeprowadzonego w 2 rozdziale stwierdzono, że instalacje,

stanowiąc systemy autarkiczne, są zarazem na terenach zurbanizowanych, fragmentami (podsystemami) centralnych systemów wodociągowych. Ten dualny charakter instalacji wodociągowych ujawnia się także w ich traktowaniu jako obiektu badań.

Celem badań instalacji - jako podsystemu centralnego systemu wodociągowego, jest określenie granicznych warunków pracy różnych elementów systemu wodociągowego takich jak przykładowo: sieć, pompownie, itp. Spełnienie tego celu osiąga się badaniem zjawiska zużywania wody. Prowadzi się je w instalacjach budynków mieszkalnych, w wielodniowych ciągach pomiarowych, w różnych przedziałach czasowych - najczęściej godzinowych lub dobowych. Poszukuje się wpływu różnych czynników na wielkość i zmienność zużycia wody. Wyniki są uogólniane w sposób pozwalający na prognozowanie wielkości i zmienności zapotrzebowania na wodę dla potrzeb systemów wodociągowych.

Celem badań instalacji traktowanej jako system autarkiczny jest szeroko rozumiane jej doskonalenie. Wyraża się ono w racjonalizacji projektowania, budowy i eksploatacji. Spośród licznych tak rozumianych możliwości badawczych, w ramach tej pracy, wzięto pod uwagę jedynie problemy określane w praktyce jako technologię działania instalacji. Ich badanie polega przede wszystkim na obserwowaniu skutków użytkowania instalacji. Jak stwierdził autor niniejszej pracy w toku opracowywania monografii poświęconej projektowaniu instalacji [63], występującym w instalacjach problemom badawczym można nadać umownie następującą hierarchię:

a) pierwotne badania fenomenologiczne powstawania zjawisk przepływu w przewodach instalacji, jego wielkości, zmienności rozkładu w czasie i przestrzeni instalacji,
b) wtórne badania polegające na analizowaniu sposobów pokonywania skutków nierównomierności rozkładu czasowego i zmienności zużycia wody i odpowiadającego mu zapotrzebowania na energię kinetyczną i cieplną.

W rozdziale 3 tej pracy, w toku identyfikacji zbiorów zmiennych endogenicznych, te grupy problemów nazwano zadaniami, wyróżniając zadania typu przepływowego i zadania typu zbiornikowego. Jak wynika z powyższych rozważań, ocena merytorycznych możliwości prowadzenia badań z wykorzystaniem opracowanych modeli wymaga dokonania:

- analizy możliwości przeprowadzenia z zastosowaniem modeli badań nad zużyciem wody na cele bytowo-gospodarcze w budynkach mieszkalnych,
- analizy możliwości prowadzenia z zastosowaniem opracowanych modeli badań nad działaniem instalacji wodociągowych dla określenia granicznych warunków występowania przepływów oraz możliwości uzyskania danych niezbędnych do rozwiązywania problemów retencyjnych.

W toku powyższego należy uwzględnić kryteria formalne takie jak: zakres wielkości modelowanych instalacji, możliwości opracowywania uzyskanych wyników, stopień trudności formułowania danych wyjściowych itp.

## 6.2. ANALIZA MOŻLIWOŚCI BADANIA ZJAWISKA ZUŻYCIA WODY

Jak można zauważyć analizując treść rozdziału 3.6, dotychczas ujawniono przydatność opracowanych modeli do badania następujących zagadnień w obrębie zjawiska zużycia wody:

- ustalenia wielkości zużycia wody w modelowanym budynku (na przykładzie dobowego racjonalnego zużycia wody),
- oceny wielkości wskaźnika jednostkowego dobowego zużycia wody na mieszkańca,
- rozkład czasowego zużycia wody w zadanym przedziale czasowym (na przykładzie rozkładu godzinowego),
- oceny struktury zużycia wody w gospodarstwie domowym (na przykładzie podziału na cele zużycia),
- możliwości interpretacji statystycznej wyników badań w dowolnych przedziałach czasowych w sposób przydatny do późniejszego stosowania klasycznego modelowania stochastycznego.

W wyniku opracowania określonego w zadanym przedziale czasowym rozkładu zużycia wody występuje wtórna możliwość określenia współczynników nierównomierności zużycia wody.

Jako oczywiste, ze względu na konieczność określenia danych wyjściowych do modelowania, traktuje się możliwości dokonania analiz:

- zależności zużycia wody od wyposażenia sanitarnego mieszkań,
- zależności zużycia wody od charakterystyki hydraulicznej i użytkowej armatury czerpalnej.

Podany dotychczas wykaz możliwości dowodzi, że opracowane modele pozwalają z pełnym powodzeniem realizować badania zużycia wody wykonywane dotychczas jedynie drogą pomiarów terenowych w pracujących instalacjach wodociągowych budynków mieszkalnych. Dalsza analiza zastosowań opracowanych modeli do badania zjawiska zużywania wody będzie prowadzona pod kątem oceny możliwości realizacji badań typu fenomenologicznego o zakresie wykraczającym poza możliwości badań terenowych. Przykładami takich możliwości są badania: wpływu nawyków higienicznych mieszkańców na zużycie wody oraz wpływu stosowania różnego typu armatury czerpalnej na zużycie wody.

Nawyki higieniczne można ująć w toku modelowania w postaci określenia struktury zużycia wody na cele higieniczne mieszkańców modelowanego budynku. Dla realizacji badania autor założył, że umownym miernikiem poziomu higieny czystości jest mycie ciała. Może to być kąpiel całego ciała w wannie, pod prysznicem lub tylko częściowe mycie w umywalce. Przykładowo zaproponowano trzy poziomy higieny: niski, średni i wysoki, różniące się strukturą sposobów mycia ciała w populacji mieszkańców budynku, dla którego modelowano zużycie wody. Dane do eksperymentu na modelu, dotyczące struktury sposobów mycia ciała w zależności od poziomu higieny, zestawiono w tablicy 6.1. Wyniki modelowania zużycia wody, opracowane w postaci jednostkowego zużycia wody na mieszkańca, zawiera tablica 6.2. Dla ułatwienia analizy wpływu poziomu higieny na wielkość wskaźnika jednostkowego zużycia wody na mieszkańca w ciągu doby - wyniki zestawiono dalej w tablicy 6.3. Jak można wywnioskować z wartości umieszczonych w tej tablicy - zasadnicza poprawa higieny osobistej to jest przejście od niskiego poziomu higieny (codzienne mycie całego ciała przez 65% populacji) do uznanego za przeciętny poziom higieny (85% populacji myje codziennie całe ciało) - powoduje wzrost jednostkowego zużycia wody o zaledwie 13÷15%. Przejście od niskiego do wysokiego poziomu higieny oznacza przyrost zużycia wody o ok. 25÷30%. Z po-

Tablica 6.1

Dane wejściowe do analizy wpływu nawyków higienicznych na wartość wskaźnika zużycia wody

| Przejaw nawyku higienicznego | Granice występowania w populacji | Poziom higieny czystości ciała | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | niski | | przeciętny | | wysoki | |
| | | % | osób | % | osób | % | osób |
| Ogółem myjących ciało | - | 65 | $\frac{65}{100}$ | 85 | $\frac{85}{100}$ | 97 | $\frac{97}{100}$ |
| Kąpiel całego ciała, w tym: | 30÷70 | 30 | $\frac{30}{100}$ | 50 | $\frac{50}{100}$ | 70 | $\frac{70}{100}$ |
| - w wannie | 40÷65 | 40 | $\frac{12}{100}$ | 50 | $\frac{25}{100}$ | 65 | $\frac{46}{100}$ |
| - pod pryszn. | pozostali | 60 | $\frac{18}{100}$ | 50 | $\frac{25}{100}$ | 35 | $\frac{24}{100}$ |
| Mycie części ciała w umywalce*) | 50÷90 | 50 | $\frac{35}{100}$ | 70 | $\frac{35}{100}$ | 90 | $\frac{27}{100}$ |
| Mycie rąk po korzystaniu z ustępu**) | 20÷30 | 20 | $\frac{20}{100}$ | 25 | $\frac{25}{100}$ | 30 | $\frac{30}{100}$ |

Uwagi:

*) Dotyczy nie kąpiących się.

**) Dotyczy jedynie umywalki zainstalowanej w pomieszczeniu wydzielonego ustępu.

Tablica 6.2

Wynik modelowania wpływu poziomu higieny czystości ciała i rodzaju armatury czerpalnej na wielkość jednostkowego zużycia wody

| Rodzaj armatury czerpalnej | Zużycie wody $[dm^3/(M \cdot d)]$ przy poziomie higieny czystości ciała | | |
|---|---|---|---|
| | niskim | przeciętnym | wysokim |
| marnotrawna | 153 | 181 | 205 |
| przeciętna | 103 | 120 | 134 |
| oszczędna | 83 | 95 | 105 |

Tablica 6.3

Analiza wpływu poziomu higieny czystości ciała na jednostkowe zużycie wody (dane z tabl.6.1)

| Rodzaj armatury czerpalnej | Względne zużycie wody przy poziomie higieny czystości ciała | | |
|---|---|---|---|
| | niskim | przeciętnym | wysokim |
| marnotrawna | 0,85 | 1 | 1,13 |
| przeciętna | 0,86 | 1 | 1,11 |
| oszczędna | 0,87 | 1 | 1,1 |

danych przykładowo wartości wynika wniosek, że zasadniczy wzrost poziomu higieny czystości osobistej wcale nie wymaga znaczącego zwiększenia dostawy wody na cele bytowo-gospodarcze w mieszkalnictwie. Na tym tle nasuwa się także refleksja o konieczności ponownego przeanalizowania poglądu o korzystnym i właściwym trendzie szybkiego przyrostu jednostkowego wskaźnika zużycia wody, gdyż ten przyrost wcale nie musi wynikać ze wzrostu higieny użytkowników.

Równolegle z modelowaniem wpływu nawyków higienicznych na zużycie wody uzyskano także wyniki pozwalające na dokonanie oceny skutków korzystania z różnego typu armatury na wielkość zużycia wody.

Wyniki zestawiono w tablicy 6.4. Armatura określona w tej i poprzednich tablicach jako "marnotrawna" - to zawory czerpalne bez perlatorów o dużym wydatku jednostkowym. Pod poję-

Tablica 6.4

Analiza wpływu rodzaju armatury na jednostkowe zużycie wody (dane z tabl.6.2)

| Rodzaj aparatury czerpalnej | Względne zużycie wody przy poziomie higieny czystości ciała | | |
|---|---|---|---|
| | niskim | przeciętnym | wysokim |
| marnotrawna | 1,49 | 1,51 | 1,53 |
| przeciętna | 1 | 1 | 1 |
| oszczędna | 0,81 | 0,79 | 0,78 |

ciem "przeciętna" występuje obecnie powszechnie używana armatura. Założono, że pracuje ona przy ciśnieniach powodujących wydatkowanie racjonalnej ilości wody ( S o s n o w s k i [66]).

Armatura "oszczędna" - to zawory czerpalne pracujące z ograniczonym ciśnieniem przed zaworem zalecanym jako użytkowe przez H a ł u p k ę i G o ł ę b i o w s k i e g o [65]. Jak można wywnioskować z powyższych wartości wykręcenie perlatorów z armatury czerpalnej, tak często spotykane w praktyce, powoduje przyrost zużycia wody o prawie 50%, podczas gdy w wyniku ograniczania ciśnienia przed zaworem oszczędza się zaledwie ok. 20% wody. Wynika z tego, że niezależnie od nawyków higienicznych, większe oszczędności wody można uzyskać przez dbanie o stan techniczny baterii i zaworów czerpalnych, niż przez ograniczenie użytkownikowi możliwości czerpania wody.

Podane przykłady ilustrują możliwości wykorzystania opracowanych modeli do badań, których realizacja byłaby w warunkach terenowych niezwykle trudna. Istotą trudności byłaby w tym przypadku konieczność wniknięcia w bardzo intymne dla użytkowników instalacji zagadnienia higieny osobistej. Badania tego typu wymagałyby szerokiej ankietyzacji. Socjologowie (np. D o m i n o w s k i [67]) zwracają uwagę, że nieumiejętne przekroczenie bariery intymności powoduje znaczące wypaczenie otrzymywanych wyników badań.

Pokazane dotychczas możliwości obejmowały występowanie opracowanych modeli jako samodzielnych narzędzi badawczych. Analizując stosowanie modeli, występujących łącznie lub rozdzielnie, należy również wziąć pod uwagę ich użycie w powiązaniu z wynikami badań terenowych. Możliwości takiego użycia do określania strat wody na skutek przecieków i marnotrawstwa wody zostały już zaprezentowane w rozdziale 5.

Dalsze możliwości widzi się w wykorzystaniu wyników badań terenowych do teoretycznej analizy układu hydraulicznego instalacji z wykorzystaniem modelu działania instalacji opisanego w rozdziale 4. Daje on możliwość zbadania szeregu problemów jak chociażby ocena skutków zmniejszenia się średnic przewodów, zmiany chropowatości ścianek przewodów, ocena skutków przeróbek instalacji przez użytkowników, zmian armatury czer-

palnej itp. Przeprowadzoną analizę można podsumować następującymi stwierdzeniami:

a) wykazano możliwość zrealizowania z wykorzystaniem opracowanych modeli wszystkich dotychczas znanych problemów badawczych zjawiska powstawania zużycia wody spotykanych w istniejących instalacjach,
b) wykazano na przykładach badania na opracowanych modelach wpływu nawyków higienicznych na zużycie wody i badanie wpływu armatury na zużycie wody, nowe możliwości realizacji badań o charakterze fenomenologicznym w sposób znacznie prostszy od realizacji takich badań w istniejących instalacjach.

## 6.3. ANALIZA MOŻLIWOŚCI BADAŃ NAD DZIAŁANIEM INSTALACJI WODOCIĄGOWYCH

Poprzednio stwierdzono, że istota badań nad działaniem instalacji wodociągowych traktowanych autarkicznie polega na obserwacji powstawania zjawiska przepływu wody w instalacji. Interesujące są w tym związki przyczynowo-skutkowe prowadzące do powstawania stanów granicznych maksymalnych. Ich badanie można prowadzić poszukując:

a) zależności liczby jednocześnie czynnych zaworów czerpalnych od liczby zainstalowanych,
b) zależności chwili występowania i wartości przepływu maksymalnego od:
   - rodzaju dnia (zwykły, wolny od pracy),
   - sytuacji użytkowania instalacji powodującej powstawanie przepływu maksymalnego (jest on określony w praktyce projektowania przepływem obliczeniowym) i odpowiadającego tej sytuacji czasowego odcinka doby,
   - miarodajnego przedziału czasowego (1 s?, 15 min?) dla ustalania przepływu uznanego za maksymalny obliczeniowy,
   - częstości użytkowania poszczególnych zaworów czerpalnych w wybranych przedziałach czasowych.

Poszukiwanie takich zależności wymaga dysponowania histogramami czasu pracy zaworów czerpalnych i zużycia wody w badanej

instalacji. Dysponując takimi histogramami można wykonać dalsze badania nad:

c) potrzebą zainstalowania urządzeń do miejscowego podnoszenia ciśnienia wody w analizowanej instalacji, wielkością tych urządzeń i ich wyposażenia,

d) wielkością urządzeń do retencjonowania wody i energii w analizowanej instalacji.

Dalszą możliwością jest poprowadzenie badań optymalizacyjnych nad urządzeniami, których potrzeba istnienia zostałaby określona w wyniku wymienionych badań. Możliwości opracowania dowolnego histogramu zużycia wody przedstawiono już w rozdziale 3.

Opracowane modele dają jeszcze innego typu możliwości prowadzenia badań, do których wykonanie pomiarów w pracującej instalacji wodociągowej jest bardzo trudne. Jest to mianowicie możliwość tworzenia i interpretowania histogramów czasu pracy zaworów czerpalnych. Dalej zostaną pokazane i omówione na przykładach możliwości ich wykorzystania.

Pierwszym przykładem wykorzystania histogramu pracy zaworów czerpalnych jest możliwość rozwiązywania problemu przepływu obliczeniowego do wymiarowania przewodów instalacji. Analiza metod projektowania instalacji wodociągowych, przeprowadzona przez autora w monografii [63] oraz w nowszym opracowaniu [88] wykazała, że w każdej bez wyjątku metodzie ustalania przepływu obliczeniowego wyjściowy jest związek między liczbą istniejących w instalacji zaworów czerpalnych a liczbą jednocześnie czynnych zaworów. Wychodzi się tu od rozumowania, zgodnie z którym, instalacja wyposażona w punkty czerpalne o jednostkowym wydatku $q_a$, może po otwarciu pewnej ich liczby z, spośród n zainstalowanych wydatkować ilość wody określoną iloczynem:

$$Q_c = z\, q_i. \tag{6.1}$$

Pojawiają się w tym dwa problemy: wiadomo, że stosowane w praktyce zawory czerpalne mają różne, a nie jednakowe jednostkowe wydatki oraz - jak ustalić liczbę jednocześnie czynnych zaworów czerpalnych m spośród n zamontowanych w in-

stalacji. Dla pokonania tych problemów formułuje się zależność (6.1) w postaci:

$$Q_c = \varphi \sum_{i=1}^{n} J_o, \qquad (6.2)$$

gdzie:

$J_o$ - umowna jednostka obciążenia charakteryzująca zawór uznany za wzorcowy (wówczas wszystkie inne zawory charakteryzują się krotnością liczby jednostek obciążenia), lub jednostkowy wydatek zaworu wzorcowego,

$\varphi$ - funkcja jednoczesności działania zaworów czerpalnych, lub jednoczesności wystąpienia sumy (z $J_o$) jednostek obciążenia spośród (n $J_o$) zainstalowanych.

Posługując się opracowanym modelem użytkowania instalacji dokonano wielokrotnej symulacji działania instalacji w budynkach złożonych z mieszkań różnych kategorii. Wyniki pozwalające na określenie największej liczby jednocześnie pracujących zaworów czerpalnych w zależności od liczby punktów czerpalnych zestawiono w tablicy 6.5. Wartości funkcji jednoczesności

Tablica 6.5

Zależność największej liczby jednocześnie pracujących zaworów czerpalnych od całkowitej liczby zainstalowanych punktów czerpalnych otrzymana w wyniku modelowania użytkowania instalacji w mieszkaniach różnej kategorii (wartości maksymalne z 30 symulacji)

| Liczba mieszkań | Liczba punktów czerpalnych m | Największa liczba jednocześnie pracujących zaworów czerpalnych w mieszkaniu kategorii | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | MR*) |
| 10 | 60 | 8 | 7 | 8 | 10 | 13 | 10 |
| 20 | 120 | 10 | 13 | 15 | 17 | 20 | 16 |
| 40 | 240 | 14 | 20 | 23 | 28 | 34 | 24 |
| 80 | 480 | 25 | 32 | 38 | 51 | 62 | 39 |
| 120 | 720 | 35 | 41 | 53 | 75 | 83 | 62 |
| 160 | 960 | 38 | 52 | 63 | 91 | 106 | 79 |
| 200 | 1200 | 42 | 64 | 75 | 113 | 123 | 92 |

*) Model mieszany zawiera sumę mieszkań każdej kategorii, MR = M2 + M3 + M4 + M5 + M6.

działania zaworów czerpalnych można określić z zależności:

$$z = \gamma n^{\delta}, \qquad (6.3)$$

w której:

n - liczba punktów czerpalnych zamontowanych w instalacji,

z - największa liczba jednocześnie pracujących zaworów czerpalnych,

$\gamma, \delta$ - współczynniki równania regresji; wartości a i b zestawiono w tabl.6.6.

T a b l i c a 6.6

Wartości współczynników do równań (6.3) i (6.4)

| Kategoria mieszkania | Wartości współczynników równań regresji do wzorów | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | do wzoru (6.3) | | | do wzoru (6.4) | | |
| | $\gamma$ | $\delta$ | $r_{xy}$ | $\gamma_1$ | $\delta_1$ | $r_{xy}$ |
| M-2 | 0,612 | 0,599 | 0,990 | 0,0442 | 0,675 | 0,997 |
| M-3 | 0,404 | 0,709 | 0,998 | 0,0473 | 0,702 | 0,999 |
| M-4 | 0,418 | 0,733 | 0,999 | 0,0513 | 0,720 | 0,999 |
| M-5 | 0,348 | 0,812 | 0,999 | 0,0408 | 0,807 | 0,999 |
| M-6 | 0,529 | 0,769 | 0,999 | 0,0434 | 0,818 | 0,999 |
| MR | 0,438 | 0,748 | 0,996 | 0,0496 | 0,729 | 0,997 |

Uwaga: $r_{xy}$ - współczynnik korekcji.

Posługując się tymi samymi histogramami, które wykorzystano powyżej, można bezpośrednio określić największe przepływy dla budynków złożonych z mieszkań określonej kategorii wyposażonych w 6 punktów czerpalnych każde. Odpowiednie wartości przepływów otrzymanych z modelowania zawiera tabl.6.7. Wartości największych przepływów w instalacji dla modelowania budynków można określać z zależności:

$$q_{max} = \gamma_1 n^{\delta_1}, \qquad (6.4)$$

w której:

$q_{max}$ - największy przepływ w instalacji w zadanym przedziale czasu (w prezentowanym przykładzie jest to przedział kąpieli głównej, tj. 19÷22); w $dm^3/s$,

n - liczba punktów czerpalnych zamontowanych w instalacji,

$\gamma_1$, $\delta_1$ - współczynniki równania regresji; (tablica 6.6).

Pokazane dotychczas na przykładach zależności mogłyby stanowić podstawę do opracowania sposobu ustalania przepływów obliczeniowych dla instalacji.

Tablica 6.7

Zależność największego racjonalnego przepływu od całkowitej liczby zainstalowanych punktów czerpalnych otrzymana w wyniku modelowania użytkowania instalacji w mieszkaniach różnej kategorii (wartości średnie z 30 symulacji)

| Liczba mieszkań | Liczba punktów czerpalnych m | Największy racjonalny przepływ $q_r$ [dm$^3$/s] w mieszkaniu kategorii | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | MR*) |
| 10 | 60 | 0,72 | 0,89 | 0,98 | 1,17 | 1,27 | 1,07 |
| 20 | 120 | 1,16 | 1,3 | 1,66 | 1,81 | 2,17 | 1,57 |
| 40 | 240 | 1,67 | 2,15 | 2,59 | 3,37 | 3,70 | 2,44 |
| 80 | 480 | 2,6 | 3,55 | 4,27 | 5,94 | 6,68 | 4,34 |
| 120 | 720 | 3,86 | 4,88 | 5,78 | 8,45 | 9,44 | 6,13 |
| 160 | 960 | 4,58 | 5,93 | 7,17 | 10,29 | 12,11 | 7,53 |
| 200 | 1200 | 5,56 | 7,02 | 8,79 | 12,5 | 14,56 | 9,13 |

*) Model mieszany zawiera równą liczbę mieszkań wszystkich kategorii MR = M2 + M3 + M4 + M5 + M6.

Drugim przykładem stosowania opracowanych modeli do analizy działania instalacji wodociągowych może być ich wykorzystanie do interpretacji wyników badań wykonanych w istniejącej instalacji, lub do planowania pomiarów. Zadaniem wyjściowym może być odnalezienie w zadanym przedziale czasu (np. w ciągu doby) przepływu maksymalnego.

Najpierw należy zauważyć, że wartość tego przepływu jest względna o tyle, że jak każdy przepływ jest on ilorazem zużycia wody i długości odcinka czasu, w którym je ustalono. Ma

zatem tę właściwość, że przepływ będzie tym większy, im krótsze będą przyjmowane odcinki czasu. Ze względów praktycznych, przyjmuje się, że najkrótszym odcinkiem czasu jest 1 sekunda. Chcąc zatem ustalić wartość przepływu maksymalnego w dobie drogą pomiarów wprost - należałoby dokonać 86400 pomiarów zużycia wody i wybrać największą jego wartość. Można natomiast spróbować zmniejszyć liczbę pomiarów, analizując skutki tego na modelach. Analizę rozpoczyna się od sformułowania pytania: jak mają się do siebie wartości przepływów powstałych z pomiarów zużycia wody we wzrastających odcinkach czasu? Dla uzyskania odpowiedzi na to pytanie poddano przykładowo modelowaniu już poprzednio wykorzystywane budynki. Wyniki zestawiono w tablicy 6.8 oraz rys.6.1. Następnie traktując jako podstawę

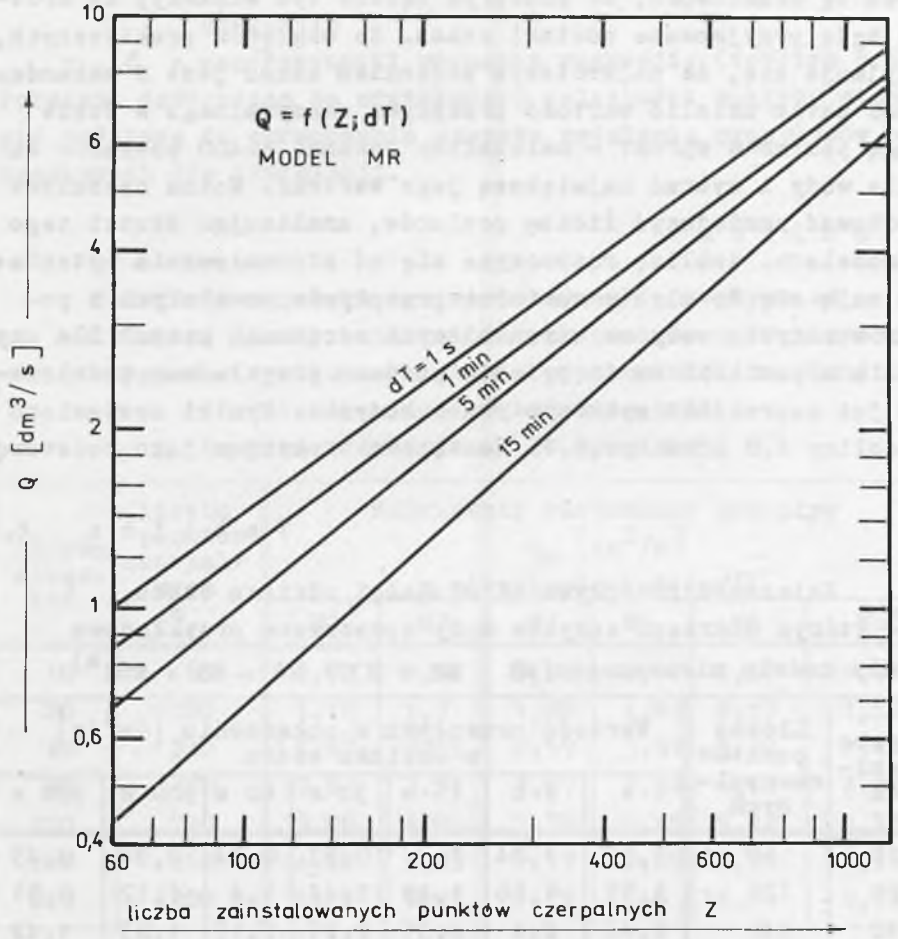
T a b l i c a 6.8

Zależność przepływu od długości odcinka czasu, w którym mierzono zużycie wody opracowana przykładowo dla modelu mieszanego (MR = M2 + M3 + M4 + M5 + M6)*)

| Liczba mieszkań | Liczba punktów czerpalnych | Wartość przepływu w połączeniu $[dm^3/s]$ w odcinku czasu | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 s | 5 s | 15 s | 30 s | 60 s | 300 s | 900 s |
| 10 | 60 | 1,07 | 1,04 | 1 | 0,97 | 0,94 | 0,74 | 0,49 |
| 20 | 120 | 1,57 | 1,56 | 1,49 | 1,44 | 1,4 | 1,12 | 0,81 |
| 40 | 240 | 2,44 | 2,4 | 2,35 | 2,27 | 2,15 | 1,83 | 1,42 |
| 80 | 480 | 4,34 | 4,3 | 4,19 | 4,08 | 3,97 | 3,37 | 2,8 |
| 120 | 720 | 6,13 | 6,1 | 5,98 | 5,87 | 5,71 | 5,21 | 4,43 |
| 160 | 960 | 7,53 | 7,46 | 7,33 | 7,2 | 7,05 | 6,49 | 5,62 |
| 200 | 1200 | 9,13 | 9,06 | 8,88 | 8,73 | 8,54 | 7,83 | 6,82 |

*) Zawiera równą liczbę mieszkań wszystkich kategorii.

przepływ 1-sekundowy - obliczono względne wartości przepływów we wzrastających odcinkach czasu (tablica 6.9). Jeżeli teraz założyć, że wymaga się przykładowo 5% dokładności, to łatwo zauważyć, że dla odcinków czasu od 1 s do 1 min można w tablicy przeprowadzić przekątną dzielącą wartości na dwie grupy, z których grupa położona pod przekątną spełnia warunek, aby




Rys.6.1. Zależność przepływu w połączeniu instalacji od liczby punktów czerpalnych dla różnych odcinków czasu dT (przykład dla modelu mieszanego)

wartości przepływów pomierzone w większych odstępach czasu nie różniły się od 1-sekundowych więcej niż o 5%.

Zatem w prezentowanym przykładzie, przystępując do pomiarów przepływu maksymalnego w budynku o 120 mieszkaniach, wystarczy zmierzyć 30-sekundowe zużycia wody. Oznacza to możliwość wykonania tylko 2880 pomiarów w miejsce 86400, a jeżeli dodatkowo skorzystać z wiadomości, że maksymalny przepływ może występować najczęściej w mniejszym przedziale np. 6 godzin wieczonrych, to niezbędna liczba pomiarów maleje do 770. Zysk

Tablica 6.9

Względne wartości przepływów w różnych odcinkach czasu liczone w stosunku do przepływu maksymalnego (1-sekundowego) dla modelu mieszanego (MR = M2 + M3 + M4 + M5 + M6)*)

| Liczba mieszkań | Liczba punktów czerpalnych | Względna wartość przepływu w połączeniu w odcinku czasu | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 s | 5 s | 15 s | 30 s | 1 min | 5 min | 15 min |
| 10 | 60 | 1 | 0,972 | 0,935 | 0,907 | 0,879 | 0,692 | 0,458 |
| 20 | 120 | 1 | 0,994 | 0,949 | 0,917 | 0,892 | 0,713 | 0,516 |
| 40 | 240 | 1 | 0,984 | 0,963 | 0,931 | 0,881 | 0,75 | 0,582 |
| 80 | 480 | 1 | 0,991 | 0,965 | 0,94 | 0,915 | 0,776 | 0,645 |
| 120 | 720 | 1 | 0,995 | 0,976 | 0,958 | 0,931 | 0,85 | 0,723 |
| 160 | 960 | 1 | 0,991 | 0,973 | 0,956 | 0,936 | 0,862 | 0,746 |
| 200 | 1200 | 1 | 0,992 | 0,973 | 0,972 | 0,935 | 0,858 | 0,746 |

*) Zawiera równą liczbę mieszkań wszystkich kategorii.

ze stosowania modelu jest oczywisty. Przeprowadzone rozważania są oczywiście przykładowe, w każdym przypadku korzystanie wymaga wprowadzenia do modelu danych dla budynku, w którym będą prowadzone pomiary, przeprowadzenia symulacji i dokonania oceny wyników, w konfrontacji z ustaloną dla instalowanej do pomiarów aparatury, dokładnością pomiaru.

Trzecim przykładem wykorzystania opracowanych modeli jest możliwość ich wykorzystania do weryfikacji innych modeli.

Autor opracował wspólnie z D o l e c k i m [31] propozycję metody ustalania przepływów obliczeniowych dla instalacji wodociągowych w budynkach mieszkalnych opartą na zastosowaniu teorii masowej obsługi. Wyjściowym pojęciem jest w opracowanej metodzie strumień zgłoszeń otwarć zaworów czerpalnych. Jest on proporcjonalny do liczby użytkowników mieszkań (w toku projektowania zakłada się, że jest ona równa kategorii mieszkania), zależy od krotności korzystania z poszczególnych zaworów określonej odrębnie dla każdego rodzaju zaworu w czasie tak zwanej kąpieli głównej. Posługując się modelem użytkowania instalacji dokonano weryfikacji wstępnie ustalonej w pierw-

szych opracowaniach proponowanej metody [31], krotności użytkowania poszczególnych zaworów czerpalnych.

Wyniki symulacji na modelu zastępczym zestawiono w tablicy 6.10. W tablicy 6.11 porównano pierwotnie założone wartości z uzyskanymi w badaniach i podano propozycję wartości skory-

Tablica 6.10

Średnie krotności Uj $[M^{-1}]$ korzystania z punktów czerpalnych przez użytkowników mieszkań różnej kategorii w czasie kąpieli głównej (według badań na modelu zastępczym)

| Punkt czerpalny | Kategoria mieszkania | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | MR*) |
| zlewozmywak | 0,964 | 0,895 | 1,575 | 1,575 | 1,475 | 1,575 |
| umywalka | 1,5 | 1,625 | 1,75 | 1,713 | 1,75 | 1,775 |
| wanna | 0,413 | 0,42 | 0,31 | 0,373 | 0,363 | 0,358 |
| zbiornik spłukujący | 0,928 | 1,025 | 0,768 | 0,78 | 0,81 | 0,788 |

*) Wyniki z budynku modelowego o jednakowej liczbie mieszkań każdej z poprzednich kategorii MR = M2 + M3 + M4 + M5 + M6 (model mieszany).

Tablica 6.11

Krotność użycia zaworów czerpalnych w czasie kąpieli głównej

| Pochodzenie wartości | Krotność użycia zaworów czerpalnych obsługujących: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ZL | UM | WA | PL |
| wstępna propozycja | 1 | 2 | 1 | 2 |
| wyniki symulacji | 0,9÷1,6 | 1,5÷1,8 | 0,3÷0,4*) | 0,8÷1 |
| propozycja korekty | 1,5 | 1,75 | 0,5*) | 1 |

*) Badania przeprowadzono dla nawyków higienicznych uznanych umownie za przeciętne (patrz opis tabl.6.1).

gowanych. Badania skutków korekty nie należą do przedmiotu tej pracy i zostały dokonane w toku innych opracowań.

Zaprezentowane przykłady pokazały pełną przydatność opracowanych modeli do poszukiwania związków przyczynowo-skutkowych powstawania stanów granicznych przepływu wody w wyniku użytkowania instalacji. Przykłady dobrano pod kątem zaprezentowania takich zastosowań, w których wykonanie pomiarów terenowych jest szczególnie trudne, a wyniki zawsze nasuwają różne wątpliwości. Opracowane modele mogą zastąpić wykonanie badań terenowych lub je uzupełnić, pomagając usunąć wątpliwości.

## 6.4. PODSUMOWANIE

Niniejszy rozdział poświęcono ocenie przydatności opracowanych modeli do analizy problemów występujących w instalacjach wodociągowych. Ocenę rozpoczęto od wyodrębnienia i systematyzacji problemów badawczych stwierdzając, że można je podzielić na:

- badania fenomenologiczne powstawania i przebiegu zjawiska zużywania wody i wywołanego tym zjawiskiem przepływu w przewodach instalacji,
- badania nad określeniem granicznych warunków pracy instalacji.

Utylitarnymi odpowiednikami tych problemów badawczych są zadania inżynierskie powstające w toku projektowania nowych instalacji i optymalizacji działania istniejących. Wyróżniono dwa rodzaje zadań nazwanych umownie przepływowymi i zbiornikowymi.

W nawiązaniu do wyodrębnionych problemów badawczych i zastosowań ich wyników podano łącznie kilkanaście przykładów możliwości zastosowania opracowanych modeli do prowadzenia badań wraz ze sposobami praktycznego wykorzystania wyników tych badań.

Ocena przydatności opracowanych modeli do analizy możliwości problemów występujących w instalacjach wodociągowych jest pozytywna. Uzasadnieniem tego wniosku są następujące przesłanki:

a) wykazano możliwość zastosowania opracowanych modeli do rozwiązania wielu znanych problemów badawczych dotyczących przebiegu i skutków zużywania wody oraz przepływu w instalacji powstającego w wyniku jej użytkowania,
b) wykazano, że z zastosowaniem opracowanych modeli można prowadzić także badania nad takimi zagadnieniami, których zbadanie w pracujących instalacjach napotyka na szczególnie duże trudności pomiarowe,
c) wykazano pełną przydatność wyników modelowania dla rozwiązywania zagadnień praktycznych występujących w instalacjach wodociągowych wielorodzinnych budynków mieszkalnych,
d) opracowane modele wykazały także swoją pełną przydatność w planowaniu pomiarów w rzeczywistych instalacjach oraz mogą stanowić pomoc w interpretacji wyników wykonanych pomiarów, a także uzupełnienie wykonywanych pomiarów.

## 7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Przedmiotem niniejszej pracy było opracowanie metodyki analizy powstawania zjawisk przepływu i zużycia wody w instalacjach wodociągowych wielorodzinnych budynków mieszkalnych z wykorzystaniem dynamicznego modelowania symulacyjnego.

Jako główny cel rozważań postawiono stworzenie nowego, nie stosowanego dotychczas w instalacjach, narzędzia badawczego w postaci strukturalnego modelu pozwalającego na symulację działania instalacji w zadanych przedziałach czasowych. Założono, że wyniki modelowania powinny mieć nie tylko wartość heurystyczną, lecz być bezpośrednio przydatne do rozwiązywania zagadnień praktycznych. Sformułowano więc cele szczegółowe, których jednoczesna realizacja prowadziłaby do osiągnięcia głównego celu. Rozważania przeprowadzone w pracy doprowadziły do zrealizowania postawionych celów.

Wykazano, że instalacje wodociągowe wielorodzinnych budynków mieszkalnych mogą zostać wyodrębnione z rzeczywistości jako systemy o funkcjonalnie dualnym charakterze. Są one część-

ciami budynku i wykazano, że jako takie mogą być dla potrzeb modelowania traktowane w oderwaniu od budynku oraz jednocześnie są fragmentami szeroko traktowanego wodociągu. Określenie struktury wewnętrznej instalacji jako systemu autarkicznego, analiza sprzężeń elementów tworzących tę strukturę oraz wniknięcie w relacje zachodzące między instalacją a wodociągiem zewnętrznym doprowadziło do określenia przestrzeni zdarzeń działania instalacji. W tej przestrzeni rozróżniono cztery zdarzenia, spośród których jednoczesne zachodzenie co najmniej trzech pierwszych powoduje zużycie wody:

- otwieranie zaworów czerpalnych przez użytkowników,
- transport wody przewodami instalacji od źródła wody do otwartych zaworów czerpalnych,
- wydatkowanie wody ze źródła do instalacji pod ciśnieniem zapewniającym dopłynięcie wody do otwartych zaworów czerpalnych,
- wydatkowanie wody ze źródła na skutek niesprawności elementów instalacji prowadzących do strat i marnotrawstwo wody.

Nawiązując do powyższego, przyjęto, że modelowanie instalacji wymaga opracowania czterech modeli: użytkowania instalacji, jej działania hydraulicznego, dynamiki stanu źródła oraz strat wody. Opracowano takie modele. Mogą one być traktowane autarkicznie, lub łącznie. Łączne potraktowanie modeli jest zapewnione przez wspólną dla nich wszystkich skalę i dynamikę czasu.

Pierwszy z modeli - użytkowania instalacji wodociągowej - pozwala na symulację korzystania z zaworów czerpalnych przez użytkowników i dojście do histogramu pracy zaworów. To z kolei umożliwia predykcję racjonalnego zużycia wody i przepływów wody w zadanych przedziałach czasu i odcinkach, na które podzielono te przedziały. W omawianym modelu, którego stworzenie wymagało szczególnie dużego nakładu pracy, najbardziej istotnym osiągnięciem jest opracowana dla jego potrzeb procedura identyfikacyjna składu rodzin i ich członków oraz chwil włączeń zaworów czerpalnych. Wykorzystanie do identyfikacji składu rodzin wyników badań socjologicznych nie było dotychczas stosowane w wodociągach i instalacjach. Również technika identyfikacji włączeń zaworów czerpalnych jest nowością, która może być

przeniesiona wprost do badania instalacji kanalizacyjnych, natomiast po prostym przystosowaniu - do dowolnych urządzeń wodociągowych i kanalizacyjnych, dając podstawę do tworzenia dynamicznych modeli symulacyjnych urządzeń wodociągowych i kanalizacyjnych.

Dysponowanie histogramem pracy zaworów pozwala na prowadzenie dalszych analiz mechanizmu powstawania i przebiegu przepływu wody w instalacji, a ostatecznie - wielkości i zmienności zużycia wody. Do analizy zjawisk przepływu wody w instalacji opracowano drugi model - model działania hydraulicznego instalacji. Przedstawiono go w postaci układu równań, których liczba jest równa liczbie otwartych zaworów czerpalnych. Stworzono algorytm numerycznego sumowania charakterystyk hydraulicznych elementów instalacji zastępujący konieczność rozwiązywania układu równań. Pozwala to uzyskać analityczną postać charakterystyki hydraulicznej instalacji w formie zależności wydajności od ciśnienia wody w punkcie zasilenia instalacji w wodę. Dysponowanie charakterystyką umożliwia określenie wymaganej wydajności źródła wody przy narzuconym ciśnieniu, lub odwrotnie - wymaganego ciśnienia dla osiągnięcia określonego wydatku. W obrębie tego modelu najciekawszy jest sposób jego weryfikacji, dla realizacji którego opracowano sposób graficznego tworzenia charakterystyki hydraulicznej instalacji.

Trzeci z opracowanych modeli, przedstawiony w formie koncepcyjnej, służy do symulowania stanów niesprawności instalacji i pozwala modelować straty wody. W wyniku analizy zjawiska strat wody, stwierdzono, że biorąc pod uwagę instalacje wodociągowe w budynkach mieszkalnych, są istotne dwa składniki strat wody: przecieki i marnotrawstwo. Opracowano koncepcję dynamicznego modelowania tych składników oraz metodę identyfikacji stałych modelu. Identyfikacja wymaga przeprowadzenia badań terenowych i stanowiskowych.

Czwarty model pozwala na symulowanie stanów źródła wody. Umowne pojęcie stanu źródła zdefiniowano jako chwilowy stan energetyczny istniejący w sieci wodociągowej, w punkcie połączenia z nią instalacji. Wyraża on możliwość zaspokojenia zapotrzebowania na wodę i energię do wywołania jej przepływu.

Miernikiem stanu źródła jest ciśnienie wody. Stąd istotą koncepcji modelowania stanu źródła jest koncepcja modelowania zmienności ciśnienia wody w sieci w zadanym przedziale czasowym. Do rozpoznania charakteru tej zmienności wykorzystano obserwacje ciśnienia w warszawskiej sieci wodociągowej. Wykazano, że skuteczność modelowania zaspokaja potrzeby pozostałych modeli, których ten jest uzupełnieniem.

Opracowane modele poddano ocenie ich przydatności do analizy problemów badawczych występujących w instalacjach. Wymagało to uprzedniego wyodrębnienia i systematyzacji tych problemów. Doprowadziło to do wyróżnienia:

a) badań fenomenologicznych powstawania i przebiegu zjawiska zużywania wody i wywołanego tym zjawiskiem przepływu w przewodach instalacji,
b) badań nad określeniem granicznych warunków pracy instalacji.

Utylitarnymi odpowiednikami tych problemów badawczych są zadania inżynierskie nazwane umownie przepływowymi i zbiornikowymi. W nawiązaniu do wyodrębnionych problemów badawczych i zastosowań ich wyników podano łącznie kilkanaście przykładów wykorzystania opracowanych modeli.

Przeprowadzone w pracy rozważania można zamknąć następującymi wnioskami:

1. W wyniku pracy powstało nowe, nie stosowane dotychczas w badaniach instalacji wodociągowych wielorodzinnych budynków mieszkalnych, narzędzie badawcze w postaci modeli użytkowania, działania hydraulicznego instalacji oraz dynamiki źródła i strat wody, które mogą być wykorzystywane łącznie lub rozdzielnie. Modele te mają charakter strukturalny, są powtarzalne w cyklu dobowym, ciągłe w czasie, dyskretne w stanie i stochastyczne w modelowaniu wartości stanu.
2. Oceniając przydatność opracowanych modeli do badań problemów występujących w instalacjach wodociągowych wykazano pełne możliwości realizowania z ich wykorzystaniem wszystkich, dotychczas wykonywanych drogą pomiarów terenowych, badań nad powstawaniem, w wyniku użytkowania instalacji, zjawiska przepływu i zużycia wody. Wykazano także możliwość prostego wykonania na modelach takich badań fenomenologicznych, których wykonanie w rzeczywistych instalacjach wiąza-

łoby się z koniecznością zaangażowania dużych nakładów dla uzyskania, analogicznych jak na modelach, wyników. Wreszcie wykazano przydatność opracowanych modeli do planowania pomiarów i interpretacji wyników pomiarów terenowych.

3. W toku wykonywania pracy uzyskano osiągnięcia stanowiące nowość, a nadające się do uogólnienia w dziedzinie wodociągów i kanalizacji. Są nimi:
   a) procedura identyfikacyjna użytkowników instalacji wodociągowych,
   b) metoda identyfikacji i odtwarzania chwil włączania zaworów czerpalnych - jako sposób podejścia do powstawania zapotrzebowania na wodę,
   c) metoda dynamicznego modelowania strat wody.
4. Zakres możliwości stosowania opracowanych modeli jest ostatecznie szerszy od pierwotnie planowanego (budynki mieszkalne wielorodzinne). Najmniejsze modelowane instalacje mogą być przeznaczone dla jednego mieszkańca (można nawet modelować pojedyncze pomieszczenie, a także 1 zawór, co ma jednak ograniczony sens). Górna granica wielkości instalacji jest ograniczona numerycznymi możliwościami realizacji modelowania. Stwierdzono, że ze względów funkcjonalnych - urbanistycznych i stosowanych rozwiązań zaopatrzenia w wodę - istnieje sens prowadzenia modelowania instalacji, najwyżej dla grup do 500 mieszkań.
5. Przykładowo przeprowadzone na modelach instalacji badania nad wpływem: poziomu higieny czystości i rodzajem stosowanej armatury czerpalnej, na wielkość zużycia wody doprowadziły do stwierdzenia, że:
   a) zasadniczy wzrost poziomu higieny (od niskiego, w którym codziennie kąpie całe ciało 30% populacji, do wysokiego, w którym robi to 70% populacji) wymaga zwiększenia zużycia wody zaledwie o ok. 25÷30%,
   b) powszechnie obecnie spotykane usuwanie przez użytkowników perlatorów z armatury czerpalnej powodowane ich niską jakością, może powodować nawet 50% wzrost zużycia wody.

# Załącznik

## ALGORYTMY WYBRANYCH BLOKÓW (PODPROGRAMÓW) PROGRAMU INSTASYM MODELU UŻYTKOWANIA INSTALACJI

1. Wprowadzenie

Do realizacji scenariusza dynamicznej symulacji modelowania użytkowania instalacji wodociągowej w wielorodzinnym budynku mieszkalnym, opisanego w rozdziale 3 pracy i pokazanego na rys.3.5, opracowano program INSTASYM. Został on opracowany w języku Microsoft-Fortran i może być realizowany na komputerach typu IBM AT XT i kompatybilnych z pamięcią 640 kB.

W niniejszym załączniku podaje się, istotne merytorycznie, wybrane algorytmy realizacji modelowania użytkowania instalacji wodociągowych w budynkach mieszkalnych.

Program INSTASYM można podzielić na następujące części:

a) symulacyjną, w której jest dokonywane modelowanie użytkowania instalacji wodociągowej, poprzedzone modelowaniem zasiedlenia mieszkań,
b) narzędziową - służącą do zapisu i wizualizacji danych wyjściowych i wyników symulacji w sposób przydatny do dalszych analiz,
c) analityczną - służącą do przygotowania wyników symulacji do elementarnych analiz statystycznych i umożliwiającą prowadzenie takich analiz.

Część programu, służąca do modelowania użytkowania instalacji wodociągowej, składa się z następujących bloków: DEFBUD (umożliwia dokonanie opisu budynku i funkcjonalne instalacji), LOSLOK (modeluje zasiedlenie budynku), LOSOZW (modeluje otwieranie zaworów czerpalnych). Współdziałanie tych bloków zostało pokazane na rys.3.6 w pracy. Te właśnie bloki są najważniejsze w opracowanym programie. Ich algorytmy zostaną przedstawione w ramach niniejszego opisu.

2. Opis budynku i instalacji

Do opisu budynku i modelowanej instalacji jest wykorzystywany w programie blok DEFBUD. Konstrukcja algorytmu tego bloku

opiera się na pomyśle tworzenia stosów mieszkań jednakowej kategorii zgrupowanych wokół klatki schodowej. Opisanie budynku i instalacji odbywa się w trybie konwersacyjnym i wymaga:

- nadania budynkowi nazwy,
- zdefiniowania pionów przez podanie: symbolu pionu, nazwy pionu, rodzaju przyborów obsługiwanych z pionu na kondygnacji powtarzalnej,
- podania liczby kondygnacji budynku; dopuszcza się sytuację budynku składającego się z części o różnej liczbie kondygnacji - wówczas opis liczby kondygnacji przenosi się do opisu klatki schodowej,
- opisu klatki schodowej w kolejności: liczba kondygnacji (o ile nie była określona poprzednio), układ pionów, układ i wielkość mieszkań (obowiązuje zasada od lewej do prawej).

Ograniczenia formalne są następujące:

a) najmniejsza opisywana instalacja musi się składać z 1 pionu z 1 zaworem czerpalnym,

b) maksymalne liczby opisywanych elementów wynoszą: 4 typy pionów, 25 kondygnacji, 99 klatek schodowych.

3. Modelowanie zasiedlenia budynku

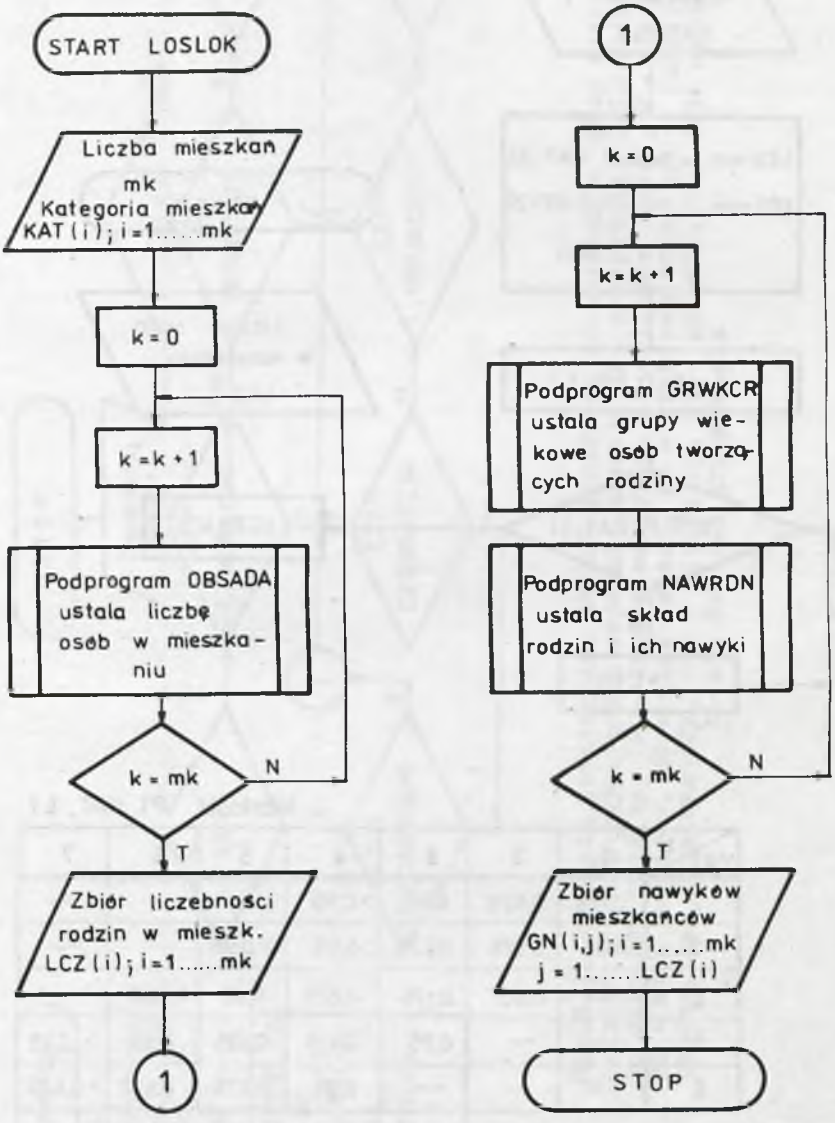
Blok LOSLOK, przeznaczony do modelowania zasiedlenia budynku, został opracowany dla budynków projektowanych[1)]. Algorytm bloku LOSLOK pokazano na rys.Z.1. Blok składa się z trzech podprogramów modelujących kolejno: liczbę osób w mieszkaniach (OBSADA), grupy wiekowe osób tworzących rodziny (GRWKCR) oraz skład rodzin i nawyki ich członków (NAWRDN).

Algorytm podprogramu OBSADA przedstawiono na rys.Z.2. Wynikiem działania podprogramu jest liczba lokatorów w każdym mieszkaniu.

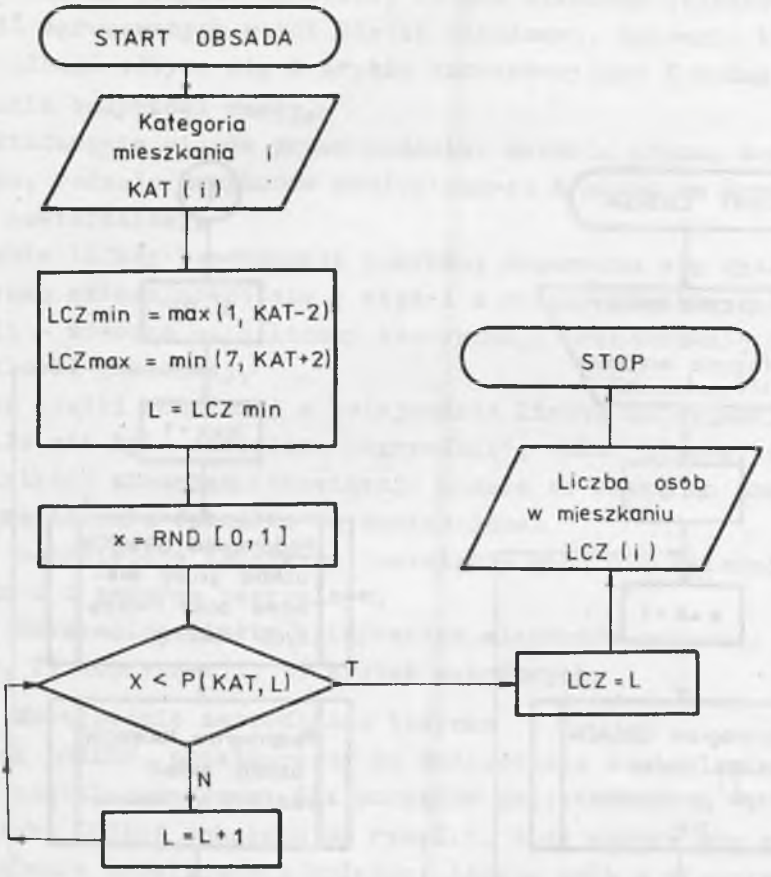
Podprogram GRWKCR, którego algorytm pokazano na rys.Z.3 służy do ustalania grupy wiekowych członków rodzin zajmujących wspólnie mieszkanie. Bezpośrednio z nim współpracuje podprogram NAWRDN, przedstawiony w formie algorytmu na rys.Z.4 służący do ustalania składu rodzin i określenia zbioru nawyków

---

1) Dla budynków istniejących przewidziano w programie możliwość opisu rzeczywistego zasiedlenia, według schematu bloku LOSLOK.



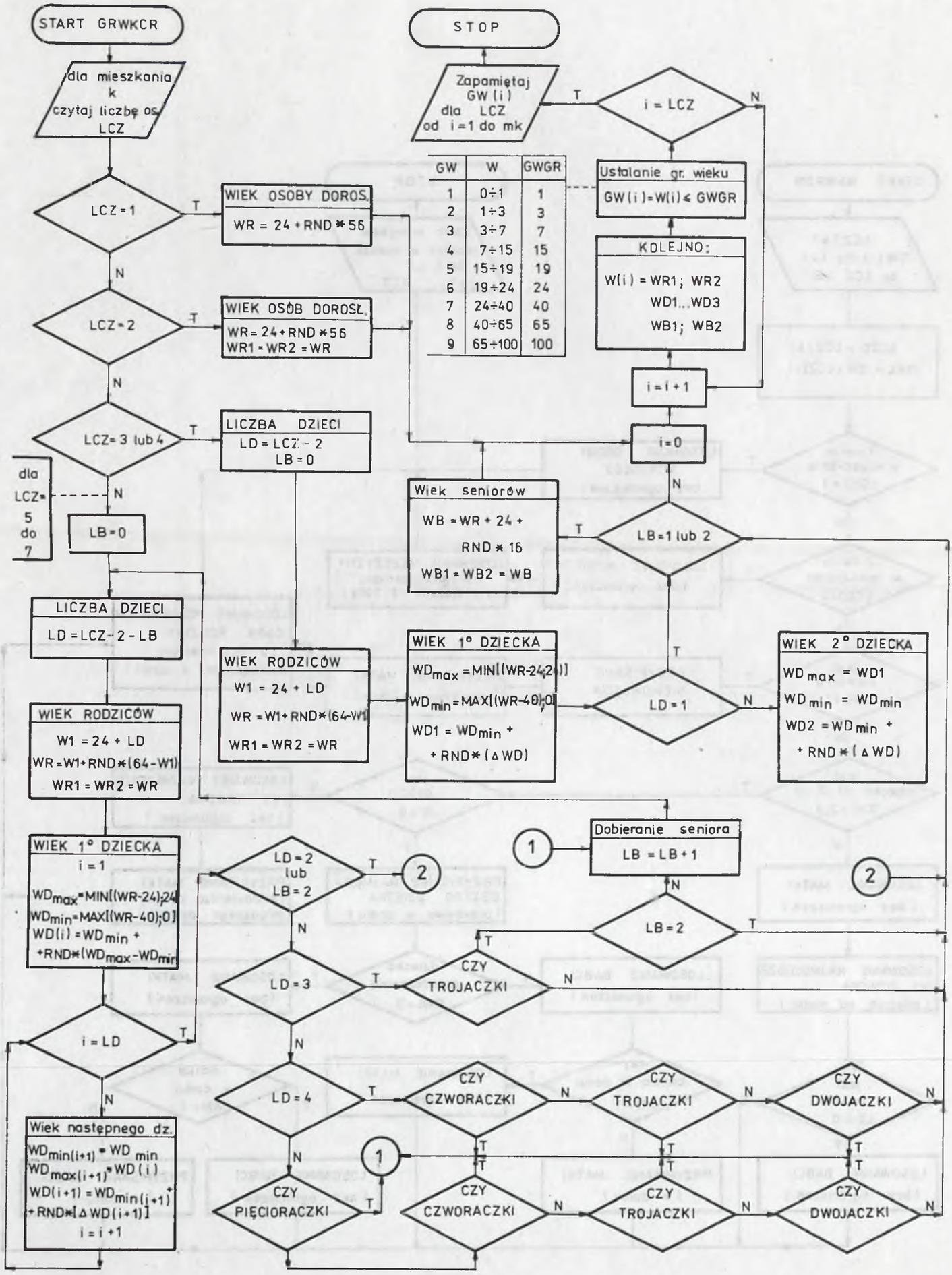

Rys.Z.1. Algorytm bloku programu LOSLOK służącego do modelowania zasiedlenia budynków mieszkalnych



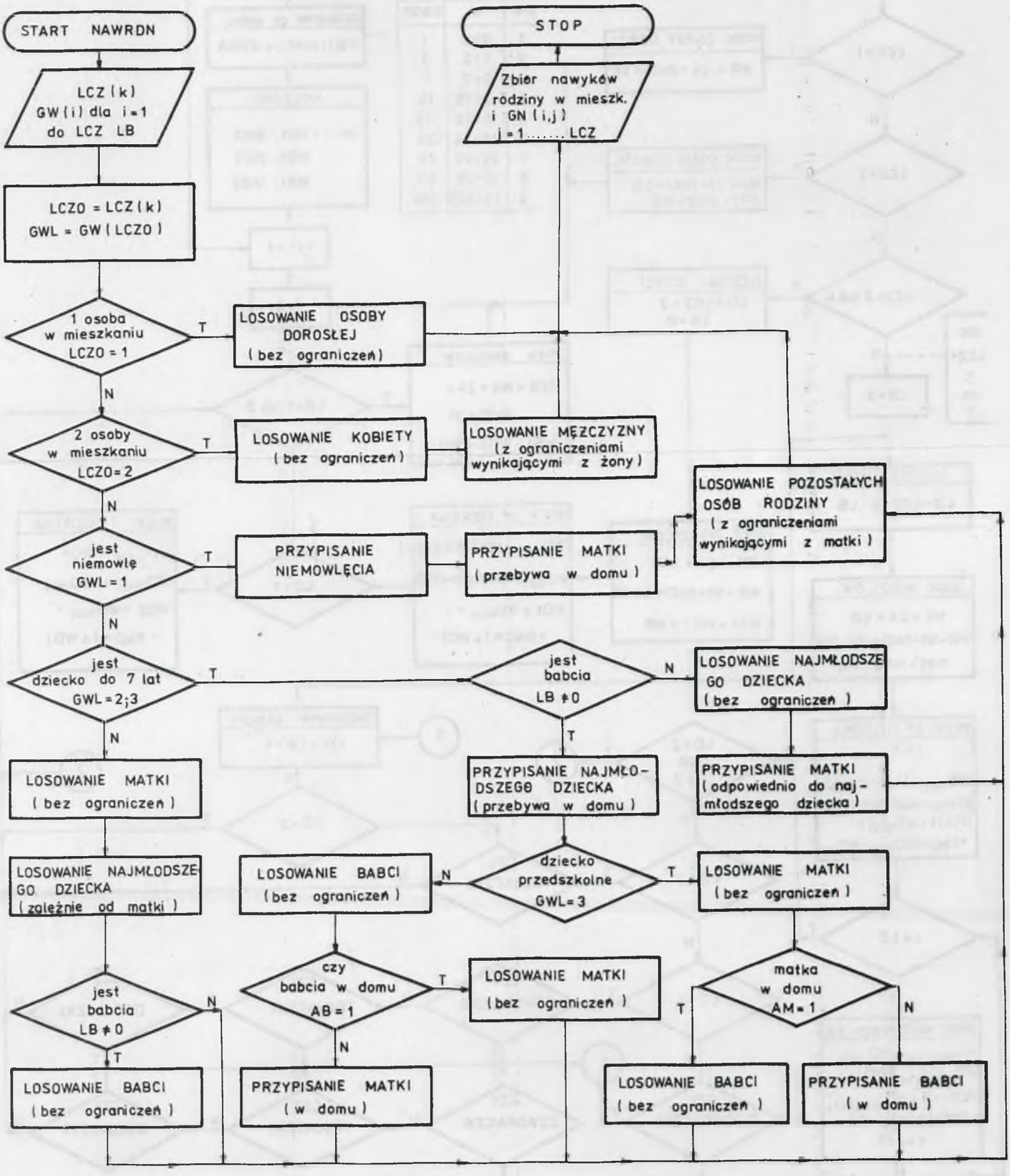

Wartości P( KAT, L )

| KAT \ L | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 0,175 | 0,825 | 0,95 | >0,95 | — | — | — |
| 3 | 0,05 | 0,175 | 0,825 | 0,95 | > 0,95 | — | — |
| 4 | — | 0,05 | 0,175 | 0,825 | 0,95 | > 0,95 | — |
| 5 | — | — | 0,05 | 0,175 | 0,825 | 0,95 | > 0,95 |
| 6 | — | — | — | 0,05 | 0,175 | 0,825 | > 0,825 |

Rys.Z.2. Algorytm podprogramu OBSADA służącego do ustalenia liczby osób zasiedlających mieszkania określonej kategorii; oznaczenia: KAT - kategoria mieszkania, LCZ,L - liczba osób




Rys.Z.3. Algorytm podprogramu GRWKCR służącego do ustalania grup wieku członków rodzin zajmujących wspólnie mieszkanie; oznaczenia: LCZ - liczba członków rodziny, LB - liczba seniorów, LD - liczba dzieci, W - wiek, WR - wiek rodziców, WD - wiek dzieci, WB - wiek seniorów, RND - funkcja losowa, max - maksymalny, min - minimalny, GW - grupa wieku, GWGR - graniczna wartość grupy wieku




Rys.2.4. Algorytm podprogramu NAWRDN służącego do ustalania składu rodzin w mieszkaniach oraz tworzenia zbioru nawyków ich korzystania z instalacji wodociągowej (oznaczenia jak poprzednio)

korzystania z instalacji wodociągowej członków rodzin. Wykorzystuje się w tym 31 grup nawyków zestawionych w tabl.3.8 i opracowanych według schematu na rys.3.3, przedstawionych w głównym tekście pracy.

Działanie bloku LOSLOK prowadzi w efekcie do uzyskania dla modelowanej instalacji wodociągowej w budynku: liczby mieszkańców w każdym mieszkaniu, składu rodziny oraz zbioru nawyków korzystania z instalacji przez mieszkańców budynku.

W toku opracowania bloku LOSLOK przyjęto następujące założenia i ograniczenia:

- dwie i więcej osób w mieszkaniu tworzą rodzinę,
- osoba dorosła mieszkająca samotnie ma co najmniej 24 lata i może być mężczyzną lub kobietą z prawdopodobieństwem 0,5;
- w rodzinach z dziećmi rodzice są w tej samej grupie wiekowej,
- dzieci rodzą się między 25 a 40 rokiem życia rodziców,
- dzieci mieszkają z rodzicami do 24 roku życia,
- w rodzinach z jednym seniorem jest nim babcia,
- prawdopodobieństwo aktywności domowej (np. całodzienny pobyt w domu dla niemowlęcia lub emeryta, jedzenie obiadu w domu przez dzieci szkolne, praca w domu przez rodziców itp.) dla poszczególnych grup wieku jest następujące:
  - p = 1 - dla grupy wieku 1;
  - p = 0,9 - dla grup wieku: 2, 4, 5, 6;
  - p = 0,7 - dla kobiet grupy 9;
  - p = 0,5 - dla mężczyzn grupy 9;
  - p = 0,3 - dla kobiet w grupie wieku 7;
  - p = 0,1 - dla dzieci w grupie wieku 3;
  - p = 0,05 - dla mężczyzn w grupie wieku 7 i 8.

4. Modelowanie czasu i trybu pracy zaworów czerpalnych

Ogólnie czas pracy zaworów czerpalnych ($t_p$), czyli czas, w którym zawór jest otwarty, zmienia się od minimalnego ($t_{min}$) do maksymalnego ($t_{max}$) i jest modelowany według wzoru:

$$t = t_{min} + RND\ (t_{max} - t_{min}), \qquad (Z.1)$$

w którym RND - jest funkcją losową. W opisywanym programie funkcja losowa jest generowana standardowo przez komputer i ma

rozkład jednostajny. Można w to miejsce wstawić funkcję losową o każdym innym dowolnie zadanym rozkładzie.

W nawiązaniu do przyjętych w opisie funkcjonalnym modelu trybów pracy zaworów czerpalnych przyjęto odpowiednio zróżnicowane wartości minimalnych i maksymalnych czasów pracy zaworów czerpalnych zależnie od trybu, przedstawione w tablicy 3.3 w tekście pracy. Opisany sposób modelowania nie dotyczy zaworu zlewozmywaka w trybie mycia naczyń oraz pralki automatycznej. Modelowanie czasu pracy zaworu zlewozmywaka w trybie mycia naczyń przebiega według wzoru:

$$t_{pzl}(n) = (LO\ t_{n1} + LW\ t_{n2})\ s, \qquad (Z.2)$$

w którym:

- n - wskaźnik posiłku, po którym następuje mycie naczyń,
- LO - liczba osób w mieszkaniu,
- LW - liczba włączeń zaworu w trybie napełniania naczyń od poprzedniego posiłku (dla śniadania LW = 0),
- $t_{n1}$ - czas zmywania kompletu szkła, porcelany i sztućców używanych przez 1 osobę w toku posiłku n; s,
- $t_{n2}$ - czas spłukiwania 1 garnka po myciu; s,
- s - szybkość mycia; s = 1 + RND·0,5.

Wartości n, $t_{n1}$, $t_{n2}$ przyjęto następująco:

- śniadanie: n = 2; $t_{n1}$ = 15 s; $t_{n2}$ = 0 s;
- obiad: n = 3; $t_{n1}$ = 30 s; $t_{n2}$ = 30 s;
- kolacja: n = 4; $t_{n1}$ = 30 s; $t_{n2}$ = 20 s.

Czas pracy zaworu napełniającego pralkę automatyczną wynika z harmonogramu pracy pralki i można go określić z instrukcji pralki. Przykładowo, do programu wstawiono harmonogram pracy pralki PS 663 Bio dla programu 1 lub 2. Harmonogram pracy zaworu czerpalnego jest wówczas następujący: całkowity czas pracy pralki wynosi 170 min (10200 s), w tym całkowity czas pracy zaworu wynosi 14 min (840 s) według harmonogramu:

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| włączenie (min) | 0 | 35 | 140 | 146 | 152 | 158 | 164 |
| wyłączenie (min) | 2 | 37 | 142 | 148 | 154 | 160 | 166 |
| czas pracy (min) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

5. Modelowanie chwili włączenia zaworów czerpalnych

Modelowanie chwili włączenia zaworów czerpalnych odbywa się w przedziale czasowym jednej godziny (3600 s). Wyróżnia się dwie sytuacje modelowania chwili włączenia zaworów:

a) bez korelowania pracy zaworów i uwzględniania czasu zajęcia pomieszczenia, w którym są zlokalizowane,

b) z korelowaniem czasu pracy zaworów i uwzględnieniem czasu zajęcia pomieszczenia, w którym są związane z nimi przybory, co dotyczy: wanny, prysznica i umywalki w łazience oraz ustępu.

Przed przystąpieniem do modelowania chwila włączenia zaworów jest znana, w wyniku uwzględnienia nawyków członków rodziny w mieszkaniu, liczba użyć zaworów w modelowanej godzinie.

Losowanie chwili włączenia zaworów prowadzi się kolejno dla zaworów nie korelowanych lub dla zespołów zaworów korelowanych. Chwile włączenia zaworów bez korelacji modeluje się następująco:

- dla określonej liczby użyć danego zaworu (i) w opracowywanej godzinie wylosowuje się ich czasy pracy $t_{p1} \ldots t_{pi}$,
- oblicza się przedział czasu $[T_1; T_2] < [0; 3600\ s]$, w którym może włączyć się aktualnie losowany zawór; przyjmuje się:
  $T_1$ - początek liczenia czasu, dla pierwszego z losowanych zaworów przyjmowany 0,
  $T_2$ - granica przedziału czasu, w którym może się włączyć zawór, obliczone dla każdego po kolei $t_{pi}$ według wzoru:

$$T_2 = 3600 - t_{pc} - 0{,}5 \cdot \left(1 - \frac{t_{pa}}{t_{pc}}\right) \cdot (3600 - t_{pc}) \qquad (Z.3)$$

  w którym:
  $t_{pc}$ - suma czasów pracy wylosowywanych zaworów $t_{pc} = t_{p1} + \ldots + t_{pi}$,
  $t_{pa}$ - czas pracy aktualnie losowanego zaworu,
- losuje się chwilę włączenia zaworu $T_{wa} = T_1 + RND(T_2 - T_1)$,
- ustala się początek liczenia czasu dla następnego zaworu $T_1 = T_{wa} + t_{pa}$,
- oblicza się nowe $t_{pc}$ - z pominięciem już wylosowanego zaworu,
- oblicza się nowe $T_2$,

- losuje się chwilę włączenia zaworu jak poprzednio,
- powtarza się opisane czynności do wylosowania chwil włączania wszystkich losowanych zaworów.

Konieczność korelowania czasu pracy zaworów czerpalnych i chwil ich włączenia wynika ze sposobu korzystania z pomieszczeń, w których są przybory sanitarne. Dotyczy to przede wszystkim wydzielonego ustępu oraz łazienki w czasie kąpieli. Dla każdego z tych pomieszczeń korelowanie pracy zaworów przebiega odmiennie.

Przyjęto, że w pomieszczeniu wydzielonego ustępu znajdują się 2 zawory czerpalne: pływakowy w zbiorniku spłukującym miskę ustępową oraz umywalkowy. Założono, że cykl korzystania z pomieszczenia nazywany dalej krótko czasem blokowania pomieszczenia, ($t_{bl}$) składa się z sumy: czasu zajęcia miski ustępowej ($t_{wp}$) oraz czasu działania zaworu pływakowego ($t_{pł}$). Czas zajęcia miski ustępowej w modelu wynosi $t_{wp}$ = 30 ... 300 s i jest modelowany wzorem (Z.1). Założono, że użycie umywalki do mycia rąk następuje w czasie działania zaworu pływakowego $t_{pł}$, przy czym chwila włączenia zaworu umywalkowego jest opóźniona o $t_{wu}$ = 10 ... 30 s - modelowane wzorem (Z.1).

Modelowanie skorelowanej pracy zaworów w pomieszczeniu wydzielonego ustępu przebiega zatem następująco:
- z wykorzystaniem wzoru (Z.1) następuje określenie czasów: $t_{pł}$, $t_{wp}$, po czym określa się $t_{bl} = t_{pł} + t_{wp}$,
- jeżeli ma być włączana umywalka (prawdopodobieństwo tego zdarzenia jest określone jako dana wyjściowa do losowania), to określa się $t_{wu}$ i $t_{um}$ wzorem (Z.1),
- określa się skorelowany harmonogram pracy zaworów przyjmując:
  - jako chwilę rozpoczęcia działania zaworów $T_o = 0$,
  - jako chwilę zakończenia pracy zaworów $T_k = t_{bl}$,
  - jako chwilę rozpoczęcia pracy umywalki $T_{wu} = t_{wp} + t_{wu}$,
  - jako chwilę zakończenia pracy umywalki $T_{ku} = T_{wu} + t_{um}$.

Tak opracowany skorelowany harmonogram pracy zaworów jest wykorzystywany do losowania chwili włączenia zaworów do ogólnego harmonogramu pracy zaworów w mieszkaniu. W toku realizacji tego wykorzystuje się procedurę poprzednio opisaną dla zaworów nie korelowanych. W tej procedurze koryguje się tylko odpowiednio $t_{pc}$, które jest sumą czasów pracy zaworu pływakowego

i umywalkowego, zaś po ustaleniu $T_{wa}$ zakłada się $T_{wa} = T_o$ i wstawia się jako "cegiełkę" do ogólnego harmonogramu.

Analogiczny do opisanego dla ustępu czas blokowania pomieszczenia łazienki w czasie kąpieli ($t_{bl}$) jest sumą: czasu przygotowania do kąpieli ($t_{prz}$), czasu kąpieli ($t_k$) oraz czasu spustu wody ($t_{sp}$). Jeżeli kąpiel odbywa się w wannie, to w czasie przygotowania ($t_{prz}$) działa zawór baterii wannowej (napełnia się wanna), natomiast jest zamknięty w czasie ($t_k + t_{sp}$). Jeżeli kąpiel odbywa się pod prysznicem, to zakłada się działanie zaworu baterii wannowej w czasie kąpieli $t_k$ (właściwe mycie pod prysznicem). Graniczne wartości czasów dla jednej kąpieli (obserwacje autora) są następujące:

| Czas | Kąpiel w wannie | Kąpiel pod prysznicem |
|---|---|---|
| $t_{prz}$ | 240 ... 480 s | 60 ... 180 s |
| $t_k$ | 300 ... 600 s | 240 ... 480 s |
| $t_{sp}$ | 120 ... 300 s | 120 ... 300 s |
| $t_{bl}$ | (11...23)min | (7...16)min |

Modelowanie tych czasów odbywa się wzorem (Z.1). W pomieszczeniu łazienki dokonuje się korelacji pracy zaworów w godzinach tzw. kąpieli głównej. Należy wówczas skorelować korzystanie z wanny, prysznica oraz umywalki. Opracowanie korelacji przebiega dla całej godziny (3600 s). Danymi wyjściowymi są: liczba kąpieli LK oraz liczba użyć umywalki LU. Jeżeli zachodzi relacja LU LK, to zakłada się, że w toku każdej kąpieli musi być użyta umywalka, a oprócz tego dla pozostałych należy zarezerwować czas użyć umywalki. Dokonuje się tego następująco:

- określa się ze wzoru (Z.1), w trybie mycia rąk, czasy pracy zaworu umywalkowego $t_{umi}$ kolejno dla i = 1 do (LU - LK),
- oblicza się sumę czasu użytkowania umywalki poza czasem kąpieli $t_{umc} = t_{um1} + \ldots + t_{umi}$,
- oblicza się możliwy sumaryczny czas trwania kąpieli: $t_{blc} = 3600 - t_{umc}$.

Dalsze postępowanie wymaga rozstrzygnięcia sposobu kąpieli. Jeżeli LK > 4, to wszyscy kąpiący się w analizowanej godzinie członkowie rodziny muszą skorzystać z prysznica (odtwarza to sytuację rodziny wieloosobowej). Jeżeli LK ≤ 4, to możliwa

jest zarówno kąpiel w wannie, jak i pod prysznicem. Odsetek korzystających z kąpieli w wannie jest daną wyjściową do realizacji symulacji w programie. Posługując się nim można wyodrębnić LK = LW + LP, gdzie LW jest liczbą kąpieli w wannie, zaś LP pod prysznicem. Teraz można obliczyć pożądany sumaryczny czas kąpieli $t_{blc}$, odpowiednio:

- dla LK > 4: $t_{blc}$ = LK • 960 s,
- dla LK ≤ 4: $t_{blc}$ = LW • 1380 + LP • 960 s.

Tak obliczoną wartość pożądanego czasu kąpieli porównuje się z poprzednio obliczonym możliwym czasem $t'_{blc}$. Jeżeli otrzyma się relację $t_{blc} > t'_{blc}$, to należy zmniejszyć $t_{blc}$, tak aby została zachowana relacja $t_{blc} \leq t'_{blc}$. Dokonuje się tego wykorzystując współczynnik SCL ≤ 1 wyrażony stosunkiem $t'_{blc}$ do $t_{blc}$. Następnie wylosowuje się kolejno czasy: przygotowania $t_{prz}$, kąpieli $t_k$ i spustu $t_{sp}$ wykorzystując odpowiednio wzór:

$$t = t_{min} + RND\ (t_{max}\ SCL - t_{min}), \qquad (Z.4)$$

w którym $t_{min}$ i $t_{max}$ określono poprzednio jako wartości graniczne. Opisane postępowanie jest mniej skomplikowane gdy zachodzi relacja LU ≤ LK. Wówczas zakłada się, że użycie umywalki następuje poczynając od pierwszej kąpieli, do chwili wyczerpania liczby użyć umywalki.

Kolejną czynnością jest modelowanie chwili włączenia umywalki w korelacji z działaniem wanny lub prysznica. Zakłada się, że korzystanie z umywalki następuje w czasie przygotowania do kąpieli $t_{prz}$ lub czasie spustu $t_{sp}$ oraz, że musi się ono w tym czasie zakończyć. Zatem długość odcinka czasu, w którym może włączyć się umywalka wynosi $t_{wu} = t_{prz} + t_{sp} - 2\ t_{um}$. Czasy $t_{prz}$ i $t_{sp}$ zostały już określone, natomiast czas $t_{um}$ określa się stosując wzór (Z.1) w odpowiednim trybie. Losowanie czasu włączenia umywalki przeprowadza się wzorem: $t_w$ = = RND $t_{wu}$ i bada się relację między $t_w$ a wartością $(t_{prz}-t_{um})$. Jeżeli zachodzi $t_w < (t_{prz}-t_{um})$, to oznacza, że włączenie umywalki następuje w czasie $t_{prz}$ i wówczas chwilę włączenia ustala się jako $T_{wu} = t_{prz} - t_w$, w relacji $t_w \geq (t_{prz}-t_{um})$ - chwila włączenia wypada w czasie $t_{sp}$ i ustala się ją jako $T_{we}$ = = $t_{prz} + t_k + t_w$.

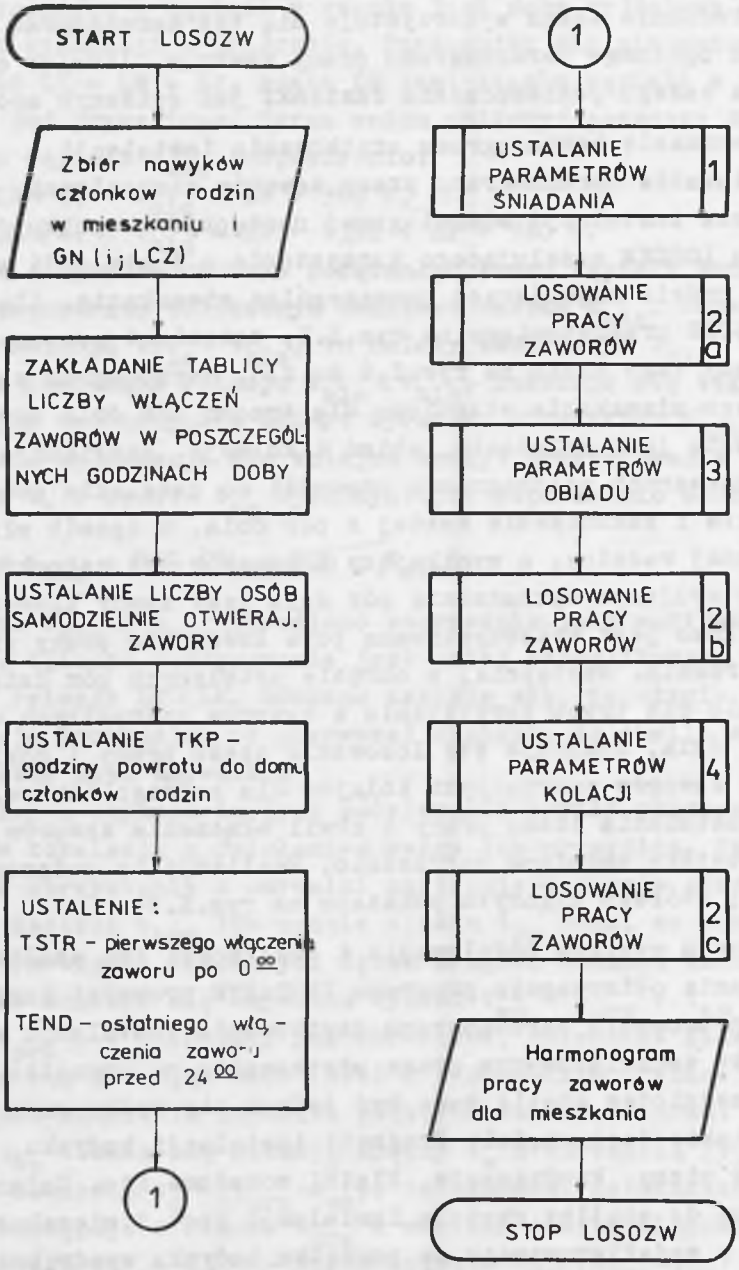
Skorelowany harmonogram pracy zaworów w łazience konstruuje się analogicznie do opisanego poprzednio dla wydzielonego ustępu. Podobnie także wykorzystuje się ten harmonogram do tworzenia ogólnego harmonogramu pracy zaworów, losując chwile włączenia całego pomieszczenia łazienki już opisanym sposobem.

6. Tworzenie harmonogramu użytkowania instalacji

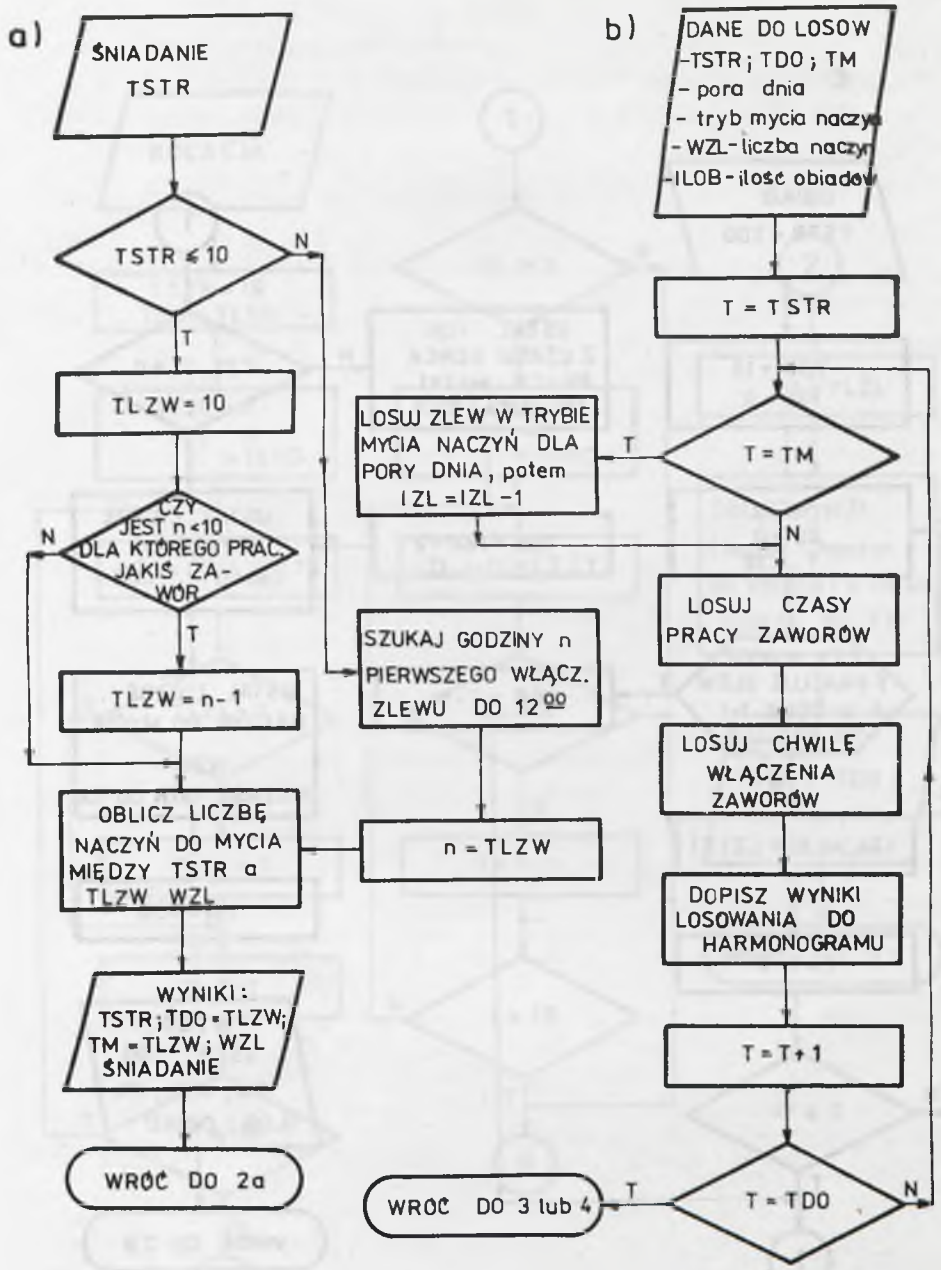
Powstawanie harmonogramu pracy zaworów czerpalnych, czyli użytkowania instalacji wodociągowej następuje w wyniku działania bloku LOSOZW modelującego korzystanie z instalacji wodociągowej rodzin zajmujących poszczególne mieszkania. Algorytm bloku LOSOZW przedstawiono na rys.Z.5, natomiast poszczególne podprogramy tego bloku na rys.Z.6 do Z.8. Harmonogram powstaje dla każdego mieszkania stopniowo dla trzech pór dnia określonych umownie jako śniadanie, obiad i kolacja. Realizacja tak właśnie nazwanych podprogramów prowadzi do ustalenia godziny rozpoczęcia i zakończenia każdej z pór dnia, w sposób właściwy dla danej rodziny, a wynikający z nawyków jej członków. Zaworem sterującym wyznaczanie pór dnia jest zawór zlewozmywaka. Dodatkowo jest wykorzystywana pora kończenia pracy przez członków rodzin. Następnie, w obrębie ustalonych pór dnia, odpowiednio dla trybu korzystania z zaworów czerpalnych w każdej porze dnia, dokonuje się losowanie czasu pracy i chwili włączenia zaworów czerpalnych kolejno dla każdego zaworu. Technika ustalania czasu pracy i chwil włączenia zaworów czerpalnych została omówiona poprzednio. Realizuje to podprogram LOSOWANIE, którego algorytm pokazano na rys.Z.6b.

7. Edycja wyników modelowania i możliwości ich analizy

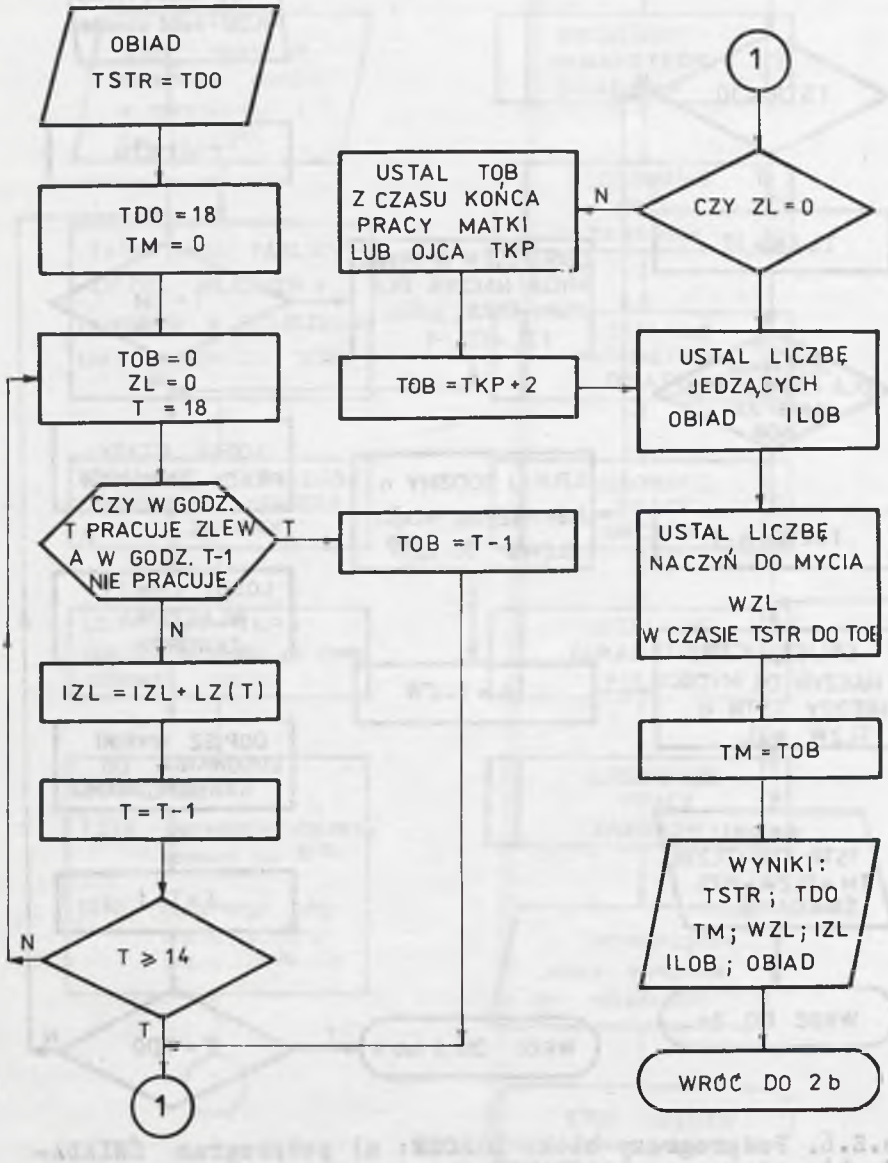
Działanie opisywanego programu INSTASYM prowadzi każdorazowo do opracowania harmonogramu użytkowania instalacji w całym budynku zadeklarowanym przez użytkownika na początku symulacji. Przedmiotem analiz może być jednak nie tylko cały budynek, ale także jego części: fragment instalacji budynku, poszczególne piony, kondygnacje, klatki schodowe itp. Najmniejszą możliwą do analizy częścią instalacji jest 1 mieszkanie. Dokonanie z zadeklarowanego na początku budynku wyodrębnienia jego fragmentu umożliwia blok DEFFBD. Następnie należy przewidzieć, zależnie od celu analizy, sposób gromadzenia wyników



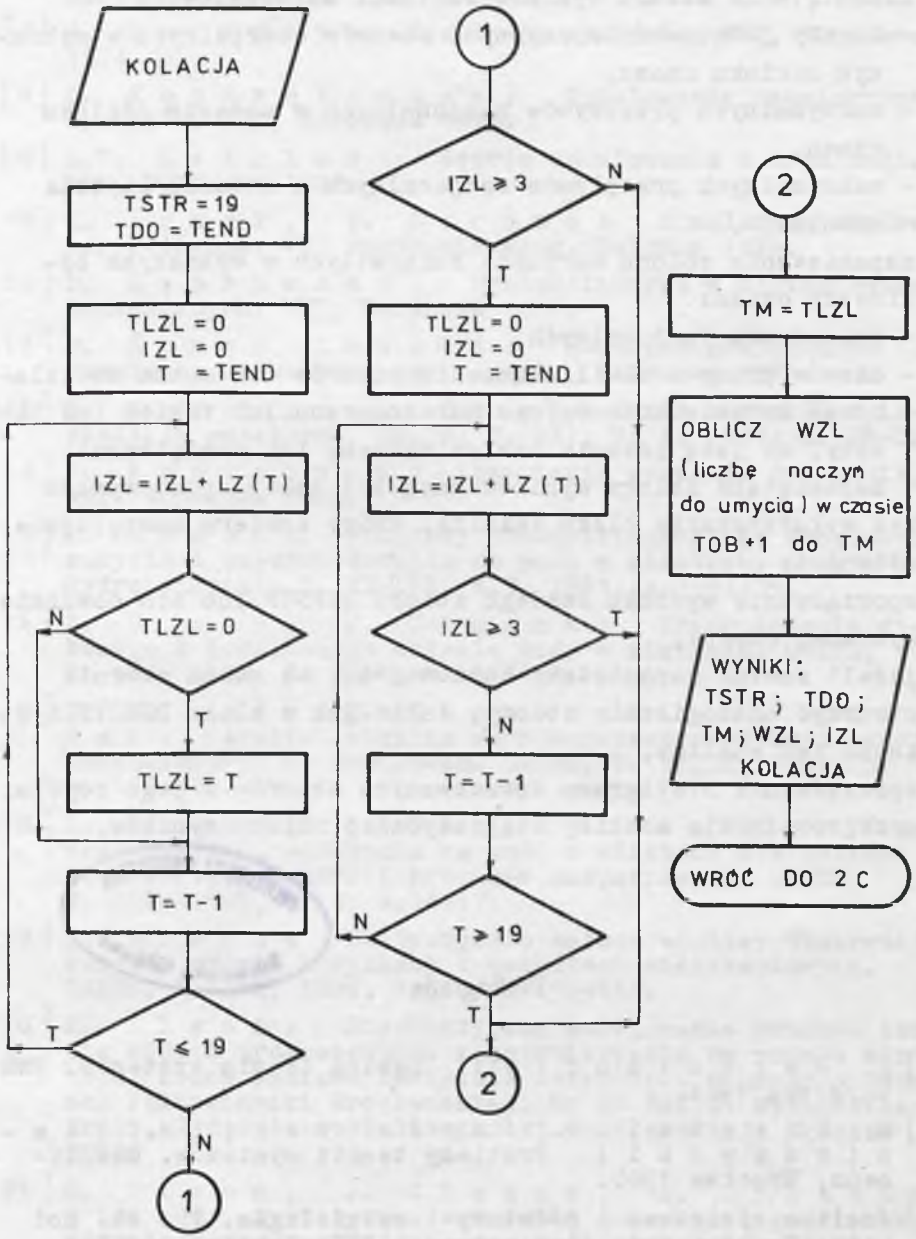

Rys.Z.5. Algorytm bloku LOSOZW służącego do modelowania harmonogramu pracy zaworów czerpalnych w mieszkaniu




Rys.Z.6. Podprogramy bloku LOSOZW: a) podprogram ŚNIADANIE, b) podprogram LOSOWANIE; oznaczenia: TSTR - czas początku pracy zaworów, TM - czas mycia naczyń, TDO - czas końca pracy zaworów, IZL - liczba włączeń zlewozmywaka, WZL - liczba naczyń do mycia




Rys.Z.7. Podprogram OBIAD bloku LOSOZW; oznaczenia: LZ(T) - liczba włączeń zaworu zlewozmywaka w godzinie t, pozostałe oznaczenia - jak poprzednio




Rys.Z.8. Podprogram KOLACJA bloku LOSOZW; oznaczenia - jak poprzednio

symulacji użytkowania instalacji. Standardowo przewidziano do tego blok o nazwie DEFSTF z następującymi możliwościami:

- zapamiętanie zbioru wyników wartości maksymalnych:
  - liczby jednocześnie czynnych zaworów czerpalnych w wybranym odcinku czasu,
  - maksymalnych przepływów racjonalnych w zadanym odcinku czasu,
  - maksymalnych przepływów racjonalnych w zadanej liczbie symulacji,
- zapamiętanie zbioru wartości całkowitych w wybranych odcinkach czasu:
  - przepływów racjonalnych,
  - czasów pracy i chwil włączenia zaworów (tu można zadeklarować zapamiętanie całego harmonogramu lub takiej ich liczby, na jaką pozwala pamięć maszyny lub zewnętrzna).

Zapamiętane zbiory wyników mogą być dalej opracowywane przez wykorzystanie bloku ANALIZA, który zawiera następujące możliwości:

- sporządzenie wydruku każdego zbioru DEFSTF lub ich dowolnie wybranej części,
- jeżeli został zapamiętany harmonogram, to można wtórnie utworzyć analogicznie zbiory, takie jak w bloku DEFSTF i dokonać ich analizy,
- sporządzenie histogramu opracowanych zbiorów i jego edycja,
- przeprowadzenie analizy statystycznej zbioru wyników.

POLITECHNIKA WARSZAWSKA Biblioteka Główna

## Bibliografia

[1] L. Bertalanffy: Ogólna teoria systemów. PWN, Warszawa 1984.

[2] S. Ziemba, W. Jarominek, R. Staniszewski: Problemy teorii systemów. Ossolineum, Wrocław 1980.

[3] Analiza systemowa - podstawy i metodologia. Pr. zb. pod red. W. Findeisena. PWN, Warszawa 1985.

[4] J. Gutenbaum: Modelowanie matematyczne systemów. PAN - IBS. PWN, Warszawa 1987.

[5] P. S i e n k i e w i c z : Teoria efektywności systemów. PTC, Ossolineum, Wrocław 1987.

[6] Projektoznawstwo. red. W. G a s p a r s k i . WNT, Warszawa 1988.

[7] G. G o f f r e y : Symulacja systemów. WNT, Warszawa 1974.

[8] L. K o n d r a t o w i c z : Modelowanie symulacyjne systemów. WNT, Warszawa 1978.

[9] B.P. Z e i g l e r : Teoria modelowania i symulacji. PWN, Warszawa 1984.

[10] M. F r a n k , P. L o r e n z : Simulation diskreter Prozesse. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1979.

[11] D. B o b r o w s k i : Probabilistyka w zastosowaniach technicznych. WNT, Warszawa 1986.

[12] W. K o r z e n i e w s k i : Poradnik projektanta budownictwa mieszkaniowego. Arkady, Warszawa 1981.

[13] M. G o r c z y c a : Stan wyposażenia mieszkań w instalacje sanitarne. GWiTS; T. LXI; Nr 4; 1987; s. 78÷82.

[14] J. K o n i e c z n y : Inżynieria systemów działania. WNT, Warszawa 1983.

[15] Z. S i w o ń : Podstawy probabilistycznego modelowania zużycia i zapotrzebowania na wodę w miastach. Archiwum Hydrotechniki. T. XXVIII, z.3, 1981, s.399÷435.

[16] Z. S i w o ń , J. C i ę ż a k : Prognozowanie dobowego i godzinowego zużycia wody w miastach. GWiTS, T. LVI, 1982, Nr 9-10, s.185÷188.

[17] Z. S i w o ń , S. B o g a c z e w i c z , J. C i ę ż a k : Analiza zużycia wody w reprezentatywnym osiedlu mieszkaniowym we Wrocławiu. GWiTS, T. LVIII, 1984, Nr 10, s. 168÷170.

[18] Z. S i w o ń , J. S t a n i s ł a w s k i : Prognozowanie zapotrzebowania na wodę w miastach dla potrzeb sterowania i kontroli procesów zaopatrzenia. GWiTS, T. LIX, 1985, Nr 1, s.14÷17.

[19] Z. S i w o ń : Statystyczna metoda analizy obserwacji zużycia wody w budynkach i osiedlach mieszkaniowych. GWiTS, T. LIX, 1985, Nr 7, s. 150÷154.

[20] Z. S i w o ń : Stochastyczne modelowanie procesu zużycia wody i prognozowanie zapotrzebowania na wodę w miastach. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Srodowiska Politechniki Wrocławskiej. Nr 56 Seria: Monografie Nr 25. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1986.

[21] Z. S i w o ń , J. C i ę ż a k , S. B o g a c z e w i c z : Syntetyczne wskaźniki dobowego i godzinowego zużycia wody w osiedlach mieszkaniowych we Wrocławiu. GWiTS, T. LXI, 1987, s.10÷13.

[22] B. Tkaczukowa: Zróżnicowanie przestrzenne wielkości i struktury zużycia wody w miastach polskich. Ref. w mat. Seminarium Zużycie wody wodociągowej - wielkość, zmienność, racjonalizacja, Białystok 1984, s.32÷43.

[23] Z. Suligowski: Analiza zużycia i zapotrzebowania na wodę w osiedlach mieszkaniowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej. Seria Budownictwo Wodne Nr 24, Gdańsk 1981.

[24] J. Janczewski, E.W. Mielcarzewicz: Struktura zużycia wody w wybranych budynkach mieszkalnych. Sprawozdanie z wykonania PR-7: 01.05.01. Wyk. IIOŚ Pol. Wrocł., maszynopis nie publ. Koordynator kierunku 01. Warszawa 1984.

[25] J. Janczewski, E.W. Mielcarzewicz: Opracowanie korelacyjnego modelu krótkotrwałego zużycia wody na cele spożywcze i higieniczne w osiedlu mieszkaniowym na użytek projektowania rozdzielczego systemu zaopatrzenia w wodę. Sprawozdanie z wykonania PR-7: 01.02.01. Wyk. IIOŚ Pol. Wrocł.,maszynopis nie publ. Koordynator kierunku 01. Warszawa 1985.

[26] R. Szetela: Modelowanie stochastyczne przepływów wód i ścieków. Ref. w mat. Sympozjum pt. Estymacja parametrów modelowania matematycznego zagadnień ochrony wód. Polski Oddział Międzynarodowego Stowarzyszenia Modelowania Ekologicznego - ISEM, Warszawa 1986, s.161÷199.

[27] Z.I. Cichełaszwili: Modelirowanije processa wodopotreblenija sistiem wodosnabżenija. Ref. w mat. Sympozjum pt. Zużycie wody wodociągowej - wielkość, zmienność, racjonalizacja. Białystok 1984, s.185÷198.

[28] W.P. Starinskij: Statisticzeskij metod predstawlenija wodopotreblenija naselennych punktow i ewo ispolzowanije pri projektirowaniji sistiem wodosnabżenija. Ref. w mat. jak wyżej, s.255÷263.

[29] J. Hummel, W. Nestler, H. Kittner, L. Luckner: Wasserbedarfprognose mit Hilfe von Signalmodellen. Ref. w mat. jak wyżej, s.266÷÷281.

[30] K. Gołębiewski, Z. Hałupka: Miarodajne natężenie przepływu wody w przewodach instalacji wody zimnej i ciepłej. COW, Nr 10, 1978, s.270÷275.

[31] J. Dolecki, J. Tabernacki: Ein Beitrag zur Bemessung von Bewasserungsanlagen in Wohnhaüsern. Gesundheits Ingenieur-Haustechnik Bauphysik--Umwelttechnik (109); 1988, H 3, s.114÷120.

[32] J. Tabernacki: TZL - Radziecka metoda ustalania przepływów obliczeniowych dla instalacji wodociągowych - rozwój 1962 do 1987, maszynopis nie publikowany, Warszawa 1988.

[33] R.B. Hunter: Methods of Estimating Loads in Plumbing System. U.S. Department of Commers. National Bureau of Standards Report BM65, Washington 1940.

[34] H. K a w a n : Messungen im Wasserrohrnetz und Belastungsmessungen an Anschlussleitungen. Sanitär- und Heizungstechnik. 1965, Nr 5, s.355÷359, Nr 6, s.433÷439.

[35] H. T e s s e n d o r f : Probleme des Spitzenbedarfs. GWF:, T. 113; 1972, H 8, s.365÷370.

[36] H.J. K n o b l a u c h , H.W. B a u e r : Realer Wasserverbrauch in Wohngebäuden. Sanitär- und Heizungstechnik. 1975, Nr 4, s.257÷260, Nr 5, s.309÷312.

[37] H. K ö p p l : Neue Erkentnissen zur Bemessung von Wasserzählern, Armaturen und Hausanschlussleitungen. GWF, T. 121, 1980, H5, s.220-224.

[38] H. F e u r i c h : Neue Berechnungsgrundlagen für Wasserversorgungsanlagen. Sanitär- und Heizungstechnik. 1985, Nr 9, s.576÷581.

[39] H. K ö p p l : Rohrdimensionen können halbiert werden. Sanitäre- und Heizungstechnik. 1985, Nr 10, s.677÷682, Nr 11, s.759÷762.

[40] T. P i t s c h : Etudes sur la consommation domestique et les pontes de consommation d'eau de boisson en Suisse. Aqua, Nr 1, 1980, s.7÷13.

[41] CSN 736655. Vypocet vnitrnich vodovodu. 1969.

[42] British Standard Code of Practice. CP310:1965. Water Supply BSI London. Revised text Dez. 1970.

[43] Leitsatze für die Erstellung von Wasserinstallationen. SVGW. Zürich Oktober 1976.

[44] TGL 10697/02. Gebäudeausrüstung zur Wasserversorgung. Bemessung von Rohrlettungen. Dezember 1980.

[45] Entwurf DIN 1988. Teil 3. Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen (TWRI). Ermittlung der Rohrdurchmesser. 02.1985.

[46] H. G r o t h e : Gleichzeitgkeitsfaktoren - ihr Einfluss auf die Materialökonomie bei der Bemessung der Bewässerungsanalgen von Gebäuden. Stadt - und Gebäudetechnik. 1980, H 6, s.182÷184.

[47] H. G r o t h e , L. G e n t s c h , I. S a u e r b r e y : Kommentar Be- und Entwasserung von Gebäden. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1984.

[48] J. J e ż o w i e c k i , A. T i u k a ł o : Modelowanie matematyczne poboru ciepłej wody użytkowej. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Cieplnych Politechniki Wrocławskiej. Nr 43, seria: Monografie Nr 25. Wyd. Politechniki Wrocł. 1984.

[49] A. T i u k a ł o : Symulacja systemów zaopatrzenia budynków w wodę - podstawy i zastosowania. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Cieplnych Politechniki Wrocławskiej Nr 49, seria: Monografie Nr 27. Wyd. Politechniki Wrocł. 1987.

[50] J. Zaleski: Stochastyczne modelowanie procesu poboru wody w instalacjach wewnętrznych i jego zastosowania. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Cieplnych Politechniki Wrocławskiej. Nr 48, seria: Monografie Nr 26. Wyd. Politechniki Wrocławskiej 1987.

[51] D. Goldbeck, B. Fieguth: Entwicklung des Wasserbedarfs der Bevölkerung bis zum Jahr 2010. WWT 1985, Nr 6, s.13÷15.

[52] F. Heil: Rationelle Verwendung von Trinkwasser. HLH, 1986, T. 37, Nr 6, s.281÷284.

[53] R. Stadtfeld: Wasserverbrauch der Haushalte. GWF-Wasser/Abwasser 1986, T. 127, Nr 4, s.159÷166.

[54] J. Mutschmann, F. Stimmelmayr: Taschenbudch der Wasserversorgung. (8 Auflage) Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller a. Co Stuttgart 1983.

[55] J. Bailey, R. Benoit, J. Dodson i inni: A study of flow reduction and treatment of waste water from Households F.W.Q.A. Cincinati. Ohio 1969.

[56] P.D. Hanney, C.L. Haman: Dual Water System. J.A.W.W.A. 1965, T. 57, s.1073÷1098.

[57] Wasserversorgungsbericht. E. Schmidt Verlag, Berlin 1982.

[58] A. Bröcker: Wasserversorgung- alternativ. Verlag C.F. Muller Karlsruhe 1984.

[59] H. Gundermann: Primary Influence Factors on domestic Water Demand in Europe. Aqua 1986, nr 2, s.81÷85.

[60] Uchwała RM nr 364 z dnia 20 sierpnia 1959 roku w sprawie zatwierdzenia normatywów projektowania dla budownictwa mieszkaniowego. MP nr 81 poz. 422 (wraz z późniejszymi zmianami).

[61] Zarządzenie Nr 10 ministra gospodarki terenowej i ochrony środowiska z dn. 29 stycznia 1974 roku w sprawie ustanowienia normatywu technicznego projektowania mieszkań i budynków mieszkalnych wielorodzinnych dla ludności nierolniczej. Dz. Bud. Nr 2 z 1974 r. poz. 3.

[62] J. Tabernacki, S. Sosnowski: Analiza porównawcza instalacji wodociągowych z materiałów tradycyjnych i miedzi dla budynków mieszkalnych 5÷11 kondygnacji. PR-5 11.01.03.4.2. Inst. Zaopatrzenia w Wodę i Bud. Wodn. Polit. Warsz. Maszynopis nie publikowany. Warszawa 1985.

[63] J. Tabernacki, S. Sosnowski, Z. Heidrich: Projektowania instalacji wodociągowych i kanalizacyjnych. Arkady, Warszawa 1985.

[64] Rozporządzenie Nr 62 ministra administracji, gospodarki terenowej i ochrony środowiska z dn. 3 lipca 1980 roku w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki. Dz. U. Nr 17 z dnia 14 sierpnia 1980 r.

[65] K. Gołębiewski, Z. Hałupka: Właściwości hydrauliczno-użytkowe krajowej armatury czerpalnej. Maszyn. nie publ. PR-5 02.13.03.02.7.1. COBRTI Instal. o. poznański, Poznań 1980.

[66] S. Sosnowski: Racjonalizacja zużycia wody przeznaczonej na cele bytowo-gospodarcze, możliwości techniczne i aspekty ekonomiczne. Dysertacja. Politechnika Warszawska. Warszawa 1980.

[67] J. Dominowski, Z. Jarząbek: Badanie warunków funkcjonowania gospodarstw domowych w wielorodzinnej zabudowie mieszkaniowej zrealizowanej po 1974 roku. PR-5 01.05.02.2. Instytut Kształtowania Środowiska, maszynopis nie publ. Warszawa 1978.

[68] Analiza budżetu czasu ludności Polski w latach 1976 i 1984. Studia i prace GUS, Nr 12, Wyd. GUS. Warszawa 1987.

[69] A. Siciński: Młodzi o roku 2000, Wyd. GUS, Warszawa 1975.

[70] T. Banaszczyk: Czas jako kategoria społeczna. Wstępne rozważania socjologiczne o czasie. PAN. Ossolineum, Wrocław 1981.

[71] H.D. Goldbeck, B. Fizguth: Erfahrungen und Perspektiven bei der Wasserbedarfsermittlung in zentralen Versorgungsgebicten durch Messungen. WWT 1980, Nr 10, s.336÷338.

[72] C. Grabarczyk, J. Ciesielski: O matematycznych podstawach metody Freemana graficznego rozwiązywania układów hydraulicznych. GWTS; 1978, T. LII, Nr 1, s.3÷5.

[73] J. Tabernacki: Hydrauliczne obliczanie i analiza sieci wodociągowych. Tematyczne zestawienie literatury 1970÷1988 (nie publ. zestaw. kart tematycznych). Warszawa 1988.

[74] S.W. Sumarokow: Matematiczeskoje modelirowanije sistiem wodosnabżenija. Izd. Nauka, Nowosybirsk 1983.

[75] N.N. Abramow: Tieoria i mietodika rasczieta sistiem podaczi i raspredielenija wody. Izd. Litieratury po Stroitielstwu; Moskwa 1972.

[76] N.N. Abramow i inni: Rasczieot wodoprowodnych sietiej. Strojizdat, Moskwa 1976.

[77] E.W. Mielcarzewicz: Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę. Arkady, Warszawa 1977.

[78] J.A. Ilin: Rasczieot nadiożnosti podaczi wody. Strojizdat, Moskwa 1987.

[79] C. Grabarczyk, E. Szymaczek: Podstawowe typy zadań hydraulicznego obliczania przewodów. GWTS, 1973, T. XLVII, 1973, Nr 2, s.52÷56.

[80] C. Grabarczyk, E. Szymaczek: Kryteria rozstrzygające strefę przepływu w rurociągach. GWTS, T. XLVII, 1973, Nr 3, s.86-89.

[81] C. Grabarczyk, E. Szymaczek: Wyznaczanie wartości współczynnika liniowego oporu hydraulicznego dla przejściowej strefy burzliwego przepływu w rurach chropowatych. GWTS, 1974, Nr 2, s.34÷48.

[82] C. Grabarczyk, E. Szymaczek: Algorytmy hydraulicznego obliczania przewodów. GWTS, 1974, T. XLVIII, Nr 3, s.82÷86.

[83] J. Ciesielski: Przegląd metod odwzorowywania geometrycznej budowy sieci wodociągowych z punktu widzenia zastosowań EMC. Archiwum Hydrotechniki, 1976, T.XXIII, Z. 2, s.279÷293.

[84] H. Bylka: Systematyzacja problemów decyzyjnych w projektowaniu układów transportujących wodę rurociągami. Archiwum Hydrotechniki, 1980, T. XXVII, Z. 3, s.451÷÷466.

[85] Rozporządzenie ministra spraw wewnętrznych z dnia 30.03.1973 w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia wodnego. Dz. Ustaw PRL Nr 11 z dn. 14.04.1973 poz.85.

[86] PN-71/B-02863. Sieć wodociągowa zewnętrzna przeciwpożarowa ze źródłem zasilania oraz rozmieszczenie hydrantów zewnętrznych. Wymagania.

[87] Notatniki pomiarowe i taśmy zapisów pomiarów przepływu, ciśnienia i zużycia energii elektrycznej zrealizowanych w latach 1983÷1985 w budynku przy ul. W.Skorochód-Majewskiego 36 i hydroforni osiedlowej przy ul. Bohdanowicza w Warszawie. Archiwum Zakładu Zaopatrzenia w Wodę i Oczyszczania Ścieków Instytutu Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego Politechniki Warszawskiej.

[88] S. Sosnowski, J. Tabernacki, B. Wiszniewska: Opracowanie metody wymiarowania instalacji wodociągowej dostosowywanej do nowoczesnych materiałów i armatury. CPBR 4.1.U6.05.05.1. Zadanie 1: Opracowanie podstaw metodycznych i wstępnej propozycji wymiarowania z metodą weryfikacji. Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego Politechniki Warszawskiej. Maszynopis nie publikowany. Warszawa 1988.

## МЕТОДИКА АНАЛИЗА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЯВЛЕНИЙ ТЕЧЕНИЯ И РАСХОДА ВОДЫ В ВОДОПРОВОДАХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

### Краткое содержание

В работе разрабатывается методика анализа возникновения явлений течения воды и её расхода в водопроводах многоквартирных жилых зданий, и использованием динамического симуляционного моделирования.

Целью наших рассуждений является разработка нового, неприменяемого до сих пор в исследованиях работы водопроводных сетей, научного инструмента - структурной компьютерной модели имитирующей работу внутреннего водопровода в заданные промежутки времени.

Водопроводные системы многоквартирных жилых зданий были выделены и представлены как функциональные системы являющиеся одновременно и частью здания и частью водопроводной городской системы. Были названы составные части внутреннего водопровода как самостоятельной системы и проведён анализ связей элементов системы и соотношений между внутренним и городским водопроводами. Это привело к определению пространства событий, в котором выделено как события:
- открывание водоразборных кранов жителями,
- подача воды по п роводам от источника до открытых кранов,
- подача воды из источника в водопровод под давлением гарантирующим воду в открытых кранах,
- вытекание воды в результате отказов элементов водопровода.

Явление течения воды - результат одновременного происхождения, по крайней мере, трёх первых событий.

Принимая вышеуказанное, разработано 4 модели: использования внутреннего водопровода, его гидравлического действия, динамики источника и возникновения потерь воды. Их можно использовать отдельно или совместно. Последнее возможно благодаря общим для всех моделей шкалам и динамике времени. Затем указывается на полную пригодиость разработанных моделей для анализа научных проблем касающихся виутренних водопроводов, т.е. для: исследования феноменологических явлений возникновения и способа потребления воды, течения воды в водопроводах, а также исследования критических условий работы водопровода. В связи с вышеуказанными задачами и использованием их результатов, даётся несколько примеров использования разработанных моделей, доказывая достижение поставленной в начале работы цели.

## METHODOLOGY OF WATER FLOW AND CONSUMPTION ANALYSIS IN WATER SUPPLY SYSTEMS OF APARTMENT BUILDINGS

### S u m m a r y

The subject of this paper was to develop the methodology of water flow and consumption analysis in water supply systems of multi-apartment buildings using dynamic simulation. The aim of the considerations was to create a new, not used before in research on water supply system functioning, research tool - a structural computer model of installation functioning simulation in given time intervals.

Water supply systems of multi-apartment buildings have been extracted from the reality as functional systems trated as a part of a building being at the same time a part of a water supply system. Components of the installation treated as a self-sufficient system have been defined, the analysis of structure elements coupling has been done, and relations between the installation and the outer water supply system have been examined. These have led to the definition of event space of installation functioning, in which the following events have been distinguished:
- opening of the tap valves by the users,
- water supply thorugh pipes from the source of water to the open tap valves,

- discharge of water from the source to the installation under pressure ensuring water supply to the open valves,
- discharge of water due to the malfunctioning of the installation elements which leas to the loss and waste of water.

The phenomenon of water flow consists at least of the first three events simultaneously.

According to the above, 4 models have been developed: installation use, its hydraulic functioning, water source dynamics and forming of water waste. They can be treated separately or as a whole. The last one is possible due to the scale and time dynamics, which are common for them all. Then there has been shown the suitability of the developed models for the analysis of research problems connected with installations, i.e.: phenomenological research on the process of forming and progress of water consumption, water flow in pipes, as well as research on defining boundary conditions for installation functioning. In connection with the selected research problems and implementation of their results several examples have been given of using the developed models, proving that the goals of the research formulated at the beginning of the paper have been achieved.

## Spis treści


1. Wprowadzenie ..... 6
   1.1. Wstęp ..... 6
   1.2. Przedmiot i cel pracy ..... 7
   1.3. Określenie wybranych pojęć ..... 8
   1.4. Zakres i metoda pracy ..... 9
2. Instalacja wodociągowa jako obiekt modelowania systemowego ..... 10
   2.1. Możliwość wyodrębnienia instalacji jako systemu ..... 10
   2.2. Struktura systemu i sposób modelowania ..... 11
   2.3. Kategoria modeli i sposoby identyfikacji ... 13
   2.4. Zasady weryfikacji ..... 15
   2.5. Wielkość modelu ..... 17
   2.6. Podsumowanie ..... 18
3. Modelowanie użytkowania instalacji wodociągowej . 19
   3.1. Dekompozycja problemu użytkowania instalacji i zużycia wody na zdarzenia jednostkowe .... 19
   3.2. Cel i zakres modelowania użytkowania instalacji ..... 25
   3.3. Dotychczasowe próby modelowania zużycia wody i prognozowania zapotrzebowania na wodę .... 26
   3.4. Identyfikacja zmiennych modelu ..... 32
      3.4.1. Wyodrębnienie zmiennych i metodyka ich identyfikacji ..... 32
      3.4.2. Identyfikacja zmiennych egzogenicznych 33
      3.4.3. Kwantyfikacja czasu i identyfikacja zmiennych endogenicznych ..... 46
   3.5. Algorytmizacja modelu ..... 49
      3.5.1. Scenariusz dynamicznej symulacji modelowania użytkowania instalacji .... 49
      3.5.2. Realizacja scenariusza ..... 49

3.6. Weryfikacja modelu ..... 51
3.6.1. Metoda i kryteria weryfikacji ..... 51
3.6.2. Analiza weryfikacyjna ..... 55
3.7. Podsumowanie ..... 63
4. Modelowanie działania hydraulicznego instalacji wodociągowej ..... 65
4.1. Ogólna koncepcja, cel i zakres modelowania . 65
4.2. Dotychczasowy stan wiedzy w zakresie modelowania pracy hydraulicznej instalacji wodociągowych ..... 67
4.3. Opis funkcjonalny modelu ..... 69
4.3.1. Założenia wyjściowe ..... 69
4.3.2. Równania opisujące działanie hydrauliczne instalacji ..... 69
4.4. Algorytm konstrukcji charakterystyki hydraulicznej instalacji wodociągowej ..... 73
4.4.1. Odwzorowanie instalacji wodociągowej. 73
4.4.2. Technika sumowania charakterystyk elementów ..... 75
4.4.3. Komputerowa realizacja analitycznego tworzenia charakterystyki hydraulicznej instalacji ..... 78
4.5. Weryfikacja modelu ..... 79
4.6. Podsumowanie ..... 88
5. Koncepcja i metodyka modelowania strat wody i stanu źródła wody ..... 89
5.1. Modelowanie strat wody ..... 89
5.1.1. Przedmiot i cel modelowania ..... 89
5.1.2. Pojęcie strat wody i mechanizmich powstawania ..... 90
5.1.3. Możliwości i zakres modelowania ..... 91
5.1.4. Koncepcja i metodyka modelowania strat wody ..... 93
5.2. Modelowanie stanu źródła wody dla instalacji 95
5.2.1. Przedmiot i cel modelowania ..... 95
5.2.2. Pojęcie stanu źródła wody ..... 96
5.2.3. Obserwacje zmienności ciśnienia wody jako podstawa modelowania ..... 97
5.2.4. Koncepcja i metodyka modelowania ciśnienia wody w punkcie zasilania instalacji ..... 99
5.3. Podsumowanie ..... 101

6. Ocena przydatności opracowanych modeli do analizy problemów występujących w instalacjach wodociągowych ..... 101
6.1. Wyodrębnienie problemów badawczych ..... 101
6.2. Analiza możliwości badania zjawiska zużycia wody ..... 103
6.3. Analiza możliwości badań nad działaniem instalacji wodociągowych ..... 108
6.4. Podsumowanie ..... 117
7. Podsumowanie i wnioski końcowe ..... 118
Załącznik ..... 123
Bibliografia ..... 138
Streszczenia ..... 144

Biblioteka Główna

C.
94267

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ
C.094267/01
400000000043993

Wypożyczalnia
dla Pracowników