

ANDRZEJ KULICZKOWSKI¹
KAMIL MOGIELSKI²

Kielce University of Technology

¹ e-mail: akulicz@tu.kielce.pl

² e-mail: kamil.mogielski@gmail.com

RESULTS OF LABORATORY TESTS OF CONCRETE, VITRIFIED CLAY AND PVC SEWER PIPES WITH CIPP LINERS

Abstract

Results of load capacity tests of concrete pipes DN 200 and 300 and vitrified clay pipes DN 200, 250 and 300 with liners and without them were shown together with results of ring stiffness tests of PVC pipes DN 200, 250 and 315 and CIPP liners DN 200, 250 and 315. All pipes and liners used to produce samples were brand new. The tested liners were made of polyester tube saturated with epoxy resin. Preliners were not installed between liners and pipes. The liners were introduced to the pipes using compressed air and cured with hot water. Main aim of the research was to find out if there is any correlation between roughness of the pipe surface (depending on the pipe material) and load capacity growth after pipe rehabilitation due to the sticky properties of the resin used for tube impregnation. Another subject discussed in this paper is the influence of adhesion level between liner and PVC pipe to ring stiffness growth of this pipe. Relationship between adhesion level and growth of load capacity/ring stiffness will be proven. Adhesion level should be taken into consideration when designing the reconstructive liner designed not only to seal and protect the pipeline, but also to strengthen construction of the pipe.

Keywords: CIPP, cured-in-place-pipe, epoxy resin, sewer pipes, renovation, reconstruction

1. Introduction

One of the most common approaches for the rehabilitation of pipelines is to line their internal surfaces with one of the various types of liners. Among these the most common form of lining is CIPP. In this technology an impregnated tube is placed inside the hostpipe using winching or inversion. Then the impregnated liner is pressed against the wall of the host-pipe and cured by circulating hot water or steam through it or via UV light source [1]. Liner thickness, tube material and type of resin are the factors that determine the ring stiffness of the liner.

Three following design guidelines are used to designate minimal thickness of the liner:

- American: ASTM F 1216, Standard practice for rehabilitation of existing pipelines and conduits by the inversion and curing of a resin-impregnated tube, ASTM International Standard;
- Danish: Static calculations and dimensioning of the gravity sewer pipe renovation. Collective work developed by the Research Centre for

Pipes Danish Technological Institute for Trenchless Team No-Dig;

- German: ATV-DVWK – M127P Part 2, Static strength calculations for technical rehabilitation of sewer lines by introducing liners or using installation methods.

To select the optimum liner thickness, damage degree of the pipe should be determined together with loads acting on it. None of these three methods takes into consideration a factor related to the surface roughness of the pipe and adhesion level between pipe and liner. This factor has a big influence on the load capacity growth of the concrete and vitrified clay pipes. This factor also has a big influence on ring stiffness growth of the PVC pipes, as shown in this paper.

2. Preparation of test samples

In total, we examined load capacity or ring stiffness of 76 samples made of concrete, vitrified clay and PVC pipes with liners of different thickness and without liners. Samples made of cured liner only were examined too. Every sample made of cured liner

Table 1. Test matrix

Sample material	Nominal diameter/liner thickness [mm]							
	200/0	200/3	200/4	200/6	250/0	250/4	300/0 315/0*	300/4 315/4*
Concrete pipe	1	4	4	4	–	–	2	4
Vitrified clay pipe	1	4	4	4	2	6	2	6
PVC pipe	1	4	4	4	1	4	1	4
Resin liner **	–	1/3	1/3	1/3	–	1/3	–	1/3
TOTAL	76 samples							

* PVC pipes DN 315 were tested. Internal diameter of this pipes is 299.6 mm.

** Each sample made of resin liner only was tested three times. 86 tests were made in total.

was examined three times. These studies took place at Division of Water Supply and Sewage Systems at Kielce University of Technology, Kielce, Poland.

All tested samples had a circular shape without footer and they were 30 cm long in accordance with the standards: PN-EN 1916 “Concrete pipes and fittings, unreinforced, steel fiber and reinforced” and PN-EN 295-3 “Vitrified clay pipes and fittings and pipe joints for drains and sewers – Part 3: Test methods”.

Table 1 lists the types of samples with their parameters: pipe material, nominal diameter of pipe and thickness of resin liner.

Tubes made of polyester with outer diameters equal to the inner diameters of the pipes and with thicknesses as shown in Table 1 were saturated in situ with thermosetting epoxy resin.



Fig. 1. Preparation of the test samples [2]

Then, the resin impregnated tubes were introduced in series, into the concrete, vitrified clay and PVC pipes. Liners were introduced to the pipes with inversion drum, by using compressed air. After that resin liners were cured with hot water. Subsequently all devices

were removed, pipes cooled and cut into 30 cm long samples. Excessive amount of the cured liner has been removed. Figure 1 shows the samples preparation site.

3. Test procedure

Samples made of concrete pipes were tested in accordance with the standard PN-EN 1916. Tests were made on the universal testing machines MTS and Zwick/Roell. Figure 2 shows Zwick/Roell machines owned by Kielce University of Technology.

To perform the tests in accordance with the standard PN-EN 1916, samples were placed in the universal testing machine at the duralumin, V-shaped lower bearing element with spread angle of 150°. Length of lower bearing element was equal to the length of the samples (300 mm), width of 120 mm and maximum height of 40 mm. The load was applied by the upper compression plate and spread by steel upper bearing element with length of 300 mm, height of 50 mm and width of 45 mm. Straps made of elastomeric material with a hardness of 50 IRHD were inserted between the pipe and both bearing elements.

A control group of samples without liners were tested because of differences between the manufacturer’s specification and actual data about load capacity. Those samples were tested to determine base load capacities. Base load capacities were compared with test results of samples reinforced with liners. One of the samples from the control group – made of concrete pipe DN 300 – is shown in Figures 3a (before test) and 3b (after test). Both groups of concrete samples (DN 200 and DN 300) with liners were tested four times. A sample made of concrete pipe DN 300 with 4 mm thick liner is shown in Figures 3c (before test) and 3d (after test).

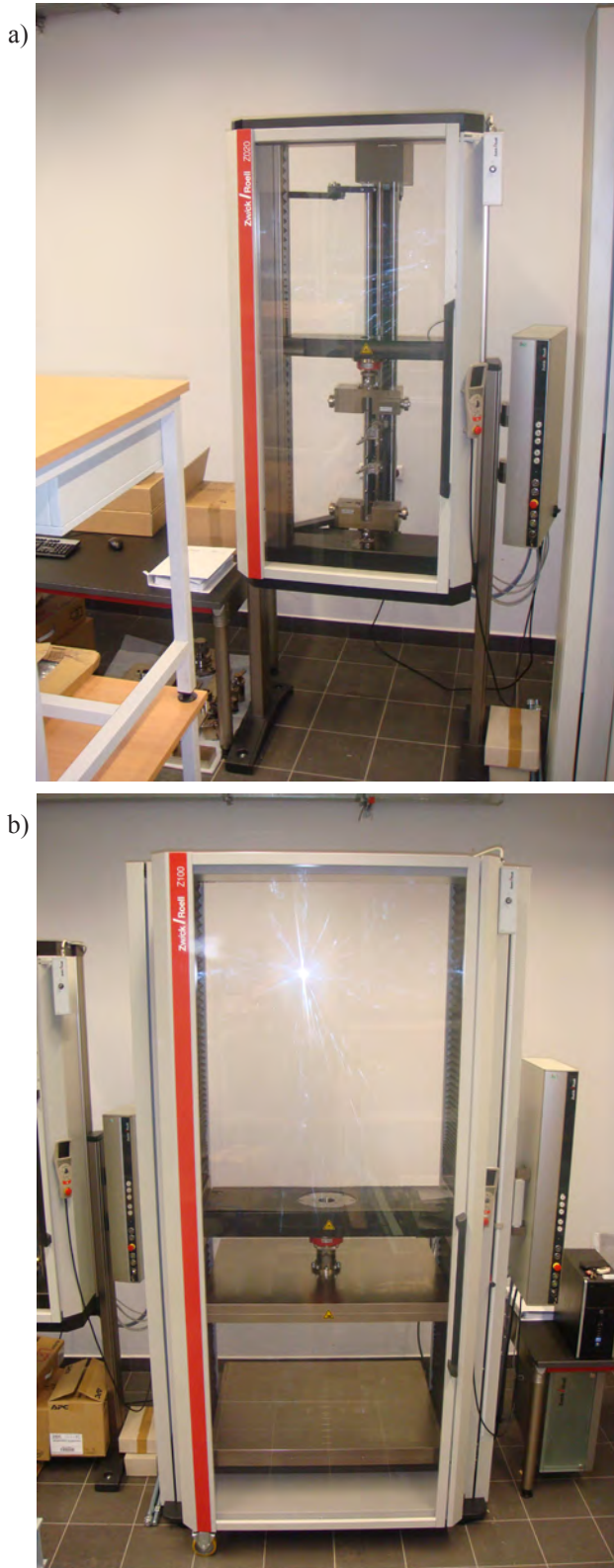


Fig. 2. Universal testing machines Zwisch/Roell:
a) Z20 and b) Z100

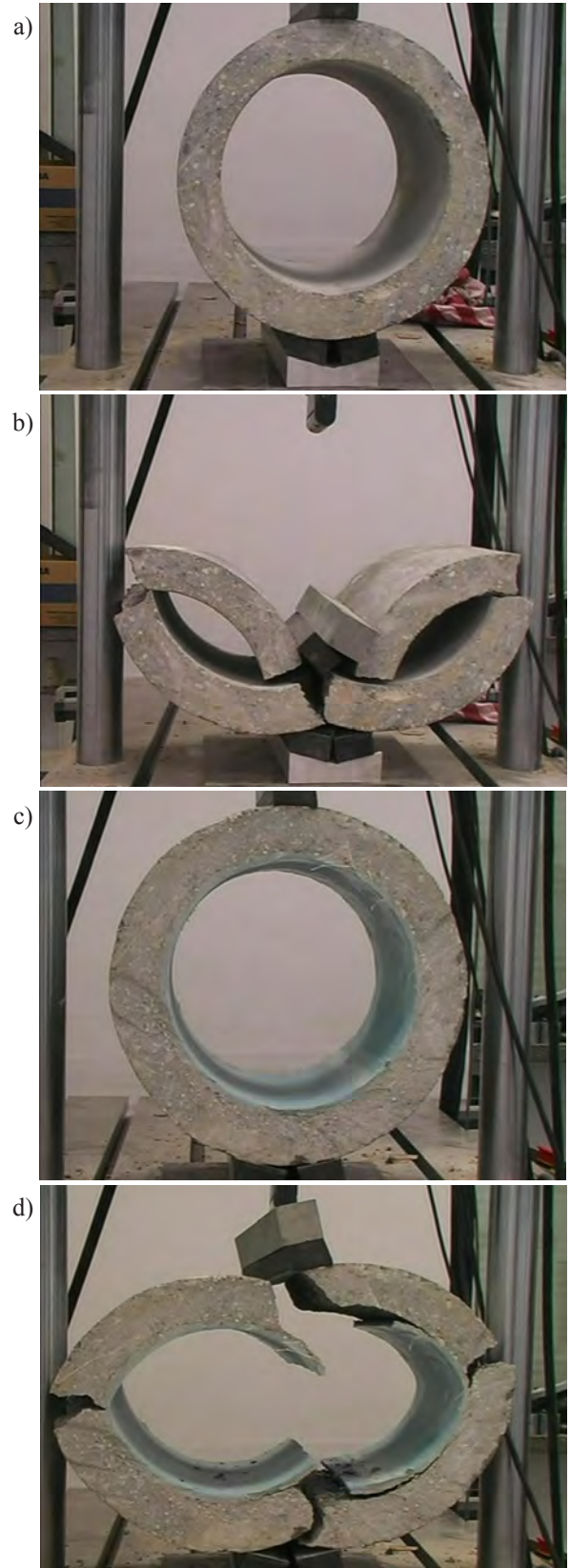


Fig. 3. Concrete DN 300 pipe sample without liner:
a) before test and b) after test. Concrete DN 300 pipe
sample with 4 mm thick liner: c) before test and
d) after test [2]

Samples made of vitrified clay pipes were tested in accordance with the standard PN-EN 295-3. Samples were not soaked before testing. To perform the tests using this standard, samples were placed in the universal testing machine at the steel, V-shaped lower bearing element with spread angle of 170°. Lower bearing element was 300 mm-long, 140 mm-wide and had maximum height of 38 mm. The load was applied by the upper compression plate and spread by steel upper bearing element with length of 300 mm, height of 37 mm and width of 65 mm. Straps made of elastomeric material with a hardness of 50 IRHD were inserted between the pipe and both bearing elements.

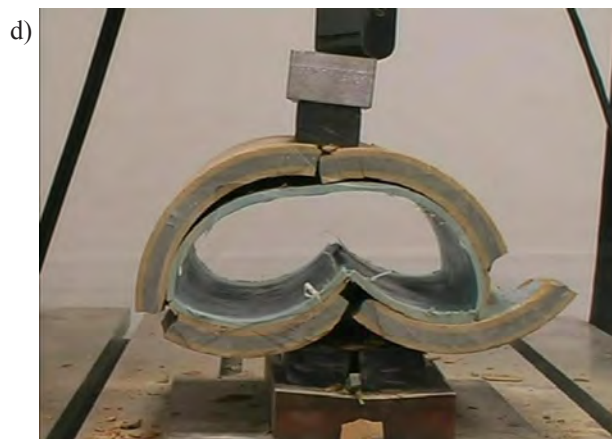
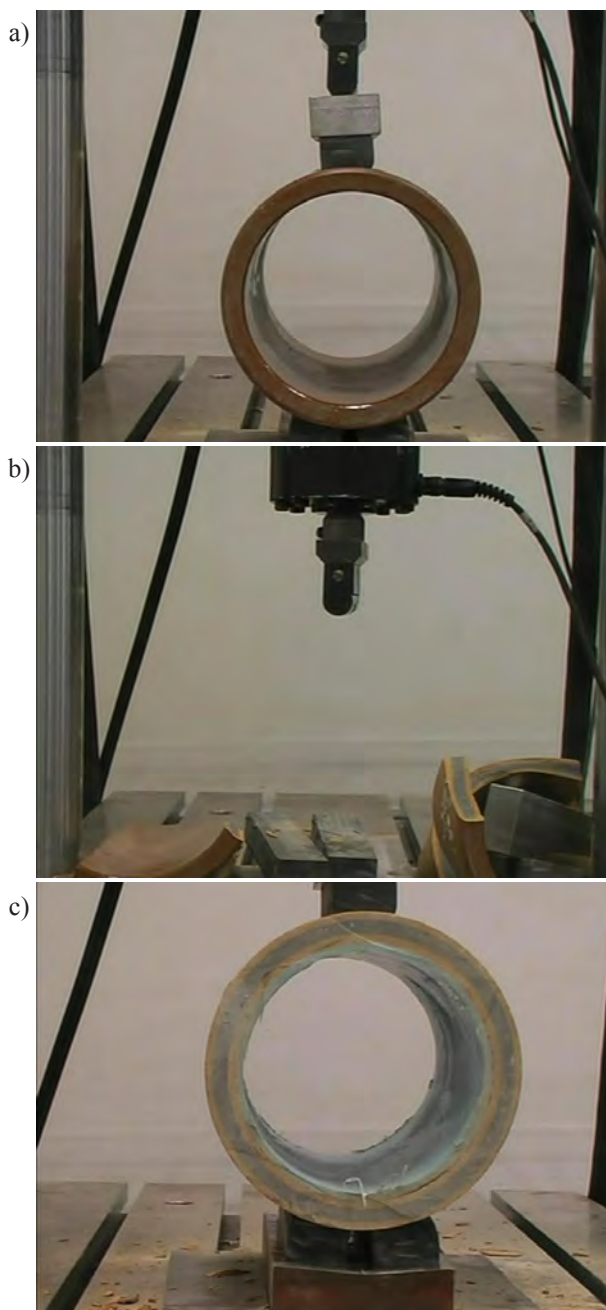


Fig. 4. Vitrified clay DN 200 pipe sample without liner: a) before test and b) after test. Vitrified clay DN 200 pipe sample with 4 mm thick liner: c) before test and d) after test [2]

Samples without liners were tested one or two times and samples with liners were tested four or six times. Samples made of vitrified clay pipes DN 200 without liner and with 6 mm-thick liner, before and after test end are shown in Figures 4a–4d.

During the test, the universal testing machine was recording the values of deformation and applied force every 0.01 seconds. Data were collected and stored in three-column table in DAT files on a computer connected to the machine. Figure 5 shows a graph that illustrates steady and slow force growth applied to the sample made of concrete and vitrified clay, both DN 200 and with 3 mm-thick liner. During the tests of concrete and clay pipes, deflections from about 6 to about 13 mm were observed. Those deflections were a result of deformation of elastomeric belts placed between the samples and bearing elements.

Samples made of PVC pipes with and without liners were tested in accordance with the standard PN-EN ISO 9969 “Thermoplastic pipes – Determination of ring stiffness”, and samples made of liner only were tested in accordance with the Standard PN-EN 1228 “Plastic piping systems – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes – Determination of initial specific ring stiffness”.

Samples made of PVC pipes and/or liners were placed in testing machine directly and symmetrically on the lower compression plate. The load was applied directly from the upper compression plate. Both compression plates were 100 cm long and wide.

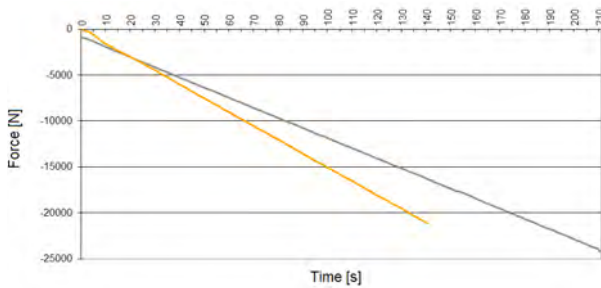


Fig. 5. Quasi-linear graphs showing load applied to the top of the concrete pipe (in gray) and vitrified clay pipe (in orange) in the function of time. Graphs are based on the data obtained during the tests

PVC pipe with and without liners were tested to compress the sample in three points at 120° spacing around the circumference by 3% of diameter and then release the test load. Force value was recorded at the moment of the maximum load and deformation of the sample. Force value was used to determine ring stiffness of the sample. Data summary for those tests in accordance with the standard PN-EN ISO 9969 are shown in Table 2.

Table 2. Data summary for PVC pipe tests in accordance with the Standard PN-EN ISO 9969

Pipe diameter, mm	3% deformation, mm	Speed of deformation, mm/min	Test time, s	Initial force, N
200	6.00	5	72	15.00
250	7.50	10	45	18.75
315	9.45	10	57	22.50

Liner test was to compress the sample in three points at 120° spacing around circumference by 3% of its diameter in 60 seconds. Then the compression plate was kept in position for 120 seconds. After 180 seconds from the test beginning and after relaxation effect, force interacting to the sample was recorded. Figure 6 shows a graph that illustrates organization of test.

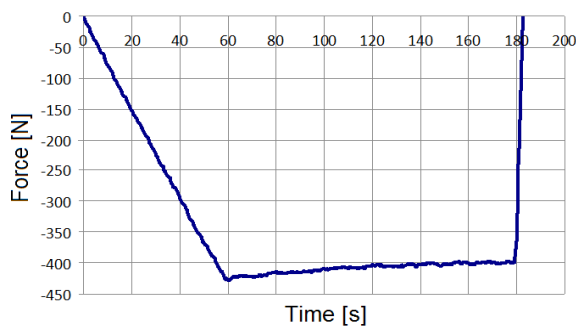


Fig. 6. Graph showing applied load in the function of time, generated during the test in accordance with the Standard PN-EN 1228

4. Load capacity tests results of concrete and vitrified clay pipes

After the test of the concrete pipes, the liners were still well adhered to the pipes in spite of the complete destruction of the samples. This is shown in Figure 7a (red arrows). Liner was still well adhered even if the pipe burst along the surface parallel to the inner wall of the pipe, which is also presented in Figure 7a (yellow arrow).

After the tests of the vitrified clay pipes and complete destruction of the samples, the liners were detached from the inner wall of the pipes for a substantial part of the circumference. This is shown in Figure 7b (red arrows).

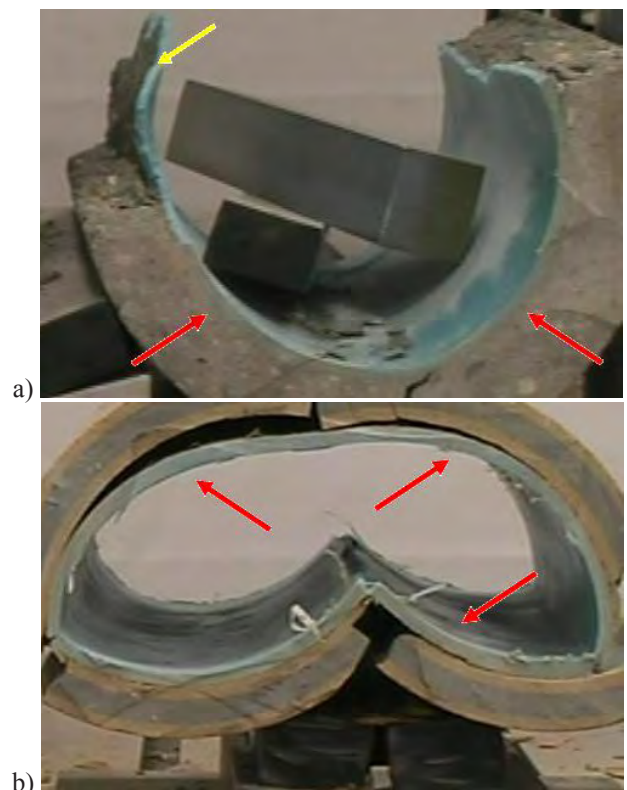


Fig. 7. Samples after the test made of a) concrete and b) vitrified clay, both with resin liners [2]

Figures 8a, 9a and 10a show the sample made of concrete DN 200 pipe with 6 mm-thick liner after the test and Figures 8b, 9b and 10b show the sample made of vitrified clay DN 200 pipe with 3 mm-thick liner also after the test. Those pictures show previously described good sticking effect between concrete pipes and epoxy liners. Liners were not stuck to the vitrified clay pipes so completely.

Figure 8 shows external surfaces of epoxy liners, from which parts of the pipes were detached. Figure 9 shows a close-up of those samples. For the liner installed in the concrete pipe, stuck pieces of concrete

are easily visible. Glued epoxy resin is visible at the part of detached concrete. Liner installed in vitrified clay pipe is nearly cleanly separated from the pipe. Between the liner and the pipe a small gap is visible.

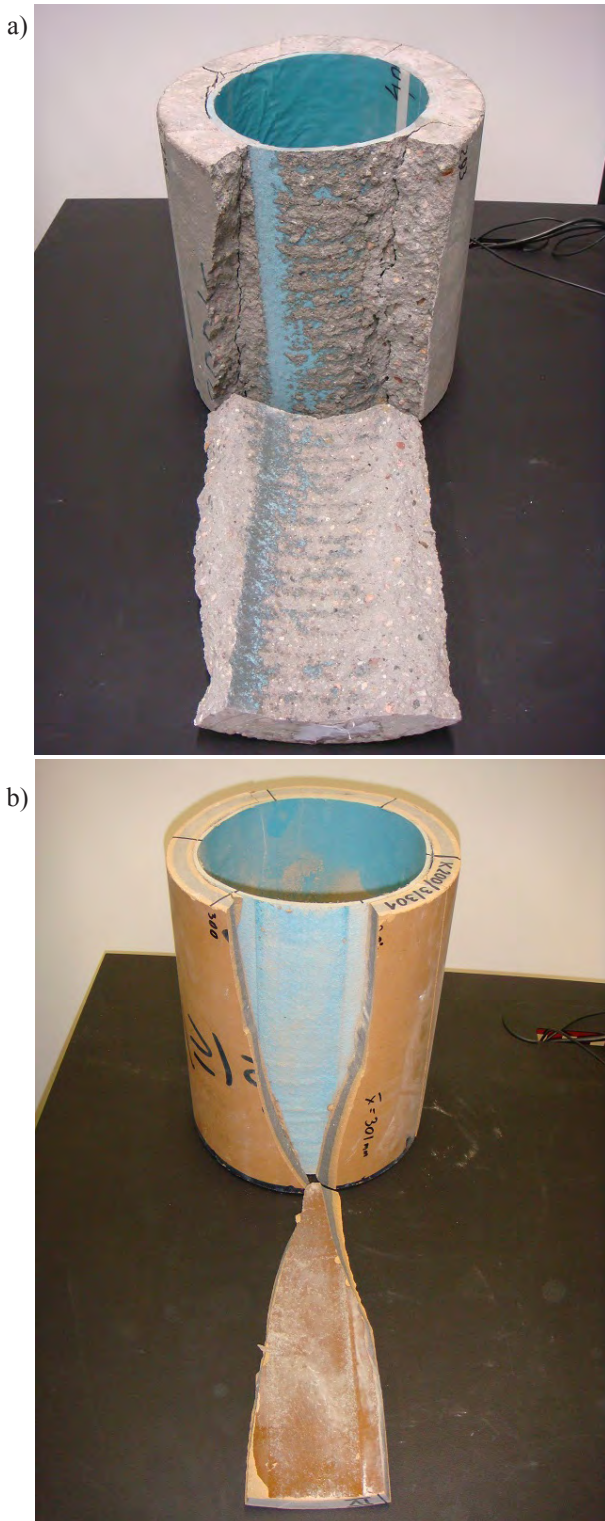


Fig. 8. Samples after the test: a) concrete pipe with liner and b) vitrified clay pipe with liner

Figure 10a shows concrete sample after the test. Epoxy resin is well joined with the concrete pipe at the boundary line. There is also a crack along the inner pipe wall – concrete pipe was burst but the liner did not separate from it. Figure 10b shows the gap between epoxy liner and vitrified clay pipe – it proves the weak bonding degree of these two elements.

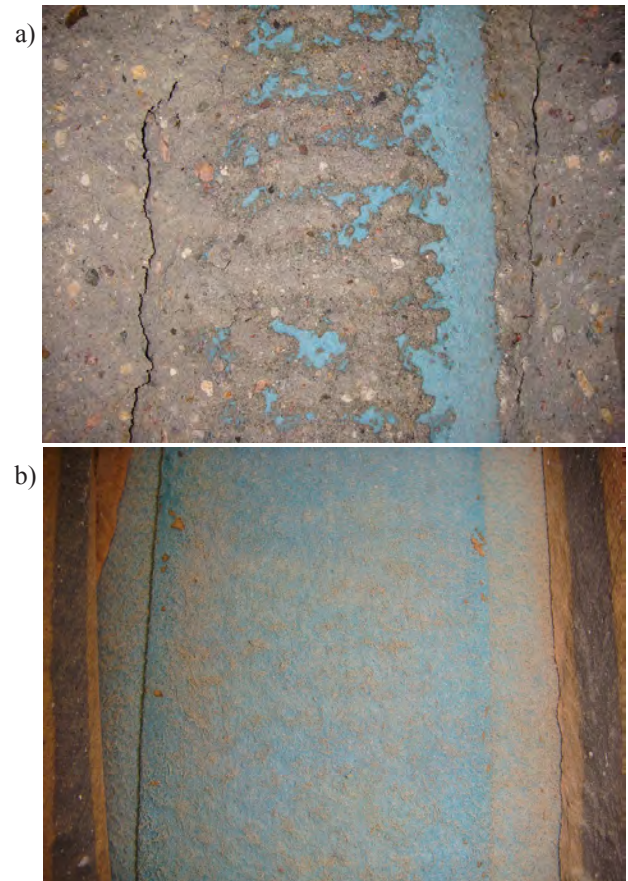


Fig. 9. Close-up of samples after the test: a) concrete pipe with liner and b) vitrified clay pipe with liner





Fig. 10. Samples after the test: a) concrete pipe with liner and b) vitrified clay pipe with liner

All data collected during the tests were used to make diagrams and tables showing the different load capacity growth level of concrete and vitrified clay pipes with liners compared to the pipes without liners. Table 3 and the left side of Figure 11 show data collected during the tests of eleven samples made of concrete DN 200 pipes. Data collected during the tests of thirteen samples made of vitrified clay DN 200 pipes is shown in Table 4 and on the right side of Figure 11. Summary of data collected during the tests of concrete pipes DN 300 and vitrified clay pipes DN 250 and DN 300 is presented in Table 5.

Table 3. Concrete DN 200 pipes research summary.

Sample number	Liner thickness	Destructive force	Load capacity	Load capacity growth compared to control group	Average load capacity growth for the group
	mm				
1	without liner	20020	66.73	–	–
2	3	37070	123.57	85.2%	79.9%
3		36340	122.77	84.0%	
4		33431	113.71	70.4%	
5	4	33784	112.61	68.8%	87,5%
6		38002	126.67	89.8%	
7		40421	136.10	103.9%	
8	6	40229	134.10	100.9%	93,5%
9		37329	124.43	86.5%	
10		38662	130.61	95.7%	
11		37060	127.35	90.8%	

Table 4. Vitrified clay DN 200 pipes research summary

Sample number	Liner thickness	Destructive force	Load capacity	Load capacity growth compared to control group	Average load capacity growth for the group
	mm				
12	without liner	20794	69.32	0	0
13	3	21320	71.07	2.5%	10.2%
14		25633	85.44	23.3%	
15		22559	76.21	9.9%	
16		21944	72.90	5.2%	
17	4	23322	77.74	12.2%	22.0%
18		27713	92.38	33.3%	
19		25411	84.42	21.8%	
20		25237	83.84	21.0%	
21	6	31204	104.01	50.1%	38.7%
22		30707	102.36	47.7%	
23		27840	95.02	37.1%	
24		27660	83.06	19.8%	

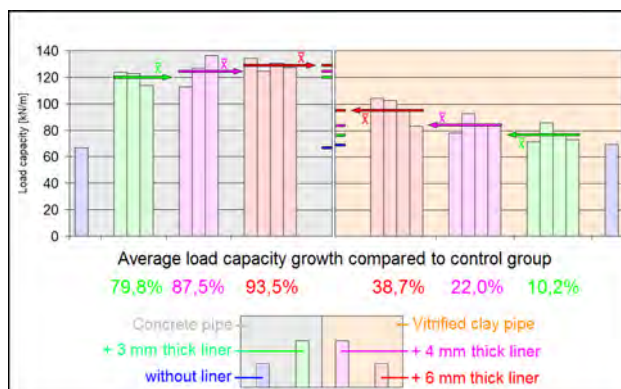


Fig. 11. Load capacities of concrete and vitrified clay DN 200 pipes with and without liners

Table 5. Average load capacity growth for the samples with liners compared to the samples without liners

Pipe DN/ liner thickness	Average load capacity growth of:	
	concrete pipes	vitrified clay pipes
mm	%	%
250/4	–	19.3
300/4	103.6	9.4

5. Ring stiffness tests results of PVC pipes and epoxy liners

Figure 12 shows the ring stiffness tests results of liners, PVC pipes and PVC pipes with liners. PVC pipes are marked in blue color and other colors represent different thicknesses of epoxy liners. Hatched bars show ring stiffness of PVC pipes with liners. It is clear that the ring stiffness of PVC pipes with liners is greater than total ring stiffness of PVC pipes and liners separately. The increased stiffness is from about 81% to over 128%.

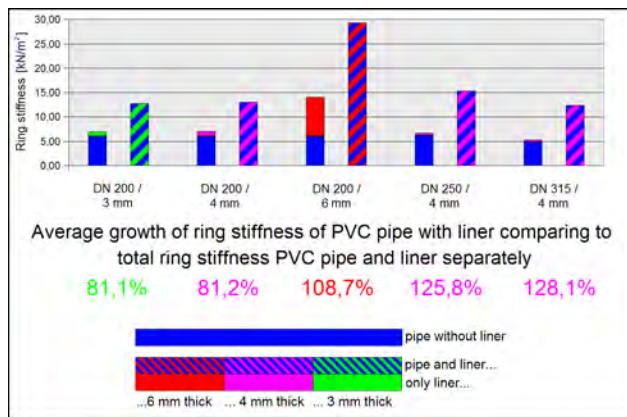


Fig. 12. Ring stiffness of liners, PVC pipes and PVC pipes with liners

Liner detachment from the pipe phenomenon was observed during the tests of PVC pipes with liners. It occurred with characteristic crack, during which the force applied to the tube sharply decreased. Figure 13 shows the graph obtained during this test. This phenomenon proves that adhesion level have big influence on ring stiffness growth.

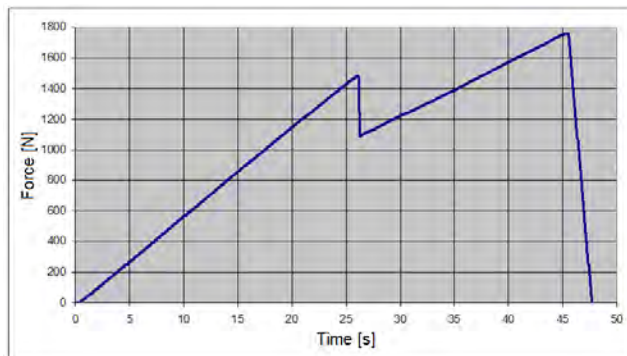


Fig. 13. Force applied to the PVC DN 200 pipe with 4 mm thick liner as a function of time. After about 26 seconds sharply decreased applied force is visible. It is caused by separation of liner from the PVC pipe

6. Conclusions

After installing CIPP liners there was a greater destructive force increase of concrete pipes than clay pipes although there was similar destructive force (load capacity) in both kinds of pipes without liners (see Figure 11). These observations partially support conclusions that liners reduce the strain of concrete pipes, thus loading capacity increases. Vitrified clay pipe and liner work separately or common work of those two elements is limited due to the glazing of the pipe. Because of that the strain of vitrified clay pipes is not reduced or it is reduced less than in concrete pipes.

Ring stiffness of PVC pipe with liner was greater than total ring stiffness of PVC pipe and liner separately. Additionally, the separation of the liner from the inner wall of the pipe causes a sharp decrease of the ring stiffness (see Figure 13). It proves that the liner stuck with PVC pipe has greater ring stiffness than total ring stiffness of PVC pipe and liner separately.

The analysis and its results confirm the hypothesis presented in the introduction that the pipe material and wall roughness should be considered during CIPP liner designing. In most popular CIPP liner design methods, the material of renewed pipe is not taken into consideration [3, 4]. This research can contribute to the correction of current design methods of CIPP liners. The tests performed (because of limited funds) are only an introduction to a full analysis, which should be done to further refine these correlations and to correct design methods. To broaden the analysis and strengthen conclusions, more tests should be done. Additional research should take into account many variations of CIPP technology, including different resin compositions, types and materials of tube and liner curing methods.

References

- [1] Kuliczkowski A. et al.: *Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska*. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2010, s. 405-466.
- [2] Dańczuk P.: *The results of concrete and vitrified clay pipes load capacity tests and the results of PVC pipes and CIPP liners ring stiffness tests*, 2008.
- [3] Kuliczkowski A.: *Rury kanalizacyjne, t. II, Projektowanie konstrukcji*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004, s. 392-456.
- [4] Kuliczkowski A., Kubicka U., Parka A.: *The comparative analysis of standards used in Poland for trenchless rehabilitation of sewage pipes and the problems in design of resin lines*, Tunnelling and Underground Space Technology (2010), No. 25, pp. 795-801.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the MC-Bauchemie for the preparation of the samples examined in the study presented in the article and Keramo Steinzeug N.V., P.V. Prefabet Kluczborok S.A. and Pipelife Polska S.A. for providing the pipes that were used to prepare the samples.

Andrzej Kuliczkowski
Kamil Mogielski

Wyniki badań laboratoryjnych przewodów kanalizacyjnych betonowych, kamionkowych i z PVC z powłokami CIPP

1. Wstęp

Jedną z najpopularniejszych technologii rehabilitacji rurociągów jest pokrywanie ich wewnętrznych powierzchni różnego rodzaju powłokami. Stosowana najczęściej w tym celu technologia CIPP, polega na wprowadzeniu do rury powłoki nasączonej żywicą poprzez jej wciąganie lub inwersję. Potem następuje jej dociśnięcie do ściany rury i utwardzenie za pomocą gorącej wody, pary wodnej lub promieni UV [1]. Grubość powłoki, rodzaj tkaniny oraz rodzaj stosowanej żywicy stanowią o sztywności utwardzonej powłoki.

W celu wyznaczenia minimalnej grubości powłoki żywicznej korzysta się najczęściej z następujących trzech wytycznych do projektowania:

- amerykańskiej: ASTM F 1216, Standard practice for rehabilitation of existing pipelines and conduits by the inversion and curing of a resin-impregnated tube, ASTM International Standard,
- duńskiej: Static calculations and dimensioning of the gravity sewer pipe renovation. Collective work developed by the Research Centre for Pipes Danish Technological Institute for trenchless Team No-Dig;
- niemieckiej: ATV-DVWK – M127P part 2, Static strength calculations for technical rehabilitation of sewer lines by introducing liners or using installation methods.

W celu doboru optymalnej grubości ściany powłoki należy ustalić stopień uszkodzenia rury oraz obciążenia na nią oddziałujące. Żadna z wymienionych

metod nie uwzględnia jednak czynników związanych z chropowatością ściany rury i stopniem przylegania do niej powłoki. Czynniki te mają istotny wpływ na wzrost nośności rur betonowych i kamionkowych oraz wzrost sztywności obwodowej rur z PVC, co zostało dowiedzione w dalszej części artykułu.

2. Przygotowanie próbek do badania

Łącznie zbadano nośność lub sztywność obwodową 76 próbek rur betonowych, kamionkowych i z PVC z powłokami o różnej grubości i bez powłok, a także wycinków powłok żywicznych o różnych grubościach i średnicach. Próbkę powłok żywicznych badane były trzykrotnie. Badania te zostały wykonane w Kielcach, w Katedrze Sieci i Instalacji Sanitarnych Politechniki Świętokrzyskiej.

Wszystkie badane próbki miały kształt kołowy bez stopki i – zgodnie z wytycznymi zawartymi normach PN-EN 1916 „Rury i kształtki z betonu niezbrojonego, betonu zbrojonego włóknem stalowym i żelbetowe” oraz PN-EN 295-3 „Rury i kształtki kamionkowe i ich połączenia w sieci drenażowej i kanalizacyjnej - Metody badań” – długość około 30 cm. W tabeli 1 zestawiono zakres badań, czyli parametry zbadanych próbek (średnicę wewnętrzną rury, materiał z jakiego wykonana jest próbka i grubość utwardzonej powłoki żywicznej).

Powłoki poliestrowe o średnicach zewnętrznych równych średnicom wewnętrznym rur i o odpowiednich grubościach (patrz tab. 1) zostały nasączone termoutwardzalną żywicą epoksydową w miejscu wykonywania próbek.

Następnie tkaniny nasączone żywicą zostały wprowadzone do ułożonych w szeregu rur betonowych,

kamionkowych i z PVC za pomocą bębna inwersyjnego, przy użyciu sprężonego powietrza. W następnej kolejności powłoki żywiczne zostały utwardzone za pomocą gorącej wody. Po odłączeniu urządzeń i ostudzeniu rur, zostały one pocięte na próbki o długości około 30 cm a nadmierna ilość utwardzonej powłoki żywicznej została usunięta. Na rysunku 1 pokazano stanowisko do przygotowania próbek badawczych.

3. Przebieg badań

Fragmety rur betonowych zostały zbadane zgodnie z normą PN-EN 1916. Badanie zostało wykonane na maszynach wytrzymałościowych firmy MTS i Zwick/Roell (rys. 2), będących w posiadaniu Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.

W celu przeprowadzenia badań zgodnie z normą PN-EN 1916 próbki układane były w maszynie wytrzymałościowej na wykonanym z duraluminium dolnym elemencie nośnym w kształcie litery V o kącie rozwarcia równym 150° . Dolny element nośny miał długość równą długości próbek (300 mm), szerokość 120 mm i wysokość maksymalną 40 mm. Obciążenie było przykładane od góry i równomiernie rozkładane za pomocą wykonanego ze stali górnego elementu podpierającego o długości 300 mm, wysokości 50 mm i szerokości 45 mm. Pomiędzy rurę a elementy górny i dolny wstawiono pasy wykonane z materiału elastomerowego o twardości 50 IRHD.

Z uwagi na często występujące rozbieżności między danymi producenta a danymi rzeczywistymi, zbadano również próbki bez zainstalowanej powłoki. Próbki te, nazwane grupą kontrolną, badane były w celu ustalenia nośności bazowej, która została użyta do porównania z nośnością próbek wzmocnionych powłokami. Jedną z tych próbek – betonowa o średnicy 300 mm – została pokazana na rysunku 3a (przed zniszczeniem) i 3b (po zniszczeniu). W przypadku próbek z zainstalowanymi powłokami badanie zostało wykonane czterokrotnie dla każdego rodzaju próbki. Fragment rury betonowej o średnicy 300 mm z zainstalowaną powłoką o grubości 4 mm został zaprezentowany na rysunku 3c (przed zniszczeniem) i 3d (po zniszczeniu).

Próbki rur wykonane z kamionki zostały zbadane zgodnie z wytycznymi znajdującymi się w normie PN-EN 295-3. Przed badaniem nie wykonano moczenia elementów.

W celu przeprowadzenia badań zgodnie z ww. normą badane próbki układane były w maszynach wytrzymałościowych firmy MTS i Zwick/Roell na wykonanym ze stali dolnym elemencie nośnym w kształcie litery V o kącie rozwarcia równym 170° .

Długość dolnego elementu nośnego miała długość próbek (300 mm), szerokość 140 mm i wysokość maksymalną 38 mm. Obciążenie było przykładane od góry i równomiernie rozkładane za pomocą wykonanego ze stali górnego elementu podpierającego o długości 250 mm, wysokości 37 mm i szerokości 65 mm. Pomiędzy rurę a elementy górny i dolny wstawiono pasy wykonane z materiału elastomerowego o twardości 50 w skali IRHD.

Próbki bez zainstalowanej powłoki badane były jedno- lub dwukrotnie a próbki z zainstalowanymi powłokami cztero- lub sześciokrotnie. Fragmenty rury kamionkowej DN 200 bez powłoki żywicznej i z powłoką o grubości 6 mm na początku badania i po jego zakończeniu zostały pokazane na rysunkach 4a – 4d.

Po rozpoczęciu badania maszyna wytrzymałościowa rejestrowała wartości odkształcenia i przyłożonej siły co 0,01 sekundy. Dane były zbierane i zapisywane w formie trójkolumnowej tabeli w formacie DAT na komputerze podłączonym do zgniatarki. Wykres przedstawiający jednostajny i powolny wzrost siły przykładanej do próbki betonowej i kamionkowej DN 200 z zainstalowanymi powłokami o grubości 3 mm został przedstawiony na rysunku 5. Podczas badań rur sztywnych odnotowano odkształcenia rzędu 6–13 mm. Ugięcia te były efektem odkształcania się pasów wykonanych z elastomeru umieszczonego między próbką a elementami podpierającymi.

Próbki rur z PVC z zainstalowanymi powłokami i bez powłok zostały zbadane zgodnie z normą PN-EN ISO 9969 „Rury z tworzywa termoplastycznych. Oznaczanie sztywności obwodowej”, natomiast same linery żywiczne zbadano zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w normie PN-EN 1228 „Rury z termoutwardzalnych tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem szklanym (GRP)”.

Tak jak w przypadku rur sztywnych próbki układane były w maszynach wytrzymałościowych firmy MTS i Zwick/Roell. Próbki układane były bezpośrednio na dolnej płycie ściskającej i z zachowaniem symetrii. Obciążenie było przykładane od góry i równomiernie rozkładane za pomocą górnej płyty ściskającej. Obie płyty ściskające miały wymiary 100 x 100 cm.

Badania wykonywane na próbkach rur z PVC i próbkach rur z PVC z zainstalowanymi w nich linerami żywicznymi polegały na uginaniu próbek w trzech punktach o 3% ich średnicy a następnie zwolnieniu obciążenia badawczego. Siła odczytywana była w momencie maksymalnego obciążenia i odkształcenia próbki. Na tej podstawie obliczono sztywność obwodową każdego z badanych odcinków

zur. Dane dotyczące badań zostały przedstawione w tabeli 3. Są one zgodne z normą PN-EN ISO 9969.

Badania wykonywane na samych linerach wykonywane były zgodnie z normą PN-EN 1228. Polegały one na przyłożeniu obciążenia powodującego odkształcenie względne (3% w ciągu 60 sekund) i utrzymaniu go przez 120 sekund. Siła odkształcająca próbkę odczytywana była w 180 sekundzie od rozpoczęcia badania, po wystąpieniu zjawiska relaksacji. Przykładowy wykres przedstawiający przebieg badania pokazano na rysunku 6.

4. Wyniki badań rur betonowych i kamionkowych

Po zakończeniu badania zaobserwowano, że w przypadku rur betonowych, mimo całkowitego zniszczenia próbek, powłoki żywiczne nadal dobrze przylegały do ich wewnętrznych powierzchni, co zostało pokazane na rysunku 7a (czerwone strzałki). Powłoka nie odrywała się także w przypadku pęknięcia próbki wzdłuż powierzchni stycznej do ścianki wewnętrznej próbki, co zostało również zaprezentowane na rysunku 7a (żółta strzałka).

W przypadku rur kamionkowych, po całkowitym zniszczeniu próbki zarejestrowano zjawisko odpajania się zewnętrznej powierzchni powłoki żywicznej od wewnętrznej powierzchni rury na znacznej części obwodu. Zostało to pokazane na rysunku 7b (czerwone strzałki).

Na rysunkach 8a, 9a i 10a pokazano próbkę betonową o średnicy 200 mm z powłoką o grubości 6 mm a na rysunkach 8b, 9b i 10b próbkę kamionkową o średnicy 200 mm z powłoką o grubości 3 mm. Widoczne jest wcześniej opisane zjawisko dobrego przyklejania się żywicy epoksydowej do powierzchni betonu. Powłoki przyklejały się do rur kamionkowych w mniejszym stopniu.

Na rysunku 8 widoczne są zewnętrzne powierzchnie powłok epoksydowych, od których częściowo zostały oderwane fragmenty rur. Na rysunku 9 znajdują się zbliżenia tych próbek. Na powłoce zainstalowanej w próbce betonowej widoczne są przyklejone resztki betonu. Na rysunku 9a widoczna jest również żywica epoksydowa, która ciągle przylega do wewnętrznej powierzchni rury betonowej. W przypadku próbek kamionkowych powierzchnia powłoki jest prawie czysta, a między powłoką a rurą widoczna jest niewielka szczelina.

Na rysunku 10a pokazano próbkę betonową po zniszczeniu. Na styku rury z powłoką epoksydową widoczny jest dobrze przylegający do żywicy beton. Zauważalne jest również pęknięcie wzdłuż

powierzchni stycznej do ścianki rury – rura betonowa pękła, ale powłoka nie oderwała się od niej. Na rysunku 10b dostrzec można szczelinę między rurą kamionkową a powłoką żywiczną – świadczy ona o słabym sklejeniu się tych dwóch elementów.

Na podstawie danych zebranych podczas badań opracowano tabelaryczne zestawienia i wykresy obrazujące w jak różnym stopniu wzrasta nośność próbek betonowych i kamionkowych po montażu w nich powłok epoksydowych. Tabela 3 i lewa strona rysunku 11 zawierają dane dotyczące jedenastu próbek betonowych o średnicy nominalnej 200 mm, natomiast tabela 4 i prawa strona rysunku 11 dotyczą trzynastu próbek rur kamionkowych o tej samej średnicy. Zestawienie danych uzyskanych podczas badania rur betonowych DN 300 i kamionkowych DN 250 i DN 300 zostały zaprezentowane w tabeli 5.

5. Wyniki badań rur z PVC

Na rysunku 12 podano wyniki badań sztywności obwodowej rur z PVC. Kolorem niebieskim oznaczono rury z PVC, inne kolory reprezentują powłoki żywiczne o różnych grubościach. Słupki kreskowane pokazują wartości sztywności obwodowych rur z powłokami żywicznymi. Widoczne jest, że nośność rury PVC z zainstalowaną powłoką przewyższa nośność rury PVC i powłoki oddzielnie. Wzrost ten wynosi w przypadku badanych próbek od około 81% do ponad 128%.

Podczas badania części próbek obserwowano zjawisko odrywania się powłoki od ścianki wewnętrznej rury. Objawiało się ono charakterystycznym trząśnięciem, podczas którego siła przyłożona do rury z powłoką gwałtownie spadała. Wykres uzyskany podczas jednego z takich badań został przedstawiony na rysunku 13. Zjawisko to potwierdza wpływ stopnia przylegania powłoki do rury na wzrost sztywności obwodowej.

6. Wnioski

Badania wytrzymałości na zgniatanie rur betonowych i kamionkowych z wewnętrznymi linerami żywicznymi wykazały, że rury betonowe mają większą wytrzymałość na zgniatanie mimo, że siły niszczące obu rodzajów rur bez powłok były zbliżone (rys. 11). Na podstawie tych obserwacji można częściowo założyć, że liner ogranicza odkształcenia betonu w wierzchołku i dnie rury, przez co jej nośność wzrasta. W przypadku szklonych rur kamionkowych oba te elementy pracują oddzielnie lub ich współpraca jest ograniczona, przez co nie dochodzi do ograni-

czenia odkształceń lub występuje ono w mniejszym zakresie niż w rurach betonowych.

W przypadku rur z PVC zaobserwowano, że sztywność obwodowa rury i powłoki jest większa od sumy sztywności obwodowych rury i powłoki badanych oddzielnie. Dodatkowo oderwanie się powłoki od ścianki wewnętrznej rury powoduje nagły spadek wartości sztywności obwodowej (rys. 13). Jest to dowód na to, że układ rura – powłoka ma większą sztywność obwodową od tych dwóch powłok pracujących oddzielnie.

Przedstawiona analiza i jej wyniki dają podstawę do przedstawionego we wstępie twierdzenia, iż materiał rurociągu macierzystego powinien być uwzględniany podczas dobierania grubości powłoki żywicznej. Czynniki te nie jest brany pod uwagę w najczęściej stosowanych metodach projektowania powłok typu CIPP [3, 4]. Prowadzone badania mogą przyczynić się do ich korekty. Ze względu na ograniczone środki finansowe zrealizowano badania będące jedynie wstępem do analizy, którą należy wykonać celem dokładnego opisanie tych zjawisk i korekty stosowanych metod obliczeniowych. W celu wyciągnięcia dalej idących wniosków należy przeprowadzić więcej badań, podczas których uwzględnić powinno się fakt, że technologia CIPP stosowana jest w bardzo wielu wariantach, różniących się m.in. składem żywicy, rodzajem tkaniny czy sposobem utwardzenia linera.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy artykułu pragną podziękować firmie MC-Bauchemie za przygotowanie próbek do badań, których wyniki zostały zaprezentowane w niniejszym artykule oraz firmom Keramo Steinzeug N.V., P.V. Prefabet Kluczbork S.A. i Pipelife Polska S.A. za dostarczenie rur, które zostały użyte do wykonania próbek.