

POLITECHNIKA POZNAŃSKA
WYDZIAŁ INFORMATYKI
INSTYTUT AUTOMATYKI I ROBOTYKI



PRACA INŻYNIERSKA

Monitorowanie sieci wodociągowej pod kątem bezpieczeństwa wody

Piotr Chrzanowski (127038)

Sławomir Dudziak (122385)

Jakub Kaczmarek (127148)

Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Urbaniak

Opiekun: mgr inż. Ariel Antonowicz

Poznań 2019 r.

Niniejszą pracę pragniemy zadedykować naszym wspaniałym Rodzicom, którzy od zawsze, a szczególnie podczas okresu studiów służyli nam dobrą radą i pomocną dłońią.

Pragniemy złożyć serdeczne podziękowania na ręce Promotora Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Urbaniaka za patronat nad pracą inżynierską oraz poświęcony czas.

Podziękowania za zaangażowanie, wsparcie oraz nieocenioną pomoc dla Opiekuna Pana mgr inż. Ariela Antonowicza.

Spis treści

| | |
|--|-----------|
| Streszczenie..... | 6 |
| Wstęp..... | 7 |
| 1.1. Cel i zakres pracy..... | 8 |
| 1.2. Podział zadań..... | 9 |
| 2. Proces dystrybucji wody | 10 |
| 2.1. Budowa sieci wodociągowej | 13 |
| 2.2. Rodzaje sieci wodociągowej..... | 19 |
| 3.2.1 Sieć rozgałęzieniowa | 21 |
| 3.2.2 Sieć pierścieniowa | 22 |
| 3.2.3 Sieć mieszana | 23 |
| 2.3. Wymagania w sieci wodociągowej | 24 |
| 3. Sposoby monitorowania i nadzorowania sieci wodociągowych..... | 28 |
| 3.1. Zasady projektowania systemu monitorowania | 33 |
| 3.2. Ochrona sieci przed zatruciem..... | 37 |
| 4. Wymagania programowe i sprzętowe..... | 39 |
| 4.1. Wybór platformy sprzętowej | 39 |
| 4.2. Technologie i języki programowania | 39 |
| 4.3. Technologie bazodanowe | 42 |
| 5. Platforma sprzętowa Raspberry Pi 3..... | 44 |
| 5.1. Konfiguracja platformy sprzętowej..... | 44 |
| 5.2. Instalacja serwera webowego | 45 |
| 5.3. Konfiguracja sieciowa..... | 46 |
| 6. Algorytm monitorowania zatrucia w sieci wodociągowej | 47 |
| 6.1. Implementacja algorytmu monitorowania | 48 |
| 6.1.1 Funkcja detection..... | 49 |
| 6.1.2 Funkcja close..... | 52 |
| 6.1.3 Funkcja open | 53 |
| 6.2. Baza danych | 54 |
| 6.3. Testowanie | 57 |
| 7. Monitorowanie procesu z poziomu aplikacji internetowej..... | 58 |
| 7.1. Technologie i języki programowania | 59 |
| 7.1.1 Bootstrap..... | 59 |
| 7.1.2 Flask | 60 |
| 7.2. Sposób komunikacji z platformą sprzętową | 62 |
| 7.3. Interfejs strony internetowej | 63 |
| 7.4. Obsługa aplikacji internetowej | 64 |
| 8. Podsumowanie i wnioski | 65 |
| Bibliografia..... | 68 |
| Załączniki | 71 |
| Załącznik A – ogólny schemat blokowy wykrywania wycieku | 71 |
| Załącznik B – schemat blokowy ogólnego algorytmu wykrywania zatrucia. | 72 |
| Załącznik C – schemat blokowy algorytmu wykrywania wycieku | 73 |

| | |
|--|----|
| Załącznik D – schematy blokowe algorytmu wykrywania zatrucia. | 74 |
| Załącznik E – schemat algorytmu zamykania zasuw znajdujących się na sieci wodociągowej. | 78 |

Streszczenie

Engineering work entitled "Monitoring of water network in terms of water safety" is an example of synergy of three scientific disciplines: automation, environmental engineering and informatics. Only appropriate integration of them allowed achieving of the assumed concept, which was the development and implementation of a safety monitoring algorithm in the water supply network. The operation of the algorithm was tested on selected models of networks using Python and the WNTR library. In addition, as a web server was used Raspberry Pi hardware platform. On this platform was implemented an internet application enabling presentation of results and remote start of the simulation.

Praca inżynierska pt. "Monitorowanie sieci wodociągowej pod kątem bezpieczeństwa wody" jest przykładem synergii trzech różnych dyscyplin naukowych: automatyki, inżynierii środowiska oraz informatyki. Jedynie ich odpowiednie zintegrowanie umożliwiło osiągnięcie założonej koncepcji, tj. opracowanie i implementacja algorytmu monitorowania bezpieczeństwa w sieci wodociągowej. Działanie algorytmu przetestowano na wybranych modelach sieci z wykorzystaniem języka Python i biblioteki WNTR. Ponadto jako serwer webowy wykorzystano platformę sprzętową Raspberry Pi. Za jego pośrednictwem zrealizowano aplikację internetową umożliwiającą prezentację wyników oraz zdalne uruchomienie symulacji.

Wstęp

Nieustanny rozwój technologii oraz wzrost wrażliwości społeczeństwa w dziedzinach ochrony środowiska oraz bezpieczeństwa z nim związanego w znacznym stopniu przyczyniły się do wzrostu popularności zagadnienia zabezpieczenia źródeł wody pitnej znajdujących się na terenie poszczególnych państw. Dziedzina ta dotyczy zarówno słodkich wód powierzchniowych jak i podziemnych. W ostatnim czasie zauważyć można znaczny wzrost zainteresowania się procesami, które zachodzą od momentu pobrania wody ze źródła do chwili jej dostarczenia do odbiorcy. Zadanie to realizowane jest przez sieć wodociągową.

Model sieci wodociągowej składa się z wielu elementów tworzących tą infrastrukturę. Pobrana ze źródła woda przed trafieniem do sieci wodociągowej musi zostać poddana procesowi uzdatniania, który odbywa się w stacji uzdatniania wody. Sieć wodociągowa odpowiedzialna jest za transport znajdującego się w niej medium dlatego bardzo istotne jest jej stałe monitorowanie w celu zapewnienia właściwej wydajności oraz ciągłości dostawy wody.

Zatrucie wody w sieci wodociągowej może być bardzo niebezpieczne dla wszystkich jej odbiorców dlatego temat monitorowania sieci wodociągowej pod kątem bezpieczeństwa wody staje się coraz bardziej doceniany. Zauważyć można pozytywny trend unowocześniania oraz rozbudowy systemów, które monitorują pracę sieci. Jedynie odpowiednio szybkie wykrycie nieprawidłowości w sieci wodociągowej oraz właściwa reakcja ekip naprawczych umożliwia zniwelowanie poziomu zagrożenia zatrucia wody w tego typu obiekcie.

Temat monitorowania sieci wodociągowej pod kątem bezpieczeństwa wody jest bardzo ciekawy oraz zawiera w sobie wiele dziedzin naukowych takich jak informatyka, automatyka, inżynieria środowiska oraz budownictwo, które muszą ze sobą współpracować w celu stworzenia bezpiecznej infrastruktury, w tym właściwy system monitorowania. Stały rozwój technologiczny w tej dziedzinie oraz duża otwartość zagadnienia pozostawiają spore możliwości osobom odpowiadającym za tworzenie większej liczby rozwiązań, a następnie na podstawie zebranych informacji wybór najlepszego z nich.

1.1. Cel i zakres pracy

Przed przystąpieniem do wykonywania pracy konieczne było zapoznanie się z dziedziną dotyczącą zagadnienia monitorowania sieci wodociągowej. Głównym celem pracy było opracowanie oraz zaimplementowanie algorytmu umożliwiającego monitorowanie sieci wodociągowej pod kątem bezpieczeństwa wody. Zakres pracy obowiązywał:

1. Opracowanie modelu i realizacja bazy danych.
2. Opracowanie algorytmu gromadzenia danych na temat stanu sieci wodociągowej oraz procesu dystrybucji wody z wykorzystaniem modelu symulacyjnego.
3. Opracowanie i implementacja systemu wizualizacji stanu procesu w postaci aplikacji internetowej.
4. Opracowanie i realizacja systemu analizy danych, raportowania, wykrywania i analizy sytuacji awaryjnych i nietypowych.
5. Weryfikacja opracowanego systemu.

Rozdział 1 zawiera informacje dotyczące celu pracy, podziału oraz zakresu zadań, które musiały zostać zrealizowane.

Rozdział 2 zawiera teoretyczny opis zagadnienia. Zawarto w nim informacje dotyczące infrastruktury sieci wodociągowej, procesów uzdatniania oraz dystrybucji wody. Opisano również informację o systemach wykorzystywanych do monitorowania, nadzorowania poprawnej pracy sieci oraz bezpieczeństwa znajdującego się w niej medium.

W następnym rozdziale zostały opisane dokonane wybory w zakresie oprogramowania i platformy sprzętowej, na której wszystko zostało oparte. W rozdziale tym zawarto informacje o wykorzystanym silniku bazy danych oraz o wybranym języku programowania.

W Rozdziale 4 pracy opisany został opracowany algorytm monitorowania bezpieczeństwa w sieci wodociągowej.

Rozdziały 5 i 6 zawierają informacje o opracowanej i zrealizowanej bazie danych. W rozdziale zawarto również informacje na temat strony internetowej umożliwiającej wyświetlanie danych z symulacji oraz zdalne jej uruchomienie.

W Rozdziale 7 znajdują się wnioski na temat wykonanej pracy oraz informacje o możliwościach jej rozbudowy.

1.2. Podział zadań

W Tabeli 1.1 przedstawiono podział prac.

Tabela 1.1. Podział prac [opracowanie własne].

| Imię i nazwisko | Zadanie |
|------------------------------|---|
| Piotr Chrzanowski | <ul style="list-style-type: none"> • opracowanie i realizacja systemu analizy danych, raportowania, wykrywania i analizy sytuacji awaryjnych i nietypowych; • opracowanie algorytmu gromadzenia danych na temat stanu sieci wodociągowej oraz procesu dystrybucji wody z wykorzystaniem modelu symulacyjnego; |
| Sławomir Dudziak | <ul style="list-style-type: none"> • opracowanie i implementacja systemu wizualizacji stanu procesu w postaci aplikacji internetowej. • weryfikacja poprawności działania opracowanego systemu |
| Jakub Kaczmarek | <ul style="list-style-type: none"> • opracowanie modelu i realizacja bazy danych. • weryfikacja poprawności działania opracowanego systemu |

2. Proces dystrybucji wody

Zasoby wodne na naszej planecie zajmują 72 procent jej powierzchni, lecz w większości są to zbiorniki wód słonych. Wody słodkie to jedynie około 3.5 procent wszystkich wód na Ziemi. Największą grupę wód słodkich stanowią lodowce i śniegi, które mogą być wykorzystane przez człowieka jedynie w niewielu miejscach na naszej planecie. Najczęstszymi źródłami wody słodkiej wykorzystywanymi przez człowieka są wody podziemne, rzeki oraz jeziora.

Człowiek nie jest w stanie przeżyć bez wody, dlatego pierwsi ludzie osiedlali się zazwyczaj w pobliżu zbiorników wód słodkich. Z czasem liczba ludzi na świecie zwiększała się, dlatego osadnicy zaczęli się przemieszczać coraz dalej od punktów poboru wody. Doprowadziło to do konieczności dłuższych wypraw po wodę, którą następnie należało jeszcze odpowiednio zabezpieczyć oraz zmagazynować. Nieprawidłowe przechowywanie wody powodowało powstawanie wielu ognisk bakterii, które prowadziły do rozprzestrzeniania się wielu chorób wśród społeczeństwa. Ciecz ta była również niezbędna w rozwoju rolnictwa, dlatego pola i uprawy również znajdowały się w pobliżu źródeł wody lub musiały być odpowiednio nawadniane przez człowieka.

Rozwój cywilizacji znacznie poprawił możliwości transportu wody na większe odległości, przełomem w tej dziedzinie było wybudowanie przez Rzymian akweduktów. Akweduktem (łac. aquaeductus) czyli dosłownie ciągiem wodnym określić możemy kanał wodociągowy, rurociąg podziemny lub nadziemny, który odpowiada za doprowadzanie wody przy wykorzystaniu siły ciężenia ziemskiego z odległych źródeł do miast lub miejsc użytku publicznego takich jak fontanny oraz łącznie, z których mieszkańcy mogli czerpać wodę [15, 16].

Największym problemem przy budowie akweduktów było zachowanie odpowiedniego spadku na kilometr czyli utrzymaniu pewnej stałej wartości nachylenia konstrukcji na całej jej długości. Umożliwiało to spokojny spływ wody dzięki wykorzystaniu siły grawitacji. Konstrukcje te mimo, że znane były już wcześniej to upowszechnione zostały dopiero przez Rzymian w II wieku n.e. Rzym w tamtych czasach liczył około miliona mieszkańców i był zaopatrywany w wodę przez 11 akweduktów, których łączna długość wynosiła około 420 km. Większa część tych konstrukcji przebiegała pod ziemią, jedynie 47 km przebiegało nad powierzchnią. W akweduktach tworzonych przez Rzymian woda prowadzona była zazwyczaj w rurach z terakoty lub z ołowiu. Nad ziemią przewody wodne położone były w specjalnej dwu lub trzykondygnacyjnej konstrukcji ceglanej. To właśnie z tą konstrukcją akwedukty kojarzą nam się przede wszystkim. Podziemna budowa wodociągu miała na celu nie

tylko ułatwienie pracy budowniczym, lecz pełniła przede wszystkim funkcję obronną zasobów wodnych przed wojskami nieprzyjaciela [16]. Na Rys. 2.1 przedstawiono Akwedukt Pont du Gard.



Rys. 2.1. Akwedukt Pont du Gard [16].

Przed budową akweduktów źródła wody były badane pod względem czystości, na podstawie obserwacji przez uczonych, które dotyczyły między innymi zwierząt zaspokajających pragnienie z danego ujęcia. Dopływ świeżej wody poza opisanymi wyżej czynnikami zwiększającymi morale oraz poziom zdrowia mieszkańców, miał również pozytywny wpływ na ich psychikę. Ludzie czuli się bezpiecznie, ponieważ wiedzieli, że władza o nich myśli [16].

Niestety po doprowadzeniu wody do miasta pojawiły się kolejne problemy w dziedzinie jej magazynowania oraz uzdatniania, ponieważ źródła mogły być skażone chemicznie lub biologicznie. Podstawowym sposobem na uzdatnienie wody było poddanie jej obróbce termicznej. Już 500 lat p.n.e. była to powszechna praktyka wykorzystywana przez człowieka. Niestety obróbka termiczna nie eliminowała wszystkich możliwych zanieczyszczeń, które mogły znajdować się w wodzie. Dodatkowo rozwój przemysłu i związane z nim odpady oraz gazy, które wydzielają się do atmosfery powodowały opady kwaśnego deszczu, który dodatkowo doprowadzał do zanieczyszczenia odkrytych źródeł wody takich jak rzeki czy jeziora. Przełomem w uzdatnianiu, oczyszczaniu oraz pozyskiwaniu wody był wiek XVII n.e., kiedy to zaczęto stosować metody takie jak destylacja, filtracja oraz wszelkiego rodzaju sączi,

które pomagały w procesie uzdatniania wody. W wieku XVII n.e. we Francji wynaleziono oraz opatentowano specjalne filtry, które umożliwiały uzdatnienie wód gruntowych przy wykorzystaniu gąbek i piasków różnego typu. Wiek XIX n.e. przyniósł kolejne rozwiązania umożliwiające uzyskiwanie czystej wody. Francuzi na skutek rozwoju przemysłu zmuszeni byli lepiej zadbać o jakość i czystość wody, z której korzystali dlatego zaczęli tworzyć ogromne plantacje roślinne umożliwiające filtrację wody. Wraz ze wzrostem liczby ludności oraz rozwojem cywilizacji filtracja wody stawała się coraz bardziej istotnym tematem, ponieważ w cieczy tej występowały bakterie cholery, tyfusu oraz wiele innych wywołujących poważne choroby. Wiek XIX n.e. przyniósł innowacyjne rozwiązania filtracyjne również w Ameryce, gdzie podobnie jak we Francji stosowano specjalne folie wypełnione ziemią wraz ze związkami organicznymi. Plantacje te obsadzone zostawały specjalnymi roślinami wodnobiennymi. Kolejny przełom w dziedzinie uzdatniania wody nadszedł w wieku XX, ponieważ zaczęto stosować substancje chemiczne takie jak chlor, który stosowany jest do dnia dzisiejszego. Duże znaczenie miało również zastosowanie powyższych metod w celu uzdatniania wody, która następnie trafiała do sieci wodociągowej [17].

Siecią wodociągową nazywamy zespół urządzeń inżynierskich wraz z obiektami technicznymi, w skład którego wchodzi elementy oraz urządzenia służące do transportu, dystrybucji, uzdatniania, oraz ujmowania i magazynowania wody. Jego głównym zadaniem jest dostarczenie wymaganej ilości wody o odpowiednich właściwościach do aglomeracji mieszkalnych oraz przemysłowych [6, 17].

Sieć wodociągowa jest jednym z najważniejszych elementów infrastruktury tworzonej przez człowieka, ponieważ to właśnie ona zapewnia wszelkiego rodzaju nieruchomościom, dostęp do bieżącej wody. Bez stałego dopływu wody nie jest możliwe funkcjonowanie przemysłu czy gospodarstw domowych. Na przestrzeni wieków zauważyć możemy jak wielką wagę ludzie przykładali do transportu wody na duże odległości oraz jej bezpieczeństwa. Rozwój technologii i cywilizacji umożliwia nam coraz bardziej skuteczne metody uzdatniania wody oraz jej transportu w odpowiednich warunkach. Monitorowanie sieci wodociągowej pod kątem bezpieczeństwa wody w dzisiejszych czasach jest jednym z najważniejszych aspektów rozwoju cywilizacji. Woda jest jednym z najbardziej strategicznych surowców, ponieważ atak chemiczny lub biologiczny na sieć wodociągową może doprowadzić do zachorowania lub śmierci większości społeczeństwa zamieszkującego obszar zaopatrywany w wodę przez zanieczyszczony rurociąg. Zaobserwować możemy coraz większy wzrost zainteresowania tematem monitorowania i bezpieczeństwa wody. Państwa skupiają się na zabezpieczeniu procesów związanych z uzdatnianiem, magazynowaniem oraz transportem wody. Temat ten jest bardzo istotny dla ludzi, ukazuje to historia transportu i uzdatniania wody.

Obecne sieci wodociągowe zostały stworzone na podobieństwo pierwszych akweduktów. Cel tych obiektów pozostaje niezmienny od setek lat. Zauważyć możemy jednak wiele zdecydowanych różnic pomiędzy akweduktami oraz obecnymi modelami sieci. Rozwój technologiczny oraz wiedza na temat uzdatniania wody umożliwiły wykorzystanie nowoczesnych systemów (patrz punkt 3), które stale monitorują stan sieci jako infrastruktury budowlanej oraz wody, która się w niej znajduje. Zastosowanie innowacyjnych metod monitorowania bezpieczeństwa wody w sieci zdecydowanie podniosło komfort życia obywateli.

2.1. Budowa sieci wodociągowej

Podstawowymi elementami tworzącymi sieć wodociągową są przewody. Rury ze względu na materiał, z którego zostały wykonane możemy podzielić na dwie grupy: metalowe lub z tworzyw sztucznych. Do budowy sieci wodociągowej użyte mogą zostać tylko specjalne materiały, które zostały dopuszczone do stosowania w budownictwie. Wyroby, które dodatkowo mają kontakt z wodą zdatną do spożycia muszą mieć również pozytywną opinię higieniczną wydaną przez Państwowy Zakład Higieny [1, 13].

Przewody miedziane stosowane do budowy sieci wodociągowej muszą spełniać odpowiednią normę PN-EN-1057:1999. Rury miedziane mogą być produkowane w trzech stanach takich jak [2]:

- stan rekrytalizowany (stan miękkiej) – symbol R 220;
- stan półtwardy – symbol R 250;
- stan twardy –symbol R 290.

Najczęściej do produkcji rur zastosowanych przy budowie zewnętrznej sieci wodociągowej stosuje się metale takie jak stal, żeliwo szare oraz żeliwo sferoidalne. Niestety materiały te za wyjątkiem żeliwa szarego są bardzo podatne na korozję, dlatego rury zabezpiecza się dodatkowo specjalnymi powłokami ochronnymi na zewnątrz oraz wewnątrz. Rury metalowe uważane są za dość szczelne oraz nie przepuszczające związków chemicznych dlatego mogą być wykorzystywane w gruntach, które charakteryzują się nawet silnym skażeniem. W zależności od miejsca ulokowania przewodu stosuje się różne materiały wykorzystywane przy ich wykonaniu, wyróżnić możemy między innymi [13]:

- przewody miedziane, które charakteryzują się trwałością, ich montaż jest stosunkowo szybki i łatwy, charakteryzują się zmniejszoną grubością ścianek w porównaniu do wielu innych materiałów instalacyjnych. Dodatkowo miedź posiada stwierdzone działanie bakteriostatyczne w stosunku do wody znajdującej się w sieci wodociągowej [2];

- przewody wykonane ze stali posiadają dobre właściwości mechaniczne, są one bardzo wytrzymałe na rozciąganie, ściskanie lub zginanie. Konieczność stosowania dodatkowych powłok ochronnych na i w rurze sprawia wzrost kosztów inwestycji. Uszkodzenie takiej powłoki prowadzi natomiast do szybkiego rozprzestrzeniania się ogniska korozji co w konsekwencji może doprowadzić do pęknięcia przewodu;
- przewody wykonane z żeliwa szarego charakteryzują się odpornością na korozję nawet przy braku dodatkowych zabezpieczeń. Materiał ten charakteryzuje się niestety niską odpornością mechaniczną, czyli jest kruchy oraz nie posiada odporności na zginanie lub ściskanie. Co prowadzi do konieczności produkowania rur o grubszych ściankach, wpływa to niestety negatywnie na wagę przewodu;
- przewody do produkcji których użyto żeliwa sferoidalnego charakteryzują się dość korzystnymi parametrami. Ich właściwości mechaniczne dorównują stali, w niektórych przypadkach są nawet znacznie lepsze. Przewody te są odporne na ściskanie, zginanie, charakteryzują się dobrą twardością oraz odpornością na obciążenia dynamiczne. Rury te są niestety podatne na działanie korozji dlatego również stosuje się dodatkowe powłoki ochronne;
- przewody z tworzyw sztucznych, które charakteryzują się lekkością, całkowitą opornością na korozję oraz prądy błądzące. Przewody wykonane z tworzywa są stosunkowo lekkie co ułatwia ich transport oraz montaż. Dzięki małej chropowatości ścianek wewnętrznych w rurach tych występuje bardzo mała strata ciśnienia wody. Wykorzystanie tworzyw sztucznych zapewnia bardzo dobrą elastyczność rur. Kolejną zaletą wykorzystania tego typu materiałów jest łatwość łączenia z innymi materiałami, ponieważ na styku dwóch materiałów nie powstają mikroogniwa elektryczne. Rury z tworzyw sztucznych cechują się również wyższą odpornością mechaniczną niż rury stalowe, jednak ujemna temperatura prowadzi do zwiększenia się ich kruchości co może powodować negatywne skutki podczas transportu;
- przewody ołowiane, które zgodnie z obecnymi normami są zabronione.

Kolejnymi bardzo istotnymi i nieodłącznymi elementami tworzącymi sieć wodociągową są stacje podnoszenia ciśnienia wody. Funkcję takiej stacji pełni zespół: pompa, silnik napędowy oraz sprzęgło, które łączy oba te elementy. Potrzeba stosowania silników wynika, z tego że pompy konstrukcyjnie nie posiadają własnego napędu. Najczęściej w sieciach wodociągowych stosuje się silniki elektryczne, jednak w przypadku przepompowni przeciwpożarowych stosuje się dodatkowo silniki spalinowe, które mogą zostać załączone w razie awarii zasilania elektrycznego. Silniki

spalinowe pełnią funkcję agregatów mogących w sytuacji awarii wytworzyć prąd wymagany do zasilenia silników elektrycznych. Głównym celem wykorzystania pompy jest możliwość podnoszenia cieczy z poziomu niższego na wyższy lub przetłoczenie jej z obszaru o niższym poziomie ciśnienia do obszaru o wyższym poziomie. Poziom podnoszenia pompy określa się w wielu źródłach jako odległość zazwyczaj wyrażaną w metrach na jaką dana pompa jest w stanie efektywnie wypchnąć ciecz. Przy wykonaniu instalacji wodociągowych stosuje się jedynie kilka rodzajów pomp, mimo tego, że istnieje ich bardzo wiele. Należą do nich głównie [3]:

- pompy wirowe o wale poziomym, mogą posiadać jeden lub wiele segmentów stosuje się je przeważnie w celu zasilenia gospodarstwa jednorodzinnego wodą ze studni, pełnią one również rolę zestawów hydroforowych;
- pompy wirowe posiadające wał pionowy, są coraz częściej stosowane z zestawach hydroforowych, mogą one również być jedno lub wielosegmentowe;
- pompy głębinowe, stosuje się w sytuacjach gdy wymagana jest możliwość pracy urządzenia pod powierzchnią wody. Dzięki niewielkim rozmiarom pompy te można stosować w studniach o stosunkowo małej średnicy otworu;
- pompy obiegowe, inaczej nazywane cyrkulacyjnymi wykorzystywane są w instalacjach, które zawierają wodę ciepłą, ich głównym zadaniem jest wypychanie już wychłodzonej wody ponownie do miejsca jej ogrzewania.

Najczęściej wykorzystywanymi urządzeniami do podnoszenia i utrzymywania ciśnienia wody są urządzenia hydroforowe. Zestawy tego typu zawierają najczęściej od 3 do 6 pomp, które tworzą typoszereg. Urządzenia nie pracują jednak wszystkie równocześnie ponieważ w zależności od wielkości zestawu jedna lub więcej pomp stanowi część rezerwową [3].

W celu opisanie pracy pompy stosuje się charakterystyki zawarte w karcie katalogowej urządzenia. Podstawową charakterystyką hydrauliczną dla pomp wirowych jest zależność pomiędzy wysokością podnoszenia a natężeniem przepływu wody przez pompę, jest ona przedstawiana w postaci $H=f(Q)$ przy stałej prędkości obrotowej wirnika. Istnieją również inne charakterystyki pomp takie jak charakterystyka mocy oznaczana jako $P_w=f(Q)$ oraz charakterystyka sprawności $\eta=f(Q)$. Przedstawia się je wykreślnie jako zależność mocy, której potrzebuje pompa P_w wraz z jej sprawnością do natężenia przepływu. W celu otrzymania rzeczywistego punktu pracy pompy należy przyrównać charakterystykę pompy do charakterystyki przewodu. Katalogi oraz wiele dokumentacji technicznych przedstawiają zbiorcze charakterystyki dla danego typoszeregu, w skład którego może wchodzić nawet kilka pomp. Na podstawie takiej

charakterystyki możemy odczytać pole zasięgu stosowalności danego typoszeregu pomp [3].

Producenci dają gwarancję na stabilną pracę swoich urządzeń w każdym punkcie pola stosowalności danej pompy. Równoległe łączenie kilku pomp prowadzi do spadku ich wydajności, która będzie niższa niż całkowita suma wydajności poszczególnych pomp zasilających niezależnie ten sam przewód. Dzieje się tak na skutek wzrostu oporów hydraulicznych w przewodzie, który jest proporcjonalny do kwadratu natężenia przepływu.

Istnieje kilka sposobów, które umożliwiają nam sterowanie pracą pomp. Głównymi parametrami jakie możemy zmieniać w przypadku pojedynczej pompy są zmiany w natężeniu przepływu oraz w wysokości podnoszenia. Sterować można zarówno zestawami współpracujących ze sobą pomp oraz pojedynczymi egzemplarzami. Regulowanie pracy pojedynczej pompowni możliwe jest dzięki wykorzystaniu takich metod jak [3]:

- dławienie pompy, jest to najczęściej wykorzystywany sposób regulacji wydajności pompy, niestety jest on również najmniej ekonomiczny;
- regulację przez zmianę geometrii wirnika, polega ona na stoczeniu średnicy zewnętrznej wirnika. Metoda ta jest bardzo inwazyjna, ponieważ na skutek jej zastosowania uzyskuje się stałe zmniejszone parametry pracy pompy bez możliwości ich ponownego zwiększenia;
- regulację poprzez zmianę prędkości obrotowej, jest ona realizowana dzięki zastosowaniu przetwornicy częstotliwości, która umożliwia płynną zmianę prędkości obrotowej silnika napędzającego wirnik pompy. Regulacja wydajności pompy poprzez zmianę prędkości obrotowej wirnika jest najbardziej ekonomiczna spośród wszystkich pozostałych sposobów, gdyż nie prowadzi ona do strat związanych z dławieniem;
- regulacja upustowa, polega ona na odprowadzeniu częściowo wody znajdującej się w przewodzie tocznym pompy do przewodu ssawnego, który znajduje się przed pompą.

Zespół pompowni umożliwia nam zastosowanie szerszej gamy rozwiązań w dziedzinie sterowania, ponieważ oprócz rozwiązań przedstawionych powyżej możliwe jest jeszcze sterowanie kaskadowe. Uzyskuje się je poprzez włączanie i wyłączanie poszczególnych pomp lub dzięki zastosowaniu układu mieszanego umożliwiającego zmianę parametru jednej pompy. Wybór układu sterowania automatycznego zależy od wielu istotnych czynników takich jak stopień automatyzacji

danej pompowni, liczby zespołów pomp w pompowni, mocy rozwijanej przez silniki wykorzystywane do zasilania pomp oraz od schematu danej pompowni [3].

Kolejnymi bardzo istotnymi elementami tworzącymi sieć wodociągową są zbiorniki, które w zależności od położenia w sieci mogą magazynować wodę uzdatnioną lub oczekującą na uzdatnienie na przykład przy specjalnej stacji do tego służącej. Elementy te nie służą wyłącznie do magazynowania wody, ale również umożliwiają wyrównywanie wszelkiego rodzaju nierównomierności, które mogą wynikać pomiędzy poborem a dostawą wody w sieci wodociągowej. Zwiększają one również w znacznym stopniu niezawodność sieci wodociągowej, ponieważ w przypadku awarii stacji uzdatniania wody sieć jest w stanie zasilać jeszcze gospodarstwa domowe w uprzednio uzdatnioną wodę, która znajduje się w specjalnych zbiornikach do tego przeznaczonych. Istnieją również zbiorniki awaryjne oraz przeciwpożarowe, które magazynują wodę do celów gaśniczych lub na wypadek awarii, bądź zatrucia sieci wodociągowej. Odpowiednio wysokie umieszczenie zbiornika powoduje stabilizację ciśnienia w sieci wodociągowej, przykładami tego typu rozwiązań są tak zwane wieże ciśnień [18].

Zbiorniki podzielić możemy również ze względu na ich położenie w sieci wodociągowej. Wyróżnić możemy między innymi [18]:

- zbiorniki początkowe czyli przepływowe, umieszczone są pomiędzy stacją uzdatniania wody a siecią wodociągową. W układzie takim do zbiornika dopływa cała ilość wody ze stacji, natomiast wypływa jedynie taka ilość wody na jaką aktualnie jest zapotrzebowanie w sieci jest to tak zwana wartość chwilowego rozbioru na sieci;
- centralne, które zlokalizowane są najczęściej w punkcie największego rozbioru wody. Zbiorniki te charakteryzują się najlepszymi warunkami ciśnieniowymi, ponieważ zachodzą w nich najmniejsze zmiany ciśnieniowe w danym cyklu dobowym, pełnią one również rolę regulatorów ciśnienia;
- końcowe, tworzą one swoiste zakończenie sieci wodociągowej.

Pojemność zbiorników obliczana jest na podstawie bilansu wodnego wody dopływającej oraz pobranej ze zbiornika. Bilans taki wykonywany jest najczęściej w cyklu dobowym. Na podstawie takiego bilansu z kilkunastu dni jesteśmy w stanie obliczyć uśrednioną wartość maksymalnego dobowego zapotrzebowania na wodę. Dobór odpowiedniej pojemności zbiornika jest zależny od wielu czynników [18]:

- miejsce lokalizacji zbiornika,
- wydajność wodociągu,
- nierównomierność rozbioru wody w sieci,
- pracy oraz konstrukcji zastosowanych pomp,
- budowy zbiornika,
- odpowiedniego czasu przechowywania wody w zbiorniku.

Sieć wodociągowa wyposażona jest również w wiele dodatkowych elementów, które pełnią rolę jej uzbrojenia. Zaliczamy do nich wszelkiego rodzaju zawory, zasuwy, hydranty, odpowietrzniki, regulatory przepływu i tym podobne.

Hydrantem nazywamy urządzenie umożliwiające bezpośredni pobór wody z głównych przewodów sieci wodociągowej. Hydranty wykorzystywane są najczęściej do celów przeciwpożarowych. Zostały one wyposażone w specjalne zawory oraz łącza do węży strażackich. Rozróżniamy hydranty uliczne, które dzielimy na nadziemne i podziemne oraz hydranty wewnętrzne [19].

Zawór odpowietrzający czyli tak zwany odpowietrznik, celem którego jest usuwanie powietrza z układów hydraulicznych. Zawór ten umożliwia samoczynne napowietrzanie i odpowietrzanie sieci wodociągowej lub lokalnego systemu ogrzewania centralnego wykorzystywanego w domach. W celu właściwego działania zaworów w sieci wodociągowej powinny być one umieszczone w najwyższych możliwych punktach sieci lub w najwyższym możliwym lokalnie punkcie przewodu [20].

Zaworem antyskażeniowym nazywamy urządzenie mechaniczne, którego celem jest ochrona sieci wodociągowej przed zanieczyszczeniami wynikającymi z wystąpienia przepływu zwrotnego. Do sytuacji takiej dojść może gdy nastąpi obniżenie ciśnienia w sieci wodociągowej spowodowane zamknięciem lub otwarciem zasuwy, pęknięciem rurociągu lub dużym rozbiorem punktowym. Niebezpiecznym zjawiskiem jest również zjawisko przepływu zwrotnego ciśnieniowego, które może doprowadzić do przeciwnaporu substancji o większym ciśnieniu na wodę znajdującą się w sieci. Jako tego typu zabezpieczenia stosuje się rozłączenie mechaniczne, przerwę powietrzną, która występuje pomiędzy najniższym punktem otworu dostarczającego wodę do zbiornika oraz jego maksymalnym poziomem [21].

Zasuwy wodociągowe są nieodłącznymi elementami sieci wodociągowej, które umożliwiają prawidłowe działanie każdej sieci. Zasuwy wykorzystywane są głównie do ochrony wody przed skażeniem, wynikającym ze spadku ciśnienia lub awarii na sieci wodociągowej. Obecnie coraz częściej wykorzystuje się je również jako dławiki umożliwiające regulację prędkości oraz kierunku przepływu. Podstawowe wiadomości o zasuwach takie jak ciśnienie robocze, opory miejscowe oraz współczynnik przepływu znajdują się zazwyczaj w karcie katalogowej zasuw. Producenci zakładają jednak, że zasuwa może pracować jedynie w dwóch stanach otwartym lub zamkniętym dlatego karty katalogowe nie zawierają charakterystyk przepływowych dla zasuw [5].

2.2. Rodzaje sieci wodociągowej

Sieć wodociągowa powinna spełniać wszelkie określone w normach wymagania dotyczące zarówno jej konstrukcji, wykorzystanych materiałów oraz jakości wody, która przez nią przepływa. Głównym celem sieci jest dostawa odpowiedniej ilości wody, pod pożądanym ciśnieniem charakteryzującej się właściwą jakością do odbiorcy. Sieci wodociągowe muszą być wyposażone w odpowiednie zbiorniki, które magazynują wodę surową, oraz poddaną wcześniejszemu uzdatnieniu. Ma to na celu zapewnienie stałej dostawy wody do odbiorców nawet podczas awarii, która wystąpiła w sieci. Dobra sieć wodociągowa powinna spełniać wszelkie warunki eksploatacyjne przy jak najniższych kosztach budowy.

Kluczowe w procesie projektowania sieci wodociągowej jest spełnienie wielu bardzo istotnych wymagań konstrukcyjno-użytkowych, znajdują się wśród nich między innymi te opisane powyżej. Odpowiedni dobór układu przewodów jest kluczowy przy konstruowaniu sieci wodociągowej, jest on zależny między innymi od ilości zaludnienia obszaru, w którym będzie działać dana sieć. Odpowiedni dobór materiałów, z których wykonane są przewody sieci wodociągowej oraz średnice tych przewodów mają bardzo istotne znaczenie w procesie tworzenia. Nieodłącznymi elementami umożliwiającymi prawidłowe funkcjonowanie sieci wodociągowej są wszelkiego rodzaju uzbrojenia, w skład których wchodzi między innymi zasuwy, odpowietrzniki i tym podobne. Precyzja i staranność wykonania są czynnikami zapewniającymi bezpieczeństwo i bezawaryjną pracę sieci wodociągowej, która powinna być stale monitorowana oraz poddawana terminowym przeglądom i konserwacji [22].

System zaopatrzenia miast oraz aglomeracji miejsko-przemysłowej składa się z szeregu współpracujących ze sobą elementów (patrz punkt 2.1), których zadaniem jest doprowadzenie wody z punktu poboru do odbiorcy. Proces ten jest czasochłonny, ponieważ woda przechodzi skomplikowany wieloetapowy proces uzdatniania zanim trafi do odbiorcy. Początkowym etapem jest ujęcie wody, które w zależności od lokalizacji danej stacji uzdatniania może nastąpić z pobliskiej rzeki lub ze studni głębinowych. Woda z otwartych zbiorników poddawana jest wstępnej filtracji z dużych zanieczyszczeń takich jak liście, gałęzie czy innego typu przedmioty. W tym celu

wykorzystuje się najczęściej specjalne metalowe kraty oraz sita zamontowane na przewodzie, która służy dostarczaniu wody do stacji uzdatniania. Schemat technologiczny działania stacji uzdatniania wody jest zbliżony dla większości stacji, różnice zauważyć można jedynie w zastosowanych technologiach filtracyjno uzdatniających. Woda pobrana z otwartych zbiorników poddawana jest procesowi uzdatniania, który składa się z następujących etapów [23]:

- pobranie wody surowej z ujęcia,
- wstępne usunięcie dużych zanieczyszczeń oraz napowietrzenie wody,
- podniesienie pH wody po przez zastosowanie specjalnych filtrów,
- usunięcie z wody związków żelaza oraz manganu,
- dezynfekcja końcowa wody, która odbywa się dzięki wykorzystaniu roztworu sodu NaClO oraz lamp UV.

Po dezynfekcji woda przepompowywana jest do zbiornika, z którego sieciowe zestawy pompowni pobierają uzdatnioną już wodę do sieci wodociągowej [23].

Sieć wodociągowa składa się z kilku różnych typów przewodów, których podział występuje ze względu na funkcję jaką spełniają. Wyróżnić możemy między innymi przewody tranzytowe, są to arterie, które umożliwiają dostawę wody surowej z ujęcia do stacji uzdatniania oraz wody już uzdatnionej do magistrali miejskiej. Przewody tranzytowe nie posiadają dodatkowych przyłączy umożliwiających pobieranie wody.

Przewody magistralne nazywane również przewodami głównymi wykorzystywane są do doprowadzania wody do poszczególnych części miasta oraz zakładów przemysłowych. Podstawowym zadaniem tych przewodów jest zasilanie przewodów o mniejszej średnicy, które nazywane są przewodami rozdzielczymi. Ogólnie przyjęte normy zakładają, że rury nazywamy magistralnymi gdy ich średnica przekracza 300 mm.

Przewody rozdzielcze mogą mieć różne średnice jest to zależne od obszaru, w którym się znajdują. Dla miast i osiedli jest to zazwyczaj średnica większa niż 100 mm, natomiast dla obszarów wiejskich średnice powinny być większe niż 80 mm. Przewody rozdzielcze kładzie się zazwyczaj wzdłuż ulicy, ponieważ dzięki zastosowaniu przyłączy domowych mieszkańcy pobierają z nich wodę.

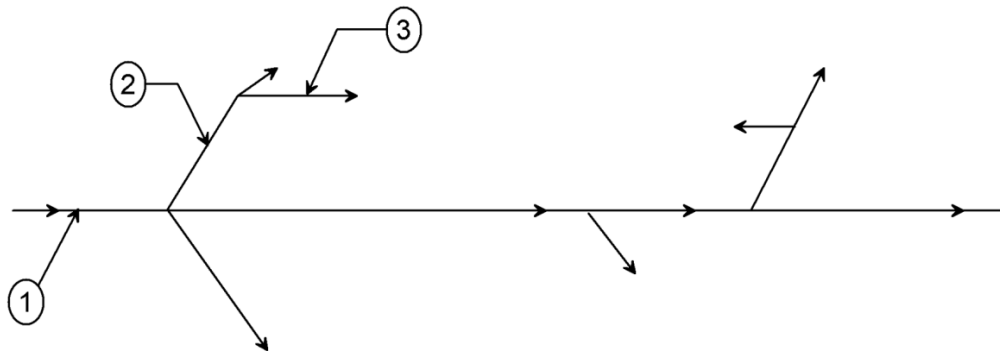
Ostatnią grupą przewodów są przyłącza domowe, którymi nazywamy odcinki rur umożliwiających połączenie odbiorcy z przewodem rozdzielczym sieci [22].

Podstawowymi elementami tworzącymi sieć wodociagową są przewody służące do transportu wody. Projektowanie sieci rozpoczyna się od stworzenia szkieletu, który opiera się na przewodach głównych oraz odchodzących od nich przewodach

rozdzielczych umożliwiających odbiorcy podpięcie się do sieci poprzez wykorzystanie specjalnych przyłączy. Schemat sieci oraz liczba poszczególnych typów przewodów zależą od lokalizacji danego wodociągu oraz obszaru, który będzie on zaopatrywał w wodę. W gęsto zaludnionych rejonach jako przewody główne wykorzystuje się rury o średnicy większej niż 300 mm, natomiast średnice przewodów rozdzielczych znajdują się w przedziale od 100 do 300 mm w zależności od zapotrzebowania na wodę. Na terenach wiejskich lub w mało zaludnionych miastach rolę przewodów głównych pełnią bardzo często przewody o średnicy mniejszej niż 300 mm. Ma to na celu zapewnienie lepszego ciśnienia wody oraz zmniejszenie kosztów podczas budowy sieci wodociągowej. Wyróżnić można trzy rodzaje sieci wodociągowej: rozgałęzieniową, pierścieniową oraz mieszaną [22].

3.2.1 Sieć rozgałęzieniowa

Sieć rozgałęzieniowa (przedstawiona na Rys. 2.2) nazywana również promienistą zbudowana jest przeważnie z jednego głównego przewodu magistralnego o znacznej średnicy, do którego dołączone są przewody o stopniowo zmniejszających się średnicach. Odnogi te charakteryzują się ślepyimi zakończeniami. System ten przypomina gałąź drzewa. Model ten charakteryzuje się również wysoką zawodnością, ponieważ jest on zasilany tylko z jednej strony co w godzinach zwiększonego poboru wody może doprowadzić do znacznych spadków ciśnienia w sieci. Jest to również rozwiązanie niebezpieczne w przypadku konieczności pobrania wody z sieci w celach przeciwpożarowych, gdyż jej ciśnienie w danej chwili może być niewystarczające. W przypadku awarii tego typu sieci konieczne jest wyłączenie wody dla wszystkich odbiorców, którzy znajdują się w zasięgu sieci [22].



Rys. 2.2. Schemat sieci rozgałęzieniowej, gdzie:

1. przewód tranzytowy,
2. przewód magistralny,
3. przewód rozdzielczy [22].

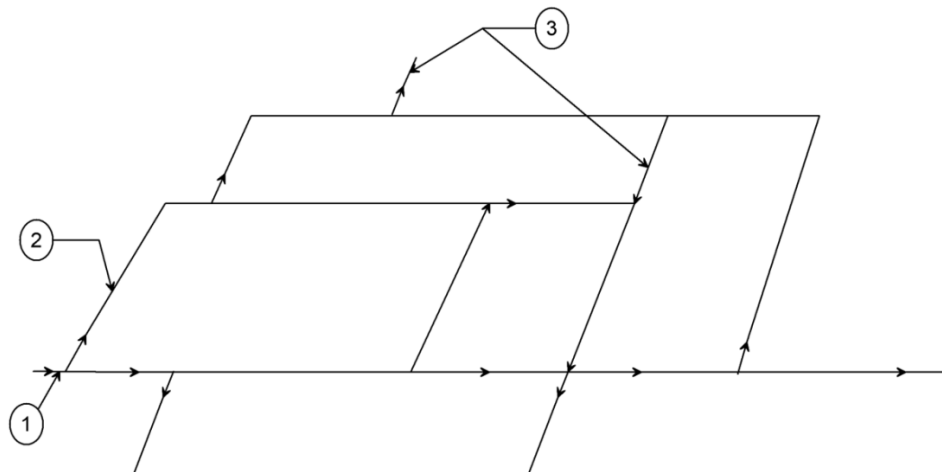
Model sieci rozgałęzieniowej jest bardzo mało wydajny, ponieważ w sytuacji gdy dojdzie do skażenia wody w zbiorniku zasilającym sieć nie ma możliwości, by dostarczyć do odbiorców wodę z innego zbiornika, ponieważ model ten posiada tylko jedno ujęcie wody.

Zastosowanie promienistego typu sieci jest bardzo ograniczone, jest to spowodowane jej wysoką zawodnością w dostawach wody oraz możliwością łatwego jej zatrucia. Model ten wykorzystywany jest przede wszystkim w wodociągach tymczasowych, małych jednostkach osadniczych lub podczas dostarczania wody do niektórych zakładów przemysłowych.

Sieć ta jest jednak wykorzystywana ponieważ charakteryzuje się niskimi kosztami budowy oraz eksploatacji, dlatego w przypadku obiektów mało wymagających lub na obszarach wiejskich jest on nadal stosowany.

3.2.2 Sieć pierścieniowa

Na Rys. 2.3 przedstawiono pierścieniowy schemat sieci wodociągowej, który charakteryzuje się dużą niezawodnością w dostawie wody, ponieważ jego budowa umożliwia doprowadzenie wody do danej części miasta więcej niż jednym przewodem. W przypadku awarii jednego z fragmentów sieci możliwe jest jej przesterowanie poprzez zamknięcie odpowiednich zasuw, które spowodują zmiany ciśnień oraz kierunków przepływów w układzie co umożliwia nam dalsze dostarczanie wody do odbiorców znajdujących się w pobliżu uszkodzonego fragmentu sieci. Charakterystyczna budowa sieci umożliwia dostarczanie wody z kilku różnych kierunków. Tego typu rozwiązania spełniają rolę zabezpieczenia obszarów miejskich przed całkowitym przerwaniem dostawy wody, powstałym na skutek przerwania ciągłości przewodu sieci [22].



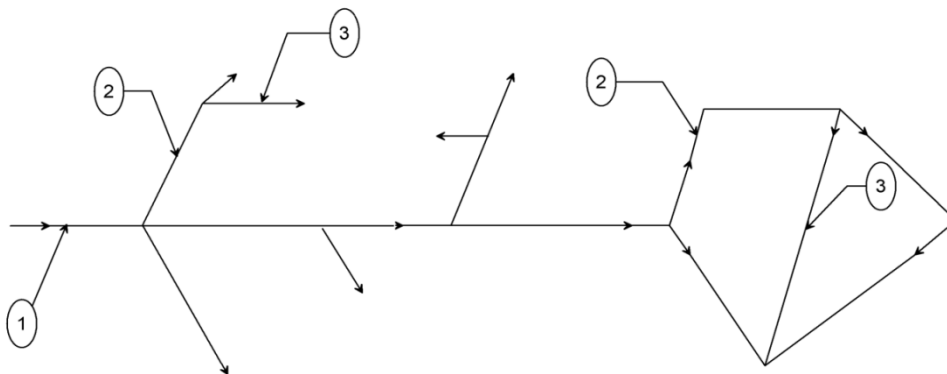
Rys. 2.3. Schemat sieci pierścieniowej, gdzie:
1. przewód tranzytowy,
2. przewód magistralny,
3. przewód rozdzielczy [22].

Model obwodowy zapewnia również stabilność ciśnienia na poziomie wyższym niż ma to miejsce w przypadku sieci rozgałęzieniowej. Ma to bardzo duże znaczenie w przypadku przeciwpożarowych zastosowań sieci, ponieważ chwilowe spadki ciśnienia wody w sieci tak jak miało to miejsce w modelu promienistym, które spowodowane były zwiększonym zapotrzebowaniem mieszkańców na wodę w pewnych okresach czasu, nie mają tak istotnego znaczenia w sieci pierścieniowej. Wodociągi zbudowane w systemie obwodowym zdecydowanie lepiej znoszą uderzenia hydrauliczne, które powstają na skutek gwałtownego zatrzymania przepływu wody.

Dzięki wysokiej niezawodności w dostawie wody oraz możliwości kontrolowania ciśnienia w sieci model pierścieniowy jest zdecydowanie bezpieczniejszy i bardziej wydajny od modelu promienistego. Wadami sieci obwodowej są koszty jej budowy, które są spowodowane jej długością, ponieważ do jednej dzielnicy miasta woda transportowana jest przez kilka niezależnych przewodów. Konieczność ułożenia sieci składającej się z dużej ilości przewodów wodociągowych prowadzi do znacznego zwiększenia kosztów budowlanych.

3.2.3 Sieć mieszana

Schemat mieszany (przedstawiony na Rys. 2.4), który łączy układ pierścieniowy wraz z układem rozgałęzieniowym jest najczęściej spotykanym układem sieci wodociągowej. Głównym założeniem przy projektowaniu tego typu sieci jest objęcie obszaru miejskiego o możliwie największej powierzchni modelem pierścieniowym. Małe jednostki osadnicze oraz zakłady przemysłowe znajdujące się poza obszarem miejskim zasilane są pojedynczymi przewodami w schemacie promienistym. Umożliwia to znaczne zmniejszenie kosztów konstrukcyjnych, ponieważ wymagana jest mniejsza liczba wykopów oraz materiałów. Odbiorcy znajdujący się na obszarach wiejskich zaopatrywani są w wodę jedynie pojedynczym rurociągiem co w przypadku wystąpienia awarii prowadzi do całkowitej przerwy w dostawach wody do tych gospodarstw [22].



Rys. 2.4. Schemat sieci mieszanej, gdzie:
1. przewód tranzytowy,
2. przewód magistralny,
3. przewód rozdzielczy [22].

Dobór odpowiedniego układu sieci w znacznym stopniu zależy od obszaru, który będzie zasilany w wodę. Przestrzenie o małym zaludnieniu zasilane są z sieci promienistej, działanie takie ma na celu zmniejszenie kosztów. Na obszarach tych zazwyczaj nie ma zakładów przemysłowych, które wymagają stałej nieprzerwanej dostawy wody. Gęsto zaludnione przestrzenie miejskie zasilane są z sieci pierścieniowej, ma to na celu zapewnienie między innymi odpowiedniej wartości ciśnienia wody oraz wysokiej niezawodności w dostawie. Schematy wykorzystujące połączenie obu wyżej opisanych modeli umożliwiają zwiększenie efektywności w dostawie wody przy zmniejszonym nakładzie kosztów oraz czasu wymaganych na zbudowanie sieci.

2.3. Wymagania w sieci wodociągowej

Standardowe ciśnienie wody w sieci wodociągowej wynosi od 3 do 4 atmosfer, gdzie 1 atmosfera to 10 m słupa wody. Powyższa wartość ciśnienia jest wystarczająca do pokrycia zapotrzebowania na wodę w zabudowie do pięciu kondygnacji. Wartość maksymalna ciśnienia wody w sieci nie powinna przekraczać 5÷6 atmosfer czyli 50÷60 m słupa wody. Zróżnicowanie terenu zabudowy, które szczególnie widoczne jest w miastach bardzo często wymusza konieczność przekraczania maksymalnej wartości ciśnienia w sieci wodociągowej. Obszary miejskie podzielone są zazwyczaj na dwie strefy ciśnienia górną oraz dolną. Podział ten może mieć charakter równoległy lub szeregowy.

Podział równoległy charakteryzuje się tym, że ze wspólnej pompowni prowadzone są dwa osobne przewody do każdej ze stref. Obie strefy posiadają swoje własne niezależne zestawy pompowni. W strefowaniu równoległym wykorzystuje się tylko jeden budynek wyposażony w stację pomp, istnieje jednak konieczność układania dwóch oddzielnych sieci przewodów [22].

Podział szeregowy charakteryzuje się tym, że cała woda tłoczona jest do strefy I czyli dolnej oraz specjalnie wybudowanej pompowni, której celem jest tłoczenie wody z przewodów znajdujących się w strefie I do przewodów znajdujących się w strefie II czyli górnej. Strefowanie szeregowe wymaga dwóch budynków pompowych oraz jednej lecz bardzo rozbudowanej sieci przewodów. Strefowanie szeregowe jest częściej spotykane w praktyce [22].

Ciśnienie w sieci wodociągowej jest stale kontrolowane i regulowane poprzez obniżenie jego wysokości do wartości minimalnej umożliwiającej bezproblemowe zaspokojenie potrzeb odbiorców w dostawie wody. Proces ten zazwyczaj prowadzi się w oparciu o model hydrauliczny danej sieci wodociągowej. Każda z sieci posiada specjalnie wyznaczone punkty charakterystyczne, które umożliwiają określenie minimalnej oraz maksymalnej wartości ciśnienia obliczonej w danej strefie. Wartość ciśnienia wody w sieci wodociągowej jest ściśle sprzężona ze zużyciem materiału,

z którego ta sieć jest wykonana. Oczywistym jest również wpływ ciśnienia na szybkość wypływania wody z powstałego wycieku. Zjawisko to jest szczególnie widoczne w przypadku wycieku wody przez otwór o niewielkiej średnicy.

Wykonawcy wraz z firmami zajmującymi się utrzymaniem prawidłowego stanu działania sieci wodociągowej dążą do uzyskania ekonomicznego poziomu wycieków jako poziomu docelowego. Jest to wartość do jakiej powinny być ograniczone straty wody przy określonych warunkach eksploatacji sieci wodociągowej. Cel ten uważany jest za osiągnięty, gdy przy najniższych możliwych kosztach ekonomicznych wynikających z eksploatacji wodociągu uzyskuje się najniższe straty. Stanem równowagi ekonomicznej na sieci wodociągowej nazywamy ekonomiczne uzasadnienie działań, które były prowadzone na sieci wodociągowej. Jest to inaczej stan, w którym zbilansujemy oszczędności powstałe dzięki działaniu diagnostycznemu prowadzonemu na sieci wraz z poniesionymi kosztami [8].

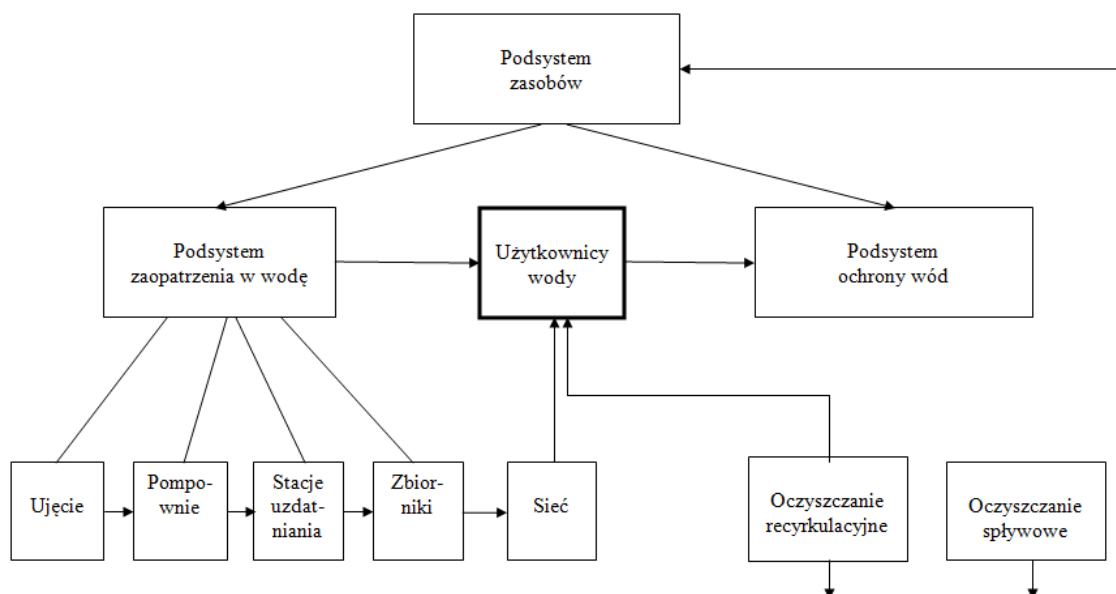
Przeciwpowarowy system zaopatrywania w wodę jest nieodłącznym elementem sieci wodociągowej oraz każdego budynku użyteczności publicznej, który jest do niej przyłączony. Istotnym zagadnieniem podczas projektowania sieci wodociągowej jest uwzględnienie zwiększonego zapotrzebowania na wodę w przypadku sytuacji awaryjnych. Wodociągi o zbyt niskim ciśnieniu wody, które w godzinach największego zapotrzebowania spada poniżej poziomu wystarczającego do celów gaśniczych rozbudowuje się o specjalne studnie głębinowe oraz zbiorniki, które przechowują wodę do celów przeciwpowarowych. Warto również wspomnieć, że każdy budynek musi posiadać odpowiednie instalacje hydrantowe, które umieszczone są w jego wnętrzu [5].

Tabela 2.1 przedstawia wymagane ilości wody stosowanej do celów przeciwpowarowych w zależności od gęstości obciążenia ogniowego. Energie cieplną powstałą w wyniku spalania materiałów znajdujących się bezpośrednio w obiekcie lub jego pobliżu biorąc pod uwagę ich zagęszczenie na metr kwadratowy nazywamy gęstością obciążenia ogniowego [4]

Tabela 2.1. Wymagana ilość wody wykorzystywanej w celach przeciwpowarowych dla obiektów budowlanych, produkcyjnych oraz magazynowych [4].

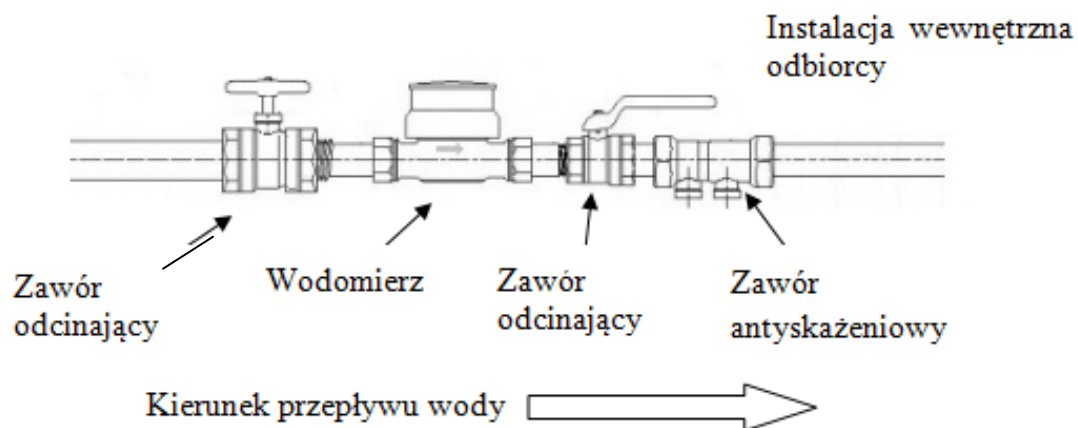
| Gęstość obciążenia ogniowego [Mj/m ²] | Powierzchnia strefy pożarowej [m ²] | | | | | | |
|---|---|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|
| | poniżej 500 | od 500 do 1000 | od 1000 do 2000 | od 2000 do 3000 | od 3000 do 4000 | od 4000 do 5000 | ponad 5000 |
| | Wydażność wodociągu [dm ³ /s] | | | | | | |
| do 200 | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 15 | 20 |
| 200 - 500 | 10 | 10 | 10 | 20 | 20 | 30 | 30 |
| 500 - 1000 | 10 | 10 | 20 | 20 | 30 | 30 | 40 |
| 1 000 - 2 000 | 10 | 20 | 20 | 30 | 30 | 40 | 40 |
| 2 000 - 4 000 | 20 | 20 | 30 | 30 | 40 | 40 | 50 |
| ponad 4 000 | 20 | 30 | 30 | 40 | 40 | 50 | 60 |

Woda jest surowcem, który odbiorca może nabyć na pewnych określonych przez właściciela sieci zasadach. Medium znajdujące się w przewodach jest już produktem przygotowanym do sprzedaży oznacza to, że przeszedł on już pomyślnie proces uzdatniania i wszystkie jego parametry mieszczą się w określonych normach prawnych. Nadzorca sieci jest również zobowiązany do zapewnienia odpowiedniego ciśnienia w sieci wodociągowej, które umożliwia bezproblemowe pobieranie znajdującego się w niej medium niezależnie od pory dnia (patrz punkt 2.3). Dostarczanie wymaganej ilości wody przy utrzymaniu jej parametrów jakościowych jest zadaniem realizowanym przez podsystem zaopatrzenia w wodę, który jest fragmentem struktury wodno-gospodarczej przedstawionej na Rys. 2.5 [11].



Rys. 2.5. Struktura systemu wodno-gospodarczego [11].

W celu możliwości nabywania wody odbiorca musi przyłączyć się do sieci wodociągowej. Proces ten odbywa się po przez wykonanie właściwego przyłącza przedstawionego na Rys. 2.6. Przyłączem wodociągowym nazywa się odcinek przewodu, który łączy sieć wodociągową z instalacją hydrauliczną znajdującą się w obiekcie odbiorcy. Odcinek ten wyposażony jest zazwyczaj w dwa zawory oraz wodomierz główny, którego celem jest pomiar ilości zużytej przez odbiorcę wody. Za tego typu przyłącza odpowiada nadzorca sieci wodociągowej jednak wykonuje się je na koszt właściciela nieruchomości [37].



Rys. 2.5. Schemat typowego przyłącza wodociągowego [25].

Za przyłączem wodociągowym znajduje się zawór antyskażeniowy, którego celem jest zapobieganie zanieczyszczeniu sieci wodociągowej spowodowanemu przepływem zwrotnym. Za element ten odpowiedzialny jest właściciel posesji [37].

Na podstawie danych odczytanych z wodomierza wchodzącego w skład przyłącza wodociągowego Przedsiębiorstwo Wodociągów nalicza użytkownikowi opłaty za zużycie wody.

3. Sposoby monitorowania i nadzorowania sieci wodociągowych

Woda zdatna do spożycia należy do grupy produktów, które można sprzedać, dlatego jej dostawcy podejmują działania dążące do poprawy jej jakości oraz niezawodności w dostawie. Zabiegi te umożliwiają stanie się jednostką konkurencyjną na rynku co prowadzi do zyskania większej liczby klientów. Klient podobnie jak w każdej innej dziedzinie poszukuje dostawcy, którego towar charakteryzuje się konkurencyjną ceną i dużą niezawodnością w procesie dostawy oraz jakości dostarczanej wody.

Ciągły rozwój technologiczny, który prowadzi do zmniejszenia kosztów w dziedzinie uzdatniania oraz dostawy wody jest kluczowym zagadnieniem dla przedsiębiorstw wodociągowych. Wysoka bezawaryjność wymaga znacznych nakładów finansowych na system monitorowania, który stale zbiera informacje dotyczące pracy sieci. Zastosowanie tego typu rozwiązań umożliwia wczesne wykrycie awarii, kontrolowanie temperatury wody oraz jej ciśnienia [22]. Wzrastająca liczba ludzi na świecie prowadzi do ciągłej rozbudowy miast, czego następstwem jest konieczność niekończącego się zwiększania zasięgu sieci wodociągowej. Podczas budowy nowych odcinków stale zmieniają się parametry sieci takie jak kierunki przepływów oraz wartości ciśnienia. Stałe monitorowanie zmian parametrów sieci wodociągowej umożliwia zwiększenie bezpieczeństwa jej działania. Na podstawie poszczególnych parametrów dostawcy są w stanie przewidzieć wiele awarii, którym można w porę zapobiec poprzez pracę konserwacyjną. Awarie i utrudnienia w dostawie wody, są nieodłącznym zjawiskiem w procesie eksploatacji sieci wodociągowej. Usterki te powodują nie tylko przerwy w dostawie wody ale bardzo często prowadzą również do konieczności wstrzymaniu ruchu pojazdów na ulicy wzdłuż, której położone są przewody wodociągowe. Przedsiębiorstwo dostarczające wodę do sieci zobowiązane jest również do zarządzania tą siecią. W przypadku wystąpienia awarii zobowiązani są oni do jak najszybszego jej usunięcia oraz udostępnienia informacji o planowanym czasie przerwy w dostawie wody. Coraz częściej udostępniają oni również informację o chwilowej możliwości pogorszenia się stanu wody po wznowieniu jej dostawy. Dzięki powszechnemu zastosowaniu systemu monitorowania stanu sieci wodociągowej dostawca może na bieżąco śledzić jej stan co umożliwia wczesne wykrywanie wszelkich nieprawidłowości oraz stwierdzić czy problem w dostawie wody leży po jego stronie czy po stronie odbiorcy.

Początki systemu monitorowania sieci wodociągowej zakładały montaż czujników zbierających dane w najbardziej newralgicznych punktach sieci. W pierwszej kolejności opomiarowane zostały ujęcia wody. Kolejne etapy zakładały rozszerzenie systemu monitorowania na lokalne pompownie oraz przewody sieci

wodociągowej. Rury zależnie od swojej średnicy oraz celu zastosowania zostały wyposażone w różnego typu przepływomierze na przykład [7]:

- elektromagnetyczne sztycowe;
- elektromagnetyczne kołnierzowe.

Zaawansowany system monitorowania sieci wodociągowej pozwala na szybkie zdiagnozowanie miejsca wycieku, umożliwiając tym samym odpowiednio szybką reakcję ekipy remontowej. Dzięki tego typu rozwiązaniu można w prosty sposób przewidywać miejsce wystąpienia usterki poprzez badanie wartości ciśnienia wody w przewodzie. Jest to również doskonała baza umożliwiająca szybką i bezpieczną rozbudowę sieci. Informację z czujników zlokalizowanych na nowo położonych przewodach przesyłane są do aktualnie działającego systemu.

Stałe monitorowanie prędkości przepływu oraz ciśnienia wody w sieci wodociągowej ma również istotne znaczenie przy sprawnym zarządzaniu układem zasilania. Kolejnym pozytywnym aspektem procesu monitorowania jest możliwość poprawy parametrów hydraulicznych działania przewodów, które przekładają się z kolei na poprawę sprawności całego systemu wodociągowego.

Kolejnym istotnym aspektem związanym z systemem monitorowania sieci wodociągowych jest posiadanie specjalnych zespołów, które po wykryciu przez czujniki awarii przystępują do pracy w terenie. Bardzo często zdarza się, że usterki widoczne w systemie pozostają niestety nie zauważone w terenie co powoduje wydłużenie czasu potrzebnego na odnalezienie oraz usunięcie awarii [7].

W procesie monitorowania sieci wodociągowej nieocenionym wsparciem jest również system GIS czyli system informacji geograficznej. Umożliwia on bowiem tworzenie zestawień ilościowych, które zawierają dane o poszczególnych rurociągach takie jak na przykład:

- przepływ,
- długość,
- materiał,
- średnica,
- rok budowy,
- ciśnienie.

System umożliwia również przechowywanie informacji o rodzaju i genezie awarii, które wystąpiły dotychczas, daje on również możliwość przewidywania wystąpienia usterki na podstawie powyższych informacji. Dzięki upowszechnieniu systemu GIS można przeprowadzać analizę awaryjności dla poszczególnego odcinka

lub całego obszaru sieci. Powyższe dane rozszerzone o wskaźniki jakościowe pozwalają na zakwalifikowanie problemu nadmiernej awaryjności do danej grupy [7]:

- nadmierna awaryjność pojedynczego rurociągu, która może być spowodowana wykorzystaniem wadliwego materiału lub wadzie konstrukcyjnej;
- nadmierna awaryjność całego obszaru sieci, która może być spowodowana zbyt wysoką wartością ciśnienia lub uderzeniami hydraulicznymi powstającymi na skutek zapowietrzenia rurociągu.

W przypadku częstej powtarzalności wystąpienia awarii w danej części sieci, na podstawie przeprowadzenia analizy kosztów bardzo często dochodzi do sytuacji, w której właściciel sieci podejmuje decyzję o wymianie lub reorganizacji rurociągu. Koszty poniesione w tym przypadku są zazwyczaj zdecydowanie niższe niż naprawa serii kolejnych awarii występujących w danym rurociągu [7].

Bardzo istotnym aspektem w procesie monitorowania sieci wodociągowej jest kontrola nocnych przepływów wody w sieci. Stałe nadzorowanie tego zjawiska umożliwia w znacznym stopniu skraca czas trwania awarii, które nie objawiają się powierzchniowym wyciekiem wody. W procesie diagnostyki wodociągowej wykorzystuje się przede wszystkim urządzenia elektroakustyczne do grupy, których między innymi należą [7]:

- korelator,
- geofon,
- loggery szumu,
- traser przewodów.

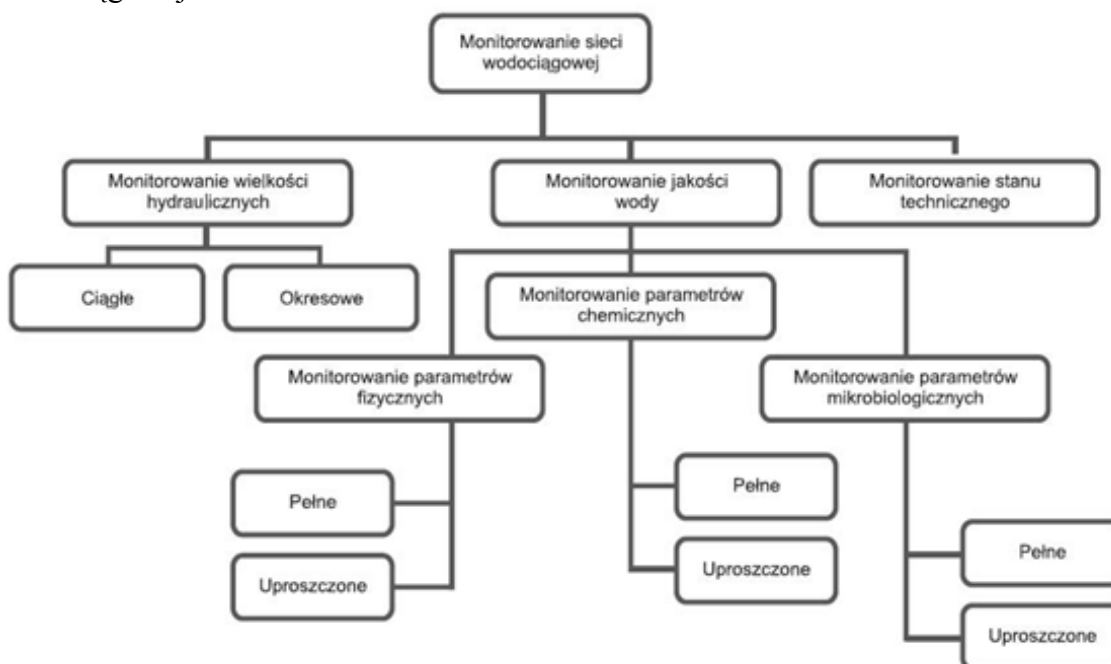
Proces monitorowania, który odbywa się nieprzerwanie jest dodatkowo wspierany poprzez różnego rodzaju kontrole okresowe oraz przeglądy robocze. Kontrole okresowe należą do obowiązków dostawcy wody, polegają one na cyklicznym przeglądzie sieci wodociągowej. Podczas tych zabiegów sprawdza się stopień sprawności poszczególnych elementów tworzących sieć wodociągową oraz stan ich zużycia. Kolejnym istotnym aspektem tego działania jest sporządzenie listy elementów, które wymagają naprawy lub renowacji. Dzięki wczesnemu wykrywaniu można znacznie zmniejszyć koszty usunięcia usterek. Podczas kontroli tego typu sprawdza się czy zarówno dostawca jak i odbiorca przestrzegają warunków ochrony środowiska. Przeglądy robocze instalacji również są bardzo istotne w procesie monitorowania poprawnego działania sieci wodociągowej. Wykonawcami tego typu usług mogą być jedynie konserwatorzy należący do odpowiednich służb zajmujących się obsługą sieci wodociągowych lub osoby z zewnątrz, które muszą posiadać uprawnienia do wykonywania robót budowlanych w dziedzinie instalacyjnej. Celem tego typu przeglądów jest wczesne wykrywanie oraz usuwanie wszelkiego rodzaju

nieprawidłowości oraz uszkodzeń. Odpowiednie przygotowanie instalacji wodociągowej do sezonu zimowego również należy do zakresu obowiązków dostawcy wody.

Monitorowanie sieci wodociągowej ma na celu poprawę jej pracy przy możliwie najniższych kosztach związanych z jej eksploatacją. Pełen monitoring obejmuje bardzo wiele różnych dziedzin takich jak [9]:

- monitoring hydrauliczny, podczas którego wykonuje się pomiary następujących wartości:
 - natężenie przepływu,
 - ciśnienie wody w przewodach.
- monitorowanie jakościowe, którego celem jest sprawdzenie parametrów wody w dziedzinach:
 - fizycznej w odniesieniu do mętności, pH oraz przewodności;
 - chemicznej w celu pomiaru stężenia środka chemicznego, który wykorzystywany jest do dezynfekcji wody;
 - mikrobiologicznej, umożliwia to wykrycie bakterii groźnych dla człowieka na przykład E.coli.
- monitoring techniczny, który wykorzystywany jest przede wszystkim w celu sprawdzenia stopnia zużycia elementów tworzących sieć wodociągową.

Rys. 3.1 przedstawia możliwości prowadzenia systemu monitorowania sieci wodociągowej.



Rys. 3.1. Schemat przedstawiający możliwości prowadzenia monitoringu sieci wodociągowej [36].

System monitorowania nazywamy skutecznym jeżeli otrzymane w jego wyniku dane o sieci wodociągowej umożliwiają między innymi sterowanie hydrauliczną pracą sieci oraz kontrolę jakości sprzedawanej wody. Informacje te wsparte dodatkowo przez monitorowanie techniczne, które pozwala sprawdzić czy normy techniczne poszczególnych elementów sieci są spełniane dają możliwość znacznego wydłużenia czasu eksploatacji sieci wodociągowej. W przewodzie o znacznym stopniu zużycia materiału, w którym dodatkowo dochodzi do częstego przekraczania dopuszczalnej wartości ciśnienia pojawia się bardzo duże prawdopodobieństwo przerwania struktury tego elementu. Dzięki informacjom zgromadzonym w procesie monitorowania właściciel sieci może zapobiec tego typu awarii planując prewencyjną wymianę zużytej rury [7].

Wszelkiego rodzaju pomiary kontrolne dotyczące wody znajdującej się w sieci, które zostały opisane powyżej oraz informacje na temat cyklicznego bilansu objętościowego wody umożliwiają sprawne sterowanie siecią wodociągową. Istotnym aspektem jest również wykorzystanie wszelkiego rodzaju programów komputerowych umożliwiających przeprowadzanie symulacji oraz zbadanie zachowania się układu sieci wodociągowej po zmianie niektórych parametrów odpowiadających za sterowania tą siecią. Dobry system umożliwiający stałe monitorowanie sieci wodociągowej powinien składać się z [9]:

- elementów pomiarowych dla poszczególnych zmiennych procesowych;
- miejsca magazynowania pozyskanych danych, w tym celu wykorzystuje się bazy danych;
- systemu komputerowego, który umożliwia bieżącą analizę wyników, dzięki temu można precyzyjnie określić ilość strat wody, skażenie lub miejsce wycieku;
- ekspertów nadzorujących pracę systemu komputerowego;
- specjalnych ekip remontowych, których zadaniem jest praca w terenie z fizycznymi elementami sieci;
- odpowiedniej formy przesyłu danych z czujnika do systemu a następnie do bazy danych;
- awaryjnego systemu zasilania.

3.1. Zasady projektowania systemu monitorowania

W celu poprawnej realizacji systemu monitorowania całej sieci wodociągowej należy ściśle przestrzegać pewnych określonych zasad takich jak [9]:

- właściwy dobór parametrów pomiarowych oraz ich zakresu, który uzależniony jest od wielu czynników takich jak wielkość sieci wodociągowej, średnice przewodów, liczba węzłów i tym podobne;
- znalezienie właściwych miejsc do wykonywania pomiarów, są to najczęściej węzły oraz pompownie o kluczowym znaczeniu znajdujące się w centralnej części sieci;
- dobór metod oraz urządzeń pomiarowych, jest to proces indywidualny, ponieważ każde miasto lub obszar wiejski, posiadają różnorodne schematy sieci wodociągowej. Znajac model oraz schemat sieci występującej na danym obszarze można odpowiednio skalibrować zastosowane urządzenia pomiarowe;
- odpowiednie pobranie danych z czujnika, ich przesył oraz archiwizacja, silnie zależy od rozwoju technologicznego, ukształtowania terenu, oraz gęstości zabudowy występującej na danym terenie;
- stałe podnoszenie kwalifikacji pracowników obsługujących system monitorowania sieci, po przez wysyłanie ich na cykliczne szkolenia, które doprowadzają do wdrażania coraz to nowszego oprogramowania;
- dostosowanie systemu komputerowego, który analizuje pracę sieci na podstawie zebranych danych, do potrzeb danej jednostki miejskiej.

Najwięcej problemów w procesie poprawnego monitorowania sieci wodociągowej przysparza właściwe rozlokowanie elementów pomiarowych. Przed dokonaniem tej czynności należy zapoznać się z informacjami na temat funkcjonowania sieci. W tym celu przeprowadza się analizę układu sieci, jego przeznaczenie, obszar jaki będzie zasilany w wodę przy pomocy sieci z uwzględnieniem wysokości budynków. Istotne są również informacje o stanie technicznym sieci oraz ewentualne problemy jakie dotychczas pojawiały się w trakcie eksploatacji tej sieci.

Czujniki pomiarowe powinno się montować stopniowo, oznacza to, że w pierwszej kolejności wybiera się najbardziej newralgiczne miejsca sieci. Następnie, na podstawie uzyskanych pomiarów w skali roku oceniona zostaje trafność wyboru położeń czujników oraz ich ewentualne przełożenie lub zwiększenie liczby, które spowoduje rozszerzenie systemu na większy obszar sieci [9].

Jako urządzenia pomiarowe wykorzystywane w systemach monitorowania sieci wodociągowej stosuje się najczęściej [9, 12]:

- przepływomierze elektromagnetyczne zwężkowe oraz ultradźwiękowe, które wykorzystywane są do pomiaru natężenia przepływu wody w sieci. Najbardziej rozpowszechnione są czujniki, w których pomiar dokonywany jest na zasadzie różnicy ciśnień mierzonej na odpowiednio ukształtowanej zwężce;
- wodomierze śrubowe i skrzydełkowe umożliwiające pomiar objętości przepływającej wody;
- przetworniki ciśnienia wykorzystywane do pomiaru ciśnienia panującego w sieci wodociągowej. Najprostsze z nich umożliwiają uzyskanie liniowej zależności odkształcenia elementu sprężystego czujnik w funkcji ciśnienia;
- czujniki umożliwiające pomiar mętności wody pitnej, które wykorzystują zjawiska rozpraszania oraz pochłaniania promieniowania;
- sondy umożliwiające pomiar przewodności wody;
- czujniki, które umożliwiają sprawdzenie odczynu wody na przykład czujniki kombinowane i różnicowe pH;
- czujniki wykorzystywane do pomiaru stężenia chloru i jego związków znajdujących się w wodzie
- termometry oporowe, termoelektryczne umożliwiają pomiar temperatury medium;
- czujniki poziomu cieczy, które wykorzystują zjawisko wyporu cieczy.

Proces obróbki danych uzyskanych z powyższych czujników umożliwiają tworzenie odpowiednich tabel oraz wykresów, które przedstawiają stan sieci wodociągowej. Wizualizacja tych danych znacznie poprawia ich czytelność oraz pozwala wykryć wszelkiego rodzaju odchyły występujące na powstałych wykresach od przyjętych norm.

Kolejnym istotnym zagadnieniem dotyczącym systemu monitorowania sieci wodociągowej jest problem przesyłu danych z czujników do komputerów znajdujących się między innymi na stacjach uzdatniania wody lub w specjalnie wyznaczonych do tego miejscach miasta.

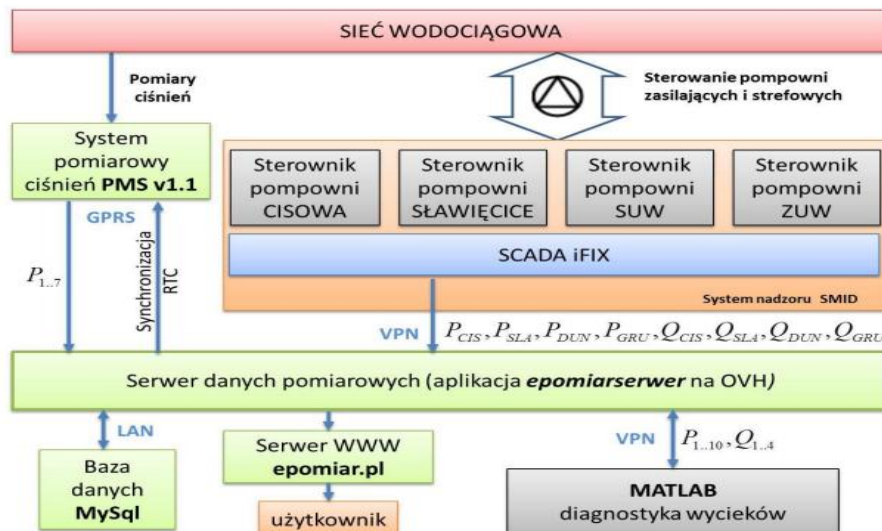
Przesył danych można podzielić na dwa główne systemy: przewodowy oraz bezprzewodowy. System ten tworzy się indywidualnie dla każdej jednostki sprawującej nadzór nad siecią wodociagową. Oba systemy posiadają swoje wady oraz zalety. Głównym założeniem systemu przesyłu danych jest jego niezawodność oraz dobra przepustowość dająca gwarancję szybkiego przesyłu danych [9].

Transmisja bezprzewodowa korzystna jest na większych obszarach sieci, ponieważ generuje ona mniejsze koszty i nie wymaga konieczności ciągnięcia

okablowania z urządzeń sterujących do każdego czujnika. Przesył danych drogą bezprzewodową jest silnie uzależniony od wykorzystanego urządzenia oraz technologii. W celu uzyskania jak największej prędkości oraz niezawodności przepływu informacji należy stosować nowe rozwiązania technologiczne.

Transmisja przewodowa jest zdecydowanie bardziej odporna na różnego typu zakłócenia radiowe. Przewodowa forma przesyłania danych nie gwarantuje jednak pełnego bezpieczeństwa, gdyż do tego typu sieci bardzo łatwo można się wpiąć z zewnątrz znając lokalizację położenia kabli. Jest to również zazwyczaj bardziej kosztowny sposób komunikacji, ponieważ wymaga stosowania wielu metrów połączeń kablowych. Technologia przewodowa umożliwia jednak osiąganie większych prędkości przesyłu danych.

System monitorowania bezpieczeństwa wody w sieci wodociągowej składa się ze złożonej struktury następujących po sobie czynności. W zależności od rejonu, w którym jest on umieszczony jego charakter może być indywidualny. Na Rys. 3.2 został przedstawiony schemat opisujący działanie systemu zastosowanego do monitorowania sieci wodociągowej w mieście Kędzierzyn-Koźle.



Rys. 3.2. Schemat przedstawiający strukturę systemu monitorowania sieci wodociągowej, który został zastosowany w miejscowości Kędzierzyn-Koźle [14].

Schemat przedstawia strukturę systemu monitorowania sieci wodociągowej pod kątem wartości ciśnienia wody. Dane pobrane z odpowiednich czujników rozmieszczonych w newralgicznych miejscach przesyłane zostają na serwer. Dzięki czemu można uzyskać do nich łatwy i szybki dostęp z każdego komputera. Serwer łączy się po sieci LAN z bazą danych, która umożliwia segregowanie oraz przechowywanie zebranych danych w postaci tabel. Dzięki czemu w bardzo szybki i prosty sposób można sprawdzić jaka była wartość ciśnienia wody odczytana z określonego czujnika w konkretnej godzinie.

Zastosowanie serwera WWW w tym konkretnym przykładzie była to witryna epomiar.pl umożliwia odpowiednie przetworzenie i wyświetlenie danych w sposób przejrzysty dla użytkownika. Nowoczesne algorytmy znacznie skracają czas obliczeń, dzięki czemu umożliwiają znacznie skuteczniejszą analizę oraz diagnostykę stanu sieci wodociągowej pod kątem zmian ciśnienia, które mogą przyczynić się do powstawania różnego typu wycieków. Przetworzone dane dzięki odpowiedniemu procesowi wizualizacji są łatwe i przejrzyste do odczytania i zanalizowania przez odbiorców, którzy nadzorują pracę systemu komputerowego.

Zastosowanie oprogramowania SCADA w powyższym przykładzie pozwala na stworzenie specjalnych wirtualnych paneli operatorskich, które umożliwiają sterowanie pracą wszystkich podpiętych do systemu zestawów pompowni. Usprawnia to zdecydowanie pracę całego systemu, ponieważ z jednego centrum monitorowania można sterować całą siecią.

Stały rozwój technologii umożliwia ciągle ulepszanie oraz rozbudowywanie systemów służących między innymi do monitorowania bezpieczeństwa wody w sieci wodociągowej oraz wszelkiego rodzaju elementów tworzących sieć. Prawidłowe funkcjonowanie sieci wodociągowej nie jest możliwe bez zastosowania systemu szeregu urządzeń pomiarowo obliczeniowych, które tworzą zaawansowany technicznie system monitorowania sieci wodociągowej.

Diagnostyka terenowa jest nieodłącznym fragmentem tworzącym sprawnie działający system umożliwiający prowadzenie monitoringu na sieci wodociągowej. Polega ona najczęściej na zastosowaniu metody akustycznej, w której wykorzystuje się specjalistyczne urządzenia pozwalające wykryć szum o określonej częstotliwości generowany przez medium wpływające z nieszczelnego przewodu sieci wodociągowej. Cykliczne przeglądy tras rur w sieciach wodociągowych wykonywane przez ekipy wyposażone w wyżej wspomniany sprzęt akustyczny uzupełnione o dane otrzymane z systemu komputerowego takie jak ciśnienie w sieci oraz wydajność pomp pozwalają na wczesne wykrycie wszelkiego typu nieprawidłowości oraz wycieków występujących w sieci wodociągowej. Tego typu działania mają na celu zmniejszenie strat spowodowanych niekontrolowanym wypływem medium z sieci co prowadzi do znacznego zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych sieci [8].

Szczelność przewodów sieci wodociągowej oraz wartość panującego w niej ciśnienia sprawdza się zazwyczaj na podstawie danych zebranych z urządzeń pomiarowych w godzinach nocnych, ponieważ zmniejszone zapotrzebowanie odbiorców na wodę pozwala na dokładniejsze określenie czy wystąpiły niekontrolowane spadki ciśnienia w sieci, które mogły być spowodowane nieszczelnościami przewodów. Dzięki tego typu zabiegom można w znacznym stopniu zmniejszyć czas, który potrzebny jest do wykrycia awarii w postaci pękniętej lub

rozszczelnionej rury. Proces samoistnego ujawnienia się wycieku na powierzchni gruntu może trwać nawet ponad 100 dni. W tym czasie może dojść do znacznych strat ekonomicznych, które poniesie właściciel sieci lub co gorsza do skażenia wody znajdującej się w sieci co może być niebezpieczne dla odbiorców [8].

3.2. Ochrona sieci przed zatruciem

Monitorowanie bezpieczeństwa wody znajdującej się w sieci jest kluczowym zadaniem systemu nadzorującego pracę tego obiektu. Niewykryty odpowiednio szybko atak terrorystyczny polegający na zanieczyszczeniu wody w sieci wodociągowej substancją chemiczną lub biologiczną mógłby doprowadzić do znacznego zmniejszenia populacji danego obszaru. Wprowadzenie trującego związku do wody w węźle sieci wodociągowej nie posiadającej systemu monitorowania sieci doprowadziło by najprawdopodobniej do całkowitego zanieczyszczenia medium znajdującego się w tej sieci. Szybkość rozchodzenia się szkodliwej substancji uzależniona jest od szybkości, kierunku przepływu oraz modelu sieci.

W modelach rozgałęzieniowych zatrucie jednego z pierwszych węzłów może skutkować bardzo szybko rozprzestrzeniającym się skażeniem, które obejmie całą sieć. Nawet odpowiednio szybkie wykrycie nieprawidłowości stanu wody w tego typu modelach nie daje gwarancji wystarczająco szybkiej reakcji. W celu zamknięcia zasuw, które znajdują się w przewodach wodociągowych należy wysłać ekipę naprawczo-konserwującą, gdyż tego typu elementy nie posiadają zazwyczaj systemu zdalnego zamykania. Zabieg ten spowoduje niestety całkowite odcięcie odbiorców od wody bieżącej, spowodowane jest to modelem sieci (patrz punkt 2.2). Liczba tego typu ekip uzależniona jest od wielkości obszaru jaki jest zaopatrywany w wodę przez tego typu sieć oraz od jej położenia.

Udane odcięcie skażonego obszaru sieci wodociągowej jest dopiero fragmentem pracy umożliwiającej ponowne przywrócenie przepływu wody. Zanieczyszczona substancja musi zostać usunięta z przewodów oraz zbiorników, które również mogły zostać skażone. Czynności te wykonywane są przez specjalne oddziały straży pożarnej lub grupy chemików. Kolejnym krokiem po wypompowaniu wody wymieszanej ze szkodliwymi związkami konieczne jest przepłukanie oraz odkażenie sieci.

Sieci pierścieniowe dzięki swojej konstrukcji mogą dalej zaopatrywać część odbiorców w bieżącą wodę. Jednak warunkiem, który to umożliwi jest odpowiednio szybkie wykrycie zmian w składzie chemicznym wody oraz powiadomienie odpowiednich służb, które przystąpią do procedury odcięcia skażonego fragmentu oraz usunięcia zanieczyszczonej substancji.

Czas reakcji ekip remontowych jest silnie uzależniony od kilku czynników, np.:

- powierzchnia oraz liczba odbiorców korzystających z sieci;
- szybkość przepływu wody, oraz średnice przewodów w sieci, mają decydujące znaczenie na tempo rozprzestrzeniania się skażenia;
- gęstość zabudowy powierzchniowej, która znacząco utrudnia dostanie się do niektórych zaworów;
- lokalizacji zasuw znajdujących się w przewodach;
- liczba ekip przypadająca na daną sieć wodociągową;
- rodzaj modelu sieci;
- sprawność działania systemu monitorowania, który umożliwia wykrywanie zatrucia.

Bezpieczeństwo obywateli oraz ekonomia są głównymi czynnikami wpływającymi na stały rozwój monitorowania sieci wodociągowej. Planowe prace oraz terminowe naprawy wraz z wymianami zużytych elementów sprawiają znaczące zmniejszenie kosztów wygenerowanych przez daną sieć. Częste naprawy tego samego fragmentu sieci wodociągowej generują zdecydowanie większe koszty niż prewencyjna wymiana uszkodzonego elementu na nowy. Tego typu działania oraz świadomość zagrożenia jakie może spowodować skażenie wody znajdującej się w sieci wodociągowej wymuszają na osobach, które odpowiedzialne są za sprawowanie kontroli nad tymi obiektami, stałe rozwijanie i udoskonalanie systemu monitorowania sieci.

Niestety wielu odbiorców nie zdaje sobie sprawy jakiego typu niebezpieczne substancje mogą znaleźć się w tym medium w przypadku awarii systemu monitorowania. Dlatego istotne jest by zarządca sieci prowadził równoległy rozwój systemu informowania odbiorców o aktualnym stanie wody w sieci. Wiele osób instaluje w swoich gospodarstwach dodatkowe filtry poprawiające stan wykorzystywanej przez nich wody, co korzystnie wpływa na ich stan zdrowia.

Rozwój technologii oraz zwiększona świadomość obywateli prowadzą do stałego rozwoju oraz poprawy działania systemu monitorowania sieci wodociągowej. Systemy przestarzałe poddawane są modernizacji celem, której jest poprawa komfortu psychicznego oraz bezpieczeństwa odbiorców wody.

4. Wymagania programowe i sprzętowe

Głównym celem pracy inżynierskiej jest stworzenie oraz zaimplementowanie algorytmu umożliwiającego monitorowanie sieci wodociągowej pod kątem bezpieczeństwa wody. Przed przystąpieniem do realizacji zadań należało wybrać właściwy język programowania oraz odpowiednią platformę sprzętową, która powinna posiadać wystarczającą moc obliczeniową oraz współpracować zarówno z wybranym językiem programowania jak i aplikacją webową.

4.1. Wybór platformy sprzętowej

W Tabeli 4.1. przedstawiono porównanie wybranych platform sprzętowych:

Tabela. 4.1. Porównanie platform sprzętowych [opracowanie własne].

| | Beaglebone Black Rev.3 | Raspberry Pi 3 | Odroid C1+ |
|-------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Procesor | ARM Cortex-A8 | ARM v71 | ARM-7 Cortex-A5 |
| Pamięć RAM | 512 MB | 1 GB | 1 GB |
| Pamięć | 4 GB + slot na karty microSD | slot na karty microSD | slot na karty microSD |
| GPIO | 92 | 40 | 40 |
| Wyjście wideo | micro HDMI | HDMI, RCA | HDMI |
| Dostępne systemy | Linux, Android | Linux | Linux, Android |
| Cena | 295 zł | 120 zł | 199 zł |

Ze względu na największą liczbę dostępnych poradników, niską cenę oraz duży wybór dostępnych systemów operacyjnych wybrana została platforma Raspberry Pi, która została szerzej opisana w Rozdziale 5.

4.2. Technologie i języki programowania

Z powodu braku możliwości realizacji algorytmu monitorowania stanu sieci wodociągowej na rzeczywistym obiekcie postanowiono skorzystać z modelu hydraulicznego sieci wodociągowej, który pozwoli na zasymulowanie przepływu wody oraz wystąpienie awarii. Istotna jest możliwość odczytu kluczowych parametrów sieci, takich jak prędkość przepływu, aktualnego stanu zasuw w przewodach, itp. oraz dopuszczalność sterowania przepływem, poprzez symulację zmiany pracy pomp oraz zamykanie lub otwieranie zasuw w przewodach.

Dostępne środowiska programistyczne:

- EPANET jest to jeden z dostępnych programów, który jest udostępniony przez licencję open source. Aplikacja pozwala na zaawansowaną symulację pracy sieci wodociągowej i wizualizację wyników. Aplikacja posiada własny interfejs graficzny, który umożliwia zarządzanie modelem sieci oraz edytowanie i tworzenie nowego modelu. Najważniejszymi jej cechami są [26]:
 - możliwość analizy dowolnie dużej i skomplikowanego modelu sieci wodociągowej,
 - przeprowadzenie symulacji rozprzestrzeniania się zatrucia,
 - wprowadzenie zasad kontrolnych, które będą sterowały elementami sieci podczas symulacji.

Aplikacja posiada także kilka rozszerzeń, które umożliwiają między innymi modelowanie złożonych reakcji chemicznych lub tworzenie własnych funkcji, które będą spełniały wymagania postawione przez programistę.

- WNTR (The Water Network Tool for Resilience) jest biblioteką dostępną w języku Python, która między innymi wykorzystuje algorytm programu EPANET. Została zaimplementowana w celu przeprowadzania symulacji oraz analizowania danych opisujących pracę sieci wodociągowej. Narzędzie to pozwala na zasymulowanie pęknięcia przewodu lub zatrucia wody wraz z możliwością analizy jego rozprzestrzeniania się po sieci wodociągowej. Biblioteka posiada także funkcje pozwalające na [27]:
 - kontrole modelu sieci oraz wprowadzanie zasad i warunków, które będą sterowały elementami występującymi w sieci,
 - wizualizację sieci w postaci grafu oraz nanoszenie na nią zmian zachodzących podczas symulacji,
 - tworzenie wykresów,
 - budowę własnego modelu oraz dodawanie elementów do już istniejącego,
 - zapis oraz podgląd wyników symulacji.

W bibliotece dostępne są dwa symulatory [27]:

- EPANETSimulator wykorzystuje algorytmy i funkcję używane przez program EPANET2, pozwala na przeprowadzenie symulacji hydraulicznej wraz z symulacją jakości wody, która pozwala na symulację rozprzestrzeniania się skażenia wprowadzonego do sieci.
- WNTRSimulator w przeciwieństwie do poprzedniego symulatora nie ma możliwości symulacji jakości wody, ale pozwala na zmianę warunków początkowych występujących w sieci i rozpoczęcie nowej symulacji na tym

samym modelu ze zmienionymi już warunkami początkowymi, umożliwia także zatrzymanie symulacji i jej kontynuację po zmianie działań sieci.

- WaterGEMS jest to oprogramowanie będące rozszerzeniem programu WaterCAD, umożliwia stworzenie i analizę działania sieci rozprowadzającej wodę oraz sprawdzenie zachowania się sieci w sytuacjach kryzysowych. W przeciwieństwie do wymienionych poprzednio nie jest udostępnione przez licencję open source, tylko istnieje możliwość wykupienia licencji. Narzędzie to jest przede wszystkim stworzone do celów takich jak [28]:
 - budowy modeli sieci wodociągowej oraz przeprowadzanie działań mających wpływ na jej funkcjonowanie,
 - zarządzanie stanem zasuw w przewodach oraz analizę działania systemu wodociągowego w różnych przypadkach rozmieszczenia zasuw odcinających przepływ wody,
 - optymalizacji działania zaprojektowanego systemu przy pomocy gotowych rozwiązań znajdujących się w oprogramowaniu,
 - wykrywanie awarii elementów sieci, takich jak uszkodzone przewody,
 - połączenie modelu z systemem SCADA w celu przeprowadzenia symulacji w czasie rzeczywistym,
 - analizę pracy pomp, prędkości przepływu, wydajności energetycznej i zachowania się systemu podczas sytuacji awaryjnych.

W pracy zdecydowano się na wykorzystanie biblioteki WNTR, ponieważ posiada wszystkie potrzebne elementy do prawidłowego sprawdzenia działania algorytmu monitorowania sieci wodociągowej. Umożliwia to implementację algorytmu za pomocą języka programowania. Biblioteka ta daje pełną możliwość kontrolowania modelu sieci oraz posiada dwa symulatory, dzięki którym istnieje możliwość przeprowadzenia różnego typu symulacji i wizualizację wyników. Dodatkowe biblioteki wykorzystane do prawidłowego działania programu:

- *Numpy* – pozwala na obsługę wielowymiarowych macierzy,
- *Scipy* – do przeprowadzania wydajniejszych obliczeń numerycznych,
- *NetworkX* – umożliwia wizualizację modelu sieci za pomocą grafu,
- *Pandas* – służy do przechowywania i analizy danych tworzonych podczas symulacji.

Do implementacji algorytmu i wizualizacji wyników można wykorzystać język Python, ponieważ umożliwia on w łatwy sposób dostęp do wielu bibliotek, które pozwolą na analizę wyników oraz ich wizualizację. Wybrana biblioteka pozwala w przystępny sposób na implementację algorytmu monitorowania sieci oraz połączenie go z modelem. Umożliwia to również przetestowanie jego działania dla różnych zagrożeń lub awarii, które mogą nastąpić w prawdziwej sieci wodociągowej.

Język Python w łatwy sposób umożliwia korzystanie z utworzonych wcześniej funkcji, pozwala on również na implementację nowych, połączenie symulacji z bazą danych oraz aplikacją webową. Umożliwia on również dokładną analizę otrzymanych danych wraz z ich wizualizacją.

4.3. Technologie bazodanowe

Głównym zadaniem silnika bazy danych jest dostarczenie danych do odpowiedniego algorytmu, który jest zaimplementowany w formie skryptu. Dane są modyfikowane a następnie umieszczane w odpowiednim katalogu.

Bazą danych nazywamy logicznie symulowane przestrzenie czyli komórki, które umożliwiają przechowywanie różnego typu informacji określanych mianem danych. Relacyjne bazy danych są modelami zapewniającymi odpowiednie struktury dla danych. Relacyjny model bazy danych oznacza, że pomiędzy danymi mogą występować określone relacje, które są zdefiniowane jako atrybuty zapisane w tabelach z danymi. Relacje w bazach danych mogą być traktowane jako elementy matematyczne. Dzięki wykorzystaniu specjalnych aplikacji możliwe jest zarządzanie bazami danych charakteryzujących się różnymi kształtami, rozmiarami oraz rodzajami [29].

Wybór silnika bazy danych wbrew pozorom nie jest tak oczywistym zadaniem. Na rynku dostępnych jest ponad 260 różnych silników. Wiele portali internetowych oraz magazynów publikuje listy popularności poszczególnych silników baz danych. W rankingu przeprowadzonym w 2016 roku w pierwszej 10 najpopularniejszych baz danych, które do dziś są bardzo chętnie wybierane przez programistów znalazły się bazy takie jak: SQLite, MySQL czy PostgreSQL[38].

SQLite jest biblioteką wbudowaną w aplikacje, w której jest używana. Charakteryzuje się ona dużą ilością dostępnych narzędzi oraz możliwością obsługi wszelkiego typu danych. Zastosowanie technologii bibliotek sprawia, że SQLite jest bazą szybką, sprawną oraz wydajną. Zaletami tego silnika jest działanie na plikach, cała baza to tylko jeden plik na dysku co znacznie ułatwia jej przenoszenie. Jest ona również narzędziem idealnym do projektowania oraz testowania. Jedną z wad SQLite jest brak możliwości zarządzania prawami dostępu użytkowników do bazy danych. Biblioteka ta wykorzystywana jest głównie w aplikacjach wbudowanych oraz do testowania [29].

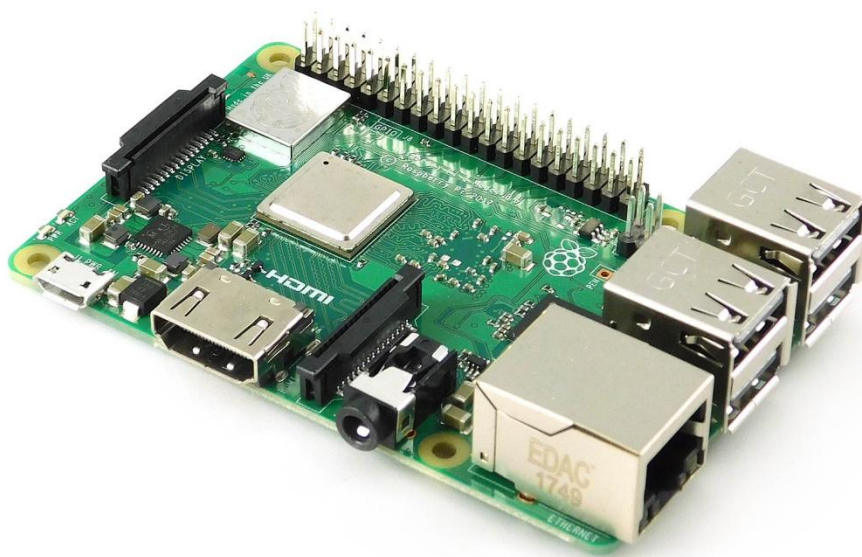
MySQL jest najbardziej popularnym silnikiem baz danych. Wykorzystuje się go głównie przy dużych serwerach oraz stronach internetowych. Charakteryzuje się on licencją open source oraz dużą ilością materiałów znajdujących się w Internecie, które umożliwiają łatwiejsze rozpoczęcie pracy z tym silnikiem. Głównymi zaletami MySQL są łatwość w obsłudze, funkcjonalność, bezpieczeństwo oraz szybkość. Do wad należą znane ograniczenia oraz możliwość obsługi niektórych funkcji, które zmniejszają wiarygodność tego silnika [29].

PostgreSQL jest oprogramowaniem open source, które umożliwia sprawną obsługę wielu zaawansowanych zadań. Jest to jeden z większych silników baz danych, który wykorzystywany jest głównie przy dużych projektach, które zawierają ogromne ilości danych. Zastosowanie tego silnika przy prostych operacjach może być mało wydajne. Jest on również mało popularny mimo możliwości obsługi największej liczby zmiennych. Zdecydowanymi zaletami są mocne wsparcie firm, silna społeczność oraz możliwość rozszerzalności [29].

W pracy zdecydowano się na wybór SQLite, ponieważ silnik ten jest darmowy, prosty w obsłudze oraz dostępny jako jedna z bibliotek języka programowania Python. Kolejnym istotnym aspektem była możliwość łatwego przenoszenia bazy danych co właśnie oferuje ten silnik. Duże znaczenie przy wyborze miały również łatwość oraz szybkość działania. Baza ta wprawdzie obsługuje najmniejszą liczbę zmiennych lecz w pracy wykorzystano tylko kilka podstawowych typów.

5. Platforma sprzętowa Raspberry Pi 3

Nazwa urządzenia przedstawionego na Rys. 5.1 wywodzi się z tradycji nadawania komputerom nazw owoców. Słowo „Pi” w nazwie urządzenia wzięło się od nazwy języka programowania Python, który początkowo miał być jedynym używanym przez platformę [10]. Pomimo niewielkich rozmiarów, zbliżonych do rozmiarów karty kredytowej platforma oferuje duże możliwości. Dzięki możliwości zainstalowania systemu operacyjnego może być zamiennikiem komputera.



Rys. 5.1. Raspberry Pi 3 [30].

5.1. Konfiguracja platformy sprzętowej

Konfigurację platformy sprzętowej Raspberry Pi rozpoczęto od sformatowania karty microSD do systemu plików FAT32. Wykorzystano system Raspbian w formacie *.iso pobrany ze strony (<https://www.raspberrypi.org/downloads/>). W celu zainstalowania obrazu systemu operacyjnego na karcie pamięci użyto programu Win32DiskImager. Konieczne było również podłączenie takich komponentów jak mysz, klawiatura oraz monitor w celu poprawnej obsługi komputera. Po uruchomieniu urządzenia dokonany został podstawowy proces konfiguracji platformy sprzętowej wraz z pobraniem najnowszych aktualizacji.

Konfigurację Raspberry Pi w celu uruchomienia symulacji przeprowadzono z wykorzystaniem następujących poleceń.

```
sudo apt-get update  
sudo apt-get upgrade
```

```
sudo apt-get install wntr
sudo apt-get install python-pandas
sudo pip install networkx
sudo pip install matplotlib
```

Polecenie `sudo` w systemach z rodziny Linux służy do wykonywania komendy jako inny użytkownik, najczęściej jako administrator (`root`). Polecenie `update` aktualizuje listę pakietów w systemie zarządzania pakietami `apt-get`. Polecenie `upgrade` instaluje aktualizacje. Kolejne linie to instalacja bibliotek wykorzystywanych podczas symulacji modelu sieci wodociągowej.

Struktura katalogów aplikacji internetowej została stworzona za pomocą następujących poleceń:

```
sudo mkdir /var/www/app
cd app
sudo mkdir OS
cd OS
sudo mkdir static templates
```

W katalogu `templates` będą się znajdować pliki HTML, a w katalogu `static` szablony stylów CSS, pliki z kodem JS oraz pliki graficzne. Raspberry Pi nie posiada wbudowanego środowiska obsługującego bazy danych SQLite. Instalacja serwera baz danych SQLite nastąpiła po użyciu następującego polecenia:

```
sudo apt-get install sqlite3
```

5.2. Instalacja serwera webowego

Ze względu na problem z uruchomieniem symulacji przez aplikację internetową z użyciem serwera Apache wykorzystano plik `__init__.py` do uruchomienia serwera. Utworzenie pliku inicjalizacyjnego `__init__.py` w katalogu `OS`:

```
sudo nano __init__.py
```

Zawartość pliku:

```
import sys
sys.path.insert(0, '/var/www/app/')
from flask import Flask
app = Flask(__name__)
from OS.views import *
if __name__ == "__main__":
    app.run(host='0.0.0.0', port=80)
app.secret_key="Password"
```

Aplikacja zostaje uruchomiona na porcie 80, jest to domyślny port dla serwera HTTP. W celu automatycznego startu serwera przy uruchomieniu urządzenia zainstalowano narzędzie *supervisor* i utworzono plik konfiguracyjny w katalogu `/etc/supervisor/conf.d`. Zawartość pliku przedstawiono poniżej:

```
[program:web_app]
autostart=true
autorestart=true
command = sudo /usr/bin/python /var/www/app/OS/__init__.py
stdout_logfile = /var/log/web_app.out.log
stderr_logfile = /var/log/web_app.error.log
```

Uruchomienie aplikacji następuje z wykorzystaniem polecenia `sudo`, dzięki czemu aplikacja posiada odpowiednie uprawnienia do wykonywania operacji na plikach. W plikach *web_app.out.log* i *web_app.error.log* zostaną zamieszczone informacje o stanie procesów i błędach związanych z aplikacją.

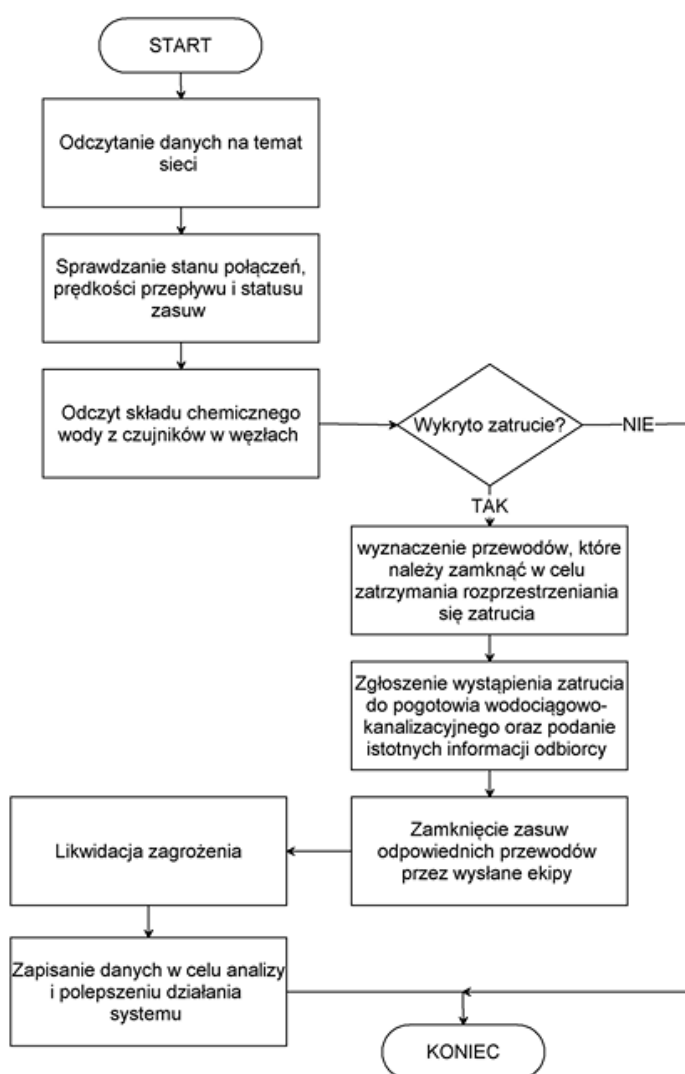
5.3. Konfiguracja sieciowa

Dostęp do Raspberry Pi można uzyskać na kilka sposobów. Pierwszym z nich jest podłączenie klawiatury i myszy z wykorzystaniem wejść USB (ang. *Universal Serial Bus*) oraz monitora do wejścia HDMI (ang. *High Definition Multimedia Interface*) Raspberry. Kolejnym ze sposobów jest połączenie przez sieć, które można zrealizować przewodowo i bezprzewodowo dzięki wbudowanemu modułowi WiFi (ang. *Wireless Fidelity*). Należy przypisać urządzeniu statyczny adres IP z poziomu Routera, aby nie było konieczności sprawdzania adresu, jaki został przypisany dynamicznie urządzeniu przy każdym połączeniu.

Komunikacja z urządzeniem przez sieć następowała przez protokół SSH (ang. *Secure Shell*). Jest to protokół umożliwiający zdalne połączenie z innym komputerem. Protokół SSH domyślnie jest wyłączony dla Raspberry PI, aby go aktywować należy załadować pusty plik o nazwie `ssh` na kartę pamięci urządzenia. W komunikacji między Raspberry Pi a komputerem wykorzystano program komputerowy PuTTY umożliwiający korzystanie z urządzenia przez terminal. Raspberry Pi posiada również interfejs graficzny, który może zostać wyświetlony na monitorze lub poprzez wykorzystanie protokołu VNC (ang. *Virtual Network Computing*) używając programu np. VNC Viewer. Przesyłanie plików między komputerem a Raspberry Pi można zrealizować używając darmowego programu WinSCP [10].

6. Algorytm monitorowania zatrucia w sieci wodociągowej

Opracowany algorytm monitorowania sieci wodociągowej pod kątem bezpieczeństwa wody umożliwia wykrywanie oraz analizę sytuacji awaryjnych lub nietypowych. Zastosowane rozwiązania pozwalają na efektywne wykrywanie wycieków oraz węzłów sieci w których wystąpiło zatrucie wody. Umożliwiają one również odpowiednie działania, których celem jest zapewnienie bezpieczeństwa pozostałym części sieci w przypadku wykrycia zagrożenia w jednym z jej fragmentów. Rys. 6.1 oraz załącznik B przedstawiają schemat blokowy algorytmu wykrywania zatrucia.



Rys. 6.1. Schemat blokowy algorytmu wykrywania zatrucia [opracowanie własne].

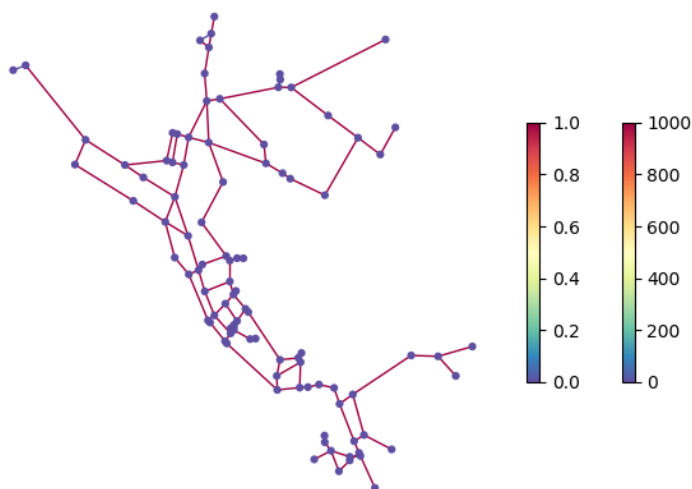
6.1. Implementacja algorytmu monitorowania

W celu urzeczywistnienia działania stworzonej symulacji do każdego modelu sieci tworzone są obiekty będące odpowiednikami ekip, które wysyłane są na miejsce awarii. Spowodowało to konieczność ustalenia wymaganego czasu, który jest potrzebny na zareagowanie w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej. Opracowany został algorytm, który tworzy odpowiednią liczbę tych obiektów oraz przypisuje im odpowiednie współrzędne w sieci. Działa on w taki sposób, że w przypadku wystąpienia awarii w dowolnym miejscu sieci przynajmniej jedna ekipa będzie wystarczająco blisko, by zareagować w czasie krótszym niż wynosi ustalona wartość.

Klasa tworząca obiekty ekip hydraulicznych przypisująca współrzędne początkowe, aktualne współrzędne oraz status wysłania została przedstawiona poniżej:

```
class teams_class:
    def __init__(self, start_cords, team_cords):
        self.start_cords = start_cords
        self.cords = team_cords
        self.sent = False
```

Symulacja wykonywana jest za pośrednictwem symulatora EPANETSimulator znajdującego się w bibliotece WNTR. Program pozwala na ustalenie czasu trwania całej symulacji oraz dodawanie źródeł zatrucia lub wycieków w dowolnym miejscu w sieci. Wizualizacja wyników przedstawiona jest za pomocą grafu modelu sieci, na którym zaznaczone są stany zasuw każdego przewodu oraz ilość szkodliwej substancji chemicznej znajdującej się w każdym węźle. Dzięki zapisaniu wartości istotnych parametrów dla poszczególnych elementów sieci możliwe jest kontrolowanie zmian ich wartości. Umożliwia to wykrycie zagrożeń i awarii. Dane te zapisywane są do bazy w każdym kroku symulacji, czas pojedynczego kroku wynosi 1800 sekund. Przewody na grafie są przedstawione za pomocą krawędzi, które łączą punkty będące węzłami sieci.



Rys. 6.2. Przykładowy model sieci w przypadku braku zatrucia [opracowanie własne].

Na Rys. 6.2 przedstawiony został przykładowy model sieci wodociągowej w przypadku braku zatrucia wody. Pierwszy wskaźnik [0, 1] dotyczy stanu zasuw przewodów, możliwe są dwie wartości: (1) oznaczona kolorem czerwonym, która odwzorowuje stan otwartego zaworu oraz (0) oznaczone kolorem niebieskim określające stan zaworu jako zamknięty. Drugi wskaźnik [0, 1000] obrazuje ilość szkodliwej substancji chemicznej w węźle. Najbardziej istotną częścią całego programu jest algorytm zajmujący się monitorowaniem oraz wykrywaniem zagrożeń prawidłowego działania sieci i przeciwdziałania im. Szczegółowe schematy blokowe algorytmów odpowiedzialnych za wykrywanie wycieków oraz zatrucia zostały przedstawione kolejno w załącznikach C oraz D. W programie występuje funkcja odpowiedzialna za wykrywanie wycieków i zatrucia węzłów, funkcja zamykająca odpowiednie przewody oraz funkcja otwierająca je. Wszystkie są wywoływane co podany krok symulacji.

6.1.1 Funkcja detection

Za wykrywanie wycieków i zatrucia odpowiedzialna jest funkcja *detection*. Pobiera ona między innymi wyniki symulacji, aktualny krok symulacji, nazwy węzłów i przewodów początkowych. Pierwszym etapem jej działania jest sprawdzenie czy w sieci nie pojawiło się nowe miejsce z którego wypływa woda oraz jeśli tak to w jakim przewodzie. Fragment przedstawiony poniżej odpowiada za pierwszy etap działania algorytmu:

```
if nodes_list != nodes:
    for node_l in nodes_list:
        if node_l not in nodes:
            leak_node = node_l
            leak_node2 = wn.get_node("%s" % leak_node)
            nod_links = wn.get_links_for_node("%s" % leak_node)
            lin = wn.get_link("%s" % nod_links[0])
```

Przewodem znajdującym się w modelu sieci, który należy zamknąć jest zmienna *lin*. Po sprawdzeniu czy dany przewód nie jest już czy nie jest zamknięty oraz nie znajduje się w liście z przewodami, które należy zamknąć, dodawany jest do tej listy. Następnie funkcja wybiera węzeł z sieci i sprawdza po kolei wszystkie jego przewody. Dla każdego połączenia wyznaczany jest jego węzeł końcowy. Aktualnie wybrany węzeł to zmienna *n*, a sprawdzany przewód wybrany z listy z przewodami węzła *nodes_links[n]* to zmienna *nl*. Wyznaczonym węzłem końcowym jest zmienna *nll[0]*. Procedura ta została przedstawiona przez poniższy fragment kodu:

```
for n in nodes:
    for nl in nodes_links[n]:
        link = wn.get_link("%s" % nl)
        nll = []
        nll.append(link.end_node_name)
```

```
nll.append(link.start_node_name)
nll.remove(n)
```

Jeśli wykryto zatrucie węzła sprawdzane jest czy nie jest on połączony z pompą oraz czy nie znajduje się ona o jeden węzeł dalej. Jeżeli tak to pompa jest wyłączana. Jeżeli żadne z połączeń zatrutego węzła nie jest pompą sprawdzane jest którym przewodem woda wypływa z węzła. W przewodach, w których spełniony jest ten warunek obliczany jest czas w jakim zatruta woda dotrze do następnego węzła i czy jest on mniejszy od czasu potrzebnego na dotarcie ekipy i zamknięcie zasuwy oraz czy sąsiadujący węzeł nie jest już zatruty. Po spełnieniu powyższych warunków lub jeżeli przewód jest otwarty i nie znajduje się na liście przewodów, które należy zamknąć jest on do niej dodawany. Fragment funkcji odpowiedzialnej za wykonanie tych czynności przedstawia poniższy fragment kodu:

```
if i > 0:
    if math.fabs(time_to_close * velocity[nl]) <
pipes_length[nl] and quality[nll[0]] <= 2:
        if link.initial_status == 1 and \
nl not in to_close and nl not in link_controls:
            to_close.append(nl)
```

W przypadku, gdy czas potrzebny na dotarcie skażonej wody do następnego węzła jest większy od czasu potrzebnego na zamknięcie przewodu sprawdzane są dopływy do skażonego węzła i dodanie do zamknięcia tych, których średnica jest na tyle duża, że spowodują znaczny wzrost prędkości rozprzestrzeniania się zatrucia. W algorytmie przyjęto, że są to przewody o średnicy większej od 300 mm. Po sprawdzeniu dopływów, sprawdzane są następniki węzła *n*. Polega to na wyznaczeniu połączeń każdego sąsiadującego węzła z aktualnie sprawdzanym. Fragment funkcji odpowiedzialnej za wykonanie tych czynności przedstawia poniższy fragment kodu:

```
node_links2 = nodes_links[nll[0]]
node_links2.remove(nl)
for nl2 in node_links2:
    link2 = wn.get_link("%s" % nl2)
    next_node = []
    next_node.append(link2.start_node_name)
    next_node.append(link2.end_node_name)
    next_node.remove(nll[0])
```

Zmienna *node_links2* to lista z połączeniami sąsiadującego węzła, *nl2* to aktualnie wybrane połączenie z listy, *link2* pobiera dane o przewodzie z modelu sieci, a *next_node[0]* to drugi węzeł połączenia *nl2*. By przewód został dodany do listy z przewodami do zamknięcia, muszą zostać spełnione następujące warunki:

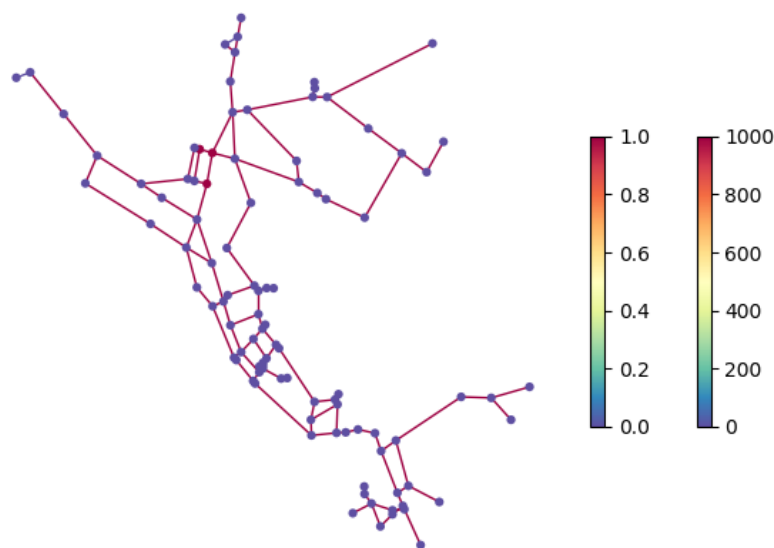
- czas zanim woda z zatrutego węzła dotrze do węzła o dwa dalej od zatrutego przewodami *nl* i *nl2* musi być mniejszy od czasu potrzebnego na zamknięcie,

- woda musi wypływać z sąsiadującego węzła sprawdzanym przewodem,
- przewód ten nie może być zamknięty i znajdować się w liście z przewodami do zamknięcia.

Jeżeli czas dotarcia wody z zatrutego węzła do węzła o dwa dalej od niego przewodami *nl* i *nl2* jest większy od czasu potrzebnego na zamknięcie, to sprawdzane są połączenia węzłów o dwa dalej od zatrutego. W tym celu należy wyznaczyć przewody węzła, który jest drugim węzłem przewodu *nl2*:

```
node_links3 = nodes_links[next_node[0]]
if nl2 in node_links3:
    node_links3.remove(nl2)
for nl3 in node_links3:
    far_node = []
    link3 = wn.get_link("%s" % nl3)
    far_node.append(link3.end_node_name)
    far_node.append(link3.start_node_name)
    far_node.remove(next_node[0])
```

Zmienna *node_links3* to lista z połączeniami tego węzła, a *nl3* to aktualne wybrane połączenie z listy, *link3* pobiera dane o przewodzie z modelu sieci, *far_node[0]* to drugi węzeł połączenia *nl3*. Dodanie przewodu do listy z przewodami do zamknięcia działa analogicznie jak w poprzednim przypadku, różnicą jest jedynie odległość jaką ma do pokonania woda, która jest dodatkowo powiększona o długość przewodu *nl3*. Po wykonaniu funkcji *detection* zwracana jest lista z przewodami do zamknięcia oraz aktualnym czasem symulacji. Działanie wykrywania zatrucia zostało przedstawione na Rys. 6.3.



Rys. 6.3. Model sieci w przypadku wykrycia zatrucia [opracowanie własne].

Czerwone punkty na schemacie oznaczają węzły, w których wykryte zostało skażenie. Umożliwia to wizualizowanie rozchodzenia się zatrucia po sieci w przypadku gdy ekipy nie zdążą w porę zamknąć zasuw w przewodach.

6.1.2 Funkcja *close*

Za zamykanie zasuw odpowiednich przewodów odpowiada funkcja *close* będąca fragmentem algorytmu zamykania zasuw, którego schemat blokowy przedstawiony został w załączniku E. Na samym początku wybierany jest przewód, który ma być zamknięty i wyznaczane są współrzędne jego środka (dla uproszczenia przyjęte jest, że zasuwa znajduje się na środku przewodu):

```
x_cord1 = get_link_node1.coordinates[0]
y_cord1 = get_link_node1.coordinates[1]
x_cord2 = get_link_node2.coordinates[0]
y_cord2 = get_link_node2.coordinates[1]

x_avr = (x_cord1 + x_cord2) / 2
y_avr = (y_cord1 + y_cord2) / 2
```

Zmienne *get_link_node1* i *get_link_node2* to węzeł początkowy i końcowy przewodu. Poprzez odczytanie ich współrzędnych wyznaczane są współrzędne środka. Następnie określana jest odległość każdej ekipy od tego punktu w sieci wzdłuż najkrótszej linii łączącej oba punkty:

```
for team in teams:
    distance.append(math.sqrt((team.cords[0]-x_avr)**2 +
    (team.cords[1]-y_avr)**2))
```

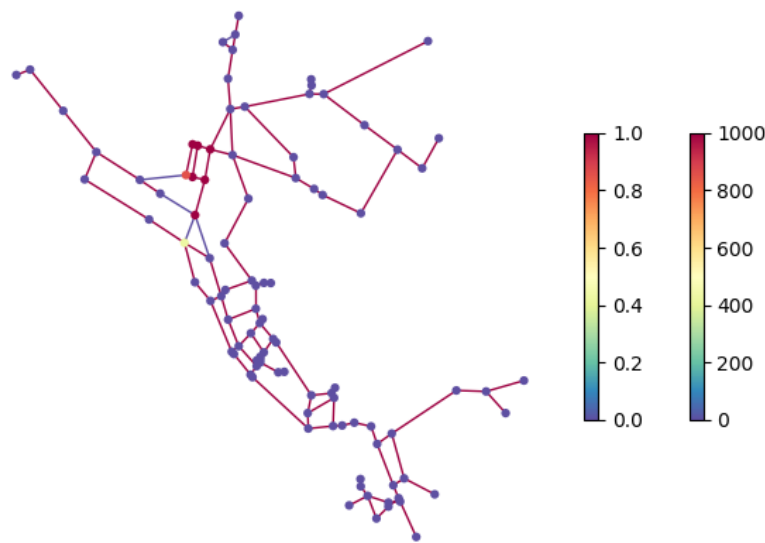
Po zakończeniu wykonywania obliczeń sprawdzane jest, w których przewodach należy zamknąć zasuwy w celu ograniczenia rozprzestrzeniania się zatrucia oraz gdzie doszło do wycieku. W pierwszej kolejności ekipy wysyłane są do zamknięcia tych przewodów, które są kluczowe w procesie zatrzymania rozpływu skażonej wody po sieci. Dopiero po całkowitym zabezpieczeniu sieci przed dalszym rozprzestrzenianiem się zanieczyszczonego medium ekipy podejmują działania dotyczące odcięcia przewodu, w którym nastąpił wyciek. Ma to na celu zabezpieczenie jak największej liczby odbiorców przed negatywnym wpływem skażonego medium.

Na miejsce lokalizacji zasuwy, która ma być zamknięta, wysyłana jest dostępna ekipa pod warunkiem, że czas jej dotarcia i zamknięcia zasuwy jest mniejszy od ustalonego. Trasa każdej ekipy przebiega wzdłuż najkrótszej linii od punktu jej aktualnego położenia, do punktu w którym znajduje się zasuwa. W przypadku zamknięcia zasuwy zatruta woda znajduje się w przewodzie do czasu jej usunięcia.

Samo zamykanie polega na dodaniu do modelu sieci warunku kontrolnego, który spowoduje zmianę stanu przewodu w określonym czasie symulacji:

```
act = controls.ControlAction(link, 'status', 0)
cond = controls.SimTimeCondition(wn, '=', tc[1] + 1800)
ctrl = controls.Control(cond, act, name="control_%s" % l)
wn.add_control("Control_%s" % l, ctrl)
```

Po wysłaniu ekipy na miejsce następuje zmiana jej współrzędnych na współrzędne tego miejsca oraz status jej dostępności. Działanie funkcji *close* zostało przedstawione na Rys. 6.4.



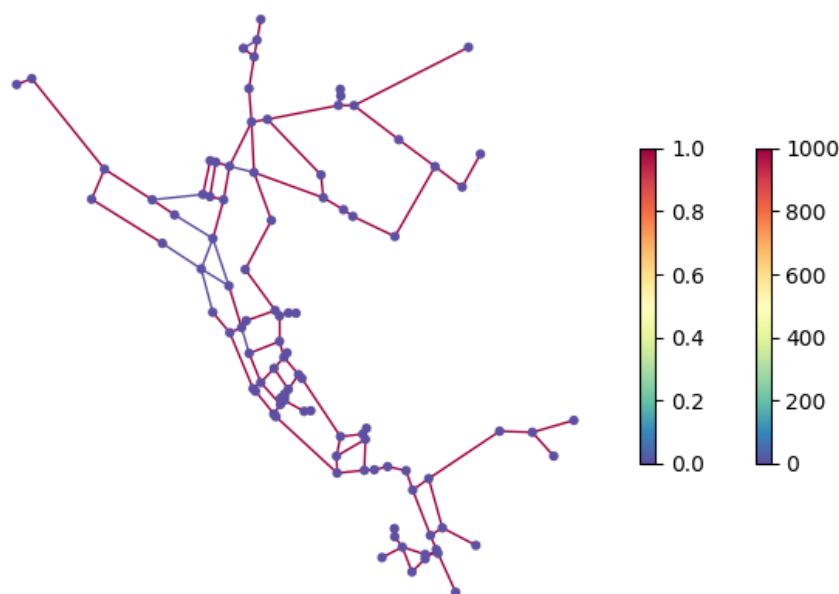
Rys. 6.4. Model sieci z zamkniętymi zasuhami po wykryciu zatrucia [opracowanie własne].

Jeżeli w danym kroku symulacji ekipa nie została nigdzie wysłana jej współrzędne zmieniają się na początkowe.

6.1.3 Funkcja open

Ostatnią częścią algorytmu jest funkcja *open*, która odpowiada za otwieranie zasuw przewodów. Po usunięciu awarii lub zatrucia z sieci, które odbywa się po przez wypłukanie skażonej wody za pomocą hydrantów. W pierwszej kolejności sprawdzane jest czy rozprzestrzenianie skażenia zostało zatrzymane, poprzez sprawdzenie, czy w kilku poprzednich krokach żaden przewód nie został zamknięty z powodu zatrucia, jeżeli warunek jest spełniony skażenie jest usuwane z sieci. Otwieranie rozpoczyna się dopiero po usunięciu zatrucia, w takiej samej kolejności jakiej przewody były zamykane. Działa to na tej samej zasadzie jak zamykanie przewodów, czyli poprzez utworzenie warunku kontrolnego w modelu sieci, który spowoduje zmianę stanu przewodu w konkretnym czasie symulacji. W przypadku wykrycia kolejnego zatrucia

otwieranie jest przerywane i będzie kontynuowane po usunięciu nowego zagrożenia. Rys. 6.5. przedstawia model sieci po usunięciu źródła skażenia.



Rys. 6.5. Model sieci po usunięciu źródła skażenia [opracowanie własne].

Po każdym kroku symulacji wszystkie dane dotyczące zmian zachodzących w sieci zapisywane są do bazy danych. Otwieranie zamkniętych przewodów odbywa się w analogicznie do zamykania. Po usunięciu źródła skażenia zasuwy przewodów zostają otwierane w kolejności od najwcześniej zamkniętych.

6.2. Baza danych

Rys. 6.6 przedstawia schemat bazy danych, której zadaniem jest przechowywanie danych otrzymanych w symulacji działania sieci wodociągowej. Baza ta przechowuje wszystkie dane opisujące sieć wodociągową. Główna tabela czyli (*main_tables*) zawiera informację o połączeniach (*links*) oraz węzłach (*nodes*). W tabelach tych znajdują się takie dane jak ID, które jest kluczem głównym umożliwiającym numerowanie oraz łatwe odnalezienie poszczególnych wartości w tabeli. Znajdują się tam również nazwy wszystkich węzłów oraz połączeń. W przypadku połączeń baza przechowuje dane dotyczące węzła początkowego oraz końcowego dla danego przewodu.

Schemat bazy danych podzielony jest na dwie główne części. Pierwsza przechowuje dane o charakterze stałym dla danej sieci (*constantly*), natomiast druga zmienne (*variables*), które zmieniają się w poszczególnych godzinach trwania symulacji. Baza danych zawiera w odpowiednich tabelach wszelkie informacje o pracy sieci wodociągowej są to:

- ciśnienie [bar],
- przepływ [m/s],
- nazwa elementu (ID),
- długość [m],
- poziom maksymalny [m³],
- poziom aktualny [m³],
- zatrucie [mg/l],
- ID węzła początkowego,
- ID węzła końcowego,
- stan pompy [0/1],
- zapotrzebowanie na wodę [m³/s],
- wysokość podnoszenia [m].

Druga część bazy przechowuje dane, które zmieniają się w każdym kroku symulacji. Na ich podstawie możliwe jest utworzenie wykresów zmian poszczególnych wartości w sieci wodociągowej. Na podstawie, tych danych przeprowadza się analizę pracy sieci, która umożliwia wczesne wykrycie ewentualnych nieprawidłowości oraz zagrożeń związanych z pogorszeniem się stanu wody.

Grupy węzłów oraz połączeń zawierają w sobie tabele, które posiadają dane opisujące poszczególne elementy wchodzące w skład tej sieci. W bibliotece WNTR wykorzystanej w celu symulowania pracy sieci wodociągowej grupa węzły (*nodes*) zawiera w sobie zbiorniki (*tanks*), oraz węzły (*junctions*), natomiast grupa połączenia (*links*) składa się z pomp (*pumps*) oraz przewodów (*pipes*). Dzięki zastosowaniu tego typu podziału w odniesieniu do tabel występujących w bazie danych jej schemat jest przejrzysty.

Zastosowanie bazy danych znacząco ułatwia przechowywanie oraz przesył danych. Jest to narzędzie umożliwiające posegregowanie zebranych danych oraz stworzenie wykresów obrazujących pracę sieci wodociągowej w czasie trwania symulacji. Bazy danych są nieodłącznym elementem każdej większej aplikacji, która wymaga przechowywania oraz analizowania danych uzyskanych podczas swojego działania. Zrealizowana baza danych ma charakter relacyjny oznacza to, że pomiędzy poszczególnymi tabelami w tej bazie zachodzą pewne relacje. Model ten działa po przez dopasowanie danych zapisanych w kolumnach które pełnią rolę klucza, zazwyczaj są to

kolumny o tej samej nazwie w obu tabelach. Stworzony przez nas schemat bazy danych zawiera jedynie relacje jeden do wielu, czyli najczęściej spotykany rodzaj relacji w bazach danych. Oznacza to, że wierszowi w tabeli A może odpowiadać wiele zgodnych wierszy w tabeli B.

Przedstawione na Rys. 6.6 zmienne klucze, które są w relacjach z pozostałymi tabelami znajdują się w tabelach węzły (*nodes*) oraz połączenia (*links*). Kluczami są ID obu tabel, nazwy węzłów (*node_name*) w tabeli węzły oraz nazwy połączeń (*link_name*), węzeł początkowy (*start_node*) i węzeł końcowy (*end_node*) w tabeli połączenia. Zastosowanie relacyjnej bazy danych znacznie ułatwia komunikację oraz wymianę danych pomiędzy poszczególnymi tabelami w bazie. Zwiększa to również znacznie jej efektywność i szybkość działania.

6.3. Testowanie

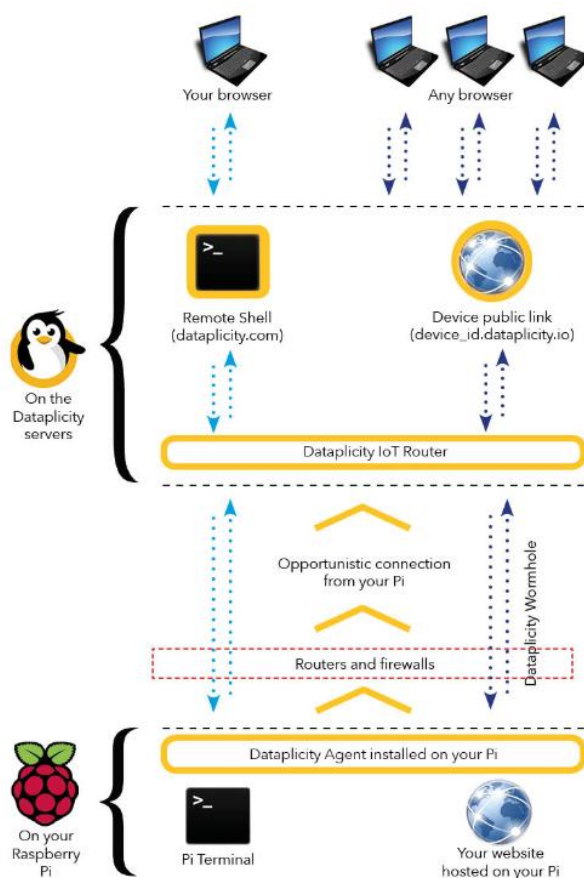
Testowanie czyli sprawdzenie poprawności kodu, algorytmu lub działania programu w celu weryfikacji jego zgodności z przyjętymi założeniami zlecającego wykonanie pracy. Jest to proces wykonywany w celu zapewnienia jak najwyższej jakości świadczonych usług lub wykonanego produktu, którego celem jest wykrycie występujących błędów. Zdarzają się jednak przypadki gdzie wytwór nie zostaje poddany testowaniu. Istnieje wiele różnych technik wykorzystywanych do weryfikacji oprogramowania [40]. Algorytm monitorowania sieci wodociągowej został poddany testowaniu dynamicznemu. Odbywało się ono po każdym ukończonym etapie projektowania i polegało na uruchomieniu oprogramowania z danymi testowymi w celu sprawdzenia czy zaimplementowany algorytm działa poprawnie. Sposób ten nazywamy techniką testowania dynamicznego. W celu sprawdzenia poprawności algorytmu zastosowano również inne testy takie jak:

- testowanie negatywne i pozytywne, które polega na sprawdzeniu czy oprogramowanie działa lub nie;
- testowanie regresywne czyli ponowna weryfikacja algorytmu w celu sprawdzenia czy dokonywana kosmetyka kodu nie zaburzyła poprawności jego działania;
- testowanie akceptacyjne, które wykonywane jest przez potencjalnego użytkownika oprogramowania.

7. Monitorowanie procesu z poziomu aplikacji internetowej

Aplikacja internetowa została wybrana jako warstwa prezentacji pracy, ponieważ opcja ta umożliwia również zdalne uruchomienie symulacji pracy sieci wodociągowej z dowolnego miejsca na świecie z dostępem do sieci Internet. W celu realizacji zdalnego uruchamiania symulacji konieczne było wykorzystanie serwera, na którym zostały umieszczone pliki zawierające kod. Rolę serwera spełnia platforma sprzętowa Raspberry Pi (patrz punkt 5.1.), ponieważ spełnia postawione wymagania dotyczące dostępnego oprogramowania.

Ze względu na brak publicznych adresów IP (*ang. Internet Protocol*) skorzystano z usługi zewnętrznego serwera jakim jest Dataplicity. Schemat działania został zaprezentowany na rys. 7.1. Dostęp do serwisu jest darmowy dla jednego urządzenia, co okazało się wystarczające w przypadku tej pracy. Usługa ta pozwala ominąć konieczność przekierowania portów, które jest wymagane w przypadku publicznego adresu IP. Połączenie inicjowane jest przez klienta zainstalowanego na Raspberry Pi [31, 32].



Rys. 7.1. Schemat działania serwisu Dataplicity [31].

7.1. Technologie i języki programowania

Stronę zrealizowano z wykorzystaniem techniki RWD (*Responsive Web Design*). Ta technika pozwala dostosować układ witryny internetowej do rozdzielczości urządzenia, dzięki czemu strona jest uniwersalna, a zatem prezentuje się odpowiednio na ekranach monitorów, tabletów i smartfonów czy innych urządzeń. Zaletą tej techniki jest również brak zjawiska ukrytej treści za pionowymi krawędziami ekranu (aby ją zobaczyć byłoby konieczne przewijanie ekranu w poziomie). Obecnie dużą część wyświetleń stron stanowią wyświetlenia na urządzeniach mobilnych, poprzez zastosowanie responsywności nie trzeba tworzyć kolejnej wersji strony przeznaczonej na urządzenia mobilne. Wykorzystanie RWD pozwala również na zachowanie jednej domeny, co jest kolejną zaletą tej technologii [33].

W tworzeniu aplikacji internetowej wykorzystano następujące technologie i języki programowania: Flask, Bootstrap, HTML (*ang. HyperTextMarkup Language*), CSS (*ang. Cascade Style Sheets*) i JavaScript.

7.1.1 Bootstrap

Jedną z opcji zaimplementowania RWD jest zastosowanie tzw. media queries. Jest to określenie wyglądu strony internetowej poprzez zapisanie w arkuszach stylów CSS opisu wyglądu dla wybranych reguł, np. rozdzielczości ekranu, typów urządzeń, itp. Podobnym rozwiązaniem w implementowaniu responsywności jest Bootstrap. Bootstrap jest to *framework* CSS służący do stylizacji stron i aplikacji internetowych. Bootstrap w przeciwieństwie do media queries nie wymaga definiowania wyglądu w arkuszach stylów, gdyż posiada już zdefiniowane odpowiadające za to klasy [39].

Podział strony możliwy jest na maksymalnie 12 kolumn. Poprzez dodanie odpowiednich prefiksów dla każdej z kolumn można wybrać szerokość w zależności od rozdzielczości ekranu np. podział strony na 6 kolumn dla wysokiej rozdzielczości ekranu (1920x1080px) a dla niskiej (720x568px) na 2 kolumny [36]. Prefiksy klas dla odpowiednich rozdzielczości zostały przedstawione w tabeli 7.1.

Tabela 7.1. Prefiksy klas w zależności od rozdzielczości [34].

| | Rozdzielczość | | | |
|------------------|---------------|----------|----------|----------|
| Szerokość ekranu | >=576px | >=768px | >=992px | >=1200px |
| Prefiks klasy | .col-xs- | .col-sm- | .col-md- | .col-lg- |

7.1.2 Flask

Flask to microframework napisany w języku Python dedykowany do tworzenia aplikacji internetowych. Upraszcza ich tworzenie przez zapewnienie łączenia adresów URL (ang. *Uniform Resource Locator*), widoków i szablonów w przejrzysty sposób. Flask powstał na podstawie *Werkzeug* oraz *Jinja2* [33]. *Werkzeug* to biblioteka języka Python służąca do komunikacji między serwerem HTTP i aplikacją [43]. *Jinja2* to język szablonów łączący pliki HTML z kodem napisanym w języku Python [41]. Wybrano takie rozwiązanie ze względu na prostotę oraz możliwość połączenia ze skryptami, służącymi do symulacji które zostały napisane w języku Python. Poniżej przedstawiony został przykładowy szablon z użyciem *Jinja2*:

```
{% extends "layout.html" %}
{% block content %}
<select class="form-control" name="junction">
  {% for j in junc %}
    <option value="{{ j }}">{{ j }}</option>
  {% endfor %}
</select>
{% endblock content %}
```

Zastosowanie *Jinja2* pozwala na przekazanie zmiennych używanych w pliku aplikacji do pliku HTML oraz wyświetlenie ich na stronie internetowej. Możliwe jest również użycie instrukcji warunkowych, takich jak `for` w powyższym przykładzie. Dzięki zastosowaniu tagów `{% block %}` i `{% endblock %}` możliwe jest użycie nadrzędnego pliku HTML jako domyślnego szablonu strony, który będzie dziedziczony przez inne podstrony [42].

Przycisk umieszczony na stronie umożliwia wysłanie na serwer pliku zawierającego model sieci wodociągowej. Przesyłanie pliku na serwer zostało zrealizowane za pomocą kodu przedstawionego poniżej:

```
@app.route('/upload', methods=['GET', 'POST'])
def upload():
    if request.method == 'POST':
        f = request.files['file']
        filename = f.filename
        destination = "/".join([target, filename])
        f.save(destination)
        flash('Plik '+filename+' sent successfully', 'success')
        return render_template('add_model.html', title='Add network')
```

Uruchomienie metody POST następuje po naciśnięciu przycisku formularza HTML. Metoda POST służy do przekazywania informacji z formularza na stronie internetowej. Wykorzystanie biblioteki *request* umożliwia przesłanie pliku. Po udanej operacji na ekranie pojawia się komunikat.

Odczytywanie informacji z tabel bazy danych zrealizowano z użyciem kodu przedstawionego poniżej.

```
conn = sqlite3.connect(database)
cur = conn.cursor()
cur.execute("SELECT * FROM pumps_simulation")
data2 = cur.fetchall()
return render_template('results.html', title='Simulation',
data2=data2, table='pumps sim')
```

Za pomocą funkcji *connect()* modułu *sqlite3* nawiązano połączenie z bazą danych, gdzie *database* określa ścieżkę do bazy danych. Następnie utworzono obiekt *cursor* i wywołano jego metodę *execute()*, która wykonuje zapytanie SQL, aby pobrać dane z wybranej tabeli *pumps*. Funkcja *fetchall()* zwraca wynik zapytania SQL w postaci listy.

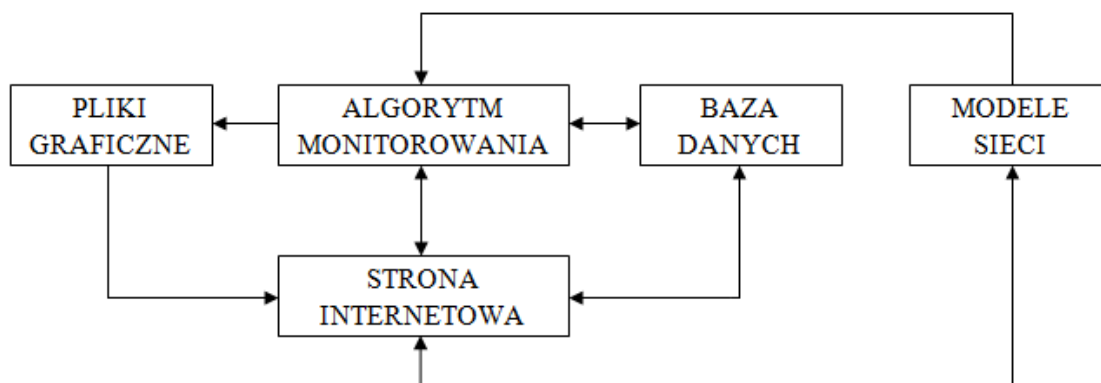
Dane z każdej kolumny tabeli są zapisywane do listy zadeklarowanej jako *data2*, umożliwia to przekazanie danych do pliku HTML i wyświetlenie ich na stronie. Fragment kodu, który umożliwia wyświetlanie tablicy z bazy danych na stronie internetowej został przedstawiony poniżej:

```
{% if data %}
  {% for d in data %}
    <tr>
      <td>{{ d[0] }}</td>
      <td>{{ d[1] }}</td>
      <td>{{ d[2] }}</td>
      {% if d[3] %}
        <td>{{ d [3] }}</td>
      {% endif %}
      {% if d[4] %}
        <td>{{ d[4] }}</td>
      {% endif %}
      {% if d[5] %}
        <td>{{ d[5] }}</td>
      {% endif %}
      {% if d[6] %}
        <td>{{ d[6] }}</td>
      {% endif %}
    </tr>
  {% endfor %}
{% endif %}
```

Dane są wyświetlane za pomocą tabeli HTML, która jest tworzona dla wybranej tabeli bazy danych, wybór dokonywany jest poprzez menu wyboru umieszczone nad tabelą. Tabele umieszczone na stronie pochodzą ze strony: <https://datatables.net/extensions/responsive/>. Wybrano takie rozwiązanie ze względu na dodatkowe opcje, takie jak pasek wyszukiwania, wybór liczby wyświetlanych pozycji czy sortowanie względem wybranej kolumny.

7.2. Sposób komunikacji z platformą sprzętową

Dzięki komunikacji z platformą sprzętową mogą zostać przedstawione wyniki symulacji, które zostają zapisane do bazy danych oraz w postaci plików graficznych. Na platformie sprzętowej znajdują się zarówno pliki aplikacji jak i pliki graficzne oraz baza danych. Na Rys. 7.2. przedstawiono schemat komunikacji algorytmu sterowania ze stroną internetową.



Rys. 7.2. Schemat przedstawiający komunikację algorytmu sterowania ze stroną internetową [opracowanie własne].

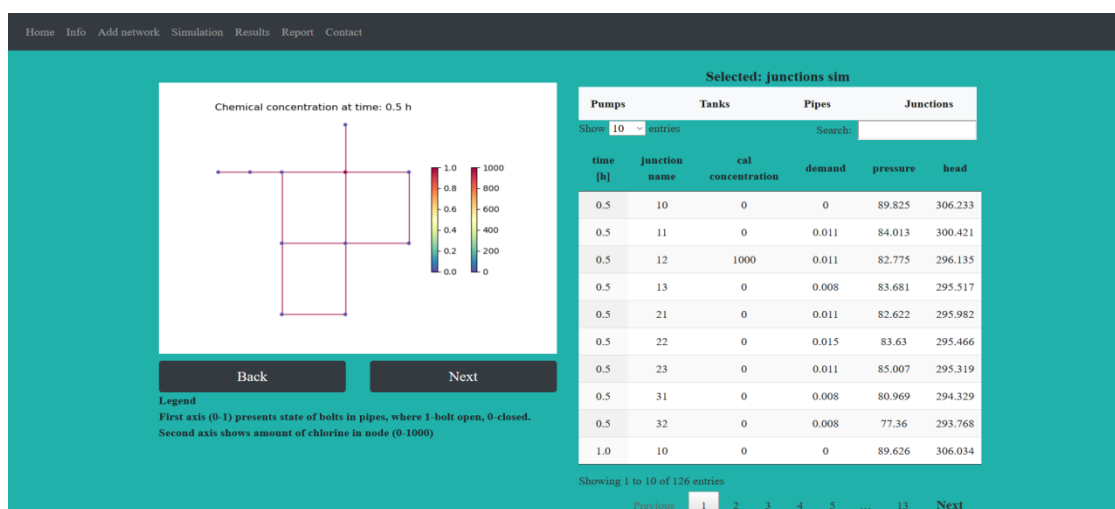
Dane zapisane przez algorytm sterowania do bazy danych oraz w postaci plików graficznych zostają wyświetlone na stronie internetowej. Baza danych znajduje się w katalogu głównym aplikacji internetowej `/var/www/app/OS/` a ścieżka do plików graficznych to `/var/www/app/OS/static/img/`. Po zmianie zawartości plików można wyświetlić ich zawartość na stronie internetowej poprzez ponowne jej załadowanie.

7.3. Interfejs strony internetowej

Na Rys. 7.3. przedstawiony został wybór parametrów symulacji zatrucia w sieci wodociągowej z poziomu strony internetowej. Na początku wybierany jest model sieci, po jego wyborze na stronie ukazuje się formularz z parametrami symulacji. Do wyboru dostępne są parametry, takie jak ID węzła, w którym ma nastąpić zatrucie, czas symulacji oraz godzina zatrucia.

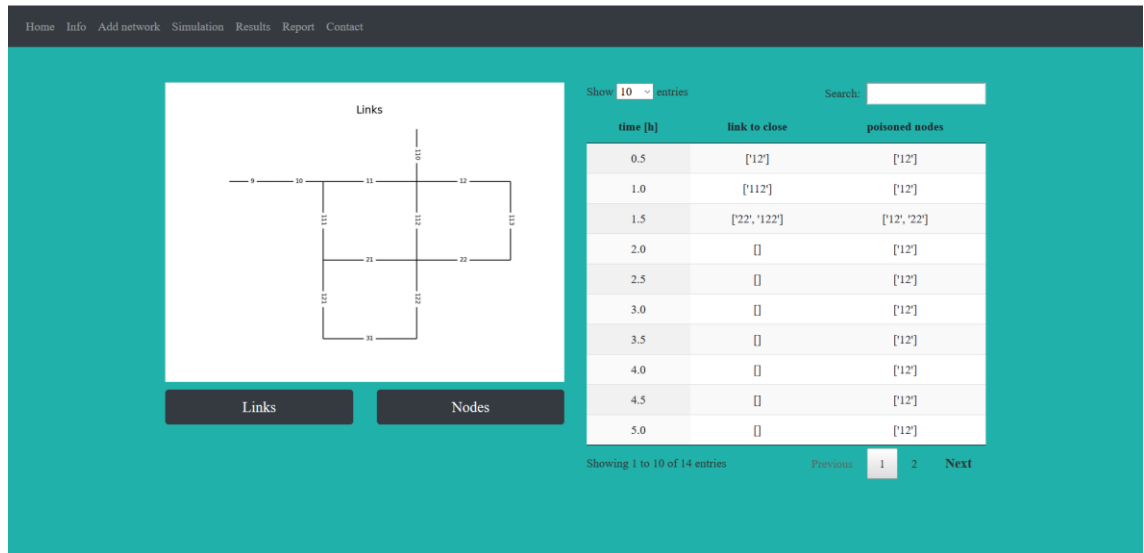
Rys. 7.3. Wybór parametrów symulacji z poziomu strony internetowej [opracowanie własne].

Na Rys. 7.4. przedstawiono wyniki symulacji na stronie internetowej. Po lewej stronie znajduje się wykres przedstawiający aktualny stan modelu sieci wodociągowej dla danego kroku symulacji. Przełączanie między wykresami odbywa się poprzez przyciski umieszczone pod wykresem. Po prawej stronie znajduje się tabela z informacjami pobranymi z bazy danych.



Rys. 7.4. Graficzne przedstawienie wyników symulacji na stronie internetowej [opracowanie własne].

Na Rys. 7.5. przedstawione zostały wyniki symulacji w postaci raportów zawierających informację o tym, które węzły zostały skażone oraz jakie przewody należy zamknąć w celu zatrzymania dalszego rozprzestrzeniania się skażenia po sieci wodociągowej.



Rys. 7.5. Graficzne przedstawienie raportów na stronie internetowej [opracowanie własne].

7.4. Obsługa aplikacji internetowej

Aplikacja internetowa zostaje uruchomiona po wpisaniu w przeglądarce adresu IP serwera, którym jest Raspberry PI. Strona główna przedstawia ogólne informacje o stronie w języku angielskim. Po wybraniu opcji *Add network* z głównego menu na górze strony dostępny jest wybór modelu sieci w formacie *.inp w celu przesłania go na serwer. Po przejściu na zakładkę *Info* dostępny jest wybór modelu o którym zostaną wyświetlone informacje z bazy danych oraz wykres modelu sieci z numerami węzłów. Zakładki *Simulation* i *Results* zostały opisane w punkcie 7.3. W zakładce *Contact* podane są adresy email autorów pracy inżynierskiej. Po przejściu na zakładkę *Report* po lewej stronie można ujrzeć wykres z przypisanymi nazwami przewodów, natomiast po prawej tabelę z listą przewodów do zamknięcia w danym kroku symulacji oraz listą skażonych węzłów.

8. Podsumowanie i wnioski

Celem pracy inżynierskiej było opracowanie i zrealizowanie systemu monitorowania sieci wodociągowej pod kątem bezpieczeństwa wody. Dodatkowo system miał umożliwiać analizę danych, raportowanie, wykrywanie i analizę sytuacji awaryjnych oraz nietypowych z dowolnego miejsca z dostępem do sieci Internet.

Wykorzystanie platformy sprzętowej Raspberry Pi umożliwiło skonfigurowanie serwera webowego pozwalającego na opracowanie i zrealizowanie aplikacji webowej. Za pośrednictwem aplikacji użytkownik ma dostęp do danych na temat sieci oraz tych otrzymanych w wyniku symulacji jej pracy. Dane wyświetlane są w formie tabel pochodzących z bazy danych, sposób ten jest czytelny oraz umożliwia łatwe analizowanie zmian poszczególnych wartości. Aplikacja webowa umożliwia również graficzną reprezentację wyników symulacji. Dane zgromadzone na stronie internetowej mogą zostać wykorzystywane przez osoby zajmujące się analizowaniem pracy sieci oraz procesów w niej zachodzących. Na podstawie symulacji poszczególnych modeli sieci wodociągowych można przewidzieć ich zachowanie w rzeczywistości. Umożliwia to opracowanie różnego typu zabezpieczeń w postaci zwiększonej liczby elementów pomiarowych w newralgicznych punktach sieci. Aplikacja webowa pozwala również na zdalne uruchomienie procesu symulacji sieci wodociągowej oraz symulację wystąpienia zatrucia wody. Użytkownik ma możliwość wyboru modelu sieci wodociągowej, z spośród dostępnych, którego praca ma być symulowana. Może on również wywołać kontrolowane zatrucie w wybranym przez siebie węźle sieci. Podaje on również czas trwania symulacji oraz godzinę, w której nastąpi skażenie medium znajdującego się w sieci. Działanie to umożliwia wizualizację szybkości rozprzestrzeniania się skażenia w poszczególnych fragmentach sieci.

Nadzór nad systemem monitorowania sieci wodociągowej jest zadaniem wymagającym dlatego osoby zajmujące się analizowaniem danych otrzymanych na podstawie procesu symulacji powinny być odpowiednio wykształcone oraz przeszkolone w tym zakresie. Rozwój technologii prowadzi do zastosowania coraz nowszych rozwiązań wykorzystywanych w procesach symulacji oraz wyświetlania danych zdobytych na jej podstawie dlatego konieczne jest ciągłe podnoszenie kwalifikacji pracowników zajmujących się tym zagadnieniem.

Symulacje pracy sieci wodociągowej przeprowadzane są na sieciach idealnych. Oznacza to, że wszystkie elementy tworzące te sieci są w pełni sprawne. Niestety nie ma to realnego odzwierciedlenia w rzeczywistości, ponieważ na świecie nie istnieją obiekty oraz konstrukcje idealne. Bardzo często w sieciach wodociągowych zdarza się, że zasuwy umożliwiające odcięcie przepływu w danym przewodzie są uszkodzone.

Wiąże się to z koniecznością stałych kontroli oraz przeglądów sieci by w sytuacji kryzysowej wiadome było, które zasowy nadają się do użytku, a które nie.

Tak przygotowany i skonfigurowany system może znaleźć szerokie zastosowanie w dziedzinie Inżynierii Środowiska. Przykładem wykorzystania systemu może być Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji (MPWiK). Instytucje te zajmują się rozwojem sieci wodociągowej. Celem ich pracy jest zapewnienie nieprzerwanych dostaw wody pod odpowiednim ciśnieniem oraz odpowiednim składzie chemicznym. Do zadań MPWiK należy również utrzymanie bezpieczeństwa wody znajdującej się w sieci wodociągowej oraz całej infrastruktury tworzącej tę sieć.

Podsumowując w pracy inżynierskiej udało się zrealizować następujące zadania:

- zapoznać się z charakterystyką procesu dystrybucji wody;
- zapoznać się z infrastrukturą tworzącą sieć wodociągową;
- przeanalizować dostępne na rynku systemy wykorzystywane w procesie monitorowania sieci wodociągowej;
- zapoznać się z dostępnym na rynku oprogramowaniem oraz platformami sprzętowymi, które mogą być wykorzystane w procesie monitorowania sieci;
- opracować oraz zaimplementować algorytm umożliwiający monitorowanie bezpieczeństwa sieci wodociągowej za pomocą języka Python (z wykorzystaniem biblioteki WNTR);
- opracować i zaimplementować algorytm umożliwiający wywołanie zatrucia medium znajdującego się w sieci;
- skonfigurować platformę sprzętową Raspberry Pi;
- zrealizować aplikację internetową z wykorzystaniem języka Python i microframeworka Flask;
- zrealizować aplikację webową przy wykorzystaniu techniki RWD;
- opracować i zrealizować relacyjną bazę danych przy pomocy silnika SQLite;
- zintegrować elementy w jeden działający system umożliwiający monitorowanie sieci oraz wyświetlanie otrzymanych danych z bazy danych
- zrealizować możliwość zdalnego wykonania procesu symulacji sieci za pośrednictwem aplikacji webowej;
- umożliwić zdalne wykonanie algorytmu umożliwiającego wywołanie zatrucia wody w dowolnym węźle sieci oraz w wybranej godzinie symulacji po przez aplikację webową.

Tak opracowany i zrealizowany system monitorowania stanowi dobrą bazę rozwojową. Zgromadzone dane jak i architektura systemu mogą pomóc w realizacji podobnych systemów jako moduł. Docelowo system ten może stanowić fundament

systemu eksperckiego, którego zadaniem będzie pomoc w nadzorowaniu i podejmowaniu decyzji.

System monitorowania wykonany na potrzeby pracy inżynierskiej posiada pozytywną tendencję rozwojową. Oznacza to, że w prosty sposób można go rozszerzyć o następujące funkcje takie jak:

- opracowanie dodatkowego algorytmu odpowiedzialnego za występowanie w procesie symulacji awarii poszczególnych elementów infrastruktury tworzącej sieć wodociągową. Doprowadzi to do urzeczywistnienia modelu sieci;
- dodanie dodatkowych metod doboru zasuw do zamknięcia;
- aplikacja webowa może stać się również doskonałą formą informowania odbiorców o przerwach w dostawie wody spowodowanych awarią lub planowymi naprawami oraz jej aktualnym stanie.
- właściwe zabezpieczenie aplikacji internetowej wykonane na podstawie przeprowadzonej analizy krytyczności możliwych zagrożeń np. ataki hakerów. Pozwoliło by na rozszerzenie funkcjonalności strony o możliwość opłacania rachunków za wodę oraz ścieki.

Bibliografia

Źródła książkowe oraz magazynowe:

- [1] Chudzicki, Sosnowski, *Instalacje wodociągowe*, "Seidel-Przywecki" Sp. z o.o., Warszawa 2009, str. 93
- [2] Chudzicki, Sosnowski, *Instalacje wodociągowe*, "Seidel-Przywecki" Sp. z o.o., Warszawa 2009, str. 98 - 99
- [3] Chudzicki, Sosnowski, *Instalacje wodociągowe*, "Seidel-Przywecki" Sp. z o.o., Warszawa 2009, str. 229 - 247
- [4] Chudzicki, Sosnowski, *Instalacje wodociągowe*, "Seidel-Przywecki" Sp. z o.o., Warszawa 2009, str. 260 -261
- [5] Dudziak A., *Charakterystyki przepływowe zasuw wodociągowych*, Rynek Instalacyjny 5/2008,
- [6] Heidrich Z., *Wodociągi i Kanalizacja. Część 1. Wodociągi*, WSIP, Warszawa, 1999, str. 7
- [7] Herczyk T., Kuliński E., *Rozwój monitoringu sieci wodociągowej – działania w zakresie optymalizacji pracy układu dystrybucji wody na przykładzie PWiK Okręgu Częstochowskiego SA w Częstochowie*, Napędy i Sterowanie, Nr 1 1/2017, str. 66 - 70
- [8] Piechurski F., *Strategia ograniczania strat wody z sieci wodociągowych (1). Inspekcje wodociągów*, Magazyn Instalatora 3/2013
- [9] Piechurski F., *Systemy monitoringu w sieci wodociągowej (1). Wskaźniki pod obserwacją*, Magazyn Instalatora, Nr 10/2011
- [10] Upton E., Halfacree G., *Raspberry Pi Przewodnik użytkownika*, Helion S.A., Gliwice 2015
- [11] Urbaniak A., *Automatyzacja w Inżynierii Sanitarnej*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1991, str. 169
- [12] Urbaniak A., *Podstawy Automatyki*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001, str. 147 - 161

Źródła internetowe

- [13] Składanek A., *Rury do wody. Wady i zalety różnych rur do wody. Z jakich rur budować wodociąg?*, <https://www.muratorplus.pl/technika/instalacje-wodne/rury-wodociagowe-aa-sQZj-vhkq-C2E6.html> [dostęp. 17.11.2018 g. 09:15]
- [14] Zmarzły M., *System eksportowy do diagnostyki wycieków w sieci wodociągowej*, Autoreferat Rozprawy Doktorskiej, Opole 2014 r., Str. 14, https://we.po.opole.pl/dmdocuments/autoreferat_zmarzly.pdf [dostęp. 12.12.2018 g. 16:10]
- [15] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Akwedukt> [dostęp. 9.11.2018 g. 10:15]

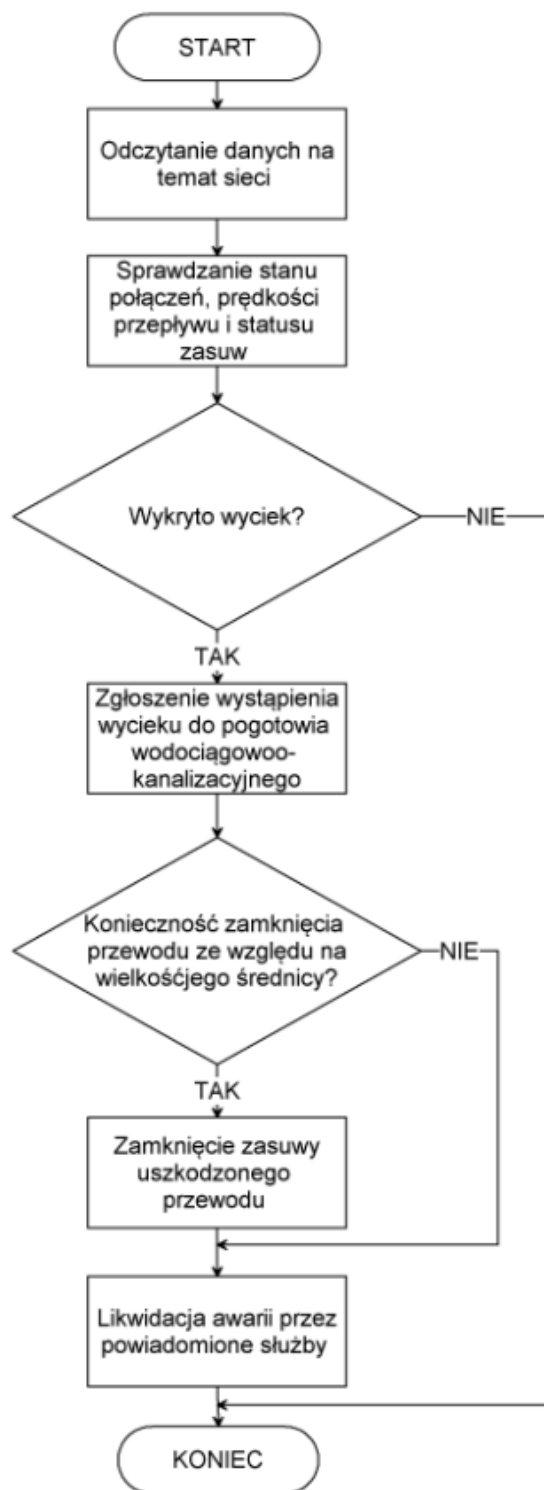
- [16] <https://www.imperiumromanum.edu.pl/kultura/architektura-rzymska/budowle-rzymskie/akwedukty-rzymskie/amp> [dostęp. 9.11.2018 g. 10:20]
- [17] <https://info.wiara.pl/doc/312264.Historia-wody-czyli-jak-pozyskiwano-najcenniejszy-dla-czlowieka> [dostęp. 9.11.2018 g. 10:30]
- [18] *Dobór zbiorników na wodę*, <http://www.instsani.pl/918/dobor-zbiornikow-na-wode> [dostęp. 17.11.2018 g. 10:40]
- [19] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Hydrant> [dostęp. 18.11.2018 g. 11:22]
- [20] https://pl.wikipedia.org/wiki/Zaw%C3%B3r_odpowietrza%C4%85cy [dostęp. 18.11.2018 g. 11:40]
- [21] <http://antyskazeniowe.pl/2011/02/zawory-antyskazeniowe-w-praktyce/> [dostęp. 18.11.2018 g. 11:53]
- [22] Sieci wodociągowe, <http://www.instsani.pl/880/sieci-wodociagowe-2> [dostęp. 19.11.2018 g. 13:50]
- [23] <http://www.mzk.stalowa-wola.pl/zaklad-wodociagow-i-kanalizacji-zwik/suw/> [dostęp. 9.12.2018 g. 08:40]
- [24] <https://python101.readthedocs.io/pl/latest/webflask/> [dostęp. 26.12.2018 g. 14:40]
- [25] <http://www.kampinos.pl/print.php?art=2176> [dostęp. 09.01.2019 g. 13:55]
- [26] <https://www.epa.gov/water-research/epanet> [dostęp. 19.12.2018 g. 18:20]
- [27] <https://wntr.readthedocs.io/en/latest/overview.html> [dostęp. 19.12.2018 g. 18:40]
- [28] <https://www.bentley.com/pl/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watergems> [dostęp. 19.12.2018 g. 19:00]
- [29] <https://hostovita.pl/blog/porownanie-relacyjnych-systemow-zarzadzania-bazami-danych-sqlite-mysql-postgresql/> [dostęp. 21.12.2018 g. 10:10]
- [30] <https://nettigo.pl/products/raspberry-pi-3-b> [dostęp. 27.12.2018 g. 18:20]
- [31] <https://www.dobreprogramy.pl/Dataplicity-zdalny-dostep-do-Raspberry-Pi-bez-publicznego-IP,News,84413.html> [dostęp. 25.12.2018 g. 20:15]
- [32] <https://docs.dataplicity.com/docs/how-it-works> [dostęp. 25.12.2018 g. 20:25]
- [33] <https://mobirank.pl/2015/01/09/co-to-jest-rwd/> [dostęp. 26.12.2018 g. 11:55]
- [34] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Bootstrap_\(framework\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Bootstrap_(framework)) [dostęp. 26.12.2018 g. 12:32]
- [35] <http://flask.pocoo.org/> [dostęp. 26.12.2018 g. 14:28]
- [36] <https://www.kierunekwodkan.pl/siec-pod-kontrola8230-cz-i,4297,art.html> [dostęp. 19.11.2018 g. 10:20]
- [37] Masłowski A., *Przykładowy koszt budowy przyłącza wodociągowego*, <https://poradnikprojektanta.pl/przykladowy-koszt-budowy-przylacza-wodociagowego/> [dostęp. 09.01.2019 g. 13:50]
- [38] Curyło J., *Ranking silników baz danych*, <http://szalonypecet.pl/2016/01/12/ranking-silnikow-baz-danych/> [dostęp. 21.12.2018 g. 18:50]
- [39] <https://getbootstrap.com/> [dostęp. 26.12.2018 g. 12:32]
- [40] <http://testerzy.pl/artykuly/definicja-testowania-oprogramowania-cz-1> [dostęp. 16.01.2019 g. 17:50]
- [41] <http://jinja.pocoo.org/docs/2.10/> [dostęp. 27.12.2018 g. 13:47]

[42] <http://jinja.pocoo.org/docs/2.10/templates/#template-inheritance> [dostęp. 27.12.2018 g.14:08]

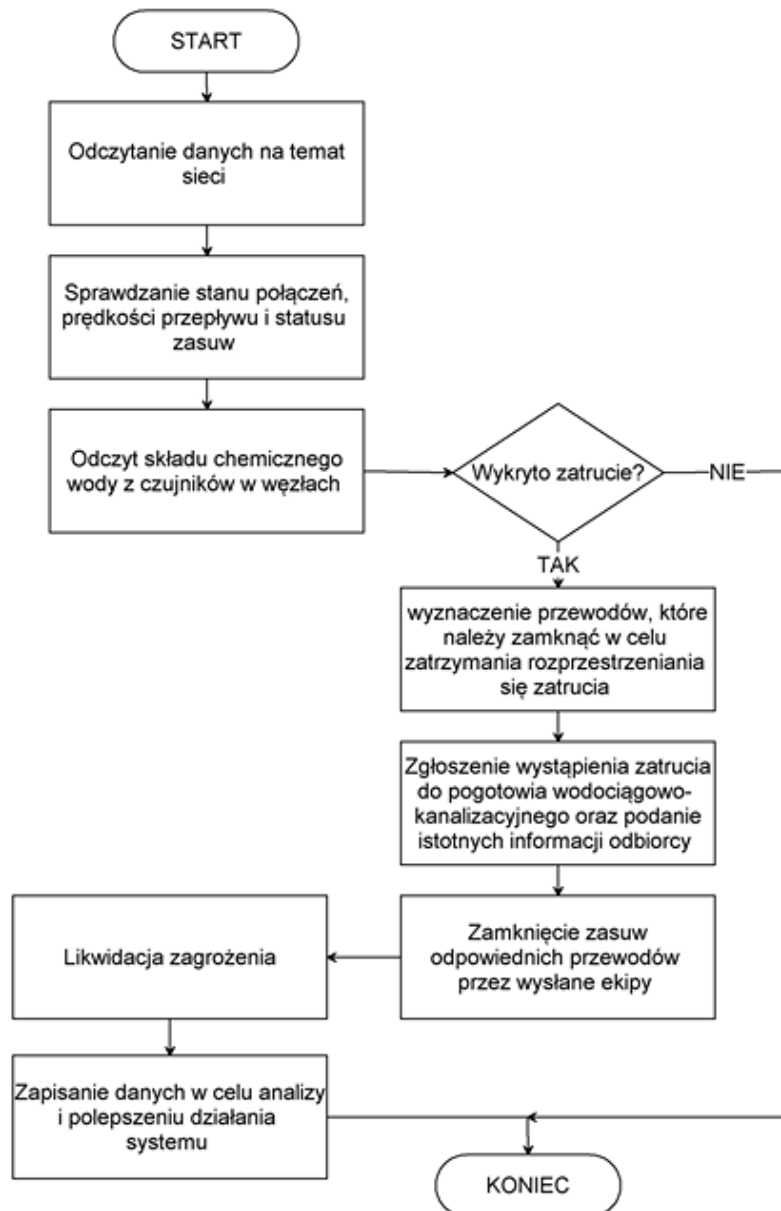
[43] <http://werkzeug.pocoo.org/> [dostęp. 29.12.2018 g.15:49]

Załączniki

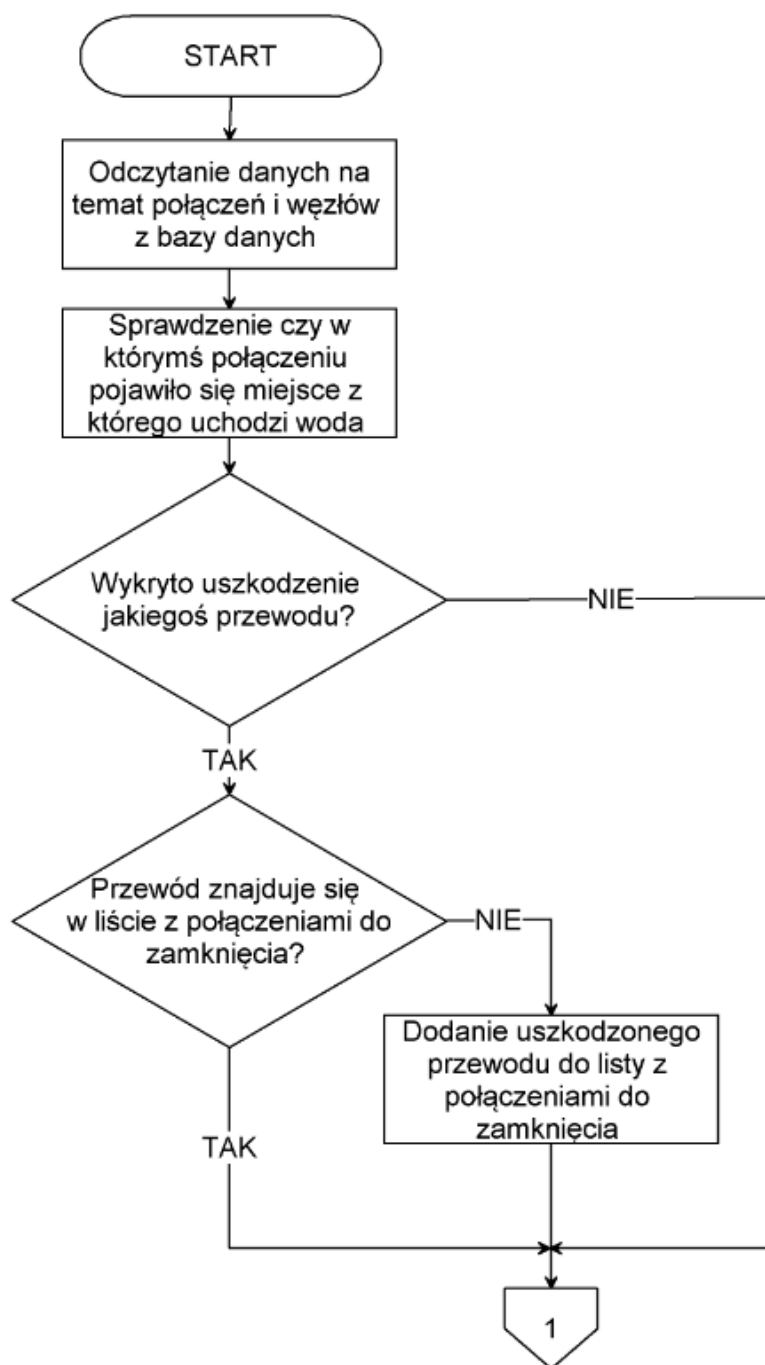
Załącznik A – ogólny schemat blokowy wykrywania wycieku.



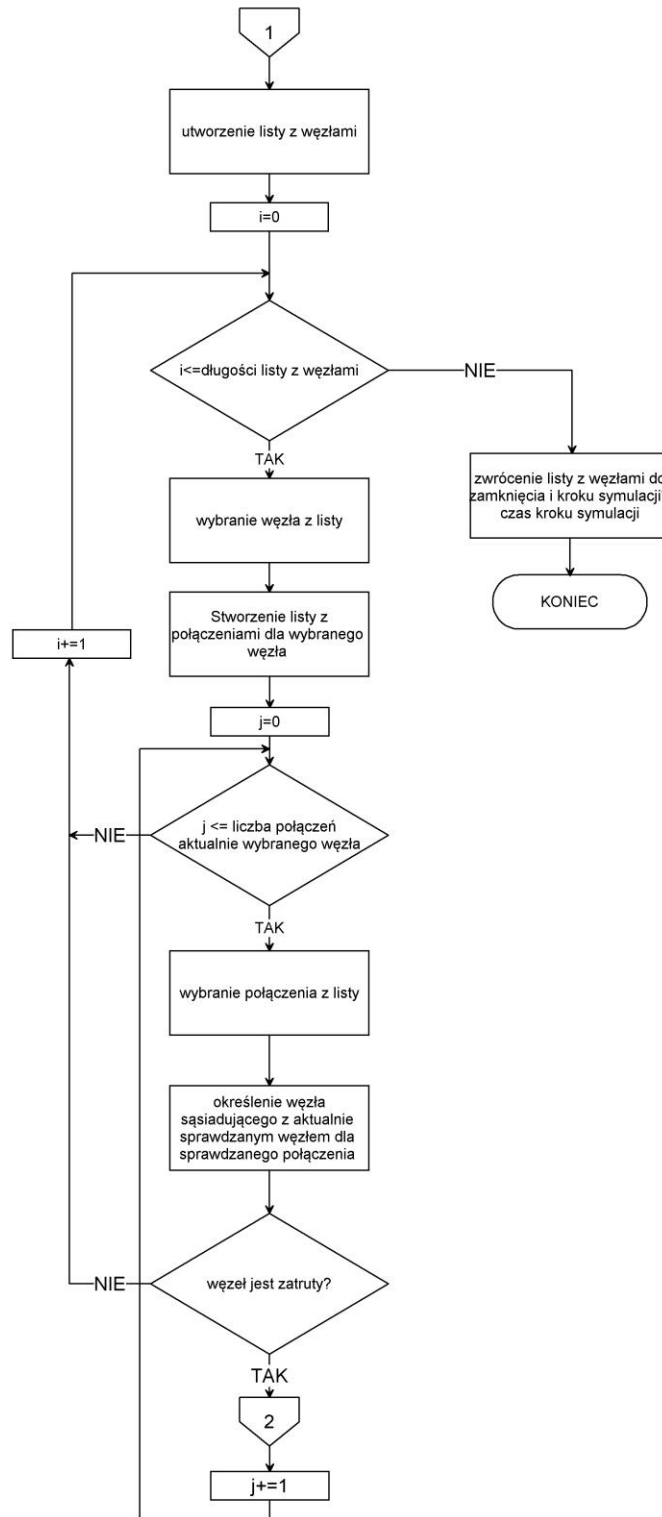
Załącznik B – schemat blokowy ogólnego algorytmu wykrywania zatrucia.

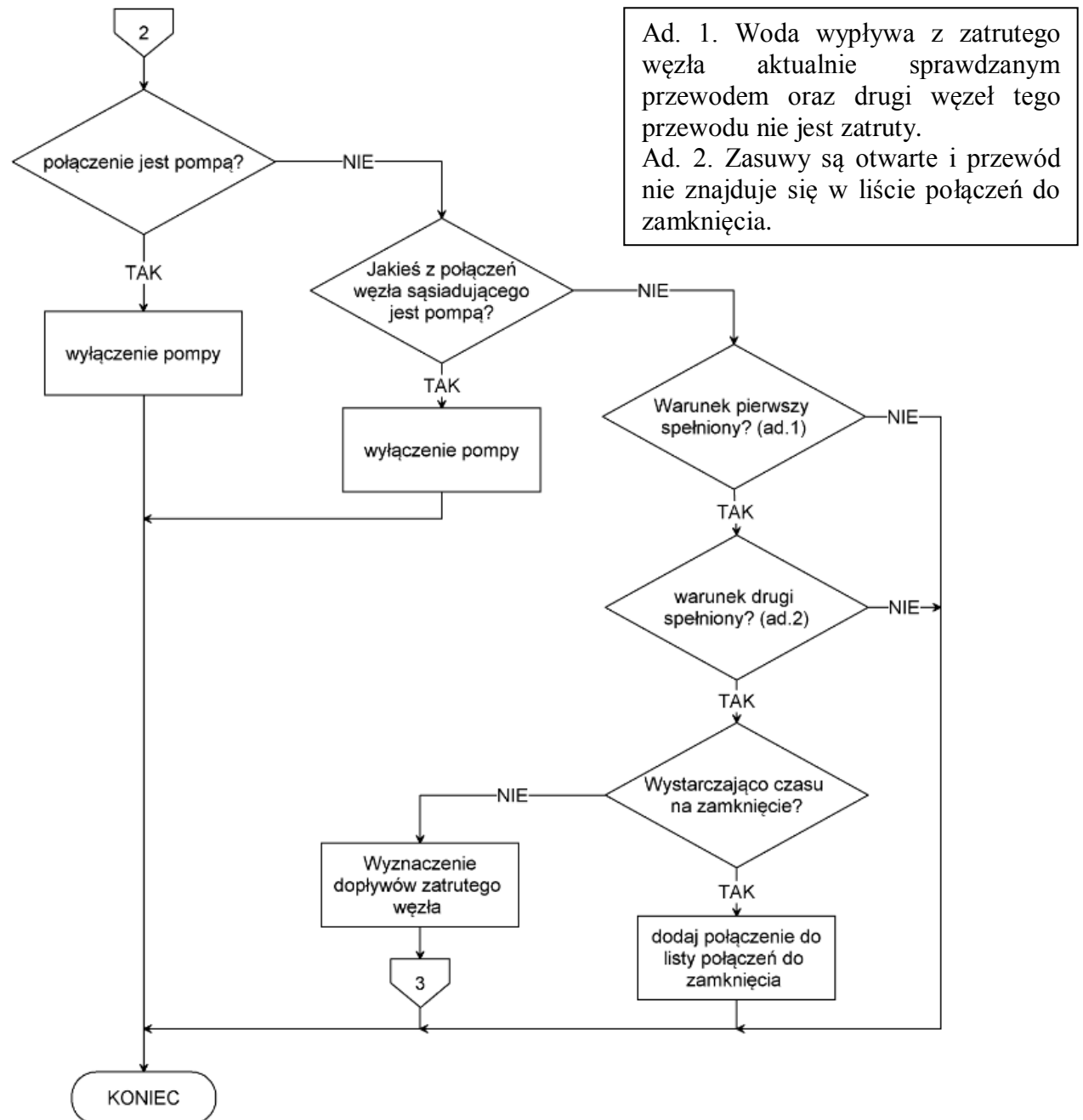


Załącznik C – schemat blokowy algorytmu wykrywania wycieku

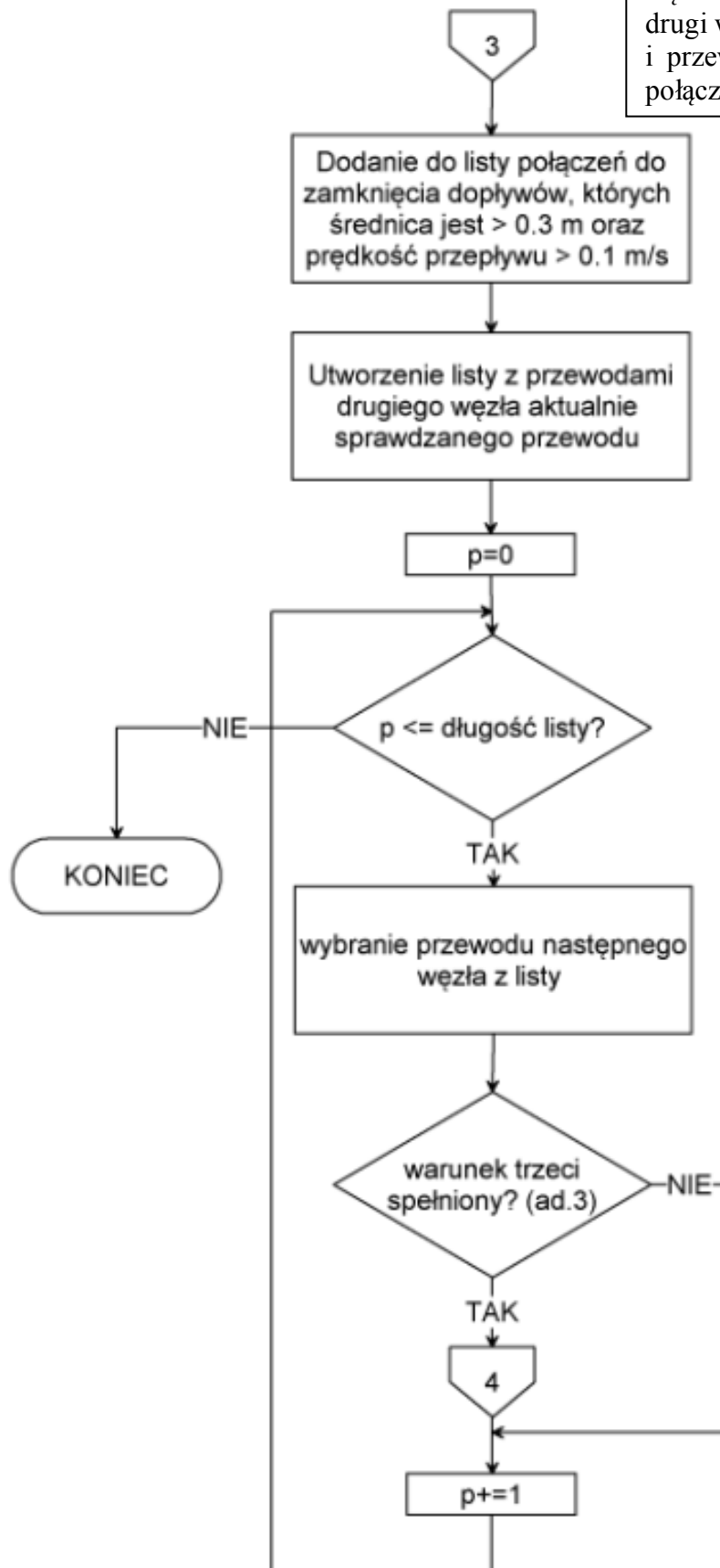


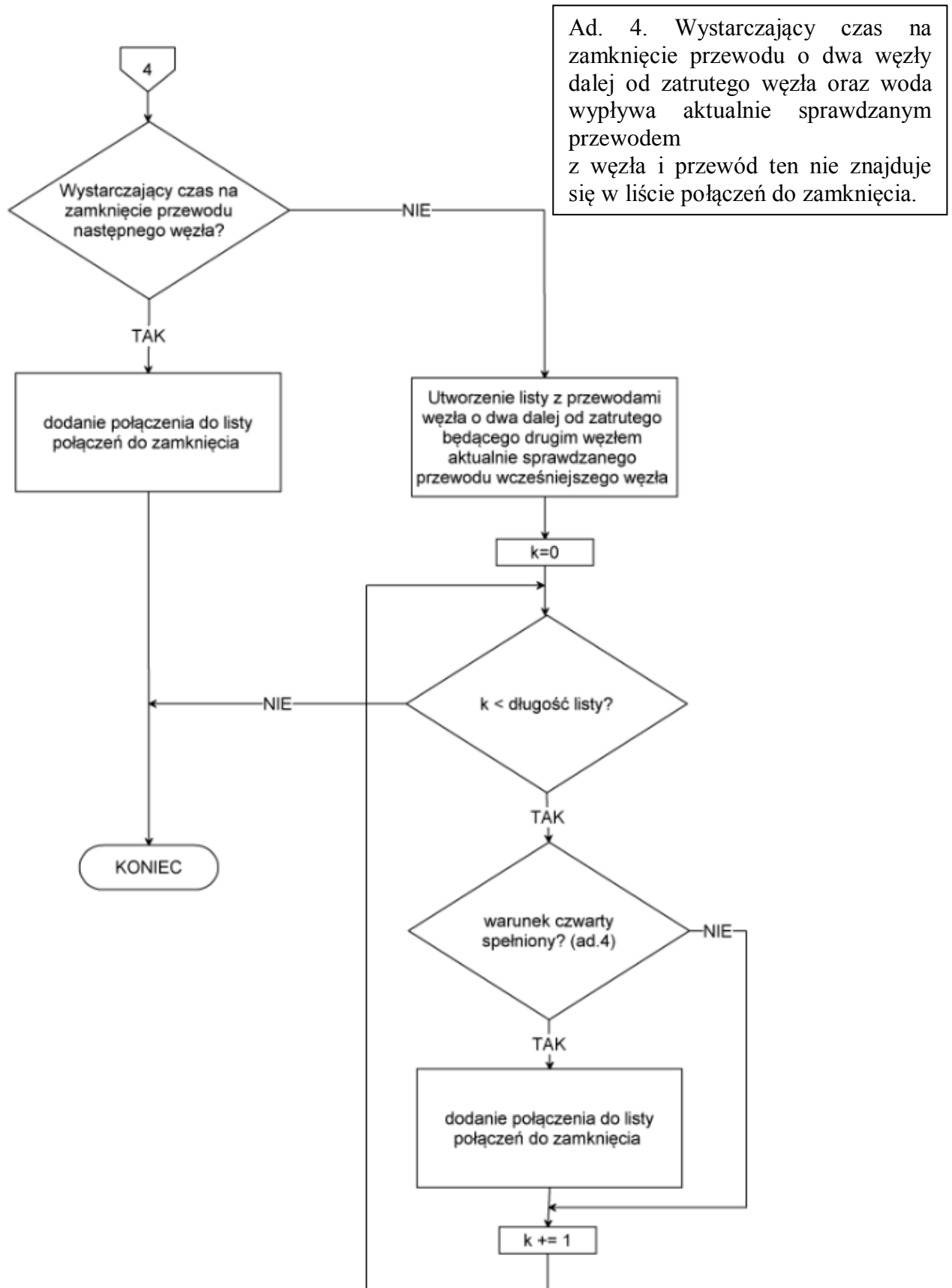
Załącznik D – schematy blokowe algorytmu wykrywania zatrucia.





Ad. 3. Woda wypływa z następnego węzła sprawdzanym przewodem oraz drugi węzeł przewodu nie jest zatruty i przewód nie znajduje się w liście połączeń do zamknięcia.





Załącznik E – schemat algorytmu zamykania zasuw znajdujących się na sieci wodociągowej.

