

Skrzyżowania przewodów kanalizacyjnych z przeszkodami

Sewer ductwork crossings with obstacles

ALEKSANDRA MOKRZYCKA-OLEK

DOI 10.36119/15.2021.5.6

W niniejszej pracy zostały przedstawione zagadnienia związane z rozwiązaniami skrzyżowań przewodów kanalizacyjnych z istniejącymi już przeszkodami (m. in. rzeki, rowy, kanały, sieci kanalizacyjne). Wybór stosownego rozwiązania często sprowadza się do konieczności uwzględnienia wielu różnych czynników m. in. różnicy poziomów pomiędzy kanałem, a rzędną dna przeszkody oraz względów ekonomicznych. Wybrany i omówiony został także ogólny tok postępowania przy przeprowadzaniu obliczeń hydraulicznych syfonów.

Słowa kluczowe: skrzyżowania przewodów kanalizacyjnych z przeszkodami, syfon, akwedukt, sieć kanalizacyjna.

This paper presents the solutions for crossing of sewer ductwork with pre-existing obstacles (like rivers, ditches, canals, sewer networks). The selection of an optimum solution usually requires consideration of various criteria, which may include the vertical drop between the sewer ducts and the elevation datum of the obstacle to be crossed, and profitability considerations of the solution. A general practice for design calculations of hydraulic siphon crossings is selected and discussed.

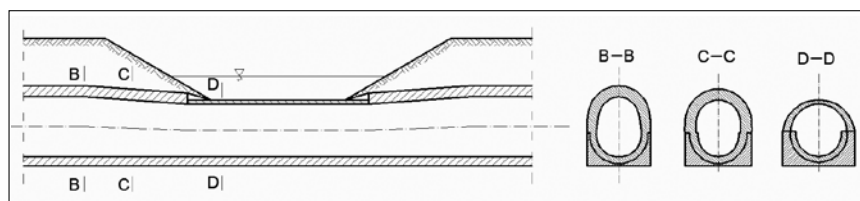
Keywords: sewer ductwork crossings with obstacles; siphon crossing; aqueduct; sewer network.

Wprowadzenie.

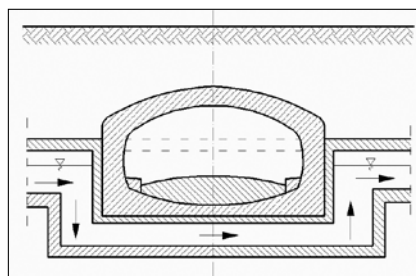
Przy projektowaniu oraz budowie sieci kanalizacyjnej czasami kanał ściekowy krzyżuje się z różnego rodzaju przeszkodami (mogą być to m. in. przewody podziemne – magistrale wodociągowe i ciepłownicze, a także: rzeki, rowy, linie kolejowe, kanały, zagłębienia terenu). Należy to zagadnienie rozwiązać zarówno pod względem konstrukcyjnym jak i technologicznym. W zależności od ukształtowania terenu kanały mogą przechodzić nad trasami obiektów lub pod nimi.

W przypadku tego typu skrzyżowań istnieją dwa możliwe stosowane rozwiązania:

- przy prowadzeniu kanału pod przeszkodą [rys.2]:
 - wykonanie przejścia syfonowego w przypadku, gdy kanał całym swoim przekrojem wchodzi w konstrukcję kolidującego obiektu,
 - dokonanie obniżenia przekroju kanału przy zachowaniu spadku dna kanału oraz prędkości w kanale możliwie bez zmiany – w przypadku gdy kanał swą górną częścią wchodzi w konstrukcję obiektu [rys. 1],
 - wykonanie przykrycia kanału, bez zmiany jego kształtu oraz wymiarów



Rys. 1
Schemat przejścia [2]
Fig. 1 Siphon crossing layout [2]



Rys. 2
Skrzyżowanie kolektora z tunelem drogowym. Przejście syfonowe kolektora pod tunelem [2]
Fig. 2 Crossing of a sewer main pipe with a road tunnel; the siphon crossing of the main pipe under the tunnel [2]

- przekroju zabezpieczonego np. płaszczem żelbetowym,
- przy prowadzeniu kanału nad przeszkodą – wykonanie akweduktu [rys. 3].

Najbardziej powszechnym rozwiązaniem do przeprowadzenia cieczy pod przeszkodą jest syfon. Dużą zaletą tej budowli jest możliwość stosowania przy dowolnej różnicy poziomów wody w zbiornikach [1]. Syfony działają jak zwykłe przewody pod ciśnieniem [5]. Muszą być zatem wykonane szczelnie (w praktyce najczęściej stosuje się rury stalowe, żelbetowe lub żeliwne, w przypadku niestrategicznych obiektów także z tworzyw sztucznych).

Przewody syfonowe mogą być prowadzone w specjalnych galeriach rewizyjnych. Przy dużych przekrojach i długościach syfonów oraz tam gdzie nie można zapewnić odpływu grawitacyjnego, należy przewidzieć możliwość opróżniania syfonu ze ścieków. Przy braku możliwości wyrównania różnic w przepływach przez

syfon, wskazane jest wykonanie kilku równoległych przewodów syfonowych (m. in. w przypadku stosowania na sieci deszczowej lub ogólnospławnej bez przelewów). Włączane są one stopniowo w miarę zwiększania się przepływów, natomiast w specjalnych komorach wlotowych następuje rozdział ścieków. Stosowanie kilku przewodów syfonowych pozwala także zachować ciągłość pracy syfonu w przypadku przeglądu, remontu bądź awarii jednego z nich.

Niestety jedną z wad syfonów jest przede wszystkim utrudniony dostęp w celu przeprowadzenia kontroli i napraw, wadą jest także konieczność głębokiego układania przewodów (np. ze względu na możliwe rozmycie dna przekraczanej rzeki). Istnieje także większe ryzyko wzrostu wartości strat hydraulicznych i trudności uzyskania odpowiedniego przepływu ścieków przy wlocie do studni.

Gdy różnica między rzędną dna kanału i przeszkodą jest duża oraz w przypadku gdy przeszkoda jest położona nisko, wówczas bardziej celowe jest zastosowanie akweduktów. Mogą być to zarówno niewielkie rynny jak i duże mosty nad przeszkodą. Ich zadaniem jest jednakowe: transport ścieków nad przeszkodą. Średnia prędkość przepływu ścieków w kanale akweduktu powinna być większa niż w kanale poza akweduktem, tak aby nie powstawały osady. Zaletą akweduktu jest łatwy dostęp do budowli, który umożliwia swobodną konserwację i naprawę oraz wykorzystanie tej budowli jako kładki dla pieszych. Istnieje także możliwość podwieszenia kanału pod istniejącym już mostem (wiaduktem). W praktyce jednak takie rozwiązanie nie jest obecnie stosowane.

Stosowane rozwiązania konstrukcyjne

Typowa konstrukcja syfonu składa się z trzech głównych części: pierwsza z nich to komora wlotowa, dalej część środkowa i komora wylotowa [rys. 3, 4]. Komory, to najczęściej pionowe studnie, które buduje się z obniżonym dnem. Przejście syfonu pod rzeką przedstawiono na rys. 3.

Położenie wlotu i wylotu syfonu uza-

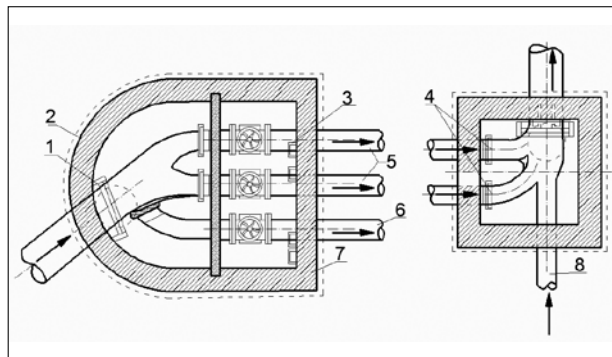
leżnione jest od wysokości położenia zwierciadła ścieków i dna w kanałach doprowadzającym i odprowadzającym. Zagłębienie górnej krawędzi wlotu pod zwierciadłem wody powinno zapewnić pracę syfonu bez zaburzeń.

Przy skrzyżowaniu kanału ściekowego

kroju kołowego na przekrój półkołowy w celu minimalizacji jego wysokości, o ile istnieją rezerwy przepustowości.

Przy skrzyżowaniu z dużym kanałem deszczowym kanał ściekowy o małej średnicy przechodzi w ostonie rur stalowych bez zmiany swego kierunku, natomiast

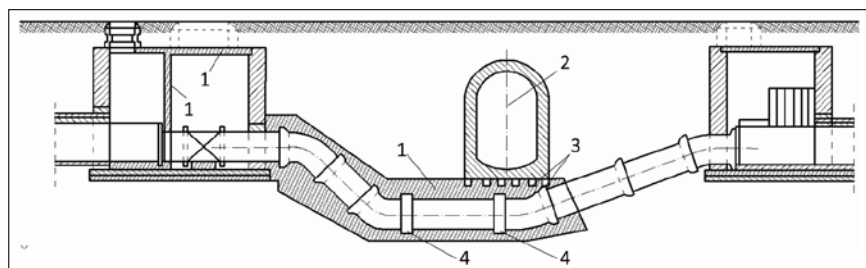
Rys. 4
Komory syfonu: 1 – zdejmowana płyta metalowa, 2 – beton, 3 – stopnie włazowe, 4 – zasuwka, 5 – syfon, 6 – przewód awaryjny, 7 – mur z cegły, 8 – kanał [7]
Fig. 4 Siphon crossing chambers: 1 – Removable metal cover; 2 – Concrete; 3 – Man-hole steps; 4 – Gate valve; 5 – Siphon assembly; 6 – Emergency overflow tube; 7 – Masonry wall; 8 – Sewer duct [7]



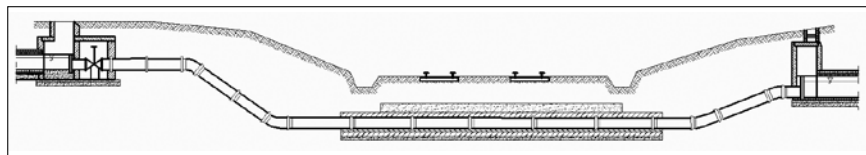
z kanałem deszczowym na różnych poziomach należy dążyć do tego, by wyeliminować wpływ nacisku jednego kanału na drugi, natomiast przy jednym poziomie skrzyżowania [rys. 5] przewidzieć należy spad na jednym ciągu, w taki sposób by ominąć drugi. Biorąc pod uwagę to, że w przewodzie kanalizacyjnym występuje stały przepływ ścieków, na niewielkim odcinku istnieje możliwość zmiany prze-

kanał deszczowy w tym miejscu może ulec poszerzeniu.

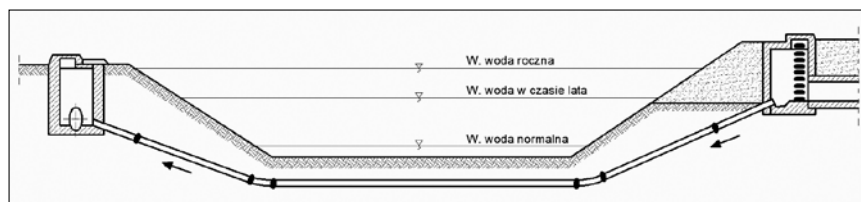
Do budowy skrzyżowań przewodów kanalizacyjnych np. z torami kolejowymi wykorzystuje się przejścia syfonowe budowane w wykopie. Tego typu rozwiązania zabezpieczają ciągłość komunikacji i chronią tory przed koniecznością zrywania ich w przypadku uszkodzenia przewodów. Ważne jest, aby przewody były zabezpie-



Rys. 5
Schemat syfonu pod kanałem deszczowym: 1 – beton, 2 – oś kanału deszczowego, 3 – ruszt pod kanałem deszczowym, 4 – nasuwki stalowe [6]
Fig. 5 Layout of a siphon crossing under a storm sewer: 1 – Concrete; 2 – Storm sewer duct centreline; 3 – Grating under the storm sewer; 4 – Steel couplings [6]



Rys. 6
Syfonowe przejście pod torami kolejowymi [6]
Fig. 6 Siphon crossing under a railway track [6]



Rys. 3
Schemat przejścia syfonu pod rzeką [2]
Fig. 3 Layout of a siphon crossing under a river [2]

czony od dynamicznych obciążeń komunikacyjnych, a także by umieszczać je w miejscach z jak najmniejszą liczbą torów prostopadle do ich kierunku [rys. 6].

Zastosowanie w Polsce rozwiązań technicznych związanych z metodą tarczową wykorzystano przy budowie układu przesyłowego ścieków do oczyszczalni "Czajka" w Warszawie [rys. 7]. Tunel, któ-

rego konstrukcję stanowią żelbetowe tubingi [rys. 8] wykonano przy użyciu tarczy TBM [rys. 9]. Podstawowym elementem syfonu jest układ dwóch przewodów wykonanych z rur stalowych i rur z materiału CC-GRP [rys. 10]. Począwszy od komory startowej (początek syfonu), do wejścia przewodów do tunelu przewody wykonano jako stalowe. Dalej, na odcinku ok. 1300 m, z rur CC-GRP o średnicy 1600 mm. Ścieralną wewnętrzną warstwę tych rur wykonano z żywicy o podwójnej grubości warstwy. Na odcinku łączącym komorę rozprężną z komorą połączeniową wykonano przewód z rur CC-GRP do mikrotunelowania o średnicy 2600 mm. Założono, że ilość ścieków i wód deszczowych przesyłanych syfonem może wynosić 4,25 m³/s dla jednego przewodu, co oznacza maksymalne godzinowe natężenie przepływu podczas opadów na poziomie 5,425 m³/s.

Awarie układu przesyłowego ścieków do oczyszczalni "Czajka" zdarzyły się w latach 2019 i 2020. W artykule [4] pro-



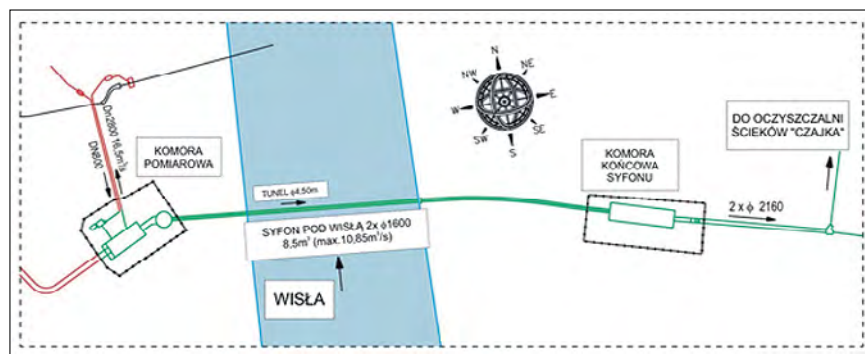
Rys. 9 Pierwsza w Polsce tarcza TBM firmy Herrenknecht (źródło: <http://inzynerbudownictwa.pl>)
Fig. 9 The first TBM shield built Herrenknecht in operation in Poland (source: <http://inzynerbudownictwa.pl>)

fesor Kulczkowski przedstawił informacje dotyczące opinii opracowanej w roku 2006 przez Politechnikę Świętokrzyską w sprawie wstępnej oceny syfonu „Czajka” pod Wisłą.

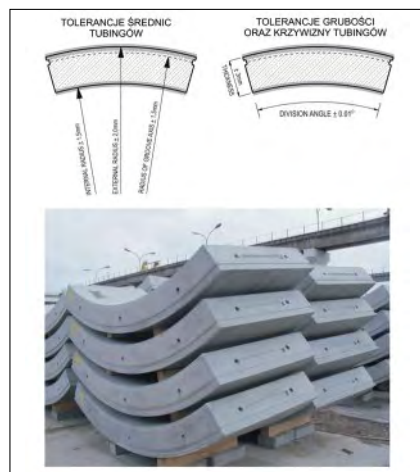
Innym przykładem syfonu wybudowanego w 1986 r. przy użyciu tarcz TBM jest syfon w Hamburgu pod rzeką Elbą łączący oczyszczalnię ścieków Köhlbrandhöft z oczyszczalnią ścieków Dradenau.



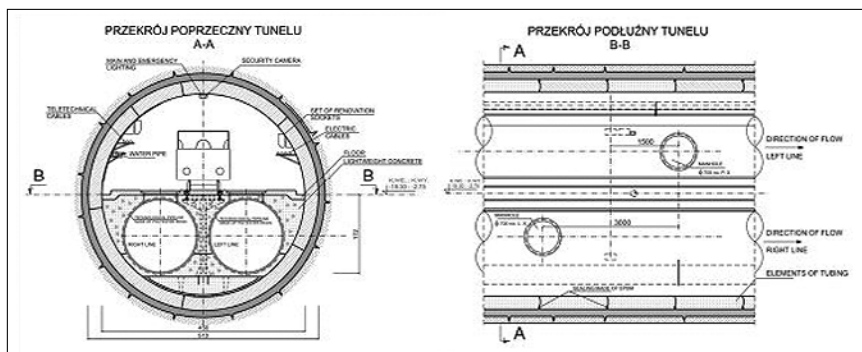
Rys. 11 Oczyszczalnia ścieków Köhlbrandhöft w Hamburgu (źródła: <https://www.hamburg.de>; <https://www.luftbildsuche.de>)
Fig. 11 Köhlbrandhöft sewage treatment plant in Hamburg (source: <https://www.hamburg.de>; <https://www.luftbildsuche.de>)



Rys. 7 Schemat lokalizacji syfonu z kolektorami doprowadzającymi i odprowadzającymi ścieki (źródło: <http://inzynerbudownictwa.pl>)
Fig. 7 Location plan of the siphon crossing with sewer inlet and outlet main pipes (source: <http://inzynerbudownictwa.pl>)



Rys. 8 Tubingi wykorzystane do budowy tunelu pod Wisłą w Warszawie źródło: <http://inzynerbudownictwa.pl>)
Fig. 8 TBM tubing used for the construction of the tunnel under the Vistula in Warsaw (source: <http://inzynerbudownictwa.pl>)



Rys. 10 Przekroje: poprzeczny i podłużny tunelu (źródło: <http://inzynerbudownictwa.pl>)
Fig. 10 Longitudinal and transverse sections of the tunnel (source: <http://inzynerbudownictwa.pl>)

W swoim artykule [3] dr inż. Andrzej Kolonko opisał budowę tego przewodu. Średnica wynosi 3,2 m, natomiast jego długość 2227 m. Cała konstrukcja tunelu wykonana jest z żelbetu, we wnętrzu której utworzono dodatkowo powłokę żelbetową

o grubości 30 cm. Pojedynczy pierścień o szerokości 1,2 m stanowi 5 tubingów. Elementami łączącymi poszczególne pierścienie są śruby, natomiast specjalne uszczelki pęczniące zapewniają odpowiednią szczelność tej budowli. Do tej pory opisywana konstrukcja tunelu wraz z przewodem syfonowym działa bezawaryjnie. Widok oczyszczalni ścieków Köhlbrandhöft w Hamburgu przedstawiono na rysunku 11.

Obliczenia hydrauliczne syfonu

Obliczenia hydrauliczne syfonów prowadzą się w większości przypadków do

liczba przewodów. W przypadku, gdy syfon składa się z kilku równoległych przewodów, w obliczeniach każdy przewód uwzględnia się oddzielnie.

Przy stałej pracy syfonu stosować należy dwa lub więcej przewodów w celu możliwości odwodnienia, oczyszczenia lub przeprowadzenia napraw jednego z przewodów bez zakłóceń pracy pozostałych.

Wysokość strat h_{str} uwzględnia sumę strat lokalnych i na długości.

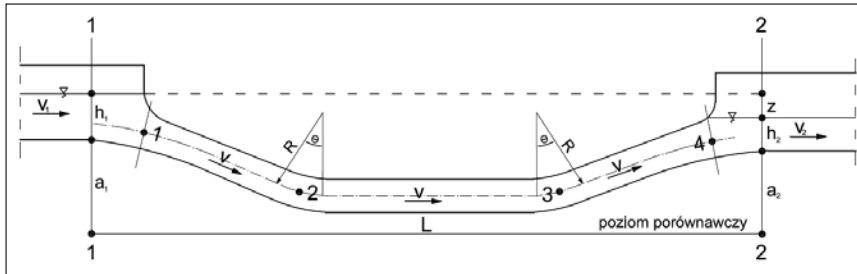
- Oznaczając odpowiednio:
- ξ_1 – współczynnik strat na wlocie,
 - ξ_2 – współczynnik strat na kręcie, (ξ_3^I), (ξ_3^II) – współczynniki strat na załamaniu i łuku przewodu,
 - ξ_4 – współczynnik strat na długości syfonu,
 - ξ_5 – współczynnik strat na wylocie,

gdzie:

- Q – objętość przepływu [m^3/s],
- A – pole przekroju syfonu [m^2],
- z – różnica poziomów zwierciadła wody w kanale doprowadzającym i odprowadzającym [m],
- μ – współczynnik wydatku.

skąd możemy wyznaczyć szukaną wartość średnicy syfonu [5]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4Q}{\mu\pi\sqrt{2g\Delta h_{str}}}} \quad (7)$$



Rys.12
Schemat obliczeniowy syfonu
Fig.12 Siphon crossing design diagram

Zgodnie z powyższym schematem obliczeniowym [rys. 12] obliczenia hydrauliczne syfonów należy przeprowadzać w podobny sposób jak dla przewodów pod ciśnieniem [4]. Przy syfonach grawitacyjnych zakłada się, że założona różnica poziomów ścieków na wlocie i wylocie z syfonu powoduje ich przepływ przez syfon.

Punktem wyjścia do obliczeń jest równanie Bernoulliego [1], [8]:

$$a_1 + h_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = a_2 + h_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_{str} \quad (1)$$

gdzie:

- v_1, v_2 – prędkość dopływającej i odpływającej wody [m/s],
- h_1, h_2 – napełnienie kanału wlotowego w przekroju 1-1 i wylotowego w przekroju 2-2 [m],
- a_1, a_2 – położenie dna kanału względem poziomu porównawczego w przekroju 1-1 i 2-2 [m],
- h_{str} – suma wysokości strat hydraulicznych ($\xi_1, \xi_2, (\xi_3^I), (\xi_3^II), \xi_4, \xi_5$) [m],
- g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2].

Przyjmując, że spadek i przekrój kanału wlotowego i wylotowego są takie same ($h_1 = h_2; v_1 = v_2; \alpha v_1^2/2g = \alpha v_2^2/2g$), z równania (1) otrzymujemy:

$$z = h_{str}$$

v – prędkość przepływu wody w syfonie mamy:

$$h_{str} = \frac{(\xi_1 + \xi_2 + 2\xi_3 + \xi_4 + \xi_5)(\alpha v^2)}{2g} \quad (2)$$

Po przekształceniu wzoru (1) otrzymujemy:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\xi_1 + \xi_2 + 2\xi_3 + \xi_4 + \xi_5}} \sqrt{2gz} \quad (3)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\sum \xi}} \sqrt{2gz} \quad (4)$$

Przyjmując współczynnik wydatku:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\sum \xi}}$$

dalej prędkość jest równa:

$$v = \mu \sqrt{2gz} \quad (5)$$

Korzystając z ogólnego wzoru na objętość przepływu:

$$Q = A \cdot v$$

po podstawieniu otrzymujemy:

$$Q = A \cdot \mu \cdot \sqrt{2gz} \quad (6)$$

Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono różne rozwiązania problemów kolizji projektowanych kanałów z istniejącymi przeszkodami. Przy wyborze trasy syfonu należy uwzględnić to, aby kierunek ułożenia tych budowli był zbliżony do prostokątnego oraz by ich długość, a także głębokość posadobienia były możliwie jak najmniejsze. Należy również pamiętać o tym, aby brzozy i dno rzeki w miejscu omawianych skrzyżowań były zabezpieczone przed rozmywaniem.

LITERATURA

- [1] Bednarczyk T.: Skrypty dla Szkół Wyższych, Budownictwo wodno – melioracyjne. Syfony, Kraków 1987 r.
- [2] Błaszczak W., Stomatello H.: Budowa miejskich sieci kanalizacyjnych, Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 1975 r.
- [3] Kolonko A.: Nie tylko Czajka – przerzut ścieków żelbetowym syfonem tunelowym pod Elbą w Hamburgu, Instal 11/2020, str. 47 – 49.
- [4] Kuliczkowski A.: Informacja dotycząca opinii Politechniki Świętokrzyskiej w sprawie oceny wstępnej koncepcji syfonu „Czajka” pod Wisłą opracowanej w roku 2006. Instal 11/2020, str. 50 – 51.
- [5] Radlicz – Rühlowa H., A. Szuster A.: Hydrologia i hydraulika z elementami hydrogeologii, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1992 r.
- [6] Sobota J.: Hydraulika i hydrologia, Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 2004 r.
- [7] Szyszkin Z. N., Karelin J. A., Kołobanow S. K., Jakowlew S. W., Zak G. Ł.: Kanalizacja Wydawnictwo Budownictwo i Architektura, Warszawa
- [8] Szuster A., Utrysko B., hydraulika i podstawy hydromechaniki, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1992 r.
- [9] Wóycicki K., Kanalizacje, Warszawa Budownictwo i Architektura, Warszawa 1955 r.