

Wodociągi i kanalizacje – od starożytności do współczesności

Water supply and sewage systems –from antiquity to the present day

Marian Kwietniewski, Dariusz Kowalski^{*)}

Słowa kluczowe: *wodociągi i kanalizacje, historia, stan obecny, wyzwania*

Streszczenie

Artykuł stanowi zapis referatu wygłoszonego na konferencji „stanowiącej punkt kulminacyjny obchodów 100-lecia istnienia czasopisma „Gaz Woda i Technika Sanitarna”. Zawarto w nim subiektywny wybór najważniejszych informacji związanych z historią, stanem obecnym i najbliższą przyszłością systemów zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków. W artykule wyodrębniono trzy główne części. W części pierwszej „Krótki rys historyczny wodociągów i kanalizacji” zaprezentowano znaczące fakty z historii rozwoju wodociągów i kanalizacji. W części drugiej „Współczesne wodociągi i kanalizacje” skoncentrowano się na wybranych osiągnięciach innowacyjnych z zakresu zaopatrzenia w wodę i kanalizacji. Natomiast w części trzeciej „Nierozwiązane problemy”, wskazano na kilka istotnych wyzwań, jakie już są lub powinny być podejmowane w najbliższej przyszłości, w celu zapewnienia dostępu do czystej i zdrowej wody mieszkańcom Ziemi.

Keywords: *water supply and sewage systems, history, present day, challenges*

Abstract

The article is a transcript of a paper presented at the conference which was the culmination of the celebration of the 100th anniversary of the Gaz Woda i Technika Sanitarna journal. It includes a subjective selection of the most important information related to the history, present day and the immediate future of water supply and sewage systems. The article includes three main parts. The first part, "A brief historical overview of water supply and sewage systems", presents significant facts from the history of the development of water supply and sewage systems. The second part, "Contemporary water supply and sewage systems" focuses on selected innovative achievements in the field of water supply and sewage systems. The third part "Unresolved problems" presents several important challenges that are already or should be undertaken in the near future in order to ensure access to clean and healthy water for the inhabitants of the Earth.

1. Wstęp

Czasopismo „Gaz Woda i Technika Sanitarna” obchodzi 100-lecie swojego istnienia. W ramach konferencji [35], stanowiącej kulminację obchodów jubileuszu tego najstarszego i jednego z najważniejszych w Polsce czasopism naukowo-technicznych, został wygłoszony referat obrazujący historię, stan obecny oraz najważniejsze problemy stojące przed systemami zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków, wymagające rozwiązania w najbliższej przyszłości. Niniejszy tekst stanowi zapis tego referatu, który redakcja czasopisma zdecydowała udostępnić swoim czytelnikom. W założeniach, ten bardzo subiektywny i siłą rzeczy ograniczony zestaw informacji, stanowi wyraz uznania dla pracy pokoleń specjalistów branży wodociągowej i kanalizacyjnej. Powinien także pozwolić na uzyskanie ogólnego, choć oczywiście autorskiego, obrazu skali zagadnienia „zaopatrzenie w wodę i odprowadzanie ścieków” i jego znaczenia w rozwoju ludzkości.

Truizmem jest twierdzenie, iż woda jest niezbędna do życia. Bez wielu rzeczy można przeżyć, ale bez wody jest to niemożliwe. Utrata 3% wody powoduje u człowieka uczucie zmęczenia, ból i zawroty głowy, a przy utracie 10% wody, objawy odwodnienia zagrażają życiu. [11]. Dostęp do czystej wody stanowi także barierę produkcji rolnej i rozwoju gospodarczego [39,45] Powoduje to, że już od czasów starożytnych podejmowano budowę coraz to bardziej zaawansowanych i nie-

zawodnych systemów zaopatrzenia w wodę. Rosnąca populacja miast i nawracające epidemie spowodowały także konieczność rozwiązania problemów odprowadzania ścieków, co doprowadziło do powstania systemów kanalizacyjnych. Pomimo ciągłego rozwoju obu rodzajów systemów, problem dostawy wody i odprowadzania ścieków jest wciąż aktualny. Jest to szczególnie widoczne obecnie, ze względu na postępujące zmiany klimatyczne. W wielu rejonach świata, a także naszego kraju „problem dostawy wody i ochrony jej źródeł staje się kluczowy. Braki wody stają się przyczyną emigracji ludności oraz konfliktów między państwami [7]. Wszystko to powoduje, że przed specjalistami branży zaopatrzenie w wodę i odprowadzanie ścieków pojawiają się wciąż nowe i coraz ważniejsze zadania. Warto zatem zachęcać młode pokolenie do wyboru tej ścieżki zawodowej w przyszłości.

2. Krótki rys historyczny – wybrane znaczące fakty

Historii działań związanych z zaopatrzeniem w wodę jednostek osadniczych i odprowadzania z nich ścieków poświęcono wiele poważnych opracowań o charakterze monograficznym, artykułów techniczno-historycznych oraz ciekawych informacji i danych obecnych w Internecie. Warto polecić przy tej okazji ciekawe monografie wydane przez przedsiębiorstwa wodociągowe wszystkich dużych i wielu śred-

^{*)} **Marian Kwietniewski**, prof. dr hab. inż., Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, e-mail m.kwietniewski@pw.edu.pl,
Dariusz Kowalski, dr hab. inż. prof. PL Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, e-mail d.kowalski@pollub.pl

niej wielkości miast polskich, przybliżając bardzo szczegółowo historię, problemy i osiągnięcia wodociągów i kanalizacji w tych miastach.

2.1 Wodociągi

W starożytności, zaopatrywano się w wodę czerpiąc ją z rzek, kopyano studnie, a także zbierano wodę deszczową w specjalnych zbiornikach. W Rzymie woda była sprowadzana akweduktami do specjalnych zbiorników pełniących rolę odstożników. Następnie odprowadzano ją rurami do wieży ciśnień (*castellum*), a stąd do mniejszych zbiorników, skąd za pomocą rur ołowianych dopływała do fontann, łaźni, zakładów rzemieślniczych oraz niektórych domów. [6]

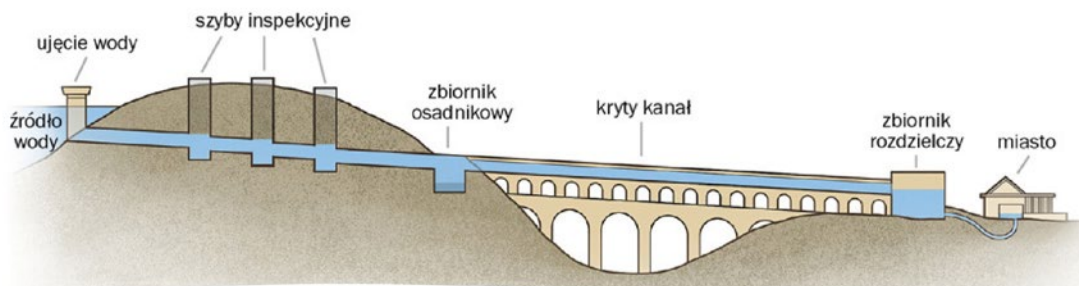
Najstarsze zachowane fragmenty wodociągów, jak donoszą dostępne źródła, odkryto na Bliskim Wschodzie (ok. 3000 r. p.n.e.) – były to urządzenia nawadniające. Technika wodociągowa rozwijała się też w Chinach, w Egipcie i w antycznej Grecji. Egipcjanie uzdatniali wodę do picia, filtrując ją przez bawełnianą tkaninę. W kulturze greckiej pojawiły się łaźnie (także parowe) i wanny, w piwnicach pałacach moźnych później w obiektach użyteczności publicznej oraz domach prywatnych. W latach 197-159 p.n.e Grecy wybudowali ciśnieniowy system wodociągowy, który zaopatrywał blisko 200-tysięczne miasto w wodę ujmowaną ze źródeł w górach Madradag. Jego długość wynosiła ok. 42 km. a maksymalna wydajność ok. 4000 m³/d. Ciśnienie w jego najniższych partiach mogło sięgać nawet 1.85 MPa. W Rzymie, w I w. n.e. dziewięć stołecznych akweduktów mogło zapewnić miastu wodę w ilości ok. 1 000 000 m³/dobę, z czego blisko połowę wykorzystywali prywatni odbiorcy. Mieszkańcy Rzymu bezpłatnie czerpali wodę z licznych fontann, natomiast ci, którzy cieszyli się luksusem bieżącej wody w domu, płacili według jej zużycia. [3]

Do najważniejszych osiągnięć inżynierskich budowniczych okresu starożytności, służących do doprowadzenia wody w dużych miastach należą bez wątpienia akwedukty (łac. *aquaeductus* < *aqua* 'woda', *ductus* 'przewodzenie'). Urządzenia te doprowadzały wodę, przy wykorzystaniu siły grawitacji, kanałem otwartym lub zamkniętym z odległych źródeł ponad przeszkodami terenowymi (rzekami, drogami, dolinami), czasem też przy wykorzystaniu tuneli. Głębokie doliny, w których nie było możliwe wzniesienie arkad, były pokonywane za pomocą syfonów. Akweduktów używano w Mezopotamii już od VII wieku p.n.e., ale najdoskonalsze i najszerzej wykorzystywane były akwedukty rzymskie (rys. 1). Te monumentalne budowle zdobią krajobrazy dzisiejszych Włoch, Hiszpanii, Francji czy Portugalii. Niekiedy wykorzystuje się je również dziś do nawadniania pól uprawnych. [32].



Rys. 1 Po lewej akwedukt Aqua Appia (Rzym) 312 r. p.n.e., o długości 16 km, doprowadzał wodę z gór Albańskich do Rzymu. Po prawej akwedukt Pont de Gard (k/ Nimes we Francji) – 26 – 16r p.n.e. [30,40]

Fig. 1 On the left, the Aqua Appia aqueduct (Rome), 16 km long, carried water from the Albanian mountains to Rome. On the right, the Pont de Gard aqueduct (near Nimes, France) – 26 – 16 BC [30,40]



Rys. 2 Przykładowe elementy konstrukcyjne akweduktu [36]

Fig. 2 Examples of the construction elements of the aqueduct [36]

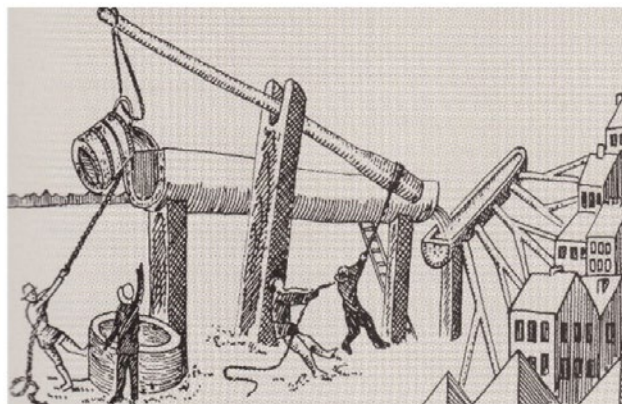
Aby zapewnić właściwe funkcjonowanie i doprowadzenie możliwie czystej wody do miasta, akwedukty musiały być wyposażone w odpowiednie urządzenia jak np. szyby inspekcyjne i osadniki (rys. 2)

Woda była przesyłana rurociągami wykonywanymi z różnych materiałów (wypalana glina, kamień, a także ołów [18,37]. Przez długi czas, już w średniowieczu aż do XVI – XVII w. wykorzystywano do tego celu rurociągi drewniane łączone na ogół za pomocą stalowych pierścieni, uszczelniane mchem i gliną. Duże fragmenty systemu wodociągowego z drewna odkryto w ostatnich latach w Polsce, między innymi w Kościanie w woj. wielkopolskim (rys. 3).



Rys. 3. Wodociąg drewniany XVIw., Kościan, Wielkopolska, Polska [37]
Fig. 3 Wooden waterworks of the 16th century, Kościan, Poland [37]

Niezbędnym elementem wodociągów są urządzenia do podnoszenia wody, które mają też swoją bogatą historię. Ideę działania systemu dostawy wody dla mieszkańców z zastosowaniem podnoszenia wody w połowie XVI w. przedstawiono, w bardzo uproszczony sposób, na rys. 4.



Rys. 4. Schemat ideowy systemu dostarczania wody ze studni do budynków XVI w. [3]
Fig. 4. Schematic diagram of the water supply system from the well to the buildings of the 16th century [3]

Praktyczne pomysły na podnoszenie wody pojawiły się już w starożytności. Można tutaj wspomnieć chociażby czerpadło śrubowe, zwane śrubą Archimedesa, do przepływu ciągłego, które pojawiło

się już prawdopodobnie ok. 1000 lat p.n.e. Czerpadło umożliwiało podnoszenie dużych ilości wody na niewielką wysokość 5 – 6 m s.w. i było używane głównie do nawadniania bądź odwadniania [25]. Urządzenia działające na tej samej zasadzie są stosowane też dzisiaj, np. w oczyszczalniach ścieków do transportu osadów ściekowych.

Kolejnym urządzeniem „realizującym ideę pompowania wody, była pompa wyporowa tłokowa, której konstrukcję przypisuje się Kresibiosowi z Aleksandrii. Pierwsze próby pompowania wody pod ciśnieniem były podejmowane już ok. 200 r. p.n.e. [25]. Ale zasada działania tego urządzenia pozostała niezmienna i pompy wyporowe tłokowe, wykorzystujące tę zasadę, są stosowane powszechnie również dzisiaj. W połowie XVII w. mówi się o ponownym odkryciu pomp w Norymberdze. Zbudowano wówczas pompę tłokową z napędem dźwigniowym, obsługiwaną przez 16 – 20 ludzi, z przeznaczeniem głównie do gaszenia pożarów. Następnie na początku XVIII w. do napędu pompy tłokowej zastosowano maszynę parową. Sprawność tej pompy, jak donoszą źródła była niewielka i szacowano ją poniżej 1% [25].

Mówiąc o pompowaniu wody nie można pominąć osiągnięcia genialnego wynalazcy Leonardo da Vinci, który już w XV w. wykonał szkice pompy wirowej, z wykorzystaniem siły odśrodkowej. Były to rysunki prototypowe i pomysł nie został wówczas zrealizowany. Dopiero w drugiej połowie XVII w. Denis Papin zaprojektował model wirowej pompy odśrodkowej wykorzystującej siłę odśrodkową wody wirującej w zamkniętej obudowie, wdrażając w ten sposób pomysł Leonardo da Vinci. [25].

2.2 Kanalizacje

Kanalizacja jest jedną z najstarszych zdobyczy cywilizacyjnych na świecie. Już bowiem 3000 lat p.n.e. w niewielkiej osadzie na północy Szkocji w każdej „chałupie” znajdowało się zamknięte drzwiczkami małe pomieszczenie z otworem w podłodze. Wszystkie otwory miały połączenie ze wspólną rurą, która uchodziła do morza. Zakłada się z dużym prawdopodobieństwem, że pomieszczenia te były splukiwane wodą. W miastach Mohendzo-Daro i Harappa nad brzegami rzeki Indus (Indie), w latach 2800 – 2400 p.n.e. wiele budynków mieszkalnych miało urządzenia sanitarne na stosunkowo wysokim poziomie. Wewnątrz domów znajdowały się łazienki i ustępy splukiwane, z których ścieki odpływały rurami (podobne urządzenia w tym czasie miały gdzieś indziej tylko pałace królewskie) [3,47]. Toalety splukiwane były znane już m. in. na Krecie w 1700r. p.n.e. [41] Warto w tym miejscu wspomnieć, iż splukiwaną miskę ustępową opatentowano dopiero w połowie XVIII w. w Anglii. [5].

Ścieki miejskie starano się usuwać już w wielkich miastach starożytności, np. w Jerozolimie płynne nieczystości wywożono do specjalnych stawów, skąd po pewnym czasie wybierano osad denną jako nawóz, a wody ze stawu używano do podlewania ogrodów [47]. Rozbudowana kanalizacja była stosowana dopiero po 2 tysiącach z górą lat w Rzymie. Słynny przesklepiony kanał o charakterystycznej nazwie Cloaca Maxima [38], zbierał ścieki z całego miasta. Wybudowano go w 184 roku p.n.e. za cesarza Augusta. Kanał ten zaczęto regularnie splukiwać wodą z wodociągów.

W średniowieczu kanalizacja miast upadła zupełnie. Rowami otwartymi wzdłuż ulic płynęły ścieki i woda deszczowa, kierując się w najlepszym przypadku do rzeki) [47]. Nieczystości z dołów kloacznych wywożono beczkami za miasto, a gdy nikt nie widział, zrzucano nawet do rowów przyulicznych, co było zakazane. Nierzadko zawartość beczek opróżniano do pobliskiej rzeki. Królowały wychodki, a szczytem luksusu był występ w murze, zwisający nad szambem lub fosą [47].

Kanalizacje obejmujące całe miasta zaczęto rozwijać już w czasach nowożytnych XVI – XIX w. Początki XIX w. to czas budowy współczesnej kanalizacji w największych wówczas miastach m.in. w Paryżu, Londynie, Bostonie, Nowym Jorku, Hamburgu. W większości z nich głównym powodem podjęcia decyzji o budowie kanalizacji były epidemie cholery np. w Paryżu po 1832 r. i w Londynie po roku

1858 (rys. 5). W celu zmniejszenia zagrożenia cholera w Londynie (zmarło wówczas 20 tys. mieszkańców), inż. J. Bazalgette, zastosował pompowanie ścieków na taką wysokość, aby spływały potem do Tamizy przez 12 mil. Takie rozwiązania zapewniały naturalne procesy samooczyszczania ścieków. Bazalgette wybudował także wielkie zbiorniki, w których ścieki przechodziły procesy chemiczno – biologiczne, zmieniając swój wygląd, zapach i skład chemiczny. Następnie rozprowadzane były na polach irygacyjnych. [47];



Rys. 5 Fragmenty kanałów w Paryżu (lewa strona) i w Londynie (prawa strona) [31,48]
Fig. 5 Fragments of the canals in Paris (left side) and in London (right side) [31,48]

2.3 Wodociągi i kanalizacje w Polsce

Mówiąc o rozwoju wodociągów i kanalizacji w Polsce nie sposób pominąć obszernej pracy opublikowanej pod redakcją prof. Sozańskiego [24]. Zarówno w tej pracy jak i innych dostępnych źródłach literaturowych, znajdujemy informacje o najstarszych wodociągach zbudowanych na terenach dzisiejszych ziem polskich pod koniec XIII. w. w Krakowie, Wrocławiu, Poznaniu i Przemyślu, a także w wielu innych miastach. Były to jednak wodociągi o ograniczonym zasięgu, dostarczające wodę ze studni do klasztorów i dla niewielkiej części miast. Systematyczny rozwój urządzeń wodociągowych, w czym znaczny udział miała produkcja rur drewnianych, spowodował rozkwit urządzeń wodociągowych w Polsce, w szczególności w wieku XVI. W tym czasie ok. 60 miejscowości tj. ok. 5% posiadało swoje wodociągi [3,9].

Druga połowa wieku XIX. i początek wieku XX. to czas rozbudowy i szybkiego rozwoju wodociągów i kanalizacji w dużych miastach na całym świecie, w tym również na terenach Polski. Był to proces wywołany przede wszystkim koniecznością natychmiastowej poprawy bardzo złych warunków sanitarnych w miastach. Brak instalacji do odprowadzania nieczystości z budynków i mieszkań, a także niewłaściwe usuwanie nieczystości z podwojek i ulic oraz zła jakość wody do sporządzania posiłków, przy szybko wzrastającej gęstości zaludnienia powodowały epidemie w miastach, skutkujące rosnącą śmiertelnością mieszkańców. Na przykład w Warszawie w latach 1874 – 1879, w ciągu roku umierały średnio 42 osoby na 1000 mieszkańców, podczas gdy po wybudowaniu kanalizacji i wodociągu, śmiertelność zmniejszyła się w roku 1910 do ok. 19 osób/1000 mieszkańców [50]. Prawie równocześnie zbudowano wodociągi w wielu miastach m.in.: w Szczecinie (1865), Gdańsku (1869 r.), Elblągu (1870 r.), Wrocławiu (1871 r.) i w Warszawie (1886). Następnie wodociągi uruchomiono m.in. w: Białymstoku (1892), Płocku (1892), Lublinie (1899), Cieszynie (1894), Krakowie (1899). Najpóźniej, bo w 1933 roku zakończono budowę wodociągów w Łodzi. [24].

Należy podkreślić szczególną troskę budowniczych o poprawę warunków sanitarnych mieszkańców dużych miast. Tym można tłumaczyć równoległe projektowanie i budowę wodociągów i kanalizacji. Dobrym przykładem są wodociągi i kanalizacje warszawskie, które powstawały pod kierunkiem i przy bezpośrednim udziale wybitnego projektanta, budowniczego i konsultanta, inżyniera Williama Lindley'a (1808 – 1900), a następnie jego synów: Williama Heerleina Lindley'a (1853-1917), Roberta Searlesa Lindley'a (1854-1925) i Joseph Lindley'a (1859-1906). Wpierw wykonano projekt kanalizacji (15.V.1878r.), a niedługo później projekt wodociągu (18.VI. 1878r.). Ciekawostką jest to, że oba projekty, przed zatwierdzeniem ich w 1880 roku przez Komitet Techniczno-Budowlany Ministerstwa Spraw Wewnętrznych Rosji musiały być wcześniej (1879r.) przesłane w języku polskim i rosyjskim do prasy, zapewne w celu uzyskania opinii i ak-

ceptacji publicznej. Był to dowód osobistego zaangażowania i odwagi cywilnej ówczesnego Prezydenta Warszawy gen. Sokratesa Starynkiewicza. Wodociągi warszawskie, zgodnie z założeniami, zostały zaprojektowane perspektywnie dla prognozowanej już w końcu XIX w. liczby 500 000 mieszkańców, przy planowanym średnim zużyciu wody na poziomie $280 \text{ dm}^3/(\text{d} \cdot \text{Mk})$ [50].

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż podejmowanie decyzji o budowie kanalizacji nie zawsze było proste i łatwe, pomimo ewidentnych niebezpiecznych dla zdrowia warunków życia mieszkańców. Niechęć do rozwoju kanalizacji wybrzmiała mocno na przykład w odniesieniu do kanalizacji warszawskiej, o czym świadczy opublikowanie 35. stronicowej broszury, w niewybredny sposób zniechęcającej do tego przedsięwzięcia [12]. Mimo protestów, kanalizacja została wybudowana i realizuje w sposób zadowalający swoje funkcje do dnia dzisiejszego.

Warto zwrócić uwagę również na wysoką jakość wykonania i użytych wówczas materiałów do budowy obiektów takich np. jak zbiorniki, filtry i przewody wodociągowe oraz kanały. Dzięki temu, urządzenia i obiekty zachowały swój doskonały stan techniczny i po przeprowadzeniu prac odnowieniowych nadal pełnią swoje funkcje (rys. 6).



Rys. 6 Po lewej wnętrze filtru powolnego (początek XXw), po prawej wnętrze zbiornika wody czystszej po odnowie (początek XXIw) [1]

Fig. 6. On the left – the interior of the slow filter (beginning of the 20th century), on the right – the interior of the clean water tank after the renewal (beginning of the 21st century) [1]

Po odzyskaniu przez Polskę niepodległości w 1918 roku, po ponad 120 latach zaborów, zaistniała potrzeba oceny stanu i zakresu funkcjonowania infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej, w celu określenia wielkości środków na jej odbudowę. Taką próbę podjął prof. Ignacy Piotrowski z Katedry Wodociągów i Kanalizacji Politechniki Warszawskiej, przeprowadzając w latach 1919–21 badania ankietowe, którymi objął ponad 100 miast. [22]. W ich wyniku okazało się, że tylko 17% miast posiadało wodociągi, 5% miast posiadało wodociągi i kanalizację, a 43,8% mieszkańców miast korzystało z wodociągów. Stąd też podejmowano różne przedsięwzięcia, mające na celu poprawę stanu zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków, ale przede wszystkim w celu poprawy stanu sanitarnego jednostek wiejskich. Powstała wówczas inicjatywa generała Felicjana Sławoja – Składkowskiego, lekarza, szefa służb sanitarnych w wojsku polskim, aby budować przy każdej zagrodzie latryny zwane później „sławojkami”.

3. Współczesne wodociągi i kanalizacje

Współczesne wodociągi i kanalizacje to już nowoczesnie uporządkowane i zorganizowane Systemy Zbiorowego Zaopatrzenia w Wodę i Systemy Zbiorowego Odprowadzania Ścieków (Systemy Kanalizacyjne), które są utrzymywane i eksploatowane przez specjalnie w tym celu powołane przedsiębiorstwa. Istnieje na świecie, w tym także w Polsce, wiele różnych jednostek zarządzających infrastrukturą wodociągową i kanalizacyjną. W naszym kraju dominują branżowe przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne. Jednostki te, zgodnie z ustawą [26] tworzą warunki przede wszystkim do zapewnienia ciągłości dostaw i odpowiedniej jakości wody, niezawodnego odprowadzania i oczyszczania ścieków, a także ochrony interesów odbiorców usług, z uwzględnieniem wymagań ochrony środowiska i optymalizacji kosztów funkcjonowania.

W odniesieniu do wodociągów należy stwierdzić, iż powszechnie stosowane są obecnie systemy „jednorurowe”, dostarczające do wszystkich odbiorców wodę do spożycia, tj. wodę o najwyższej jakości mimo, iż nie wszystkie cele wymagają wody o takiej jakości (np. mycie pojazdów, podlewanie zieleni miejskiej, płukanie urządzeń przemysłowych czy też płukanie sieci kanalizacyjnej). Występują także systemy „dualne”, które oprócz wody do spożycia dostarczają także wodę na cele nie wymagające najwyższej jakości. Systemy dualne są stosowane jeszcze w ograniczonym zakresie i w mniejszej skali, w szczególności w budynkach lub zespołach budynków.

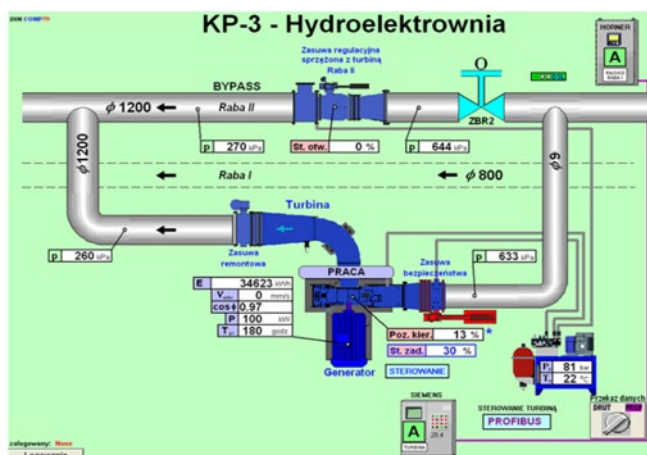
Współczesne wodociągi i kanalizacje są nierozdzielnie związane z rozwojem i wdrażaniem innowacyjnych rozwiązań technicznych. Jest ich bardzo wiele we współczesnych systemach. W znacznej mierze są to rozwiązania już wdrożone, ale część z nich to jeszcze propozycje na etapie patentów lub zgłoszeń patentowych. Dla przykładu można wymienić kilka obszarów, w których te rozwiązania mają zastosowanie:

- materiały do budowy i odnowy sieci wodociągowych i kanalizacyjnych,
- technologie odnowy przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych,
- GIS i zintegrowane systemy zarządzania infrastrukturą wodociągową i kanalizacyjną w przedsiębiorstwach,
- monitoring on-line sieci i obiektów,
- modelowanie numeryczne pracy sieci,
- rurowe systemy hydroenergetyczne – turbiny i mikroturbiny,
- metody ograniczania wycieków wody z sieci dystrybucyjnych

W dalszej części zasygnalizowano tylko idee i możliwości niektórych z tych rozwiązań.

3.1 Rurowe systemy hydroenergetyczne

Można tutaj mówić generalnie o zewnętrznych i wewnętrznych systemach. W systemie zewnętrznym, turbina zabudowana jest na oddzielnym przewodzie wodociągowym, tzw. by-passie, natomiast w systemie wewnętrznym, turbina zamontowana jest wewnątrz przewodu, a generator zlokalizowany poza rurą. Bardzo dobrym przykładem systemu hydroenergetycznego (zewnętrznego) jest turbina zainstalowana w krakowskim wodociągu [49], która przetwarza energię kinetyczną wody przepływającej grawitacyjnie rurociągiem tranzytowym (przy różnicy wysokości 37 m) w energię elektryczną. Turbina zainstalowana jest na „bay-pasie” przewodu przesyłowego, nie zakłócając jednocześnie głównego strumienia wody (rys. 7). System ma automatyczne połączenie z siecią energetyczną, do której odprowadzana jest wyprodukowana energia elektryczna. Wydajność energetyczna turbiny jest związana z wymaganą produkcją wody w wodociągu i waha się od 3,6 do 7,8 MWh w ciągu doby.



Rys. 7 Schemat zainstalowania turbiny na przewodzie obejściowym w wodociągu krakowskim [49]

Fig. 7 Diagram of a turbine installation on a bypass in the Krakow water supply [49]

Obok dużych turbin są także rekomendowane mikrorurbin [15,16], których podstawowym zastosowaniem jest redukcja ciśnienia, w celu obniżenia awaryjności, a w dalszej kolejności do zmniejszenia wycieków w wytypowanych przewodach. Niewielki odzysk energii włożonej wcześniej w pompowanie wody jest dodatkową korzyścią w stosunku do redukcji ciśnienia. Odzyskiwaną energię można wykorzystać np. do zasilania czujników w systemie monitoringu sieci *on-line*.

3.2 Systemy wykrywania i lokalizacji wycieków

Współczesne systemy wykrywania i lokalizacji wycieków bazują na ciągłym, zdalnym monitoringu, obejmującym pomiary ciśnienia, przepływu i szumów towarzyszących przepływowi wody w przewodach. Wykorzystuje się w tym celu najnowsze osiągnięcia technologii informatycznych m.in GIS (*Geographical Information System*), GPS (*Global Positioning System*), GSM (*The Global System for Mobile Communications*), GPRS (*General Packet Radio Service*), oprogramowanie bazujące na platformie w chmurze internetowej, a także radary i satelity.

3.2.1 Satelitarne wykrywanie wycieków – system UTILITIES

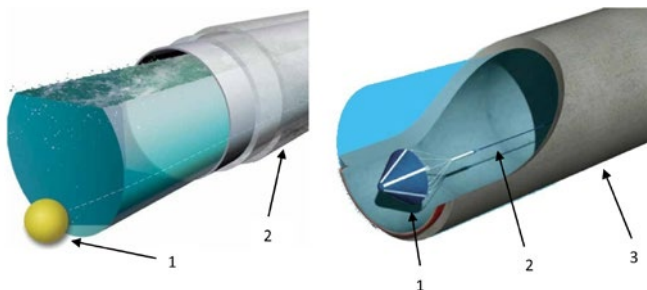
System UTILITIES pierwotnie opracowany został do poszukiwania wody na innych planetach (Mars, Wenus), a jego działanie opiera się na analizie radarowych obrazów satelitarnych. Wykorzystuje on dane z satelity krążącego na wysokości ok. 650 km nad Ziemią, wyposażonego w radar SAR (*Synthetic Aperture Radar*), służący do uzyskiwania obrazów nieruchomych obiektów o wysokiej rozdzielczości [10]. W końcowym raporcie z badań zawarte są cenne wyniki jak np. lokalizacja miejsc wycieków z różnym prawdopodobieństwem pewności (dokładnością), udziały wycieków na różnych przewodach, statystyka wycieków (liczba na km sieci, na dzień) itp. (rys. 8).

3.2.2 Systemy wykrywania wycieków Smart Ball i Sahara

W przypadku technologii SmartBall®, do badania wykorzystywana jest kula wykonana z pianki, wewnątrz której znajduje się rdzeń ze stopów aluminium zawierający instrumenty pomiarowe. Kula porusza się w przewodzie niesiona przepływem wody, nawet do 12 godzin, zbierając informacje na temat wycieków oraz innych nieprawidłowości, np. kieszeni gazowych. W miejscu nieszczelności emituje sygnały do znajdujących się na powierzchni terenu odbiorników. Urządzenie rejestruje w swojej pamięci przebieg pomiarów. Zebrane dane, po wyjęciu kuli z przewodu, poddaje się ją dalszej obróbce już w labo-

ratorium i przedstawia rezultaty w postaci rejestracji wycieków i ich lokalizacji z dokładnością do 3 m. [34] (rys. 9 po lewej)

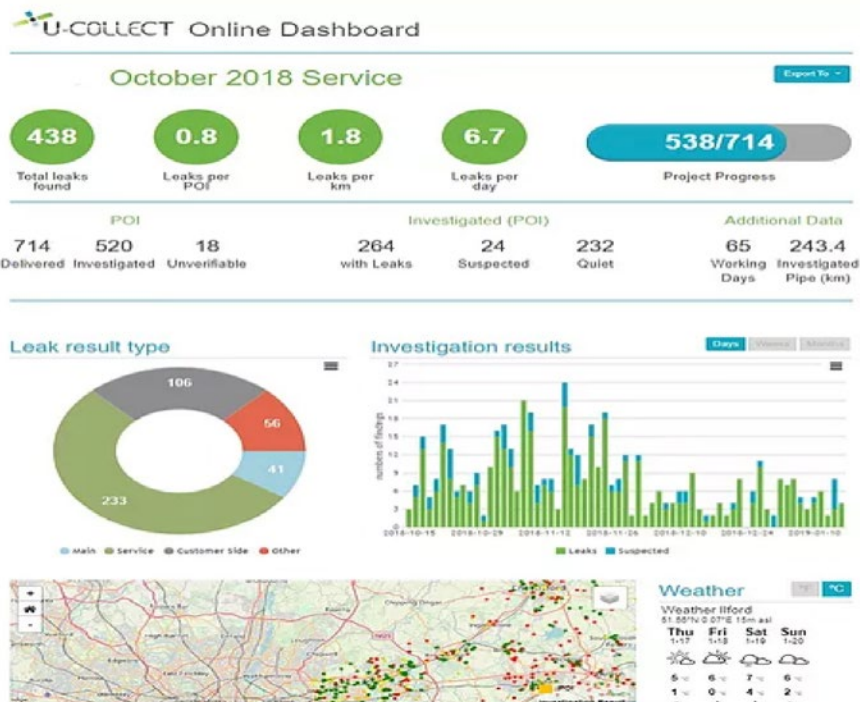
Urządzenie Sahara posiada takie same możliwości co SmartBall®. Dodatkowo zostało wyposażone w kamerę, która za pomocą podpiętego przewodu przekazuje rejestrowany obraz w czasie rzeczywistym do komputera operatora. Ten system kontroli jest jednym z najdokładniejszych z obecnie dostępnych do wykrywania nieszczelności (dokładność lokalizacji do ok. 0,5 m), kieszeni uwiecznionego gazu, defektów strukturalnych oraz obecności nielegalnych przyłączy [33] (rys. 9 po prawej). Zarówno SmartBall® jak urządzenie Sahara umieszcza się i usuwa z rurociągu podczas jego normalnej pracy.



Rys. 9. Po lewej – system SmartBall® 1 – urządzenie SmartBall, 2 – badany przewód wodociągowy. Po prawej – system Sahara® 1 – otwierana powłoka (spadochron) z kamerą, 2 – przewód łączący urządzenie z komputerem, 3 – badany przewód wodociągowy [32,33] Fig. 9 On the left – SmartBall® system 1 – SmartBall device, 2 – tested water pipe. On the right – Sahara® system 1 – opening shell (parachute) with a camera, 2 – cable connecting the device with the computer, 3 – tested water pipe [33,34]

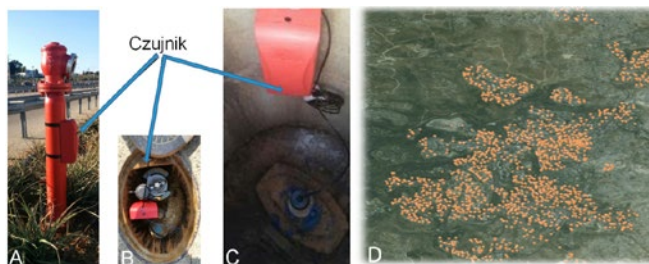
3.2.3 Stacjonarny i mobilny system akustyczny ASQ-SYS

Zasada działania tego systemu polega na ciągłym automatycznym monitoringu akustycznym sieci wodociągowej poprzez specjalne czujniki, umieszczone na stałe na elementach uzbrojenia (hydranty i zasuwy) w odstępach 300 – 500 m (rys. 10). Umożliwia on gromadzenie danych, przeprowadzanie analiz i wizualizację ich wyników. Analiza rozbieżności pomiędzy szumami zarejestrowanymi na przewodach z wyciekami, a szumami na odcinkach pracujących prawidłowo daje możliwość zlokalizowania i oszacowania wielkości wycieku. Możliwe jest wskazanie miejsca wycieku z dokładnością poniżej 2% odległości między czujnikami [29].



Rys 8 Przykładowy raport z badań wycieków w systemie UTILITIES [10]

Fig. 8 An example of a leak test report in the UTILITIES system [10]



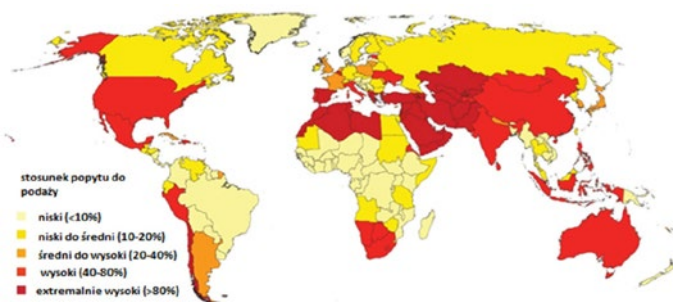
Rys. 10 Czujniki systemu ASQ-SYS: A – na hydrancie nadziemnym, B – na hydrancie podziemnym C – w komorze zasady, D – rozmieszczenie czujników akustycznych na mapie sieci wodociągowej Jerozolimy (1600 czujników, 750 km sieci)[29]

Fig. 10 Sensors of the ASQ-SYS system: A – on the fire hydrant, B – on the underground hydrant, C – in the valve chamber, D – location of acoustic sensors on the map of the water supply network of Jerusalem (1600 sensors, 750 km of network) [29]

4. Nierozwiązane problemy – i związane z tym wyzwania

Do największych problemów, stojących przed systemami zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków, należy zaliczyć głównie wzrastający deficyt wody zdanej do picia oraz zmieniająca się charakterystyka i lokalizacja opadów deszczu, skutkująca zarówno suszami jak i gwałtownymi powodziąmi. W celu rozwiązania powyższych problemów, wdrażana jest między innymi koncepcja inteligentnych miast (*Smart Cities*), a także gospodarka obiegu zamkniętego. W niniejszym artykule skupiono się na problemie deficytu wody, który przez wielu uznawany jest za kluczowy.

Deficyt wody występujący w wielu regionach i krajach świata, w tym na ok 1/3 terytorium Unii Europejskiej oznacza brak możliwości zaspokojenia podstawowych potrzeb człowieka, takich jak dostępność do wody pitnej, niezbędnej do przetrwania. Wg danych WHO, ponad miliard ludzi na świecie nie ma dostępu do wody pitnej [21]. Zgodnie z prognozami WRI (World Resources Institute) do roku 2040, ekstremalny deficyt wody wystąpi aż w 33 krajach, w tym w 14. państwach Bliskiego Wschodu oraz w Grecji i Hiszpanii, które już wcześniej niejednokrotnie doświadczały długotrwałych braków wody. Ekstremalny deficyt wodny dotknie także takie mocarstwa jak USA, Chiny i Indie (rys. 11) [27,46]. Warto zauważyć,



Rys. 11 Obszary największego deficytu wody Przewidywany stres wodny na świecie do 2040 r. [46]

Fig. 11 Areas of the greatest water deficit. Expected water stress in the world until 2040 [46]



Rys. 12 Schemat infrastruktury projektu, wraz z kolejnymi etapami budowy (po lewej) i zbiorniki wody podziemnej na Saharze [44]

Fig. 12 Diagram of the project infrastructure, with the successive stages of construction (left) and underground water tanks in the Sahara [44]

że Polska nie jest wolna od problemów z deficytem wody, czego coraz częściej doświadczamy przede wszystkim w okresach letnich.

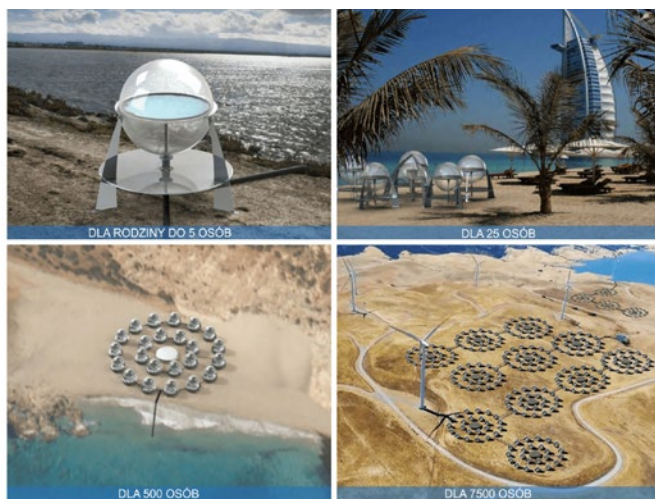
Niedobory wody w wielu krajach były i są już od wielu lat przyczyną konfliktów zbrojnych. Konflikty o wodę są często „przykrywane” innymi formami konfrontacji. Wśród najbardziej znanych wymienia się konflikty: między Pakistanem a Indiami o wody Indusu w 1947 roku, między Irakiem, Syrią i Turcją o wody Eufratu w 1919-1920 roku, między Izraelem, Jordanią, Autonomią Palestyńską i Libanem o wody Jordanu w 1967 roku [7].

Powodem wzrastającego ciągle deficytu wody jest głównie postępująca degradacja jakości wód przez przemysł, urbanizację i rolnictwo, a także skutki zmian klimatycznych. Duża intensywność tych procesów pokazuje wyraźnie, że już w niedalekiej przyszłości woda stanie się dobrem bardzo poszukiwanym. Jednocześnie, zgodnie z przewidywaniami OECD, do 2050 roku zapotrzebowanie na wodę ma wzrosnąć ponad dwukrotnie przy spodziewanym w tym czasie wzroście liczby ludności na świecie do 9,7 mld [46]. A tymczasem mieszkańcy ubogich terenów w wodę np. w Afryce Subsaharyjskiej, Azji, Ameryce Płd. w porze suchej tracą mnóstwo czasu na organizowanie dostępu do wody. Jednocześnie dużo wody nadającej się do spożycia tracimy bezpośrednio w systemach wodociągowych. Straty wody, a dokładnie ilość wody niedochodowej (*Non Revenue Water*) w skali świata szacuje się na poziomie ok 126 mld m³ /rok co generuje straty finansowe w wysokości ok 39 mld USD [19].

Nakreślona wyżej sytuacja związana z postępującym deficytem wody na świecie zmusza do poszukiwania rozwiązań, które pozwolą zminimalizować ten deficyt poprzez m in wykorzystanie alternatywnych źródeł wody, czy też racjonalizację jej zużycia. W tym celu wykorzystuje się np. wodę morską, wody opadowe, oczyszczone ścieki, lodowce, a także mgłę wodną i rośliny. Stosuje się też przerzuty wody z miejsc obfitujących w wodę na tereny dotknięte jej deficytem za pomocą kanałów, rurociągów oraz odpowiednich zbiorników czy też w zbiornikach elastycznych holowanych przez statki. W dalszej części wskazano przykładowe ciekawsze rozwiązania technologiczne minimalizujące postępujący deficyt wody.

4.1 Budowa dużych systemów gospodarki wodnej i zaopatrzenia w wodę

Do największych systemów zaopatrzenia w wodę należy *Great Man-Made River* (Wielka Sztuczna Rzeka) w Libii (rys. 12 po lewej). Na system składa się ok. 1300 studni o głębokości od 80 do 400 m, które dostarczają łącznie ok. 3 000 000 m³/d wody do Trypolisu, Bengazi, Syrty i innych miast Libii. Woda jest przesyłana rurami żelbetowymi DN4000. Ich produkcja wymagała budowy dwóch specjalistycznych fabryk. Dostępność zasobów wód podziemnych oceniono na 60 do 100 lat przy zapotrzebowaniu na wodę na poziomie roku 2007. Koszty projektu oszacowane na 25 mld USD miały być pokryte w całości przez rząd libijski. Bogate źródła wody podziemnej w formie czterech olbrzymich zbiorników odkryto pod Saharą, przy okazji poszukiwań ropy naftowej w 1970 r. Wiek tych zbiorników szacuje się na 7000-38000 lat (rys. 12 po prawej). Pomysł Wielkiej Sztucznej Rzeki powstał pod koniec lat 70. XX w., kiedy źródła wody pitnej miasta Bengazi (drugiego co do wielkości w Libii) zostały zanieczyszczone przez wodę morską i nie nadawały się do wykorzystania



Rys. 13 Ilustracje zakładów odsalania wody morskiej różnej wielkości [17]

Fig. 13 Illustrations of seawater desalination plants of various sizes [17]

na potrzeby zaopatrzenia w wodę. Rozważano wówczas ujmowanie wody ze zbiorników pod Saharą lub importowanie z Europy. Wybrano pierwszą opcję jako tańszą. Prace projektowe rozpoczęto w 1984r., a realizację inwestycji zaplanowano w pięciu etapach. Pierwsza woda została dostarczona do Trypolisu w 1996 r. Niestety w roku 2011 jedna z fabryk produkujących rury została zbombardowana, a od 2016 budowa wodociągu jest zagrożona ze względu na trwającą wojnę domową w Libii [44].

4.2 Odsalanie wody słonej

Technologia odsalania słonych wód jest stosowana w ok. 120 krajach świata, przede wszystkim na Bliskim Wschodzie, głównie w Arabii Saudyjskiej (lider w tej dziedzinie), ale także w Kuwejcie, Katarze, Libii i Izraelu. W tym regionie produkuje się najwięcej, tj. ok. 50% wody w technologii odsalania w skali całego świata. W Ameryce Płn., głównie w USA, uzyskuje się tą drogą ok. 20%, w Europie ok. 12-14% a w Australii poniżej 1% wody pitnej. Choć na całym świecie funkcjonuje ok. 11 000 zakładów odsalania o wydajnościach nawet do 500 000 m³/d (rys. 13), to udział w pokryciu światowego zapotrzebowania na wodę pitną otrzymywaną w tej technologii szacuje się na poziomie tylko 0,25% [2,13,14].

4.3 Odzyskiwanie wody ze ścieków (recykling ścieków)

Na świecie stosowane są dwie główne technologie odzyskiwania wody pitnej ze ścieków [4,20,23]:

- IPR (*Indirect Potable Reuse*) – pośrednie ponowne użycie wody pitnej uzyskanej ze ścieków, poprzez wykorzystanie bufora środowiskowego, takiego jak jezioro, rzeka, woda gruntowa, przed dalszym procesem oczyszczania wody na stacji uzdatniania i następnie dystrybucja wody uzdatnionej.
- DPR (*Direct Potable Reuse*) – bezpośrednie ponowne użycie wody pitnej uzyskanej ze ścieków, bez wykorzystania bufora środowiskowego – woda odzyskana ze ścieków, po ich wysokoefektywnym oczyszczeniu jest wprowadzana bezpośrednio do systemu dystrybucji lub też po wcześniejszym jej przetrzymaniu przez pewien czas w tzw. zbiorniku inżynierskim (ESB – Engineering Storage Bufor).

Pierwsza z nich (IPR) jest technologią podstawową i szerzej stosowaną niż druga (DPR). Wykorzystanie buforów środowiskowych, takich jak rzeki, zbiorniki, jeziora lub warstwy wodonośne, jest uważane za najlepsze rozwiązanie, przy założeniu, że mają one wysoką zdolność samooczyszczania wody. Technologia ta jest stosowana od ponad 50 lat przede wszystkim w USA oraz w Singapurze ale także w Europie i Australii. Druga technologia (DPR) jest alternatywą dla IPR i jest uważana za bardziej opłacalną ekonomicznie oraz dającą możliwość lepszego sterowania i kontrolowania, ze względu na brak bufora środowiskowego [8].

4.4 Woda z lodowców

Pomysł pozyskania wody w lodowców nie jest nowy, ponieważ udane próby transportu małych gór lodowych podjęto już pod koniec XIX, na potrzeby zaopatrzenia w wodę w Limie [43]. Obecnie, kiedy kryzys wodny ujawnia się coraz silniej, powstają podobne projekty np. w Arabii Saudyjskiej.

Szacuje się, że w rejonie Grenlandii powstaje rocznie ok 40 000 gór lodowych średniej wielkości, których masa szacowana jest na ok. 100 000 ton. Największa góra lodowa zaobserwowana w 1882 r. na półkuli półn. miała wymiary: ok. 13 km długości, ok. 6 km szerokości i 20 m wysokości ponad zwierciadło wody. Masa wody jaką można by z tej góry uzyskać została oszacowana na ok. 9 mld ton, co pokrywałoby zapotrzebowanie na wodę dla wszystkich mieszkańców Ziemi w ilości 1 dm³/(d·Mk) przez 4 lata [42].

Poważne projekty pozyskania wody z lodowców rozważano w Pakistanie, który poniósł wielkie straty w rolnictwie w wyniku suszy w latach 2001 – 2004. Głównym źródłem wody dla rolnictwa w tym kraju są topniejące śniegi i lodowce w Himalajach i górach Karakorum, które zasilając rzekę Indus nawadniają 80% obszarów rolnych. Rozważano kilka propozycji pozyskiwania wody z lodowców: cięcie lodowców za pomocą laserów, pokrycie powierzchni lodowców warstwą rozpylonego węgla drzewnego i transport gór lodowych. Niestety wszystkie pomysły okazały się niemożliwe do zrealizowania, głównie z powodu protestów ekologów lub nieopłacalności ekonomicznej. Nieznane są jak dotychczas zrealizowane duże projekty, dotyczące wykorzystania gór lodowych do zaopatrzenia w wodę odbiorców. Niemniej pozyskiwanie wody z gór lodowych odbywa się na niewielką skalę na potrzeby produkcji wody butelkowanej i wódki w Kanadzie i na Grenlandii [14].

4.5 Pozyskiwanie wody z mgły

Ten sposób uzyskiwania wody głównie do picia jest stosowany w regionach o znacznym deficycie wodnym, a jednocześnie w sprzyjających warunkach klimatycznym jak np. w pół-zach części Maroka. Interesujący projekt zbioru wody mgielnej Dar Si Hmad zrealizowano w regionie Ait Baamrane w pół-zach części Maroka [28]. Na cały system składa się z 20. kolektorów mgły (rys. 14), 6 km przewodów odprowadzających grawitacyjnie zebraną wodę do stacji uzdatniania, urządzenia do filtracji i dezynfekcji wody (UV), dwa zbiorniki wody (250 m³ i 214 m³) oraz stacja pogodowa (monitoruje ciśnienie barometryczne, temperaturę i wilgotność powietrza, opad, prędkość i kierunku wiatru). Po wdrożeniu projektu uzyskano wydajność 18 dm³/(d·Mk), podczas gdy wcześniej mieszkańcy mieli do dyspozycji tylko 8 dm³/(d·Mk).



Rys. 14 Kolektory mgły „CloudFisher”. 1 – siatka PEHD, na której skrapla się para wodna, 2 – mocowanie siatki, 3 – gumowe ekspandery redukujące uderzenia wiatru, 4 – elastyczne rynny zbierające i odprowadzające wodę do rurociągów [28]

Fig. 14 CloudFisher fog collectors. 1 – PEHD condensation mesh, 2 – mesh fixing, 3 – rubber expanders reducing wind gusts, 4 – flexible gutters collecting and draining water into pipelines [28]

5. Podsumowanie

Przestawiony krótki rys historyczny pokazuje, że wodociągi i kanalizacje służą człowiekowi od tysiącleci i mają bogatą historię. Tworzą ją znaczące dla rozwoju tej infrastruktury fakty i inspirowane przez nie liczne osiągnięcia techniczne. Już ok. 4000 – 3000 lat p.n.e. do dpro-

wadzenia wody, jak również odprowadzania nieczystości, stosowano rurociągi zamknięte ceramiczne i wykonane z kamienia. Niewątpliwie istotnym osiągnięciem były toalety splukiwane w domach nie tylko bogatych mieszczan, np. na Krecie ok. 1700 r p.n.e ale także w osadach w Szkocji i w Indiach ok. 3000 – 2400 r p.n.e. Do najwybitniejszych osiągnięć inżynierskich budowniczych okresu starożytności, służących do doprowadzenia wody do dużych miast, należą bez wątpienia akwedukty, używane już ok. 700 lat p.n.e. w Mezopotamii, a doskonale rozwinięte i szeroko stosowane na terytorium imperium rzymskiego. W okresie średniowiecza nastąpił jednak wyraźny regres w rozwoju kanalizacji.

Okres od połowy XIX do początku XX wieku, można nazwać „złotym” okresem w rozwoju nowoczesnej myśli inżynierskiej i powszechnej rozbudowy wodociągów i kanalizacji. W tym czasie powstawały bowiem niemal równocześnie zbiorcze wodociągi i kanalizacje w dużych miastach na całym świecie, w tym także na terenach Polski. Znamienne jest to, że często kanalizacje i wodociągi budowano jednocześnie, a głównym powodem decydującym o ich budowie były epidemie chorób zakaźnych i duża śmiertelność mieszkańców miast.

Współczesne wodociągi i kanalizacje są uznane za niezwykle ważne systemy dla bezpieczeństwa zdrowotnego mieszkańców. Są one utrzymywane i eksploatowane w sposób zorganizowany, przez specjalnie w tym celu powołane przedsiębiorstwa, które tworzą warunki do zapewnienia ciągłości dostaw, odpowiedniej jakości wody, niezawodnego odprowadzania i oczyszczania ścieków, a także ochrony interesów odbiorców usług, z uwzględnieniem wymagań ochrony środowiska i optymalizacji kosztów.

Wizytówką nowoczesnych wodociągów i kanalizacji są innowacje. Spośród wielu takich rozwiązań na uwagę zasługują metody ograniczania wycieków wody z sieci wodociągowych, wykorzystujące zaawansowane technologie informatyczne. Intensywny rozwój tych metod jest w pełni uzasadniony, ponieważ wycieki wody są nieodłącznym problemem eksploatacyjnym sieci, z którym borykają się operatorzy od początku istnienia przewodów rozprowadzających wodę, w tym także już w starożytnym Rzymie.

Mimo znaczących osiągnięć w tym zakresie, pozostaje nadal nie rozwiązany problem zapewnienia powszechnego dostępu do czystej i zdrowej wody wszystkim mieszkańcom globu. Problem ten nabiera szczególnie istotnego znaczenia w obliczu poważnego deficytu wody, który już występuje i będzie się dalej pogłębiał w wielu regionach świata, w tym także w Polsce. Wynikające stąd wyzwania koncentrują się na poszukiwaniu i wykorzystywaniu alternatywnych źródeł wody. Na większą skalę stosuje się już m.in. odsalanie wody morskiej, recykling ścieków oraz podejmuje próby pozyskania wody z lodowców. Na potrzeby mniejszych populacji uzyskuje się już wodę z mgły i powierzchni roślin.

Przedstawiony w artykule zestaw informacji wskazuje, że problematyka zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków jest ciągle aktualna i rozwojowa. Odpowiedzią na pojawiające się wyzwania są nie tylko niezbędne inwestycje oraz odnowa i modernizacja istniejącej infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej, ale także konieczność ciągłego jej unowocześniania, poprzez wdrażanie innowacyjnych rozwiązań w tym zakresie. Bardzo ważne jest przy tym dzielenie się zdobytą wiedzą i umiejętnościami. Stąd niezwykle cenne są platformy bezpośredniej wymiany myśli i doświadczeń, jak m.in. konferencje, seminaria i warsztaty, a także czasopisma naukowo-techniczne, a w szczególności „Gaz Woda i Technika Sanitarna”, obchodzące jubileusz 100-lecia swojej aktywnej działalności. ■

LITERATURA

- Archiwum MPWiK w m. st. Warszawie S.A., 2014 r.
- Blas Alexandra. 2004. „Destination Research”. Earthbeat University of New South Wales.
- Bohen Antoni (red.). 2015. „Skarby ziemi – woda. Skąd się bierze woda w kranie”. Wyd. Quixi Media sp. z o.o. Bydgoszcz.
- Chan Allison. 2021. “The Future of Direct Potable Reuse in California: Overcoming Public Acceptance Barriers, 2014”. Rrespository.usfca.edu
- Chudziński Jarosław. 2022. Materiały własne, Politechnika Warszawska. Zakład Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków.
- Frontyn Sekstus Juliusz. 1961. „O akweduktach miasta Rzymu”, Kunderewicz C. (tłum.), Warszawa.
- Futyr Michał. 2009. „Globalny kryzys wodny i konflikty z niego wynikające”. Instytut Badań nad Cywilizacjami, www.cywilizacje.pl/news-id-249 (Dostęp 06.2022).
- Godwin Angela. 2019. “Charting a course toward DPR”. www.waterworld.com, (Dostęp 05.2021).
- Gut Paweł. 2015. „Dzieje wodociągów i kanalizacji w Szczecinie od XVI wieku do roku 2015”. Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Szczecinie sp. z o.o. Szczecin.
- Ha'ayin Rosh Utilis – Satellite-based infrastructure intelligence www.startupboomer.com/products/satellite-based-infrastructure-intelligence-solution-utilis-israel (Dostęp 08.2020).
- Halat Zbigniew. 1998. „Woda, Medyczne Centrum Konsumenta”, Polska Agencja Ekologiczna, Warszawa.
- Kanalizacja miasta Warszawy jako narzędzie judaizmu i szarlatanery w celu zniszczenia rolnictwa polskiego oraz wytopienia ludności słowiańskiej nad Wisłą. F. r. Rolnik Nadwiślański. Księgarnia Gebethnera. Kraków 1900 r.
- Kowalczak Piotr. 2007. „Konflikty o wodę”. Wyd. Kurpisz, Poznań.
- Kowalczak Piotr. 2008. „Zagrożenia związane z deficytem wody”. Wyd. Kurpisz S.A. Poznań.
- Kowalska Beata, Kowalski Dariusz, Kwietniewski Marian, Rak Janusz. 2016. “The concept of using energy generated by water flowing in pipes to power devices monitoring the water network”, W: Urban water systems and floods, Proverbs D., Mambretti S., Brebbia C. A., Ursino N. [red.] – Southampton, Boston: WIT Press: 75-82.
- Kowalski Dariusz, Kowalska Beata. Kwietniewski Marian. 2013. „Sposób i urządzenie do wytwarzania prądu elektrycznego w przewodach sieci wodociągowej” Urząd patentowy RP – zgłoszenie nr P-402369.
- Kpaleekkal Noel J., Mural Prasanna .K.S., Vigneswaran Saravanamuthu., Ghosh Upal. 2021 “Sustainable Technologies for Water and Wastewater Treatment”, CRC Press.
- Kramer Klaus. 1997. “Das private Hausbad 1850-1950 und die Entwicklung des Sanitärhandwerks”. HansGrohe, Schiltach.
- Liemberger Roland, Wyatt Alan. 2019. “Quantifying the global non-revenue water problem”. Water Supply 19 (3): 831-837.
- Loerenz Harold L., Tchobanoglous George, Asano Takashi. 2011. “Direct potable reuse: a future imperative”. Jurnal od water reuse and desalination 01: 2-10
- OECD 2012 “Environmental Outlook to 2050. The Consequences of Inaction” www.oecd-ilibrary.org/docserver/env_outlook-2012-sum-pl.pdf?expires=1629837316&id=id&accname=guest&checksum=94568912D40D8AEABA7F86524D95EAE6 (Dostęp 08.2021)
- Piotrowski Ignacy. 1927. „Wodociągi i kanalizacja miast polskich: w świetle liczb i wykresów”. Polski Instytut Wodociągowo-Kanalizacyjny, Warszawa. PZiTS O/Warszawa.
- Rodriguez Clemencia. 2009. “Indirect potable reuse: a sustainable water supply recovery”. www.mdpi.com/1660-4601/6/3/1174.html
- Sozański Marek (red.). 2002. “Wodociągi i kanalizacja w Polsce – tradycja i współczesność”. Wyd. Polska Fundacja Ochrony Zasobów Wodnych.
- Stępniewski Mieczysław. 1985. „Pompy”. WNT, Warszawa.
- Ustawa z dnia 07.06.2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków. Dz.U. nr 72, poz.742.
- Wójtowicz Paulina. 2018. „Kraje najbardziej zagrożone deficytem wody”, Inżynieria.com. www.inzynieria.com/wodkan/analiza_i_komentarze/51374,kraje-najbardziej-zagrozone-deficytem-wody (Dostęp 07.2021)
- www.aqualonis.com (Dostęp 06.2022).
- www.aquarius-spectrum.com (Dostęp 24.04.2022).
- www.bing.com/images (Dostęp 06.2022).
- www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=BDg%2ba3OB&id=07FDE-3 F 6 E 9 3 A B 2 B 7 3 7 9 D 2 A 2 7 6 F 2 7 E 7 9 F B 4 7 A 4 E 1 D & t h i d = O I P . B D - g - a 3 O B F H S R 8 D D C d G d m G g A A A A A & mediaurl=https%3a%2f%2fsunnycompany.com%2fmedia%2fzoo%2fimages%2fmuseum-de-egouts1_ce2a13b06dac21749b-7fd2c10479e51.jpg (Dostęp 06.2022).
- www.encyklopedia.pwn.pl/haslo/akwedukt;3867178.html, (Dostępny: 06.2022).
- www.environmental-expert.com/products/sahara-pipeline-inspection-system-526167 (Dostęp 06.2022).
- www.environmental-expert.com/products/smartball-water-and-wastewater-leak-detection-platform-526164 (Dostęp 06.2022).
- www.gazwoda.pl/obchody-100-lecia-miesiecznika-gaz-woda-i-technika-sanitarna/ (Dostęp 07.2022).
- www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.jw.org%2Fpl%2Fbiblioteka%2Fczasopisma%2Fg201411%2Frzymskie-akwedukty-cuda (Dostęp 06.2022).
- www.inzynieria.com/fotogalerie/branzy/fotogalerie/2/1889 (Dostęp 06.2022).
- www.museumofthecity.org/wp-content/uploads/2014/03/Rome-Sewer-1024x681.jpg (Dostęp 06.2022).
- www.oees.pl/wp-content/uploads/2020/11/raport_gospodarowanie_woda_2611ost.pdf (Dostęp 06.2022).
- www.podrozpoeuropie.pl/pont-du-gard/ (Dostęp 06.2022).
- www.pl.pinterest.com/pin/454441418630845512 (Dostęp 06.2022).
- www.thediscoverytail.org/hikediscovery/icebergs.html (Dostęp 06.2022).
- www.tlyvlytheg.com/water.html (Dostęp 06.2022).
- www.wikipedia.org/wiki/Great_Man-Made_River (Dostęp 06.2022).
- www.woda.cdr.gov.pl/images/woda-w-produkcji/Adaptacja_gospodarki_wodnej_w_rolnictwie.pdf (Dostęp 06.2022).
- www.wri.org/data/water-stress-country (Dostęp 08.2021).
- www.wynalazki.andrej.edu.pl/index.php/wynalazki/24k/260-kanalizacja (Dostęp 06.2022).
- www.4.bp.blogspot.com/-w62yQO9RkU/V68M0BgRv-I/AAAAAAAAADY/Py-brqwkTwy01JZFjVnpE71anPkfr_3jEAClCB/s1600/1111.jpg (Dostęp 06.2022).
- Żaba Tadeusz. 2013. „Analiza pracy turbiny wodnej zabudowanej na rurociągu magistralnym zasilającym krakowski system zaopatrzenia w wodę”. Instal (10): 38-44.
- Żelichowski Ryszard. 1996. „Lindleyowie. Warszawskie boje o higienę”. Wyd. P.P.EVAN, Warszawa.