

CEZARY MADRYAS*, LESZEK WYSOCKI**

BADANIA STANU TECHNICZNEGO XIX-WIECZNYCH
CEGLANO-KAMIENNYCH KOLEKTORÓW
KANALIZACYJNYCH - STUDIUM PRZYPADKÓW

INVESTIGATION OF THE TECHNICAL STATE OF THE XIX
CENTURY SEWAGE CHANNELS MADE OF STONE AND
BRICKS – CASES STUDY

Streszczenie

Do budowania kanałów, które zaczęły powstawać pod koniec XIX wieku w większości dużych miast europejskich, stosowano aż do końca pierwszej dekady XX wieku głównie cegłę (cegłę kanalizacyjną). W artykule przedstawiono przypadki uszkodzeń ceglano-kamiennych kolektorów kanalizacyjnych zbudowanych w XIX wieku we Wrocławiu. Na podstawie wykonanych badań, szczegółowego przeglądu technicznego oraz obliczeń statyczno-wytrzymałościowych sformułowano wnioski odnośnie ich stanu technicznego. Omówiono także zalecenia dotyczące rewaloryzacji kolektorów i możliwe do zastosowania techniki naprawcze.

Słowa kluczowe: kolektor kanalizacyjny, stan techniczny, badania

Abstract

Brick interceptor sewers began to be built in Europe in the 18th century. The sewers were built from solid ceramic brick (so called sewer brick) or clinker brick as well as from stone and bricks. This paper presents a cases study of damage to stone-brick interceptor sewers built in the 19th century in Wrocław. On the basis of results of *in situ* investigations, laboratory tests and structural and strength analyses, the condition of sewer structures in Wrocław was assessed as a pre-failure one. Underground infrastructure pipes of urban areas can be repaired in trenches or using trenchless techniques. In the paper, according to local conditions, some main problems in renovating process of interceptors sewers made of bricks and sons in open cut are described

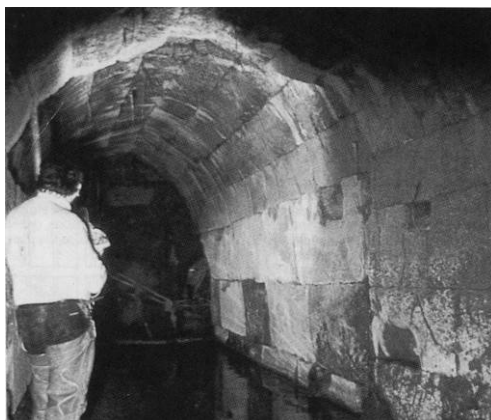
Keywords: sewage channels, technical state, investigation

* Prof. dr hab. inż. – Politechnika Wrocławska

** Dr inż. – Politechnika Wrocławska

1. Wstęp

Pierwszy europejski system kanalizacyjny, który powstał w starożytnym Rzymie, wykonany został z kamieni naturalnych. Stanowiący element tego systemu kolektor *Cloaca Maxima*, zbudowany w VII w p.n.e., funkcjonuje do dnia dzisiejszego. Widok wnętrza kanału przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Kolektor *Cloaca Maxima*

Fig. 1 *Cloaca Maxima* sewage channel

Do budowania kanałów, które zaczęły powstawać pod koniec XIX w. w większości dużych miast europejskich, także stosowano kamienie łamane i ciosane ze skał odpornych na korozję, przede wszystkim ze skał magmowych. Skały magmowe charakteryzują się nasiąkliwością nie przekraczającą zwykle 1 % co uniemożliwia dostęp czynników, które mogłyby powodować korozję. Również bardzo mała ścieralność materiałów kamiennych, badana na tarczy Boehmego wynosi od 2 do 4 mm, przemawia za ich stosowaniem. Mimo wymienionych zalet zakres stosowania kamieni naturalnych do budowy kolektorów był ograniczony co wynikało z pracochłonności obróbki ciosów, wysokim kosztów i trudności (w niektórych rejonach) pozyskiwania.

Stąd też, do końca pierwszej dekady XX wieku podstawowym materiałem dla budowy kolektorów kanalizacyjnych była cegła, często nazywana w Polsce cegłą kanalizacyjną. Jak wykazują wyniki prowadzonych w Instytucie Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej badań licznych kolektorów na terenie naszego kraju, do ich budowy stosowano cegły o wytrzymałości na ściskanie nie mniejszej od 15 MPa i nasiąkliwości nie przekraczającej 12%. Dla zmniejszenia szerokości spoin używano wyłącznie cegły o możliwie małych odchyłkach wymiarowych. W kolektorach o mniejszych wymiarach dla zmniejszenia szerokości spoin, poza cegłą prostą, stosowano cegłę klinową (o wymiarach np.: 55×65×120×250 mm czy 45×65×120×250 mm).

W uwagi na trwałość konstrukcji murowanych w budownictwie wodno-kanalizacyjnym niezmiernie ważną rolę odgrywa zaprawa, stanowiąca zazwyczaj najszabszy element tych konstrukcji. Dla podwyższenia trwałości często dodawano w tamtych czasach do zaprawy naturalnej pucolany (np. trasy), która uszczelniała jej strukturę oraz wiązała wolne wapno zawarte w cemencie. Znane są także przypadki, iż w celu zwiększenia wytrzymałości zaprawy na rozciąganie, dodawano do niej cięte włosie lub sierść, co bez wątpienia jest odpowiednikiem współczesnego zbrojenia rozproszonego.

Analizując rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe kolektorów kanalizacyjnych natrafia się także na budowle wykonane z cegły i kamienia. W dalszej części pracy przedstawiono wyniki badań tak skonstruowanych kolektorów we wrocławskim systemie kanalizacyjnym [3].

2. Studium przypadków

2.1. Przypadek I - kolektor w ul. Sokolniczej

Będący przedmiotem badań kolektor kanalizacyjny, stanowi element przelewu burzowego do rzeki Odry i jest zlokalizowany w ul. Sokolniczej we Wrocławiu. Jest to kanał o przekroju prostokątnym i wymiarach 1,57×1,6 m na odcinku od studzienki w kierunku ul. Sikorskiego oraz 1,57×1,53 m,

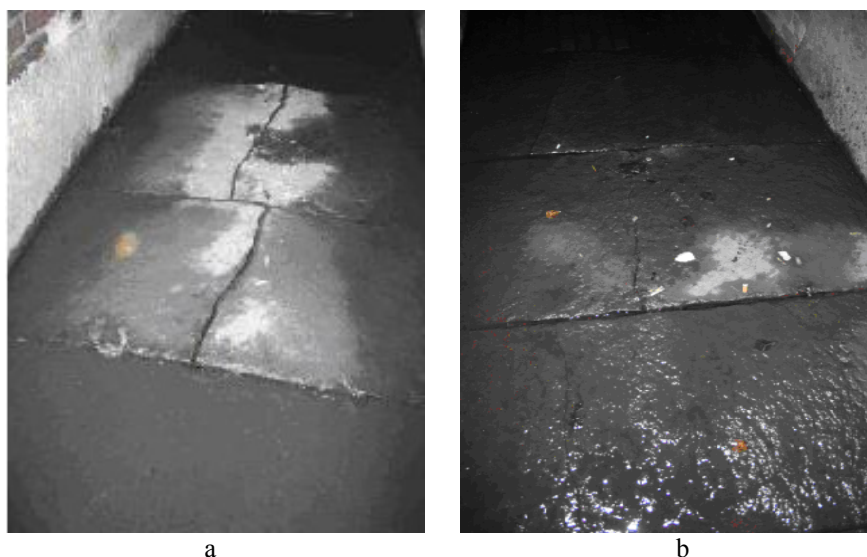
w końcowym fragmencie trasy (przy wlocie do rzeki). Konstrukcja budowli została wykonana z płyt granitowych i cegły kanalizacyjnej, i tak:

- ściany boczne wymurowano z cegły kanalizacyjnej na zaprawie cementowej,
- strop i kinetę wykonano z płyt granitowych a na końcowym odcinku (przy wlocie do rzeki) kineta została wymurowana z cegły.

W wyniku badań stanu technicznego kolektora przeprowadzonych *in situ* w lutym 2007 roku stwierdzono:

- złamanie wielu płyt, z których wykonano kinetę (przykłady takich uszkodzeń przedstawiono na rys. 2),
- uszkodzenia murowanych ścian kolektora (rys. 3),
- uszkodzenia murowanej kinety (rys. 4).

Wykonany przegląd potwierdził przypuszczenie o złym stanie technicznym konstrukcji kolektora. Za szczególnie niebezpieczne uznano przełamania płyt granitowych, czego implikacją może być katastrofa budowlana (gwałtowne zapadnięcia się terenu ponad konstrukcją kolektora). Zarysowania murowanych części budowli skutkują z kolei infiltracją wód gruntowych i w konsekwencji, rozluźnieniem gruntu ponad kolektorem oraz osiadaniem terenu i posadowionej na nim nawierzchni ul. Sokolniczej.



Rys. 2. Widok przełamanych kamiennych płyty kinety

Fig. 2. View of broken stone elements



Rys. 3. Uszkodzenia ścian kolektora

Fig. 3. Damages of walls



Rys. 4. Uszkodzenia wykonanej z cegły kinety kolektora

Fig. 4. Damages of masonry elements

Pęknięcia płyt granitowych mogły być spowodowane zbyt małą ich nośnością w stosunku do założeń projektowych, które były przyjmowane w II poł. XIX w. Przewody projektowano wtedy na znacznie mniejsze obciążenia (wozy konne) niż występujące obecnie. Jak wykazały liczne wyniki badań podobnych budowli przeprowadzone wcześniej przez autorów, przeciążenia tego rodzaju konstrukcji (szczególnie płytko posadowionych) są podstawową przyczyną ich uszkodzeń. Stwierdzono także, że nośność poszczególnych płyt granitowych może być zróżnicowana i dlatego uszkodzeniu uległa tylko część z nich. Wynika to z niejednakowej grubości płyt a także, może być skutkiem montażu płyt z kamienia wydobywanego w różnych złożach (patrz opis drugiego przypadku). Można także domniemać, że część płyt została uszkodzona w wyniku działań wojennych.

Zarysowania ścian ceglanych powstały na skutek nierównomiernych osiadań konstrukcji. Forma uszkodzeń niektórych fragmentów ścian (przemieszczenia cegieł) świadczy, że część uszkodzeń powstała prawdopodobnie w okresie działań wojennych.

2.2. Przypadek II – kolektor w ul Piłsudskiego

Będący przedmiotem badań kolektor kanalizacyjny jest zlokalizowany w ul. Piłsudskiego we Wrocławiu. W przekroju poprzecznym kanał ma kształt prostokąta o wymiarach 1,42×1,06 m. W części górnej ścian wykonanych z cegły kanalizacyjnej wyprofilowano odsadzkę i na tak przygotowanej konstrukcji ułożono strop z płyt granitowych o grub. 0,18 m. Kinetę kolektora zbudowano także z płyt granitowych. Prawdopodobnie w okresie późniejszym, dla poprawy hydraulicznych parametrów budowli, naroża pomiędzy ścianami i kinetą wyprofilowano betonem. Badania stanu technicznego kolektora przeprowadzono w 1998 r., podczas przebudowy i modernizacji drugiego odcinka ulicy i kilka lat po modernizacji pierwszego odcinka, w trakcie której część kamiennych płyt stropowych kolektora została zastąpiona prefabrykatami żelbetowymi. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono:

- wypłukanie zaprawy ze spoin – lokalnie do głębokości 0,01 m,
- powierzchniowe osłabienie (strukturalne) cegieł - sięgające do 0,10 m,
- pęknięcia kilkunastu kamiennych płyt stropowych (podczas przeprowadzonego najprawdopodobniej po II Wojnie Światowej remontu płyty zostały podparte stalowymi, obetonowanymi profilami dwuteowymi).

Na odnowionym (na początku lat 90. ubiegłego wieku) odcinku kolektora, gdzie kamienne płyty stropowe zastąpiono płytami żelbetowymi zbadano także stan techniczny płyt żelbetowych. Jak się okazało, po upływie zaledwie kilku lat, na powierzchni płyt widoczne były ślady korozji zbrojenia w postaci regularnej siatki. W takiej sytuacji przeprowadzono szczegółowe badania laboratoryjne chemicznego skażenia materiałów. Wyniki tych badań zestawiono w tabeli 1.

Dopuszczalne zawartości soli szkodliwych w murach wybudowanych z cegły przedstawiono w tabeli 2.

Wykonane badania laboratoryjne wykazały, że stopień zanieczyszczenia materiałów konstrukcyjnych substancjami chemicznymi jest niewielki i w zasadzie nie przekracza wartości dopuszczalnych (siarczany stwierdzono w ilościach śladowych w zaprawie i cegle). Pomimo tego, ponad 100 letnie oddziaływanie szkodliwych soli, nawet o tak małych stężeniach, spowodowało powstanie opisanych uszkodzeń zaprawy i cegły.

Tabela 1

Wyniki badań stopnia chemicznego skażenia materiałów

Badany element	Wielkości badane				
	pH	Siarczany [%]	Azotany [%]	Chlorki [%]	Amon [mg/l]
Zaprawa ze spoin	7,5	+	0,10	0,08	15
Beton	7,5	-	0,05	0,08	-
Cegła	7,0	+	0,08	0,10	15
Wielkości dopuszczalne w betonie		0,3-0,4	0,15	0,40	15

Tabela 2

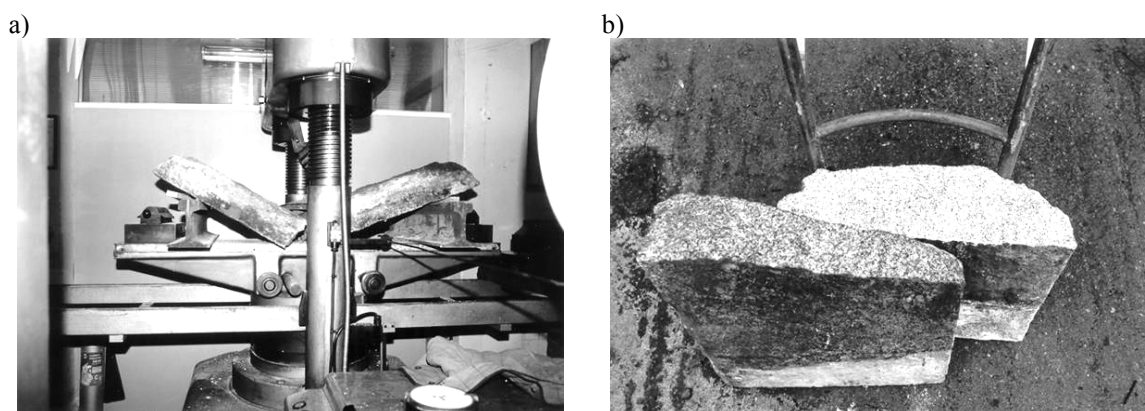
Dopuszczalne stopnie zawartości soli szkodliwych w murach ceglanych

Rodzaj soli	Stopień zawartości soli		
	niewielki [%]	średni [%]	wysoki [%]
Siarczany	< 0,10	0,10 ÷ 0,25	> 0,25
Azotany	< 0,05	0,05 ÷ 0,15	> 0,15
Chlorki	< 0,03	0,03 ÷ 0,10	> 0,10
Sole łącznie	< 0,10	0,10 ÷ 0,25	> 0,25

Wielkość wskaźnika pH betonu i zaprawy świadczy o całkowitym zneutralizowaniu tych tworzyw co oznacza, że zasadowy wodorotlenek wapnia przeszedł w obojętny węglan wapnia. Powoduje to wyraźne uszczelnienie struktury betonu i zaprawy oraz wzrost ich wytrzymałości mechanicznej przy jednoczesnej utracie zdolności ochronnych w stosunku do stali. W tym oraz nieprawidłowo dobranej grub. otuliny (10 mm), należy upatrywać tak szybkiej korozji stali zbrojeniowej w prefabrykowanych płytach żelbetowych.

Ze względu na to, że badania kolektora były prowadzone po jego odkopaniu, w trakcie modernizacji ulicy Piłsudskiego, możliwe było wydobycie kilku kamiennych płyt stropowych w celu określenia ich rzeczywistej nośności. Poza aspektem poznawczym, miało to ułatwić podjęcie decyzji o sposobie naprawy konstrukcji kanału, szczególnie wobec faktu bardzo szybkiej korozji płyt żelbetowych, którymi zastąpiono płyty kamienne w czasie modernizacji pierwszego odcinka ulicy.

W celu określenia nośności płyty niszczone za pomocą prasy hydraulicznej w laboratorium Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej. Widok stanowiska badawczego ze złamaną płytą oraz przykładowe przekroje złamanych płyt (przełomy) przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Badania nośności płyt granitowych
a) widok stanowiska badawczego b) przekroje przelamanych płyt

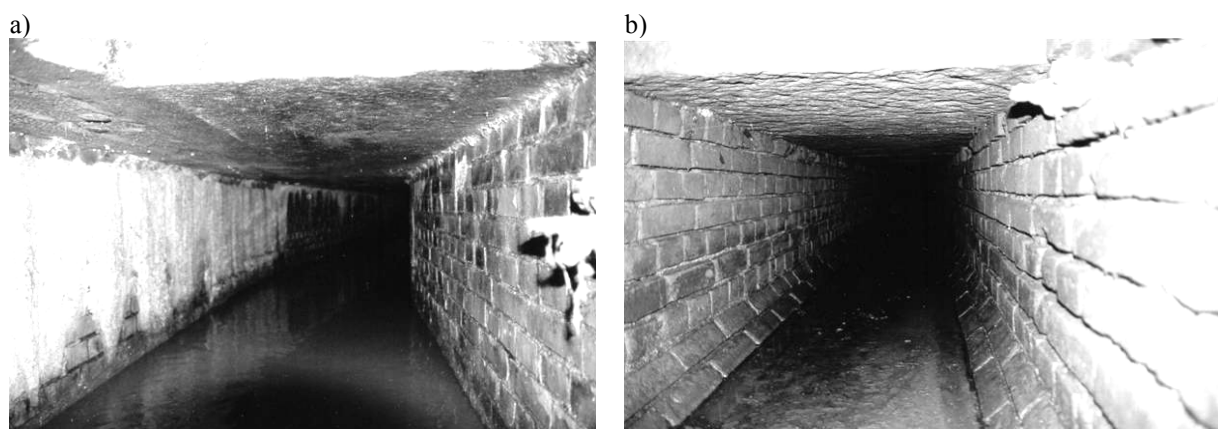
Fig. 5. Tests for bearing capacity of granite plates
a) view of laboratory stand b) view after tests

Wyliczone na podstawie badań naprężenia niszczące przekroju zginanego płyt wahały się od 12,6 do 8,9 MPa, co wystarcza dla przeniesienia obciążeń jakim poddany jest kolektor w czasie eksploatacji. Badania wykazały, że kamień do produkcji płyt pochodził z dwóch różnych źródeł: z okolic Strzelina i z okolic Szczegomia. Tym też można tłumaczyć zróżnicowane nośności poszczególnych płyt.

2.3. Przypadek III – kolektor w ul. Pułaskiego

Badaniami objęto odcinek kanału o długości 1064 m. Jest to kanał ogólnospławny, przełazowy o zmiennym kształcie i zmieniających się wymiarach przekroju poprzecznego. Na dwóch (spośród pięciu różniących się przekrojem) odcinkach kolektor zbudowany został z cegły i kamienia naturalnego:

- na odcinku I kolektor ma przekrój kwadratowy o wymiarach 800×800 mm, ściany i kinetę wymurowano z cegły kanalizacyjnej na zaprawie cementowej a strop został wykonany z płyt granitowych (kinetę ukształtowano w postaci półkolistej – rys. 6),
- na odcinku II kolektor ma przekrój prostokątny o wymiarach 1300×650 mm z wykształconą półkolistą kinetą, analogicznie jak na odcinku I ściany i kinetę wymurowano z cegły kanalizacyjnej na zaprawie cementowej a strop wykonano z płyt granitowych – rys. 6.



Rys. 6. Widok wnętrza kolektora: a) na odcinku I b) na odcinku II
Fig. 6. View of the interior of sewage channel: a) section I b) section II

Podczas badań przeprowadzonych badań budowlanych stwierdzono następujące uszkodzenia konstrukcji:

Odcinek I:

- lokalnie miejsca infiltracji wody gruntowej,
- powierzchniowe uszkodzenia cegieł na głębokość do około 40 mm,
- rozluźnienie i wypadanie cegieł z dwóch górnych warstw na których opierają się płyty granitowe,
- znaczne osłabienie zaprawy w spoinach na głębokość około 5 do 35 mm.

Odcinek II:

- całkowicie rozluźnione górne warstwy cegieł na których opierają się płyty granitowe (w kilku miejscach stwierdzono ubytki cegieł),
- osłabienie powierzchniowych warstw cegieł na głębokość do około 35 mm,
- wypłukanie i osłabienie zaprawy w spoinach sięgające do 50 mm,
- całkowity brak wypełnienia szczelin pomiędzy płytami granitowymi,
- zaleganie warstwy osadu o grubości do 0,15 m.

Na podstawie pobranych próbek materiałów konstrukcyjnych wykonano badania laboratoryjne w celu określenia zawartości szkodliwych soli w cegle i zaprawie. Wyniki tych badań dla niektórych próbek zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Przykładowe wyniki badań zawartości soli szkodliwych w cegle i zaprawie

Badane elementy	pH	Siarczany [%]	Azotany [%]	Chlorki [%]	Σ Soli [%]
Cegła	6,5	-	-	0,05	0,05
Zaprawa	6,5	+	0,2	0,02	0,22

Wskaźnik pH ok. 6,5 świadczy o całkowitej neutralizacji zaprawy (dla świeżej zaprawy pH > 12).

Ponadto wykonano badania laboratoryjne określające parametry wytrzymałościowe materiałów muru kolektora, w wyniku których dokonano następującej ich klasyfikacji: cegła 7,5 MPa, zaprawa 1,5 MPa. Na tej podstawie określono wytrzymałość charakterystyczną muru na ściskanie $R_{mk} = 1,4$ MPa.

3. Wnioski dotyczące badań stanu technicznego konstrukcji kolektorów

Na podstawie wykonanych badań, szczegółowego przeglądu stanu technicznego oraz obliczeń statyczno-wytrzymałościowych, stan techniczny wszystkich kolektorów uznano za niezadowalającą a lokalnie za średni. O takiej ocenie zdecydowały:

- osłabienie i uszkodzenia powierzchniowe cegły,
- rozluźnienie cegieł a szczególnie warstw, na których opierają się płyty granitowe,
- wypłukanie zaprawy łączącej cegły i płyty granitowe,
- pęknięcia ścian (szczególnie kolektor w ul. Sokolniczej),
- pęknięcia kinety (kolektor w ul. Sokolniczej),
- pęknięcia kamiennych płyt stropowych (kolektory w ul.: Sokolniczej i Piłsudskiego).

Badania laboratoryjne zawartości szkodliwych soli w materiałach konstrukcyjnych i odczynu tych materiałów potwierdziły, że uszkodzenie cegły i zaprawy spowodowane są długoletnim działaniem szkodliwych soli, mimo ich zawartości nie przekraczających z reguły zawartości dopuszczalnych. W przypadku kolektora w ul. Pułaskiego, położonego poniżej zwierciadła wody gruntowej, w wyniku długoletniego przesączania wody przez nieszczelności konstrukcji i ługowania składników zaprawy w miejscach infiltracji nastąpiło wyraźne osłabienie zaprawy oraz powiększenie nieszczelności. W przypadku większych przecieków wody następowało także osłabienie struktury otaczającego kolektor gruntu.

Wykonane obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wykazały lokalne przekroczenia dopuszczalnych naprężeń co jest przede wszystkim wypadkową zmian parametrów materiałów konstrukcyjnych oraz struktury i wielkości obciążeń zmiennych (komunikacyjnych).

Pęknięcia kamiennych elementów konstrukcji występowały wyłącznie w kolektorach ul. Sokolniczej i ul. Piłsudskiego co może potwierdzać tezę że uszkodzenia te powstały w wyniku działań wojennych. Przyjęcie takiej tezy uzasadnia fakt, że główne natarcie wojsk rosyjskich na *Festung Breslau* w 1945 r., przypadało właśnie od strony ul. Sokolniczej w wyniku czego zachodnia część miasta Wrocławia praktycznie została doszczętnie zniszczona. W przypadku ul. Piłsudskiego efektem natarcia było zniszczenie południowej zabudowy tej ulicy. W obu zatem przypadkach na nawierzchnie ulic bez wątplenia spadały bomby i pociski artyleryjskie. Tym też można tłumaczyć brak uszkodzeń płyt kamiennych w kolektorze zlokalizowanych pod ul. Pułaskiego, która nie była zniszczona w czasie działań wojennych.

4. Zalecenia dotyczące rewaloryzacji kolektorów

Kolektory mogą być odnawiane technikami bezwykopowymi lub w wykopach. Zakres odnowy może obejmować:

- prace renowacyjne, które nie wpływają na zmianę parametrów konstrukcyjnych budowli poprawiając wyłącznie jej szczelność i trwałość,

- prace rekonstrukcyjne, które zmieniają parametry konstrukcji i mogą doprowadzić nawet do wzrostu jej nośności w stosunku do założeń projektowych czy stanu rzeczywistego.

W omawianych przypadkach zaistniała możliwość przeprowadzenia rewaloryzacji tak metodami bezwykopowymi jak i w wykopach. Ostatnia z możliwości wynikała ze skoordynowania naprawy kolektorów z modernizacją ulic i wyłączeniem ich z ruchu.

Na odcinkach gdzie kolektor mógł zostać odnowiony, w zakresie odnowy elementów murowanych z cegły, prace podzielono na renowacje mniej uszkodzonych fragmentów konstrukcji ceglanych oraz na rekonstrukcje znacząco zniszczonych części kolektora. W ogólności, prace te podzielono na następujące czynności:

- dokładne wyczyszczenie powierzchni elementów murowanych, z usunięciem osłabionej i skorodowanej zaprawy ze spoin i skorodowanej warstwy cegieł (hydrodynamiczne piaskowanie),
- przemurowanie odkształconych i górnych warstw ścian (bezpośrednio pod płytami kamiennymi) oraz zdeformowanych fragmentów i kinety,
- naprawę zarysowanych murów poprzez osadzenie w ich konstrukcji prętów metalowych, tzw. "zszywanie",
- uzupełnienie ubytków zaprawy w spoinach,
- reprofilowanie ubytków powierzchniowych cegieł (naniesienie warstwy betonu natryskowego).

Do przemurowania uszkodzonych fragmentów kolektora zalecono użycie nowej cegły klinkierowej o wytrzymałości na ściskanie nie mniejszej od 25 MPa i zaprawy PCC o wytrzymałości na ściskanie nie mniejszej od 15 MPa i podwyższonej odporności na korozję siarczanową. Dla tak odnowionych murowanych części konstrukcji zalecono odtworzenie stropów z płyt granitowych.

W miejscach gdzie zły stan techniczny murowanych konstrukcji kolektorów uniemożliwiał odnowę opisanymi czynnościami, zalecono wymianę budowli lub ich rekonstrukcję techniką relining z użyciem profili niekołowych, w wersji przenoszącej wszystkie obciążenia zewnętrzne. Technologia polega na wkładaniu do kanału uformowanej na zewnątrz (w wytwórni) wykładziny z żywicy poliestrowej i włókna szklanego. Przestrzeń pomiędzy wykładziną a naprawianym kanałem, podobnie jak w technologii relining klasyczny (dla profili kołowych), wypełnia się odpowiednio dobranym iniektem. Podstawowymi zaletami tej technologii są możliwości: szerokiego kształtowania nośności wykładziny i jednorodność jej parametrów (elementy wykonywane są w wytwórni), montażu wykładziny bez przepompowywania ścieków, realizacji prac w okresie zimowym, dokładnego dopasowania kształtu poprzecznego wykładziny do przekroju naprawianego kanału, uzyskania po odnowie przewodu o dużej odporności chemicznej i wysokiej odporności na ścieranie. Do wad technologii zaliczono: zmniejszenie przekroju poprzecznego naprawianego przewodu oraz fakt, że dotąd w kraju nie były stosowane profile o prostokątnym kształcie przekroju poprzecznego. Przykład profili oferowanych na naszym rynku przez jednego z producentów tego typu wykładzin przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Profile typu Tex Tec wykonane z GRP [4]

Fig. 7. Tex Tec type profiles made of GRP

5. Podsumowanie

Wybudowane na przełomie XIX i XX wieku kolektory kanalizacyjne stanowią w dalszym ciągu znaczącą a często podstawową, część systemów wodno-ściekowych w europejskich, a także polskich miastach. Mimo upływu ponad 100-tu lat od ich wybudowania, stan techniczny przeważającej liczby tych budowli kwalifikuje je do odnowy. Zazwyczaj w wyniku wieloletnich obciążeń chemicznych (nawet jeśli ich poziom nie jest wysoki) a przede wszystkim, nadmiernych obciążeń mechanicznych wynikających także z działań wojennych, konieczna jest rekonstrukcja tych budowli. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wykonano wykorzystując niemieckie wytyczne ATV A127 [1] oraz normę i literaturę tematu [6,5,2].

W wyniku tak przeprowadzonej odnowy odtwarzana jest nośność kolektorów a jeżeli wymagają tego uwarunkowania lokalne, nośność ta jest zwiększana. W praktyce zwiększenie nośności możliwe jest tylko poprzez zastosowanie „samonośnych” wykładzin (wykładziny swobodne lub ściśle przylegające) lub niezależnych, formowanych we wnętrzu kolektora konstrukcji (np. trolining, zbrojony beton natryskowy). Bywają przypadki, że odnowa podziemnej infrastruktury odbywa się równocześnie z modernizacją ulic. Wtedy stworzona jest możliwość wymiany, rekonstrukcji lub renowacji kolektorów w wykopach. Sytuacja taka jest oczywiście najwygodniejsza i stwarza warunki dla zastosowania wszelkiego typu rozwiązań technicznych, z przemurowaniem fragmentów kanałów włącznie czy, jak miało to miejsce w omawianych przypadkach, wymiany całych elementów konstrukcyjnych (tu płyt granitowych). W większości przypadków prowadzenie prac w wykopach jest wykluczone, co implikuje dynamiczny wzrost zastosowań do odnawiania sieci technologii bezwykopowych.

Opisane przypadki są zatem unikatowe, tak za względu na nietypowe kształty przekroju poprzecznego kanałów ściekowych (prostokątne), typ ich konstrukcji (cegłano-kamienny) oraz możliwość przeprowadzenia rekonstrukcji w wykopach.

L i t e r a t u r a

- [1] ATV A 127 Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsknallen und- leitungen.
- [2] Bull J.W., *Computational modeling of masonry, brickwork structures*. Glasgow 2001.
- [3] Ma d r y a s C, W y s o c k i L., *Ekspertyzy techniczne: kolektorów kanalizacyjnych w ul. Sokolniczej, Piłsudskiego i Pułaskiego we Wrocławiu*. Raporty serii SPR Instytutu Inżynierii Ładowej Politechniki Wrocławskiej (maszynopisy niepublikowane na prawach rękopisów). Wrocław 1998-2007.
- [4] Materiały Informacyjne Firmy Hobas System.
- [5] Norma PN-87/B-03002 Konstrukcje murowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [6] S z o ł o m i c k i J.P., *Analiza statyczno-wytrzymałościowa i modelowanie komputerowe konstrukcji murowych*. Praca doktorska. Wrocław 1997.

Niniejszy artykuł powstał dzięki środkom na badania przyznane autorowi przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej w ramach subsydiów profesorskich.

