

doc. dr hab. inż. Janusz Jeżowiecki

Instytut Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Ciepłych
Politechniki Wrocławskiej

PRZEPŁYW ŚCIEKÓW W PIONACH KANALIZACYJNYCH W ŚWIEŁE NAJNOWSZYCH BADAŃ

Przepływy w pionach wewnętrznych sieci kanalizacyjnych są ciągle zbyt mało rozpoznane i niedostatecznie opisane dla praktyki. Głównym tego powodem jest występowanie w nich współzależnych bardzo złożonych zjawisk przepływu ścieków i powietrza. Ścieki, przepływając zmieniającym się wzdłuż wysokości pionu niepełnym przekrojem rury wywołują jednocześnie przemieszczanie się powietrza. Przepływ tej mieszaniny powoduje zmiany ciśnienia w pionie w granicach od kilkudziesięciu mm H_2O podciśnienia do tego samego rzędu nadciśnienia. Te zmiany ciśnienia są zdecydowanie niepożądane, gdyż w ich wyniku zostaje albo wyszana woda z zamknięć wodnych (syfonów) w przyborach kanalizacyjnych, albo też — przy nadciśnieniu w pionie — występuje tzw. przebicie zamknięcia wodnego (czyli wyrzucenie wody do wnętrza przyboru). W jednym i drugim przypadku gazy kanałowe wydostają się do pomieszczeń użytkowanych przez ludzi.

Wymienione zjawiska doczekały się w ostatnich latach znaczących badań doświadczalnych, które przeprowadzono między innymi w Belgii, RFN, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii, ZSRR oraz w Polsce. Na ich podstawie opracowano odpowiednie zależności matematyczne, służące do wymiarowania pionów i określania zasad włączania do nich podejść kanalizacyjnych. W pracy dokonano przeglądu wyników tych badań oraz wyciągnięto wnioski praktyczne, w aspekcie koniecznych zmian, niektórych zasad projektowania instalacji kanalizacyjnych.

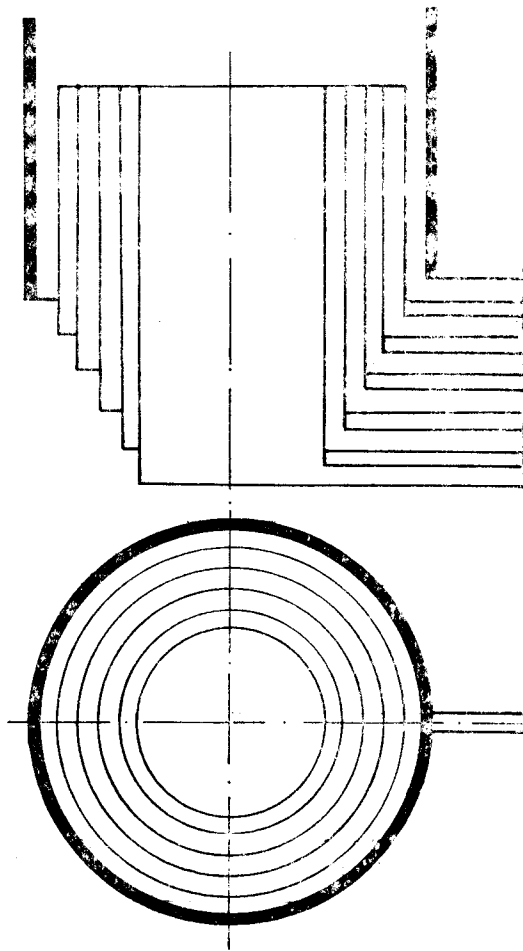
Przegląd stanu badań

Przepływ ścieków w pionach kanalizacyjnych został po raz pierwszy opisany przez Svešnikova [9]. Bez przeprowadzania własnych badań podał on hipotetyczną teorię ruchu ścieków w pionach, która nie została jednak potwierdzona późniejszymi wiarygodnymi badaniami doświadczalnymi. Zanim to jednak nastąpiło teoria Svešnikova wpłynęła na niektóre wymagania przepisów w zakresie projektowania i wykonywania instalacji kanalizacyjnych [10]. Przepisy te wprowadziły obowiązek montowania w pionach co 5 kondygnacji odsadzek, w celu zmniejszenia energii kinetycznej spadających ścieków.

Najnowsze, zakrojone na dość dużą skalę, kompleksowe badania przepływu ścieków w pionach przeprowadzono w Szwajcarii [8] i Związku Radzieckim [1].

W Bernie zbudowano do badań pionów kanalizacyjnych specjalną wieżę, pozorującą budy-

nek 10-kondygnacyjny. W pierwszej kolejności podjęto zadanie zbadania rozkładu przepływających ścieków w poprzecznym przekroju pionu. W tym celu podnoże eksperymentalnego pionu o średnicy 100 mm wyposażono w zestaw pierścieniowych komór blaszanych (rys. 1);



Rys. 1 Zestaw pierścieni do pomiaru rozkładu przepływających ścieków w poprzecznym przekroju pionu

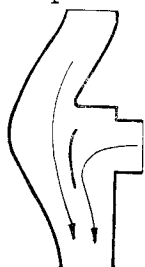
każda komora miała własny przewód odprowadzający wodę i umożliwiający pomiar jej natężenia przepływu.

W wyniku tych badań ustalono, że przy natężeniu do ok. $0,55 \text{ dm}^3/\text{s}$ ścieki płynęły tylko warstwą przyścienną o grubości do 5 mm. Przy strumieniu $1,15 \text{ dm}^3/\text{s}$ od warstwy przyściennej oddzielało się już ok. $1/3$ przepływających ścieków, które rozdzielały się dość równomiernie na cały pozostający przekrój rury. Przy ok. $1,75 \text{ dm}^3/\text{s}$ przyścienną warstwą płynęło tylko około połowy ścieków, zaś przy $2,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ zaledwie $1/3$. Strumień wody powyżej $3,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ wywoływał równomierny rozdział wody w ca-

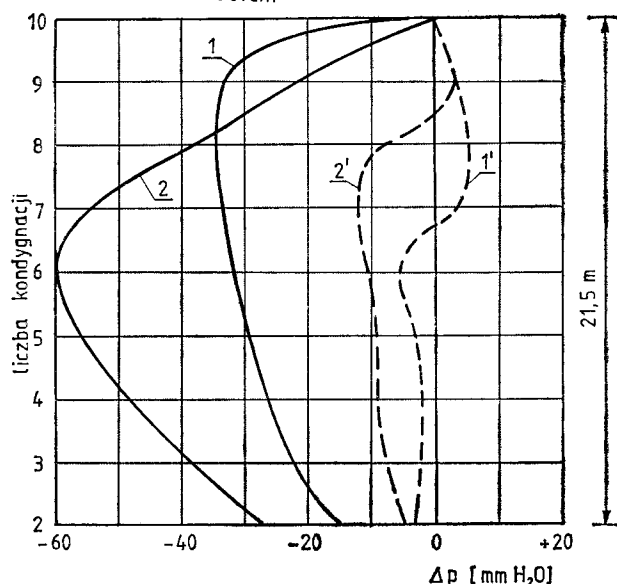
łym przekroju rury, przy czym warstwą przyścienną płynął ciągle $1 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Podobne rozkłady przepływu ścieków w poprzecznym przekroju pionu uzyskano podczas badań berneńskich także przy innych średnicach pionu; ustalają się one nieco poniżej miejsca wprowadzenia ścieków do pionu z podejścia kanalizacyjnego.

Zmiany ciśnienia wzdłuż wysokości pionu o średnicy 100 mm, wywołane odpływem z misek ustępowych, położonych na 10 i 8 kondygnacji przedstawiono na rys. 2. Gdy pion zbudowany jest przy użyciu konwencjonalnych trójników (rys. 3), to dopływający do niego z podejścia strumień ścieków uderza w przeciwległą ścianę pionu i rozkłada się w poprzecznym przekroju rury w sposób omówiony wyżej.



trójnik typu
Sovent



Rys. 2 Wykres ciśnień Δp w pionie o średnicy 100 mm według badań w Bernie [8], wywołanych odpływem z: 1 i 1' — miski ustępowej na 10 kondygnacji, 2 i 2' — misek ustępowych na 10 i 8 kondygnacji; krzywa 1 i 2 dotyczą pionów z trójnikami konwencjonalnymi, a 1' i 2' — z trójnikami typu Sovent (szkic nad wykresem)

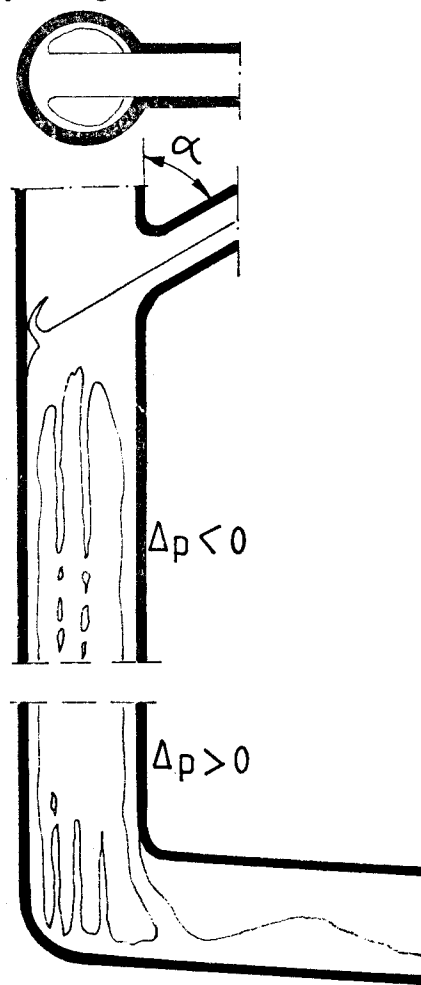
Na poziomie dopływu do pionu ścieki tworzą jednak jak gdyby przegrodę, utrudniającą dopływ powietrza od góry. Spadające ścieki porrywają ze sobą powietrze znajdujące się poniżej tej przegrody i powodują wytwarzanie się w tej części pionu podciśnienia. Jego wartość zależy od natężenia przepływu ścieków i także zmienia się wzdłuż wysokości pionu. Zastosowanie do budowy pionów trójników typu Sovent (szkic na rys. 2) w znacznym stopniu zmniejsza zakłócenia ciśnienia. Charakterysty-

czną cechą tych trójników jest bowiem pionowe wprowadzanie ścieków do pionu kanalizacyjnego, mimo możliwości ich doprowadzenia podejściem ułożonym prawie poziomo. Spływające z góry ścieki omijają w tych trójnikach łagodnym łukiem miejsce dopływu bocznego i łączą się z jego ściekami dopiero poniżej tego miejsca.

Badania berneńskie [8] wykazały znaczne nadciśnienia w dolnej części pionu, przy jego przejściu w poziom za pomocą kolana stopowego (rys. 3). Ścieki przepływające rdzeniem pionu odbijają się od dna kolana stopowego i wraz z opadającą warstwą przyścienną znacznie zmniejszają wolny przekrój poprzeczny wlotu do poziomu. Porywane przez ścieki powietrze, mając ograniczone możliwości przedostawania się do przewodu poziomego, ulega sprężeniu. To nadciśnienie może osiągnąć jeszcze większą wartość w wyniku mogącego powstać odskoku hydraulicznego (w przewodzie poziomym, tuż za kolaniem stopowym).

Powstawanie nadciśnienia ponad kolaniem stopowym wskazuje, że podobne zjawisko może występować także i w innych, wyżej położonych rejonach pionu, gdy tylko płynące ścieki napotykały przeszkodę (w postaci bocznie dopływającego z podejścia strumienia, w formie odsadzki itp.).

Badania Bonetyńskiego [2] objęły między innymi zagadnienia zmian ciśnienia w pionach

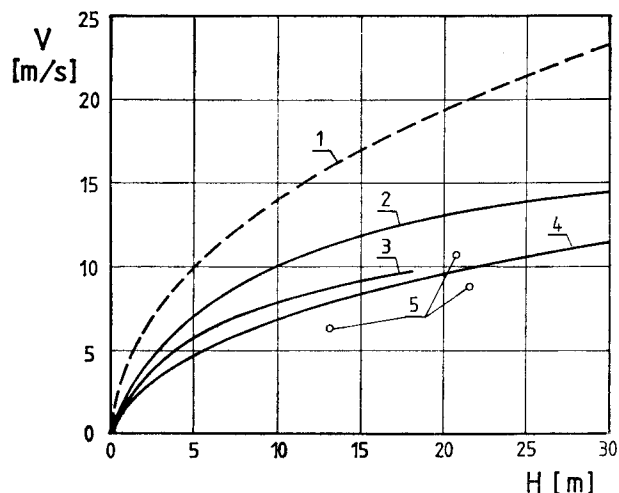


Rys. 3 Przepływ ścieków w pionie i kolanie stopowym według badań w Bernie [8]

kanalizacyjnych. Wykazały one pulsacyjny charakter zmian ciśnienia wzdłuż wysokości pionu, a przy tym możliwość przemiennego występowania w nim nad- i podciśnienia.

Grasmeier [4] badał częstotliwość występowania podciśnień w pionie kanalizacyjnym, analizując długotrwałe zapisy ciśnieniomierzy, rejestrujących liczbę i wielkość szczytów ciśnień w różnych miejscach tego pionu. Na podstawie swych badań stwierdził, że największe podciśnienia występują w środkowej jednej trzeciej części pionu, a największe nadciśnienie bezpośrednio nad kolanem stopowym, przy czym jego oddziaływanie może rozciągnąć się na wysokość do dwóch najniższych kondygnacji.

Dotychczas omówione badania, jak również inne [3], jednoznacznie dowiodły, iż ścieki w pionach kanalizacyjnych nie zachowują się jak ciało swobodnie spadające. Ruch ich odbywa się bowiem w przestrzeni ograniczonej oraz wypełnionej gazami. Niecałkowite wypełnienie ściekami przekroju pionu niezmiernie utrudnia określenie średniej prędkości przepływu ścieków. Występują więc rozbieżności w wynikach różnych badań, co obrazuje wykres na rys. 4.



Rys. 4 Zależność średniej prędkości przepływu ścieków w pionie v od wysokości ich spadania H ; 1 — krzywa swobodnego spadania $v = \sqrt{2gH}$, 2 — przepływ pełnym przekrojem pionu według ustaleń Feuricha [3], 3 — według badań Państwowego Biura Norm w Wielkiej Brytanii [4], 4 — według badań Centrum Badaawczego Budowli i Robót Publicznych w Belgii [4], 5 — punkty według badań w Bernie [8]

Pomimo tych różnic można jednak dostrzec prawidłowość, że prędkość przepływu ścieków wzrasta wraz z wysokością ich spadania, lecz po przebyciu pierwszych kilkunastu metrów ścieki wykazują już bardzo nieznaczny przyrost swej prędkości, osiągając prawie stałą wartość rzędu 11–12 m/s.

Scharakteryzowane badania istotnie przybliżyły poznanie procesów przepływu w pionach kanalizacyjnych, lecz nie ujęte w zależności matematyczne, uniemożliwiły ich ilościowe wykorzystanie w wymiarowaniu pionów. Tego rodzaju próbę podjął natomiast Dobromyslov [1], wykorzystując prócz badań własnych, wyniki innych prac, szczególnie szwajcarskich [8]. Dobromyslov skoncentrował się przede wszyst-

kim na badaniu podciśnień, które powodując wysysanie zamknięć wodnych są większym zagrożeniem dla pomieszczeń niż zdecydowanie rzadziej występujące od nich nadciśnienia. Te ostatnie powodują bowiem wyrzucenie wody z zamknięcia wodnego do przyboru kanalizacyjnego i jej powrót do tego samego zamknięcia po wyrównaniu się ciśnień.

Badania Dobromyslova wykazały, że po wprowadzeniu ścieków do pionu, rosnącą prędkość ich przepływu wywołuje sukcesywne zwiększanie energii przekazywanej powietrzu. Ta zdolność porywania powietrza przez ścieki (ejekcji) wzrasta jednak tylko w odcinku pionu o wysokości równej 90 jego średnicom, osiągając niżej wartość już prawie stałą. Jest to wysokość pionu poniżej miejsca wprowadzenia doń ścieków, w której następuje stabilizacja ich ruchu, przy niecałkowitym wypełnieniu ściekami poprzecznego przekroju pionu. W tej też wysokości prędkość przepływu ścieków stopniowo więc wzrasta do wartości największej.

Poza wpływem wysokości pionu, efektywność opadających ścieków zależy od natężenia przepływu ścieków, średnicy podejścia kanalizacyjnego i od kąta włączenia go do pionu. Tę zależność Dobromyslov ujął wzorem

$$Q_p = \frac{24,5 Q_s^{0,333} D^{1,75} \left(\frac{D}{d}\right)^{0,12}}{\sqrt{\frac{90 D}{H} (1 + \cos \alpha)^{0,177}}} \quad (1)$$

w którym:

Q_p — efektywność ejekcyjna ścieków, wyrażona strumieniem zasysanego powietrza, dm^3/s ,

Q_s — strumień przepływających ścieków, dm^3/s ,

D — średnica pionu, dm ,

d — średnica odgałęzienia od pionu (podejścia kanalizacyjnego), dm ,

H — wysokość pionu (robocza, czyli mierzona od miejsca bocznego dopływu ścieków), dm ,

α — kąt włączenia do pionu podejścia kanalizacyjnego (patrz rys. 3), stopień,

$90D$ — wysokość wstępnego (początkowego) odcinka pionu, w której stabilizuje się przepływ ścieków, dm .

Wzór ten ważny jest dla pionów o wysokości $H \leq 90 D$. W przypadkach większej wysokości roboczej pionu, występujący w nim czynnik $\sqrt{90 D/H}$ przyjmuje wartość 1.

Dla pionów o średnicy $D = 100 \text{ mm} = 1 \text{ dm}$ i $H \geq 90 D$ oraz dla $d = D$ i $\alpha = 90^\circ$ wzór (1) otrzymuje zapis

$$Q_p = 24,5 Q_s^{0,333} \quad (2)$$

Badania Dobromyslova pozwoliły stwierdzić, że podczas wprowadzania do pionu ścieków z podejścia kanalizacyjnego prędkość przepływu powietrza (dopływającego od rury wentylacyjnej) w poprzecznym przekroju pionu przewężonym strumieniem ścieków (patrz rys. 3) oznaczona przez v_p , praktycznie nie zależy od kąta α podłączenia podejścia i wynosi

$$v_p = 2,6 \left(\frac{v_s \frac{D}{d}}{\sqrt{\frac{90D}{H}}} \right)^{0,184} \quad \text{m/s} \quad (3)$$

gdzie:

v_s — względna prędkość przepływu ścieków w pionie, określona jako stosunek natężenia przepływu ścieków do poprzecznego przekroju pionu (rury), m/s,

D, d, H — jak we wzorze (1)

Dla pionów o $H \geq 90 D$ i $d = D$ wzór przyjmuje postać

$$v_p = 2,6 v_s^{0,184} \quad \text{m/s} \quad (4)$$

Można zatem zapisać, że strumień dopływającego z zewnątrz powietrza, wywołany efektywnością ejekcyjną spadających pionem ścieków, wynosi

$$q_p = v_p A_s \quad (5)$$

w którym to wzorze A_s jest poprzecznym przekrojem pionu dla wolnego przepływu powietrza. W związku z tym niedobór powietrza w pionie określa różnica

$$\Delta q_p = Q_p - q_p \quad (6)$$

wywołująca podciśnienie, którego wartość określił Dobromyslov na podstawie swych badań następującą zależnością

$$\Delta p = \frac{366 \left[\frac{Q_s}{10(1 + \cos \alpha) D^2} \right]^{1,677}}{\left(\frac{D}{d} \right)^{0,71} \sqrt{\frac{90 D}{H}}} \quad \text{mm H}_2\text{O} \quad (7)$$

o oznaczeniach zgodnych z występującymi we wzorze (1)

Wzór (7), podobnie jak poprzednie, ważny jest dla pionów o $H \leq 90 D$, przyczem dla pionów o większej roboczej wysokości występujące w nim wyrażenie podpierwiastkowe przyjmuje wartość 1.

Dla znanych wartości krytycznych podciśnienia w pionach Δp_{kr} , przy których zostają wyssane określone zamknięcia wodne przyborów kanalizacyjnych, wzór (7) daje możliwość określenia odpowiadających im krytycznych wartości natężenia przepływu ścieków $(Q_s)_{kr}$. Na tej właśnie podstawie w normie [7] określono dopuszczalną przepustowość pionów kanalizacyjnych, współpracujących z podejściami o różnej geometrii.

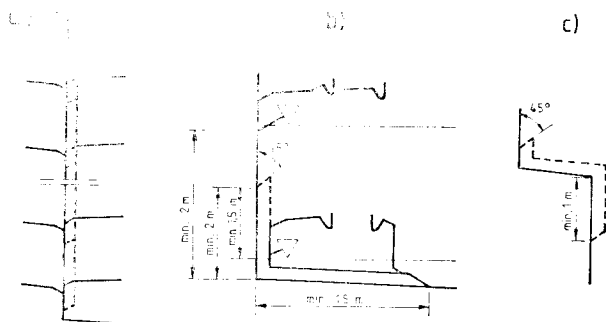
Wnioski

1. Polepszenie warunków dopływu powietrza do pionu kanalizacyjnego i zmniejszenie występujących w nim podciśnień i nadciśnień można uzyskać przez montowanie, równolegle do pionu zasadniczego, drugiego pionu (zwanego dodatkowym lub powietrznym), mającego połączenie z atmosferą, przy jednoczesnym połączeniu tych obydwu pionów krótkimi łącznikami co 1—2 kondygnacji (np. według rozwiązania na rys. 5a).

2. Ze względu na możliwość występowania dużych zaburzeń przepływu ścieków w rejonie

kolana stopowego celowe jest podłączanie leżących w jego strefie przyborów kanalizacyjnych z zachowaniem rozwiązań i odległości pokazanych na rys. 5b.

3. Odsadzki, zamiast polepszać, zdecydowanie pogarszają warunki ciśnieniowe w pionach. Nie należy więc ich projektować w celu zmniejszenia energii kinetycznej spadających ścieków, a konieczne przypadki ich występowania rozwiązywać poprzez stosowanie powietrznego obejścia odsadzki (rys. 5c.).



Rys. 5 Schematy niektórych zalecanych rozwiązań w projektowaniu instalacji kanalizacyjnych: a) bezpośrednia boczna wentylacja pionu kanalizacyjnego, b) podłączenie przyborów kanalizacyjnych w strefie kolana stopowego, c) obejście odsadzki

4. Wzór (7) powinien być podstawą do określenia dopuszczalnej przepustowości stosowanych w kraju pionów kanalizacyjnych i do opracowania wynikających z niej nowych zasad ich wymiarowania.

LITERATURA

1. A. Ja. DOBROMYSLOV: Rasčet i konstruirowanie sistiem kanalizacii zdanij, Strojizdat, Moskwa 1978.
2. K. BONETYŃSKI: Badania zamknięć wodnych w urządzeniach sanitarnych z uwzględnieniem ich współpracy z pionami kanalizacyjnymi. Praca doktorska, Politechnika Poznańska 1978.
3. H. FEURICH: Hydraulische Berechnung von Abwasserleitungen, Sanitäre- und Heizungstechnik, Nr 11, 1980.
4. K. GRASMEIER: Entwässerung von Hochhäusern, Gesundheits-Ingenieur, Nr 8—7. 1976.
5. M. MARCZUK: Procesy przepływu ścieków w kanalizacji wewnętrznej. Konspekt do wykładów, Wrocław 1982 (maszynopis).
6. M. MARCZUK: Zasady odprowadzania ścieków bytowo-gospodarczych w obiektach wielorodzinnego budownictwa mieszkaniowego. Raport Politechniki Wrocławskiej, seria SPR, Nr I-13/15/83.
7. SNiP-II-30-76. Stroitielnyje normy i pravila, Normy projektowanijsa, Wnutriennyj wodoprowod i kanalizacija zdanijs. Strojizdat, Moskwa 1977.
8. F. SOMMER, R. HANSLIN: Die Fallwasserverteilung im vertikalen Ablaufrohr, Sanitäre- und Heizungstechnik, Nr 12, 1968.
9. A. I. SNIJEJEROV, P. A. SPYŠNOV, I. P. SWIEŠNIKOV: Sanitarno-tiechničeskoe oborudowanie zdanijs, Strojizdat, Moskwa 1949.
10. Zarządzenie Nr 60 Ministra Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych z dn. 29.XII.1970 roku w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać instalacje wodociągowe i kanalizacyjne, Dziennik Budownictwa Nr 1 z 1971 r.