



# GAZ, WODA I TECHNIKA SANITARNA

---

**LIPIEC-SIERPIEŃ 7/8 1975**

628



wytwarzane przez wirnik, będące funkcją prędkości obwodowej, będzie równe lub niższe od ciśnienia hydrostatycznego słupa cieczy, proces zasysania zanika i wirnik pracuje wyłącznie jako mieszadło. Wobec dużych głębokości pracy wirnika potrzebne są dwie prędkości obwodowe, które realizowano drogą wzrostu średnicy wirnika, dysponując silnikiem o stałych obrotach (SGM).

Wpływ pola przekroju szczeliny oraz pola okna wlotowego w osłonie górnej. Wraz ze wzrostem pola przekroju szczeliny w tarczy i głębokości zanurzenia wzrasta ilość wody cyrkulującej przez wirnik, co powoduje wzrost zużycia mocy.

W pierwotnej wersji konstrukcyjnej wirnika aeratora (wirnik napowietrzający — górna część stanowił całość z wirnikiem pompy wspomagającej — dolna część) sądzono, że przez wymuszenie za pośrednictwem pompy napływu cieczy na wirnik napowietrzający uzyska się wysokie wskaźniki pracy aeratora. Hipoteza ta, co wykazały wyniki badań, nie znalazła potwierdzenia w doświadczeniu. Zdecydowanie lepsze efekty uzyskano w przypadku zastosowania wirnika aeratora bez pompy wspomagającej wymuszającej przepływ wody.

W obu rozpatrywanych przypadkach konstrukcji wirnika aeratora optymalizowano pole przekroju szczeliny, przy czym średnica podziałowa szczeliny pozostawała niezmienna i wynosiła 103 mm.

Z powodu niskiej sprawności pracy aeratora, pomimo wprowadzonych zmian konstrukcyjnych, zdecydowano się na optymalizowanie pola przekroju przelotowego okna wlotowego powietrza, a także luku zasilania wirnika w powietrze.

W wersji ostatecznej aeratora zastosowano cztery otwory wlotowe powietrza w możliwie największym polu przekroju.

Uzyskane wyniki (rys. 11) potwierdziły celowość zmiany pola przekroju okien wlotowych.

Wpływ średnicy podziałowej szczeliny przepływowej. Przy określaniu wpływu średnicy podziałowej szczeliny ze względu na ograniczone możliwości wykonawcze założono stałość pola przekroju przepływowego szczeliny. Dzięki temu można było przyjąć niezmienną natężenia przepływu cieczy przez wirnik niezależnie od średnicy podziałowej szczeliny. Wobec tego

wzrost mocy pobieranej przez aerator w miarę zmniejszenia się średnicy podziałowej szczeliny, przy założonej średnicy zewnętrznej wirnika, wynika ze zwiększenia czynnej drogi przepływu cząstek wody przez kanały wirnikowe.

Na podstawie badań (rys. 13) stwierdzić można, że niezależnie od głębokości zanurzenia istnieje dla każdego wirnika pewien optymalny stosunek średnic  $D_1/D_2$ , który w przypadku badanego typu aeratorów powinien się mieścić w granicach od 0,65 do 0,75.

#### Uwagi i wnioski końcowe

Przedstawione badania uzupełniono badaniem nad przydatnością aeratora w procesie ozonowania wody, a cztery egzemplarze końcowej wersji aeratora zostały zainstalowane i pracują na stacji ozonowania wody we Wrocławiu. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów i prób eksploatacyjnych oraz rozważań teoretycznych sformułowano następujące wnioski.

1. Stwierdzono pełną przydatność eksploatacyjną urządzenia, zwłaszcza do wprowadzania do uzdatnionej wody powietrza ozonowanego.

2. Urządzenie pozwala na uzyskanie bardzo wysokiej efektywności napowietrzania (OC rzędu 400 g  $O_2/m^3 \cdot h$ ).

3. Choć sprawność energetyczna napowietrzania za pomocą badanego urządzenia nie jest wysoka, to jednak wskutek zdolności ssania powietrza z atmosfery i wtłaczania nawet na duże głębokości i wynikającego z tego braku potrzeby dodatkowych sprężarek nadaje się ono do stosowania w stacjach ozonowania wody (również dla oczyszczalni ścieków), a zwłaszcza do wykorzystania ozonu resztkowego.

4. Wykorzystanie ozonu resztkowego przez powtórne wprowadzenie do wody pozwala na poprawę sprawności procesu o ok. 10%, a ponadto stwarza właściwe warunki bezpieczeństwa i higieny pracy dla załogi i bezpośredniego otoczenia stacji ozonowania.

5. Zdolność aeratora do ssania pozwala na pracę instalacji ozonowania z podciśnieniem, co wyklucza przedostawanie się ozonu do atmosfery wskutek nieszczelności przewodów.

6. Dzięki zunifikowaniu konstrukcji aera-

tora, a w szczególności zastosowaniu szeregu produkowanych w Polsce silników głębinowych typu SGM, istnieje możliwość utworzenia typoszeregu geometrycznie podobnych aeratorów na bazie typoszeregu silników SGM.

7. Ilość powietrza zasysanego przez aerator jest funkcją wielu parametrów geometrycznych, z których największy wpływ mają: średnica zewnętrzna wirnika (prędkość obwodowa), szerokość wieńca łopatkowego wirnika, pole przekroju oraz usytuowanie na tarczy wirnikowej szczeliny przepływowej cieczy recyrkulującej, liczba łopatek oraz prawdopodobnie ich kształt, przekrój wlotowy powietrza po stronie ssawnej (opory przepływu).

8. Za optymalne parametry geometryczne wirnika badanego typu aeratora należy uznać: liczbę łopatek  $Z_{opt.} = 10-14$ , szerokość wieńca łopatkowego  $b = (0,1-0,2) D_2$ , szerokość szczeliny w tarczy wirnikowej  $s = (0,1-0,15) b_{opt.}$  lub  $S = (0,1-0,025) D_2$ , średnicę podziałową szczeliny  $D_{1 opt.} = (0,7-0,8) D_2$ .

9. Wymuszenie przepływu cieczy przez wirnik aeratora za pomocą sprężonego z nim wirnika pompy cieczy recyrkulującej nie jest wskazane ze względu na znacznie zwiększenie zużycia mocy na pompowanie cieczy.

10. Wprowadzone równanie na energetyczny wskaźnik zasysania pozwala w sposób prosty i jednoznaczny porównywać efektywność procesu doprowadzania gazu do cieczy realizowanego za pomocą dowolnych w zasadzie urządzeń omulgujących.

11. Dla geometrycznie podobnych samosąsiednich aeratorów badanego typu można wyznaczyć wskaźnik  $V, N, \frac{V}{N}$  i  $\eta$  z wypro-

wadzonych i podanych w pracy równań kryterialnych z wystarczającą dla praktyki przemysłowej dokładnością.

Przeprowadzone i zaprezentowane w tej pracy badania, mimo ich szerokiego zakresu, nie wyczerpują całego szeregu problemów wymagających dalszych dociekań teoretycznych i doświadczalnych. Z uwagi na to, po rekonstrukcji stanowiska badawczego oraz zainstalowaniu dodatkowej aparatury pomiarowej, badania nad optymalizacją konstrukcji głębinowego aeratora wirnikowego będą kontynuowane.

MACIEJ WAYS

Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego  
Politechnika Warszawska

## Nowoczesne systemy kanalizacji niskiego i wysokiego ciśnienia

Zagadnienie odprowadzania ścieków, pierwszoplanowe dla sanitarnej ochrony terenów zasiedlonych, było przez wiele lat tematem praktycznie zamkniętym. Niezależnie od zmieniających się zasad projektowania czy też wzorów matematycznych wiążących parametry przepływu ścieków w rowach otwartych czy kanałach, podstawa konstruowania sieci kanalizacyjnych pozostawała niezmienna. Elementem wprawiającym w ruch była ich energia potencjalna związana z grawitacją ziemską.

W określonych sytuacjach powodowało to znaczne trudności, a czasem uniemożliwiało wręcz odrowadzenie ścieków ze szczególnie niekorzystnie ukształtowanych terenów. Praktycznie rzecz biorąc żadne

odstępstwo od zasady grawitacyjnego spływu ścieków nie było możliwe ze względu na brak wystarczająco sprawnych i niezawodnych urządzeń do przepompowywania ścieków. W miarę rozwoju techniki, dopiero pod koniec ubiegłego stulecia opiano produkcję pomp i podnośników pneumatycznych umożliwiającą pompowanie ścieków. Urządzenia te stawały się coraz bardziej niezbędne, bowiem rozrastające się dynamicznie miasta i przemysł wymagały sieci kanalizacyjnych obejmujących coraz większe obszary, co szczególnie na terenach płaskich wiązało się z coraz większym zagłębieniem, a więc i podrażaniem kosztów sieci. Ponadto oczyszczalnie ścieków, które stawały się coraz bardziej złożonymi zespołami urządzeń,

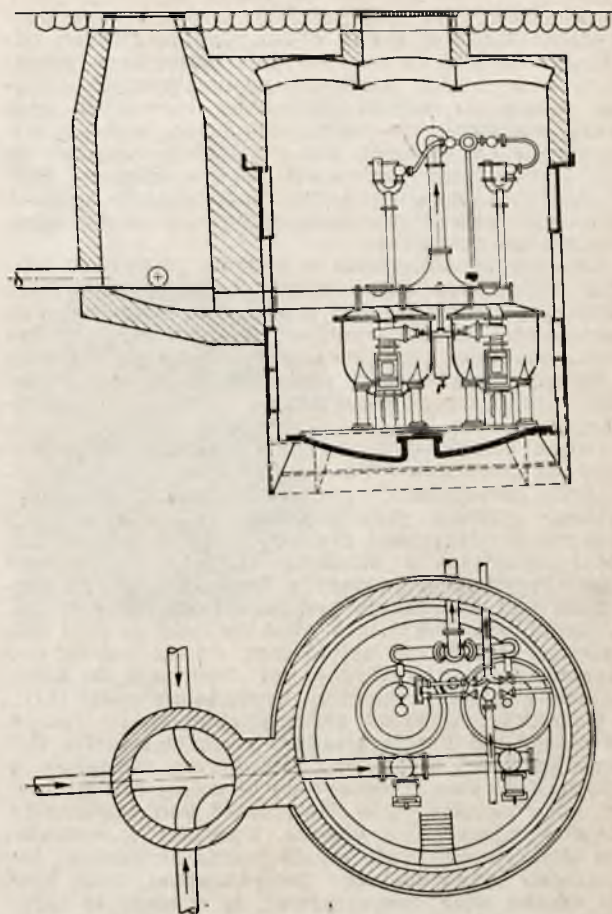


również wymagały budowy pompowni w celu umożliwienia ściekom przepływu przez poszczególne etapy oczyszczania. Przy budowie sieci kanalizacyjnych na terenach niekorzystnie ukształtowanych, np. morenowych, pagórkowatych, poprzecinanych licznymi ciekami, projektowano dużą liczbę pośrednich pompowni ścieków, co w konsekwencji doprowadziło do powstania koncepcji kanalizacji, której zasadniczym elementem były ciśnieniowe przewody pełniące rolę kolektorów zbiorczych. Kanały boczne i przykanaliki były nadal przewodami o przepływie grawitacyjnym.

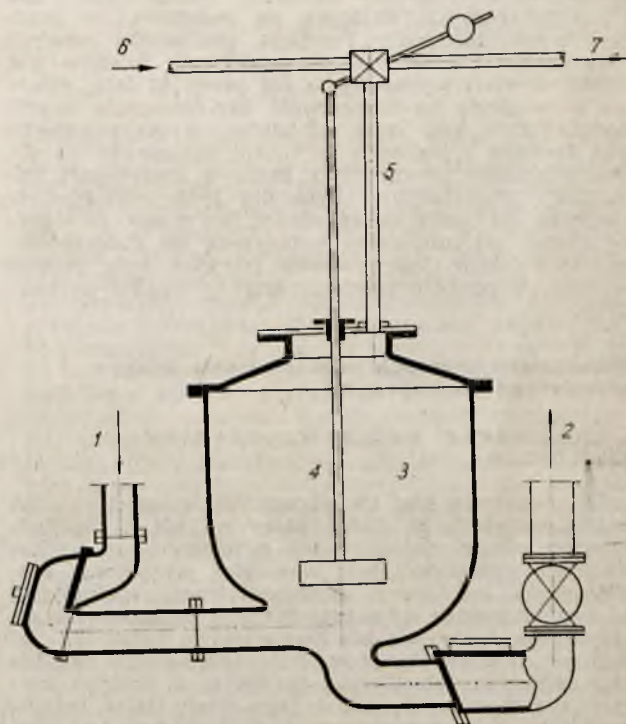
#### Pierwsze rozwiązania sieci kanalizacyjnych z zastosowaniem przewodów ciśnieniowych

Przykładem jednego z pierwszych zastosowań ciśnieniowego systemu przewodów może być kanalizacja Olsztyna, zaprojektowana w latach 1896–98, jako sieć rozdzielcza przez firmę „Oskar Smreker” z Berlina [2, 4]. Kanalizacja ta przewidziana była do obsłużenia 93% liczby ówczesnych mieszkańców miasta i miała odprowadzać średnio 3000 m<sup>3</sup>/d ścieków bytowo-gospodarczych. Kanalizacja bytowo-gospodarcza, której budowę ukończono w 1899 r., składała się z 9 pneumatycznych pompowni rozrzuconych po terenie miasta, połączonych ze sobą rozgałęzioną siecią przewodów o łącznej długości około 3,5 km. Były to w zasadzie przewody ciśnieniowe, a tylko na niektórych odcinkach przepływ odbywał się grawitacyjnie. Każda z pompowni wyposażona była w 2 podnośniki pneumatyczne o pojemności zbiornika od 0,6 do 5,2 m<sup>3</sup> w zależności od potrzeb istniejących w danym punkcie sieci (rys. 1). Zbiorniki robocze napełniane były grawitacyjnie ze studzienek zbiorczych znajdujących się obok pompowni. Studzienki te miały grawitacyjne połączenia z lokalnymi posesjami, a ponadto każda z pompowni wyposażona była w przelew umożliwiający w przypadku awarii zrzut ścieków do najbliższego zbiornika zbudowanego metodą studni opuszczanych, skręcanych z tubingów żeliwnych z muruwaną górną częścią i sklepieniem (rys. 2). Same podnośniki wykonane zostały w formie zbiorników żeliwnych z odpowiednio ukształtowanym wlotem i wylotem, co zapobiegało osadzaniu się jakichkolwiek zanieczyszczeń. Elementem sterującym pracą podnośnika był pływak, który zmieniając okresowo swoje położenie powodował łączenie poprzez głowicę wnętrza zbiornika z atmosferą lub z instalacją sprężonego powietrza. W celu maksymalnego uproszczenia konstrukcji poszczególnych pompowni, stacje kompresorów zbudowano jako wspólną dla wszystkich obiektów, przy czym sprężane w niej do 3 atm powietrze używane jest dzisiaj również do przedmuchiwania filtrów na stacji uzdatniania wody. Wspólna dla całej sieci kompresorownia była łatwiejsza w obsłudze i konserwacji, a ponadto umożliwiała stałą i ciągłą kontrolę pracy poszczególnych obiektów, bowiem każda nieprawidłowość w działaniu pompowni była sygnalizowana zmianą ciśnienia w sieci sprężonego powietrza. W zależności od pojemności zbiornika i intensywności dopływu ścieków cykl pracy podnośnika wahał się w granicach od 0,5 do 2 min. (w godzinach dziennych), przy czym czas wytłaczania ścieków ze zbiornika nie przekraczał na ogół 1 min.

Żądaną wydajność pompowni zapewniał w zasadzie jeden z dwóch zainstalowanych podnośników, tym bardziej że znajdująca się obok studzienka pełniła rolę zbiornika retencyjnego, mogącego zmagazynować różnicę między chwilowym maksymalnym dopływem a wydajnością pojedynczego podnośnika. Podczas normalnej bezawaryjnej pracy czynne były oba podnośniki jednocześnie, aż do momentu awarii któregoś z nich, kiedy to żądaną wydajność pompowni musiał zapewnić drugi nie uszkodzony aparat. W ten sposób zrealizowano zasadę równomiernego zużycia obu podnośników oraz stosunkowo wysoką niezawodność pompowni. Sieć przewodów tłocznych o średnicach 150–400 mm nie posiadała żadnego uzbrojenia umożliwiającego okresowe płukanie i mimo znacznego zmniejszenia się światła przewodów po 75-letniej eksploatacji pracuje dotychczas zadowalająco. Prędkość przepływu ścieków w przewodach ulega bardzo znacznym wahaniom, co wynikało z wzajemnej niezależności cykli pracy poszczegól-



Rys. 1. Schemat urządzenia pneumatycznego zastosowanego w kanalizacji Olsztyna. Oznaczenia: 1 — dopływ ścieków, 2 — odpływ, 3 — żeliwny zbiornik roboczy, 4 — pływak, 5 — przewód powietrzny, 6 — dopływ sprężonego powietrza z sieci, 7 — odpowietrzenie, 8 — głowica



Rys. 2. Typowa pneumatyczna pompownia ścieków kanalizacji Olsztyna

nych podnośników, które okresowo mogły wytłaczać ścieki równocześnie, powodując znaczny wzrost zarówno ciśnienia w sieci, jak i prędkości przepływu ścieków. W wyniku zwiększenia się z czasem dopły-



wu ścieków oraz zmniejszenia średnic przewodów prędkość ścieków osiąga obecnie na niektórych odcinkach wartość 3,0 m/s. Do dnia dzisiejszego pracuje w Olsztynie 7 pompowni pneumatycznych i mimo znacznego zużycia elementów ruchomych oraz braku jakichkolwiek części zamiennych spełniają one całkowicie swe zadania, pod warunkiem systematycznej i troskliwej konserwacji. Pewne kłopoty eksploatacyjne sprawiają jedynie obmarzające podczas silnych mrozów głowice podnośników pneumatycznych (rozprężanie powietrza).

Kanalizacja ciśnieniowa w opisanej postaci nie zdobyła jednak szerszego uznania i po wybudowaniu kilku tego rodzaju sieci zaniechano projektowania następnych. Było to wynikiem stosunkowo dużej kapitałochłonności tych inwestycji, związanej głównie z koniecznością budowy pompowni w postaci głębokich (napełnianie grawitacyjne) pomieszczeń podziemnych.

Dalsze poszukiwania nowych rozwiązań doprowadziły do powstania kilku jeszcze systemów kanalizacyjnych odbiegających mniej lub bardziej od tradycyjnego systemu grawitacyjnego. Systemy te były różnymi kombinacjami przewodów ciśnieniowych lub podciśnieniowych o działaniu ciągłym lub okresowym. Przykładem jednego z bardziej udanych rozwiązań jest kanalizacja podciśnieniowa pomysłu inż. P. Gandillona, której idea, choć niewiele do dnia dzisiejszego straciła na aktualności, stawia jednak pod znakiem zapytania celowość jej stosowania do kanalizowania dużych, rozległych terytorialnie miast [3,11].

Wszystkie omówione systemy opierały się jednak na niewielkiej liczbie urządzeń mechanicznych o stosunkowo dużej wydajności, położonych centralnie w stosunku do sieci. Powodowało to szereg niedogodności, jak chociażby mała elastyczność sieci w stosunku do zmieniających się potrzeb, trudności w rozbudowie sieci, niemożliwość zunifikowania elementów, konieczność indywidualnego projektowania całej sieci itp. Można więc domniemywać, że właśnie te czynniki zdecydowały w końcu o zaniechaniu stosowania rozwiązań zarówno ciśnieniowych, jak i podciśnieniowych.

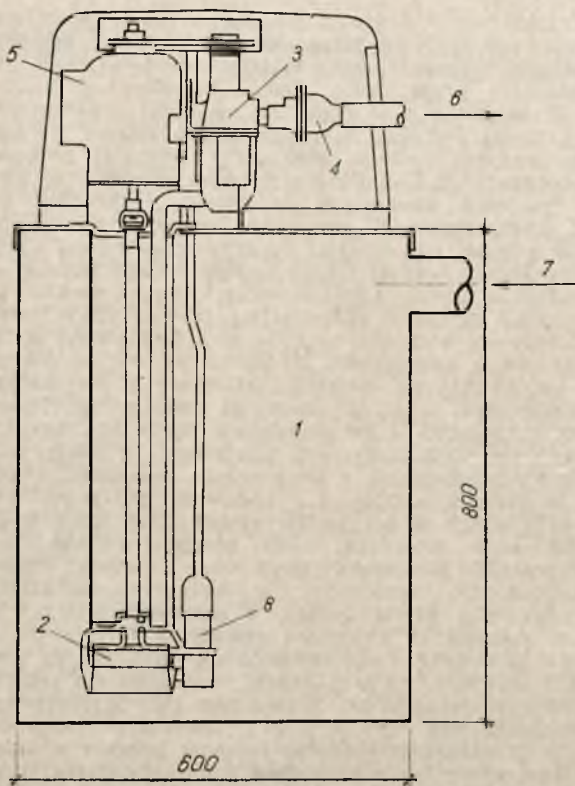
Idea kanalizacji ciśnieniowej odżyła w zupełnie zmienionej formie dopiero w ostatnich latach, dzięki opanowaniu konstrukcji niewielkich urządzeń do pompowania ścieków zarówno pompowych, jak i pneumatycznych, dających się instalować w poszczególnych posesjach. Potrzeba stosowania nowych rozwiązań ciśnieniowego odprowadzania ścieków jest dzisiaj o wiele wyraźniejsza niż przed 50 laty, głównie ze względu na konieczność kanalizowania osiedli podmiejskich, wsi oraz ośrodków wypoczynkowych nad rzekami i jeziorami, o luźnej zabudowie na zupełnie płaskiej powierzchni. Budowa tradycyjnej kanalizacji grawitacyjnej była dla tych obszarów w stosunku do liczby mieszkańców tak droga, że sięgano raczej po miejscowe urządzenia do unieszkodliwiania ścieków, które wbrew pozorom były jeszcze droższe, a ponadto nie spełniały wymogów sanitarnych.

### Współczesne koncepcje odprowadzania ścieków przewodami ciśnieniowymi

#### Kanalizacja pompowa niskiego ciśnienia

Za prekursora idei kanalizacji ciśnieniowej w USA należy uznać G. M. Faira, który w 1954 r. zaproponował ułożenie ciśnieniowych przewodów ze ściekami bytowo-gospodarczymi wewnątrz przewodów grawitacyjnej kanalizacji ogólnospławnej, spełniającej od tego momentu wyłącznie funkcję kanalizacji deszczowej [5]. Amerykańskie Towarzystwo Inżynierii Sanitarnej (ASCE) przeprowadziło intensywne badania nad działaniem sieci pomysłu Faira, w wyniku których rozwiązanie to, mimo jego wielu zalet, odrzucono jako zbyt ograniczone pod względem technicznym i ekonomicznym. Stwierdzono jednak, że kanalizacja ciśnieniowa jest rozwiązaniem szczególnie przydatnym przy kanalizowaniu terenów o określonym charakterze. Dalsze badania w tym zakresie doprowadziły do powstania współczesnego modelu sieci kanalizacyjnej niskiego ciśnienia, której zasadniczym elementem są specjalne urządzenia rozdrabniająco-pompujące umieszczone w poszczególnych bu-

dynkach oraz pierścieniowa lub rozgałęziona sieć przewodów z tworzyw sztucznych. Największe kłopoty sprawiło skonstruowanie napełnianego grawitacyjnie urządzenia gromadzącego, a następnie rozdrabniającego i pompującego rozdrobnione ścieki do przewodu głównego (rys. 3). Urządzenie to musiało być oczywiście całkowicie odporne na korozję oraz uszkodzenia mechaniczne twardymi ciałami zawartymi w ściekach, w pełni automatyzowane, trwałe i niezawodne. Podstawowym jednak warunkiem jego przydatności dla skonstruowanego według opisu systemu kanalizacji ciśnieniowej musiało być niezależność wydatku  $Q$  od wysokości podnoszenia  $H$  w danej chwili czasowej i danym punkcie sieci. Posz-

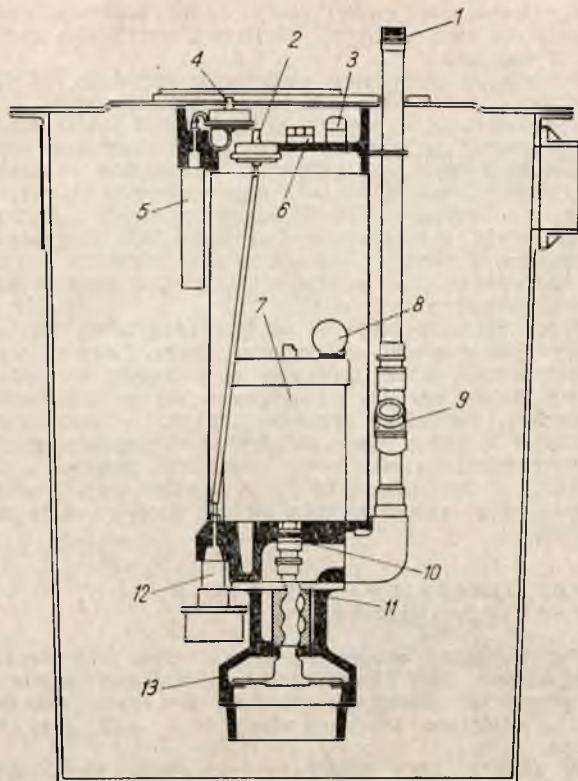


Rys. 3. Jedno z pierwszych rozwiązań niewielkiego urządzenia do przetłaczania ścieków. Oznaczenia: 1 — zbiornik, 2 — tarcza rozdrabniająca, 3 — pompa, 4 — zawór zwrotny, 5 — silnik, 6 — wypływ ścieków, 7 — dopływ ścieków, 8 — urządzenie sterujące

częgłone bowiem urządzenia miały pracować niezależnie od siebie i istniało określone prawdopodobieństwo jednoczesnego ich działania. Jest rzeczą oczywistą, że ciśnienia w tak zasilanej sieci muszą się wahać w znacznym zakresie, tym bardziej, że w związku ze stosunkowo dużą pojemnością czas pracy pompy jest tylko niewielką częścią całego cyklu działania urządzenia. Po skonstruowaniu i przebadaniu kilku prototypów w chwili obecnej produkcja tego typu urządzeń została już opanowana przez kilka firm m. in. „All-Power”, „Environment One Corporation” i inne (rys. 4) [1, 7]. Zasadniczym elementem urządzenia typu „Farrell” produkowanego przez „Environment One Corporation” jest rozdrabniarka, której zadaniem jest rozdrobnienie ciał stałych, zawartych w ściekach, na cząstki mogące z łatwością przejść przez pozostałe elementy urządzenia (rys. 5). Zarówno część obrotowa tej rozdrabniarki z przymocowanymi do niej dwoma młotkami, jak i nieruchomy pierścień tnący wykonane są z hartowanej, odpornej na korozję stali, tak że mogą bez trudu rozdrabniać kamienie czy też stalowe sztućce. 90% rozdrobnionego materiału przechodzi przez sito o wielkości oczek 6,3 mm, a 100% przez sito o oczkach dwunastomilimetrowych. Pompa i rozdrabniarka napędzane są wspólnym silnikiem elektrycznym o mocy ok. 0,75 kW przy 1725 obr./min, zasilanym prądem 120 lub 240 V 60 Hz (rys. 6).

Zbiorniki produkowanych urządzeń wykonane są z żywicy poliestrowej wzmocnionej włóknem szkla-



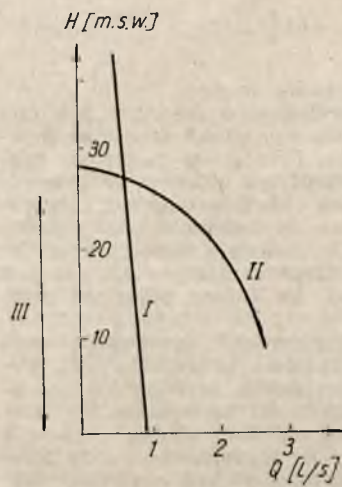


Rys. 4. Schemat urządzenia do przetłaczania ścieków systemu „Farrell-GP210” firmy „Environment One Corporation”. Oznaczenia: 1 — przewód tłoczny, 2 — przełącznik ciśnieniowy, 3 — blokada czasowa, 4 — włącznik alarmowy działający w czasie przelewania się ścieków ze zbiornika, 5 — rurka czujnikowa włącznika alarmowego, 6 — czasowy przekaźnik opóźniający, 7 — silnik, 8 — połączenie elektryczne, 9 — zawór zwrotny, 10 — uszczelnienie wału, 11 — pompa, 12 — rurka czujnikowa przełącznika ciśnieniowego, 13 — rozdrabniarka

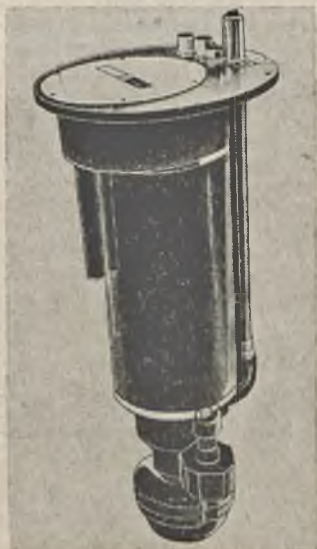
nym. Mają one pojemność 220 lub 440 l i zawierają wewnątrz 1 lub 2 zespoły rozdrabniająco-pompujące o wydajności około 0,9 l/s każdy. Wirnik pompy ma kształt ślimaka (rys. 7), co pozwoliło uzyskać prawie pionową charakterystykę  $H-Q$  (rys. 8). Wykonany jest ze stali chromowanej, a stator ze specjalnego syntetycznego elastomeru. Część pojemności urządzenia jest przewidziana jako rezerwa na ewentualne zakłócenia w pracy urządzenia wynikające z jednoczesnego działania wielu urządzeń i związanego z tym gwałtownego wzrostu ciśnienia w sieci.



Rys. 5. Wlot pompy rozdrabniającej typu „Farrell”. Widoczna tarcza z młotkami oraz zęby rozdrabniające



Rys. 8. Porównanie charakterystyk: I — charakterystyka pompy rozdrabniającej typu „Farrell”, II — typowa charakterystyka pompy odśrodkowej, III — optymalny zakres pracy pompy typu „Farrell”



Rys. 6. Pompa rozdrabniająca typu „Farrell”.

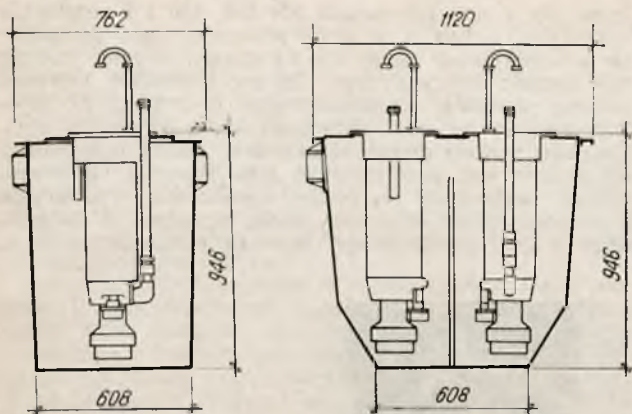


Rys. 7. Wirnik wraz z obudową pompy typu „Farrell”

Maksymalne ciśnienie robocze nie przekracza 2,5 atn, co w pewnym stopniu ogranicza maksymalną odległość przetrzutu ścieków. Łączny czas pracy urządzenia, zależny oczywiście od liczby mieszkańców w danym budynku i związanej z tym ilości ścieków, wynosi średnio kilkanaście minut w ciągu doby. Urządzenie pojedyncze powinno być zaopatrzone w przewle, umożliwiającą grawitacyjne odprowadzanie ścieków z terenu nieruchomości w przypadku awarii zespołu pompującego. Dlatego też należy je stosować tylko tam, gdzie taka możliwość odprowadzenia niewielkiej ilości ścieków istnieje. W pozostałych przypadkach należy stosować innego rodzaju zabezpieczenia lub urządzenia dubeltowe, które praktycznie gwarantują 100% niezawodność działania (rys. 9). Średnica przewodu doprowadzającego ścieki do zbiornika wynosi tradycyjnie 100 mm, a średnicę przewodu tłoczego przyjęto ze względu na straty ciśnienia równą 32 mm, choć okazało się, że nawet przewody o średnicy 20 mm nie ulegają zatykaniu w ciągu rocznego okresu eksploatacji. Częściowe zatkanie przewodu powoduje jednocześnie zmniejszenie przekroju czynnego przewodu i miejscowy wzrost prędkości (przewód całkowicie wypełniony), co z kolei jest powodem spiukania zanieczyszczenia. Urządzenie pompująco-rozdrabniające wraz z osprzętem jest całkowicie antykorozyjne i kosztuje około 1000 dolarów USA.

Sieć przewodów ulicznych, jako pierścieniową lub rozgałęzioną, zaopatrzoną na końcówkach w urządzenia do płukania, wykonuje się z PCV lub PE i sprawdza na ciśnienie próbne 6 atn. Średnice przewodów dobierane są w ten sposób, aby przy osiąganym raz na dobę przepływie maksymalnym osiągnięta zosta-





Rys. 9. Schemat wraz z zasadniczymi wymiarami urządzeń do przetłaczania ścieków modelu „Farrell GP210” z jedną i „Farrell GP214” z dwiema pompami rozdrabniającymi

ła prędkość samooczyszczania, która jak się okazało dla całkowicie wypełnionych przewodów ciśnieniowej sieci kanalizacyjnej ma znacznie mniejsze wartości od przyjętych powszechnie dla kanalizacji systemu grawitacyjnego. Badania wykazały, że prędkość tą można orientacyjnie wyznaczyć przy pomocy następującego wzoru:

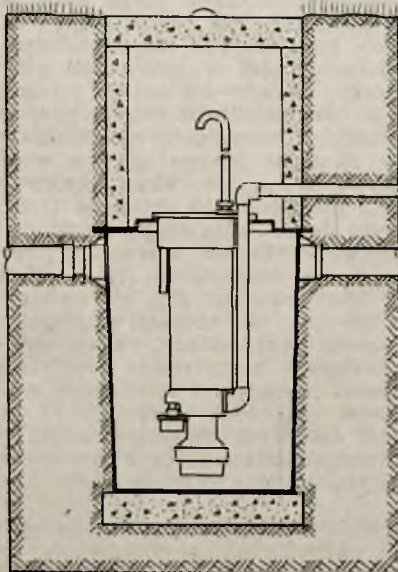
$$V = 1,36 \sqrt{D}$$

gdzie:  $V$  — w m/s,

$D$  — średnica przewodu w mm.

Dla przykładu w przewodzie o średnicy 100 mm prędkość samooczyszczania wynosi 0,3 m/s, a w przewodzie 400 mm — 0,6 m/s. Przyjęte w momencie projektowania prędkości przepływu ścieków w przewodach mogą być oczywiście znacznie większe, lecz powoduje to gwałtowny wzrost jednostkowego spadku hydraulicznego, co przy całkowitym roboczym ciśnieniu dyspozycyjnym nie przekraczającym 2,5 atn jest rzeczą niezmiernie ważną, limitującą odległość przetrzutu ścieków.

„Environment One Corporation” opracowała podręcznik do projektowania sieci przewodów [6]. Podano w nim maksymalną liczbę pracujących jednocześnie agregatów, w zależności od ogólnej ich liczby, zasilających dany odcinek sieci ulicznej, oraz odpowiadającą im prędkość w różnych rodzajach przewodów z PCV i jednostkową stratę ciśnienia, obliczoną ze wzoru Hazena-Wiliamsa. Przewody uliczne projektuje się w zasadzie w ten sposób, aby ciśnienie w żadnym punkcie nie przekroczyło 2,5 atn, lecz w samej charakterystyce urządzenia przewidziano 40% zapas wysokości podnoszenia, na wypadek jednoczesnego zadziałania większej niż zwykle liczby agrega-



Rys. 10. Przykład usytuowania urządzenia przetłaczającego ścieki bezpośrednio pod powierzchnią terenu z nadbudową w postaci żelbetowego kręgu z pokrywą

tów. Urządzenie może wtedy nadal pracować bez szkody dla siebie, jedynie kosztem niewielkiego spadku wydajności.

W zasadzie pojedyncze urządzenie instaluje się dla przepływu 1,2 m<sup>3</sup>/dn, lecz jego wydajność może być o wiele większa, co wynika z wydajności samej pompy i pewnej pojemności retencyjnej zbiornika. Sieć przewodów musi być oczywiście uzbrojona w zasuwę, rewizję, odwodnienia i odpowietrzenia. Umieszczone w odległościach kilkusetmetrowych rewizje umożliwiają przepłukanie pod prąd lub przetkanie przewodu, a ponadto budowę prowizorycznego obejścia po powierzchni terenu w przypadku wystąpienia poważniejszej awarii sieci.

Prócz zabezpieczenia w postaci urządzenia dublującego lub przelewu awaryjnego, przez który w wypadku awarii ścieki usuwane są z terenu nieruchomości, każdy agregat wyposażony jest w urządzenia alarmowe, emitujące sygnały optyczne w przypadku zakłóceń w pracy wymagających ludzkiej ingerencji. System kontrolno-alarmowy może być również zbudowany w ten sposób, by w przypadku awarii urządzenia mógł automatycznie odciąć dopływ wody do posesji.

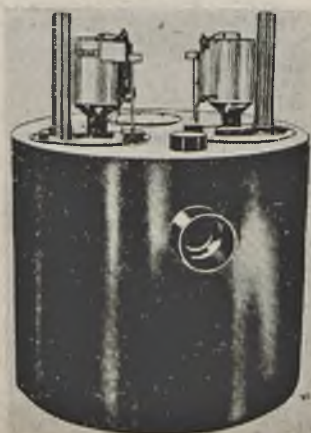
#### Kanalizacja pneumatyczna wysokiego ciśnienia

Konstruktorzy europejscy poszli nieco inną drogą, projektując sieci kanalizacji ciśnieniowej zasilane urządzeniami pneumatycznymi, przy czym maksymalne ciśnienie w przewodach tych sieci przyjęto 4 atn.

W 1965 r. przy okazji projektowania kanalizacji dla jednej z dzielnic Hamburga spróbowano sięgnąć po niekonwencjonalne metody odprowadzania ścieków, bowiem sposób tradycyjny okazał się zbyt drogi głównie z powodu luźnej zabudowy tej dzielnicy [12, 14]. Oczywiście analogicznie, jak to było w stosowanych w USA sieciach niskiego ciśnienia zasilanych agregatami pompowymi, najwięcej wątpliwości budziła możliwość skonstruowania niewielkiego urządzenia pneumatycznego do przetłaczania ścieków, niezawodnego i mogącego pracować bezawaryjnie przez dłuższy czas. Po skonstruowaniu i przebadaniu kilku urządzeń prototypowych współpracujących z siecią sformułowano następujące wnioski:

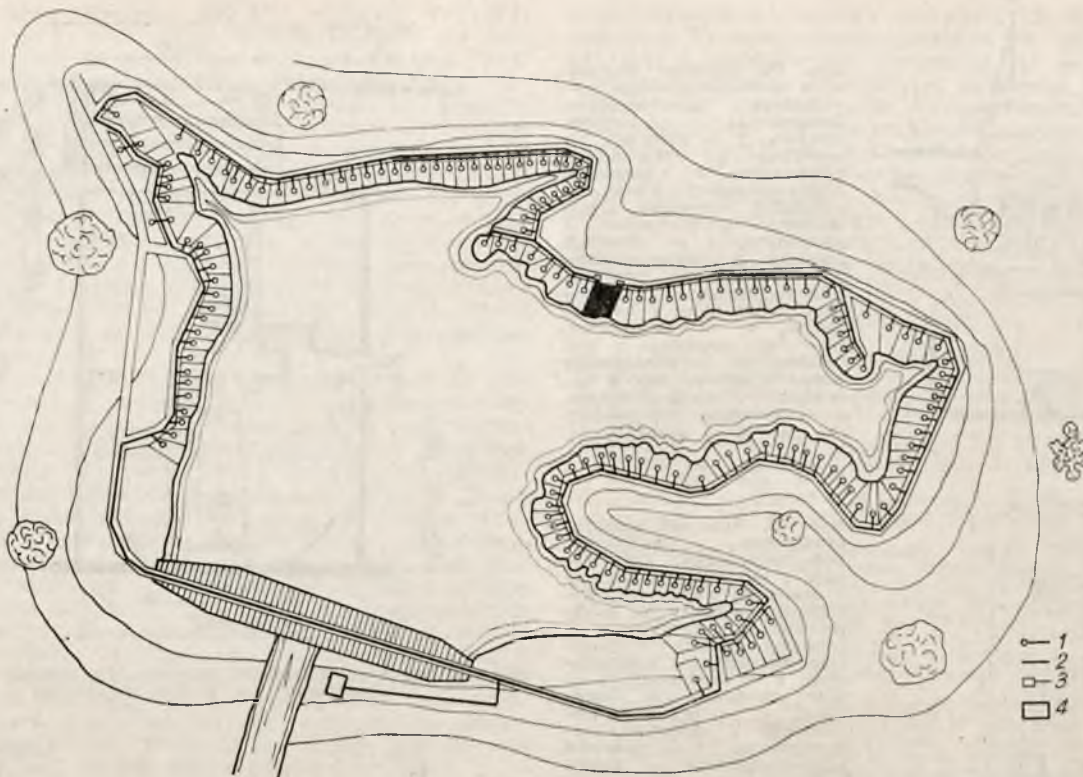


Rys. 11. Ogólny widok urządzenia przetłaczającego ścieki modelu „Farrell GP214” firmy „Environment One Corporation”



Rys. 12. Urządzenie do przetłaczania ścieków firmy „All Power”





Rys. 13. Przykład skanalizowania obrzeży jeziora. Oznaczenia: 1 — urządzenie przelączające z przykanalikiem, 2 — ciśnieniowy przewód kanalizacyjny, 3 — urządzenia puszczające na końcówkach sieci, 4 — oczyszczalnia ścieków

1) wytłaczanie ścieków sprężonym powietrzem z zbiorników o niewielkiej pojemności jest możliwe i technicznie uzasadnione;

2) średnica przewodu tłocznego dla pojedynczego urządzenia powinna wynosić 80 mm;

3) sieć kanalizacji ciśnieniowej pracującą ze ściekami nie rozdrobnionymi należy okresowo przepłukiwać;

4) ze względu na odcięcie dopływu powietrza do ścieków zamkniętych w przewodach ciśnieniowych należy je w pierwszym etapie oczyszczania szczególnie intensywnie napowietrzyć.

W latach 1969—1970 sfinalizowano budowę wysokociśnieniowej sieci kanalizacyjnej długości 8 km, do której podłączono 220 budynków mieszkalnych zaopatrzonych w różnego typu urządzenia pneumatyczne. Jednocześnie zbudowano oczyszczalnię biologiczną dla ścieków dopływających siecią ciśnieniową oraz stację kompresorów do okresowego jej przedmuchiwania. Przewidując konieczność okresowego płukania przewodów na sieci zainstalowano w odległościach trzystumetrowych specjalne urządzenia zbliżone konstrukcyjnie do stosowanych w wodociągach hydrantów, a umożliwiające podłączenie specjalnego samochodu-cysterny, z którego tłoczona jest pod wysokim ciśnieniem woda płuczająca. Koszty całej instalacji wyniosły około 3 mln DM. Największe kłopoty eksploatacyjne związane z zatykaniem się sieci występowały na odcinkach początkowych i dlatego okazało się, że należy raczej projektować sieci pierścieniowe z możliwością przesunięcia punktu podziałowego pierścienia przez zakręcenie odpowiednich zasuw. Ponadto okazało się, że możliwe jest również łączenie sieci wysokociśnieniowych z niskociśnieniowymi zasilanymi za pomocą pomp. Minimalną średnicę ulicznego przewodu ciśnieniowego przyjęto pod warunkiem szczegółowego przeanalizowania rozkładu linii ciśnień równą 100 mm. Jeśli chodzi natomiast o konstrukcję i wielkość samego agregatu do przelączania ścieków uznano, że optymalnym rozwiązaniem jest urządzenie będące w stanie obsłużyć około 10 mieszkańców. Rzecz jasna urządzenie takie może w niektórych wypadkach pompować ścieki z 2 lub nawet 3 budynków. Średnica uzbrojonego w zasuwę przykanalika powinna wynosić 80 mm, co z jednej strony zabezpiecza go przed zatkaniami dużymi ciałami stałymi, a z drugiej — zapewnia osiągnięcie prędkości samooczyszczania przy niewielkim, wynikającym z wydajności urządzenia wydatku. Próby ciśnieniową sieć przeprowadzano na ciśnieniu 10 atn.

Jednostkowy koszt sieci wybudowanej w Hamburgu wyniósł 135 DM/m. Natomiast ceny samych urządzeń kształtowały się na poziomie ok. 4000 DM za urządzenie pneumatyczne i ok. 2000 DM za pompę zasilaną o niewielkiej wydajności (bez kosztów studzienki).

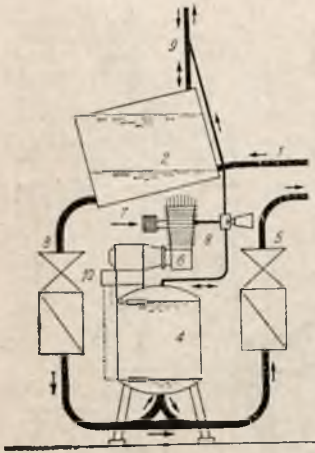
Agregaty pneumatyczne pracują w zmiennych warunkach ciśnieniowych zależnie od położenia względem całej sieci, jak i od ilości pracujących jednocześnie agregatów. Dlatego też charakterystyka wydajności tych urządzeń powinna być w miarę możliwości stroma (analogicznie, jak i urządzeń pompowych). Natomiast średnice przewodów ulicznych powinny być zaprojektowane tak, by okresowo osiągnięta w nich była prędkość samooczyszczania, lecz przy jednoczesnym zadziałaniu dużej liczby urządzeń ciśnienie w żadnym punkcie sieci nie może przekroczyć wartości granicznej, uniemożliwiającej najniekorzystniejszej (najdalej lub najniżej) położonemu urządzeniu wtłoczenie porcji ścieków do sieci. Ze względu na niewielką wartość maksymalnego ciśnienia oraz bardzo znaczne różnice w natężeniach przepływu trudno jest mimo stosunkowo dużych średnic przewodów zaprojektować sprawnie działającą sieć o znacznej długości i jest to w dużej mierze uwarunkowane charakterem zabudowy i trybem życia mieszkańców. Najkorzystniejszą sytuacją występuje wtedy, gdy dobowy zrzut ścieków w przekroju rocznym nie ulega prawie zupełnie wahaniom.

Urządzenia do pneumatycznego przelączania ścieków produkuje się w chwili obecnej na skalę przemysłową (rys. 14, 15). Zasadniczymi ich elementami są: zbiornik wyrównawczy, zbiornik roboczy oraz niewielki kompresor. Pomiędzy zbiornikami znajduje się zawór zwrotny uniemożliwiający cofanie się ścieków do zbiornika wyrównawczego w czasie trwania cyklu wytłaczania ścieków. Drugi taki sam zawór odcina przykanalik od zbiornika roboczego, zapobiegając cofaniu się ścieków do zbiornika po jego odpowietrzeniu.

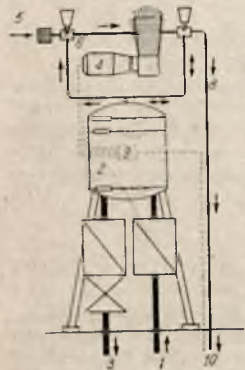
W trakcie przeprowadzanych wcześniej badań ustalono, że najlepiej działają w tych warunkach zawory kulowe [13]. W momencie zanieczyszczenia zaworu i związanej z tym jego nieszczelności następuje gwałtowna pulsacja przepływu ścieków w obydwu kierunkach, aż do momentu usunięcia zanieczyszczenia i przywrócenia zaworowi szczelności.

Wydajność pojedynczego agregatu wynosi około 0,7 l/s, w związku z czym łączny czas jego działania w domu dającym 400—500 l/dn nie przekracza 10—

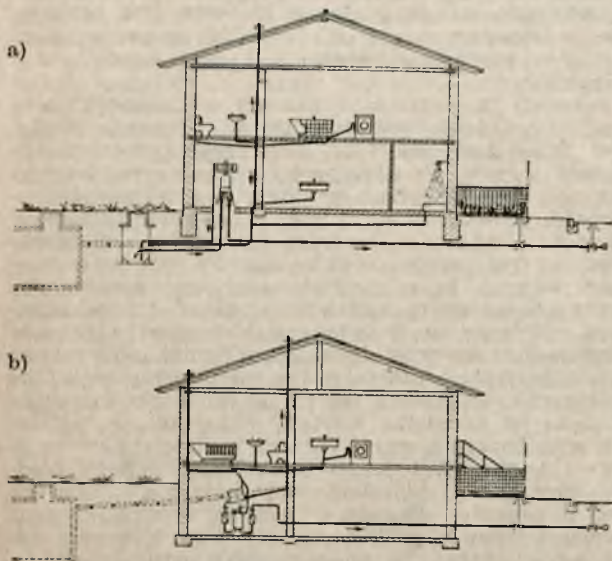




Rys. 14. Schemat podnośnika pneumatycznego napełnianego grawitacyjnie: Oznaczenia: 1 — dopływ ścieków, 2 — zbiornik rezydujący z urządzeniem alarmowym, 3 — przewód doprowadzający ścieki do zbiornika roboczego z zaworami odcinającym i zwrotnym, 4 — zbiornik roboczy z wyłącznikiem, 5 — ciśnieniowy przewód odprowadzający z zaworami zwrotnym i odcinającym, 6 — kompresor, 7 — filtr powietrza z tłumikiem, 8 — ciśnieniowy przewód powietrzny z zaworem magnetycznym, 9 — przewód wentylacyjny, 10 — stycznik



Rys. 15. Schemat samozasysającego podnośnika pneumatycznego: Oznaczenia: 1 — przewód ssawny z zaworem zwrotnym, 2 — zbiornik roboczy z urządzeniem alarmowym, 3 — przewód tłoczny z zaworem zwrotnym i odcinającym, 4 — kompresor, 5 — filtr powietrza z tłumikiem, 6 — przewód powietrzny z zaworem magnetycznym, 7 — przewód odpowietrzający z zaworem magnetycznym, 8 — przewód wentylacyjny, 9 — stycznik, 10 — kabel sterujący od zbiornika ścieków

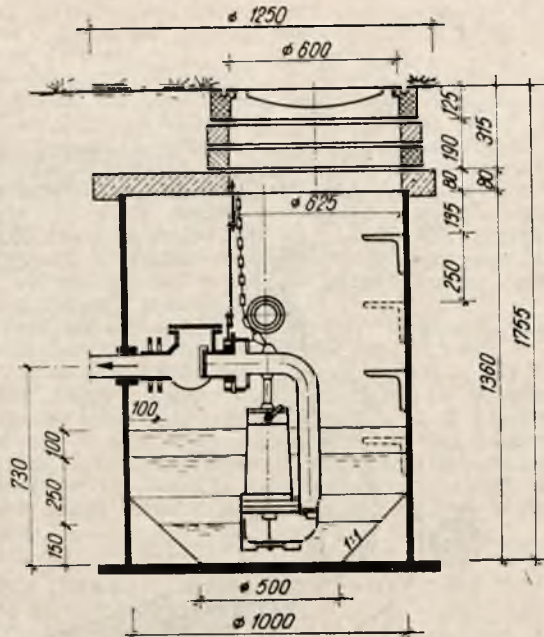


Rys. 16. Przykład zastosowania pneumatycznych podnośników do pompowania ścieków: Oznaczenia: a) budynek niepodpiwniczony wyposażony w urządzenia samozasysające ze zbiornika na zewnątrz budynku, b) budynek z urządzeniem napełnianym grawitacyjnie umieszczonym w piwnicy

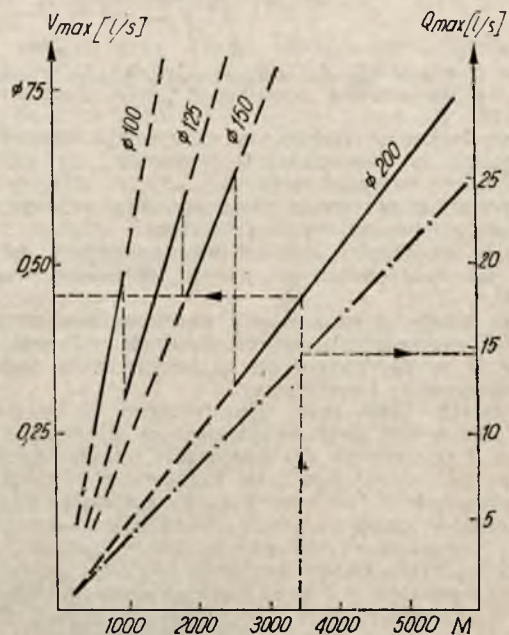
12 min. w ciągu doby. W czasie jednego trwającego minutę cyklu wytlaczania wyrzucone zostaje około 40 l ścieków. Jak z tego wynika łączny czas pracy urządzenia w ciągu roku wynosi ok. 70 h. Kompresor napędzany jest silnikiem o mocy 0,8 kW, a trwałość całego urządzenia określana jest na 20—25 lat.

Do budowy ciśnieniowych sieci kanalizacyjnych używa się przewodów z PCV. Obliczenia hydrauliczne tych przewodów prowadzi się w oparciu o wzór Colebrooka-White'a, przyjmując współczynnik chropowatości  $k_s = 0,007$  mm. Otrzymane w ten sposób liniowe straty ciśnienia zwiększa się o 25% ze względu na zarastanie przewodów i związaną z tym zmianą średnicy wewnętrznej i chropowatości. Maksymalna średnica przewodów zastosowanych podczas budowy pierwszej sieci w Hamburgu wynosi 200 mm.

Podane jednostkowe wskaźniki kosztów sieci wy-



Rys. 17. Przykład pompowni ścieków dla małego budynku, wyposażonej w pompę zatapialną



Rys. 18. Wykres do orientacyjnego doboru średnic przewodów kanalizacji ciśnieniowej w zależności od liczby mieszkańców

budowanej w Hamburgu są stosunkowo wysokie, ale przy budowie następnych sieci udało się je obniżyć do wielkości 70—80 DM/m [9, 10].

#### Inne możliwości obniżenia kosztów kanalizacji

Dążenie do obniżenia kosztów budowy sieci kanalizacji ciśnieniowej doprowadziło do szczegółowych badań dotyczących wymaganej głębokości układania przewodów w ziemi ze względu na zabezpieczenie ich przed mrozem [8]. Badania takie przeprowadzone w RFN pozwoliły stwierdzić, że rury z PCV zaizolowane warstwą pianki poliuretanowej o grubości 40 mm i ułożone na głębokości 0,5 m licząc od wierzchu przewodu są całkowicie zabezpieczone przed zamarznięciem. W czasie wyjątkowo silnych mrozów temperatura gruntu na głębokości 0,5 m spada do wartości — 4,6 do 4,8°C. Ścieki o temperaturze początkowej +6°C w przewodzie z PCV zaizolowanym warstwą pianki poliuretanowej grubości 40 mm przy



temperaturze otoczenia — 4°C osiągają temperaturę 0°C po 27 godz. w przewodzie średnicy 110 mm, a po 47 godz. w przewodzie średnicy 225 mm. Przy dopuszczeniu nawet zakrzepnięcia pewnej części ścieków, co nie utrudni w znaczący sposób ich przepływu, czas ten ulega jeszcze znacznemu wydłużeniu. Jest rzeczą oczywistą, że czas przepływu ścieków przez sieć o znacznej nawet długości i przy założeniu braku przepływu w godzinach nocnych nie przekracza kilkunastu godzin. Dlatego też ułożenie tych przewodów zgodnie z podanymi wyżej zasadami nie może narazić ich na niebezpieczeństwo zamarznięcia. Nie dotyczy to tylko przykanalików budynków zimną nie zamieszkałych, czy też odcinków sieci łączących takie budynki i dlatego wymagają one odpowiedniego zabezpieczenia.

Pianka poliuretanowa, która używana jest do izolacji przewodów, posiada zamkniętą strukturę komórkową, co uodparnia ją na zawilgocenie pod warunkiem nienaruszenia tej struktury. Izolacja piankowa wykonywana jest fabrycznie z pozostawieniem wolnych końców odcinków rur. Złącza i większe grupy armatury izolowane są w wykopie na miejscu w budowaniu. W celu zabezpieczenia przed uszkodzeniami mechanicznymi całość pokrywana jest następnie warstwą ochronną z papy bitumicznej lub z żywic poliestrowej. Ułożenie przewodu pod nawierzchnią asfaltową jest dla niego dodatkowym zabezpieczeniem przed mrozem. Mechaniczna wytrzymałość izolacji piankowej jest jednak ograniczona i dlatego w uzasadnionych przypadkach, np. przejściach pod jezdniami, placami składowymi itp., rury należy dodatkowo zabezpieczyć przed zgnieceniem izolacji lub ułożyć je bez izolacji na większej głębokości.

#### Porównanie zalet i wad kanalizacji ciśnieniowej oraz kanalizacji grawitacyjnej

W stosunku do kanalizacji grawitacyjnej kanalizacja ciśnieniowa ma wiele zalet.

1. Szczelność przewodów, która jest powodem — w przypadku gruntu nawodnionego — nawet kilkakrotnego zmniejszenia ilości ścieków ze względu na brak infiltracji.

2. Korzystniejsza praca oczyszczalni ścieków, pracującej na ściekach stężonych.

3. Brak kontaktu zawartości kanału z gruntem, w którym jest on ułożony, co zapobiega przesuszaniu terenu i jest korzystne pod względem sanitarnym.

4. Kilkakrotne zmniejszenie średnic przewodów, co wynika zarówno z mniejszej ilości płynących ścieków, jak i z pracy kanałów jako całkowicie wypełnionych.

5. Możliwość układania przewodów równoległe do terenu na niewielkiej głębokości (mniejszej od głębokości przewodów wodociągowych ze względu na wyższą temperaturę ścieków).

6. Szybkość budowy sieci wynikająca zarówno z niewielkiej objętości prac ziemnych, jak i z możliwości stosowania lekkich i łatwych w montażu przewodów z tworzyw sztucznych.

7. Możliwość dołączania nowych użytkowników do istniejącej sieci (przepływ można w pewnych granicach zwiększać kosztem wzrostu ciśnienia w sieci).

8. Możliwość współpracy z siecią grawitacyjną, co w określonych sytuacjach stwarza możliwość projektowania układów mieszanych.

Kanalizacja ciśnieniowa ma również pewne wady, jak np. pewne, niewielkie zresztą zużycie energii, możliwość awarii urządzeń, konieczność ich okresowej konserwacji, możliwość zatkania się sieci itd. Uciążliwości eksploatacyjne sieci ciśnieniowej są jednak dla obsługi o wiele mniejsze niż w przypadku sieci grawitacyjnej ze względu na możliwość wykonywania wszelkich prac z powierzchni terenu oraz ich mechanizację.

Wielorakie zalety kanalizacji ciśnieniowej, widoczne szczególnie przy kanalizowaniu terenów płaskich o luźnej zabudowie, zostały szybko dostrzeżone i obecnie sieci takie buduje się już w kilku krajach, m. in. w USA, RFN i Szwecji. Biuro projektowe braci Zander w Braunschweig, które jest „współautorem” projektu pierwszej sieci ciśnieniowej zbudowanej w Hamburgu, opracowuje obecnie projekty takich sieci, które będą zbudowane na terenie RFN [13]. W Minneapolis na terenie USA podjęto już

przygotowania do budowy pierwszej kanalizacji ciśnieniowej systemu ogólnospawnego. W chwili obecnej można bezsprzecznie stwierdzić, że perspektywy rozwoju kanalizacji ciśnieniowej są bardzo duże, tym bardziej że możliwe jest konstruowanie układów kombinowanych pneumatyczno-pompowych i ciśnieniowo-grawitacyjnych. System ciśnieniowej kanalizacji może być również bardzo korzystnym rozwiązaniem i w warunkach polskich, szczególnie w przypadku kanalizacji terenów położonych na obrzeżach jezior i sztucznych zbiorników wodnych, wymagających specjalnej ochrony sanitarnej.

#### Piśmiennictwo

- [1] All Power. Biuletyn VSE73-1R-173-5M-ml.
- [2] Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego w Gdańsku: Inwentaryzacja kanalizacji miasta Olsztyna, 1952.
- [3] Błaszczak W., Roman M., Stamatello H.: Kanalizacja. Arkady, Warszawa 1974.
- [4] Brix J., Imhoff K., Weldert R.: Die Stadtentwässerung in Deutschland. Erster Band, Jena — Verlag von Gustav Fischer 1934.
- [5] Carcich I. G., Farrell R. P., Hetling L. J.: Pressure sewer demonstration project. Journal WPCF Vol. 44 2/1972, s. 165—175.
- [6] Environment One Corporation: Design Handbook for Low Pressure Sewer System. Third Edition, 1973.
- [7] Environment One Corporation: Low Pressure Sewers.
- [8] Kuntze E., Cousin E.: Frostfreie, flache Verlegung von Rohren durch Isolierung mit Hartschaum. Wasser und Boden 21/1969 H. 8 s. 215—220.
- [9] Kuntze E.: Neuere Tendenzen im Bereich des Abwasserabfuhrung GWF — Wasser/Abwasser 113/1972 H. 2, s. 70—77.
- [10] Kuntze E., Zander W.: Lösungsvorschlag für das Problem der Abwassersammlung und — abfuhrung in Niederungsgebieten bei weitläufiger Bebauung GWF — Wasser/Abwasser 108/1967 H. 20, s. 570—573.
- [11] Szniolis A.: Uniwersalna kanalizacja miejska systemu Inż. P. Gandillon. Zdrowie Publiczne 3/1934.
- [12] Zander B.: Druckentwässerung — ein neuzeitliches Verfahren zur Abfuhrung von Abwasser Oesterreicher Abwasser Rundschau 3/1973 s. 48—53.
- [13] Zander B.: Informacje prywatne.
- [14] Zander B.: Druckentwässerung — ein neuzeitliches Verfahren zur Abfuhrung von Abwasser GWF — Wasser/Abwasser 115/1932 H. 10 s. 447—452.
- [15] Water and Sewage Works. November 1973 (ulotka informacyjna).

#### Do Czytelników!

Przypominamy PT Czytelnikom, że termin nadsyłania zamówień i wpłat związanych z prenumeratą czasopism technicznych WCT NOT na rok 1976 upływa dnia 30 października 1975 r.

Informujemy jednocześnie, że podstawą przyjęcia zamówienia do realizacji jest terminowe dokonanie wpłaty — decyduje data stempla pocztowego.

Z uwagi na ograniczone limity przydziału papieru zamówienia realizowane będą w kolejności zgłoszeń.