



Wprowadzanie rury kamionkowej DN 1400 (Mikołów, 2012)

Rury kamionkowe wcześniejszych generacji

Rury kamionkowe były wykorzystywane w Europie Środkowej już w średniowieczu. Pierwsze polskie systemy wodociągowe [12] powstawały m.in. we Wrocławiu w 1272 r., Poznaniu w 1282 r. czy w Krakowie w 1286 r. We Lwowie transportowano wodę pitną rurami kamionkowymi już w 1407 r. [1].

Jednak zastosowanie rur kamionkowych na większą skalę rozpoczęło się wraz z rozwojem współczesnych systemów kanalizacyjnych dopiero pod koniec XIX w. Budowę pierwszego takiego systemu kanalizacyjnego rozpoczęto w Hamburgu w 1842 r., a w polskich miastach, w tym w Warszawie [3], w ostatnich dwóch dekadach XIX w.

W okresie międzywojennym i po II wojnie światowej do ostatniej dekady XX w. budowano w Polsce przewody kanalizacyjne głównie z rur kamionkowych i betonowych. Dopiero od ostatnich dekad XX w. zaczęto częściej stosować rury także z innych materiałów, głównie z tworzyw sztucznych, termoplastycznych i chemoutwardzalnych.

Przełom w zakresie poprawy jakości rur i ich złączy oraz parametrów wytrzymałościowych nastąpił w Polsce na przełomie XX i XXI w., w tym nieco wcześniej dotyczył on rur kamionkowych, głównie dzięki szerszemu zastosowaniu wysokiej jakości rur firmy Steinzeug-Keramo.

Wyniki badań CCTV sanitarnych przewodów kanalizacyjnych wykonanych z rur kamionkowych dawniej produkowanych

Szczegółowe wyniki badań CCTV przewodów kanalizacyjnych zamieszczono m.in. w [10]. Przewody te były badane przez pracowników Politechniki Świętokrzyskiej w różnych miastach Polski od 1991 r.

Zamieszczona poniżej analiza dotyczy 14 897 m sanitarnych przewodów kamionkowych. Badania wykonywane były na zlecenia przedsiębiorstw je eksploatujących. Do badań były typowane tylko te przewody, które stwarzały najwięcej problemów eksploatacyjnych, czyli np. takie, w których korzenie drzew wrastały do wnętrza kanału, występowała duża infiltracja wód gruntowych do wnętrza kanałów lub gromadziły się w nich duże ilości osadu. Typowano także te kanały, nad którymi zaplanowano przebudowę nawierzchni ulicznych.

Badania i zastosowania rur kamionkowych w bezwykopowej budowie przewodów kanalizacyjnych

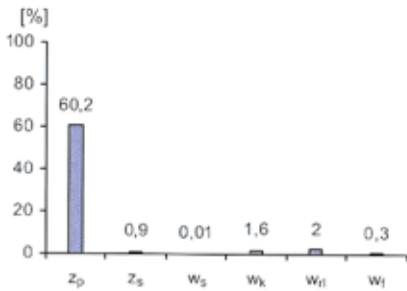
tekst i zdjęcia:

prof. dr hab. inż. **ANDRZEJ KULICZKOWSKI**, Politechnika Świętokrzyska
dr inż. **EMILIA KULICZKOWSKA**, Politechnika Świętokrzyska
mgr inż. **DOMINIKA LICHOSIK**, Politechnika Świętokrzyska

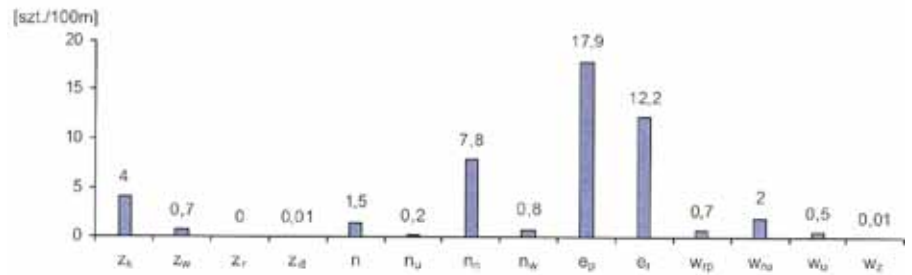
W Polsce, podobnie jak w innych krajach europejskich, do budowy kanalizacji stosowano w XX w. głównie rury kamionkowe i betonowe. Poniżej przedstawiono wyniki wieloletnich badań CCTV przewodów kanalizacyjnych kamionkowych długo eksploatowanych, wykonanych przez Politechnikę Świętokrzyską [10, 11]. Następnie dokonano analizy uzyskanych wyników, formułując wnioski dotyczące przyczyn zaistniałych uszkodzeń.

Wskazano na różnice pomiędzy dawniej i obecnie stosowanymi rurami kamionkowymi, a następnie pokazano niektóre z rozwiązań rur kamionkowych najnowszej generacji w bezwykopowej budowie przewodów kanalizacyjnych.

Zaprezentowano najciekawsze bezwykopowe projekty zrealizowane w Polsce z zastosowaniem rur kamionkowych w ostatnim dziesięcioleciu. Dwa z nich zostały nagrodzone przez Polską Fundację Technik Bezwykopowych (PFTT), zrzeszoną w Międzynarodowym Stowarzyszeniu Technologii Bezwykopowych (ISTT), statuetką Expert przyznawaną na polskich konferencjach *Technologie Bezwykopowe No-Dig Poland*.



Ryc. 1. Zestawienie uszkodzeń liniowych w sanitarnych przewodach kanalizacyjnych kamionkowych wyrażone w procentach [11]



Ryc. 2. Zestawienie uszkodzeń punktowych w sanitarnych przewodach kanalizacyjnych kamionkowych określone w sztukach na 100 m [11]

Na rycinie 1 zestawiono uszkodzenia liniowe zaobserwowane w sanitarnych przewodach kanalizacyjnych kamionkowych, a na rycinie 2 uszkodzenia punktowe.

Podane na rysunkach wielkości oznaczają kolejno:

- z_p – osad ruchomy (piasek, kamienie itp.)
- z_s – osad stały (beton, asfalt)
- w_s – starcie dna
- w_k – korozja wewnętrzna ścian
- w_{r1} – rysy i pęknięcia podłużne
- w_r – deformacja spękanego kanału o konstrukcji sztywnej
- z_k – korzenie drzew i krzewów
- z_w – przykanaliki wystające do wnętrza kanału
- z_r – inne przewody w przewodzie kanalizacyjnym
- z_d – niewłaściwe przyłącze
- n – infiltracja do wnętrza przewodu
- n_u – wystające uszczelnienie do wnętrza przewodu
- n_n – narosty poinfiltracyjne
- n_w – wykruszenia rur na złączach
- e_p – przemieszczenia poprzeczne lub fabryczne niezachowanie kształtu
- e_r – rozsunięcia podłużne
- w_{rp} – rysy i pęknięcia poprzeczne
- w_{ru} – rysy i pęknięcia ukośne
- w_u – ubytki fragmentów powłoki konstrukcji
- w_z – zapadnięcia (zawalenia) fragmentów konstrukcji.

Analizując wykresy dotyczące uszkodzeń liniowych występujących w sanitarnych przewodach kamionkowych, można zauważyć, że głównym problemem eksploatacyjnym tych przewodów są osady ruchome, występujące na ok. 60% ich długości. Podstawową przyczyną występowania osadów jest spadek ilości ścieków transportowanych kanałami, spowodowany dużym spadkiem zużycia wody w Polsce

w wyniku opomiarowania jej zużycia. Korozja ścian powszechnie występująca w kanałach betonowych wcześniejszych generacji praktycznie nie występuje w kanałach kamionkowych. Zarejestrowana w kanałach kamionkowych niewielka korozja (1,6%) dotyczyła rur kamionkowych o bardzo niskiej jakości, sprowadzonych do Polski zza wschodniej granicy. Rury te nie spełniały polskich standardów, a w ich strukturze stwierdzono dużą zawartość betonu bardzo niskiej jakości.

Najczęstszymi uszkodzeniami punktowymi w przewodach kamionkowych długo eksploatowanych są przemieszczenia poprzeczne (17,9%) i rozsunięcia podłużne rur na złączach (12,2%), spowodowane niestarannym sposobem ich łączenia. Połączenia te wykonywane były z zastosowaniem konopnej przesmołowanej przędzy lub sznura, dociskanych w kielichu za pomocą gliny, asfaltu lub cementu. Niestety, złącza te po pewnym czasie uległy rozszczelnieniu. Konsekwencją rozszczelnienia złączy są zaobserwowane narosty poinfiltracyjne (7,8%), infiltracja wód gruntowych (1,5%), a także korzenie drzew i krzewów przerastające przez złącza do wnętrza kanałów (4%). Konsekwencją zaś infiltracji wód gruntowych z cząsteczkami gruntu do wnętrza przewodów jest dalsze przemieszczanie się rur na złączach, ich osiadanie na skutek wpułkiwania gruntu do wnętrza kanału, wreszcie powstawanie rys i pęknięć rur oraz dalsze ich rozszczelnianie.

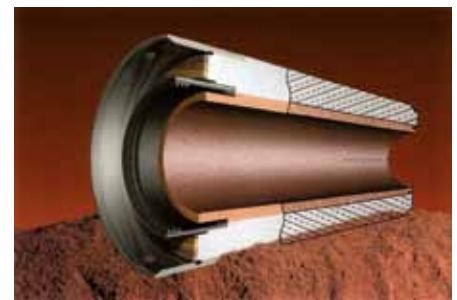
Bardzo znacząca liczba zaobserwowanych uszkodzeń nie wystąpiłaby zatem, gdyby wcześniej stosowane rury kamionkowe posiadały uszczelnienia złączy wykonane według obecnych standardów.

Analizy dotyczące klas pilności odnowy badanych przewodów kamionkowych zamieszczono w [8, 11].

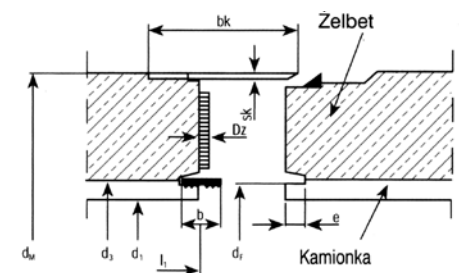
Rury kamionkowe najnowszej generacji

Do ok. 1990 r. stosowano w Polsce rury kamionkowe krajowej produkcji, o wcześniej opisanych rodzajach złączy. Aktualnie oferowane są rury kamionkowe produkowane za granicą, głównie firmy Steinzeug-Keramo, rzadziej rury innych firm, np. Hepworth lub Naylor.

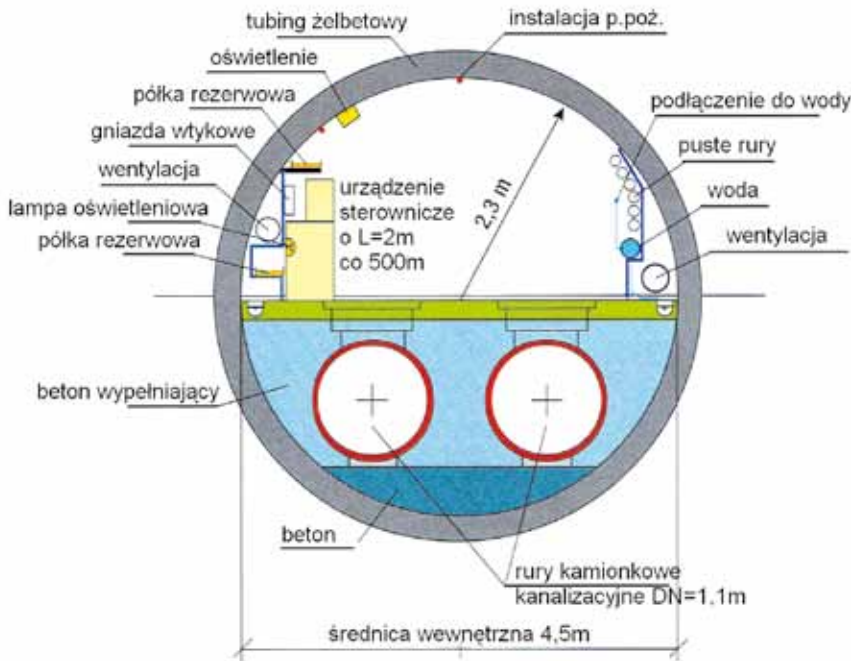
Rury kamionkowe firmy Steinzeug-Keramo oferowane są [2, 6] o średnicach od 100 do 1400 mm i długościach od 1,0 m, przez 1,25 m, 1,50 m, 2,0 m do 2,5 m. Interesująca oferta rur tej firmy to rury przeciskowe KeraDrive, o średnicach od 200 do 1400 mm. Ciekawym rozwiązaniem rur przeciskowych są rury żelbetowe z wewnętrzną rurą kamionkową (ryc. 3), oferowane w zakresie średnic 300–1400 mm.



Ryc. 3. Rura żelbetowo-kamionkowa firmy Haba-Beton i Steinzeug-Keramo [2, 6]



Ryc. 4. Złącze rur żelbetowo-kamionkowych [6, 7]



Ryc. 5. Tunel wieloprzewodowy do przetrzutu ścieków w Zurychu [5, 7]

Duże zainteresowanie stosowaniem rur kamionkowych wynika z ich bardzo korzystnych parametrów, w tym głównie całkowitej odporności na ekstremalnie niekorzystne parametry transportowanych ścieków oraz gazów kanałowych. W stosunku do wcześniej stosowanych rozwiązań rury kamionkowe najnowszej generacji z odpowiednio dobranymi uszczelkami gumowymi lub poliuretanowymi gwarantują długoletnią ich szczelność. Brak szczelności złączy rur kamionkowych wcześniej produkowanych był przyczyną ich licznych, wcześniej opisanych uszkodzeń.

Kolejną zaletą rur kamionkowych jest ich znacznie wyższa wytrzymałość w stosunku do rur wcześniej produkowanych. Rury wcześniej produkowane, np. o średnicy 300 mm, posiadały maksy-

malną nośność 38,2 kN/m, podczas gdy najbardziej wytrzymałe rury kamionkowe firmy Steinzeug-Keramo klasy 240 o tej samej średnicy mają nośność 72 kN/m, czyli prawie dwukrotnie wyższą.

Dane niemieckie zamieszczone w [13] wskazują, że rury kamionkowe zaliczają się do grupy rur najbardziej trwałych (tab. 1).

Zalety wymienione wyżej, a także szereg innych [2] równie istotnych, spowodowały duże zainteresowanie stosowaniem tych rur nie tylko w tradycyjnych metodach wykopowych, ale także w technologiach bezwykopowych.

Rury kamionkowe mogą być także stosowane w tunelach wieloprzewodowych. Na rycinie 5 pokazano przykład zastosowania rur kamionkowych w tunelu wieloprzewodowym.

W Zurychu wybudowano tunel wieloprzewodowy o łącznej długości 2900 m, którego celem był przerzut ścieków (na pewnym odcinku pod rzeką) w kierunku do oczyszczalni ścieków usytuowanej po drugiej stronie rzeki.

Tunel o średnicy wewnętrznej 4,5 m zbudowano metodą mikrotunelowania w tempie 18 m/dobę. Jego konstrukcja składa się z sześciu tubingów żelbetowych o grubości 27 cm. Wewnątrz niego umieszczono dwie rury kanalizacyjne kamionkowe o średnicy wewnętrznej 1100 mm. Doboru rur dokonano, analizując dziewięć różnych rodzajów rur, różniących się materiałem, z którego zostały wykonane, kierując się kryterium ponad stuletniej trwałości rur oraz minimalizacją kosztu rur odniesionego do prognozowanego okresu ich eksploatacji.

W tunelu tym umieszczono także inne przewody i kable pokazane na rycinie 5.

Przykłady niektórych bezwykopowych realizacji z zastosowaniem rur kamionkowych i żelbetowo-kamionkowych

W Polsce zrealizowano bardzo wiele różnych projektów bezwykopowych z zastosowaniem rur kamionkowych. Do najciekawszych projektów wykonanych z zastosowaniem rur Steinzeug-Keramo i rur Haba-Beton – Steinzeug-Keramo należały:

1. Warszawa, 2000, al. Krakowska, średnica DN 400 mm, długość L = 0,7 km, studnia startowa żelbetowa 3,2 m;
2. Poznań, 2003, kanały Umultowskie, DN 800 mm, L = 1,5 km, maksymalne długości między studniami $L_{max} = 220$ m, studnia startowa 4 x 8 m z profili stalowych;
3. Wrocław, 2005, rondo Czekoladowe, DN 600 mm, L = 1,0 km, $L_{max} = 170$ m, studnia startowa żelbetowa 3,2 m;
4. Warszawa, 2006, Bielany, Makro Cash and Carry, DN 1000 mm (ryc. 6), L = 0,5 km, $L_{max} = 140$ m, studnia startowa z profili stalowych 4 x 8 m;
5. Gdańsk, 2007, lotnisko w Gdańsku-Rębiechowie, DN 800 mm (ryc. 7), L = 1200 mm, $L_{max} = 240$ m, studnia startowa żelbetowa 3,2 m. Prace wykonywano pod płytami lotniska, nie wstrzymując lądowań i startów samolotów.
6. Olsztyn, 2009/2010, DN 600–1200 mm, L = 1000 m, w tym przejście pod rzeką Łyną rurami kamionkowo-żelbetowymi DN 600 mm, 2 x L = 90 m;

Tab.1. Zestawienie wyników analizy trwałości rur wykonanych z różnych materiałów [13]

Rodzaj rur	Średnia trwałość [lata] uzyskana na podstawie danych z praktyki eksploatacyjnej
betonowe/żelbetowe	>100
kamionkowe	>100
polimerobetonowe	ok. 40
z żeliwa sferoidalnego	>100
GRP	ok. 50
PVC-U	ok. 50
PE-HD	ok. 50
PP	ok. 50

7. Warszawa-Pruszków, 2010, DN 800 mm, L = 1800 m na L = 112 m, przejście pod węzłem kolejowym Warszawa – Katowice, studnia startowa z profili stalowych 4 x 8 m (ryc. 8). Prace wykonano bez wstrzymywania ruchu pociągów;

8. Mikołów 2012/2013, DN 1000 mm, (ryc. 9, 10, 11), L = 1600 m oraz DN 1400 mm, L = 300 m, dla $L_{\max} = 100$ m, studnia startowa z profili stalowych 6 x 5 m.

Firma Steinzeug-Keramo została nagrodzona przez Polską Fundację Technik Bezwykopowych statuetką Expert w 2006 r. (przyznawaną w trakcie międzynarodowych konferencji *No-Dig Poland*, organizowanych w Kielcach co dwa lata) w kategorii „innowacyjny produkt” za rurę kamionkowo-żelbetową. Rura ta trzy lata później została po raz pierwszy w Polsce zastosowana w projekcie w Olsztynie (nr 6).

Rura przeciskowa kamionkowo-żelbetowa posiada podwójne uszczelnienie, tj. wewnętrzny i zewnętrzny pierścień uszczelniający. Pierścień wewnętrzny wykonany jest ze stali szlachetnej z elastomerowo-kauczukowym uszczelnieniem, który gwarantuje zabezpieczenie antykorozyjne od wewnątrz oraz zapewnia szczelność na złączach 0,24 MPa. Pierścień zewnętrzny ze stali szlachetnej, posiadający uszczelkę, zapewnia prostoliniowe prowadzenie rur.

Powyższy system podwójnego uszczelnienia w połączeniu z rurką kontrolną zintegrowaną w ścianie betonowej umożliwia stosowanie rur w strefach ochrony wód pitnych.

Kanały wykonane z opisanych rur mogą być czyszczone pod ciśnieniem do 50 MPa. Posiadają one odporność chemiczną na wszelkiego rodzaju ścieki o pH równym 1–13.

Rury żelbetowo-kamionkowe produkowane są zgodnie z normą PN EN 295 o średnicach od 300 do 1400 mm, a powłoka żelbetowa spełnia wytyczne ATV A 125 dotyczące żelbetowych rur przeciskowych.

Pierwszy polski projekt z zastosowaniem rur żelbetowo-kamionkowych zrealizowany w Olsztynie polegał na wykonaniu bezwykopowego przejścia pod rzeką Łyną z zastosowaniem dwóch równoległych rur o średnicy 600 mm każda, na odcinku 90 m. Z uwagi na konieczność zachowania odpowiedniego profilu podłużnego kanału rury wbudowywano w bardzo trudnych warunkach gruntowych ok. 50 cm pod dnem rzeki. Odległość między



Ryc. 6. Transport rury kamionkowej DN 1000 do studni startowej 4 x 8 m (Warszawa, 2006) [4]



Ryc. 7. Rury kamionkowe DN 800 (Gdańsk, 2007) układane pod płytą lotniska [4]



Ryc. 8. Studnia startowa 4 x 8 m (Warszawa – Pruszków, 2010) [4]



Ryc. 9. Umieszczanie rury kamionkowej DN 1400 w studni startowej (Mikołów, 2012)



Ryc. 10. Rura kamionkowa DN 1400 od wewnątrz (Mikołów, 2012)

osiami wbudowywanych kanałów wynosiła 7 m. Kolejny projekt z zastosowaniem rur żelbetowo-kamionkowych DN 600 mm wykonano w Nowym Sączu pod rzeką Poprad.

Kolejną statuetkę Expert firma Steinzeug-Keramo otrzymała w 2008 r. za bezwykopową budowę kanału pod czynym pasem startowym lotniska w Gdańsku-Rębiechowie metodą mikrotuningu. Zastosowano rury przeciskowe DN 600 mm o L = 500 m i DN 800 mm o L = 234 m. Cały projekt obejmował budowę kolektorów sanitarnych o łącznej długości ok. 25 km w obrębie czterech dzielnic Gdańska.

Wnioski końcowe

1. Badania CCTV długo eksploatowanych przewodów kanalizacyjnych z rur kamionkowych wcześniejszej generacji wykazały, że główną przyczyną ich uszkodzeń były:

- rozszczelniające się złącza o niższej jakości w stosunku do obecnie stosowanych, powodujące uszkodzenia wtórne w postaci m.in. infiltracji wód gruntowych, przerostów korzeni czy osiadania rur i ich pękania;
 - niższa niż obecnie nośność rur, przyczyniająca się do ich pęknięcia w przypadku ponadnormatywnego obciążenia tych rur;
 - błędy wykonawcze;
 - zmniejszenie ilości ścieków (wskutek opomiarowania zużycia wody) skutkujące powstawaniem osadów dennych.
2. Badania CCTV długo eksploatowanych przewodów kanalizacyjnych z rur kamionkowych wcześniejszej generacji wykazały, że w wielu z nich nie stwierdzono, mimo ponad stuletniej eksploatacji, żadnych uszkodzeń. Dotyczyło to głównie przewodów kanalizacyjnych poprawnie wbudowanych, ułożonych nad zwierciadłem wód gruntowych, w pobliżu których nie rosły drzewa. Rury te są w znacznie lepszym stanie technicznym od badanych przez Politechnikę Świętokrzyską rur betonowych dawno wbudowanych, w których korozję zaobserwowano na ok. 30% ich długości.

3. Aktualnie produkowane rury kamionkowe o średnicach do 1400 mm są powszechnie stosowane przy budowie przewodów kanalizacyjnych metodami tradycyjnymi w wykopach. Są one również wykorzystywane w bardzo wielu ciekawych i trudnych projektach realizowanych z zastosowaniem technologii bezwykopowych. Poza rurami kamionkowymi stosowane są także rury żelbetowo-kamionkowe. Parametry tych rur w zakresie wytrzymałości i szczelności gwarantują znacznie dłuższy okres ich eksploatacji niż miało to miejsce w przypadku rur kamionkowych wcześniejszych generacji.

Literatura

[1] Górczyński S.: *Z dziejów wodociągów i kanalizacji w dawnej Polsce*. „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 1957, nr 9, s. 332–334.

[2] Steinzeug, *Ein komplettes Programm für die moderne Abwasserkanalisation. Handbuch*. Steinzeug GmbH. Köln 1998, S. 190.

[3] Janczewski M.: *Warszawa. Geneza i rozwój inżynierii miejskiej*. Arkady. Warszawa 1971, s. 526.

[4] Steinzeug-Keramo, oddział w Polsce, materiały informacyjne i zdjęcia, 2012.

[5] Kiefer H.: *Stollenlösung für die Sanierung der Abwasserhältnisse*. „Steinzeug Info” 2001/2002, s. 6–16.

[6] Kuliczkowski A.: *Rury kanalizacyjne. T. 3. Rury o konstrukcji sztywnej i sprężystej*. Monografia, studia, rozprawy, M4. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2008, s. 396.

[7] *Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska*. Red. A. Kuliczkowski. Wydawnictwo Seidel – Przywecki. Warszawa 2010, s. 735.

[8] Kuliczkowski A., Kuliczowska E., Kubicka U.: *The criteria of urgency for sewer line rehabilitation*. Proceedings of the North American Society for Trenchless Technology (NASTT) No-Dig Show 2010, Chicago, Illinois, May 2–7, 2010, pp. 1–9.

[9] Kuliczkowski A., Kuliczowska E., Lichosik D.: *Research and trenchless applications of vitrified clay pipes*. Proceedings of the Conference No-Dig 2012, São Paulo, November 12–14, 2012, pp. 1–10.

[10] Kuliczowska E.: *Wyniki badań kamionkowych przewodów kanalizacyjnych*. „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 2008, nr 12, s. 10–16.

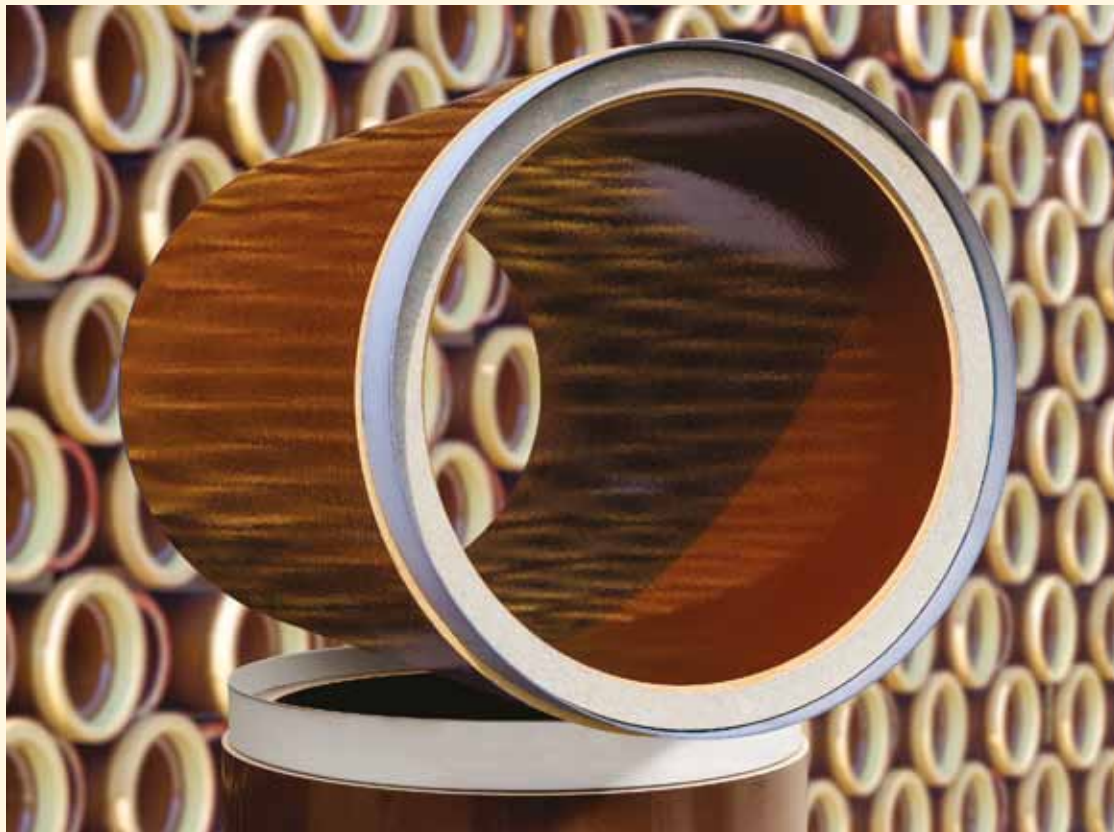
[11] Kuliczowska E.: *Kryteria planowania bezwykopowej odnowy nieprzełazowych przewodów kanalizacyjnych*. Praca doktorska, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Wodociągów i Kanalizacji. Kielce 2007, s. 227.

[12] Liebfeld J.: *Wodociągi i kanalizacja w miastach i osiedlach polskich*. „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 1958, nr 5, s. 180, 181.

[13] Stein, D., Brauer, A.: *Leitfaden zur Auswahl von Rohrwerkstoffen für kommunale Entwässerungssysteme – Teilerpertise „Nutzungs- bzw. Lebensdauer“*. Expertise der Prof.-Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum im Auftrag der FBS e.V., Bonn. Bochum, Dezember 2004.

Referat bazujący na anglojęzycznej wersji [9] artykułu, który wygłosił prof. dr. hab. inż. Andrzej Kuliczkowski na 30. ogólnopolskiej konferencji bezwykopowej No-Dig 2012, zorganizowanej w São Paulo przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Technologii Bezwykopowych 12-14 listopada 2012 r.

SYSTEMY KANALIZACJI Z KAMIONKI



Systemy kanalizacyjne kamionkowe, największego europejskiego producenta Steinzeug-Keramo, produkowane są w zakładach produkcyjnych: w Niemczech (Frechen i Bad Schmiedeberg), w Belgii (Hasselt) oraz w Holandii (Belfeld), należących do Grupy Wienerberger AG.

Koncern Steinzeug-Keramo produkuje rury i kształtki kamionkowe stosując nowoczesne urządzenia oraz technologię produkcji o najwyższej jakości, gwarantując niezawodność oraz efektywność ekonomiczną swoich produktów.

Wybór rur kamionkowych układanych w wykopie otwartym lub metodą bezwykopową w obiektach strategicznych, to jakość zgodna normą PN EN 295 oraz z Aprobata Techniczną IBDiM. (Nr AT/2011-02-2769/2)

Zastosowanie rur kamionkowych:

- w obiektach inżynierii komunikacyjnej;
- w drogach publicznych i wewnętrznych;
- w obiektach kolejowych;
- na terenie lotnisk;
- na terenach objętych uszkodzonymi górnictwem;
- w obrębie obiektów petrochemicznych;
- w przepustach i rurach osłonowych.

W obiektach strategicznych takich jak budowa dróg, tuneli, mostów wbudowując kanały grawitacyjne, odwodnienia, rury osłonowe, istotnymi parametrami technicznymi są:

- wodoszczelność na złączach - 2,4 bar;
- odporność na cykle termiczne (-18° +18°) po nasączeniu w środku odladzającym i paliwie;
- wytrzymałość na zmęczenie pod obciążeniem zmiennym 2,5-10 kN po nasączeniu w środku odladzającym i paliwie;
- niepalność kanału.

Wyniki badań ujęte w Aprobacie Technicznej IBDiM pozwalają inwestorom podjąć decyzję o wyborze materiału ceramicznego, czyli kamionki przy budowie zarówno sieci kanalizacji sanitarnej, deszczowej (odprowadzającej wody z powierzchni jezdni), jak również sieci odwodnieniowej gruntu przy wysokim poziomie wód gruntowych. Zapewnia ona całkowicie bezawaryjną eksploatację infrastruktury podziemnej.