



Urząd Miasta i Gminy Pleszew  
ul. Rynek, 63-300 Pleszew  
W P Ł Y N Ę Ł O

dnia 10-12-2019

L.dz. 7186/2019

podpis



## SMART CITY

**Opracowanie diagnozy dotyczącej umieszczenia czujników na sieci wodociągowej**

Wykonał: Piotr Kondratowicz

## SPIS TREŚCI

1. Wstęp	3
2. Podstawy teoretyczne	3
3. Analiza wybranych metod monitoringu	12
4. Wariantowość rozwiązań	18
5. Wybór wariantu	23

## 1. Wstęp

Jednym z głównych i najważniejszych problemów eksploatacyjnych wodociągów są straty wody. Analizowanie ilości traconej wody oraz przyczyn powstawania awarii sieci wodociągowej jest częścią składową eksploatacji sieci wodociągowej. Wnioski wyciągnięte na podstawie analiz przyczyn awarii oraz ilości strat wody, a co za tym idzie kosztów związanych ze stratą powinny być podstawą do podejmowania działań modernizacyjnych i naprawczych, a tym samym zmniejszenia kosztów związanych z pozyskiwaniem, uzdatnianiem i dystrybucją wody. Poniższe opracowanie ma za zadanie wskazać możliwe kierunki przeciwdziałania awarii sieci wodociągowej oraz pomóc w zakresie wykrywania awarii na wczesnym stadium systemu wodociągowego.

Element straty wody w sieciach wodociągowych jest zjawiskiem powszechnym. Problem ten występuje na całym świecie i jest praktycznie nierozwiązalny. Oznacza to że w rozbudowanych układach/sieciach wodociągowych, a za takie możemy uznać sieci komunalne odpowiedzialne za dostarczenie wody mieszkańcom wsi, miast oraz zakładom pracy i placówką publicznym, zawsze mamy element straty wody. Skala problemu czyli ilość traconej wody oraz częstotliwość występowania awarii świadczy o kondycji technicznej sieci wodociągowej.

W Polsce rozpoczęto szerszą dyskusję i analizę problemu straty wody w okresie rozkwitu gospodarki rynkowej. W poprzednich dekadach to jest latami przed rokiem 1990 element straty wody nie stanowił jednego z głównych problemów eksploatacji wodociągów, związane to było głównie z niską ceną wody. Czynnikiem wpływającym na niską cenę wody były między innymi: niska cena energii elektrycznej, niska i stabilna cena pracy ludzkiej, niskie wymagania odbiorców oraz nie do końca rynkowy sposób działania zakładów wodociągowych. W dobie wzrostu ceny pracy ludzkiej, energii elektrycznej oraz wymagań odbiorców podejście do kosztów produkcji i dystrybucji wody uległo zmianie. Brak podejmowania inicjatywy mającej na celu ograniczenie ilości traconej wody oraz przeciwdziałaniu powstawaniu awarii wodociągów związany był również z brakiem odpowiednich rozwiązań technicznych pozwalających na aktywną kontrolę sieci. Dopiero z biegiem lat rozwój techniki w dziedzinie monitoringu i wykrywania awarii pozwolił na powstanie rozwiązań zwiększających kontrolę eksploratora nad układem wodociągowym. W związku z ciągłą ewolucją i wzrostem powszechności systemów koszty związane z montażem i eksploatacją danego układu monitoringu znacznie spadły. Nie oznacza to że rozwiązania pozwalające na zwiększenie kontroli nad siecią wodociągową są rozwiązaniami tanimi i powszechnie stosowanymi. Wysoka cena zastosowania układu monitoringu związana jest z wielkością sieci wodociągowych, co przekłada się proporcjonalnie na ilość zamontowanych układów czujników na rurociągach oraz z szkoleniem kadry pracowniczej mającej nadzór nad eksploatowanym rozwiązaniem. W związku z tym system czuwania nad stanem sieci wodociągowej powinien być dobrany w sposób optymalny do potrzeb inwestora w kontekście finansowym oraz wymiarze przyszłej eksploatacji.

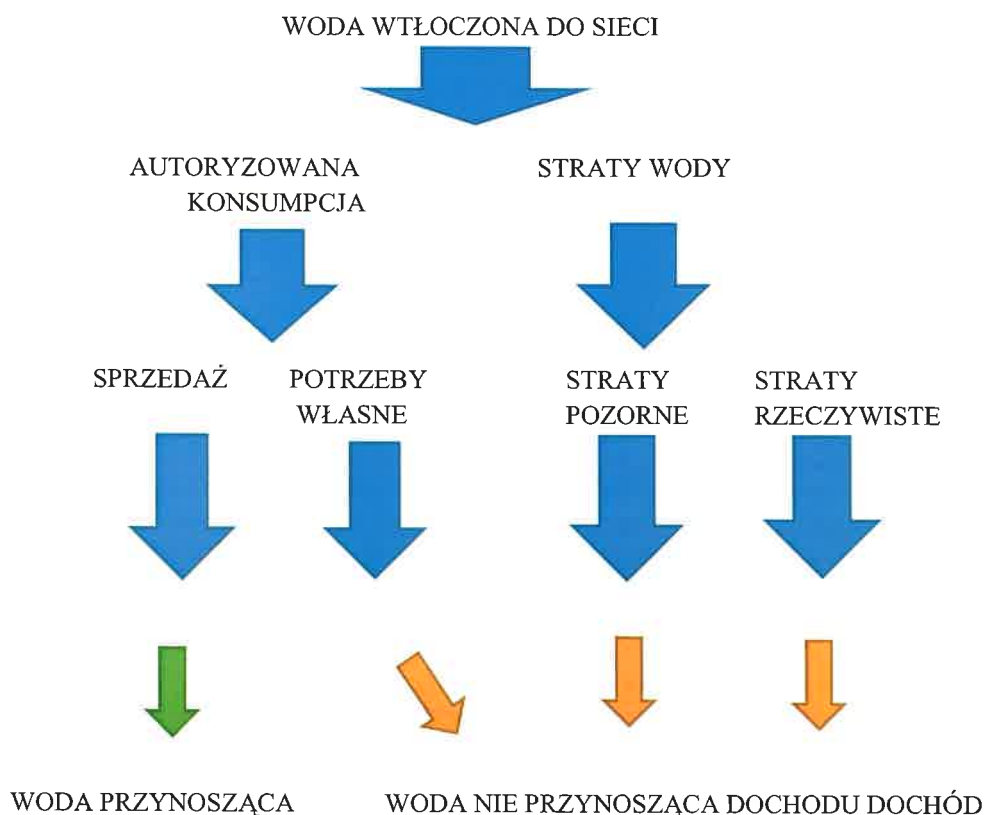
## 2. Podstawy teoretyczne

Podstawowym zadaniem sieci wodociągowej jest zaspokojeniem potrzeb w zakresie dostarczenia odpowiedniej ilości wody pod odpowiednim ciśnieniem i określonej jakości. Podczas eksploatacji sieci wodociągowej powstają awarie układu dystrybucji. Awarie te mogą być przyczyną zakłóceń dostaw wody do odbiorców. Pod pojęciem awarii wodociągu rozumie się gwałtowne, nieprzewidziane uszkodzenie obiektu, systemu lub podsystemu powodujące częściową lub całkowitą utratę zdolności prawidłowego funkcjonowania w pewnym przedziale czasowym. Poprzez wielkość awarii możemy rozumieć zakres jej oddziaływania na odbiorcę i eksploratora. W ten sposób możemy podzielić awarie sieci wodociągowej na awarie duże uniemożliwiające zapewnienie dostaw wody o określonych parametrach do odbiorców jak i awarie małe, które często nie są możliwe do wykrycia bez analizy i użycia specjalistycznego sprzętu. W przypadku wystąpienia awarii o dużym zakresie oddziaływania, możliwe jest szybkie jej wykrycie, często jest to związane z widocznymi zewnętrznymi symptomami awarii tj. widoczny wyciek wody jak również z informacją dostarczoną przez odbiorców np. o spadku ciśnienia wody w instalacji wewnętrznej. W sytuacji gdy awaria sieci wodociągowej nie wykazuje zewnętrznych objawów wykrycie jej nie jest możliwe.

### Straty wody

Za całkowitą stratę wody przyjmujemy różnicę między zmierzoną ilością wody dostarczoną do sieci wodociągowej, a ilością wody zafakturowaną. Na wielkość tę składają się straty wody zwane pozornymi i rzeczywistymi. Straty pozorne są to nieautoryzowane zużycia wody, wynikające np. z kradzieży oraz straty spowodowane błędem pomiaru urządzeń pomiarowych tj. wodomierzy. Drugi rodzaj strat czyli straty rzeczywiste są to straty wody powstające na sieci przesyłowej i rozdzielczej oraz straty na przyłączach .

Straty wody są jednym z podstawowych elementów oceny stanu technicznego systemu wodociągowego.



### Wskaźniki strat wody

Problem strat wody w systemach wodociągowych jest bardzo istotnym zagadnieniem, ponieważ wielkość strat wpływa na koszt dostarczanej wody i kondycję finansową zakładów wodociągowych, ma również znaczenie dla ochrony zasobów wodnych. Dlatego też zakłady wodociągowe muszą być zaangażowane w wykrywanie wycieków i ograniczanie strat. Do podstawowych, najważniejszych działań zmierzających do ograniczenia strat wody należy zaliczyć ciągły monitoring strat wody i poprawne opracowanie bilansu wody oraz wyznaczenie pewnych wskaźników opisujących straty wody. Na podstawie wyników bilansu zakłady podejmują decyzję o rozpoczęciu działań mających na celu poszukiwanie i likwidację wycieków wody

Do sporządzenia dokładnego bilansu wody i określenia na jego podstawie całkowitych strat wody konieczne są prawidłowe pomiary:

- ilości wody wtłoczonej do sieci, która może być sumą wody pobranej z ujęć własnych zakładu, jak również wody zakupionej,
- ilości wody pobranej na potrzeby własne zakładu wodociągowego,
- ilości wody sprzedanej wszystkim odbiorcom.

### Procentowy wskaźnik strat wody

Najczęściej stosowanym wskaźnikiem oceny strat wody jest procentowy wskaźnik strat. Wskaźnik ten wyraża stosunek wolumenu strat do wolumenu produkcji. Wolumen strat obliczany jest jako różnica wolumenu ilości wody wyprodukowanej (wtłoczonej do sieci), wolumenu wody sprzedanej oraz wolumenu ilości wody zużytej na potrzeby własne

$$\%strat = \frac{V_{prod} - V_{sp} - V_{pw}}{V_{prod}} * 100\%$$

gdzie:

$V_{prod}$ -wolumen produkcju wody [ $m^3/r$ ]

$V_{sp}$ - wolumen sprzedaży wody [ $m^3/r$ ]

$V_{pw}$  – objętość wody zużytej na potrzeby własne [ $m^3/r$ ]

Wskaźnik ten nie jest miarodajny przede wszystkim ze względu na brak odniesienia do wielkości eksploatowanej przez przedsiębiorstwo infrastruktury: długości sieci wodociągowej, liczby przyłączy, liczby wodomierzy oraz ciśnienia i obciążenia hydraulicznego sieci wodociągowej. Do porównania przedstawiono dane z dwóch wodociągów o podobnej długości sieci wodociągowej.

	Wodociąg A	Wodociąg B
Sprzedaż wody	48 941 m <sup>3</sup>	14 230 m <sup>3</sup>
Długość sieci wodociągowej	2167 km	1987 km
Starty wody	12,92%	36,05%
Wolumen strat	7367 m <sup>3</sup>	5130 m <sup>3</sup>

Wskaźnik ten nie jest również miarodajny do oceny trendu starty wody w czasie, zwłaszcza wobec przyrostu długości sieci przy jednoczesnym spadku wolumenu sprzedaży, które występują w większości systemów dystrybucji wody w Polsce.

Wskaźnik ten można stosować jako pierwsze przybliżenie oceny strat wody, jak również do oceny zmienności strat wody w dłuższym okresie czasu w tym samym systemie dystrybucji.

W badaniach strat wody zaleca się stosować kwantyfikację stref systemu dystrybucji wody, pozwala to na wyznaczenie wskaźników strat w różnych rejonach miasta, które różnią się między innymi ciśnieniem panującym w danym punkcie sieci, materiałem i wiekiem przewodów. Parametry te mają znaczący wpływ na ilość wody utraconej bezpowrotnie z sieci. W związku z powyższym preferuje się stosowanie wskaźnika przecieków infrastruktury ILI (Infrastructure Leakage Index). Wskaźnik ten jest ilorazem wolumenu strat wody do obliczonego wolumenu strat nieuniknionych. Oblicza się go z następującego wzoru :

$$ILI = \frac{V_{strat}}{V_n}$$

Gdzie:

$V_n$ - nieuniknione straty wody [ $m^3$ /rok]

Objętość rocznych strat nieuniknionych oblicza się ze wzoru

$$V_n = [18*(M+R)+25*PW+0,8*LPW]*0,365*p$$

gdzie: M-długość sieci magistralnej [km] , R -długość sieci rozdzielczej [km], PW-długość połączeń wodociagowych [km], LPW – liczba połączeń wodociagowych [-], p – średnie ciśnienie w rozpatrywanej pomiarowej strefie [ $mH_2O$ ], 0,365- przeliczeniowy współczynnik na rok i  $m^3$

Wskaźnik ILI przedstawia krotność rzeczywistych strat w sieci wodociagowej do minimalnego poziomu wycieków, jaki może wystąpić w dobrze utrzymanym systemie wodociagowym. Straty nieuniknione ze względów ekonomicznych są nieopłacalne do usunięcia, a wyciek nieunikniony zależy od długości, ciśnienia i awaryjności sieci oraz liczby odbiorców. Należy jednak podkreślić, że ustalenie objętości rocznych strat nieuniknionych dla części zakładów wodociagowych okazuje się trudne lub nawet niemożliwe z uwagi na brak dokładnych danych dotyczących długości sieci magistralnej, rozdzielczej, liczby przyłączy czy ciśnienia panującego w rozpatrywanej strefie pomiarowej.

Wskaźnik ILI pozwala na porównanie różnych systemów dystrybucji wody. Umożliwia on sklasyfikowanie sieci wodociagowej pod względem stanu technicznego. Pozwala on na indywidualną ocenę, czy straty w określonych warunkach eksploatacji i przy danym koszcie traconej wody są na poziomie do przyjęcia czy nadmiernym

Poziom wskaźnika ILI określa stan sieci w następujący sposób:

- ILI<1,5- bardzo dobry
- 1,5<ILI<2,0 – dobry
- 2,0<ILI<2,5 – średni
- 2,5<ILI<3,0 – słaby
- 3,0<ILI<3,5 – bardzo słaby
- ILI>3,5 – zły

Wskaźnik ten jest obecnie najbardziej skutecznym parametrem oceny efektywności dystrybucji wody, jednakże ma on swoje ograniczenia. Zaleca się bowiem jego stosowanie wtedy, gdy liczba przyłączy jest większa niż 5000, a ich gęstość przekracza 20 na km sieci wodociągowej oraz przy ciśnieniu sieci co najmniej 0,25 MPa

Według standardów IWA do oceny strat wody zaleca się również stosowanie wskaźnika jednostkowych strat rzeczywistych *RLB* (real leakage balance) liczonego zgodnie z metodyką przedstawioną poniżej:

- gdy gęstość przyłączy jest mniejsza niż 20 na km sieci wodociągowej, *RLB* [ $\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{km}$ ] oblicza się ze wzoru:

$$RLB = V_{str} (M+R)$$

- gdy gęstość przyłączy przekracza 20 na km sieci wodociągowej, *RLB* [ $\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{przyłącze}$ ,  $\text{m}^3/\text{rok}\cdot\text{przyłącze}$ ] oblicza się ze wzoru:

$$RLB = V_{str}/LWP$$

Należy nadmienić, że w przypadku części systemów dystrybucji wody wyznaczenie tego wskaźnika może sprawić problemy, gdyż konieczne jest dysponowanie dokładnymi danymi inwentaryzacyjnymi sieci.

### **Przyczyny uszkodzeń przewodów wodociągowych**

Awarie przewodów wodociągowych mają w większości przypadków charakter losowy, a ustalenie przyczyn ich powstania jest często trudne ze względu na różnorodność czynników oddziałujących równocześnie na przewody. Błędne obliczenia hydrauliczne, nieprawidłowe wykonanie złączy czy niedbała konserwacja to tylko przykłady przyczyn późniejszych awarii elementów układów wodociągowych. Liczne badania wskazują, że najczęściej uszkodzenia sieci wodociągowych i związane z tym straty wody powstają w wyniku:

- wad zamontowanych materiałów dot. rur, armatury, złączy,
- nieprawidłowego wykonawstwa przewodów, np. niewłaściwe uszczelnienie połączeń kielichowych,
- nadmiernego ciśnienia w sieci,
- gwałtownych zmian ciśnienia (uderzenia hydrauliczne),
- korozyjności wód gruntowych, a także wody płynącej wewnątrz przewodów,
- przemarzania gruntu w otoczeniu przewodów wodociągowych,
- nadmiernego obciążenia gruntu nad sieciami wodociągowymi, szczególnie



dynamicznego, osiadania gruntu, ruchów tektonicznych itp.

- prądów błędzących, na obszarach miast czy zakładów posiadających trakcję elektryczną,
- wieloletniej eksploatacji i naturalnego zużycia materiałów wodociągowych.

Według badań o zaistnieniu i objętości wycieków decydują przede wszystkim:

- stan techniczny przewodów i armatury,
- średnica, wiek i materiał przewodów,
- gęstość przyłączy i przewodów wodociągowych,
- ciśnienie wody i jego wahania dobowe,
- warunki gruntowe.

Należy nadmienić, że straty wody powstają nie tylko w wyniku uszkodzenia, pęknięcia przewodów wodociągowych, wycieków na połączeniach oraz przez nieszczelności rur przesyłowych, ale również w wyniku przelewania się wody ze zbiorników magazynujących wodę lub ich nieszczelności.

Szczegółowa analiza wartości intensywności uszkodzeń sieci wodociągowych przedstawiona w licznych pracach wskazuje, że intensywność uszkodzeń przewodów zależy przede wszystkim od wysokości i wahań ciśnienia wody w sieciach, materiału i średnicy przewodów, czasu eksploatacji i okresu budowy przewodów. Za wysokie ciśnienie może doprowadzić do uszkodzeń złączy, pęknięć przewodów, awarii zasuw i hydrantów. Badania wskazują, że obniżenie ciśnienia w sieci o ok. 0,2 MPa obniżyło 2-krotnie pęknięcia sieci oraz prawie 1,5-krotnie uszkodzenia złączy. Prawidłowość tę zaobserwowano niezależnie od wieku i średnicy przewodów, np. obniżenie ciśnienia w sieci wodociągowej w zachodnich osiedlach Wrocławia o ok. 40% spowodowało zmniejszenie intensywności uszkodzeń o ok. 41%. Inne wyniki wskazują, że natężenie wypływu wody przez otwór o określonej średnicy przy ciśnieniu 0,6 MPa jest o 70% wyższe niż przy ciśnieniu 0,2 MPa. Analizując zaś wpływ materiału na awaryjność sieci, badania wskazują, że największą awaryjnością charakteryzują się przewody ze stali i żeliwa szarego, a najmniejszą z tworzyw sztucznych.

### Wskaźnik awaryjności

Miernikiem rzeczywistego nasilenia uszkodzeń sieci wodociągowej jest wskaźnik awaryjności wyrażony liczbą uszkodzeń km na rok [uszk/ km \* rok]. Zgodnie z zachodnimi kryteriami wartość tego współczynnika nie powinna przekraczać 0,2 uszk \* km<sup>-1</sup> \* rok<sup>-1</sup>. W Polsce przeciętna jego wysokość dla zbioru danych za rok 1998 wynosiła 1,06 uszk \* km<sup>-1</sup> \* rok<sup>-1</sup>, natomiast w Warszawie dla lat 1992 – 96 0,62 uszk \* km<sup>-1</sup> \* rok<sup>-1</sup>. Awaryjność przewodów sieci wodociągowych w Polsce jest więc bardzo duża i może być przyczyną wysokiego poziomu strat rzeczywistych wody. Znaczącym czynnikiem wpływającym na wielkość strat wody jest ciśnienie panujące w sieci. Przykładowo, wzrost wysokości ciśnienia od 0,25 MPa do 0,45 MPa prowadzi w przeciętnych warunkach do zwiększenia wskaźnika średniego dobowego zużycia wody o ok. 45%, a poboru maksymalnego dobowego o ok. 58%. Na wzrost rozbioru wody, spowodowanego nadwyżką ciśnienia ponad wartość wystarczającą do sprawnego działania armatury czerpalnej, składa się

zarówno zwiększona ilość wody pobieranej przez jej odbiorców, jak i powiększone straty wody wskutek przecieków. Ciśnienie i jego zmiany w cyklu dobowym wpływają zarówno na stopień awaryjności, jak i na natężenie wypływu wody z uszkodzonych elementów sieci.

Wg Hotłós [2003], natężenie wypływu wody przez otwór o określonej średnicy przy ciśnieniu 0,6 MPa jest o ok. 70% większe niż przy ciśnieniu 0,2 MPa.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na wielkość strat wody jest wiek przewodów i materiał z jakiego zostały one wykonane. Eksploatowane obecnie w Polsce sieci wodociągowe wykonane są w 65% z żeliwa szarego i stali. Charakteryzuje je wysoka awaryjność ( $0,2 - 1,0 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ), wynikająca nie tylko z kilkudziesięcioletniej eksploatacji (nawet 60 – 100 lat), ale również z ograniczeń technologicznych, podatności na pęknięcia i korozję, wad materiałowych rur i nieodpowiedniej jakości wykonawstwa przewodów w latach 70. i 80. XX wieku. Korozja materiału rurociągów może być przyczyną znacznych strat wody, gdy przewody ułożone są w gruntach naturalnych, wykazujących własności korozyjne, do których należą grunty rodzime organiczne (humus, torf, namuły) i grunty nasypowe.

Ważnym czynnikiem mającym znaczny wpływ na straty wody w Polsce wyraźnie niedocenianym i pomijanym we wszystkich statystykach i analizach są warunki gruntowe. W gruncie piaszczystym woda z wycieku podnosi się szybko do powierzchni terenu, natomiast w utworach skalistych i gruboziarnistych wnika w grunt, na skutek czego wycieki są trudne do wykrycia, zatem trwają dłużej powodując znaczne straty wody. Również przecieki z przewodów ułożonych w gruntach spoistych mogą być bardzo trudne do wykrycia. Ponadto grunt spoisty ma przy zmiennym nasyceniu wodą większą skłonność do ruchów. Również agresywność składników gruntu w stosunku do materiału rurociągu jest wyższa w gruntach spoistych, niż w sypkich.

Widoczny w ostatnich latach spadek zużycia wody wywołany m.in. urynkowaniem cen wody i ścieków, a także wprowadzeniem indywidualnego opomiarowania zużycia wody spowodował, że wśród wielu czynników powodujących straty wody w systemach wodociągowych, coraz większego znaczenia nabierają kradzieże wody wynikające z zewnętrznej ingerencji w wodomierz lub instalację.

### **Wykrywanie i ograniczanie strat wody w zewnętrznej sieci wodociągowej**

Jak już wcześniej wspomniano, najczęstszą przyczyną strat wody w zewnętrznych sieciach wodociągowych są przecieki. Stosowane są różne metody ich wykrywania, do najczęściej stosowanych metod należą:

- przeglądy sieci wodociągowej połączone z obserwacją stanu nawierzchni,
- przeglądy sieci połączone z nasłuchiowaniem aparatami akustycznymi (szumomierze, korelatory akustyczne, przenośne radary gruntowe, hydrofony),
- pomiary ciśnień w wybranych węzłach sieci wodociągowej z ciągłą rejestracją wyników,
- lokalizacja przecieków wody (wyłącznie w wypadku wypływu wody na powierzchnię).
- Bardzo popularną metodą są również pomiary poboru wody w godzinach

nocnych (1.00–4.00) tj. w czasie minimalnych poborów wody przez odbiorców.

- zastosowanie systemów pozwalających na dokonywanie okresowych bilansów wody wprowadzonej do układu i odebranej przez odbiorców.

Ograniczanie strat wody powinno stanowić jedno z najważniejszych działań zakładów wodociągowych, gdyż umożliwia obniżenie kosztów sprzedawanej wody i równocześnie powiększa możliwości ilościowe sprzedaży wody. Kasprzak i Lemański [1988] oceniają, że likwidując stratę każdego m<sup>3</sup> wody wodociągowej likwiduje się także niepotrzebne zużycie 1,0 – 1,5 kWh energii, która musi być wykorzystana po to, aby 1 m<sup>3</sup> wody mógł być uzdatniony, doprowadzony do użytkownika i następnie w postaci odpowiednio oczyszczonych ścieków odprowadzony do odbiornika. Autorzy ci wymieniają straty wody w sieci, marnotrawstwo i brak opomiarowania zużycia wody, jako jedne z głównych przyczyn sprzyjających powstawaniu deficytów wody, z którymi boryka się wiele krajów na całym świecie.

Przy obniżaniu wielkości strat wody należy jednak zwrócić uwagę na aspekt ekonomiczny. Stwierdzono, że bardzo łatwo osiągnąć efekty przy obniżaniu strat wody do kilkunastu procent. Znacznie trudniejsze i bardziej kosztowne jest dalej idące ich obniżanie. W związku z tym, poziom strat rzędu 8 – 10% można uznać za całkowicie zadawalający i ekonomicznie uzasadniony. Uważa się też, że w obecnym wieku docelowy poziom strat wody mógłby osiągnąć poziom 5 – 6%. Aby tego dokonać niezbędne jest prowadzenie systematycznych działań, do których przede wszystkim należy zaliczyć:

- montaż odpowiedniej wielkości i jakości wodomierzy, zgodnie z zasadami montażu, stosowanie zaworów zwrotnych oraz kontrola wskazań wodomierzy i kontrola ich stanu technicznego u poszczególnych odbiorców wody,
- realizacja programu renowacji przewodów wodociągowych
- kontrola i racjonalizacja ciśnień w sieci wodociągowej, a tym samym minimalizacja kosztów związanych z jej poborem i dystrybucją do odbiorców (przeprowadzone badania dowiodły, że ograniczenie maksymalnego ciśnienia o ok. 10 – 40% i jego wahań dobowych wpłynęło na zmniejszenie uszkodzalności przewodów magistralnych i rozdzielczych o ok. 30 – 60%, a tym samym na znaczne ograniczenie strat wody i kosztów napraw uszkodzeń),
- renowacja zdekapitalizowanych sieci wodociągowych z wykorzystaniem tworzyw termoplastycznych (PCV, PE), które z powodzeniem zastępują materiały tradycyjne (pod względem niezawodności, wyróżniają się tu szczególnie przewody z PE, gdyż charakteryzują się najniższą intensywnością uszkodzeń zawierającą się w granicach od 0,006 do 0,03 uszk·km<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>),
- wprowadzenie do stałej praktyki eksploatacyjnej, programów intensywnego poszukiwania przecieków między innymi przez wprowadzenie strefowych pomiarów kontrolnych w wydzielonych strefach zaopatrzenia,
- propagowanie idei likwidacji strat wody poprzez upowszechnianie wyników badań i analiz,

- prowadzenie systematycznych szkoleń w zakresie metod i techniki badawczej dla przedsiębiorstw wodociągowych.

## **ANALIZA WYBRANYCH METOD MONITORINGU.**

Według danych posiadanych przez Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Pleszewie w różnych częściach Miasta i Gminy straty wody wahają się w granicach 6,1 – 49 %. Znane są rozwiązania,

Obecnie Miasto i Gmina Pleszew zaopatrywane jest w wodę z 4 ujęć, posiada 3 Stacje Uzdatniania Wody. Podstawowe dane:

- długość sieci magistralnej: 32 km,
- długość sieci rozdzielczej: 236,6 km,
- liczba przyłączy wodociągowych: 5234 szt.

W celu ograniczenia strat wody powstałych na skutek wycieków konieczna jest budowa układu monitoringu sieci wodociągowej znajdującej się w obszarze miasta Pleszewa. W związku z pilotażowym charakterem przyszłego wdrożenia, zakłada się wariantowość rozwiązań przyjętych do realizacji. Wskazanie kilku dróg, pozwoli na wybór względnie najlepszego rozwiązania dla inwestora tj. eksploratora sieci.

Głównym elementem mającym wpływ na ograniczenie strat wody oraz analizę warunków pracy układu wodociągowego będzie system monitoringu pracy infrastruktury wodociągowej.

Monitoring zapewnić ma:

- redukcje kosztów i czasu pozyskiwania danych
- jednoczesną analizę wielu punktów
- natychmiastowe alarmy przekroczeń stanów
- umożliwieni dostępu do danych z punktów terenowo niedostępnych
- archiwizowanie danych
- niskie koszty transmisji i obsługi

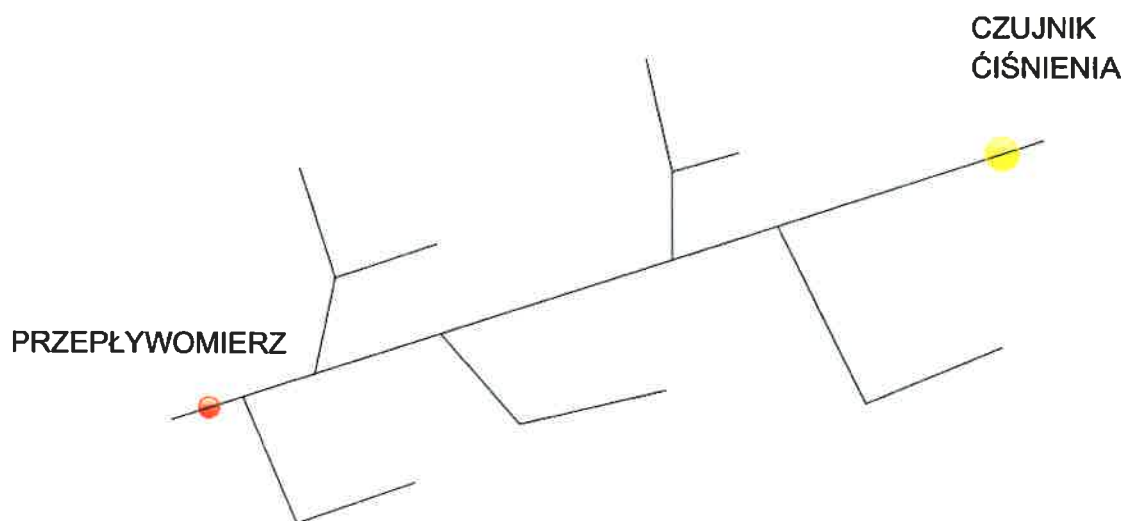
Teoretyczny idealny układ monitoringu cechuje się nieograniczoną ilością danych pomiarowych dotyczących danego zjawiska, układu będącego przedmiotem monitorowania jego pracy. Wraz z optymalizacją kosztów monitoringu obniża się ilość elementów opomiarowanych danego układu. W przypadku monitorowania sieci wodociągowej za najważniejszy parametr jej pracy, które mają zostać podane monitoringowi przyjmuje się przepływ wody oraz ciśnienie wody w układzie wodociągowym.



Układ sieci wodociągowej występującym w Pleszewie jest układem mieszany tzn. jest to układ łączący typ promienisty z układem pierścieniowym. Układ pierścieniowy wodociągu jest tutaj układem dominującym, układ ten przeważa w centrum miasta, natomiast układ promienisty występuje głównie poza centrum miasta Pleszewa.

W przypadku występowania sieci promienistej opomiarowanie rurociągów w zakresie przepływu i ciśnienia wody dla danej strefy jest o wiele prostsze i tańsze do wykonania, niż w przypadku sieci promienistej. W schemacie opomiarowania, który zakłada pomiar ilości wody na wejściu do danej strefy oraz pomiar ciśnienia np. na „końcówce sieci” o wiele łatwiej przeprowadzić analizę monitorowanych wartości pomiarowych, a co za tym idzie zauważyć straty wody wynikające z przecieków lub nieautoryzowanego poboru wody. Również kontrola ciśnienia w przypadku wyznaczonej strefy o układzie sieci promienistej jest dużo łatwiejsza.

Schemat układu pomiarowego dla strefy z układem wodociągu o charakterze promienistym



Schemat opomiarowania wybranej strefy wodociągu o układzie promienistym zawiera punkt montażu przepływomierza oraz czujnika ciśnienia. Montaż przepływomierza na początku strefy opomiarowania jest oczywisty. Na podstawie ilości wody zmierzonej przez przepływomierz oraz ilości wody pobranej przez odbiorców wskazanej strefy, która to będzie równoważna z wskazaniami wodomierzy zainstalowanych u odbiorców, można wyznaczyć ilość strat wody w danej strefie. Różnica pomiędzy ilością wody wpływającej do strefy, a ilością wody pobranej będzie informacją o staracie wody. Opomiarowanie

strefy w zakresie dopływu wody, pozwala również w łatwy sposób za pomocą monitorowania rozbiorów stwierdzić duży wyciek spowodowany awarią lub kradzież wody. Na podstawie analizy historycznych przepływów wody wyznaczonej strefie operator systemu może stwierdzić anomalia tj. odchylenia od standardowych przepływów w strefie. Anomalia te to znaczny wzrost przepływu wody w określonych strefach czasowych. Występowanie awarii sieci w strefie, można w łatwy sposób stwierdzić stosując metodę analizy rozbiorów nocnych, które charakteryzują się o wiele mniejszą zmiennością w porównaniu z rozbiorami dziennymi.

Montaż czujnika ciśnienia w wyznaczonej strefie o układzie promienistym pozwala na monitorowanie ciśnienia panującego w danej strefie. Miejsce montażu czujnika na końcu strefy jest wskazane w celu możliwości korekty ciśnienia wody dostarczanej do strefy. Wartości pomiarowe pochodzące z czujnika ciśnienia mogą być pomocne w pozyskaniu informacji na temat awarii sieci wodociągowej. Niestety informacja o znacznym, nagłym spadku ciśnienia w danej strefie nie musi być tożsama z lokalizacją awarii sieci w danej strefie, związane to jest z konstrukcją sieci wodociągowej. Duży nagły spadek ciśnienia w danej strefie, może być spowodowany awarią przewodu magistralnego zasilającego pośrednio opomiarowaną strefę.

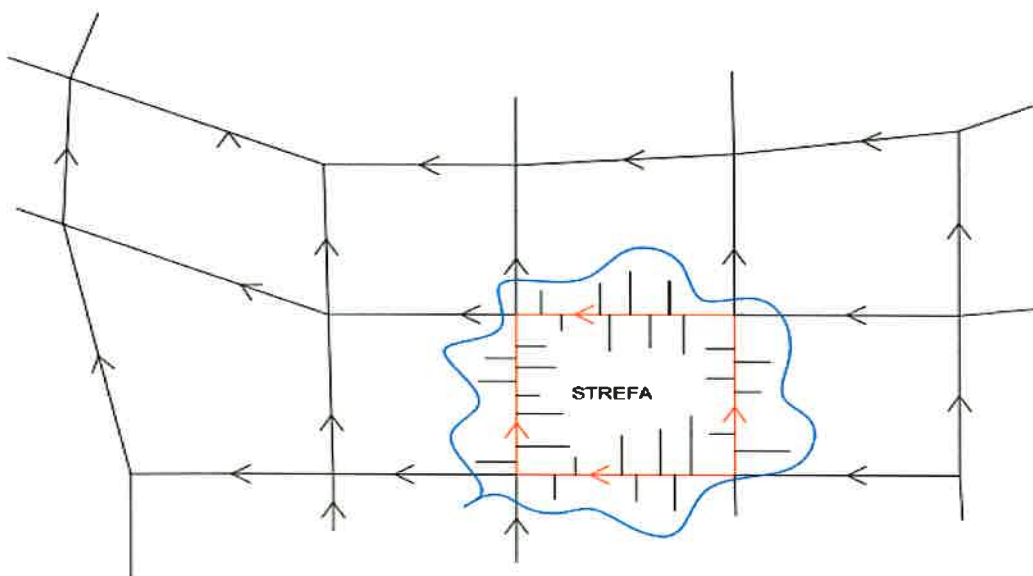
Poprzez analizę przepływu w danej strefie, oraz ciśnienia panującego, można ocenić, czy awaria występuje w strefie czy poza nią. W przypadku awarii w strefie, ilość dopływającej wody do strefy zwiększy się, natomiast ciśnienie ulegnie obniżeniu. W przypadku awarii poza strefą, ilość wody dopływającej do strefy oraz ciśnienie obniży się.

Montaż czujnika ciśnienia na końcowym odcinku rurociągu opomiarowanej strefy, pozwala zdobyć informacje dotyczące ciśnienia na "końcówce" sieci, którego to wartość cechuje się obniżonym poziomem względem ciśnień pojawiających się przy danym przepływie w układzie, w porównaniu z ciśnieniami mierzonymi w miejscach początkowych i środkowych strefy opomiarowania. Różnica ta wynika z oporów przepływów oraz rozbiorów w danej strefie. Dlatego można przyjąć, że ciśnienie występujące u odbiorców zlokalizowanych na „końcówkach sieci” jest ciśnieniem, według którego powinno być nastawione ciśnienie dla całej strefy. Oznacza to że minimalne ciśnienie zadawające odbiorców końcowych powinno być ciśnieniem wyjściowym, według, którego należy ustawić ciśnienie na wejściu do strefy. Oczywiście często z przyczyn technicznych warunek ten nie jest możliwy do spełnienia. W przypadku rozległych sieci o dużej długości rurociągów transportujących wodę w momencie dużych rozbiorów w danym układzie pomiarowym możemy spotkać się z sytuacją obniżenia ciśnienia na końcówkach sieci co spowodowane jest wzrostem objętości przesyłanej wody, co przekłada się na wzrost oporów liniowych i miejscowych, powodując straty ciśnienia objawiające się niezadawalającym ciśnieniem na końcu sieci. Oczywiście w takiej sytuacji istnieje teoretycznie możliwość podania wody o odpowiednim ciśnieniu, przy założeniu zdolności układu pompowego w zakresie wydajności dotyczącej wzmożonych rozbiorów oraz wytrzymałości mechanicznej rurociągów i instalacji wewnętrznych budynków.



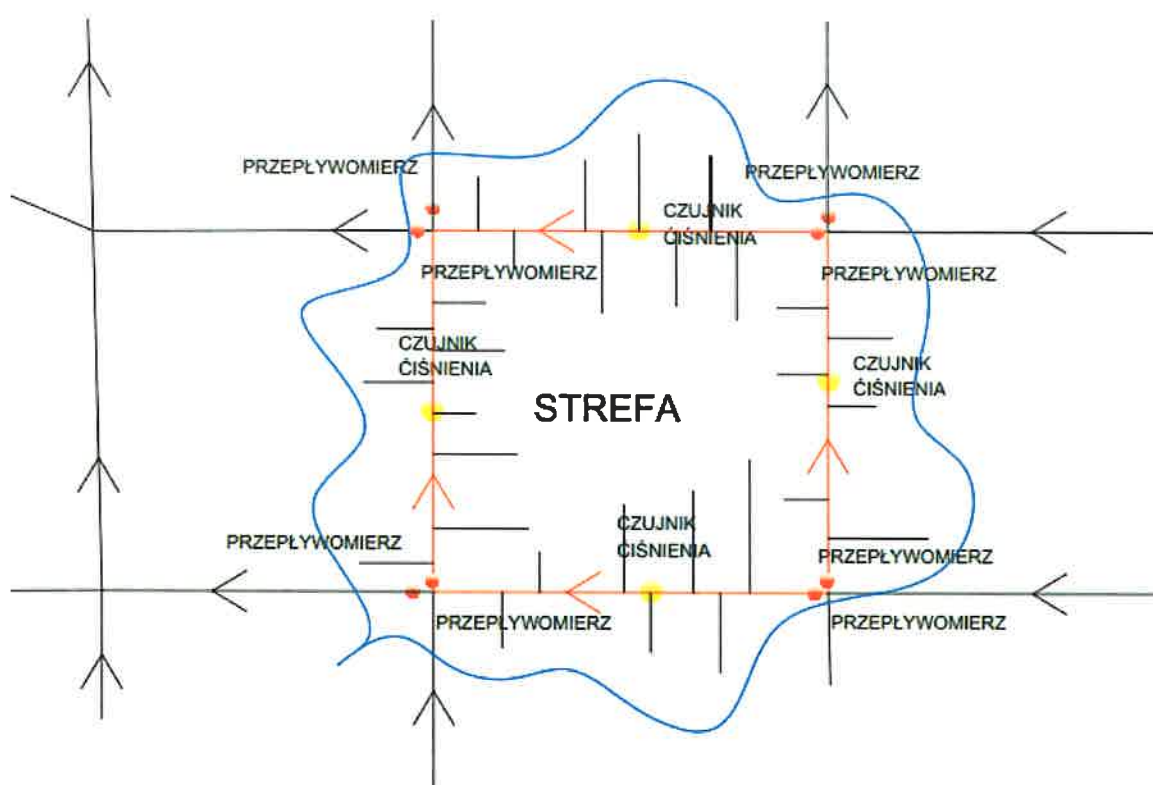
Jednakże w rzeczywistości jest to nie możliwe głównie z przyczyn wytrzymałościowych rurociągów, eksploatacyjnym jak również z przyczyn ekonomicznych, pokonywanie oporów związane jest z wzmożonym poborem prądu przez układ pompowy.

Drugim rodzajem sieci występującym w przeważającej większości na obszarze miasta Pleszew jest układ sieci zwanym pierścieniowym. Ten układ sieci jest układem dominującym w części centralnej miasta oraz obszarach o dużym nagromadzeniu odbiorców. Monitoring takiego układu w zakresie przepływów wody oraz ciśnień panujących w rurociągach jest znacznie bardziej złożony i kosztowny. Związane to jest z charakterystyką układu pierścieniowego, w którym przepływ wody formują się według różnic ciśnień. Przepływ wody w pierścieniu dąży do wyrównania ciśnienia w układzie (strumień wody płynie w kierunku rurociągu o mniejszym ciśnieniu). W porównaniu z wskazanym wyżej układem opomiarowania sieci promienistej, w którym to montaż przepływomierza na wejściu do danej strefy pozwala na dokładny, jednoznaczny pomiar objętości wody przepływającej (woda wpływa do danej strefy rozchodząc się po odbiorcach aż do końca strefy) lokalizacja z przepływomierza w układzie pierścieniowym sieci nie jest oczywista.



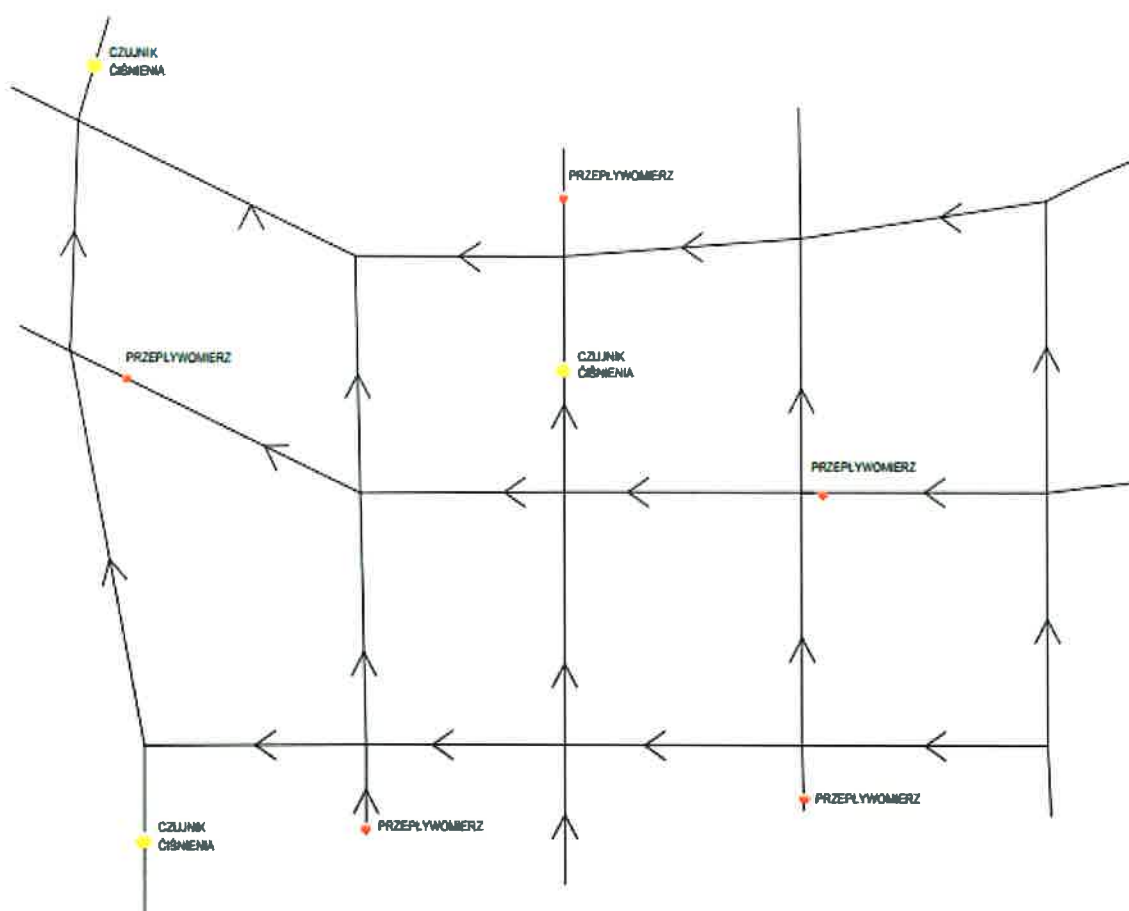


Objętość wody wpływającej do strefy zaznaczonej na rysunku powyżej jest równa ilości wody potrzebnej na zaspokojenie rozbiorów wynikających z potrzeb odbiorców podłączonych poprzez przyłącza danej nitki rurociągu, stratą wody oraz ilości wody wypływającej z strefy w celu zasileniu odbiorców zlokalizowanych w innych pierścieniach. Dokładny bilans wody wskazujący na straty wody w danej strefie/pierścieniu byłby tylko możliwy w przypadku opomiarowania każdego wyjścia/wejścia wody w danej strefy, znajomości rozbiorów wewnątrz strefy oraz relacji z innymi strefami w zakresie transportu wody do nich.



Powyższe teoretyczne wskazane rozwiązanie opomiarowanie strefy nie jest stosowane w rzeczywistości, z powodu zbyt wysokich kosztów wdrożenia oraz braku potrzeby tak dokładnego opomiarowania sieci wodociągowej. Zamiast opomiarowania sieci pierścieniowej w tak dokładny i nie uzasadniony sposób, stosuje się opomiarowanie w zakresie przepływów w sposób wybiórczy, tj. montaż przepływomierzy na wybranych reprezentatywnych, ważny ze względu na eksploatację odcinkach sieci wodociągowych.





Układ wskazany powyżej przedstawia opomiarowanie sieci pierścieniowe w sposób wybiórczy, montaż przepływomierzy i czujników ciśnienia na wybranych rurociągach sieci pozwala na znaczną kontrolę nad pomiarem przepływającej wody oraz ciśnieniem panującym w sieci. Podobnie jak w przypadku monitorowania sieci promienistej w powyższym układzie mam możliwość stwierdzenia anomalii w pracy układu na podstawie charakterystycznych danych historycznych przepływów i ciśnień. W chwili awarii sieci powodującej znaczną utratę wody w sieci, obserwujemy spadek ciśnienia oraz wzrost przepływu wody.



## WARIANTOWOŚĆ ROZWIĄZAŃ

Powyższe opracowanie ma na celu wytypowanie optymalnego rozwiązania pod względem kosztów i funkcjonalności. Rozwiązanie to ma pozwolić na zwiększenie kontroli eksploratora nad stanem posiadanej sieci wodociągowej oraz kosztami związanymi z dystrybucją wody, a co za tym idzie ograniczeniem strat wody i ilości awarii sieci wodociągowej.

W związku z mieszaną strukturą oraz wielkością układu sieci wodociągowej pokrywającej obszar Pleszewa, możliwe są wdrożenia pilotażowe badań o różnej wariantowości.

### WARIANT I

Wariant pierwszy polega na opomiarowaniu strefy, w której obszarze znajduje się układ sieci o strukturze promienistej. Strefy tego typu występują głównie na końcach sieci wodociągowej. Preferuje się wybór strefy o znacznym zagęszczeniu przyłączonych odbiorców, oraz o dużej usterkowości sieci występującej na tym obszarze. W nawiązaniu do podstaw teoretycznych zawartych w opracowaniu preferuje się wybór strefy, w której sieci wodociągowa cechuje się długim okresem eksploatacji oraz wykonaniem ze stali lub żeliwa. W ten sposób dobrany obszar cechować się będzie dużym prawdopodobieństwem awarii, co przełoży się na możliwości sprawdzeń założeń przyjętych w opracowaniu. Wskazany przez eksploratora obszar znajduje się przy ulicy Kossaka. Obszar ten cechuje się zabudową jednorodzinną.



Na powyższym rysunku przedstawiono schemat montażu czujników, to jest przepływomierza oraz czujnika ciśnienia. Zamontowany na początku wskazanego obszaru przepływomierz pozwoliłby na precyzyjne zbilansowanie wody wpływającej do strefy, co ułatwiłoby określenie strat wody. Zamontowany czujnik ciśnienia pozwoliłby razem z informacją o przepływie wody w strefie stwierdzić wystąpienie awarii sieci znajdującej się w tym obszarze. W związku z pojawieniem się nowych rozwiązań technicznych pozwalających na analizę stanu jakości przyłączy wodociągowych, to jest możliwości wykrycia wycieku na odcinku przyłącza poprzez montaż specjalnego wodomierza wyposażonego w mikrofon pozwalający na analizę szumów wody płynąc w przyłączy. Przewiduje się wymianę wszystkich wodomierzy w opomiarowanej strefie na wodomierze nowego typu. Próba zastosowanie nowych wodomierzy znajduje uzasadnienie w powszechnie dostępnych danych dotyczących awaryjności odcinków przyłączy wodociągowych, które to mówią o około 30% udziale strat wody na odcinkach przyłączeniowych w ogóle całości start na sieciach wodociągowych.

## WYKONANIE

W celu zastosowania monitoringu według schematu wskazanego w wariantie pierwszym, przewiduje się montaż czujnika ciśnienia, przepływomierza oraz wymianę wodomierzy. Przepływomierz oraz czujnik ciśnienia zamontowany będzie w specjalnie do tego celu wykonanej żelbetowej komorze. Dane dotyczące ciśnienia i przepływów, będą wprowadzane do sterownika zamontowanego wewnątrz komory, a następnie za pomocą modułu GSM wysyłane do sterownika znajdującego się na przepompowni zlokalizowanej na ulicy Kaliskiej. Pracownik mający nadzór nad systemem monitoringu, będzie dysponował danymi pobranymi z czujników w postaci wartości liczbowych przedstawionych w tabeli oraz wykresów wykonanych na podstawie danych. Pozyskane dane będą wprowadzone do sterownika, w którym wprowadzone będą warunki informujące o nie prawidłowościach w pracy strefy, takich jak spadek ciśnienia, spadek przepływu, wzrost przepływu, wzrost ciśnienia ponad ustalone wcześniej zakresy kontrolne. Eksplorator oprócz alarmu na temat zmian na ekranie sterownika/komputera będzie informowany poprzez wiadomość SMS o stanie alarmowym. Sterownik znajdujący się na terenie przepompowni trzeba wyposażyć w moduł GSM, pozwalający na wysyłanie informacji o stanach alarmowych.

Kontrola jakości przyłączy wodociągowych wykonana przy użyciu nowo zamontowanych wodomierzy odbywać się będzie poprzez analizę danych pobranych z wodomierzy w drodze bezpośredniego odczytu z tych urządzeń raz w miesiącu.



## ANALIZA KOSZTÓW

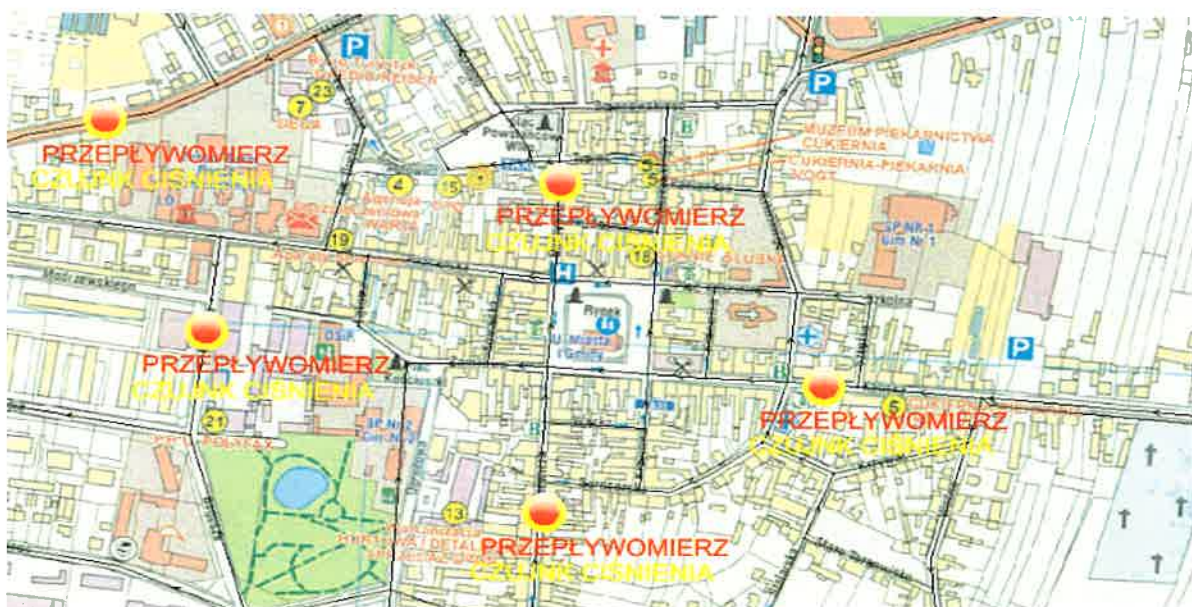
1. Montaż komory żelbetowej	26 000 brutto
2. Montaż przepływomierza	12 000 brutto
3. Montaż czujnika ciśnienia	2 000 brutto
4. Montaż sterownika wewnątrz komory oraz moduł GSM	3 000 brutto
5. Wykonanie zasilania komory	3 000 brutto
6. Montaż sterownika wraz z modułem GSM (pompownia główna)	10 000 brutto
7. Wymian wodomierzy	30 000 brutto

Całość 86 000 brutto

Rozwiązanie zaproponowane w wariantcie pierwszym pozwala na monitoring określonej strefy w zakresie ciśnienia i przepływu, co przekłada się na możliwość pozyskania informacji dotyczącej awarii lub nieautoryzowanego poboru.

## WARIANT II

Wariant drugi zakłada opomiarowanie sieci wodociągowej w zakresie ciśnienia i przepływu w wymiarze pozwalającym na pozyskanie znacznej ilości informacji dotyczących pracy sieci, a co za tym idzie ograniczenia jej awaryjności oraz większej możliwości zbilansowania ilości strat wody. W wariantcie tym przewiduje się montaż przepływomierzy oraz czujników ciśnienia w wyznaczonych punktach sieci reprezentatywnych dla działania sieci wodociągowej.



Powyższa ilustracja pokazuje przykład zamontowania czujników ciśnienia i przepływomierzy dla obszaru centrum Pleszewa. Ilustracja nie zawiera całej sieci wodociągowej miasta Pleszew. W innych rejonach miasta nie zawartych na ilustracji, natężenie punktów opomiarowania powinno być na podobnym poziomie, adekwatne do wielkości sieci danego obszaru. Opomiarowanie sieci według wariantu II zawiera montaż przepływomierze i czujników ciśnienia w komorach żelbetowych posiadający zasilanie elektryczne. Za pomocą transmisji danych z punktów pomiarowych do sterownika zamontowanego na przepompowni głównej, możliwa będzie analiza przepływów i ciśnień. Dzięki monitoringowi sieci w taki sposób możliwe będzie sprawne wytypowanie obszaru na którym mogło dojść do awarii. Na podstawie analizy historycznych danych ustawione zostaną progi poprawnego działania sieci, w przypadku pojawienia się przekroczeń progów, operator sytemu zostanie poinformowany poprzez komunikat na ekranie sterownika oraz wiadomość sms. Spadek ciśnienia ponad normę w danym punkcie pomiarowym zawęźał będzie obszar poszukiwania miejsca awarii. Podobnie sytuacja będzie się miała do kradzieży wody, ponadnormatywny wzrost przepływu wody w konkretnym punkcie pomiarowym oznaczał będzie nieautoryzowany pobór wody. Poprzez posiadanie tak dużego zakresu opomiarowania możliwa będzie zmiana nastaw pracy sieci dzięki analizie ciśnień panujących w rurociągach, co pozwoli na wprowadzenie zmian w nastawach ciśnienia na wyjściu na stacji. Obniżając ciśnienie wyjściowe na stacji możliwe będzie pozyskanie informacji odnośnie ciśnień i przepływów w innych miejscach sieci. Posiadając takie informacje możliwe będzie podjęcie rzetelnej dyskusji dotyczącej rozwoju infrastruktury wodociągowej.

## WYKONANIE

W celu zastosowania monitoringu według schematu wskazanego w wariantcie drugim, przewiduje się montaż czujnika ciśnienia, przepływomierza w komorach pomiarowych zlokalizowanych w reprezentatywnych miejscach sieci. Przepływomierz oraz czujnik ciśnienia zamontowany będzie w specjalnie do tego celu wykonanej żelbetowej komorze. Dane dotyczące ciśnienia i przepływów, będą wprowadzane do sterownika zamontowanego wewnątrz komory, a następnie za pomocą modułu GSM wysyłane do sterownika znajdującego się na przepompowni zlokalizowanej na ulicy Kaliskiej. Pracownik mający nadzór nad systemem monitoringu, będzie dysponował danymi pobranymi z czujników w postaci wartości liczbowych przedstawionych w tabeli oraz wykresów wykonanych na podstawie danych. Pozyskane dane będą wprowadzone do sterownika, w którym wprowadzone będą warunki informujące o nieprawidłowościach w pracy strefy takich jak spadek ciśnienia, spadek przepływu, wzrost przepływ, wzrost ciśnienia ponad ustalone wcześniej zakresy kontrolne. Eksplorator oprócz alarmu widocznego na ekranie sterownika/komputera będzie informowany poprzez wiadomość SMS o stanie alarmowym. Sterownik znajdujący się na terenie przepompowni trzeba wyposażyć w moduł GSM, pozwalający na wysyłanie informacji o stanach alarmowych. Dla wariantu drugiego przyjmuje się montaż 10 punktów pomiarowych



## ANALIZA KOSZTÓW

1. Montaż komory żelbetowej	260 000 brutto
2. Montaż przepływomierza	120 000 brutto
3. Montaż czujnika ciśnienia	20 000 brutto
4. Montaż sterownika wewnątrz komory oraz moduł GSM	30 000 brutto
5. Wykonanie zasilania komory	30 000 brutto
6. Montaż sterownika wraz z modułem GSM (pompownia główna)	10 000 brutto

Całość 470 000 brutto

Rozwiązanie zaproponowane w wariantcie drugim pozwala na dokładny monitoring sieci wodociągowej w obszarze miasta w zakresie ciśnienia i przepływu, co przekłada się na możliwość pozyskania informacji dotyczącej awarii lub nieautoryzowanego poboru oraz możliwości przeprowadzenia analizy działania sieci wodociągowej.

## WARIANT III

Wariant trzeci opiera się na opomiarowaniu sieci wodociągowej w zakresie ciśnień panujących w rurociągach oraz ilości wtłoczonej wody do sieci z pompowni znajdującej się na ulicy Kaliskiej. Opomiarowanie sieci w zakresie panujących ciśnień odbywać się będzie poprzez pomiar ciśnienia panującego w wewnętrznych instalacji wodociągowych w budynkach wskazanych przez eksploratora. Punkty pomiaru ciśnień zlokalizowane będą w budynkach znajdujących się w posiadaniu miasta Pleszew. Pomiar ilości wtłaczanej wody odbywać się będzie poprzez zamontowany nowy przepływomierz w pompowni na ulicy Pleszewskiej. Wymiana starego wodomierza na nowy przepływomierz pozwoli na uzyskanie dokładnych ilości wody wtłaczanej do sieci. W budynkach, w których zamontowane będą przetworniki ciśnienia zamontowane zostaną wodomierze nowego typu pozwalające na wykrycie przecieku powstałego na odcinku przyłącza wodociągowego. Lokalizacja punktów pomiaru ciśnienia, będzie wyznaczona w sposób najbardziej reprezentatywny dla działania sieci. Czujniki powinny być zamontowane na końcach sieci. Montaż czujników ciśnienia we wskazanych lokalizacjach pozwoli na gromadzenie danych w zakresie ciśnień panujących w sieci w okresach różnicowanych rozbiórów. Zbiór takich informacji pozwoli na odpowiednie modelowanie przepływów i ciśnień w panujących w sieci. Na podstawie analizy pozyskanych danych ułatwione zostanie podjęcie decyzji dotyczących nastawa ciśnienia oraz przyszłych prac modernizacyjnych i remontowych infrastruktury wodociągowej. Dane te pozwolą na doprecyzowanie rozbiórów wody oraz bilansu strat wody. Wariant III zakłada również opomiarowanie układu pompowego zlokalizowanego na ulicy Pleszewskiej w zakresie energochłonności. Umieszczone na sieci wodociągowej czujniki ciśnienia pozwolą na pobieżną analizę awarii sieci oraz nieautoryzowanego poboru.

## WYKONANIE

W celu zastosowania monitoringu według schematu wskazanego w wariantcie trzecim, przewiduje się montaż czujników ciśnienia, w budynkach znajdujących się pod zarządem miasta Pleszew, zlokalizowanych w reprezentatywnych miejscach sieci. Dane dotyczące ciśnienia i przepływu, będą wprowadzane do sterownika zamontowanego w miejscu włączenia przetwornika w instalację wodociagową, a następnie za pomocą modułu GSM wysyłane do sterownika znajdującego się na przepompowni zlokalizowanej na ulicy Kaliskiej. Pracownik mający nadzór nad systemem monitoringu, będzie dysponował danymi pobranymi z czujników w postaci wartości liczbowych przedstawionych w tabeli oraz wykresów wykonanych na podstawie danych. Pozyskane dane będą wprowadzone do sterownika, w którym wprowadzone będą warunki informujące o nie prawidłowościach w pracy strefy takich jak spadek ciśnienia, spadek przepływu, wzrost przepływ, wzrost ciśnienia ponad ustalone wcześniej zakresy kontrolne. Eksplorator oprócz alarmu na temat zmian na ekranie sterownika/komputera będzie informowany poprzez wiadomość SMS o stanie alarmowym. Sterownik znajdujący się na terenie przepompowni należy wyposażyć w moduł GSM, pozwalający na wysyłanie informacji o stanach alarmowych. Dla wariantu drugiego przyjmuje się montaż 6 przetworników ciśnienia.

## ANALIZA KOSZTÓW

1. Montaż czujników	24 000 brutto
2. Montaż przepływomierza	12 000brutto
3. Montaż sterownika oraz moduł GSM	10 000 brutto
4. Montaż sterownika wraz z modułem GSM (pompownia główna)	10 000 brutto
5. Opomiarowanie układu pompowego pod kątem zużycia energii	5 000 brutto

Całość 61 000 brutto

Rozwiązanie zaproponowane w wariantcie trzecim pozwala na modelowanie sieci w zakresie ciśnienia i przepływu, zastosowany układ czujników pozwala także na wykonanie analizy traconej wody w skutek awarii i kradzieży oraz określanie stanów alarmowych dla układu wodociagowego.

## Wybór wariantu

Przytoczone w powyższym opracowaniu podstawy teoretyczny oraz przedstawione warianty rozwiązania problemu, mają za cel ułatwienie wyboru kierunku, w którym może podążać proces monitoringu sieci wodociagowej zlokalizowanej na obszarze miasta Pleszew.



Wszystkie trzy warianty zawierają opis elementów monitoringu, które mają wpływ na działanie sieci wodociągowej: pomiar ciśnienia, pomiar przepływu, sposób wysyłania danych oraz sposób komunikowania na temat stanów sieci. Poszczególne warianty różnią się natomiast obszarem analizy sieci jak również szczegółowością kontroli nad parametrami sieci oraz kosztami wdrożenia zaproponowanych rozwiązań. Przy podejmowaniu decyzji dotyczącej wyboru wariantu ustala się kryterium ceny wdrożenia oraz kryterium obszaru opomiarowania. Podejmując decyzje wyboru na podstawie kryterium należy zrezygnować z wyboru wariantu pierwszego. Pomimo pilotażowego charakteru wprowadzonego rozwiązania, rozszerzenie wariantu pierwszego na dalszy obszar wodociągu jest nie możliwe z powodu mieszanego charakteru sieci występującej na tym obszarze. Wariant pierwszy mógłby stać się dopełnieniem wariantu II dla miejsc, w których występuje sieć promienista. Jednakże ograniczona ilość obszarów posiadająca sieci tego typu i zarazem występujących w granicach miast Pleszewa dyskwalifikuje to rozwiązanie. Wariant drugi cechuje się największą wartością w kontekście rozmiaru i jakości monitorowanych danych. Wariant ten stanowi przykład modelowego pozyskiwania informacji na temat pracy i kondycji sieci. Niestety rozwiązanie to jest kosztowne. Na wysoką cenę tego rozwiązania składa się ilość punktów pomiarowych oraz sposób montażu czujników pomiarowych. Istnieją możliwości ograniczenia kosztów montażu przepływomierza i przetwornika ciśnienia, takie jak np. zabudowa klasycznego przepływomierza elektromagnetycznego i przetwornika ciśnienia przystosowanego do bezpośredniej zabudowy na rurze bez montażu komory pomiarowej lub montaż zintegrowanego przepływomierz i przetwornika ciśnienia w wersji ingerencyjnej. Rozwiązanie tego typu wymusza jednak zabudowę w pobliżu czujników pomiarowych studzienki, pozwalającej na montaż modułu GSM, przesyłającego dane do dyspozytorni. Wariant numer trzy cechuje się dogodną ceną względem wariantu drugiego oraz ilością pomiarów mającą o wiele większe wpływ na możliwość przyszłego modelowania sieci, a zarazem koszt tego wariantu jest wielokrotnie niższy od wariantu numer trzy. Wariant numer III pozwala również na wypróbowanie nowych wodomierzy wyposażonych w detekcje awarii rurociągu przyłączeniowego. Powyższy opis oraz założone kryteria determinują wybór wariantu III.

### **Analiza danych i modelowanie sieci według wariantu III**

Jedną z ważniejszych początkowych decyzji mających duży wpływ na poprawność działania układu modelowania sieci według założeń zawartych w opisie wariantu III jest odpowiedni dobór lokalizacji montażu przetworników ciśnienia. Punkty montażu przetworników, powinny być zlokalizowane na końcach sieci wodociągowej (obszar miasta), a zarazem jak najbliżej stref w których rozbiory wody są znaczące, czyli tam gdzie zagęszczenie przyłączy wodociągowych jest duże lub występuje duży odbiorca przemysłowy. Zakłada się również montaż przetwornika ciśnienia w obszarze ścisłego centrum miasta. Wartości ciśnienia pozyskiwane w czasie rzeczywistym zbierane będą do indywidualnych sterowników zamontowanych w pobliżu czujników.





Dane dotyczące wartości ciśnienia wysyłane będą przy użyciu indywidualnego modułu GSM do głównego sterownika zamontowanego w budynku przepompowni na ulicy Kaliskiej. Układ GSM, przetwornik ciśnienia i sterowniki indywidualne będą wyposażone w awaryjne akumulatorowe źródło zasilania. Pozwoli to na pobór danych nawet w okresach braku energii elektrycznej w określonym obszarze. Wszystkie dane pobrane z przetworników ciśnienia będą dostępne na ekranie głównego sterownika jak również na stronie internetowej, dostępnej z dowolnego komputera mającego dostęp do internetu lub innego urządzenia np. smartphona. Odzworowanie danych i „ekranów” dostępnych na komputerze ma być wykonane w proporcji 1 do 1 w stosunku do danych i „ekranów” sterownika. W pamięci sterownika głównego gromadzone będą i archiwizowane dane dotyczące objętości wody wtłoczonej do sieci. Dodatkową informacją gromadzoną w sterowniku będzie zużycie prądu przez pompy zasilające sieć. Rozkład ciśnień, ilość wody wtłoczonej oraz zużycie prądu w trakcie normalnej pracy sieci wodociągowej (brak znacznych wycieków oraz brak dużych nieautoryzowanych poborów) umożliwi eksploratorowi na stworzenie obrazu wyjściowych parametrów pracy układu dystrybucji wody. „Obraz” ten będzie ulegał zmianie w zależności od okresowego zróżnicowania rozbiorów zależnego od pory dnia i pory roku. Należy wyznaczyć na podstawie zebranych danych standardowe dla istniejącego układu strefy dnia: rozbiór średni, rozbiór szczytowy, rozbiór minimalny (nocny). Wartości przypisywane dla danych stref będą punktem wyjścia do dokonywania zmian w modelu sieci. Dla każdej z stref będzie podjęta próba optymalizacji ciśnienia. Za optymalną wartość ciśnienia ustawioną na sieci uznaje się wartości, które pozwolą na zapewnienie odpowiedniej ilości wody pod odpowiednim ciśnieniem w stosunku do najniższych kosztów dystrybucji wody. Po zmianie/redukcji ciśnienia na wyjściu z przepompowni możliwa będzie odczyt wartości ciśnienia na sieci w miejscu zamontowania czujników. Obraz ciśnień stworzony po zmianie da podstawy do dyskusji na temat nowego modelu sieci co za tym idzie wykonania np.: „spinki”, montażu zaworów redukcyjnych czy przepompowni.

INŻYNIERIA ŚRODOWISKA  
ELGAJ

Leszek Kondratowicz  
62-830 Zdrębski Zbielski Kutrownia 68/2  
tel. 62 75 20 615, kom. 603 774 470  
REGON 250079551, NIP 968-000-71-57

# Przetwornik ciśnienia PC-28

- ✓ Dowlolny zakres pomiarowy od 0 ÷ 2,5 kPa do 0 ÷ 100 MPa
- ✓ Pomiary ciśnienia, podciśnienia i ciśnienia absolutnego
- ✓ Sygnał wyjściowy 4 ÷ 20 mA lub 0 ÷ 10 V
- ✓ Certyfikaty i atesty: SIL, PED, PZH

### ✓ Wykonania iskrobezpieczne

Przyłącza elektryczne	Wykonanie ATEX	Wykonanie IECEx
PD, PZ, PK, SG	I M1 Ex ia I Ma 1/2G Ex ia IIC T4/T5/T6 Ga/Gb II 1D Ex ia IIIC T110°C Da	Ex ia I Ma Ex ia IIC T4/T5/T6 Ga/Gb Ex ia IIIC T110°C Da
PM12, PKD	1/2G Ex ia IIC T4/T5/T6 Ga/Gb	Ex ia IIC T4/T5/T6 Ga/Gb
ALW, ALM	1/2G Ex ia IIC T4 Ga/Gb 1D Ex ia IIIC T110°C Da	Ex ia IIC T4 Ga/Gb Ex ia IIIC T110°C Da
ALW/IP67, ALM/IP67	1/2G Ex ia IIC T4 Ga/Gb	Ex ia IIC T4 Ga/Gb

### Przeznaczenie

Przetwornik ciśnienia PC-28 przeznaczony jest do pomiaru ciśnienia, podciśnienia i ciśnienia absolutnego: gazów, par i cieczy.

### Budowa

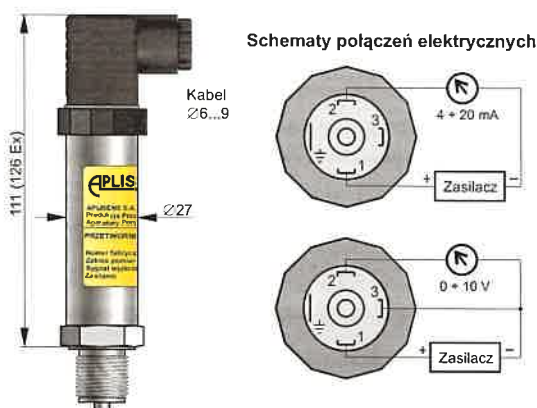
Elementem pomiarowym jest piezorezystancyjny czujnik krzemowy oddzielony od medium przez membranę separującą i wybraną ciecz manometryczną.

Zalany silikonem układ elektroniczny znajduje się w obudowie o stopniu ochrony IP65, IP66, IP67 lub IP68 w zależności od zastosowanego przyłącza elektrycznego.

### Przyłącza elektryczne

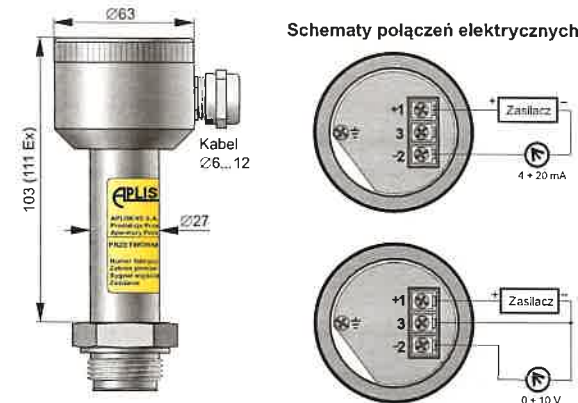
#### Przyłącze typu PD

Kątowe złącze elektryczne DIN 43650  
Stopień ochrony obudowy IP65



#### Przyłącze typu PZ

Przyłącze elektryczne w stalowej puszcze zaciskowej z dławnicą M20x1,5.  
Stopień ochrony obudowy IP66



### Przyłącza elektryczne kablowe

Połączenie z atmosferą przez kapilarę znajdującą się w kablu, standardowa długość kabla - 3 m (inna długość kabla - na zamówienie)

#### Przyłącze typu PM12

Kątowe złącze elektryczne M12x1  
Stopień ochrony obudowy IP67



Oznaczenia przewodów dla przyłączy elektrycznych PM12, PK, PKD, SG  
Czerwony (+); Czarny (-); Zielony (EKRA)

#### Przyłącza typu PK, PKD

Stopień ochrony obudowy IP67



#### Przyłącze typu SG

Stopień ochrony obudowy IP68  
Uwaga: brak dostępu do potencjometrów umożliwiających kalibrację przetwornika.



### Przyłącza elektryczne typu ALW i ALM z miejscowym wyświetlaczem

Kątowe złącze elektryczne DIN 43650

Stopień ochrony obudowy IP65 lub IP67 (wykonanie specjalne)

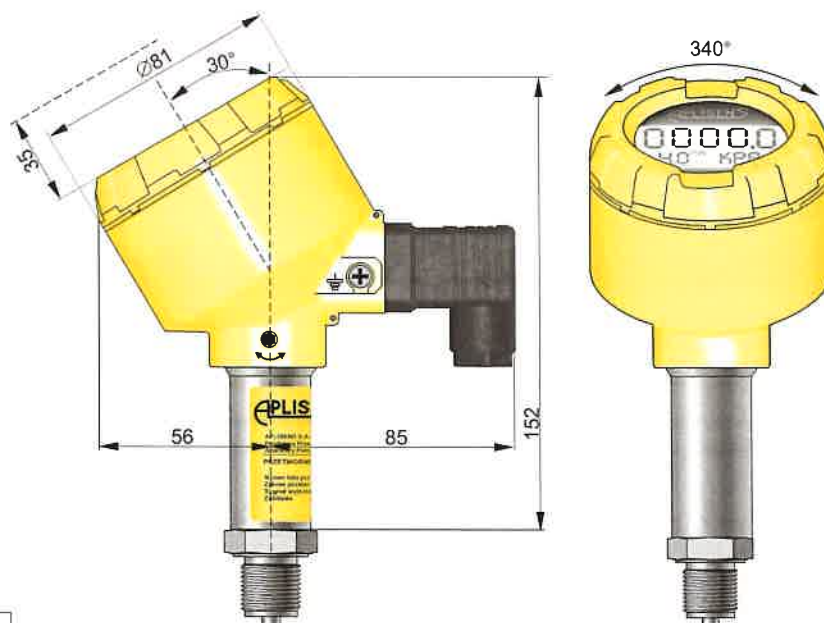
Obudowa z aluminiowym korpusem z wbudowanym miejscowym wyświetlaczem. Konstrukcja umożliwia obrót wyświetlacza o 90° oraz obrót korpusu względem czujnika w zakresie 0 ÷ 340°.

W standardowym wykonaniu podłączenie przewodów elektrycznych odbywa się z wykorzystaniem przyłącza konektorowego DIN43650 o stopniu ochrony IP65. Istnieje możliwość wykonania przyłącza kablowego o stopniu ochrony IP67. Standardowa długość kabla wynosi 3 m. Inna długość kabla - na zamówienie.

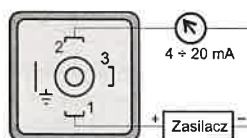
Konfigurowalny ciekłokrystaliczny wyświetlacz z podświetleniem umożliwia:

- cyfrowy odczyt ciśnienia działającego na element pomiarowy
- odczyt prądu wyjściowego w mA lub procentach zakresu pomiarowego
- odczyt wartości w jednostkach użytkownika

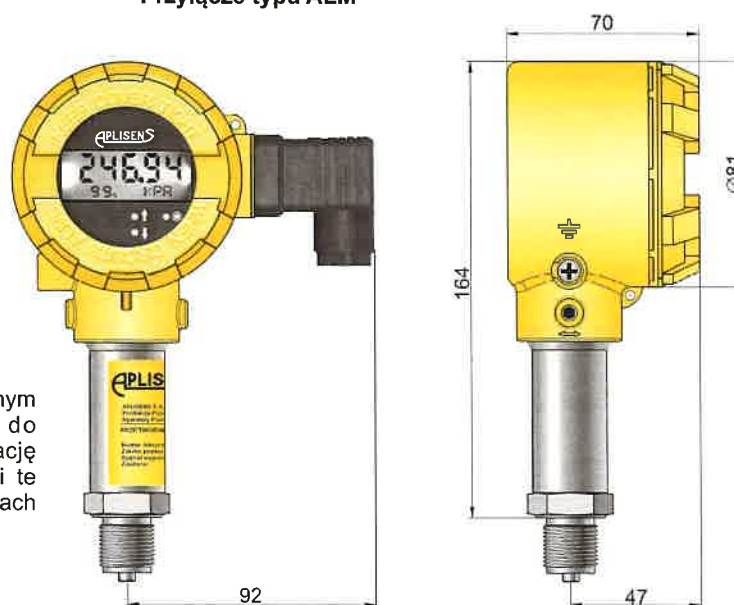
Przyłącze typu ALW



Schemat połączeń elektrycznych



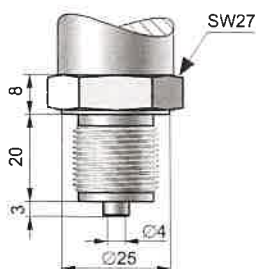
Przyłącze typu ALM



**UWAGA:**

W przetwornikach z przyłączem elektrycznym **ALM** użytkownik nie ma dostępu do potencjometrów umożliwiających kalibrację przetwornika. Z tego względu przetworniki te zalecane są do pomiarów ciśnień w zakresach powyżej 100 kPa.

## Wybór przyłączy procesowych – króćców



**Typ M**

Króciec M20×1,5, otwór Ø4

**Typ G1/2**

Króciec G1/2", otwór Ø4

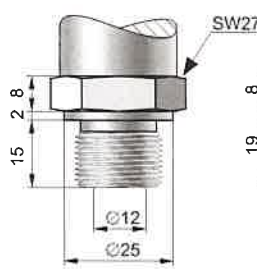
Materiał części zwilżanych: stal 316L

Tlen (wyk. spec.) – głowica

przystosowana do pomiaru tlenu,

Au (wyk. spec.) – złożona membrana;

$p \geq 2,5$  MPa



**Typ P**

Króciec M20×1,5, otwór Ø12

**Typ GP**

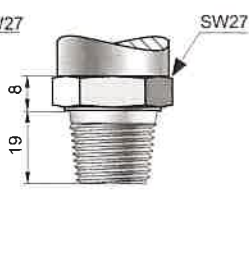
Króciec G1/2", otwór Ø12

$2,5 \text{ kPa} \leq p \leq 35 \text{ MPa}$

Materiał części zwilżanych:

stal 316L – wyk. standard

Hastelloy C-276 – wyk. spec.



**Typ 1/2" NPT**

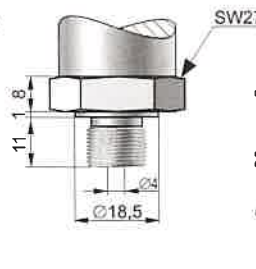
Króciec 1/2" NPT

$2,5 \text{ kPa} \leq p \leq 69 \text{ MPa}$ ;

dopuszczalne przeciążenie 90 MPa

Materiał części zwilżanych:

stal 316L



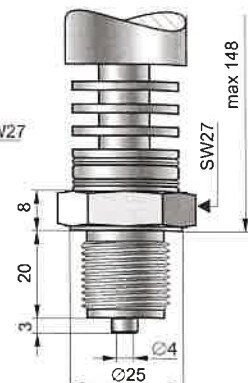
**Typ G1/4**

Króciec G1/4"

$2,5 \text{ kPa} \leq p \leq 35 \text{ MPa}$

Materiał części zwilżanych:

stal 316L



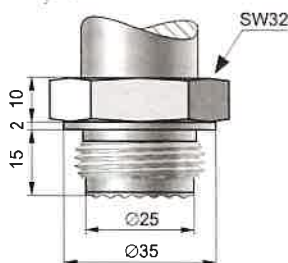
**Typ RM**

Radiator z króćcem M (M20×1,5)

$16 \text{ kPa} \leq p < 4 \text{ MPa}$

Materiał części zwilżanych:

stal 316L



**Typ CM30×2**

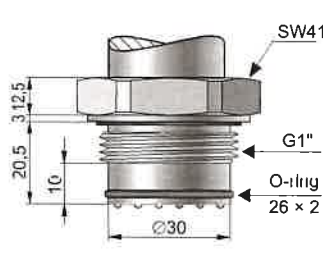
Króciec M30×2 z czołową membraną

$25 \text{ kPa} \leq p < 7 \text{ MPa}$

Materiał części zwilżanych:

stal 316L – wyk. standard

Hastelloy C-276 – wyk. spec.



**Typ CG1**

Króciec G1" z czołową membraną

$10 \text{ kPa} \leq p < 7 \text{ MPa}$

Materiał części zwilżanych: stal 316L

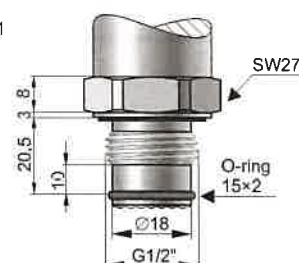


**Typ CG1-S38**

Króciec G1" z czołową membraną

$10 \text{ kPa} \leq p < 100 \text{ kPa}$

Materiał części zwilżanych: stal 316L



**Typ CG1/2**

Króciec CG1/2" z czołową membraną

$250 \text{ kPa} \leq p < 30 \text{ MPa}$

Materiał części zwilżanych: stal 316L

### Kalibracja

Użytkownik, za pomocą potencjometrów, ma możliwość zmiany „zera” i zakresu w granicach do 10%.

Ze względu na brak dostępu do potencjometrów, kalibracja przez użytkownika nie jest możliwa w przetwornikach z przyłączami elektrycznymi typu SG i ALM.

### Montaż

Przetwornik można montować bezpośrednio na obiekcie. W przypadku pomiaru ciśnienia pary lub innych mediów gorących należy zastosować rurkę syfonową lub impulsową. Zastosowanie zaworu manometrycznego przed przetwornikiem ułatwia montaż, umożliwia zerowanie lub wymianę przetwornika w czasie pracy obiektu.

Do pomiaru poziomów i ciśnień wymagających specjalnych przyłączy procesowych (przemysł spożywczy, chemiczny itp.) przetwornik jest wyposażony w jeden z separatorów produkcji Aplisens. Osprzęt montażowy oraz pełną gamę separatorów szczegółowo opisano w dalszej części katalogu.

### Przeznaczenie króćców

#### ◆ Króćce typu M, G1/2, 1/2" NPT, G1/4

Przyłącza manometryczne – przeznaczone są do pomiaru ciśnienia niezanieczyszczonych gazów, par i cieczy we wszystkich zakresach pomiarowych.

Wykonanie specjalne króćców **M** i **G1/2** - **Au** - ze złożoną membraną, zalecane jest do pomiaru ciśnienia mediów zawierających wodór w zakresach powyżej 2,5 MPa.

#### ◆ Króćce typu P i GP

Przyłącza manometryczne z powiększonym otworem – przeznaczone są do pomiaru ciśnienia mediów lepkich i zanieczyszczonych.

#### ◆ Króciec typu RM

Przyłącze manometryczne z radiatorem - przeznaczone jest do pomiaru ciśnienia niezanieczyszczonych gazów, par i cieczy o temperaturze do 170°C, bez konieczności stosowania rurki impulsowej.

#### ◆ Króćce typu CM30×2, CG1, CG1-S38 i CG1/2

Króćce z czołowymi membranami przeznaczone są do pomiarów ciśnienia gazów zapylnych, oraz cieczy lepkich i krzepnących.

Przetworniki z tymi króćcami znajdują zastosowanie w przemyśle spożywczym i farmaceutycznym w instalacjach aseptycznych. Zaleca się użycie gniazd montażowych produkcji Aplisens (str. V.12) z uszczelnieniem przed gwintem króćca. Przetworniki z króćcem CM30×2 mogą być montowane do standardowych złączy higienicznych typu DIN lub Clamp przy wykorzystaniu odpowiednich adapterów produkcji Aplisens (str. V.12).

## Dane techniczne

**Standardowe zakresy pomiarowe:** (0 ÷ -100; -40; -10; 10; 40; 100; 250; 600) kPa; (0 ÷ 1; 1,6; 2,5; 6; 16; 25; 40; 60; 100) MPa  
Ciśnienie absolutne: (0 ÷ 40; 100; 250; 600) kPa; (0 ÷ 1; 1,6; 2,5; 6) MPa  
Manowakuometry: (-100 ÷ 100); (-100 ÷ 250); (-100 ÷ 600) kPa

**Dowolne zakresy pomiarowe o szerokościach w przedziałach:** 2,5 kPa...100 MPa (nadciśnienie, podciśnienie); 40 kPa...8 MPa (ciśnienie absolutne)

### Parametry metrologiczne

	Szerokość zakresu pomiarowego				
	2,5 kPa	10 kPa	40 kPa	100 kPa...16 MPa	>16 MPa...100 MPa
Dopuszczalne przeciążenie (powtarzalne – bez histerezy)*	100 kPa	100 kPa	250 kPa	4 × zakres	2 × zakres maks. 120 MPa
Przeciążenie uszkodzające	200 kPa	200 kPa	500 kPa	8 × zakres, maks. 200 MPa	
Błąd podstawowy	0,6%	0,3%	0,2% (0,16% - wykonanie specjalne)		
Stabilność długoczasowa	0,6% / rok	0,2% / rok	0,1% / rok		
Błąd temperaturowy	typowo 0,5% / 10°C maks. 0,6% / 10°C	typowo 0,3% / 10°C maks. 0,4% / 10°C		typowo 0,2% / 10°C maks. 0,3% / 10°C	
Histereza i powtarzalność	0,05%				
Zakres temperatur kompensacji	-10...80°C				

\* dopuszczalne przeciążenie może być inne dla wykonan zgodnych z dyrektywą ciśnieniową 2014/68/UE (PED)

**Warunki pracy**  
**Zakres temperatur pracy (temp. otoczenia)** -40...80°C  
**Zakres temperatur mierzonego medium** -40...130°C  
dla wykonania PED -40...100°C  
Do pomiarów ciśnień mediów o temperaturze wyższej niż podane należy zastosować separator membranowy, radiator lub rurkę impulsową.  
UWAGA: nie wolno dopuścić do zamarznięcia medium w rurce impulsowej lub w pobliżu króćca przetwornika.

**Konstrukcja**  
**Materiał króćca i membrany** stal 316L; Hastelloy – wyk. specjalne  
**Materiał obudowy** stal 304  
**Stopień ochrony obudowy** IP65 (PD, ALW, ALM), IP66 (PZ), IP67 (PK, PKD, PM12), IP68 (SG)

**Parametry elektryczne**  
**Sygnal wyjściowy** 4 ÷ 20 mA dwuprzewodowo  
**Zasilanie** 8...36 V DC (Ex 9...28 V)  
wyk. specjalne TR: 10,5...36 V DC (Ex 12...28 V)  
PC-28 SAFETY 10,5...36 V DC (Ex 12...28 V)  
PC-28/ALW, ALM 11...36 V DC  
**Dodatkowy spadek napięcia przy włączonym podświetleniu wyświetlacza** 3V  
Użytkownik ma możliwość samodzielnego wyłączenia podświetlenia wyświetlacza  
**Błąd od zmian napięcia zasilania** 0,005% / V  
**Rezystancja obciążenia**  $R[\Omega] = \frac{U_{zas}[V] - 8V}{0,02A}$

### Wykonania specjalne, certyfikaty:

- ◇ **0,16%** – błąd podstawowy  $\leq \pm 0,16\%$  (dotyczy zakresów  $\geq 40$  kPa)
- ◇ **Ex** – wykonanie iskrobezpieczne zgodne z ATEX (WY 4 ÷ 20mA)
- ◇ **IECEX** – wykonanie iskrobezpieczne zgodne z IECEx (WY 4 ÷ 20mA)
- ◇ **PED** – wykonanie zgodne z dyrektywą PED Kategoria I
- ◇ **MR** – wykonanie do zastosowań morskich – certyfikat DNV
- ◇ **0 ÷ 10V** – napięciowy sygnał wyjściowy  
- zasilanie 13...30 V DC, rezystancja obciążenia  $R \geq 20k\Omega$   
- nie dotyczy Ex i IECEx; przyłącze elektrycznych ALW i ALM
- ◇ **D** – wersja z dławikiem wewnętrznym do wysokociśnieniowych układów hydraulicznych
- ◇ **H** – wersja o podwyższonej przeciążalności (zintegrowany układ antyprzepięciowy, błąd podstawowy 0,4%, WY 4÷20mA)
- ◇ **Hastelloy** – zwiłżane części głowicy pomiarowej przetwornika wykonane ze stopu Hastelloy C 276 (Nie dotyczy wykonania PED)
- ◇ **Tlen** – przetwornik przystosowany do pomiaru tlenu (króćce typu M i G1/2)
- ◇ **Au** – króciec M lub G1/2 ze złożoną membraną (zakresy  $\geq 2,5$  MPa)
- ◇ **TR** – wykonanie do pomiarów ciśnienia w procesach szybkozmiennych; stała czasowa poniżej 30ms  
- zasilanie 10,5...36V DC (Ex 12...28V) dla WY 4 ÷ 20 mA  
- nie dotyczy przyłączy elektrycznych ALW i ALM
- ◇ **IP67** – stopień ochrony IP67 (przyłącza elektryczne ALW i ALM)
- ◇ **KAL** – fabryczne świadectwo kalibracji
- ◇ **WZ** – świadectwo wzorcowania wystawione przez Laboratorium Akredytowane
- ◇ **TH** – test hydrostatyczny
- ◇ **3.1** – certyfikat materiałowy 3.1 wg PN-EN10204:2006 (części zwiłżane)
- ◇ **NACE** – certyfikat materiałowy NACE MR0175/ISO15156 (części zwiłżane)
- ◇ **PZH** – atest Państwowego Zakładu Higieny
- ◇ **PC-28 SAFETY** – przetwornik z cechą nienaruszalności bezpieczeństwa **SIL**  
Poziom alarmu podstawowego: 3,3mA  
Brak wykonan: MR, 0 ÷ 10V, TR, ALW, ALM
- ◇ **inne** – po uzgodnieniu z konsultantem Aplisens

Dostępność przetworników można sprawdzić na stronie internetowej [www.aplisens.pl](http://www.aplisens.pl) w zakładce „Wyroby dostępne od ręki”.

### Sposób zamawiania

PC-28 / / / ÷ / / /

Wykonania specjalne: 0,16%, Ex, IECEx, PED, MR, 0 ÷ 10V, D, H, Hastelloy, Tlen, Au, TR, IP67, KAL, WZ, TH, 3.1, NACE, PZH, inne – opis

Zakres pomiarowy

Uwaga: do pomiaru ciśnień absolutnych należy dopisać ABS

Typ króćca lub rodzaj separatora zgodnie z kartami separatorów

Typ przyłącza elektrycznego: PD, PZ, PK, PKD, PM12, SG, ALW, ALM

**Przykład:** Przetwornik PC-28 / wykonanie iskrobezpieczne / zakres 0 ÷ 100 kPa, / przyłącze elektryczne w stalowej puszcze zaciskowej z dławnicą M20×1,5 (PZ) / króciec M20×1,5 z otworem Ø4

**PC-28 / Ex / 0 ÷ 100 kPa / PZ / M**