

Historia sanitacji i rozwój systemów kanalizacyjnych dużych miast

Część I

Dr inż. Agnieszka Tuszyńska, dr inż. Jakub Drewnowski
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

HISTORIA SANITACJI

Współczesne wykopiska dowodzą, że wyraźny rozwój kultury miejskiej znajdował się w obszarze wybrzeża Morza Śródziemnego (teren współczesnej Syrii, Azji Wschodniej, Egiptu) oraz Ameryki Środkowej i Południowej (Meksyk, Peru).

Na najstarsze ślady wodociągów i kanalizacji natrafiono na terenie dzisiejszej północnej Syrii, ich wiek szacuje się na około 5500 lat. Odkryto tam między innymi fragmenty kanałów ceramicznych o przekroju prostokątnym i kołowym. Rury doprowadzały wodę do domostw, by następnie odprowadzić ścieki do niżej położonych odbiorników. Na terenach tych znaleziono kanały otwarte i zamknięte, zbudowane z rur o zmiennym przekroju podłużnym, z których można było wyróżnić koniec bosi i mufę. Na rys. 1 przedstawiono stanowisko archeologiczne w mieście Palmyra w Syrii. Wykopiska ukazują infrastrukturę miasta pod powierzchnią terenu. W wykopie są widoczne rowy do odprowadzania nieczystości z terenów miejskich.

Natomiast w Egipcie, podczas prac wykopaliskowych, odkryto w domu arystokratów i grobowcu z około 2700 r. p.n.e. system wykonany z rur miedzianych odprowadzający ścieki i wody opadowe, jak również instalację kanalizacyjną (rys. 2). W domu znajdowała się również toaleta dla zmarłego [6]. Ponadto na rys. 2 są widoczne fragmenty egipskich rurociągów do odprowadzania ścieków oraz wód opadowych wykonanych z blachy miedzianej. Znaleźisko to jest datowane na 2700 rok p.n.e. Innym ciekawym rozwiązaniem technicznym starożytnego Egiptu (z 2700 r. p.n.e.) było zastosowanie miedzianego przewodu odprowadzającego nieczystości z mis służących do obmyć religijnych. Odpływ z mis był regulowany i zamykany za pomocą ołowianych czopów stożkowych [7]. Wzmianki o wyposażeniu Egipskich toalet można znaleźć także w pismach Heroda.

W Palestynie, około 1000 r. p.n.e. wybudowano kolektor kanalizacyjny o wymiarach $2,0 \times 0,6$ m i 600 m długości [6]. Za czasów króla Dawida czystość cielesna była wymagana na równi z czystością moralną. Kąpiel była elementem ceremonii religijnych, przez obowiązywanie prawa Mojżeszowego [1].

W miastach Mezopotamii zakładano systemy kanałów odprowadzających ścieki z miejskich dołów kloacnych, protoplastów współczesnych toalet miejskich [6]. W domach budowano małe wewnętrzne pomieszczenia, gdzie przez centralnie położony otwór odpadki i odchody były odprowadzane do dołu gnilnego, który znajdował się pod domem [1]. Dół kloacny miał schodki umożliwiające konserwację kanalizacji i system spłukiwania wodą. Przywileje posiadania takiej kanalizacji były zarezerwowane dla arystokracji i ludzi z wyższych sfer [8]. Babilonia w Mezopotamii jest postrzegana za jedno z pierwszych miejsc na świecie, w którym odkryto ustępy do kucania, których wiek szacuje się na ponad 4000 lat [1]. Natomiast pierwszy pełny system kanalizacyjny wybudowano w Mezopotamii, w mieście-państwie w 2447 r. p.n.e. Na rys. 3 przedstawiono zdjęcie z wykopalisk z fragmentem instalacji kanalizacyjnej w łaźniach



Rys. 1. Rowy do odprowadzania nieczystości, Palmyra, Syria
(źródło: <http://www.tenpielnyswiat.pl/2011/03/03/Palmyra>)



Rys. 2. Przekrój rury z miedzi, Starożytny Egipt
(źródło: <http://spebk.pl/publikacje/2011-12-10/kanalizacja-na-przestrzeni-wiekow>)



Rys. 3. Kanalizacja w Mezopotamii, kanał zamknięty, Tunezja
(źródło: http://www.domoplus.pl/img_files/Hydraulika03.jpg)

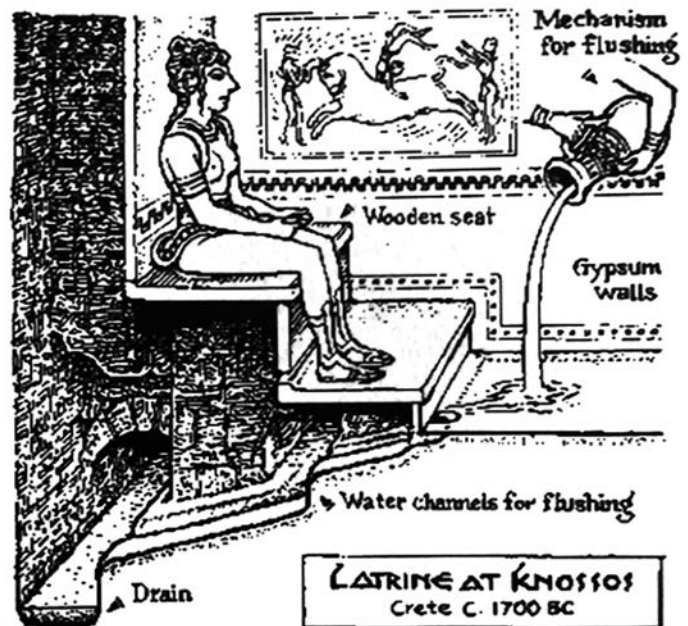
rzymskich. Instalacja znajduje się na terenie dzisiejszej Tunezji w mieście Dougga. Wykopaliska, datowane na trzecie tysiąclecie p.n.e., ukazują bezpośredni obraz ówczesnych systemów kanalizacyjnych. Miasto było zaopatrzone nie tylko w kanalizację komunalną, ale także niektóre budowle wyposażono w splukiwane toalety i umywalnie. Pałac królewski miał aż sześć toalet i murowany system kanałów odprowadzających ścieki do gruntu przez zastosowanie studni chłonnej. Około 1810 r. p.n.e. na terenie Mezopotamii powstał podziemny system kanalizacyjny z glinianych rur, połączony z miejską siecią kanalizacyjną.

Kanały ściekowe sumeryjskich miast były budowane z wypalonych cegieł i z gliny, miały rozgałęzienia, które odbierały nieczystości bezpośrednio z domostw. Odcinki przydomowe i odcinek główny były łączone na 1/3 ich wysokości i budowane z dużym spadkiem, dzięki czemu nieczystości były sprawnie i szybko odprowadzane. Murowane, główne odcinki systemu kanalizacyjnego miały sklepienia kolebkowate przebiegające w głównych brukowanych ulicach miast i odprowadzały ścieki do niżej położonych rzek czy dolów odstożnikowych [6].

Inne niezwykle ciekawe społeczeństwo stanowiła cywilizacja z doliny Indusu. W latach 3000-2500 p.n.e. wytworzyła ona wysoką kulturę na przykładzie kultury Mezopotamii. Odkryto tam 20 starożytnych miast, między innymi Mohendzo-Daro oraz Harapa. Miasta były wyposażone w łaźnie parowe, toalety domowe, pływalnie, pomieszczenie ogrzewane ciepłym powietrzem, kryte kanały ściekowe oraz zsypy na śmieci [7]. Podczas wykopalisk w Mohendzo-Daro „Kurhan umarłych” odkryto duże, solidne, przestronne domy wyposażone w łaźnie z systemem drenów wykonanych z wypalonych cegieł. Wyniki wykopalisk pozwalają sądzić, że prawie każdy mieszkaniec mógł cieszyć się swoją własną łazienką, umieszczoną od strony ulicy, tak aby w łatwiejszy sposób usuwać ścieki do ulicznych drenaży. Ubikacja również była usytuowana po tej samej stronie domu co łazienka. Godne uwagi jest to, że starożytne połączenia rur datowane sprzed 5000 lat są nadal wzorem dla współczesnych rozwiązań rur kamionkowych. Ścieki z łaźni, kuchni i toalet oraz wody opadowe z powierzchni dachów domów przed wprowadzeniem do systemu kanalizacyjnego kierowano uprzednio do marmurowych zbiorników z otworami umieszczonymi w odległości 3/4 wysokości od dna. Zbiorniki te były pre-

kursorami dzisiejszych osadników. Każda ulica miała jeden lub dwa kanały kanalizacyjne uzbrojone w studzienki (przypominające dzisiejsze studzienki rewizyjne) z ceglana lub kamienną przykrywą.

W odróżnieniu do cywilizacji Mezopotamii i Egiptu, cywilizacja grecka nie powstała wokół wielkiej rzeki, ale jej potęgą była związana z bliskim dostępem do morza. Dwie najstarsze cywilizacje europejskie to cywilizacja minojska i mykeńska. Kultura minojska rozwijała się na Krecie, okres jej wspaniałego rozkwitu przypada na II tysiąclecie p.n.e. Minojcy inżynierowie posiadali szeroką wiedzę na temat hydrauliki. Już wtedy powstawały piękne wodne fontanny. W środkowym okresie minojskim, około 1800 r. p.n.e., Minojczycy stworzyli kamienne systemy kanalizacyjne, które odprowadzały ścieki i wody opadowe [1]. Pałace na Krecie miały wodociągi i kanalizacje oraz instalacje ogrzewania pomieszczeń. Około 1500 r. p.n.e. wybudowano monumentalny pałac w Knossos. Urządzono w nim latryny i pokoje kąpielowe zaopatrywane w wodę dzięki studniom z wodą opadową [6]. Latryny z kolei splukiwano za pomocą wielkiego naczynia z wodą. Jako deska sedesowa służyły drewniane deski, a ściana była oparciem. Woda z latryn trafiała bezpośrednio do pionowych odcinków rur odprowadzających nieczystości (rys. 4). Każda część pałacu miała swój system kanalizacyjny podłączony z głównym kanałem ściekowym transportującym ścieki na znaczną odległość [1]. W VI-V wieku p.n.e. były powszechne łaźnie publiczne oraz prywatne (przydomowe). W łaźniach znajdowały się płytkie zbiorniki, w których Grecy zażywali kąpeli w pozycji stojącej, a niewolnicy polewali ich wodą. W Sparcie powszechne były łaźnie parowe. W prywatnych greckich domach bogatych mieszczan istniały już bogato zdobione wanny kąpielowe, o czym można przeczytać w „Odysei” Homera [7]. W stolicy Grecji znajdowało się 18 systemów doprowadzających wodę i odprowadzających ścieki, których budowa datuje się na 600 r. p.n.e., zastępując tym



Rys. 4. Splukiwana toaleta w Knossos; Kreta
(źródło: Barbusiński K., Maik M.: Historyczne aspekty odprowadzania i oczyszczania ścieków, część I: Starożytność, „Forum eksploatatora”, 3/2012)



Rys. 5. Toaleta publiczna; Rzym

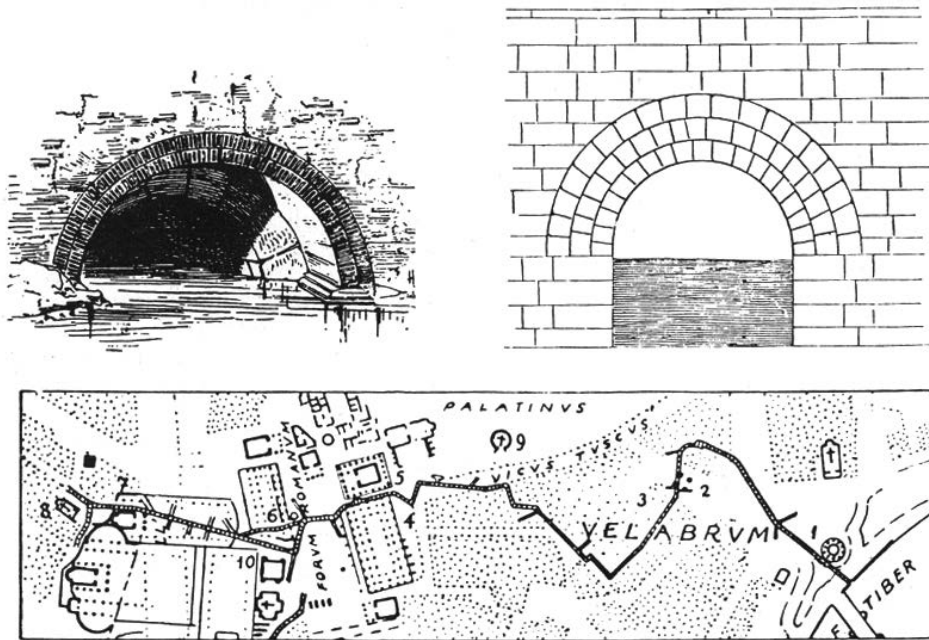
(źródło: Barbusiński K., Maik M.: Historyczne aspekty odprowadzania i oczyszczania ścieków, część I: Starożytność, „Forum eksploatatora”, 3/2012)

samym doły kloaczne. W kolejnym wieku zbudowano „Wielki Kanał” o przekroju prostokątnym o głębokości 1,0 m, przykryty płytami kamiennymi. Wraz z rozwojem sieci dołączono do niego kolejne rozgałęzienia, dając początek wielkiemu systemowi kanalizacyjnemu [6]. Wodę deszczową i ścieki odprowadzano do basenów znajdujących się poza obszarem miast, skąd mурowanymi kanałami trafiały na pola w celu ich nawodnienia i użyznienia [1].

Sieci kanalizacyjne miały również inne miasta Grecji: Mykeny, Syrekuzy, Agrigentii, Efezi – ich pozostałości zostały do dziś [7].

Również w kolebce cywilizacji, Rzymie, podjęto budowę systemu kanalizacyjnego. Rzymski system zarządzania odpadami

był najlepiej funkcjonującym systemem we wszystkich kanalizacjach aż do XIX wieku [8]. Był dużo bardziej rozwinięty od tego, który funkcjonował w średniowieczu. Rzymscy inżynierowie stosowali usystematyzowane planowanie miast, uwzględniające budowę otwartych kanałów wzdłuż głównych traktów. Woda była dostarczana do łaźni, zakładów produkcyjnych, fontann, domów możnowładców, a także do ustępów publicznych do splukiwania nieczystości [1]. Dzięki rozkwitowi technicznemu w Rzymie powstawały łaźnie w pałacach cesarskich i łaźnie publiczne (rys. 5). Na taki kompleks składały się: Frigidarium – basen z zimną wodą, Tepidarium - basen z letnią wodą i Caldarium – basen z gorącą wodą. Kompleksy były wyposażone w centralne ogrzewanie. Do niedawna jeszcze łaźnie publiczne z basenami kąpielowymi nazywano „łaźniami rzymskimi” [7]. Około 400 r. n.e. w Rzymie było 11 publicznych łaźni, 1352 publiczne fontanny i zbiorniki, a także 856 łaźni prywatnych. Istniały również prywatne i publiczne toalety. W 315 r. n.e. Rzym miał 144 publiczne toalety [1] splukiwane wykorzystaną uprzednio wodą w łaźniach i zakładach rzemieślniczych. W Koloseum natomiast odkryto publiczne pisuary. Uzyskiwany z nich mocz był cennym surowcem, który wykorzystywano do opłacania kosztów pralni i garbarni [7]. Rzym miał też doskonały program zmywania ulic z nieczystości, a w 610 r. p. n. e., za panowania Lucjusza Tarwiniusza Priscusa, powstał sprawnie działający, zresztą do dziś, system odprowadzenia ścieków komunalnych do Tybru – „Cloaca Maxima” (rys. 6). Jego początek znajdował się w okolicy Forum Romanum, ujście zaś było na brzegu rzeki Tybr. Kanał początkowo miał służyć głównie do regulacji strumieni, osuszania bagnistej ziemi w kotlinie oraz do odprowadzaniu nadmiaru wody deszczowej. Po krótkim jednak czasie zaczęto go również używać do odprowadzania ścieków [1]. Na długości kanał miał bardzo zmienny przekrój, przy ujściu jego szerokość pozwalała na żeglugę. W pobliżu wylotu do Tybru przewód osiągał 4 m wysokości i 5 m szerokości. Kanał był



Rys. 6. Cloaca Maxima (schemat, przekrój i mapa), Rzym

(źródło: <http://www.romanaqueducts.info/aquasite/foto/romacloacarttek.jpg>)

zbudowany z tufu wulkanicznego, bez użycia zaprawy wapiennej, a jedynie poszczególne bloki kamienne spinano żelaznymi lukowatymi klamrami z ołowiu. W wielu miejscach w „Cloaca Maxima” zbudowano studzienki doprowadzające przykanaliki z domów. Rzymscy „inżynierowie” okazali się prekursorami współczesnego betonu. Do budowy sklepień użyli połączenia zaprawy wapiennej z kruszywem, które wylewano na wcześniej przygotowane deskowanie [6]. Budynki, które nie mogły być podłączone do kanalizacji zbiorczej, wyposażano w murowane doły kloaczne opróżniane przez właścicieli budynków. Najczęściej były zlokalizowane w pobliżu kuchni bądź w samej kuchni lub pod schodami, a wyciągniętą zawartość wykorzystywano jako nawóz. Istniał też pewien procent lokali nie posiadających ustępów. Dotyczy to tych usytuowanych na górnych kondygnacjach. W takich przypadkach było dozwolone wylewanie nieczystości przez okno. Stąd też w Rzymie, pomimo nowoczesnej kanalizacji, unosił się zapach rozkładu i fetor odchodów [7]. Tego rodzaju system kanalizacyjny powstał w całym imperium rzymskim. Pod koniec VII w. p.n.e. również wiele miast prowincji miało kanalizację. W miarę wzrostu populacji rosło zapotrzebowanie na bardziej nowoczesne rozwiązanie techniczne odprowadzenia ścieków. Głównym problemem był brak zrozumienia faktu powstawania chorób zakaźnych wywołanych przez odchody ludzkie i zwierzęce, które znajdowały się w rzekach. Przy tak nowoczesnym i rozwiniętym systemie zarządzania ściekami Rzym ciągle był miastem zanieczyszczonym. Odprowadzenie ścieków do Tybru i nieczystości poza miasto powodowały kłopoty zdrowotne u mieszkańców. Upadek imperium uniemożliwił dalszy rozwój sieci, a w końcowym efekcie doprowadził do zaniku usług publicznych. Tylko w dużych aglomeracjach zachowały się pozostałości systemu rzymskiego.

Wcześniej jedynie cywilizacja z Krety konstruowała zbliżone układy, jednak nie na taką skalę jak było to w Rzymie. Podobne instalacje, lecz bardziej rozbudowane, można zaobserwować w XIX wiecznych miastach Europy i Stanów Zjednoczonych opartych w znacznej mierze na rozwiązaniach rzymskich [1].

Czasy średniowiecza to okres zaniedbania systemów kanalizacji w miastach. Ludność epoki średniowiecza do spraw higieny i czystości nie przywiązywała wielkiej wagi, zaprzestano więc zagospodarowywania wód opadowych, a ścieki bytowo-gospodarcze były wylewane często przez okna, wprost na ulice bądź kierowane do rynsztoków. Efektem tego były częste epidemie i masowe namnażanie się szkodników. O higienie pamiętano jedynie w klasztorach i zamkach.

W 1455 roku żeliwo szare znalazło zastosowanie do budowy kanałów doprowadzających wodę do zamków. Warto również zaznaczyć, że w średniowieczu odlewanie rur było procesem żmudnym. Jedna wytwórnia tygodniowo odlewała jedynie 25 rur. Wynika z tego że rurociąg o długości 6 km, powstawał przez okres 6 lat. Przed wprowadzeniem rur żeliwnych stosowano na szeroką skalę rury z drewna iglastego, łączonego za pomocą łączników z kutego żelaza. Wyjątek na tle średniowiecznych zaniedbanych miast można znaleźć w Polsce w Bolesławcu na Śląsku. W 1531 roku rozpoczęto tam budowę sieci kanalizacyjnej, po uprzednim zabezpieczeniu ujęcia. Ścieki nie były wprowadzane bezpośrednio do odbiornika, lecz doprowadzane i rozsączone na łąkach i w ogrodach [6].

Przełom w podejściu do kanalizacji na świecie nastąpił równocześnie wraz z rewolucją przemysłową i towarzyszącym jej

gwałtownym rozwojem miast. Brak kanalizacji przy dużej populacji wiązał się z epidemiami. Wybuch cholery w 1831 roku przyspieszył proces budowy rurociągów. W Anglii w 1842 roku powstał dokument „Raport o warunkach sanitarnych klasy pracującej Wielkiej Brytanii”, a w 1848 roku „Public Health Act”, w którym autor przedstawił szereg przepisów prowadzących do poprawy stanu sanitarnego ludności. Rozpoczęło to zmianę podejścia i wzrost świadomości mieszkańców miast. Powstała niezliczona liczba projektów doprowadzania wody do miast i odprowadzania ścieków do odbiorników wodnych, tym samym rzeki były w dramatycznym tempie zanieczyszczane. W 1858 roku ogłoszono przepisy dotyczące ochrony rzek. W praktyce jednak wiązało się to z nowymi inwestycjami. W Londynie powstał 30-kilometrowy odcinek odprowadzający zanieczyszczenia w dalszym biegu rzeki, a w Manchesterze 154-kilometrowy wodociąg.

Angielscy inżynierowie, bogaci w doświadczenie, pomagali nadzorować inne europejskie inwestycje. Istotą było spojrzenie na projekt całościowo, a nie na kilka odrębnych elementów. Dostrzegano charakterystykę systemów: ładunek zanieczyszczeń, spadek kanału, potrzeba wentylacji sieci, dobór odpowiednich materiałów i przekrojów kanałów. Pierwszym miastem na kontynencie, w którym od podstaw zaprojektowano system kanalizacyjny, był Hamburg w Niemczech. Podobny projekt wprowadzono we Frankfurcie nad Menem. Systemy niemieckie w dużej mierze były oparte na wiedzy Anglików, m.in. Lindley'ów. Zostały jednak znacznie ulepszone przez niemieckich inżynierów.

W następnym latach niemieccy inżynierowie opracowali również sieć kanalizacyjną dla Gdańska. W 1869 roku stworzono projekt, a już 1871 roku w całości zrealizowano zamysł. W kolejnych latach budowę kanalizacji rozpoczęto w Berlinie, Peszcie, Bazylei, Sankt Petersburgu, a także Warszawie.

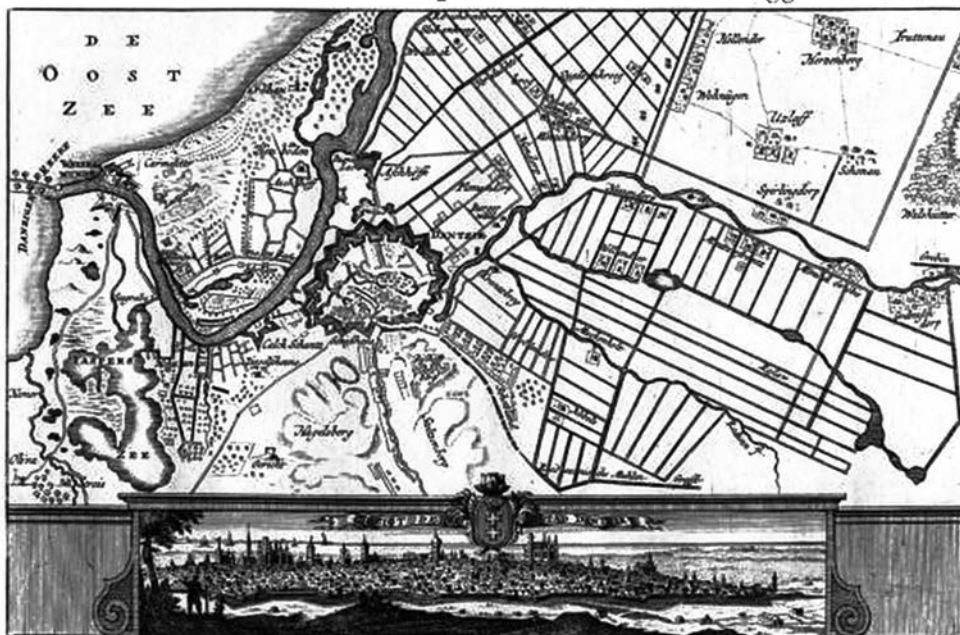
Budowane systemy były robione głównie z kamionki w przypadku małych średnic i murowane w przypadku większych średnic. W drugiej połowie XIX wieku zaczęto stosować beton i żelbet. Początkowo ścieki były odprowadzane na położone powyżej rzek pola irygacyjne w celu podczyszczania ścieków, które następnie kierowano do rzek. Dopiero w późniejszym okresie rozpoczęto budowę oczyszczalni ścieków, w których nieczystości poddawano pierwotnie procesom mechanicznym, a później dodatkowo procesom chemiczno-biologicznym [8].

HISTORIA KANALIZACJI DUŻEGO MIASTA NA PRZYKŁADZIE GDAŃSKA

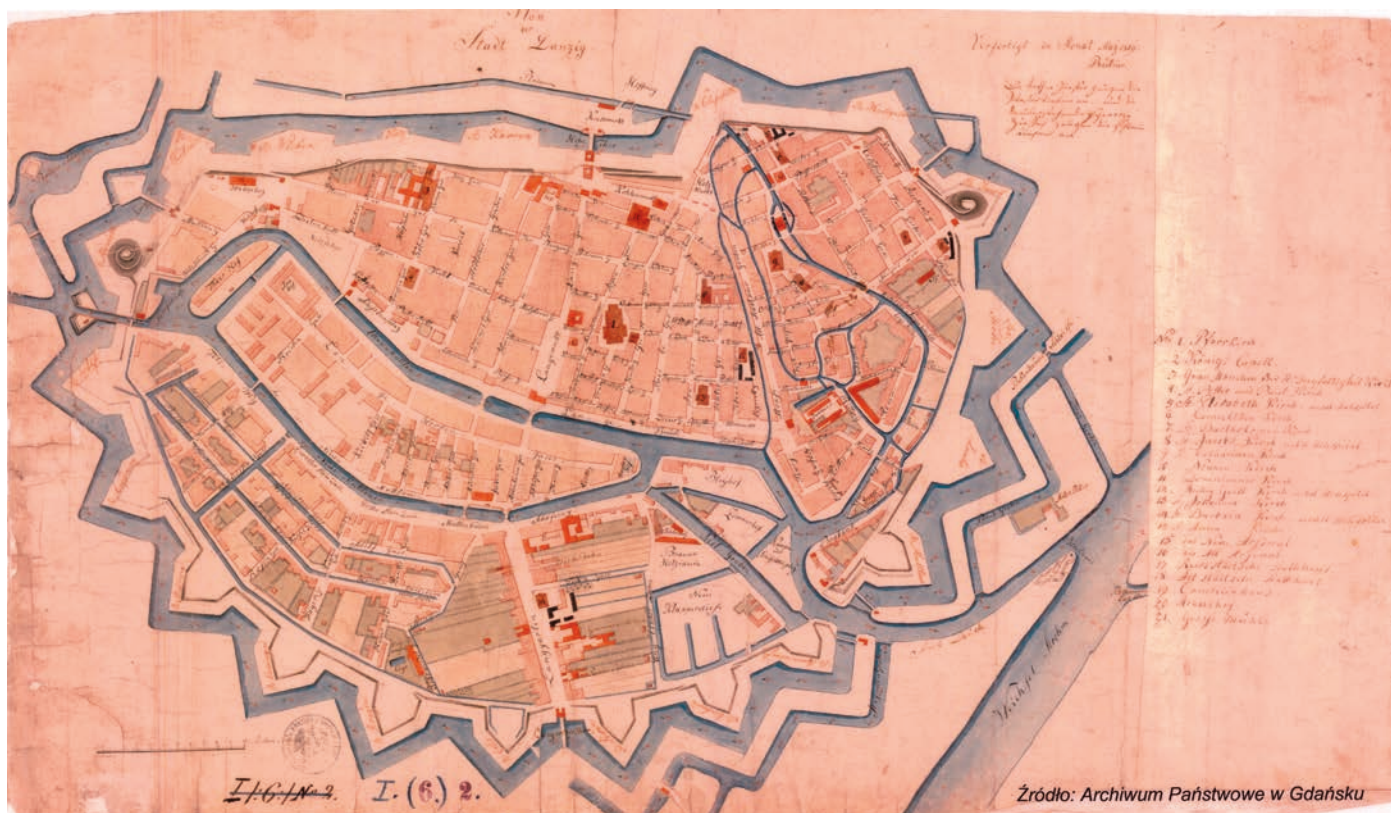
Początki układu wodno-kanalizacyjnego w Gdańsku datowane są już na XIV wiek [2]. Wówczas nieuzdatniona woda rzeczna dopływała do studni i była rozwożona beczkami, ścieki zaś odpływały krytymi dylami i drewnianymi korytami. W XIV wieku w sąsiedztwie istniejącej do dziś Bramy Wyżynnej pojawia się pierwsza pompa.

Przełom nastąpił w XIX wieku. Pierwsza kanalizacja w Gdańsku powstawała równocześnie z wodociągami. Twórcą był radca Wiebe, który zarządził uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej. Pozwoliło to zlikwidować zagrożenie epidemiologiczne w mieście [3]. Wcześniej ścieki były odprowadzane utwardzonymi rowami do najbliższych cieków wodnych (rys. 7 i 8). Rynsztoki obłożone kamieniami i przykryte desko-

Platten Grond en GELEGENHEIT der Herke Koopstad DANTZIK, aan de Ruslén Overgegaan den 14 July 1734.



Rys. 7. Mapa Gdańska z 1744 r.
(źródło: <http://forum.dawnygdansk.pl/viewtopic.php?t=2774>)



Rys. 8. Cieki wodne w Gdańsku w 1809 r.
Źródło: <http://www.gdmel.pl/aktualnosci/ciekawostki/111-cieki-wodne>

waniem służyły również jako chodnik. Z relacji Baldwina Lathama można wnioskować, że w mieście unosił się zapach gnilny. Nie tylko system kanalizacyjny potrzebował zmian. Woda pitna także nie była odpowiednia. W nowym rozwiązaniu zadbano również o powszechność usług. Zaprojektowany system przewidywał podłączenie wszystkich domów. Budując system,

stworzono jeden z pierwszych systemów monitoringu jakości ścieków i odbiornika wodnego, jak również rozbudowano i polepszone ochronę przeciwpowodziową śródmieścia. To odważne przedsięwzięcie było zasługą ówczesnego nadburmistrza Leopolda von Wintera; dzięki tym poczynaniom zyskał uznanie u pokoleń. Projekt kanalizacji dla Gdańska był opracowany

w latach 1830-1864 przez E. Wiebego i Veitmeyra. W przypadku ówczesnych systemów istniały dwa główne ograniczenia: warunki topograficzne i dostępne technologie. W dużej mierze bardzo ograniczony był dostęp do materiałów budowlanych. Beton i żelbet w języku niemieckim pojawiły się dopiero kilkadziesiąt lat później. W odwodnieniach najczęściej używanym materiałem nadal były skrzynie drewniane wypełnione żwirem. Brakowało również małych pomp mogących usprawnić prace budowlane i eksploatację. Rozwinięta była natomiast produkcja dużych pomp tłokowych z napędem parowym na paliwo stałe. Budowa planowanego systemu sanitarnego obejmowała Główne Miasto, Stare Przedmieście, Stare Miasto, Dolne Miasto z dzielnicą Długie Ogrody, Zaroślak, Biskupią Górkę, Nowe Ogrody i Grodziska. Jako wykonawcę wybrano firmę Aird, z ograniczonym doświadczeniem, lecz z powiązaniem z Anglią, prekursorem w budowie systemów kanalizacyjnych tamtych lat. Kanalizację miejską uruchomiono w 1871 roku. Warunki budowlane w mieście nie były jednorodne. W wyżej położonych częściach miasta warunki wodne nie stwarzały problemu, za to w niżej położonych dzielnicach wody gruntowe w przypadku technologii z XIX wieku stanowiły duży problem. Część terenów nie była skanalizowana jeszcze przez wiele lat, między innymi Gdańsk – Olszynka i Wyspa Spichrzów. Zaproponowane rozwiązanie Wiebego było oparte na systemie ogólnospławnym przy równoczesnym ograniczeniu wód opadowych. Wody pochodzące z opadów sływały pozostawionymi rynsztokami biegnącymi wzdłuż ważniejszych ulic. Takie rozwiązanie ograniczyło potrzebę budowania kolektorów ściekowych o dużych średnicach. Równocześnie ze względu na warunki gruntowe wydzielono aż pięć podsystemów. Główne kolektory były poprowadzone w taki sposób, by współgrały z naturalnym układem cieków i wód gruntowych.

Trudności w odwodnieniu stwarzały kolejny problem. Należało ograniczyć maksymalną głębokość posadowienia, więc również spadki ($0,4 \div 0,7\%$). Przy tak niewielkich spadkach było konieczne zarządzanie częstszego płukania sieci (co 3 tygodnie). Natomiast w innych miastach płukanie odbywało się zazwyczaj co 2 miesiące. Innowacją w tym systemie było zainstalowanie specjalnych żeliwnych wrót (o wysokości 0,92 m) i zastosowanie systemu pobierania wód z rzeki Raduni do płukania sieci i zrzutu ścieków do Motławy. W przypadku występowania wód wysokich, woda z Motławy była wprowadzana do systemu kanalizacji. Ponadto zastosowano bardzo małe minimalne głębokości posadowienia ($1,12 \div 1,25$ m), uzyskując w ten sposób głębokość średnią na poziomie 3 m. W dolnych dzielnicach było potrzebne posadowienie na większych głębokościach. W dzielnicy Dolne Miasto kładziono rury do około 1 m poniżej poziomu wody gruntowej. Pierwsze, skuteczne metody odwadniania zastosowano dopiero po 1900 roku. Ścieki płynące z sieci rozdzielczej trafiały do nowoczesnego, jak na tamte lata, układu kanałów zbiorczych, dostarczającego wody do syfonów. Główce syfonów były zaopatrzone w podwójne piaskowniki, a ich górne zamknięcie umożliwiało ewentualny zrzut wody bądź odprowadzenie wód wysokich.

Zasyfonowane ścieki trafiały do murowanego kolektora głównego o przekroju jajowym ($\phi 1,02/1,53$). W późniejszych latach zaczęto stosować rury betonowe. Cały system kolektorów głównych miał długość w przybliżeniu 6 km, czyli ponad 1100 przętów. Najdłuższy podsystem łączył dzielnice Główne

Miasto ze Starym Miastem i mierzył 2,5 km. Rury układano na podsypce żwirowej lub na tzw. „concrete”, to jest protoplaście współczesnego betonu. Innym ciekawym rozwiązaniem było wprowadzenie filtrów węglowych w przewietrznikach jako zabezpieczenie przed odorami.

Niestety, w ciągu 150 lat zmian ustrojowych zapomniano o zamontowanych w systemie rozwiązaniach technicznych. Przewody z wodami popłuczynymi, zamiast służyć, zaczęły zagrażać środowisku. System został zapomniany, mechanizmy zestarzały się i było konieczne zdemontowanie i likwidacja otworów. Węzłem zamykającym w Gdańskiej sieci kanalizacyjnej była przepompownia ścieków „Ołowianka”. Znajdowały się tam dwie pompy tłokowe, które przepompowywały od 60 do 250 l/s ścieków przy wysokości podnoszenia około 12,5 m. Do napędu używano pary wodnej pochodzącej ze zintegrowanej z pompownią kotłowni na paliwo stałe, zaopatrzonej w dwa kotły kornwalijskie. Obiekt przepompowni stoi do dziś, jako przykład architektury przemysłowej drugiej połowy XIX wieku. Ścieki odprowadzono na pola filtracyjne przewodem tłocznym (rys. 8), a następnie podczyszczone biologicznie w dzielnicy Stogi trafiały do kanału portowego przy Twierdzy Wisłoujście.

Dzięki dużej zawartości żelaza w piaskach układy drenarskie były w stanie skutecznie oczyścić ścieki z fosforu i azotu przy dawce przekraczającej ponad 3000 mm rocznie. W późniejszych latach zwiększył się ładunek i ilość ścieków, w końcowym etapie sływały one nawet po powierzchni piasków. Proces zniszczenia przyspieszyła niewątpliwie budowa Portu Północnego i nielegalne poszukiwanie bursztynu. Pola filtracyjne oczyszczały ścieki przez ponad 100 lat. Ostateczną decyzję o zakończeniu eksploatacji podjęto w 1994 roku [9].

Na początku XX wieku system kanalizacyjny okazał się niewystarczający do przejęcia ścieków w rozrastającym się mieście. Przystąpiono zatem do rozbudowy systemu, między innymi na Wyspie Spichrzów, Siedlcach, Górze Gradowej i Wrzeszczu. Rozbudowa dzielnic Oliwa i Nowy Port wymusiła budowę autonomicznych układów obsługujących te dzielnice [5]. Zaczęto stosować nowe materiały, rury kamionkowe, żeliwne i betonowe. Kanały uliczne były wykonane jako kołowe rury kamionkowe, a we Wrzeszczu kolektor wielkośrednicowy składał się z rur betonowych. Na skutek poprawy technologii i większego zasobu materiałów budowlanych było możliwe zaprojektowanie większych spadków i budowy znacznie poniżej zwierciadła wód gruntowych.

W dalszym ciągu było konieczne zastosowanie płukania kolektorów. Pomimo rozbudowy systemu wszystkie ścieki trafiały do przepompowni „Ołowianka”, by dalej trafić na pola filtracyjne.

Przełom nastąpił około 1900 roku, kiedy dotychczasowy system ogólnospławni zastąpiono rozdzielczym. W sąsiednim Sopocie od początku (czyli od 1893 roku) zaprojektowano jako rozdzielczy. Układ rozdzielczy pierwszy pojawił się w Wrzeszczu, jednak zmiana całego systemu trwała do 1990 roku. Na skutek separacji ścieków zasadniczo zmieniła się charakterystyka dopływu ścieków do oczyszczalni, zwiększył się ładunek przy równoczesnym zmniejszeniu ilościowym ścieków [9].

W 1904 roku rozbudowano pola filtracyjne, a w 1907 roku uruchomiono układ kanałów zbiorczych grawitacyjnych (system rozdzielczy) doprowadzających ścieki do przepompowni



Rys. 9. Pola irygacyjne w Gdańsku, dzielnica Stogi. Widok współczesny (źródło: http://www.nkh.ug.edu.pl/?attachment_id=155)

„Swojska”, skąd ścieki rurociągiem przebiegającym pod Wisłą były doprowadzane do filtrów na Stogach [5]. Przepompownia „Swojska” była eksploatowana do lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Warty zwrócenia uwagi był zastosowany napęd w przepompowni – gaz fermentacyjny pochodzący ze ścieków napędzał tłoki pomp. Ścieki z pompowni były tłoczone rurociągiem żeliwnym (o długości 3 400 m) do pól filtracyjnych [9]. Przed 1914 rokiem rozpoczęto budowę drugiego układu kanalizacyjnego dla dzielnicy Oliwa. Ścieki z terenu Oliwy były kierowane do Jelitkowa, gdzie na granicy z Sopotem wykonano samodzielną oczyszczalnię ścieków z bezpośrednim sąsiedztwem sopockich pól filtracyjnych. Oczyszczone ścieki kierowano do Zatoki Gdańskiej. W 1927 roku ze względu na rosnące znaczenie czystości plaż w Sopocie podjęto decyzję o jej zamknięciu. W 1930 roku przystąpiono do budowy prototypowej, doświadczalnej oczyszczalni ścieków „Zaspa”. Zastosowano w niej po raz pierwszy w Europie metodę oczyszczania ścieków za pomocą osadu czynnego [5]. Oczyszczalnię zaprojektowano początkowo na 125 000 MR. W 1931 roku do oczyszczalni podłączono Brzeźno, a w 1934 roku także Sopot i Oliwę. Przepompownia „Jelitkowska” połączyła dotychczasowe odrębne układy kanalizacyjne I etapu (Centrum i Stare Miasto) i II etapu (Oliwa) w jeden, mający koniec w oczyszczalni „Zaspa”. Odbiornikiem oczyszczonych ścieków był basen portowy im. Władysława IV w Gdańsku – Nowym Porcie.

Wraz z upływem czasu pojawiały się nowe rozwiązania technologiczne. W latach 1940-1942 wykonano układ kanalizacji sanitarnej na Wyspie Ostrów. Na wyspie znajdował się port i teren stoczniowy. Bardzo trudne warunki gruntowe uniemożliwiły wcześniejszą budowę kanalizacji na tym terenie. Podłoże wyspy to przede wszystkim grunt nasypowy do głębokości 1,5 m, którego głównym składnikiem jest gruz ceglany, pod nim znajdują się pokłady namulów i torfów. Dopiero na głębokości 3 ÷ 6 m znajdują się piaski. Sama wyspa znajdowała się tylko 2 m n.p.m., a poziom wód gruntowych wahał się aż o 3,6 m. W takich warunkach było konieczne użycie innowacyjnej metody. W miejscu przebiegu kolektora wymieniono grunt na pospółkę, którą zagęszczono, zaś rurociąg uszczelniono betonem. Układ po dziś dzień pracuje bez zastrzeżeń.

Działania wojenne w dużym stopniu uszkodziły infrastrukturę, laboratorium na Zaspie było zniszczone kompletnie, a dokumentacja systemu kanalizacyjnego zaginęła. Po wojnie miasto było pośpiesznie odbudowywane, często niestarannie. Wielokrotnie zdarzały się przypadki nieodpowiedniego posadowienia budynków czy też występowanie infrastruktury bez podłączeń do budynków. Jako pierwszą z systemu kanalizacyjnego odbudowano oczyszczalnię ścieków w dzielnicy Zaspa. Niestety na skutek przecięcia nie pracowała z odpowiednią wydajnością. Dopiero po wybudowaniu w 1991 roku kanału odciążającego oczyszczalnia zaczęła pracować sprawniej. Równoległe powstały dwa kolektory: Sopot – Zaspa i Brętowo – Zaspa. W późniejszych latach do Zaspy podłączono jeszcze osiedla dolnego tarasu i sopockie. Kolejną dużą inwestycją było powstanie oczyszczalni ścieków „Wschód”, która funkcjonuje od 1976 roku. Kierowane były tam kolektory z Wrzeszcza. W okresie 1996-1999 zmodernizowano obiekt, rozbudowując go o część biologiczną. W późniejszych latach (2009-2012) przystąpiono do kolejnej modernizacji. Przeprowadzono ją ze względu na konieczność skutecznego usuwania ze ścieków azotu ogólnego. Ponadto na terenie oczyszczalni „Wschód” powstała Instalacja Termicznego Przekształcania Osadów Ściekowych. Obecnie do oczyszczalni trafia około 96000 m³/d ścieków w większości z Gdańska, jak również z gmin ościennych: Kolbudy, Żukowo, Sopot i Pruszcz Gdański.

Obecny system kanalizacyjny w Gdańsku nadal bazuje na pierwotnym. Odbiór ścieków z terenu miasta odbywa się systemem kanalizacji rozdzielczej pracującej w układzie grawitacyjno-pompowym. W ostatnich latach Gdańska Infrastruktura Kanalizacyjna rozbudowała się. Część przedsięwzięcia dofinansowano ze środków Unii Europejskiej. Od czerwca 2007 roku trwały między innymi prace związane z modernizacją przedwojennego kolektora w ul. Hallera, wykonaniem kanalizacji w ul. Reja, ul. Mickiewicza, ul. Kościuszki oraz ul. Bohaterów Getta Warszawskiego. Jednocześnie budowano kolektor Ołowianka II odprowadzający ścieki do Oczyszczalni „Wschód”.

Oczyszczalnię „Zaspa” wyłączone ostatecznie z eksploatacji w 2008 roku, a ścieki z jej zlewni przekierowano na oczyszczalnię „Wschód”. Było to wymuszone przez zastrzeżenie wymagań ograniczeń dotyczących emisji związków biogenych do środowiska morskiego.

Obecnie gdański system kanalizacji sanitarnej jest obsługiwany przez 118 przepompowni ścieków, w tym 2 z obsługą stałą (Ołowianka i Motława) i 116 z obsługą dochodzącą. Ogólna długość sieci kanalizacji sanitarnej na dzień 31.12.2013 wyniosła 1188,5 km (855,6 km – sieć grawitacyjna; 114,8 km – sieć tłoczna; 218,1 km – przykanaliki). Odprowadzenie oczyszczonych ścieków z oczyszczalni w głąb Zatoki Gdańskiej odbywa się za pomocą rurociągu tłoczego o długości równej 2,5 km.

LITERATURA

1. Barbusiński K., Maik M.: Historyczne aspekty odprowadzania i oczyszczania ścieków, część I: Starożytność. Forum eksploatatora, 3/2012: 46-49.
2. <http://e-czytelnia.abrys.pl/?mod=tekst&id=6649>, Systemy zarządzania i eksploatacji sieci kanalizacji deszczowej w Gdańsku. Danuta Zdziuch (20.05.2014),

3. <http://www.gdansk.pl/turystyka,89,5224.html> (20.05.2014),
4. <http://www.giwk.pl/infrastruktura.html> (20.05.2014),
5. http://trojmiasto.gazeta.pl/trojmiasto/1,134637,14759664,Gdansk_pionierem.html#ixzz3DDljWrWH (20.05.2014)
6. Kolonko A.: Historia rozwoju wodociągów i kanalizacji od starożytności do końca XIX w. *Gaz, Woda i Technika sanitarna*, 8/2002: 278-284.
7. Mielcarzewicz E.: O wodociągach i kanalizacji miast starożytnych. *Gaz, Woda i Technika sanitarna*, 5/2003: 162-166.
8. Puczkarski M.: Instalacje kanalizacyjne – w służbie, dla zdrowia społeczeństwa, http://instalacjesanitarne-poznan.pl/artykuly_Kanalizacja-budowa-i-historia (20.05.2014),
9. Suligowski Z.: *Kanalizacja*. Wydaw. Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn, 2000.