

Bartłomiej POREMBA¹, Jadwiga KRÓLIKOWSKA²

¹ Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska
Politechnika Krakowska
Wilo Polska Sp. z o.o.

² Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska
Politechnika Krakowska

ROZWÓJ ROZWIĄZAŃ URZĄDZEŃ DO PRZETŁACZANIA ŚCIEKÓW W OSTATNIM STULECIU

THE DEVELOPMENT OF SEWAGE PUMPS IN THE LAST CENTURY

The Usage of pressure systems of sewage disposal is common nowadays. The work describes the evolution of sewage pumps as well as the importance of monitoring sewage pumps' work.

1. Wprowadzenie

Stosowanie ciśnieniowych systemów odprowadzenia ścieków jest obecnie bardzo powszechne, często niezbędne dla zapewnienia sprawnego odprowadzenia ścieków [1]. Systemy te stają się coraz bardziej celowe, bowiem rozrastające się dynamicznie jednostki osadnicze wymagają sieci kanalizacyjnych obejmujących coraz większe obszary, co szczególnie na terenach płaskich wiąże się z coraz większym zagłębianiem kanałów, a więc i podrażaniem kosztów budowy sieci. Kanalizacja ciśnieniowa jest idealnym rozwiązaniem pod względem technicznym i ekonomicznym tam, gdzie istnieje konieczność odprowadzenia ścieków z takich miejsc jak: pola kempingowe, ośrodki wypoczynkowe, obszary na których występuje wysoki poziom wód gruntowych, płaski teren lub skaliste ukształtowanie podłoża uniemożliwiają zastosowanie kanalizacji grawitacyjnej. Instalacje ciśnieniowe znajdują więc zastosowanie wszędzie tam, gdzie grawitacyjnie nie można odprowadzać ścieków do kolektora sanitarnego lub do oczyszczalni ścieków. W praktyce inżynierskiej można więc spotkać się z następującymi układami kanalizacji ciśnieniowej:

- System kanalizacji grawitacyjno-ciśnieniowej lub na odwrót (przepompownie sieciowe)
- System kanalizacji ciśnieniowej na obszarze całej jednostki kanalizowanej (prze-pompownie przydomowe).

Pompy, urządzenia wytwarzające ciśnienie, stanowią podstawowy element pompowni. Przepompownie ścieków wykonywane są z jednym zespołem pompowym lub jako zestawy wielopompowe. W układach wielopompowych jedna pompa stanowi zawsze tzw. rezerwę czynną.

Rys jak i dlaczego następowała ewolucja rozwiązań pomp ściekowych jest przedmiotem tego artykułu.

2. Charakterystyka ewolucji rozwiązań pomp ściekowych

Historycznie rzecz ujmując produkcję urządzeń umożliwiających pompowanie ścieków opanowano pod koniec XIX wieku. Wynalazek silnika parowego w połączeniu z pompą tłokową dało początek historii rozwoju pomp ściekowych. Zastosowanie takiego rozwiązania wymagało jednak budowy dużych zbiorników gromadzących dopływające ścieki oraz hal maszynowni, gdzie zainstalowana była pompa wraz z silnikiem parowym (fot. 1).



Fot.1 *Pompa parowa.*

Fot.1 *Steam pump*

Dużym problemem takiego układu było częste zatykanie się pompy dopływającymi ściekami, co w miarę rozwoju techniki starano się zniwelować stosując przed pompami różnego rodzaju kraty i sита.

Przełomowym odkryciem dla współcześnie znanych pomp ściekowych było skonstruowanie silnika elektrycznego i zastosowanie go do napędu pomp. Zamiana dużych silników parowych na mniejsze elektryczne pozwoliło na ograniczenie miejsca potrzebnego do budowy komór pompowni oraz na poprawę parametrów pompowania. Pierwsze silniki napędzały układy pompowe poprzez pasy transmisyjne, z czasem zastąpiono je odpowiednimi sprzęgłami, które umożliwiły lepsze przeniesienie napędu z silnika na pompę.

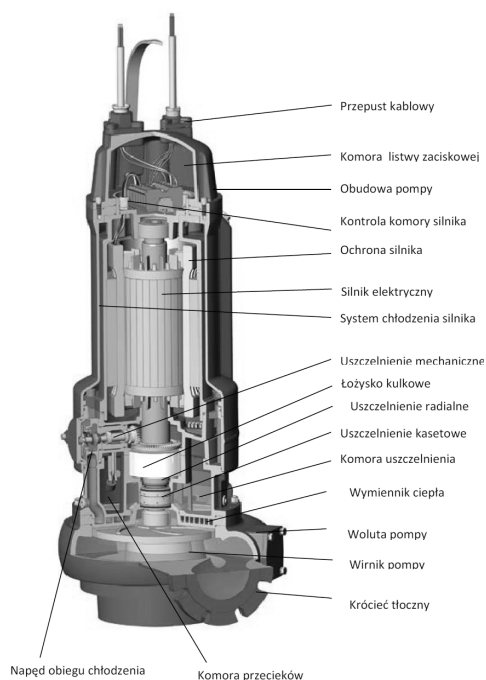


Fot. 2 Silnik napędowy agregatów pompowych

Fot.2 Pump unit engine

Do lat 40 XX w stosowano powszechnie pompy o poziomym wale napędowym, które wymagały budowy obszernych i kosztownych pompowni wyposażonych w kraty i rozdrabniarki. Opatentowanie pomp z pionowym walem napędowym umożliwiło dalszy rozwój pomp ściekowych oraz ograniczenie budowy drogich urządzeń pomocniczych (krat i rozdrabniarek).

Prawdziwy przełom nastąpił jednak w połowie lat 50 XX w gdy udało się skonstruować pierwsze agregaty pompowe zatapialne.



Rys. 1 Budowa pompy zatapialnej

Pic. 1 Submersible pump construction

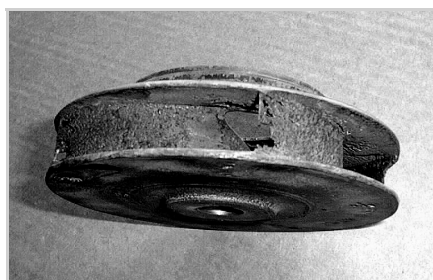
Podstawowy problem, który udało się również rozwiązać było opracowanie odpowiedniego uszczelnienia oddzielającego pompę od silnika [2], [3]. Umożliwiło to budowę dużej liczby tanich i niezawodnych pompowni (ograniczono wymiary pompowni poprzez likwidację komory suchej w której dotychczas montowano pompy, konstrukcja wirnika bardziej odpornego na zapychanie pozwoliła na rezygnację z dodatkowych krat). Istotnym czynnikiem był również rozwój osprzętu niezbędnego dla pomp zatapialnych – wynalezienie samoczynnego złącza umożliwiającego montaż pompy z powierzchni terenu co wiązało się z ograniczeniem obsługi oraz szybszą naprawą pompy, którą można było zabrać do warsztatu. Innymi korzyściami które wynikły z zastosowania zatapialnych pomp ściekowych to likwidacja wielu przewodów ssących, lepsze chłodzenie silników poprzez ich zanurzenie w ściekach, a co za tym idzie wyciszenie układów, odporność pompowni na czynniki atmosferyczne (zalania, podtopienia) oraz zwiększenie niezawodności całych systemów kanalizacyjnych. Wszechstronność obecnie dostępnych pomp ściekowych wynika z faktu, iż uporano się w nich z niebezpieczeństwem zapychania oraz zjawiskiem korozji. Groźba zatkania została znacząco zmniejszona poprzez odpowiednie, dostosowane do różnych rodzajów ścieków, ukształtowanie wirników ,natomiast korozji unika się przez stosowanie odpowiednich materiałów.



Fot. 3. Wirnik pompy zatapialnej po kilku latach pracy w środowisku z dużą zawartością piasku.

Fot. 3. Submersible pump rotor after a few years in sandy environment

Na wskutek wycierania się materiału wirnika powstały nieszczelności dyskwalifikujące dalszą pracę pompy.



Fot. 4. Wirnik pompy zatapialnej pracujący w środowisku agresywnym

Fot. 4. Submersible pump rotor working in aggressive environment



Fot. 5. Przykład wykonania pompy z nieodpowiedniego materiału w stosunku do składu tłoczonych ścieków

Fot. 5. An example of pump made of inappropriate materials in relation to pumped sewage type



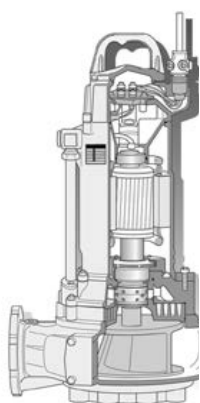
Fot. 6. Zatkany wirnik pompy ściekowej przez „szmatę”, która dołynęła do zbiornika pompowni.

Fot. 6. Clogged submersible pump rotor by a cloth

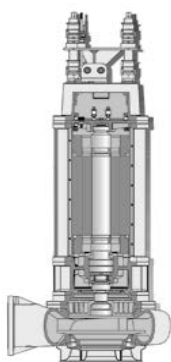
Zły dobór materiału z jakiego mają być wykonane wirniki w stosunku do charakteru przetłaczanych ścieków może doprowadzić do szybszego ich zużycia. Mała świadomość i brak kultury użytkowników systemów kanalizacyjnych przyczynia się do częstych awarii pomp ściekowych jak na fot. 6.

Głównym czynnikiem przyspieszającym rozwój zatapialnych pomp ściekowych było skonstruowanie odpowiednich uszczelnień, które umożliwiły odseparowanie silnika od pompy. Pierwsze uszczelnienia sznurowe ciągle są zastępowane przez coraz bardziej niezawodne i ulepszane systemy uszczelnienia. Dodatkowo w celu zapewnienia lepszej kontroli szczelności producenci montują czujniki wilgoci w komorze uszczelniającej.

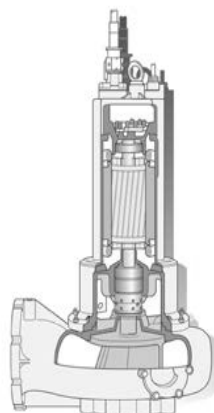
Ważnym kryterium zatapialnych pomp ściekowych jest głębokość ich zanurzenia. Wynika to z faktu, iż większość obecnie stosowanych pomp jest chłodzona za pomocą opływających ich ścieków, które przejmują ciepło powstałe przy pracy silnika. Takie wykonanie pomp wiąże się z problemem zapewnienia odpowiedniej pojemności martwej w pompowniach ścieków, co niestety powoduje ich pogłębienie, a co za tym idzie dodatkowe koszty. Większość obecnych producentów pomp rozwiązała ten problem stosując dodatkowe układy chłodzenia wypełnione olejem lub montując dodatkowe czujniki temperatury kontrolujące temperaturę silnika.



*Silnik napełniony olejem
wewnętrzny obieg
chłodzenia oleju*



*Silnik suchy z wewnętrznym
obiegami chłodzenia oleju*



*Silnik suchy nie wypełniony olejem
bez obiegu chłodzenia (chłodzony
otaczającym go medium)*

Rys 2. Typy silników

Pic. 2 Types of engines

Zastosowanie takich rozwiązań w znacznym stopniu chroni silnik przed przegrzaniem, ale również pomaga użytkownikom w łatwy sposób wykryć ewentualne przecieki w układzie silnik-pompa, gdyż pierwszym objawem nieszczelności jest powstanie emulsji w wyniku zmętnienia oleju.

Rozwój uszczelnień i systemów chłodzenia spowodował szybki rozwój zatapialnych pomp ściekowych, jednak nie należy zapominać o tym, że pompy takie stosuje się również w komorach suchych. Przy zastosowaniu pomp o dużych wydajnościach ich ewentualna naprawa lub wymiana w przypadku pracy w zanurzeniu byłaby znacząco utrudniona ze względu na wymiary i wagę agregatów pompowych.



Fot. 7 Zastosowanie pomp ściekowych w suchej komorze

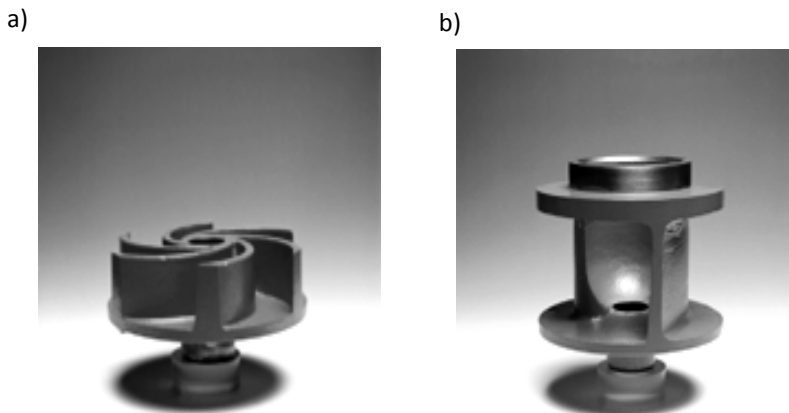
Fot. 7 An example of sewage pump usage in a dry chamber

Kolejnym elementem sprzyjającym powszechnemu użyciu pomp ściekowych są materiały użyte do ich produkcji. Podstawowym materiałem stosowanym przez wszystkich producentów są różne rodzaje żeliwa. Obecnie ze względu na dużą różnorodność chemiczną pompowanych cieczy istnieje możliwość wykonania pomp z dopasowanych w tym celu materiałów takich, jak stal nierdzewna, staliwo, brąz, abradit. Dodatkowo stosowane są różnego rodzaju powłoki zwiększające żywotność elementów stykających się z pompowaną cieczą- powłoki ceramiczne, powłoki utwardzane, itp.

Ważnym czynnikiem w rozwoju pomp ściekowych stał się swego rodzaju indywidualizm, który pozwala optymalnie dopasować układ pompowy do wymagań użytkownika. Dobór odpowiedniego silnika elektrycznego dostosowanego do konkretnego punktu pracy ogranicza jego przewymiarowanie, co wiąże się ze zmniejszeniem mocy i kosztów ponoszonych przez użytkownika. Rozwój silników elektrycznych umożliwił również zwiększenie częstotliwości załączeń pomp, co w istotny sposób wpływa na skrócenie czasu przetrzymania ścieków w zbiornikach, a co za tym idzie zmniejszenia wymiarów zbiorników i kosztów pompowni. Rozwiązano również problem związany z rozruchem układów pompowych stosując odpowiednie przekładnie, które nie powodują uderzeń hydraulicznych groźnych szczególnie przy pompach o dużych wydajnościach i mocach.

Najważniejszym czynnikiem mającym wpływ na popularność i ciągły rozwój pomp ściekowych była i jest rewolucja w konstrukcji wirnika pompy. Wirniki można podzielić na dwie grupy:

- otwarte jedno i wielokanałowe (w tym Vortex),
- zamknięte jedno i wielokanałowe.



Fot. 8 Przykładowe typy wirników a) otwarty typu Vortex, b) zamknięty jednokanałowy

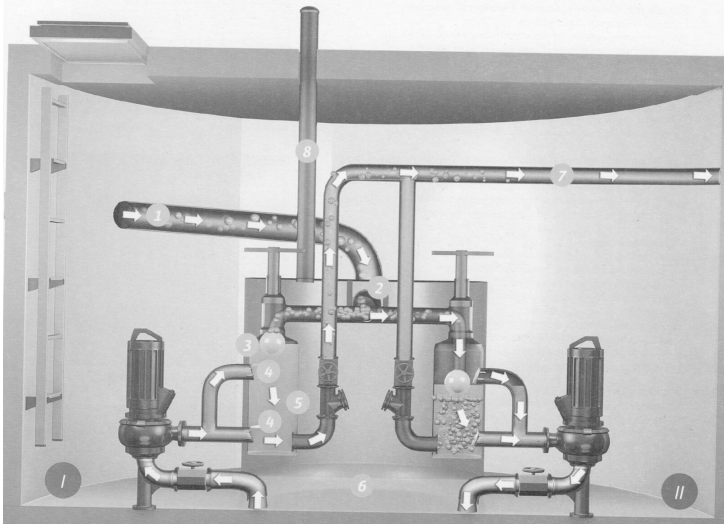
Fot. 8 Types of rotors a) open Vortex type, b) closed single-channel

Wybór odpowiedniego wirnika ma niebagatelne znaczenie w późniejszym użytkowaniu pompy. Pompy z wirnikami otwartymi mają mniejszą sprawność (ok. 65%) i wydajność, natomiast pompy z wirnikami zamkniętymi posiadają większą sprawność (ok. 80%) i wydajność.

Ze względu na ciągle niewystarczającą świadomość społeczną użytkowników systemów kanalizacyjnych, którzy nierzadko traktują system jako wygodny sposób na pozbycie się kłopotliwych odpadów dąży się do stosowania wirników o jak największym wolnym przelocie. Stosowanie takich rozwiązań jest niestety kompromisem pomiędzy niezawodnością układu a zwiększeniem mocy elektrycznej silnika i kosztów związanych z eksploatacją pomp.

Zwiększając wolny przelot zmniejsza się jednocześnie jego sprawność, a co za tym idzie zwiększ moc pompy. Dlatego kolejne rozwiązania szły w kierunku uzyskania wysokiej niezawodności przy zachowaniu odpowiedniej sprawności.

Takim rozwiązaniem okazała się tłocznia ścieków, w której dzięki separacji części stałych można zmniejszyć wolny przelot w pompie. Tłocznia jest połączeniem przepompowni ścieków, z pompami ustawionymi na sucho oraz systemu separacji części stałych.



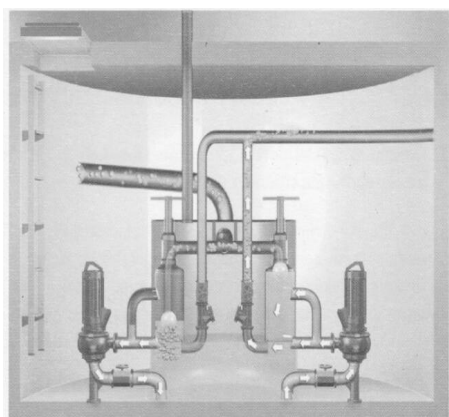
Rys. 3 Zasada działania tłoczni Wilo EMUport
I – proces pompowania, II – proces napełniania,

Pic. 3 Sewage pumps stations Wilo EMUport- mechanism
I – pumping phase, II- filling phase
1 – odpowietrzenie komory retencyjnej, 2 – kula zamykająca, 3 – kłapa cedząca, 4 – kanał wlotowy, 5 – rozdzielacz grawitacyjny, 6 – rura tłoczna, 7 – zbiornik retencyjny, 8 – zbiornik separatora części stałych

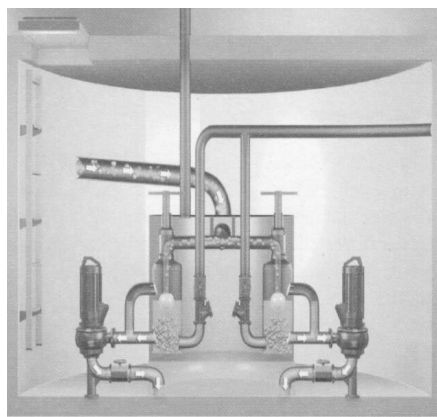
W procesie napełniania ścieki surowe dopływające do tłoczni kanałem wlotowym grawitacyjnie przez rozdzielacz wpływają do pionowego separatora części stałych zabudowanego w komorze retencyjnej. W separatorze następuje mechaniczne oddzielenie na kłapie cedzącej grubszych części stałych z ścieków. Części stałe pozostają w separatorze, a oczyszczone ścieki przepływają dalej grawitacyjnie i przez kłapę cedzącą i pompę trafiają do zamkniętej komory retencyjnej.

Kiedy poziom oczyszczonych ścieków w zbiorniku retencyjnym się podnosi, od pewnego momentu podnosi się również poziom w zbiorniku separatora części stałych. Po osiągnięciu poziomu maksymalnego zawór w postaci kuli automatycznie zamyka wlot, a równocześnie czujnik poziomu podaje sygnał i włącza się jedna z pomp wypompowując w odwrotnym kierunku oczyszczone ścieki z komory retencyjnej. Pompa przetłacza oczyszczone ścieki najpierw do separatora, w którym otwiera się kłapa cedząca i z którego wypłukiwane są wcześniej odcedzone części stałe i pompowane do rurociągu tłoczego.

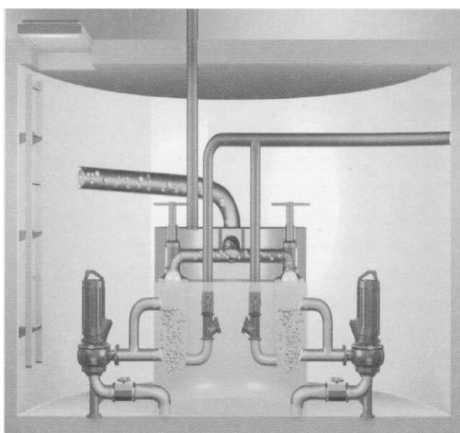
Proces pompowania kończy się po osiągnięciu odpowiedniego poziomu wyłączenia pomp. Kula w separatorze opada i otwiera drogę dla nowego procesu napełniania. Podczas procesu pompowania dopływające ścieki są kierowane do drugiego zbiornika separacji zanieczyszczeń stałych.



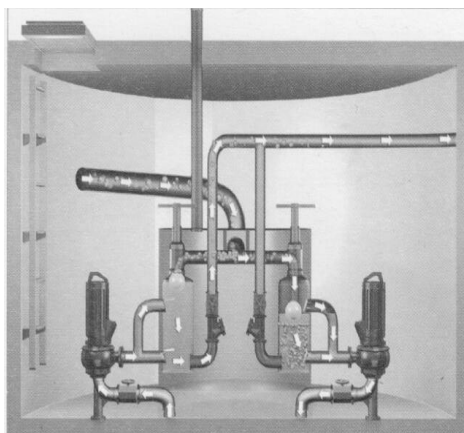
Po lewej proces napelniania – po prawej proces pompowania



Proces napelniania po obu stronach



Osiągnięty punkt włączenia pomp



Po lewej proces pompowania – po prawej proces napelniania

Rys. 4. Etapy pracy tłoczni ścieków Wilo EMUport

Pic. 4. Working phases of sewage pumps stations Wilo EMUport

Dzięki zastosowaniu systemu separacji części stałych wirniki pomp są chronione przed zapychaniem, ponieważ w odróżnieniu od tradycyjnej pompowni pompy nie muszą pompować ścieków zawierających większe części stałe mogące blokować wirniki pomp.

Niskie koszty eksploatacji wynikają z zastosowania pomp o małym przelocie, ponieważ mają one zwykle wyższą sprawność i dają możliwość zastosowania silników o mniejszej mocy.

Dzięki systemowi separacji części stałych pompy nie mają kontaktu z większymi zanieczyszczeniami stałymi zawartymi w ściekach podczas procesu pompowania.

Zapewnia to następujące korzyści:

- niskie koszty konserwacji i eksploatacji ruchomych części pomp,
- komora pomp pozostaje sucha, czysta i wolna od odorów,
- higieniczne warunki przy pracach montażowych i konserwacyjnych,
- układ może działać cały czas, również podczas serwisowania jednej z pomp,
- pompy są ustawione na sucho, z silnikami z wewnętrznym zamkniętym obiegiem chłodzącym,
- brak problemów korozyjnych,
- możliwe zastosowanie pomp z przelotem o średnicy < 80 mm, o wyższej sprawności,
- mniejsze zużycie elementów wirujących,
- pompy do ścieków ustawione na sucho, ale z zabezpieczeniem typu IP 68 (szczelność w zanurzeniu), co daje bezpieczeństwo w przypadku zalania.

Dla porównania przepompowni i tłoczni ścieków poniżej przedstawiono wstępną analizę kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Jako dane wyjściowe przyjęto parametry pracy pompy: $Q = 20$ l/s, $H = 60$ m H_2O , pompy o wolnym przelocie DN 100 i DN 80.

Tab. 1. Porównanie 2 pomp o różnym wolnym przelocie.

Tab. 1. Comparison of pumps with difrend free full flow

	Klasyczna przepompownia ścieków	Tłocznia ścieków
Rodzaj pompy	Pompa o wolnym przelocie DN 100	Pompa o wolnym przelocie DN 80
Moc Pompy [kW]	50	35
Ilość zużytej energii elektrycznej w ciągu roku	$50kW \times 24h \times 365dni \times 0,38zł = 166\ 440zł$	$35kW \times 24h \times 365dni \times 0,38zł = 116\ 508zł$
Efekt	Oszczędność 49 932 zł o 30% mniejsze zużycie energii elektrycznej	
Koszty zakupu	Ok. 180 000zł	Ok. 300 000zł
Zużycie energii w ciągu 20 lat	3328800 zł	2330160 zł
Oszczędność energii	Oszczędność 998 640 zł i 30% mniejsze zużycie energii	



Rys. 5. Wykres kosztów eksploatacyjnych tłoczni i przepompowni

Pic. 5. Diagram of operational costs of sewage pumps stations and pump station

W powyższej tabeli łatwo zauważyć oszczędność energii elektrycznej przy zastosowaniu tłoczni już po roku jej użytkowania. Nakłady jakie musi ponieść inwestor przy zakupie tłoczni są dużo większe niż klasycznej przepompowni, ale oszczędność energii elektrycznej sprawia, iż koszty inwestycji szybko się zwracają. Przyjmuje się że zrównanie kosztów eksploatacji tłoczni i przepompowni następuje już po 5 roku jej użytkowania.

Dostępne dziś na rynku inteligentne pompy, z regulacją prędkości i wyposażone w czujniki wcześniej wykrywające zagrożenia awariami, mogą pracować z nie w pełni sprawnymi elementami, pozwalają unikać awarii i przestojów i w konsekwencji charakteryzują się długą żywotnością, a to są warunki niezbędne dla uzyskania niskich całkowitych kosztów eksploatacji w całym okresie żywotności (LCC).

Ewolucja konstrukcji pomp kanalizacyjnych dokonywana jest dzięki ciągłemu monitorowaniu istniejących rozwiązań.

3. Monitoring pracy pomp kanalizacyjnych

Monitoring pracy pomp kanalizacyjnych (ściekowych) pozwala oceniać wpływ fizycznego zużycia pompy na jej niezawodność, bezpieczeństwo i koszty zużycia energii, koszty technicznej obsługi i remontów urządzeń [4].

Niezawodność pompy należy określić jako właściwość pompy do spełniania wymaganych funkcji, czyli przepompowywania określonej ilości ścieków na żadaną wysokość, w określonych warunkach i zadanym okresie czasu w sposób bezpieczny.

Funkcjonowanie, eksploatacja pompy powinny być bezpieczne dla ich użytkowników, użytkowników innych systemów znajdujących się w obszarze wpływu pompy oraz środowiska naturalnego.

Proces funkcjonowania pomp kanalizacyjnych można opisać za pomocą modelu losowego procesu z odnową niezerową, w dłuższym odcinku czasu działa w cyklu „praca – naprawa”.

Liczbowa ocena wymienionych własności jest ograniczona probabilistycznymi wskaźnikami niezawodności (np. prawdopodobieństwo wystąpienia awarii, intensywność uszkodzeń, intensywność odnowy) oraz technologicznymi wskaźnikami (np. wydajność, zużycie energii) które są wzajemnie związane.

Probabilistyczne wskaźniki, charakteryzujące niezawodność działania i zdolność remontową są wyznaczane dla oceny wpływu fizycznego zużycia pomp na bezpieczeństwo, czyli na prawdopodobieństwo wystąpienia awarii. Awarie mogą być związane z samą pompą, silnikiem, armaturą lub systemem kontrolno-pomiarowym.

Do wyznaczenia wartości wskaźników niezawodności można stosować klasyczne metody teorii niezawodności np. metody bezpośrednie - badania terenowe. Polegają one na statystycznym opracowaniu informacji dotyczących funkcjonowania systemu oraz prawidłowości mogących zachodzić w systemie jako całości, jak i w pojedynczych jego elementach. Obserwacje prowadzi się w warunkach eksploatacyjnych przez pewien skończony okres jego pracy, a dane pochodzą w dużej mierze z dokumentacji technicznej i eksploatacyjnej oraz z konfrontacji z ekipą eksploatującą system. Wnioskowanie oparte na takich badaniach jest nazywane estymacją, a badany zbiór elementów populacją generalną. Funkcja służąca do szacowania wskaźnika niezawodności (jego wielkości) określana jest mianem estymatora tej wielkości. W praktyce najczęściej w badaniach eksploatacyjnych posługujemy się charakterystykami ilościowymi odpowiednio: funkcji czasu trwania pracy T_p oraz funkcji czasu trwania odnowy T_n na ich podstawie wyznacza się wskaźniki niezawodności funkcjonowania systemu.

Technologiczne wskaźniki, charakteryzujące zdolność pomp do spełniania założonych funkcji są wyznaczane dla oceny odchyień faktycznych wartości wydajności, ciśnienia i zużycia energii eksploatowanej pompy od metrykalnych wartości.

4. Podsumowanie

Przy doborze pompy największe znaczenie ma znajomość warunków eksploatacji, czyli parametrów technologicznych, składu ścieków, warunków miejscowych.

Monitorowanie uszkodzeń i nieprawidłowości w funkcjonowaniu pomp ściekowych jest tym aspektem monitorowania, który pozwoli na ocenę jakości funkcjonowania pomp, sprowadzającą się do oceny jakości świadczonych usług wyrażonej za pomocą odpowiednich wskaźników liczbowych.

W chwili obecnej starania wszystkich producentów pomp skoncentrowane są na opracowywaniu nowych kształtów i typów wirników, gdyż jest to ostatni z elementów, który ciągle wymaga poprawy i dążenia do doskonałości. Uzyskanie coraz większych sprawności przy jednoczesnym obniżeniu zużycia energii elektrycznej to cel, który przyświeca obecnym konstruktorom w dobie tak powszechnej uwagi na wydłużenie okresu żywotności (LCC). Obecnie w dziedzinie pompowania ścieków dominującym rozwiązaniem są wirniki jednokanałowe i wirniki Vortex.

Bibliografia

- [1] Bolt A, Gudelis-Taraszkiewicz K, Suligowski Z, Tuszyńska A,: Kanalizacja. Projektowanie, wykonanie ,eksploatacja (Seidel-Przywecki 2012)
- [2] Weismann D. Komunalne przepompownie ścieków (Seidel-Przywecki 2001)
- [3] Broszury produktowe Wilo Polska Sp. z o.o.
- [4] Królikowska J. (2010) – Niezawodność funkcjonowania i bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej. Monografia 382. Wydawnictwa PK

