

Badanie wskaźnika intensywności uszkodzeń przewodów sieci wodociągowej Lublina

Investigation of the failure intensity indicator in Lublin water supply pipelines

DARIUSZ KOWALSKI, BEATA KOWALSKA, ELŻBIETA KUZIOŁA

DOI 10.36119/15.2019.9.7

W pracy przedstawiono wyniki badań wskaźnika intensywności uszkodzeń przewodów sieci wodociągowej Lublina. Badania oparto o bazę danych MPWiK zawierającą wykaz awarii w latach 1997-2017. Analizie poddano przewody magistralne, rozdzielcze oraz przyłącza. W jej wyniku wskazano na spadkowy trend wskaźnika intensywności uszkodzeń wszystkich wyróżnionych rodzajów przewodów oraz na celowość prowadzonych przez przedsiębiorstwo działań modernizacyjnych. Uzyskane wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń są znacznie niższe od średnich w Polsce w odniesieniu do przewodów magistralnych i rozdzielczych oraz nieznacznie wyższe w przypadku przyłączy. Zakładając średnie czasy usuwania awarii przewodów sieciowych oszacowano wskaźniki gotowości wyróżnionych przewodów sieciowych. W artykule wykorzystano wskaźnik awaryjności pozwalający w sposób intuicyjny interpretować wartości wskaźnika gotowości.

Słowa kluczowe: niezawodność, wodociągi, wskaźnik intensywności uszkodzeń

The paper presents the results of the study of the failure intensity indicator in Lublin water supply pipelines. The research was based on the local water company database containing a list of failures in the 1997-2017 period. The main lines, distribution conduits and house connections pipes were analyzed. As a result, the downward trend in the failure intensity indicator of all analyzed types of pipes were detected. Similarly the purposefulness of modernization activities conducted by the water company was indicated. The obtained values of the failure intensity indicator are significantly lower than the average values in Poland in relation to main lines and conduits and slightly higher in the case of house connections. Assuming average times of network pipes troubleshooting, the probability of correct work of analyzed network pipes were estimated. The article also includes the failure rate that intuitively interprets the probability of correct work values.

Keywords: reliability, water supply, failure intensity indicator

Wstęp

Wodociągi należą do tzw. infrastruktury krytycznej, od poprawności funkcjonowania której zależy zarówno życie, jak i komfort odbiorców wody [1]. Jednym z czynników warunkujących poprawność funkcjonowania systemów wodociągowych jest niezawodność pracy sieci dystrybucji wody [2], a jej określenie pozwala oceniać ryzyko pogorszenia warunków dostawy wody [3,4]. Z drugiej strony pozwala także na przybliżoną ocenę stanu technicznego rurociągów i prawidłowości procesu ich eksploatacji [5-7].

Do najczęściej stosowanych metod oceny niezawodnościowej sieci wodociągowych należy wyznaczanie wartości tzw. wskaźnika intensywności uszkodzeń [8-10]. Wskaźnik ten jest określany jest jako prawdopodobieństwo warunkowe powstania uszkodzenia w przedziale czasu Δt (najczęściej jeden rok) pod

warunkiem, że na początku tego przedziału obiekt był sprawny.

Innym często wykorzystywanym wskaźnikiem opisującym niezawodność sieci wodociągowych jest bezwymiarowy współczynnik gotowości K_g . Określa on prawdopodobieństwo, że obiekt będzie w stanie sprawności w dowolnym momencie „t” w przyjętym modelu niezawodności [8-10].

Oba powyższe wskaźniki opisują niezawodność funkcjonowania sieci wodociągowych w sposób przybliżony [11]. Ich wartość zależy od wielu czynników, wśród których można wymienić materiał i wiek przewodów, warunki hydrauliczne ich pracy, warunki meteorologiczne i stosowane metody detekcji uszkodzeń, metody usuwania awarii, a nawet strukturę organizacyjną przedsiębiorstwa [12-14]. Z drugiej strony wskaźniki te pozwalają porównywać ze sobą różne wodociągi [15]. Porównanie takie może stanowić wskazówkę dla przedsiębiorstw wodocią-

gowych odnośnie prawidłowości prowadzonych działań eksploatacyjnych. Przy tego typu porównaniach należy jednak brać pod uwagę specyfikę funkcjonowania wodociągów. Sieci zlokalizowane na terenach szkód górniczych z całą pewnością będą miały więcej awarii niż leżące w stabilnym gruncie. Przed rozpoczęciem procesu porównawczego warto więc zaznajomić się z danymi literaturowymi opracowanymi dla różnych miast. Biorąc to pod uwagę celowe jest publikowanie wyników badań prowadzonych w różnych miastach i przedsiębiorstwach. Celem artykułu jest prezentacja wyników takich badań przeprowadzonych dla sieci wodociągowej Lublina, w oparciu o dane z lat 1997-2017.

Metodyka badań

Badanie niezawodności funkcjonowania sieci wodociągowej Lublina oparto

dr hab. inż. Dariusz Kowalski, prof. Pol. Lub. - ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-9929-1626>, dr. hab. inż. Beata Kowalska, prof. Pol. Lub. - ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-2489-1904>, mgr inż. Elżbieta Kuzioła – Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin; adres do korespondencji: d.kowalski@pollub.pl

o zaczerpnięty z bazy GIS wykaz jej awarii w latach 1998-2017, udostępniony przez MPWiK w Lublinie. Udostępnione dane zawierały datę zarejestrowania awarii, jej lokalizację oraz rodzaj przewodu (magistralny, rozdzielczy, przyłącze). Analizę niezawodnościową rozpoczęto od określenia liczby awarii zarejestrowanych w kolejnych latach, dla wytypowanych rodzajów przewodów.

W dalszej kolejności, dla każdego analizowanego roku i rodzaju przewodów, oszacowano wartość wskaźnika intensywności uszkodzeń. Dla obiektów liniowych, jakim są rurociągi sieci wodociągowej wartość tego wskaźnika obliczano ze wzoru [8-10]:

$$\lambda(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{L \cdot \Delta t} \quad (1)$$

gdzie:

- $n(\Delta t)$ – liczba uszkodzeń w przedziale czasu Δt ,
- L – długość badanych przewodów (rur) w przedziale czasu Δt (średnia długość w tym przedziale), [km],
- Δt – przyjmowany jako jeden rok.

W trakcie dalszych badań podjęto próbę oszacowania dla każdego roku i każdego rodzaju przewodów wartości wskaźnika gotowości K_g . W przypadku obiektów liniowych jakimi są rurociągi sieci wodociągowej, wskaźnik ten można obliczyć ze wzoru [8-10]:

$$K_g = \frac{1}{1 + \frac{\sum_i^n T_{O,i}}{\Delta t}} \quad (2)$$

gdzie:

- n – liczba uszkodzeń,
- $T_{O,i}$ – czas odnowy i -tego obiektu, godz.,
- Δt – badany okres czasu, godz.

Przy obliczaniu wskaźnika gotowości konieczne było określenie czasu odnowy dla każdej awarii. Czas odnowy obejmuje okres od wystąpienia awarii do jej usunięcia. Ze względu na braku szczegółowych danych, istniejąca baza GIS nie zawierała danych historycznych, przyjęto że w przypadku przewodów magistralnych średnia długość tego okresu odpowiadała całej zmianie brygady remontowej, zaś w przypadku przewodów rozdzielczych i magistralnych połowie tej zmiany. Założenia powyższe zostały uzgodnione z pracownikami pogotowia wodociągowego MPWiK. Należy jednak pamiętać, że wyniki uzyskane na bazie tak uśrednionych czasów odnowy muszą być traktowane jako przybliżone.

Obliczone wartości wskaźnika gotowości były bardzo wysokie, rzędu

0.92±0.98. Interpretacja takich wartości jest stosunkowo trudna. W związku z powyższym, do oceny niezawodności rozpatrywanej sieci przyjęto bardziej intuicyjny wskaźnik określający prawdopodobieństwo wystąpienia awarii P_{aw} . Wskaźnik ten obliczano na bazie wskaźnika gotowości, wykorzystując następujący wzór:

$$P_{aw} = (1 - K_g) \cdot 100\% \quad (3)$$

Podobnie jak w przypadku poprzednich wskaźników, jego wartość określono dla każdego roku i każdego rodzaju przewodów analizowanej sieci.

Obiekt badań

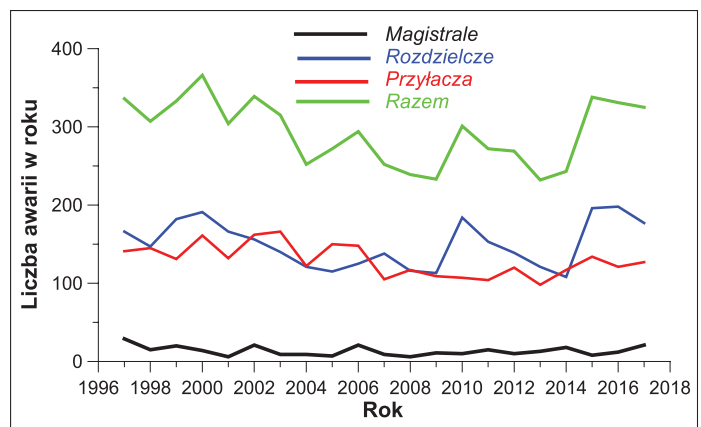
Analizowana sieć wodociągowa jest zarządzana przez Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Lublinie. Woda w całości pochodzi ze źródeł podziemnych. Długości przewodów, w tym magistralnych, rozdzielczych i przyłączy w latach 1997-2017 zestawiono w tabeli 1. W dalszych obliczeniach przyjęto, że przyrost długości poszczególnych rodzajów przewodów w okresach pomiędzy wyszczególnionymi latami był liniowy.

Tab. 1 Długości przewodów sieci wodociągowej miasta Lublin eksploatowanej przez MPWiK w latach 1997, 2010 i 2018

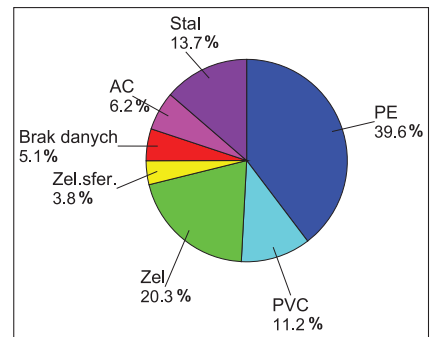
Tab. 1. Lengths of water supply network of the Lublin city, operated by local water company in 1997, 2010 and 2018

Długość przewodów, km	Rok		
	1997	2010	2018
Magistralnych	73,1	74,7	76,4
Rozdzielczych	495,7	552,2	573,6
Przyłączy wodociągowych	242,5	285,6	287,7
Razem	811,3	912,5	937,7

Rys. 2. Liczba awarii analizowanej sieci wodociągowej w latach 1997-2017
Fig. 2. Failures number of the analyzed water supply network in 1997-2017



Przewody sieci wodociągowej Lublina zbudowane są z różnych materiałów. Zestawienie ich rodzajów oraz udziałów procentowych ich długości przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Zestawienie rodzaju materiałów oraz ich udziału procentowego w długości miejskich przewodów sieciowych Lublina w roku 2018
Fig. 1. List of the type of materials and their percentage rate in the length of Lublin's city network conduits in 2018

Wyniki badań

Zestawienie liczby awarii rozpatrywanej sieci wodociągowej, w poszczególnych latach analizowanego okresu czasu przedstawiono na rys. 2.

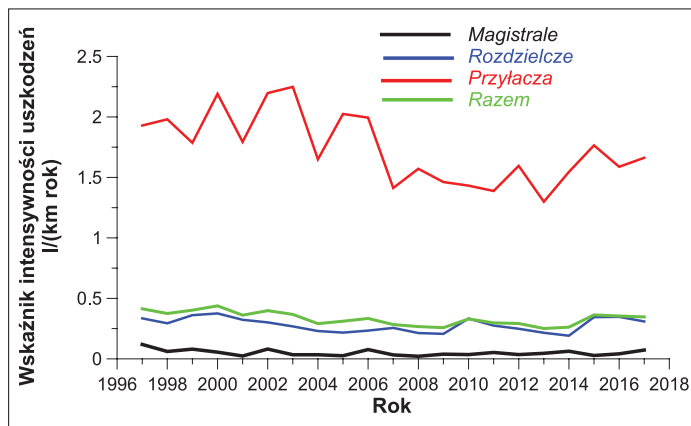
Analizując dane przedstawione na rysunku 2 można stwierdzić, że liczba wszystkich awarii w całym systemie Lublina miała tendencję spadkową w latach 1997-2013. W dalszych latach zauważalny jest niewielki trend wzrostowy. Podobny trend wykazuje liczba awarii dla przewodów rozdzielczych i przyłączy wodociągowych. Liczba awarii przewodów magistralnych utrzymuje się w badanym okresie na zbliżonym poziomie. Warto zwrócić uwagę na fakt, iż liczba awarii przewodów rozdzielczych i przyłączy wodociągowych znajduje się na zbliżonym poziomie.

Zakres wahań liczby awarii w odniesieniu do wszystkich analizowanych rodzajów przewodów jest stosunkowo niewielki. Świadczy to o dość dobrym stanie

technicznym przewodów sieci wodociągowej Lublina jako całości. Warto jednak pamiętać, że dopiero liczba awarii odniesiona do długości przewodów (wskaźnik intensywności uszkodzeń) pozwoli na

uwzględnienie stałej rozbudowy sieci i tym samym odpowie bardziej precyzyjnie na pytanie o stan techniczny jej przewodów.

Obliczone wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń analizowanej sieci zestawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Wskaźnik intensywności uszkodzeń analizowanej sieci wodociągowej w latach 1997-2017

Fig. 3. Values of failure intensity indicator of analyzed water Network in 1997-2017 year

Wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń nie zmieniały się znacząco w poszczególnych latach. Podobnie, jak w przypadku liczby awarii dają się tu zauważyć trendy spadkowy w latach 1997-2013 i niewielki wzrostowy później. Odmienne niż w przypadku liczby uszkodzeń wartość wskaźnika intensywności jest znacznie wyższa dla przyłączy niż przewodów rozdzielczych. Wynika to z odniesienia liczby awarii do długości przewodów. Przyłącza mają niemal dwukrotnie mniejszą długość niż przewody rozdzielcze. Średnie dla całego okresu badawczego wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń zestawiono w tabeli 2. W tabeli tej zawarto także wartości średnie dla całego kraju podawane przez Kwietniewskiego i Raka [16] oraz Izbę Gospodarczą Wodociągów Polskie [za 17]

Tab. 2. Porównanie średnich wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń dla Lublina 1997-2017 oraz uśrednionych danych dla Polski

Tab. 2. Comparison of average values of the failure intensity index for Lublin 1997-2017 and average data for Poland

	Wskaźnik intensywności uszkodzeń, -			
	Magistrale	Rozdzielcze	Przyłącza	Ogółem
Lublin	0,050	0,280	1,739	0,333
Polska [16]	0,386	0,902	1,657	1,060
Polska – bez przyłączy [za 17]	-	-	-	0,400

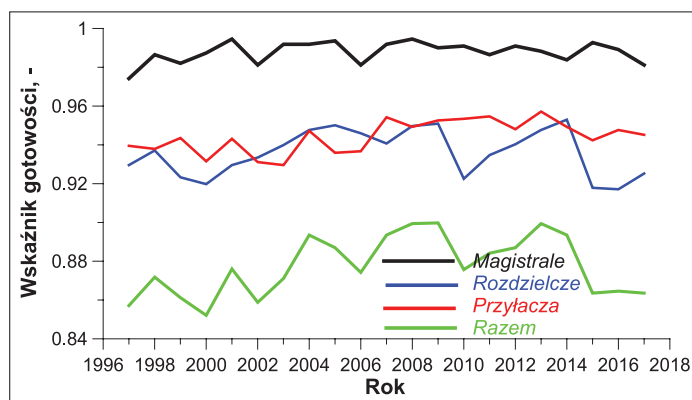
Obliczone wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń dla sieci wodociągowej w Lublinie są znacząco niższe od średnich dla Polski w odniesieniu do przewodów magistralnych, rozdzielczych oraz wszystkich przewodów ogółem. Jedynie wskaźnik obliczony dla przyłączy okazał się nieznacznie (ok. 5%) wyższy niż średni w naszym kraju. Tak niskie wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń sugerują zarówno dobry stan techniczny przewo-

dów i armatury sieciowej, jak również o właściwym procesie ich eksploatacji.

W dalszej kolejności wyznaczono wartości wskaźnika gotowości dla analizowanej sieci, a uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 4.

Rys. 4. Wskaźnik gotowości analizowanej sieci wodociągowej w latach 1997-2017

Fig. 4. Probability of functional efficiency indicator of the analyzed water supply network in 1997-2017



Przedstawione na powyższym wykresie wartości wskaźnika gotowości odzwierciedlają trendy odwrotne do wskaźnika intensywności uszkodzeń. Im niższa wartość tego ostatniego tym większe prawdopodobieństwo sprawności danych prze-

Korzystając ze wzoru (3) w końcowej części analiz niezawodnościowych wyliczono wartości wskaźnika prawdopodobieństwa uszkodzenia danego przewodów P_{aw} . Ich wartości średnie dla całego analizowanego okresu wyniosły: magistrale 1,2%, przewody rozdzielcze 6,4%, przyłącza 5,6% oraz sieć jako całość 12,3%. Biorąc pod uwagę rozległość analizowanej sieci, jej zróżnicowanie materiałowe i wiekowe wyniki powyższe należy uznać za bardzo dobre.

Wnioski

Biorąc pod uwagę przedstawione w niniejszym artykule wyniki analiz należy stwierdzić, że:

- Badana sieć cechuje się stosunkowo wysoką niezawodnością w analizowanym okresie czasu,

- Uzyskane wartości liczby uszkodzeń ulegają nieznacznym zmianom, pomimo stałej rozbudowy sieci.
- Obliczone wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w przypadku przewodów magistralnych i rozdzielczych są znacząco niższe od wartości średnich w naszym kraju, zaś w przypadku przyłączy obliczony wskaźnik jest nieznacznie wyższy.
- Obliczone wartości wskaźnika gotowości są wysokie. Trudno jednak je zinterpretować ze względu na brak możliwości porównania z innymi wodociągami.
- Wyznaczone prawdopodobieństwo awarii przewodów sieci wodociągowej jest niskie. Przy tak dużej długości przewodów sieciowych wynik ten należy uznać za bardzo dobry.
- Wszystkie powyższe analizy wskazują na dobry stan techniczny analizowanej sieci.
- Zauważone niewielkie trendy wzrostowe wskaźnika intensywności uszkodzeń od roku 2014 wskazują, że konieczne jest dalsze monitorowanie

niezawodnościowe analizowanej sieci. Pozwoli to na wychwycenie właściwego momentu do zintensyfikowania stosownych działań naprawczych.

LITERATURA

- [1] Kwietniewski M. Rozwój infrastruktury krytycznej sieci wodociągowej w Polsce w latach 1990 – 2015. Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna Infrastruktura Techniczna Miast, Beskid Śląski 24 – 26 X 2018.
- [2] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., Studziński J.: Bezpieczeństwo systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę., Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, 2013.
- [3] Todinov MT. Reliability and risk models: setting reliability requirements. Chichester: John Wiley & Sons, 2005.
- [4] Magelky, R. Assessing the Risk of Water Utility Pipeline Failures Using Spatial Risk Analysis. Pipelines ASCE, San Diego, Ca. 2009.
- [5] Piegdoń I. Tchórzewska-Cieślak B. Możliwość wykorzystania danych o awariach sieci wodociągowej w procesie planowania jej remontu 2017, Journal of Civil Engineering, Environment And Architecture, 2017, 34/64, 197-208.
- [6] Zimoch I. Analiza niezawodnościowa jako narzędzie optymalizacji warunków techniczno-technologicznego funkcjonowania stacji uzdatniania wody. Gaz Woda i Technika Sanitarna 2006, 11, 34-39.
- [7] Zimoch I., Czopik Ł. Analiza awaryjności sieci wodociągowej jako element zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie wodociągowym. Instal, 2018, 5, 49-53.
- [8] Wieczysty A. Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych Cz. I i II, Teoria niezawodności i jej zastosowania, Skrypt Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.
- [9] Wieczysty A. Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Kraków 2001.
- [10] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczekiewicz H. Niezawodność wodociągów i kanalizacji. Arkady, Warszawa 1993.
- [11] Rak J., Kwietniewski M., Kowalski D., Tchórzewska-Cieślak B., Zimoch I., Bajaj J., Iwanek R., Miszta-Kruk K., Studziński A., Boryczko K., Pietrucha-Urbanik K., Piegdoń I.: Metody oceny niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody do odbiorców. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2013.
- [12] Kwietniewski M., Miszta-Kruk K., Piotrowska A. Wpływ temperatury wody w sieci wodociągowej na jej awaryjność w świetle eksploatacyjnych badań niezawodności. Czasopismo Techniczne 1 – Ś. 2011, 108, 113-129.
- [13] Tchórzewska-Cieślak B., Piegdoń I.: Analiza awaryjności sieci wodociągowej miasta Sanoka z uwzględnieniem start wody. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2012, 10, 450-452.
- [14] Zimoch I. Analiza niezawodności w procesie monitoringu sieci wodociągowej. Gaz Woda i Technika Sanitarna, 2008, 9, 368-370.
- [15] Dąbrowski W. Porównaj swój wodociąg z innymi s. Materiały konferencyjne „Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych i kanalizacyjnych. Wyd. Politechnika Śląska 2006, vol 6, 53-66.
- [16] Kwietniewski M., Rak J., Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce. Monografie Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa 2010.
- [17] Stańczyk J. Detekcja stanów pracy sieci wodociągowej z wykorzystaniem cyfrowego przetwarzania sygnałów. Praca doktorska. Promotor Burszta-Adamkiewicz E. Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska, 2019 .

ELEKTRYCZNE AKUMULACYJNE OGRZEWANIE POMIESZCZEŃ

KRZYSZTOF T. JANUSZKIEWICZ

Przedstawione opracowanie jest pierwszym w polskim piśmiennictwie studium poświęconym temu tematowi i ma na celu wypełnienie istniejącej luki oraz właściwe przedstawienie zagadnień związanych z budową, charakterystycznymi właściwościami urządzeń, jak również projektowaniem elektrycznego ogrzewania akumulacyjnego.

Książka przeznaczona jest dla inżynierów i techników zajmujących się zagadnieniami ogrzewania oraz dla inwestorów i projektantów ogrzewania w budownictwie mieszkaniowym jedno- i wielorodzinnym, a także w pomieszczeniach przemysłowych, zabytkowych itp. Może być również wykorzystywana przez studentów wyższych szkół technicznych wydziałów elektrycznych, budownictwa i architektury.

Spis treści

- Przedmowa
- 1. Wstęp
- 2. Warunki komfortu cieplnego i wymiana ciepła w ogrzewanych pomieszczeniach
- 3. Obliczanie mocy elektrycznych instalacji ogrzewczych
- 4. Wybrane zagadnienia wymiany ciepła
- 5. Elektryczne ogrzewacze akumulacyjne wolno stojące
- 6. Elektryczne akumulacyjne ogrzewanie podłogowe
- 7. Centralne ogrzewanie akumulacyjne
- 8. Cykle pracy urządzeń akumulacyjnych
- 9. Automatyzacja instalacji ogrzewczych
- 10. Badania ogrzewaczy akumulacyjnych wolno stojących



Sprzedaż prowadzi:
Ośrodek Informacji
„Technika instalacyjna w budownictwie”
02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14
tel./fax (22) 843 77 71
wydawnictwo@informacjainstal.com.pl