

# Podręcznik oszczędzania energii

- w układach pompowych do wody zanieczyszczonej

Marzec 2006

Grupa Robocza w ramach PSO – Projekt Badawczo Rozwojowy 336-055  
Oszczędność energii przez optymalizację rurociągów do wody zanieczyszczonej



NAPĘDY ELEKTRYCZNE

**Danfoss**



Przetwornice częstotliwości



### VLT® AQUA Drive FC 200

Zaprojektowane dla aplikacji w gospodarce wodno-ściekowej  
w wykonaniu kompaktowym

**4 kW - 450 kW / 400 V  
do 630 kW / 690 V**

w konfiguracji modułowej

**do 1,0 MW / 400 - 500 V  
1,2 MW / 690 V**

- Wszystkie korzyści doskonale zaprojektowanego napędu VT (zmienny moment obciążenia dla układów pompowych)
- Dodatkowo możliwość pracy w trybie CT (stały moment obciążenia) dla bardziej wymagających aplikacji
- Zintegrowany regulator kaskady pomp/dmuchaw
- Wykonania dedykowane do środowisk agresywnych i korozyjnych
- Ograniczenie zakłóceń RFI i harmonicznych jako standard

**VLT®**  
THE REAL DRIVE

VLT® **40**  
1968 • 2008

NAPĘDY ELEKTRYCZNE

**Danfoss**



Przetwornice częstotliwości



### VLT® HVAC Drive FC 100

FC 100 to racjonalny wybór napędu dla energooszczędnych systemów inteligentnego zarządzania budynkami i sieciami komunalnymi.

**1,1 - 450 kW / 400 V**

FC 100 to przetwornica częstotliwości.

Dedykowana jest do zastosowań w:

- Klimatyzacji
- Wentylacji
- Ciepłownictwie
- Układach zasilania wodą

**Zalety:**

- Sprawność 98%
- Monitoring zużycia energii
- Tryb pracy przeciwpożarowej
- Regulator kaskady pomp
- Zegar czasu rzeczywistego
- Kompaktowa budowa i elastyczność konfiguracji
- Protokoły BMS

**najniższy koszt eksploatacji,  
prosta i bezpieczna obsługa  
"jak z dziecięcej bajki"**

**VLT®**  
THE REAL DRIVE

VLT® **40**  
1968 • 2008



## Spis treści

1.	Wprowadzenie.....	4
2.	Czym jest układ pompowy?.....	5
3.	W jaki sposób wykorzystywana jest energia? .....	5
4.	Zbieraj owoce z najniższej gałęzi .....	6
5.	Kontrola stanu układu pompowego .....	6
5.1	Zawór zwrotny.....	6
5.2	Sprzęg rurowy .....	7
5.3	Wirnik pompy .....	7
5.4	Armatura .....	8
5.5	Wycieki.....	8
5.6	Nadmiar wody .....	8
6.	Urządzenia zużywające energię .....	9
6.1	Oszczędności na ogrzewaniu .....	9
6.2	Oszczędności na wentylacji.....	10
6.3	Oszczędności na oświetleniu.....	11
6.4	Praca kompresorów.....	11
6.5	Pompy próżniowe.....	12
6.6	Stacja hydrauliczna .....	12
7.	Wykorzystanie danych operacyjnych .....	12
8.	Praca pomp.....	13
8.1	Obciążenie.....	14
8.2	Ciśnienie .....	14
8.3	Pompy .....	16
8.4	Warunki pracy .....	20
9.	Regulacja częstotliwości.....	23
9.1	Jakie pompownie jest sens poddawać regulacji? .....	23
9.2	Ceny przetwornic częstotliwości .....	24
9.3	Koszty instalacji .....	25
9.4	Czy zawsze możliwe jest oszczędzanie energii przez zastosowanie przetwornicy częstotliwości?.....	25
9.5	Inne powody przemawiające za stosowaniem regulacji częstotliwości w pompowniach.....	27
9.6	Jakie są korzyści z instalowania przetwornicy częstotliwości? .....	28
10.	Dobór przetwornicy częstotliwości.....	29
11.	Liczba przetwornic częstotliwości.....	30
12.	Usytuowanie przetwornicy częstotliwości .....	30
13.	Instalacja przetwornic częstotliwości .....	30
13.1	Regulowanie przetwornic częstotliwości.....	30
13.2	Szum elektryczny (EMC).....	33
13.3	Pozostałe regulacje.....	34
14.	Sterowanie przetwornicami częstotliwości.....	34
14.1	Uruchomienie pomp.....	34
14.2	Czas utrzymania.....	34
14.3	Poziom odniesienia.....	35
15.	Optymalna częstotliwość .....	36
16.	Schemat wspomagający podejmowanie decyzji dotyczącej instalowania .....	37



17.	Lista kontrolna przy instalowaniu przetwornicy częstotliwości.....	38
18.	Lista kontrolna możliwych oszczędności energii .....	39



## 1. Wprowadzenie

Niniejszy podręcznik został przygotowany oraz opublikowany przez oddział operacyjny PSO - Projekt Badawczo Rozwojowy nr 336-055, pod tytułem: "Oszczędność energii przez optymalizację rurociągów wody zanieczyszczonej". Projekt został przygotowany przez grupę roboczą, w której skład wchodził: Urząd Miasta Aarhus (Dania), Danfoss, ITT Flygt oraz Carl Bro, we współpracy z innymi 20 urzędami miejskimi w Danii.

Niniejszy podręcznik jest w pierwszej kolejności i przede wszystkim adresowany dla personelu operacyjnego odpowiedzialnego za codzienne funkcjonowanie miejskich stacji pompowych służących do przepompowywania ścieków. Niemniej jednak, będzie on również użyteczny dla pozostałych grup zawodowych zaangażowanych w planowanie, pracę oraz utrzymanie instalacji wody zanieczyszczonej.

Celem niniejszego podręcznika jest promowanie oszczędzania energii. Jednocześnie jednak, decyzja na temat umieszczenia zawartych tutaj wskazówek dotyczących oszczędności energii została oparta na uprzednim zagwarantowaniu, że środowisko pracy oraz bezpieczeństwo pracy, jak również niezawodność nie ulegną pogorszeniu, w wyniku ich wdrożenia.

Podręcznik opisuje różne komponenty zainstalowane w zwykłych pompowniach tłoczących ścieki, wraz z informacjami co można zrobić w celu obniżenia pobieranej przez nie energii. W pierwszej kolejności przyglądamy się pojedynczym elementom zainstalowanym w pompowni. Następnie, rozważamy jaki wpływ mają one na zużycie energii, oraz co może zostać zrobione, by zmniejszyć ich wpływ. W następnej kolejności, opisujemy w jaki sposób można zaoszczędzić energię przez kontrolowanie prądu zasilającego silniki pomp, jakiego rodzaju pompownie mogą skorzystać z regulacji częstotliwości, wiążące się z tym oszczędności oraz koszty, jak również opisujemy najlepsze sposoby instalacji, obsługi i pracy przetwornicy częstotliwości.

Należy tutaj zaznaczyć, że w podręczniku zawarte zostały wyłącznie rozważania natury ogólnej. Wszystkie pompownie są niepowtarzalne i nie można ich porównywać w sposób bezpośredni. Istnieje zatem konieczność podjęcia indywidualnej oceny każdej z takich pompowni.

Oszczędność energii można uzyskać wyłącznie przez porównanie z danymi statystycznymi na temat zużycia energii, co oznacza określenie różnicy w obecnym zużyciu energii w porównaniu ze zużyciem wcześniejszym. Nie trzeba tutaj dodawać, że porównanie takie nie jest możliwe w nowobudowanych pompowniach, chociaż sugestie opisane w niniejszym podręczniku mogą z pewnością zostać zastosowane na etapie planowania i projektowania nowych pompowni. Im wcześniej w procesie budowy wdrażane są te środki oszczędności kosztów, tym tańsze i bardziej efektywne, z punktu widzenia energii, budowane są pompownie.

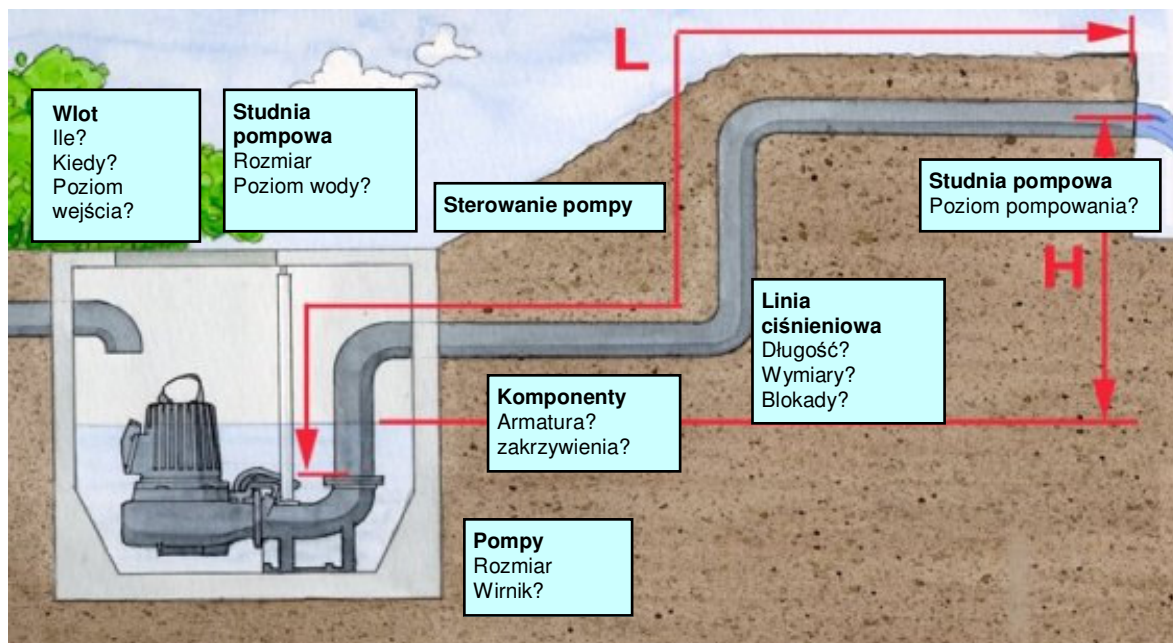
Zużycie energii w pompowniach oznacza prawie wyłącznie energię elektryczną. Mamy zatem do czynienia jedynie ze zużyciem energii elektrycznej w pompowniach zasilanych elektrycznie.

Na koniec, w podręczniku podajemy przegląd różnych metod oszczędzania energii. Mamy nadzieję, że przegląd ten będzie powielany i wywieszany na zakładowych tablicach informacyjnych, zapewniając tym samym codzienną inspirację. Mamy również nadzieję, że niniejszy podręcznik zostanie wydrukowany i wyłożony w kantynach, tak by państwa koledzy mieli możliwość jego przeglądania w ramach dostępnego czasu i możliwości.



## 2. Czym jest układ pompowy?

W niniejszym podręczniku termin "układ pompowy" nie jest stosowany wyłącznie do pompowni, lecz również obejmuje wlot studni pompowej oraz do rurociągu. Wszystkie z tych części systemu mają wpływ na zużycie energii.



## 3. W jaki sposób wykorzystywana jest energia?

Co powoduje, że liczniki energii wykonują pomiary?

Pompownia może się składać z dosyć skomplikowanych kombinacji wielu odrębnych komponentów pobierających energię, które posiadają bardzo różne funkcje i poziomy zużycia energii. Typowymi komponentami są:

- Pompy
- Układ ogrzewania
- Układ wentylacji
- Oświetlenie
- Odwadniacze
- Armatura z napędem
- Pompy próżniowe
- Kompresory
- Stacje hydrauliczne





## 4. Zbieraj owoce z najniższej gałęzi

Nie ma sensu wspinanie się na wierzchołek drzewa, by zbierać jabłka, jeżeli można bez wysiłku stanąć na ziemi i dosięgnąć je z takiej pozycji.

Po przeniesieniu tej idei do oszczędności energii, oznaczać to będzie, że rozpocząć trzeba od zastosowania wskazówek pomagających w oszczędnościach, nie wymagających inwestycji, a które mogą zostać wdrożone jeszcze w dniu dzisiejszym (lub w trakcie waszej kolejnej wizyty w pompowni!).

Po wdrożeniu tych wskazówek, można rozpocząć kolejną serię działań.

## 5. Kontrola stanu układu pompowego

Pierwszą rzeczą, którą należy zrobić jest sprawdzenie czy pompownia działa w taki sposób jakiego się spodziewamy. Czy pompy pracujące naprzemiennie funkcjonują przez identyczną długość czasu? Czy pracują dłużej niż zwykle? Czy są uruchamiane częściej? Czy czas pracy dostosowany został odpowiednio do okresów pogody deszczowej i suchej? Czy wszystkie komponenty układu pompowego funkcjonują tak jak powinny?

Jeżeli układ pompowy nie pracuje tak jak powinien, często skutkuje to wyższym niż konieczne zużyciem energii.

### 5.1 Zawór zwrotny

Gdy zawór zwrotny jest nieszczelny, woda ucieka z rurociągu z powrotem do pompy oraz do studni. W związku z tym, pompa musi zużywać energię do tłoczenia tej samej wody kilkakrotnie. Jednym ze wskaźników mogących świadczyć o nieszczelności zaworu zwrotnego może być wzrost liczby godzin pracy pompy, lub zmiana w godzinach pracy pomp (w przypadku gdy pracują naprzemiennie). Możliwe jest również zauważenie wirów pojawiających się wokół linii zasysających.

Jeżeli zawór zwrotny nie otwiera się całkowicie podczas pracy pompy, ciśnienie w rurociągu wzrasta, przy jednoczesnym obniżeniu wydajności pompy. W związku z tym, pompa musi pobierać więcej energii do przetłoczenia tej samej ilości wody. Zdarza się to najczęściej w przypadku pionowo zamontowanych zaworów klapowych, które mają tendencję do "zatykania się" przez spadające kamienie i odpadki na górną część klap zaworów, uniemożliwiając ich otwarcie w pełnym zakresie. W związku z tym, zawory zwrotne powinny być zawsze montowane na poziomych odcinkach rurociągów.

Wraz z upływem czasu, kula w kulowym zaworze zwrotnym może poluzować swoją gumową powierzchnię, ze względu na zużycie. Jeżeli występują braki w powierzchni gumy, łożo zaworu zużywa się bardzo szybko.

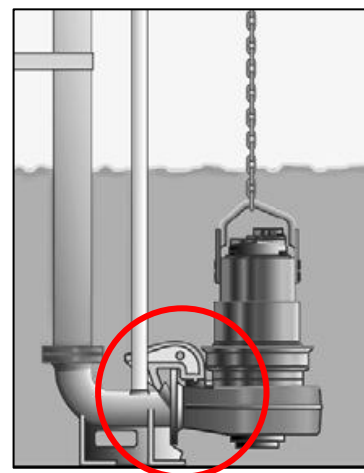
Dobrym pomysłem jest przeprowadzanie regularnych kontroli zaworu zwrotnego w celu zagwarantowania, by masa uszczelniająca oraz łożo zaworu były czyste i by działały poprawnie.



## 5.2 Sprzęg rurowy

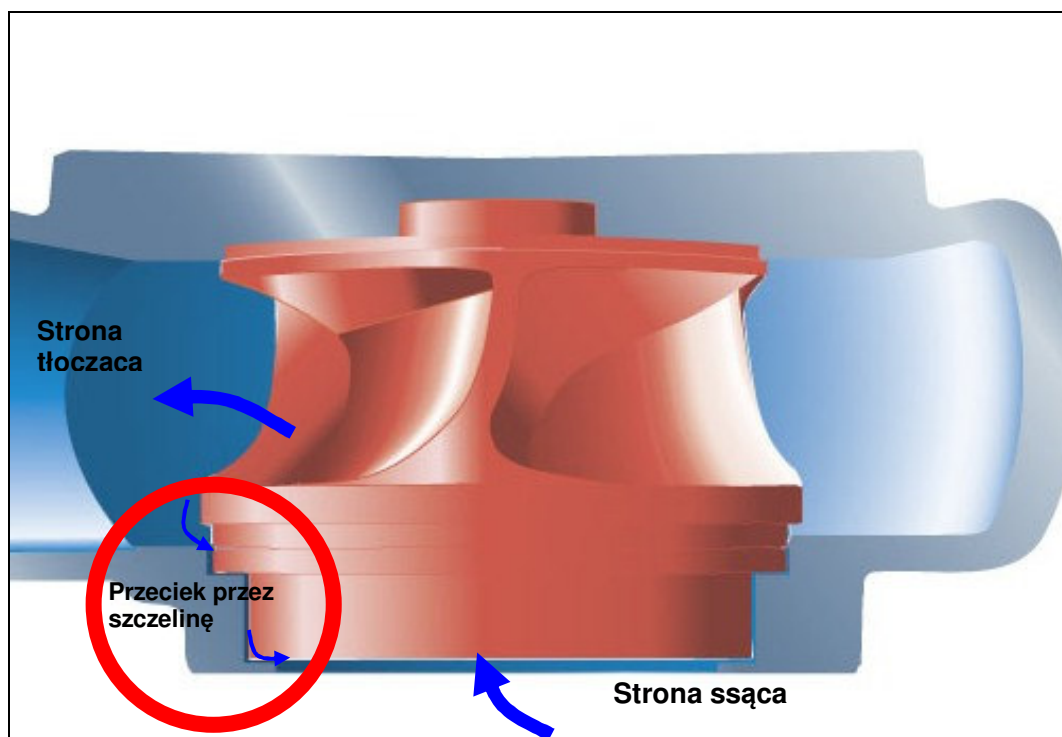
Pompy zatapialne montowane są na rurowych przewodnicach, tak by po konserwacji lub naprawie mogły zostać opuszczone z powrotem na swoje miejsce.

Pompa jest utrzymywana na miejscu przez hak, w taki sposób, że pod wpływem własnego ciężaru dociska swój kołnierz w kierunku kołnierza rurociągu. Z każdym rozruchem, pompa nieznacznie porusza się, a woda wraz z cząsteczkami stałymi jest wyciskana przez otwór. Proces ten powoduje zużycie kołnierzy, przez co prowadzi do nieszczelności, które się z czasem powiększają. Niektórzy wytwórcy pomp stosują uszczelnienie gumowe montowane na kołnierzu. Zapewnia to, z jednej strony, lepsze uszczelnienie, ale powoduje również szybsze zużycie. Im wyższe jest ciśnienie w rurociągu, tym większe powoduje to straty.

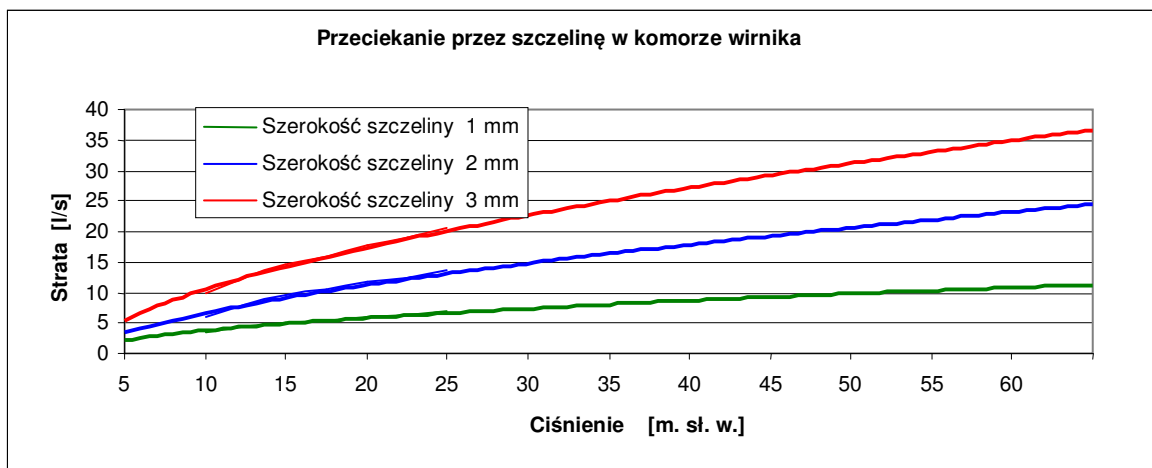


## 5.3 Wirnik pompy

Wirnik instalowany jest w dolnej części obudowy pompy. Pomiędzy wirnikiem pompy a obudową pompy powinna być pozostawiona szczelina, tak by wirnik mógł się obracać. W gnieździe wirnika umieszczony jest zużywalny pierścień wymienny.



Nieznaczny przepływ wody zawsze będzie występował przez szczelinę ze względu na obecność różnicy ciśnień pomiędzy stronami ssania i tłoczenia. Zjawisko to znane jest jako przeciek przez szczelinę. W miarę zużywania pierścienia, szczelina staje się coraz większa i coraz więcej wody przez nią wycieka. Przeciekanie przez szczelinę, zatem, zwiększa się. Im większe jest ciśnienie w rurociągu, tym więcej wody jest przepychanej przez tę szczelinę. Na poniższym wykresie zauważyć można jak wielkie znaczenie ma przeciekanie przez szczelinę.



W celu utrzymania przeciekania przez szczelinę na minimalnym poziomie, należy nieustannie je monitorować. Jeżeli zaczyna wynosić więcej niż opisuje to producent pompy, pompa musi zostać poddana regulacji, lub zużywalny pierścień musi zostać wymieniony.

#### **5.4 Armatura**

Zwykłe ręcznie ustawiane zasuwy mogą ulegać pewnym wstrząsom gdy narażone są na wibracje oraz skoki ciśnienia. W wyniku tego, z upływem czasu mogą zamykać się samoistnie. Dobrym pomysłem może być zatem wyrobienie w sobie nawyku upewniania się czy zasuwy znajdują się w prawidłowej pozycji. W przypadku gdy zasuwa ma tendencję do "samoustawiania się", można jej pozycję mocować za pomocą liny lub łańcucha.

#### **5.5 Wycieki**

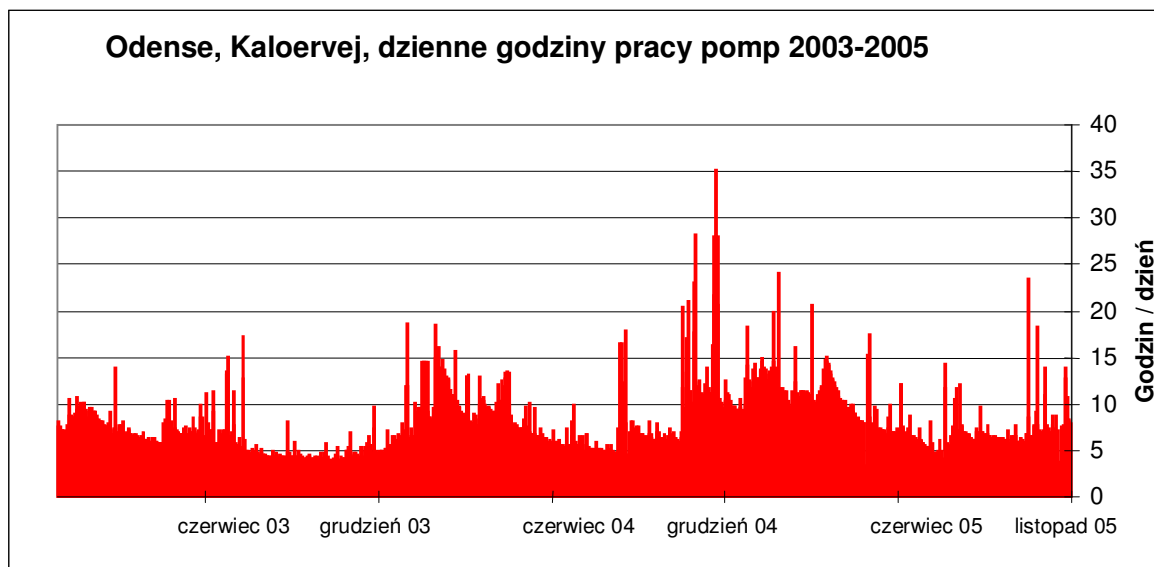
Wszystkie z powyższych komponentów powinny być szczelne. Jest to podstawowy i najważniejszy warunek do spełnienia w środowisku roboczym; komponenty szczelne również oznaczają brak możliwości przedostawania się powietrza przez pompę lub przez układ rurociągów gdy pompa zostaje zatrzymana (w wyniku skoku ciśnienia wystąpić może podciśnienie w rurociągu). Konsekwencje obecności powietrza w rurociągu opisane zostały poniżej w punkcie "Poduszki powietrzne").

#### **5.6 Nadmiar wody**

Im więcej wody pompa ma do przetłoczenia, tym więcej energii musi zużyć. Wycieki pojawiające się w rurociągu tłoczącym w górę oznaczają, że nadmiar wody przedostaje się do pompowni. Istnieje wiele przypadków przeciekającej studni, umożliwiającej w ten sposób przedostawanie się wód gruntowych, powodując podniesienie ciśnienia w całym układzie.

Gdyby sporządzić wykres ile godzin pompy pracują w ciągu dnia, w oparciu o dane operacyjne z systemu monitoringu, możliwe byłoby zaobserwowanie zmian takich przecieków do wnętrza.

Poniższy przykład obrazuje dane z pompowni w Odense (Dania), przedstawione w formie wykresu. Można tutaj zauważyć roczne zmiany liczby godzin pracy w ciągu dnia, co odpowiada znacznym przeciekom do wnętrza (wysoki poziom wód gruntowych) w okresach zimowym i wiosennym, oraz niskim poziomom przecieków w okresach przełomu lata i jesieni. Odosobnione skoki na wykresie oznaczają dni deszczowe.



## 6. Urządzenia zużywające energię

Po dokonaniu dokładnego przeglądu układu pompowego, czas teraz na przyjrzenie się poszczególnym urządzeniom oraz przyrządom zainstalowanym w pompowni, które również pobierają energię. Często możliwe jest podłączenie na jakiś okres czasu niewielkich urządzeń (takich, które pracują tylko na prądzie jednofazowym, 230V), z prostym licznikiem prądu, (liczniki prądu można zakupić nawet w supermarketach w stosunkowo niskiej). W ten sposób szybko można poznać orientacyjne zużycie energii przez poszczególne urządzenia. Niemniej jednak, należy pamiętać, że wystąpić mogą znaczące sezonowe różnice w zużyciu energii.

### 6.1 Oszczędności na ogrzewaniu

Urządzenia grzewcze, takie jak elektryczne panele, instalowane są w większości pompowni. Energia zużywana na ogrzewanie może być dosyć znacząca. Znane są przykłady pompowni, w których 40-50% całkowitego zużycia energii przypada na ogrzewanie.

Ile energii zużywa twoja pompownia?

Elektryczność zużywana na cele ogrzewania jest droższa od elektryczności zużywanej przez pompy oraz przez pozostałe działania pompowni. Wynika to z faktu, że elektryczność pobierana na cele ogrzewania obłożona jest dodatkowymi opłatami. Np. w Danii wynoszą one 0.57 korony duńskiej na kWh, plus podatek VAT. Oznacza to, że koszty są prawie dwukrotnie wyższe niż koszty "elektryczności roboczej".

Rzadko jest konieczne ogrzewanie pompowni. Najpoważniejszym powodem dla ich ogrzewania jest unikanie zamarzania i kondensacji, oraz zapewnienie gorącej wody użytkowej do mycia rąk po przeprowadzanych kontrolach.

#### 6.1.1 Ochrona przed zamarzaniem

Zamarzanie występuje wyłącznie w pompowniach zlokalizowanych powyżej poziomu gruntu. Oznacza to, że rzadko kiedy występuje konieczność ochrony przed zamarzaniem pompowni podziemnych. W celu zapobiegania zamarzaniu w pompowniach powyżej poziomu gruntu, zwykle wystarczającym będzie ustawienie termostatów paneli grzewczych na temperaturę 4-5 stopni. Marnotrawstwem pieniędzy jest ustawianie termostatów na wyższą temperaturę. Niemniej



Jednak, pompownie są często ogrzewane do poziomu 15-18 stopni. Mimo, że w trakcie przeprowadzania inspekcji pompowni ogrzewanych do takich temperatur gwarantuje to bardziej komfortowe warunki, należy pamiętać, że z zasady, w ciągu roku przeprowadzanych jest tylko między 4-12 inspekcji. Nie trzeba tutaj dodawać, że jest to niezwykle droga wyгода! Na każdy stopień obniżonej temperatury oszczędzamy 5% energii.

Jaką temperaturę utrzymujecie w swojej pompowni?

### 6.1.2 Kondensacja

Zjawisko kondensacji zachodzi gdy normalna wilgoć obecna w powietrzu skrapla się na zimnych powierzchniach, takich jak stalowe rurociągi (woda ściekowa ma zwykle temperaturę 7-8 stopni), lub na ścianach podziemnej pompowni. Osuszanie za pomocą ogrzewania jest bardzo drogim rozwiązaniem. Tańszym, a tak samo wydajnym jest instalowanie osuszacza, który zużywa jedynie ułamek energii pobieranej przez urządzenia grzewcze. Inną zaletą takiego rozwiązania jest, że energia zużywana przez osuszacz kwalifikowana jest jako "elektryczność robocza", i z uwagi na niskie opłaty, kosztuje tylko połowę tego co "elektryczność grzewcza". Należy nawet poddać rozważeniu czy kondensacja jest w ogóle faktycznym problemem. Poza panelem kontrolnym, wszystkie elementy zainstalowane w pompowni mogą znosić obecność wilgoci. Jeżeli panel kontrolny zainstalowany jest w swojej odrębnej szafce powyżej poziomu gruntu, należy sprawdzić czy konieczne jest stosowanie osuszania.

W przypadku gdy kondensacja jest dużym problemem, możliwym rozwiązaniem jest zastosowanie izolacji górnego metra ścian pompowni. Najczęściej właśnie w tej części powierzchni następuje skraplanie wilgoci.

### 6.1.3 Podgrzewacze wody

Wiele pompowni jest również wyposażonych w podgrzewacze wody, tak by możliwe było umycie rąk po pracach serwisowych. W wielu przypadkach, podgrzewane są zbiorniki gorącej wody, o pojemności 10-50 litrów, z użyciem grzałek elektrycznych, by utrzymywać temperaturę wody w granicach 40-60 stopni. Jest to ogromna ilość wody, do podgrzewania przez cały rok, tylko i wyłącznie by móc umyć ręce tylko kilka razy w roku (nawet jeżeli straty ciepła są z korzyścią dla pozostałej części pompowni), a straty ciepła ze zbiorników akumulacyjnych wynoszą 400-800 kWh rocznie. Jeżeli potrzebna jest ciepła woda do umywalki, bardziej efektywnym energetycznie rozwiązaniem byłoby zainstalowanie niewielkiego podgrzewacza przepływowego. Podgrzewacz przepływowy praktycznie nie zużywa żadnej energii w trybie czuwania, a jedynie w trakcie pobierania wody.

## 6.2 Oszczędności na wentylacji

Jeżeli pomieszczenie robocze pompowni lub pomieszczenie z pompami nie są bezpośrednio połączone ze studnią pompową (lub z innymi obszarami z otwartymi poziomami wody ściekowej), wentylacja może nie być konieczna. Jeżeli nie zakłada się szkodliwego działania wilgoci w określonym pomieszczeniu, wystarczające będzie wentylowanie podczas pracy w danym pomieszczeniu. Decyzję na ten temat należy oczywiście podjąć w porozumieniu z działem BHP, w celu zapewnienia, by przepisy związane z bezpieczeństwem pracy były odpowiednio przestrzegane.

Uruchomienie wentylatora kosztuje (wartość 500-200 kWh rocznie, jeżeli działa przez cały czas), również ogrzanie powietrza wprowadzonego w miejsce usuniętego, powoduje zużycie energii.



Możliwe jest zainstalowanie różnych urządzeń do wentylatorów. Dwoma przykładami mogą być: higrostat uruchamiający wentylator gdy jest zbyt wysoka wilgotność, lub termostat wyłączający wentylator gdy temperatura jest zbyt niska. Wentylator może zostać również podłączony do włącznika światła, uruchamiającego równocześnie wentylator.

### **6.3 Oszczędności na oświetleniu**

Energia zużywana na oświetlenie w pompowniach może nie mieć prawie żadnego znaczenia jeżeli oświetlenie jest wyłączane za każdym razem, gdy pracownicy opuszczają budynek. Jeżeli zapominanie o wyłączeniu oświetlenia jest częstym zjawiskiem, zainstalowane mogą zostać czujniki ruchu, które automatycznie wyłączają światło po określonym czasie.

Wiele pompowni ma zainstalowane oświetlenie w studniach pompowych, do którego włączniki są zainstalowane w pomieszczeniach operacyjnych / pompowych. W takich przypadkach, zawsze istnieje ryzyko zapominania o wyłączeniu oświetlenia po przeprowadzeniu inspekcji. W celu zapewnienia, by oświetlenie było wyłączane, zainstalowany może zostać wyłącznik czasowy, który automatycznie wyłączy oświetlenie, dla przykładu, po 15 minutach.

### **6.4 Praca kompresorów**

Kompresory generują sprężone powietrze, które stosowane jest w wielu różnych działaniach, takich jak:

- Pneumatycznie napędzane zawory i dławnice;
- Utrzymanie odpowiedniego poziomu powietrza / wody w zbiornikach ciśnieniowych (butle powietrzne);
- Systemy wyrzutowe stosowane do usuwania powietrza poprzez wirniki pomp.

Sprężone powietrze jest łatwym, lecz drogim sposobem na przenoszenie energii. Zawsze należy rozważyć czy jest możliwe zamienienie napędów na sprężone powietrze bezpośrednimi napędami silnikowymi.

Ogólnie należy przyjąć, że ciśnienie sprężonego powietrza powinno być utrzymywane na minimalnym poziomie. Nie ma powodu, by utrzymywać ciśnienie 7 bar jeżeli potrzebne jest tylko 4 bar ciśnienia do uruchamiania zaworów. Możliwe jest zaoszczędzenie 7-8% energii na każdy bar zredukowanego ciśnienia.

Ważne jest, by zapewnić szczelność układu sprężonego powietrza. Jednomilimetrowy otwór w rurociągu może spowodować dodatkowe zużycie energii elektrycznej od 1,500-5,000 kWh rocznie. A im wyższe jest ciśnienie, tym droższe są takie straty. Należy sobie zdać sprawę, że nie zawsze możliwe jest usłyszenie ucieczki powietrza, ponieważ dźwięk generowany w ten sposób jest o częstotliwości poniżej zakresu słyszenia ludzkiego ucha. Zakupić można specjalne instrumenty pomiarowe przeznaczone do wykrywania takich rodzajów wycieków.

W celu sprawdzenia ile elektryczności jest zużywanej przy stosowaniu kompresora, należy po prostu odczytać miernik czasu (przy dużych kompresorach) podczas kolejnej inspekcji, po czym przemnożyć tę wartość przez zużycie kW, która podane jest na tabliczce znamionowej umieszczonej przez producenta kompresora. W przypadku małych jedno fazowych kompresorów można zainstalować tanie liczniki energii .



## 6.5 Pompy próżniowe

Pompy próżniowe są stosowane do usuwania (wyrzucania) powietrza przez wirnik pompy, gdy są one umieszczone powyżej poziomu wody w zbiorniku.

Ważne jest, by system wyrzutu był całkowicie szczelny, tak by żadna ilość powietrza nie przedostawała się do wewnątrz oraz by czujnik mierzący poziom podciśnienia nie ulegał blokowaniu. Jeżeli pojawia się którakolwiek z tych sytuacji, pompa będzie musiała pracować dłużej niż to konieczne.

## 6.6 Stacja hydrauliczna

Układy hydrauliczne stosowane są do otwierania i zamykania zaworów i dławnic. Tak samo jak w przypadku sprężonego powietrza, jest to droga metoda przenoszenia energii. Ważne jest rozważenie czy czynności takie mogą być wykonywane przez innego rodzaju jednostki, takie jak silniki elektryczne.

## 7. Wykorzystanie danych operacyjnych

Większość pompowni przesyła dane oraz sygnały alarmowe (lub informacje na temat bieżących operacji i stanów) do centralnej jednostki monitorującej.

Tak jak opisano w części 5 ("Kontrola stanu układu pompowego"), przez porównanie tak uzyskanych danych statystycznych, możliwe jest uzyskanie informacji na temat pierwszych objawów nieprawidłowości w działaniu pomp.

Wiele z takich danych może zostać również zastosowanych przy mapowaniu istniejących możliwości oszczędności energii. W pierwszej kolejności i przede wszystkim, możliwe jest pozyskanie danych dotyczących:

- dziennych czasów pracy
- liczba uruchomień
- zużycia energii
- ilości przetłoczonej wody (przepływ)
- opadów wody deszczowej
- równoczesnej pracy kilku pomp

W większości przypadków, rejestrowana jest jedynie informacja dotycząca dziennego czasu pracy oraz liczby uruchomień.

W celu wykorzystania tych danych, muszą być one dostępne. Nie wystarczy możliwość przeglądania wyłącznie danych dziennych lub miesięcznych. Aby wykorzystać je w całości, należy dysponować danymi z dłuższego okresu czasu, w celu zaobserwowania rozwoju i zmian w działaniach pompowni. Wymaga to, by centralna jednostka monitorująca była przystosowana i gotowa do przechowywania takich ilości danych, oraz by dane te były dostępne przez cały czas. Monitoring musi zatem zostać skonfigurowany by:

- przechowywać dane jako dane dzienne,
- przechowywać dane przez co najmniej 3 lata,
- umożliwiać pracownikom samodzielne odczytywanie i analizowanie danych.

Dane mogą być wykorzystywane do przygotowywania kluczowych wskaźników, takich jak liczby godzin pracy lub rozruchów pomp, jakimi w normalnych warunkach powinny się one charakteryzować. Jeżeli dochodzi do przekroczenia przez pompę wartości kluczowej, lub jeżeli



jedna z pomp pracuje częściej niż inne, może to być sygnałem, że pojawić się może wkrótce jakiś błąd w pompowni – błąd, który w ostateczności został by odkryty po pojawieniu się alarmu.

Przez wykorzystanie danych do wygenerowania wykresów dla ostatnich kilku lat, możliwe jest stworzenie obrazu sytuacji na temat tego jak duży jest przeciek do wewnątrz w najbliższym otoczeniu (patrz punkt 5.6. "Nadmiar wody"), po czym wykorzystanie tych informacji podczas opracowywania prac odprowadzania ścieków.

Dane statystyczne mogą również zostać użyte do sprawdzenia jak wielką "nadwyżką wydajności" dysponują pompy. Informacja ta może zostać użyta przy rozważaniach o zmianie pompy lub o regulowaniu ich częstotliwości.

Informacje na temat zużycia elektryczności przez pompownię jest niezwykle ważna gdy myślimy o oszczędzaniu energii. Musimy wiedzieć ile jej zużyliśmy, zanim możemy się dowiedzieć ile zaoszczędziliśmy. Dane na temat zużycia elektryczności przez pompownię nie zawsze są udostępniane, wraz z pozostałymi danymi, w centralnej jednostce monitorującej. Informacje te można najczęściej uzyskać przez osobisty odczyt na miejscu podczas inspekcji pompowni, lub gdy przysyłany jest rachunek za elektryczność od jej dostawcy.

Porównując zużycie energii z liczbą godzin roboczych, możliwe jest uzyskanie kluczowych danych na temat tego jak energia jest zużywana podczas godziny pracy. Nawet gdy istnieją inne punkty odbioru energii (ogrzewanie, wentylacja, itp.) w pompowni, będziemy mieli szansę na sprawdzenie czy następuje wzrost zużycia elektryczności.

Im częściej uzyskujemy informacje na temat wykorzystania elektryczności, tym większa szansa jest na odkrycie podobnego rodzaju wzrostu jej zużycia.

## 8. Praca pomp

Nikogo raczej ni dziwi, że najwięcej energii w pompowniach pochłaniają pompy. Poniżej opisane zostały różne czynniki, które mają wpływ na zużycie elektryczności przez pompy. Wyszczególnione zostały w zależności od tego jak łatwo jest zmienić dany czynnik, a przez to oszczędzać energię. U samej góry listy podano warunki pracy, które nie mogą zostać zmienione natychmiastowo, natomiast u dołu te warunki, które mogą zostać zmienione nawet dzisiaj (lub "jabłka rosnące na najniższej gałęzi").

- Obciążenie
  - Przepływ wody
- Ciśnienie
  - Geometryczna wysokość podnoszenia ( $H_{geo}$ )
  - Długość oraz wymiary rurociągu
  - Komponenty wraz z indywidualnymi stratami
- Pompy
  - Dostosowanie wydajności pompy
  - Wydajność układu
  - Wirnik



- Warunki pracy
  - Chropowatość rurociągu oraz jego objętość
  - Poduszki powietrzne
  - Wielkość studni
  - Liczba uruchomień

### Jednostkowe zużycie energii

Gdy mówimy o różnym zużyciu energii przez pompy, jest tak ponieważ chcemy wiedzieć po prostu "co otrzymujemy za nasze pieniądze". Aby było to możliwe, musimy posłużyć się terminem "jednostkowe zużycie energii", który w skrócie zapisywany jest  $E_{spec}$ . Termin ten oznaczający ile kilowatogodzin musi zostać zużytych do przetłoczenia metra sześciennego wody [ $kWh/m^3$ ] w obecnie działającym układzie pompowym. Ta sama pompa ma różniące się jednostkowe zużycie energii, w zależności od tego jak wysoko, jak długo oraz jak szybko musi przetłoczyć wodę.

### 8.1 Obciążenie

Obciążenie pompowni jest terminem dla określenia jak wiele wody wpływa do pompowni i kiedy. Im więcej wody wpływa, tym więcej energii musi zostać zużyte do dalszego jej przenoszenia. Ilość wody może być regulowana przez usunięcie nadmiaru wody lub przez odizolowanie otoczenia.

### 8.2 Ciśnienie

Ciśnienie, które pompa musi pokonać, ma ogromny wpływ na zużycie energii. Decydują o nim następujące czynniki: jak wysoko tłoczona ma być woda (geometryczna wysokość podnoszenia lub ciśnienie geometryczne, wyrażone jako  $H_{geo}$ ), jak daleko ma zostać dostarczona, przez jakie przekroje rur oraz zakrętów ma być tłoczona, jak również z jaką prędkością ma być przetłaczana.

Nie ma możliwości natychmiastowej zmiany wysokości oraz odległości, na jaką tłoczona jest medium. Byłoby to wykonalne podczas projektowania nowej pompowni (lub w trakcie modyfikowania / wymieniaania rurociągów), tam gdzie możliwy jest wpływ na wybór odpowiedniej konstrukcji rurociągu. Przy planowaniu odnowienia dużych pompowni, powinno się rozważyć wymianę rurociągów i rozgałęzień z doбором odpowiedniej armatury, by zminimalizować wymagane ciśnienie.

Pewna część całkowitego ciśnienia (wyrażonego jako  $H_{tot}$ ) pochodzi od "tarcia / oporu" przepływu przez rozgałęzienia oraz układ rurociągów. Nazywamy to dynamicznym ciśnieniem, które wyrażane jest jako  $H_{dyn}$ . Im szybciej woda musi zostać przetłoczona, tym wyższe jest "tarcie / opór", w wyniku czego wzrasta również zużycie energii. Można to porównać do samochodu, który zużywa więcej paliwa na kilometr gdy jedzie z prędkością 130 km/godz., niż w przypadku jazdy z prędkością 80 km/godz.. Wprawdzie samochód taki dojedzie wcześniej do punktu docelowego, ale kosztować to będzie więcej w przeliczeniu na kilometr.

$H_{geo}$	Ciśnienie geometryczne	Wysokość na jaką woda ma być pompowana
$H_{dyn}$	Ciśnienie dynamiczne	Wielkość "tarcia / oporu" w rurociągu
$H_{tot}$	Ciśnienie całkowite	$H_{geo} + H_{dyn}$



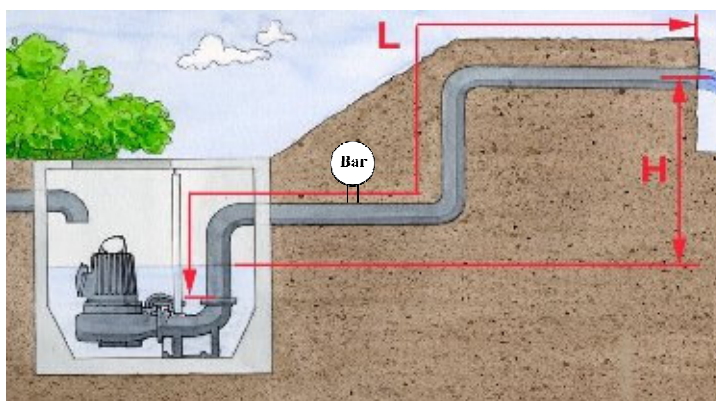
## Poniżej przedstawiamy sposób mierzenia ciśnienia

Zainstaluj manometr na rurociągu w dół od zaworu zwrotnego, odczytaj wartość ciśnienia po zatrzymaniu pracy pomp. W ten sposób określiliśmy ciśnienie geometryczne,  $H_{geo}$ . Manometr często wskazuje ciśnienie w jednostkach "bar" lub "m. sł. w." (ciśnienie słupa wody w metrach). 1 bar równa się 10 m. sł. w..

Odczytaj wartość ciśnienia w trakcie pracy jednej z pomp. Odczyt jest równy ciśnieniu całkowitemu w rurociągu,  $H_{tot}$ .

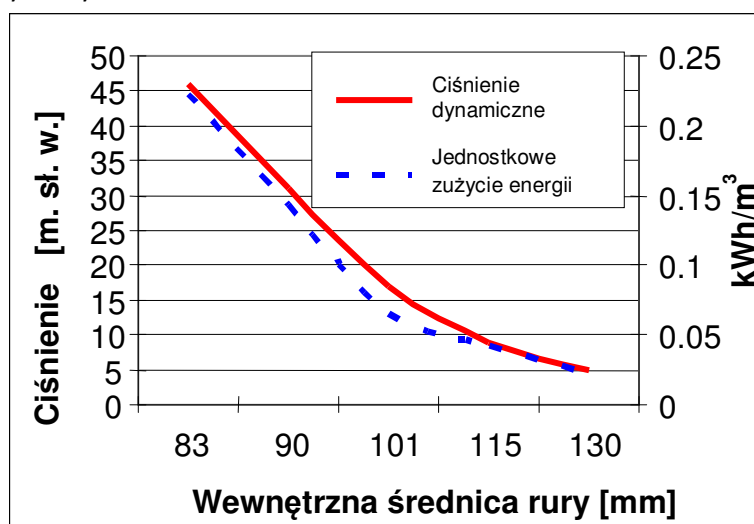
Oblicz  $H_{dyn}$  przez dojęcie  $H_{geo}$  od  $H_{tot}$ .

Jeżeli manometr umieszczony jest powyżej poziomu wody w studni pompy, należy pamiętać o uwzględnieniu tej różnicy przy odczytywaniu waszych pomiarów (zarówno dla  $H_{geo}$  jak i dla  $H_{tot}$ ). Jeżeli manometr zainstalowany jest poniżej, różnica wysokości musi zostać odjęta.



Średnica rurociągu ma ogromny wpływ na "tarcie / opór". Im mniejszą rurę zastosujemy do przeniesienia określonej objętości wody w danej jednostce czasowej, tym większe będzie tarcie, a tym samym ciśnienie oraz zużycie energii na  $m^3$  wody (jednostkowe zużycie energii).

Poniższy wykres obrazuje ciśnienie dynamiczne oraz jednostkowe zużycie energii, przy przetłaczaniu 10 litrów wody na sekundę przez rurociąg o długości 1,000 metrów, ze zróżnicowanymi wymiarami.





Na pierwszy rzut oka wydaje się, że znaczenie będą miały rurociągi o dużych średnicach, w których ciśnienie oraz zużycie energii są niskie. Niemniej jednak, gdy woda ściekowa zawiera wiele substancji, które są cięższe od wody, tłoczenie wymagało będzie odpowiedniej prędkości, tak by substancje te były przetłaczane dalej i nie osadzały się wewnątrz rurociągu. Im mniejsza średnica tym większa prędkość przetłaczania.

Dobłą praktyką przy doborze wymiarów rurociągów jest taki dobór średnicy, który skutkować będzie prędkością pomiędzy 0.8 – 1.0 metrów na sekundę. W większości przypadków średnice rurociągów dobierane są w oparciu o ten parametr.

Doświadczenie z wielu pompowni wskazuje jednak, że zwiększone osadzanie się substancji nie zawsze pojawia się przy niskich prędkościach, np. 0.3 m/s, ALE WYŁĄCZNIE JEŻELI rurociąg jest "przepłukiwany" przy prędkości przepływu wody 1 m/s. Jak często należy przeprowadzać takie płukanie – jest to kwestią doświadczenia i zależy od składu wody ściekowej; niemniej jednak, powinno ono być wykonywane co najmniej jeden raz dziennie.

### Jak określić jednostkowe zużycie energii

Po pierwsze musimy wiedzieć ile wody pompa przenosi [ $\text{m}^3/\text{godz.}$ ]. Najłatwiej to sprawdzić przy użyciu przepływomierza. Inną metodą jest sprawdzenie w jakim czasie pompa wypompuje wodę ze studni (ale w tym przypadku musimy również wziąć pod uwagę bieżący stały wpływ wody do studni oraz jej wielkość). W tym samym czasie należy zmierzyć zużycie energii przez pompę. Nie wystarczającym będzie poleganie na wyłącznie na deklaracji producenta pompy co do jej wydajności oraz zużycia energii. Jeżeli, dla przykładu, odczyty wskazują:

Przepływ  $40 \text{ m}^3/\text{godz.}$

Zużycie energii 10 kW (inaczej 10 kWh na godzinę pracy)

wówczas jednostkowe zużycie energii = zużycie elektryczności / przepływ, lub  
 $10/40 = 0.250 \text{ kWh/m}^3$

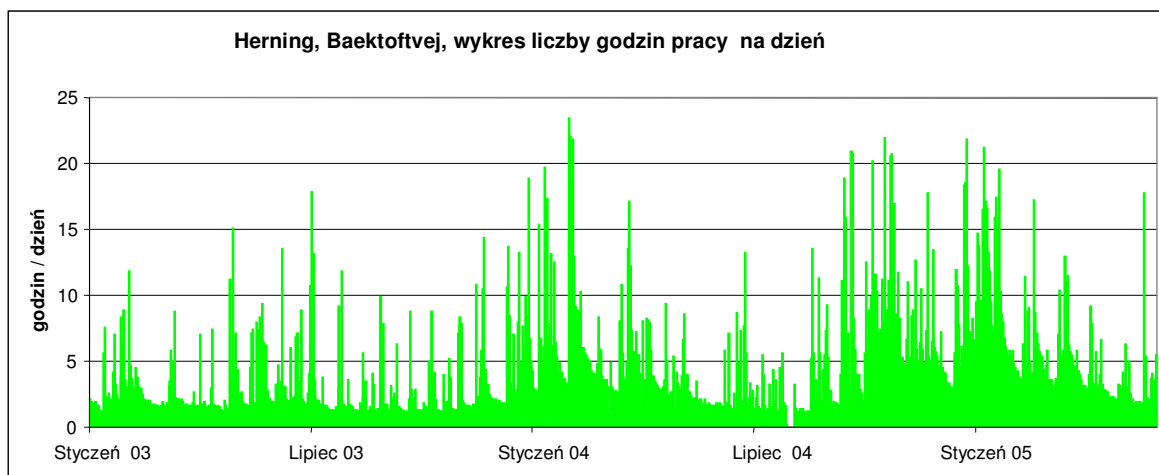
### 8.3 Pompy

W większości przypadków, wydajność pomp, która dostosowywana jest w pompowniach, była wstępnie konfigurowana podczas fazy planowania i projektowania pompowni. Jej rozmiary oparte były na przewidywanych wielkościach wpływu medium do pompowni. Rzadko jednak zdarzało się, by wielkości wpływu odpowiadały dobranym wielkościom pomp. Czasami, przeciekanie nadmiaru wody do wewnątrz lub zakres umocnień w otoczeniu są większe niż przewidywane; innymi razy nie przeprowadza się planowanej separacji, a zatem ilości wody nie są usuwane zgodnie z planem. Planowane rozbudowy są często opóźniane, lub też rezygnuje się z pojedynczych dużych zrzutów (firmy produkcyjne, itp.). Wszystkie te warunki mają wpływ na rzeczywiste ilości wpływających ścieków, w wyniku czego zainstalowane pompy nie pracują optymalnie.

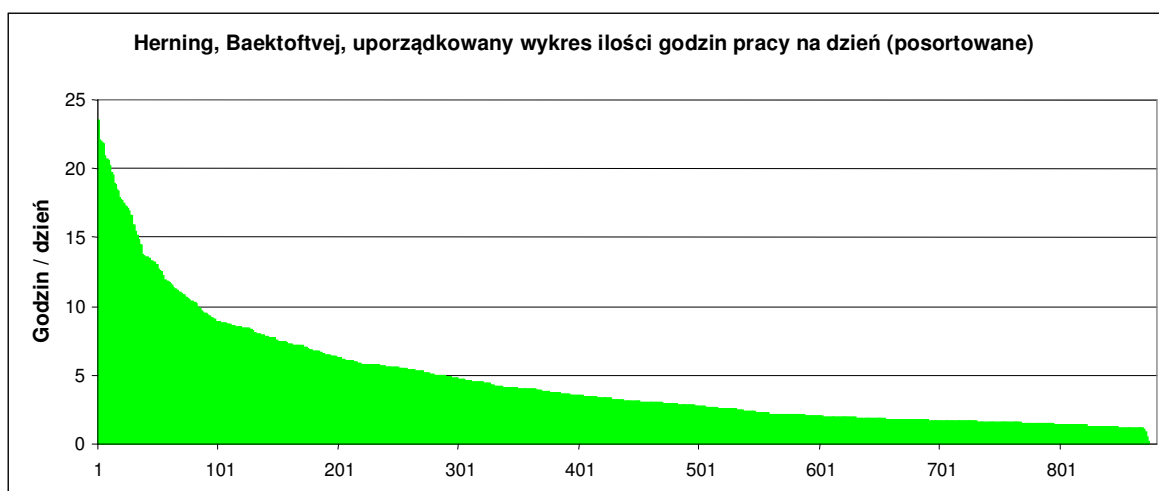
Jeżeli do pompowni wpływa większa ilość wody niż pompy są w stanie przepompować, zostanie to prawdopodobnie wykryte. Następuje wówczas nadmierne nagromadzenie się w studni i w rurociągu, a być może nawet nadmierny wypływ z pompowni. Zdarza się to stosunkowo rzadko, a najczęściej wyłącznie po nadmiernych opadach deszczu. W większości przypadków pompy są znacznie większe niż to konieczne dla codziennego użytku.



Wykres zaprezentowany poniżej pokazuje ile godzin dziennie pompy pracowały w pompowni w okresie 2.5 roku. Dane zastosowane do przygotowania wykresu pochodzą z systemu monitoringu. Pompownia przyjmuje wodę z ogólnego systemu ściekowego z otaczającej okolicy, i wyraźnie można zauważyć dni i okresy czasu, w których wystąpiły znaczne opady deszczu. W tym przypadku, pompy pracują przez wiele godzin dziennie. Zauważyć też można sezonową zmienność, która może być efektem przedostawania się nadmiaru wody z zewnątrz.



Gdy te same dane przeniesiemy na uporządkowany wykres danych obrazujący dni z największą liczbą godzin pracy po lewej stronie, wyglądać to będzie następująco:



Z powyższego wykresy wyraźnie widać ile dni w ciągu roku konieczna jest praca przy pełnej wydajności, czyli praca przez 24 godziny na dzień. Przez więcej niż 9 na 10 dni niezbędna wydajność pomp wynosi mniej niż połowa. Z tego powodu, wydajność pompowania może zostać zredukowana o połowę w tych dniach.

Jednak, nadal istnieje potrzeba dysponowania pełną wydajnością w dniach, w których występuje bardziej znaczący dopływ wody. Przez dostosowanie wydajności pompy, możliwe jest dostosowanie ilości wody, która wpływa do pompowni.

Mimo że pompownia nie odbiera wód deszczowych z ogólnego systemu ściekowego z najbliższej okolicy, nadal będzie istniało zróżnicowanie w wielkości dopływu do pompowni. Wynika to z faktu, że połączone gospodarstwa domowe korzystają z wody o różnych porach dnia. Na rysunku poniżej, przedstawiono typowy dzienny rozkład dopływu do pompowni. Istnieją również okresy czasu, w których jest zapotrzebowanie na pełną wydajność pomp. Jeżeli



pompownia odbiera wodę ze znacznego obszaru lub z kilku innych pompowni, wówczas zróżnicowanie takie wyrównuje się.



Ważne jest również, by pompy zainstalowane w pompowniach były odpowiednich wielkości. Oznacza to, że powinny być w stanie wypompować całą wodę dochodzącą do pompowni, również w okresach najwyższych dopływów. Jeżeli pompy są zbyt duże, będą miały wiele uruchomień, ale pracować będą tylko przez krótki okres czasu. To również ma wpływ na zużycie pompy oraz energii (patrz część zatytułowana "Redukcja liczby uruchomień"). Prędkość wody, a zatem dynamiczne ciśnienie ( $H_{dyn}$ ), mogą zostać zredukowane dla zaoszczędzenia energii, przez regulację prędkości pompowania.

### 8.3.1 Jak dostosować wydajność

Wydajność pompy dostosowana może zostać na kilka sposobów, takich jak dławienie, zmiana wielkości wirnika pompy, lub dostosowanie prędkości obrotowej.

W praktyce, istnieją trzy sposoby regulowania prędkości obrotowej silnika:

- Silnik o regulowanej prędkości
- Przekładnia
- Przetwornica częstotliwości

Przed wynalezieniem przetwornicy częstotliwości, nie istniało wiele sposobów na dostosowanie prędkości obrotowej pracującego silnika. Gdy chciano zmienić prędkość, należało zastosować silnik o regulowanej prędkości, który to jednak miał możliwość zmiany tylko kilku prędkości (krokowo – nie płynnie). W przeciwnym razie, zastosować trzeba było przekładnię.

Wraz z przetwornicą częstotliwości otrzymaliśmy możliwość płynnej (nie krokowej) zmiany prędkości obrotowej silnika elektrycznego. W ciągu ostatniej dekady ceny elektroniki zasilającej spadły tak znacznie, że przetwornica częstotliwości może być stosowana do regulacji prędkości, nawet w mniejszych pompowniach.

W części 9 "Regulacja częstotliwości" piszemy więcej na temat przetwornic częstotliwości.



### 8.3.2 Wydajność

Gdyby założyć, że cały prąd elektryczny przepływający przez kabel zasilający wykorzystany został do przetłoczenia wody w rurociągu, wówczas wydajność pompowni wynosiłaby 100%. Niestety jednak, nie jest to możliwe. Straty zawsze będą obecne w silnikach elektrycznych, pompach, przetwornicach częstotliwości lub w napędach pasowych. Poniżej podajemy normalne wartości wydajności dla różnych komponentów:

- Silniki – około 90-95%,
- Pompy – około 45-70%,
- Napędy pasowe – około 95%,
- Przetwornice częstotliwości – około 95-98%.

Powyższe wartości wydajności powinny zostać przemnożone przez siebie w celu obliczenia całkowitej wydajności pompowni. Wydajność normalnej pompowni zawiera się pomiędzy 35-60%. Energia strat zamieniana jest w ciepło.

Teoretyczne jednostkowe zużycie energii, lub tam gdzie nie ma żadnych strat a wydajność wynosi 100%, wynosić będzie  $0.0027 \text{ kWh/m}^3$  na metr słupa wody dla ciśnienia całkowitego.

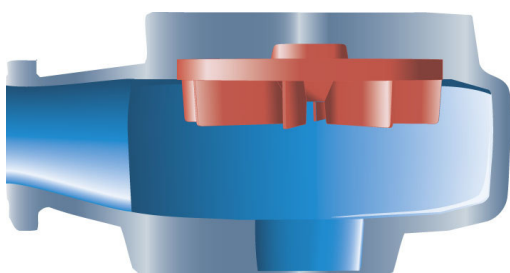
#### **W jaki sposób określić wartość wydajności w pompowni?**

Na początek określić należy ciśnienie całkowite, lub  $H_{\text{tot}}$  (patrz ramka zatytułowana "Jak zmierzyć ciśnienie"). Mając ciśnienie całkowite, mnożymy je przez 0.0027, dzięki czemu mamy teoretyczne jednostkowe zużycie energii w pompowni, lub liczbę kWh zużytych do przetłoczenia  $1 \text{ m}^3$  wody ze studni do zbiornika, o ile nie ma żadnych strat. Wartość ta powinna zostać porównana z rzeczywistym jednostkowym zużyciem energii w pompowni.

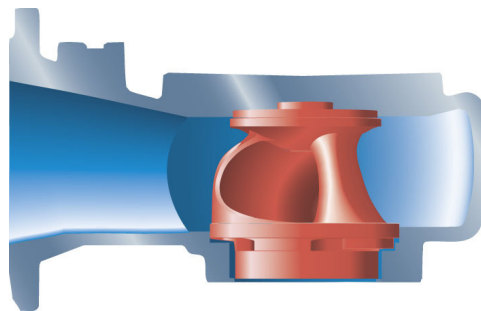
### 8.3.3 Dobór wirnika

Ważne jest stosowanie elementów, które powodują najniższe możliwe straty, tak aby energię dostarczoną wykorzystać w najwyższym stopniu. Dla przykładu, pompy z wirnikami prostymi mają straty rzędu 55%, podczas gdy pompy z wirnikami kanałowymi mają straty "tylko" około 30%. W szerszym znaczeniu, wybór wirnika jest kwestią preferencji. W przypadku wirników kanałowych, niektórzy narzekali na szybsze ich blokowanie; inni nie mieli takich problemów. Ponadto, warunki takie jak ciśnienie, cena, wydajność oraz skład wody ściekowej, mają wpływ na podejmowane decyzje. Zawsze należy rozważyć jakie łączne koszty wiążą się z taką wymianą. Pod uwagę należy zawsze brać nie tylko koszt inwestycji oraz ochronę energii, lecz również koszty przyszłych prac serwisowych i konserwacyjnych.

W przypadku wielu pomp możliwa jest samodzielna wymiana wirników, bez zmiany obudowy pompy. Jeżeli jest taka możliwość, można spróbować wymienić prosty wirnik w jednej z pomp, po czym sprawdzić czy następuje jego blokowanie.



Wirnik prosty (wirnik Vortex)



Wirnik kanałowy

### 8.3.4 Powlekanie wirników

Część strat energii w pompach wynika z tarcia wody o obudowę oraz wirnik pompy. Możliwe jest powleczenie obudowy pompy oraz wirnika warstwą gładkiego tworzywa sztucznego w miejscach kontaktu z wodą. Wykonanie takiego zabiegu powoduje redukcję tarcia i strat energii. Metoda ta najlepsze efekty przynosi w dużych pompach, w których wymiana wirnika może być kosztowna.

## 8.4 Warunki pracy

### 8.4.1 Utrzymuj rurociągi w czystości

Woda ściekowa zawiera wiele cząsteczek (dla przykładu piasek i kamienie), które mogą się osadzać na spodzie rurociągu. Zawiera również całą masę materii organicznej, w której rozwijają się różnego rodzaju mikroorganizmy. Mikroorganizmy osadzają się na wewnętrznych jego ściankach, tworząc tak zwaną powłokę ściekową. Zarówno nagromadzone cząsteczki na spodzie rurociągu jak i powłoka ściekowa, zwiększają "tarcie / opór" w rurociągu. Znowu oznacza to, że wzrasta ciśnienie dynamiczne  $H_{dyn}$ , oraz zużycie energii.

W poniższej tabeli podano jak powłoka ściekowa wpływa na wzrost "tarcia / oporu":

Chropowatość	0.1 mm (nowe rury)	0.3 mm	1 mm	3 mm
Opór	5.8 m. sł. w.	7 m. sł. w.	9.5 m. sł. w.	13.7 m. sł. w.

Nagromadzenie oraz powłoka także powodują, że przekrój poprzeczny rurociągu zmniejsza się, ta że woda przetłaczana jest przez rury z większą prędkością. Przy wystarczająco wysokiej prędkości wody, nagromadzenie oraz powłoka ulegają poluźnieniu i zabierane są z wodą wzdłuż rurociągu.





W efekcie, pojawia się równowaga, co oznacza, że woda tłoczona jest w taki sposób jak powinna, nawet mimo zużywania większej ilości energii niż to konieczne. Jest to normalne zjawisko w większości rurociągów.

W wielu pompowniach, możliwe jest wprowadzenie "sprzątaczek" – środka czyszczącego do rurociągów z pompowni tłoczącej lub przez zawory. Środek czyszczący przetłaczany jest przez rurociąg, przy pomocy ciśnienia roboczego w rurociągu, po czym trafia do zbiornika. Ważne jest by nie kontynuować tej procedury w rurociągach grawitacyjnych, które zostaną zablokowane.

Środki czyszczące występują w wielu różnych kształtach, rozmiarach oraz stopniach twardości. O poradę należy poprosić swojego dostawcę, który wyjaśni jaki typ będzie najbardziej odpowiedni dla danej pompowni.

Środek czyszczący bardzo rzadko osadza się w rurociągach. W tej sytuacji, ciśnienie robocze pompy przepchnie go w dół rurociągu w krótkim czasie. Możliwe jest jednak wprowadzenie wraz ze środkiem czyszczącym również urządzeń transmisyjnych, które umożliwią śledzenie ich przepływu z poziomu gruntu.

#### **8.4.2 Unikaj poduszek powietrznych w rurociągu**

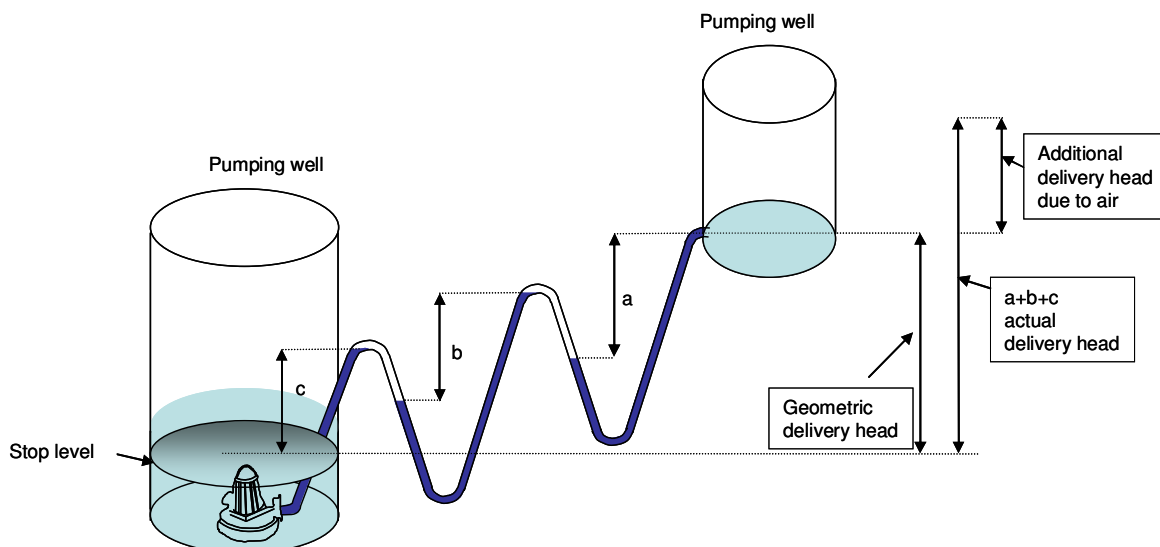
Pompowanie powietrza jest kosztowne. Poduszek powietrza w rurociągach należy zatem unikać. Powietrze w rurociągu może się pojawić gdy:

- Pompy zassą powietrze jeżeli studnia zostanie wypompowana zbyt nisko,
- Warunki wpływu w studni prowadzą do "spienienia" ścieków w studni,
- Powietrze jest zasysane przez nieszczelne połączenia podczas zatrzymań pomp,
- Woda ściekowa uwalnia gazy w rurociągu.

Wiele małych bąbli powietrznych zbiera się w wyższych punktach rurociągów i mogą, nie bez trudności, być przetłaczane dalej. Zatem, ważne jest by rurociągi miały jak najmniej skrajnie wysokich punktów, oraz by wszystkie z takich punktów wyposażone były w odpowietrzniki, o ile to możliwe (albo ręcznie sterowane, albo automatycznie).

Automatyczne odpowietrzniki mają tendencje do blokowania się. Jeżeli zainstalowane zostały automatyczne odpowietrzniki w punktach wysokich, muszą podlegać regularnym inspekcjom. Dobrym pomysłem jest oznaczenie tych inspekcji jako regularne zadania w kalendarzu operacyjnym.

Jeżeli nie ma możliwości odpowietrzania wysokich punktów, substancja czyszcząca ("sprzątaczką") może czasami tymczasowo rozwiązać ten problem.



Rysunek powyżej ilustruje z jakich powodów dodatkowa energia jest zużywana wskutek obecności poduszek powietrznych. Zamiast pompowania wody ze studni do zbiornika, pompa musi podnosić wodę raz po raz przez kolejne poduszki powietrzne. Oznacza to, że wysokość podnoszenia, którą pompa musi przewyciężyć jest znacznie większa niż w przypadku braku obecności poduszek powietrznych w rurociągu.

Poduszki powietrzne – a zatem ciśnienie – mogą stać się na tyle duże, że pompa nie będzie miała wystarczającej wydajności do przetłaczania wody.

### 8.4.3 Redukowanie liczby rozruchów

Poniższe czynności wymagają energii:

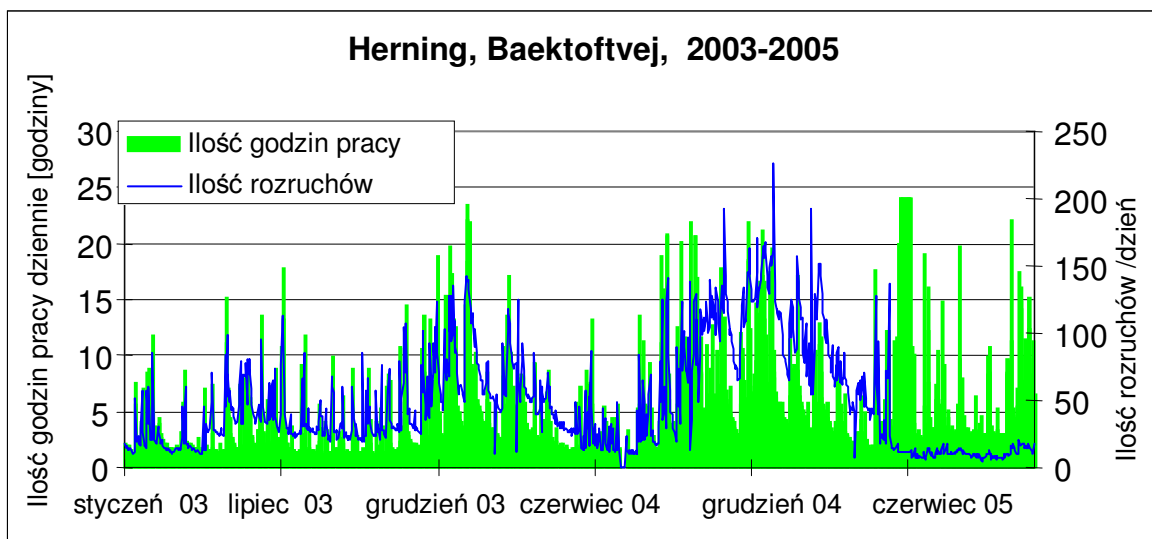
- Rozruch pompy
- Przyspieszenie przepływu wody
- Wytworzenie ciśnienia

W 1,000-metrowym rurociągu o średnicy wewnętrznej 200 mm, więcej niż 30 ton wody może wymagać "uruchomienia". Wymaga to ogromnych ilości energii, a tylko niewielka jej część jest odyskiwana przez ciągłą "pracę" wody podczas gdy pompa jest zatrzymana. Większość z tej energii jest tracona podczas nagłego skoku ciśnienia przy zatrzymywaniu pompy.

Normalnie, energia wydatkowana na rozruch pompy odpowiada 5-10% całkowitego zużycia, chociaż zdarzały się przypadki, w których na rozruch zużywane było do 40% procent energii. Przypadki takie mają miejsce przede wszystkim w pompowniach z dużymi pompami i małymi studniami, w których rozruch wymaga większej ilości energii.

Strata energii na rozruch jest taka sama, niezależnie od tego czy pompa pracuje przez dłuższy czy krótszy czas. Regulując wydajność pompy, tak by lepiej odpowiadała faktycznemu zasilaniu w wodę, uzyskujemy dłuższy czas pracy, mniej rozruchów oraz mniejsze zużycie energii.

Poniższy wykres ilustruje liczbę godzin pracy oraz rozruchów w ciągu doby w pompowni. Pompownia ta przełączona została na pracę w oparciu o przetwornicę częstotliwości w czerwcu 2005 roku. Prosimy zwrócić uwagę na stale utrzymującą się niską liczbę rozruchów w drugiej połowie roku, w porównaniu do dwóch poprzednich lat.



Poza kosztami energii związanymi z rozruchem pomp, sam rozruch obciąża układ rurociągów nagłymi skokami ciśnienia, oraz układy elektryczne dużymi prądami. Jak można zauważyć, istnieje więcej niż tylko jeden dobry powód do utrzymania niskiej liczbie rozruchów.

## 9. Regulacja częstotliwości

W części 8 "Pompy" opisano w jaki sposób energia może być zaoszczędzona przez regulowanie wydajności pomp, oraz jak dokonać tego można przy zastosowaniu przetwornicy częstotliwości. Pozostała część poradnika odpowiada na wiele pytań, które mogą się pojawić gdy przychodzi czas na inwestowanie w zakup przetwornicy częstotliwości.

### 9.1 Jakie pompownie jest sens poddawać regulacji?

Instalacja przetwornicy częstotliwości jest kosztowna, i jeżeli zużycie energii ma zostać znacząco ograniczone, inwestycja powinna mieć dobre uzasadnienie w poziomie uzyskiwanych oszczędności. Pompownia powinna zatem mieć określony poziom zużycia energii zanim opłacalne będzie zainwestowanie w przetwornicę częstotliwości. Jeżeli możliwe jest osiągnięcie oszczędności na poziomie 40% dzięki regulowaniu częstotliwości w pompowni, przy rocznym zużyciu energii 3,000 kWh (2,000 DKK), łączne oszczędności wynosić będą 800 DKK. Oszczędności takie prawdopodobnie nie wyrównają nawet kosztu inwestycji.

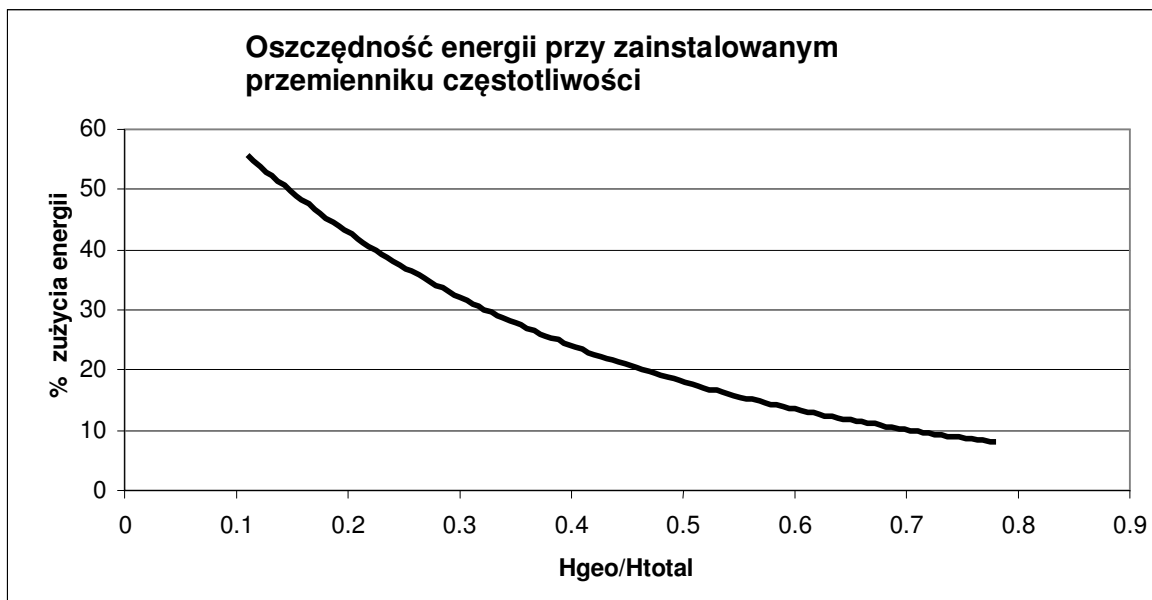
W związku z tym, należy rozpocząć od wybrania wszystkich pompowni z rocznym zużyciem energii ponad 10,000 kWh, po czym rozpocząć ich modernizację. Trzeba również sprawdzić czy silniki napędzające pompy mogą być regulowane za pomocą częstotliwości (niektóre starsze urządzenia nie mogą być regulowane w ten sposób). Dostawca Państwa pomp udzieli takiej informacji.

Oszczędność energii przez regulowanie częstotliwości jest skuteczne, gdyż ciśnienie zredukowane jest gdy prędkość przepływu jest niższa. Niemniej jednak, jedynie część ciśnienia, które wywodzi się od "tarcia / oporu" (ciśnienie dynamiczne) może zostać zredukowana w ten sposób. Faktyczne ciśnienie, będące efektem podnoszenia i opuszczania mas wody (inaczej ciśnienie geometryczne), nie może zostać zmienione.

Większość energii w pompowni można zatem zaoszczędzić gdy ciśnienie dynamiczne jest dużą częścią ciśnienia całkowitego ( $H_{tot}$ ). Jest to typowe dla długich rurociągów, charakteryzujących się niewielkim  $H_{geo}$ .



Poniższy schemat ilustruje jakie oszczędności możliwe są przy zastosowaniu regulacji częstotliwości. Znajdź, w którym miejscu na krzywej znajduje się  $H_{geo}/H_{tot}$  twojej pompowni, i zobacz potencjalnie możliwe oszczędności jako wartość procentowa.



### Ile można zaoszczędzić

Znajdź  $H_{geo}$  oraz  $H_{tot}$  (patrz ramka zatytułowana: "Jak mierzyć ciśnienie").

Jeżeli, dla przykładu,  $H_{geo}$  wynosi 8 m. sł. w. (lub 0.8 bar), a  $H_{tot}$  wynosi 24 m. sł. w. (lub 2.4 bar), wówczas:

$$H_{geo}/H_{tot} = 8/24 = 0.33$$

Znajdź 0.33 na osi poziomej i przesunij palcem do góry aż do miejsca przecięcia z krzywą. Liczba na osi pionowej odpowiada przewidywanym oszczędnościom. Możliwe jest więc zaoszczędzenie 30% obecnego zużycia energii pompowni, przez regulowanie częstotliwości pomp.

## 9.2 Ceny przetwornic częstotliwości

Ceny różnych marek przetwornic częstotliwości wahają się tak samo jak w przypadku wszystkich pozostałych komponentów, w zależności od jakości oraz funkcji, jak również od wysokości możliwych do wynegocjowania rabatów. Realistyczne ceny dla średniej przetwornicy częstotliwości zilustrowane zostały na poniższym wykresie.

Sprawdź jak duży jest silnik napędowy pompy i zaznacz tę wielkość na krzywej poniżej. Następnie, odczytaj szacunkową cenę na osi po lewej.



### 9.3 Koszty instalacji

Poza ceną samej przetwornicy częstotliwości, należy również wziąć pod uwagę koszt zainstalowania oraz zaprogramowania przetwornicy częstotliwości oraz sterowników pomp. Koszty te mogą być różne, i uzależnione są w głównej mierze od tego w jakim stanie jest prądowa instalacja zasilająca oraz niezbędne elementy do zainstalowania w układzie sterującym. Możliwa będzie również konieczność wprowadzenia zmian w innych komponentach instalacji.

W rozdziale 13, zatytułowanym "Instalacja Przetwornicy Częstotliwości", znajdują się informacje na temat różnych zagadnień, na które należy zwrócić uwagę podczas instalowania przetwornicy częstotliwości, oraz na temat tego jakie istnieją możliwości jej sterowania. We współpracy z elektrykiem możliwe będzie określenie jakie niezbędne modyfikacje będą musiały zostać wprowadzone w instalacjach pompowni, w celu uzyskania pożądanych efektów. Przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac należy zawsze uzyskać ofertę cenową.

Wiele pompowni ma już zainstalowane przetwornice częstotliwości, które mogą funkcjonować jako urządzenia służące do "miękkiego" rozruchu. Ich celem nie jest oszczędzanie energii. Dokonując kilku modyfikacji w konfiguracji przetwornicy częstotliwości oraz w sterownikach pomp, te przetwornice często będą w stanie zmniejszyć zużycie energii o znaczące wielkości, natomiast same modyfikacje przeprowadzić można niewielkimi kosztami, o ile oczywiście przetwornice są już zainstalowane.

Z doświadczenia wynika, że instalacja oraz zaprogramowanie przetwornic częstotliwości, kosztują w realiach Danii między 20,000 a 45,000 DKK (1 DKK = ok. 0.5 PLN), za każdą pompownię, której dotyczy projekt.

W przypadku pompowni, które już korzystają z przetwornic częstotliwości jako urządzeń rozruchowych, a które wymagają jedynie ponownego programowania, koszty wynoszą między 5,000 a 15,000 DKK.

### 9.4 Czy zawsze możliwe jest oszczędzanie energii przez zastosowanie przetwornicy częstotliwości?

Nie – istnieją pompownie, które zużywałyby więcej energii, gdyby były regulowane. Podczas regulowania częstotliwości silnika, zmienia się liczba jego obrotów, co w przełożeniu na proces technologiczny powoduje, że jego wydajność proporcjonalnie również ulega zmianom. Oznacza



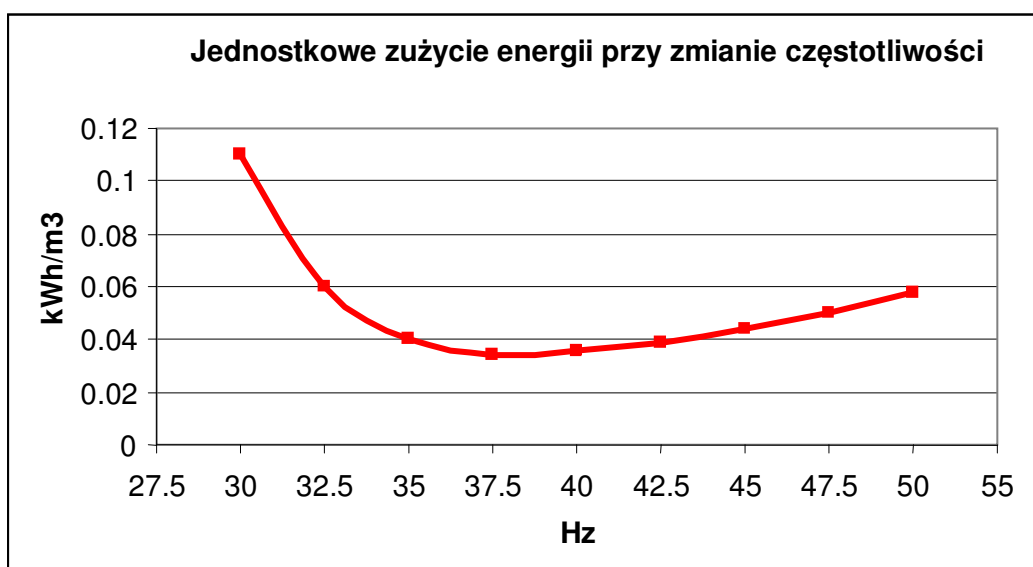
to, że jeżeli zmniejszymy częstotliwość o połowę z 50 do 25 Hz, to przepływ oraz liczba obrotów również zostaną zredukowane o połowę.

Zainstalowane pompy zwykle są dobierane optymalnie, tak by pracowały najlepiej przy nominalnej prędkości obrotowej. Jeżeli prędkość obrotowa pompy jest zmniejszona, jej wydajność pogarsza się, a jednostkowe zużycie energii wzrasta. Powodem, dla którego energia może być oszczędzona przez zredukowanie prędkości obrotowej jest że prędkość przepływu wody w rurociągu jest zmniejszona, dzięki czemu zredukowane również zostają "straty z tarcia / oporu", a zatem mniej energii jest niezbędne do przetłoczenia wody. W większości przypadków, oszczędności te przeważają słabą wydajność, czego efektem są oszczędności netto.

Jeżeli ciśnienie całkowite [ $H_{tot}$ ] wywodzi się z ciśnienia geometrycznego [ $H_{geo}$ ], wówczas nie są możliwe znaczące oszczędności ze zredukowania prędkości (a zatem ciśnienia dynamicznego [ $H_{dyn}$ ]). W takich przypadkach niska wydajność pomp ma znacznie większy wpływ na jednostkowe zużycie energii. W niektórych przypadkach jednostkowe zużycie energii nagle wzrośnie nawet przez nieznaczne zmniejszenie częstotliwości o 1 Hz.

Na poniższym wykresie zauważyć można zmianę jednostkowego zużycia energii w pompowni z długim rurociągu o płaskim przebiegu ciśnienia (duża wartość ciśnienia dynamicznego). Częstotliwość zostaje zredukowana z 50 do 30 Hz. Przy około 38 Hz, pogorszenie wydajności pomp zaczyna przeważać nad oszczędnościami przez redukcję prędkości, a jednostkowe zużycie energii zaczyna rosnąć. Przy tej prędkości pompa pracuje z najniższym możliwym jednostkowym zużyciem energii. Jest to optymalna dla energii częstotliwość.

Dostawca pomp często może wyznaczyć tę wartość dla pojedynczej pompy, w oparciu o teoretyczne kalkulacje. Niemniej jednak jest niezwykle ważne, by krzywa została również wyznaczona w oparciu o odczyty z pompowni. W rzeczywistości, istnieć mogą warunki, których dostawca nie będzie w stanie wziąć pod uwagę (większe ciśnienie, inne niż zarejestrowane wielkości wirników pomp, itp.). Jeżeli jednostka sterująca oparta zostanie na kalkulacjach teoretycznych, może dla przykładu, spowodować, że pompa pracować będzie na tyle powoli, że w ogóle nie będzie przetłaczała wody.





## **9.5 Inne powody przemawiające za stosowaniem regulacji częstotliwości w pompowniach**

Nie wszystkie pompownie mogą oszczędzać energię przez zredukowanie prędkości an tyle, by inwestycja się sama sfinansowała w rozsądnym czasie. Istnieją jednak inne dobre powody przemawiające za instalowaniem przetwornic częstotliwości.

### **9.5.1 Przedłużony cykl życia**

Gdy spada liczba obrotów, pompa pracuje dłużej aby przepompować określoną objętość cieczy. Oznacza to zmniejszenie liczby rozruchów i zatrzymań pompy. Rozruchy są energochłonne i powodują zużycie cewek w silniku pompy, jak również elementów na panelu kontrolnym.

Narastanie ciśnienia w rurociągu, wraz ze skokami ciśnienia podczas zatrzymywania, powodują zużycie materiałowe w rurociągu. Stosując przetwornicę częstotliwości możliwe jest uruchamianie i zatrzymywanie pomp w dłuższym okresie czasu, dla przykładu 30-120 sekund. Czynności te powodują bardziej "miękką" pracę, a ograniczenie prędkości może zmniejszyć, lub nawet wyeliminować, niszczące skoki ciśnienia, a w efekcie – wydłużyć cykl życia rurociągów. I znowu, oznacza to, że możliwe będzie usunięcie wszelkich zbiorników ciśnieniowych, których zadaniem jest przejmowanie skoków ciśnienia.

Zużycie mechaniczne wirnika pompy, łożysk oraz uszczelnień wałów, znacząco obniża się w przypadku zastosowania redukcji prędkości. Jak widać, pompa nie ulega większemu zużyciu z powodu dłuższej pracy przy niższych prędkościach – jest dokładnie na odwrót.

### **9.5.2 Stały dopływ ścieków do stacji uzdatniania**

Jeżeli pompownia tłoczy bezpośrednio do stacji uzdatniania lub do innych pompowni regulujących, dopływ do nich jest rozłożony bardziej równomiernie w codziennym działaniu. Może to ułatwić kontrolowanie procesów w oczyszczalni ścieków.

### **9.5.3 Miękki rozruch**

Podczas rozruchu pompy prędkość obrotowa narasta przez długi czas, przez co zasilanie oraz wszystkie instalacje są mniej obciążane. Działa to na takiej samej zasadzie jak urządzenia do miękkiego rozruchu – chociaż efekty są znacznie lepsze. Podczas instalowania lub wymiany urządzeń do miękkiego rozruchu zawsze należy rozważyć czy przetwornica częstotliwości nie byłaby lepszym rozwiązaniem.

### **9.5.4 Zwiększenie wydajności**

Wraz z pracą przetwornicy częstotliwości możliwe jest działanie w trybie super-synchronicznym, lub z większą częstotliwością niż 50 Hz, dzięki czemu prędkość pompy – a zarazem wydajność - wzrastają. Praca nad-synchroniczna ma wpływ na znacząco wyższe zużycie energii i komponentów, niż podczas normalnej pracy. Praca nad-synchroniczna nie powinna w związku z tym być stosowana jako rozwiązanie stałe dla pompowni o niskich wydajnościach.

### **9.5.5 Kawitacja**

Jeżeli pompy zainstalowane w pompowni narażone są na zjawisko kawitacji, mogą ulegać znacznym zniszczeniom w obrębie obudowy oraz wirników. Redukcja prędkości – a zarazem



ciśnienia ssącego – obniży lub zniweluje ryzyko zaistnienia kawitacji. Wpłynie to na przedłużenie długości cyklu życia pomp. Kawitacja również prowadzi do wyższego zużycia energii.

### **9.5.6 Osady w rurociągu**

Ze względu na dłuższy czas pracy, mniej będzie okresów gdy woda będzie w spoczynku w rurociągu. W związku z tym lżejsze cząsteczki ciał stałych nie będą się osadzały.

### **9.5.7 Hałas**

Podczas pracy z niższymi prędkościami obrotowymi, redukcji ulega hałas w rurociągach i odpowietrznikach. Jeżeli rurociąg ma rezonujące częstotliwości powodujące hałas, możliwe jest zaprogramowanie przetwornicy częstotliwości w taki sposób, by nie pracowała na tych częstotliwościach.

## **9.6 Jakie są korzyści z instalowania przetwornicy częstotliwości?**

### **9.6.1 Koszty dostawy i instalacji**

Jako zasadę przyjmujemy, że przetwornice częstotliwości kosztują 1,500 DKK/kW w przypadku urządzeń 5-10 kW, oraz 1,000 DKK/kW w przypadku przetwornic powyżej 30 kW. Koszty instalacji są trudniejsze do określenia i zależą od tego jaka jednostka sterująca jest obecnie używana w pompowni, oraz jakie urządzenia wymagać będą do pracy przetwornicy.

### **9.6.2 Długość cyklu życia**

Tak jak inne urządzenia elektroniczne, przetwornica częstotliwości ma określoną długość cyklu życia, po którym musi zostać wymieniona. Dostawca zapewni informacje na temat określonych urządzeń, niemniej najczęściej cykl życia wynosi między 10 a 20 lat.

### **9.6.3 Osady w rurociągu**

Istnieje ryzyko, że wolniejszy przepływ w rurociągu – będący efektem redukcji prędkości - prowadzić będzie do odkładania się większych ilości cząsteczek stałych w rurociągu. Istnieje również niebezpieczeństwo, że warstwa ścieków w rurociągu również nie będzie usuwana. Niezbędne jest zatem regularne oczyszczanie rurociągu z użyciem środka czyszczącego.

Podczas regulowania pracy pomp ściekowych, procedura pracy powinna zawsze zawierać okresy pracy, w których pompa działa przy pełnej wydajności – dla przykładu po rozruchu – tak by osadzony materiał został przeniesiony dalej wzdłuż rurociągu.

### **9.6.4 Hałas akustyczny**

Przetwornice częstotliwości zainstalowane w starszych silnikach pomp mogą generować znaczne poziomy hałas. Podczas pracy na niskich częstotliwościach tworzyć się może buczący dźwięk.

### **9.6.5 Szum elektryczny**

Jeżeli nie zostaną podjęte niezbędne środki zaradcze, generowany może być szum elektromagnetyczny przez przetwornice częstotliwości oraz okablowanie silników, co może również niekorzystnie wpłynąć na komponenty elektroniczne zainstalowane w pobliżu.



### 9.6.6 Obciążenia łożysk

W przypadku silników powyżej 55-75 kW, zaistnieć może ryzyko, że przetwornica częstotliwości może powodować powstawanie prądów błędzących, które ze względu na iskrzenie mogą doprowadzić do uszkodzenia łożysk silnika. W celu uniknięcia takich obciążeń łożysk, niektórzy producenci silników zalecają stosowanie łożysk nieprzewodzących w ich silnikach, jeżeli regulowane są one przez przetwornice częstotliwości.

### 9.6.7 Nieprawidłowy dobór przetwornicy częstotliwości

Podstawowym warunkiem jest, by dobrana przetwornica częstotliwości była w stanie wytworzyć rozruchowy moment obrotowy wystarczający do uruchomienia pompy. Jeżeli wybrana zostanie przetwornica częstotliwości ze zbyt niskim momentem inicjującym, pompa nie będzie mogła zostać uruchomiona.

### 9.6.8 Instrukcje dla personelu obsługi

Po zainstalowaniu przetwornicy częstotliwości, niezbędne będzie wprowadzenie zmian w procedurach obsługi pomp. Oznacza to, że przed osiągnięciem optymalnego stanu pracy niezbędny będzie pewien okres przystosowania. Ponadto, personel obsługi powinien zostać poinstruowany na temat tego jak wykorzystać możliwości związane z pracą regulowaną, jak również z jakimi grupami ryzyka można mieć do czynienia. Jeżeli układ transportowy z zainstalowaną przetwornicą częstotliwości nie jest prawidłowo regulowany, skutkować to może wyższym zużyciem energii niż w przypadku pracy nieregulowanej. Z początku wymagać to będzie zwracania szczególnej uwagi, podczas gdy personel obsługi musi działać na podstawie danych operacyjnych przesyłanych do jednostki monitorującej.

## 10. Dobór przetwornicy częstotliwości

Cena nie jest jedynym głównym czynnikiem, który należy brać pod uwagę w trakcie dobierania przetwornicy częstotliwości. Na inne czynniki składają się:

Wielkość (elektroniczna i fizyczna), moment obrotowy rozruchowy oraz typ momentu (zmienny lub stały).

Konieczne jest zatem poinformowanie dostawcę na temat wielkości pompy, która ma być regulowana. Moc (kW) oraz prąd (A) podane są na tabliczce znamionowej producenta pompy, lub podane mogą zostać przez dostawcę pompy. Fizyczna wielkość oraz obudowa przetwornicy częstotliwości mogą mieć wpływ na decyzję czy może ona zostać zainstalowana w istniejącym panelu kontrolnym, czy też musi zostać przeniesiona na zewnątrz.

Dostawca musi zagwarantować, że dostępny rozruchowy moment obrotowy w przetwornicy częstotliwości jest wyższy niż silnika pompy we wszystkich możliwych sytuacjach, co oznacza, że przetwornica częstotliwości jest w stanie dostarczyć wystarczający moment do uruchomienia pompy, również w przypadku gdy wirnik pompy blokowany jest przez jakieś materiały. Moment rozruchowy silnika zależy od składu wody ściekowej oraz od rozmiarów pompy.



## 11. Liczba przetwornic częstotliwości

Instalowanie przetwornicy częstotliwości w każdej pompie jest rozwiązaniem zalecanym, częściowo ponieważ gwarantuje to wyższą niezawodność działania, tak by pompy nie były obsługiwane przez tę samą jednostkę regulującą, a częściowo ze względu na prostszą (a zatem tańszą) instalację. Nawet jeżeli oznacza to zakup kolejnej przetwornicy częstotliwości, niższe koszty instalacji często, w końcowym efekcie, skutkują lepszymi rozwiązaniami.

W pompowniach z więcej niż 2 pompami, rzadko będzie powód do instalowania więcej niż dwóch przetwornic częstotliwości. Z reguły, dwie lub więcej pomp działają równocześnie tylko podczas deszczowej pogody, a i tak w sytuacjach takich pompy te działają przy najwyższej (nieregulowanej) wydajności.

W pompowniach, w których niemożliwa jest praca więcej niż jednej pompy jednocześnie (brak pracy połączonej), jedna przetwornica czasami będzie wystarczająca. Ponieważ przetwornice częstotliwości mają tylko jedno wyjście do zasilania pomp, kabel zasilający pomiędzy przetwornicą częstotliwości a silnikiem jest rozdzielony w zespole stycznika, który obsługiwany jest z jednostki kontrolnej pompy. Oznacza to, że jednostka kontrolna pompy informuje styczniki do których pomp dostarczone musi zostać zasilanie (niektóre przetwornice częstotliwości są również wyposażone w możliwość kontrolowania sygnału do styczników). Upewnić się należy czy styczniki, przenoszące zasilanie do przetwornicy częstotliwości, zostały uwzględnione dla redukcji szumu elektromagnetycznego. Rozwiązanie z zastosowaniem dwóch przetwornic częstotliwości zapewnia poprawę niezawodności działania.

## 12. Usytuowanie przetwornicy częstotliwości

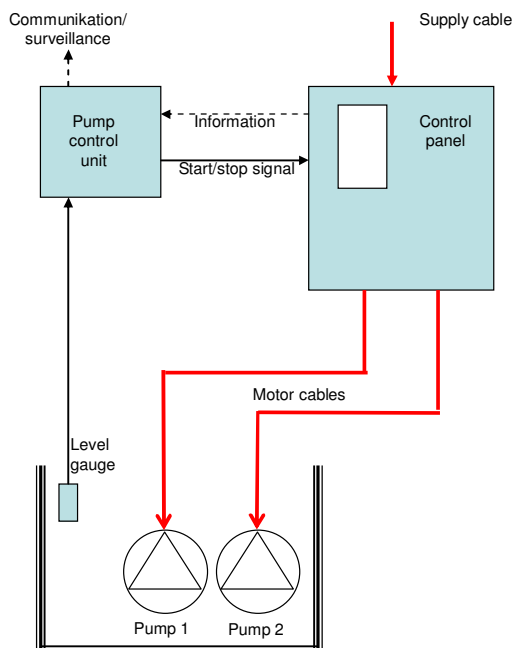
Pomijając rozważania na temat długości okablowania oraz wytwarzania i gromadzenia się temperatury, zasadnym będzie umieszczenie przetwornicy częstotliwości poza panelem, o ile to możliwe. W takim przypadku, załączone muszą również zostać IP54 / IP55. Jeżeli przetwornica zainstalowana zostanie w szafce, wówczas tak wysoka klasa obudowy nie będzie konieczna. W pompowniach, w których panel umieszczony jest w szafce wolnostojącej powyżej poziomu gruntu, przetwornica częstotliwości musi oczywiście zostać zainstalowana w panelu, albo – jeżeli jest miejsce – we własnej szafce.

## 13. Instalacja przetwornic częstotliwości

### 13.1 Regulowanie przetwornic częstotliwości

#### 13.1.1 Sterowanie pompą bez przetwornicy częstotliwości

Normalna instalacja pompowa z pomocniczym wyposażeniem kontrolnym została przedstawiona poniżej:



### Opis

Czujnik poziomu (czujnik ultradźwiękowy, przetwornik ciśnieniowy, włącznik pływakowy lub elektrody prętowe) w studni pompowej podaje sygnał rozruchu / zatrzymania do jednostki sterującej pompami.

Jednostka sterująca pompami wysyła sygnał uruchomienia / zatrzymania do przełączników w panelu kontrolnym, które naprzemiennie uruchamiają / zatrzymują pompy.

Informacja może zostać wysłana z panelu kontrolnego do jednostki kontrolnej pompy w momencie pojawienia się wszelkich możliwych wskazówek na temat usterek (usterka termiczna w silniku, itp.).

Sterownik pompy może przesłać dane na temat pracy do centralnej jednostki monitorującej.

W celu osiągnięcia zróżnicowanej pracy przez zainstalowanie przetwornicy częstotliwości, wykonanych musi zostać kilka zmian.

Przetwornica częstotliwości nie może tylko informować czy jest w stanie pracy czy też nie. Musi również wysyłać sygnały z jaką częstotliwością powinna pracować, w zależności od poziomu w pompowni. Informacja ta uzyskiwana jest przez sygnał analogowy z przekaźnika ciśnienia lub innego analogowego pomiaru poziomu. Jeżeli pompownia nie jest jeszcze sterowana przez dynamiczny pomiar poziomu studni pompowej (analogowy sygnał z przetwornika w studni), ale sterowana jest wyłącznie przez sygnały włącz / wyłącz (wyłącznik poziomu, pręty elektrodowe), wówczas zainstalowany powinien zostać analogowy czujnik poziomu 4-20 mA.

Przetwornica częstotliwości może otrzymywać sygnał analogowy z:

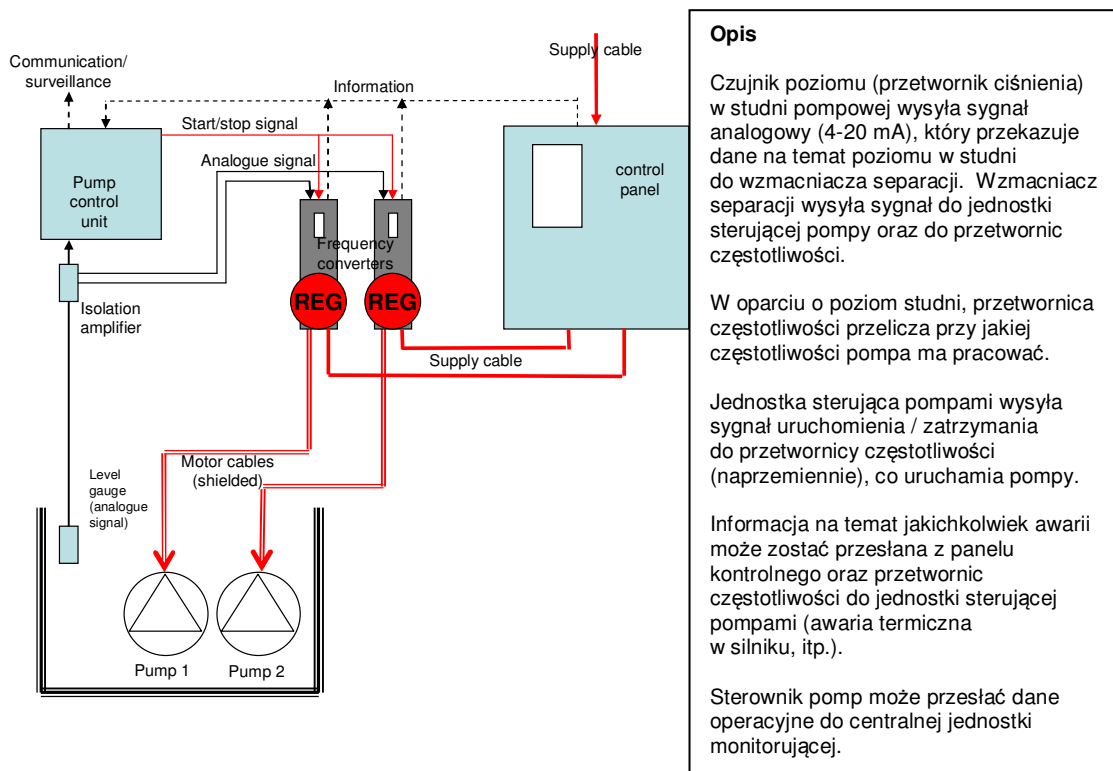
- ten sam przetwornik, który wysyła sygnały do instalacji SRO (sygnał jest "rozdzielany" na dwa w izolowanym wzmacniaczu);
- instalacja SRO (wymaga, by było dodatkowe wyjście analogowe w instalacji SRO);
- niezależny przetwornik w studni pompowej.

Jeżeli poziom studni nie jest rejestrowany z użyciem sygnału analogowego (gdy tylko dostępny jest sygnał typu włącz / wyłącz – czyli sygnał z wyłącznika poziomu lub z elektrod prętowych), ta funkcja musi zostać zainstalowana. Rozwiązanie oparte na porównywaniu musi zostać zainstalowane do przekaźnika ciśnienia lub czujnika ultradźwiękowego, w celu wykonywania pomiarów poziomu wody. Jednostka sterująca pompami nie otrzymuje żadnych sygnałów analogowych – i nie wymaga ich stałego otrzymywania. Wystarczające będzie, gdy sygnał analogowy biegnie bezpośrednio do przetwornicy częstotliwości, co następnie przejmuje część regulacyjną w pracy, zgodnie z powyższym opisem.



### 13.1.2 Programowanie przetwornicy częstotliwości

Jeżeli w studni pompowej jest już zainstalowany analogowy czujnik poziomu do kontrolowania jednostek pompowych, sygnał może zostać "rozdzielony" w taki sposób, by mógł zostać również zastosowany w przetwornicach częstotliwości. Wymaga to jednak zainstalowania wzmacniacza separacji. Przetwornice częstotliwości przekształcają sygnał z informacją na temat poziomu wody w studni pompowej na wstępnie zaprogramowaną częstotliwość. Jednostka sterująca pompy odbiera sygnał ze studni pompowej informujący kiedy oraz która pompa musi zostać uruchomiona (naprzemiennie). Zamiast tych stykników odbierających sygnał ze studni pompowej w panelu, które uruchamiają pompy, sygnał jest przesyłany do przetwornic częstotliwości, które (naprzemiennie) zarządzają pracą pomp. Oznacza to, że cała część związana z kontrolowaniem pozostawiona zostaje przetwornicom częstotliwości, podczas gdy jednostka sterująca pompami używana jest tylko tak jak zwykle, do uruchomienia, zatrzymania oraz zamianą pracy pomiędzy pompami. Poniższa ilustracja przedstawia ten proces:



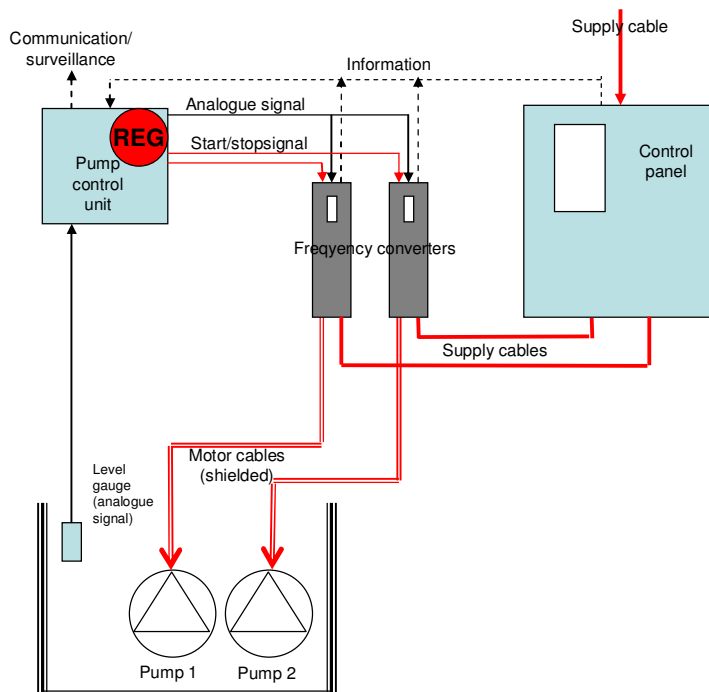
Jeżeli jednostka sterująca pompami ustawiona została do komunikacji z centralną instalacją SRO, będzie nadal tak działać bez zmian, chociaż nie będzie w stanie komunikować się z przetwornicą częstotliwości. Oznacza to, że parametry robocze przetwornic częstotliwości nie mogą być regulowane zdalnie. W razie konieczności wprowadzenia zmian, niezbędna będzie obecność operatora na miejscu.

### 13.1.3 Programowanie sterowania pompą

Jeżeli ktoś życzy sobie mieć możliwość przeprogramowywania przetwornic częstotliwości "z domu", instalacja musi zostać przeprowadzona w taki sposób, by jednostka sterująca pompami była wyposażona w elementy sterujące. Oznacza to, że tylko jednostka sterująca pompami odbiera informacje na temat poziomu w studni pompowej. Następnie przelicza przy jakiej częstotliwości pompy muszą pracować i wysyła komunikat (sygnał analogowy) do przetwornicy



częstotliwości. Jednostka sterująca pompami również wysyła komunikat rozruchu / zatrzymania do przetwornicy częstotliwości. Proces ten zilustrowany został poniżej:



### Opis

Czujnik poziomu (przetwornik ciśnienia) w studni pompowej wysyła sygnał analogowy (4-20 mA), który przekazuje dane na temat poziomu w studni do jednostki sterującej pompami.

W oparciu o poziom studni, jednostka sterująca pompami przelicza przy jakiej częstotliwości pompy powinny pracować.

Jednostka sterująca pompami wysyła analogowy sygnał informujący przetwornice częstotliwości przy jakiej częstotliwości pompy powinny pracować.

Jednostka sterująca pompami wysyła sygnał uruchomienia / zatrzymania do przetwornicy częstotliwości (naprzemiennie), co uruchamia pompy.

Informacja na temat jakichkolwiek awarii może zostać przesłana z panelu kontrolnego oraz przemienników częstotliwości do jednostki sterującej pompami (awaria termiczna w silniku, itp.).

Sterownik pomp może przesłać dane operacyjne do centralnej jednostki monitorującej oraz otrzymywać nowe programy z parametrami roboczymi.

W celu skorzystania z takich ustawień, konieczne jest analogowe wyjście w jednostce sterującej pompy, które przesyłać będzie sygnał do przetwornicy częstotliwości. Rzadko zdarza się, by był instalowany w standardowej wersji różnych typów sterowników pomp, a więc musi zostać zakupiony odrębnie.

## 13.2 Szum elektryczny (EMC)

Przetwornice częstotliwości generują szum elektromagnetyczny w większym lub w mniejszym zakresie, który to może negatywnie wpłynąć na różnego rodzaju urządzenia elektroniczne (radio, telewizory, telefony przenośne, urządzenia pomiarowe, itp.). Oznacza to, że może on mieć wpływ zarówno na sterowanie pompami, jak również wszelkiego rodzaju sygnały telewizyjne znajdujące się w pobliżu, jeżeli nie zostaną podjęte odpowiednie środki zapobiegawcze.

Głównym elementem, działającym jako antena dla tego rodzaju szumu, jest przede wszystkim kabel od silnika z regulowanym zasilaniem pomiędzy przetwornicą częstotliwości a napędem. Zgodnie z dyrektywą EMC (którym podlegają pompownie), maksymalny poziom szkodliwego szumu elektromagnetycznego generowanego przez urządzenia nie może przekraczać poziomu będącego w stanie zakłócić działanie innych urządzeń elektronicznych. Dyrektywa zawiera standardy, które ustanawiają bardziej dokładne wartości dla generowania szumu.

W celu uniknięcia uwalniania szumu elektromagnetycznego do otoczenia, należy zawsze przestrzegać zaleceń producenta przetwornicy częstotliwości. Zwykle, pomiędzy przetwornicą częstotliwości a silnikiem pompy powinien się znajdować ciągły jednolity ekranowany kabel. Jeżeli



konieczne są możliwości przerwania lub rozdzielenia na kablu (wtyczka typu CEE), wówczas należy zastosować niezbędne zabezpieczenia przed szumem (dotyczyć to może sytuacji, w której wymagane są przełączniki bezpieczeństwa w najbliższym sąsiedztwie pomp). Dodatkowo, wszystkie kable dla sygnałów analogowych powinny być ekranowane.

### **13.3 Pozostałe regulacje**

Wszystkie instalacje elektryczne wyposażone są w przekaźnik na wypadek niewłaściwego prądu, który ochrania przed szkodliwymi prądami. Podczas instalowania przetwornicy częstotliwości, należy dodatkowo zabezpieczyć instalację, albo przez neutralizację, uziemienie, albo przez przekaźniki bezpieczeństwa (dla przykładu przekaźnik AC/DC), w zależności od warunków lokalnych. Należy również zaangażować elektryka do sprawdzenia potrzeb w zakresie zasilania pompowni.

Jeżeli wybrane zostanie zabezpieczenie przekaźnikiem AC/DC, wówczas zastosowany powinien zostać jeden przekaźnik na każdą przetwornicę częstotliwości.

Poza kosztami awaryjnego przerywacza obwodu AC/DC, samo urządzenie wymaga większej ilości miejsca, co może powodować konieczność rozbudowania panelu.

Niektóre przetwornice częstotliwości wymagają zastosowania dodatkowego filtra w celu zapobiegania uszkodzeniom silnika, spowodowanym skokom napięcia.

## **14. Sterowanie przetwornicami częstotliwości**

Ważne jest, by przetwornica częstotliwości była prawidłowo zainstalowana, ze względu zarówno na zużycie energii, jak i bezpieczeństwo użytkownika.

### **14.1 Uruchomienie pomp**

Przy uruchamianiu pomp przetwornica częstotliwości stosowana jest jako urządzenie do miękkiego rozruchu, podczas którego częstotliwość, a zarazem prędkość obrotowa, podnoszone są do pełnej wartości (50 Hz) w okresie od 10-30 sekund. W ten sposób, unika się szkodliwych uderzeń ciśnienia na odpowietrzniki, rozgałęzienia oraz rurociąg, co jest nieuniknione w przypadku rozruchów typu włącz / wyłącz. Komponenty elektryczne w panelu kontrolnym są również mniej obciążone przy miękkim rozruchu. Jak długo dokładnie trwa "rozruch" i narastanie od 0 do 50 Hz, zależy od określonego rurociągu: między innymi od długości rurociągu oraz od geometrycznej wysokości podnoszenia  $H_{geo}$ . Im dłuższy jest rurociąg oraz im wyższa jest wysokość podnoszenia, tym dłużej trwa rozruch.

### **14.2 Czas utrzymania**

Gdy pompa jest utrzymywana na pełnej prędkości (50 Hz), częstotliwość ta jest utrzymywana do momentu uzyskania pełnego przepływu w układzie. Oznacza to, że "linia wody" na całej długości rurociągu przepływa z maksymalną prędkością, która jest oczywiście prędkością, dla której układ został na początku zaprojektowany. Najczęściej jest to 0.8-1.2 m/s.

Pracując w ten sposób, zapewniamy zdolność rurociągu do samooczyszczania. Dzięki temu, piasek, kamyczki oraz inne substancje, które osadziły się w rurociągu od momentu ostatniego zatrzymania pomp, zostają uniesione ruchem wirowym i przeniesione dalej, tak że nie mogą zablokować rur. I znowu – jak długo takie wyfukiwanie trwa – będzie to zależne od układu rurociągu, i najlepiej podjąć decyzję w tym zakresie przez zastosowanie czujnika przepływu, które



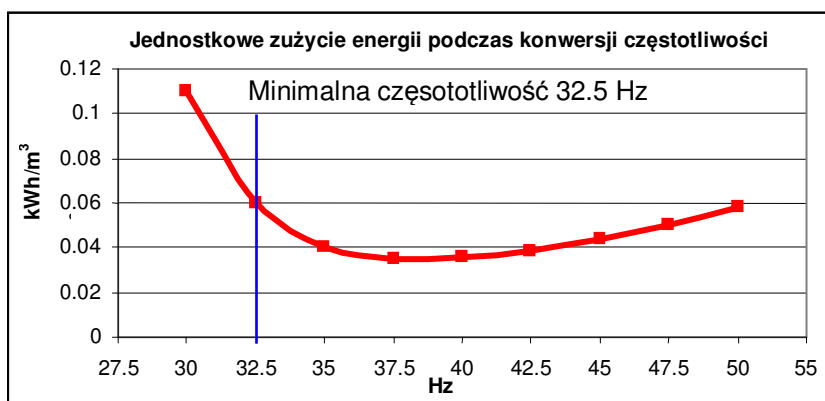
może zmierzyć w którym momencie przepływ w rurociągu będzie miał charakter stały. Ewentualnie, czujnik ciśnienia w rurociągu może wskazać kiedy ciśnienie zostało ustabilizowane od momentu rozruchu pomp. Czas utrzymania zwykle trwa 30-60 sekund.

Po rozruchu pompy oraz czasie utrzymania, częstotliwość musi być regulowana, tak by wydajność pomp jak najbardziej odpowiadała napływowi wody do studni. Dokonać tego można na kilka sposobów.

Jak wspomniano wcześniej, w rozdziale zatytułowanym "Czy zawsze możliwe jest oszczędzanie energii przez zastosowanie przetwornicy częstotliwości?", oszczędność energii uzyskiwana jest gdy pompa pracuje z prędkością, przy której jednostkowe zużycie energii utrzymywane jest na minimalnym poziomie, oraz gdy unika się zbędnych rozruchów pomp. Rozruchów pomp unika się przez utrzymywanie pomp w stanie pracy przez możliwie jak najdłuższy czas. Idealnie by było, gdyby pompa tłoczyła dokładnie taką ilość wody jaka wpływa do studni pompowej. Jeżeli tak się dzieje, nie będzie musiała działać przez cały czas. W praktyce możliwe jest to do osiągnięcia. Wielkości wpływu czasami są tak niskie, że pompa musi pracować z prędkościami obrotowymi poniżej dokładnej minimalnej częstotliwości. W takich okresach czasu, pompa pozostaje nieaktywna w trakcie gdy oczekuje aż w studni poziom podniesie się do takiej wysokości, że umożliwi to wznowienie pracy.

### 14.3 Poziom odniesienia

Jednostka regulująca (w przetwornicy częstotliwości lub w sterowniku pompy) utrzymuje wstępnie ustalony poziom w studni pompowej. Gdy woda podniesie się, częstotliwość oraz wydajność pomp są podnoszone. Zaprogramowana została minimalna częstotliwość, dla zapewnienia, by pompa nie pracowała przy prędkościach, w których jednostkowe zużycie energii przekroczy wartość odpowiadającą częstotliwości 50 Hz. W ten sposób częstotliwość regulowana jest w górę i w dół w taki sposób, że wydajność pompy odpowiada dokładnie masom napływającej do studni wody. Jeżeli dopływ spada tak nisko, że będzie poniżej wydajności pompy przy minimalnej częstotliwości, wówczas poziom pompy spada do punktu zatrzymania i pompa zatrzymuje pracę. Na poniższym wykresie minimalną zaprogramowaną częstotliwość odczytać można na poziomie 32.5 Hz.



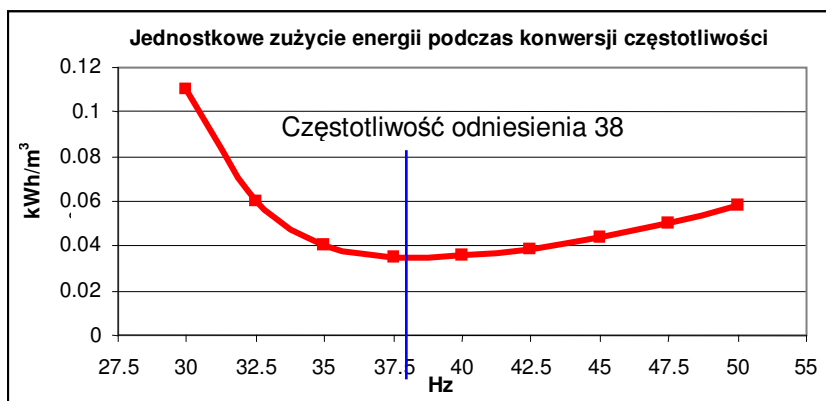
Poziom pompy można również próbować utrzymać przez zainstalowanie "tabeli" w jednostce regulującej. Innymi słowami, do każdego poziomu w studni pompowej przypisana została częstotliwość. Jeżeli pompa z reguły pracuje w zakresie od 1.20-0.5 m, a minimalna częstotliwość wynosi 40 Hz, wówczas tabela wyglądała by jak poniżej:



Poziom pompy [m]	Częstotliwość [Hz]
1.20	50
1.10	48
1.00	46
0.90	44
0.80	42
0.70	40
0.60	40
0.50	40

## 15. Optymalna częstotliwość

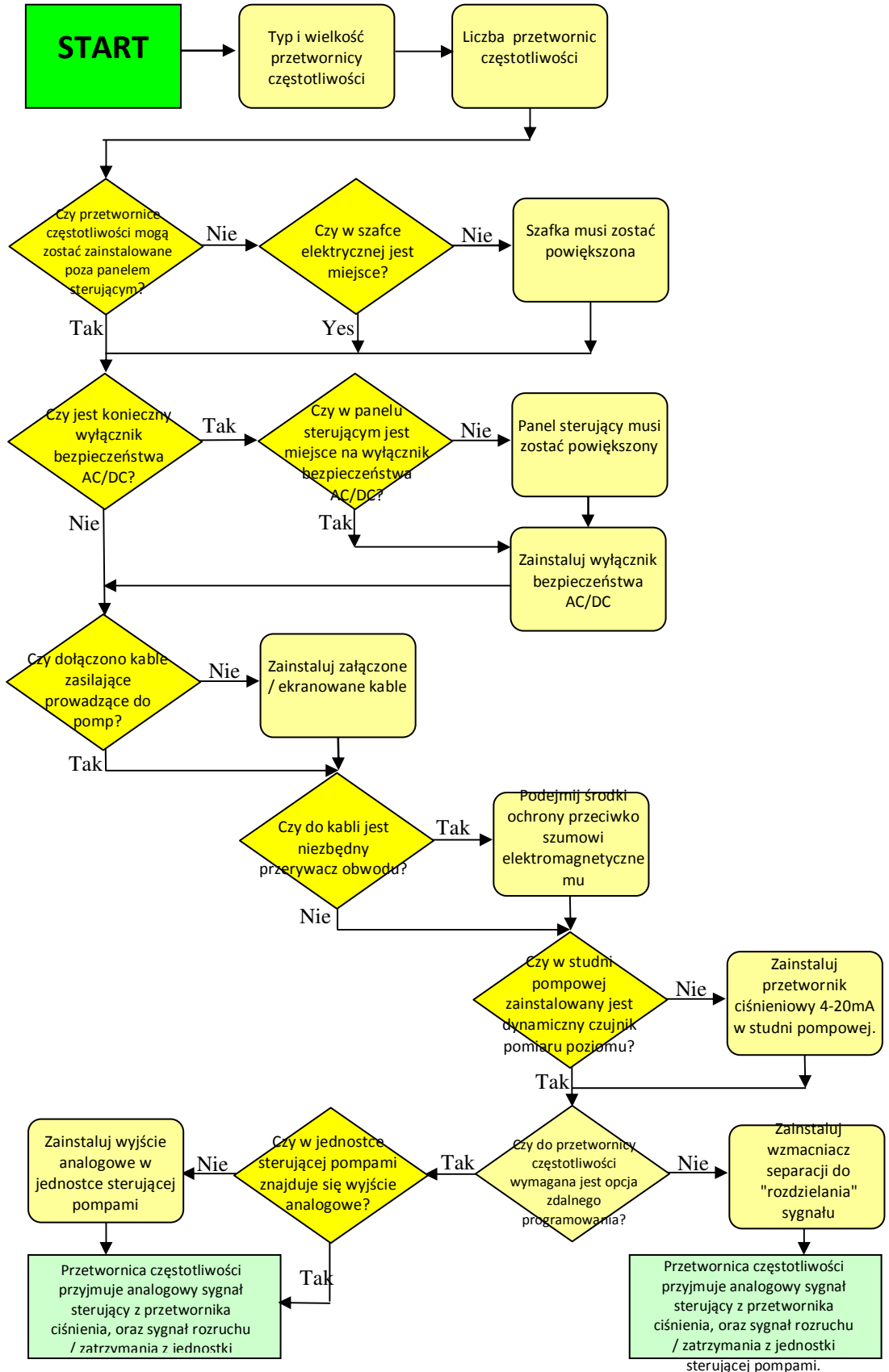
Innym środkiem kontrolowania po czasie utrzymania jest regulowanie częstotliwości w dół do częstotliwości odniesienia. Częstotliwość odniesienia jest częstotliwością, przy której pompy mają najniższe jednostkowe zużycie energii, po czym utrzymują ją, nawet jeżeli poziom pomp podnosi się lub opada. Jeżeli do studni wpływa mniejsza ilość wody niż pompa tłoczy przy częstotliwości odniesienia, wówczas poziom pompy spada i pompa zatrzymuje się gdy osiągnięty zostanie w punkt zatrzymania. Na poniższym wykresie punkt częstotliwości odniesienia odczytać można na 38 Hz.



W przypadku gdy do studni wpływa większa ilość wody niż pompa tłoczy przy częstotliwości odniesienia, wówczas poziom w studni podnosi się. Gdy poziom wody osiąga określony punkt, częstotliwość zostaje podniesiona do 50 Hz, przez co pompa pracuje przy pełnej wydajności do momentu osiągnięcia punktu zatrzymania.



## 16. Schemat wspomagający podejmowanie decyzji dotyczącej instalowania





## 17. Lista kontrolna przy instalowaniu przetwornicy częstotliwości

1. Wybierz pompownie, które już są wyposażone w przetwornice częstotliwości dla miękkiego rozruchu oraz zatrzymania.
2. Wybierz inne pompownie z rocznym zużyciem energii przekraczającym 10,000 kWh.
3. Zastosuj "krzywą oszczędności" w celu określenia możliwych oszczędności.
4. Sprawdź u dostawcy pompy / silnika czy silnik może pracować z regulacją częstotliwości.
5. Przygotuj informacje na temat pomp oraz rurociągów.
6. Poproś dostawcę o opracowanie krzywej dla jednostkowego zużycia energii przez pompę w warunkach pracy regulowanej częstotliwości, wraz z minimalną częstotliwością.
7. Zastanów się którą metodę regulacji zastosujesz, jak również jakie inne urządzenia musisz zainstalować dla prawidłowej pracy pompowni z regulacją częstotliwości.
8. Poproś swojego dostawcę o przygotowanie wyceny kosztów instalacji. Wykorzystaj ilustracje oraz opisy zamieszczone w podręczniku. Miej na uwadze warunki w EMC.
9. Zamów przetwornicę częstotliwości przygotowaną do wspomagania pompowania wody ściekowej, co oznacza że musi mieć wystarczający rozruchowy moment obrotowy, tak by zawsze możliwe było prawidłowe uruchomienie pomp.
10. Zainstaluj przetwornicę częstotliwości oraz urządzenia sterujące. Upewnij się czy technik elektryk dobrze rozumie opis systemu kontroli. Skontaktuj się z planowanym dostawcą urządzeń sterujących do pomp.
11. Upewnij się, że wraz ze swoimi kolegami otrzymacie właściwe instrukcje obsługi, oraz że dokumentacja jest prawidłowa i dostarczona w języku angielskim.
12. Sprawdź jednostkowe zużycie energii. Znajdź prawidłową minimalną częstotliwość.
13. Pilnuj dokładnie godzin pracy, rozruchów oraz zużycia energii podczas kilku pierwszych miesięcy.



## 18. Lista kontrolna możliwych oszczędności energii

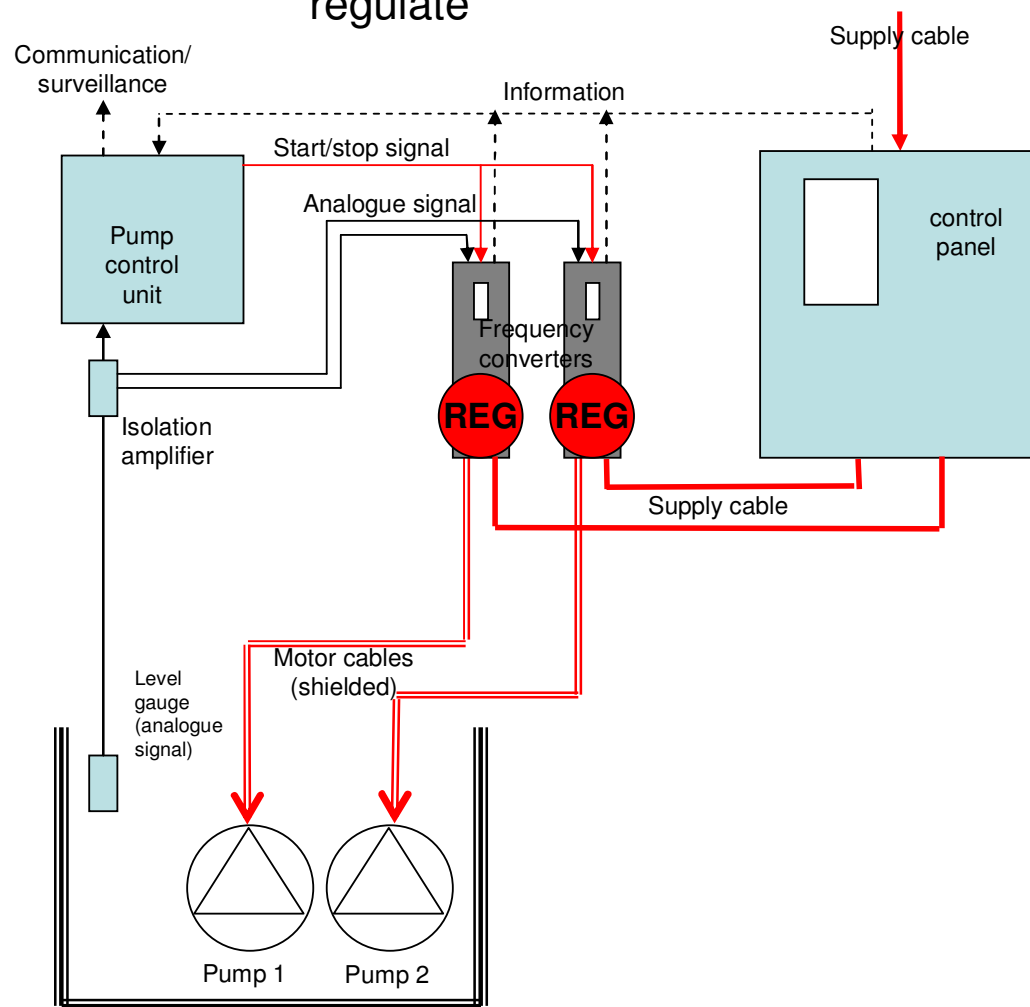
Rozdział w podręczniku	Zagadnienie	Pytanie	Rozwiązanie
5.1.	Zawory zwrotne	Czy są szczelne?	Sprawdź uszczelnienie oraz wszelkie mechanizmy zamykające
		Czy otwiera się w pełnym zakresie?	Na klapie osiadł jakiś materiał
			Zainstaluj zawory klapowe poziomo
5.2.	Sprzęg rurowy	Czy powierzchnie kołnierzy są nienaruszone?	Wymień kołnierze
		Czy kołnierze są odpowiednich wymiarów?	
5.3.	Wirnik pompy		Dobierz wirnik z wysoką wydajnością
		Czy wirnik jest zużyty?	Wymień wirnik pompy
			Powleczenie wirnika
5.3.	Wirnik kanałowy	Czy przeciek przez szczelinę jest zbyt duży?	Wyreguluj wielość szczeliny Wymień zużywalny pierścień
5.4.	Zawory	Czy są w pełni otwarte?	Przeprowadź konserwację uchwytu zaworu
5.5.	Wycieki	Czy woda przecieka? Czy powietrze przecieka?	Upewnij się czy wszystko jest szczelne.
5.6.	Nadmiar wody	Czy są znaczące sezonowe różnice w dziennym czasie pompowania?	Skoryguj dopływ
6.1.	Ogrzewanie	Ile energii zużywasz na ogrzewanie?	Poznaj zużycie energii w twojej pompowni Zainstaluj liczniki energii
6.1.1.	Ochrona przeciw zamarzaniu	Jaka panuje temperatura w pompowniach?	Ustaw termostat na 4-5 stopni
6.1.2.	Kondensacja	Czy jest to problemem?	Zainstaluj odwadniacz
6.1.3.	Podgrzewacze wody		Zainstaluj przepływowy podgrzewacz wody
6.2.	Wentylacja	Czy wentylacja jest niezbędna?	Zainstaluj czujniki wilgoci / temperatury na wentylatorach
6.3.	Oświetlenie	Czy wszystkie światła są wyłączane w pompowni oraz w studni?	Zainstaluj czujniki ruchu lub timery



Rozdział w podręczniku	Zagadnienie	Pytanie	Rozwiązanie
6.4.	Kompresor	Czy jest możliwość zamiany sprężonego powietrza na innego rodzaju przeniesienie napędu?	Zainstaluj napęd elektryczny na zaworach
		Czy układ jest szczelny?	Znajdź i zatrzymaj przecieki
6.5.	Pompy próżniowe	Czy układ jest szczelny?	Znajdź i zatrzymaj przecieki
6.6.	Stacja hydrauliczna	Czy jest możliwość zamiany hydrauliki na innego rodzaju przeniesienie napędu?	Zainstaluj napęd elektryczny na dławnice, itp.
7.	Skorzystaj z danych operacyjnych	Czy pompy pracują równą liczbę czasu? Czy mają taką samą liczbę rozruchów?	Skontroluj pompy z większą liczbą czasu pracy. Sprawdź zawór zwrotny na pompach z najniższą liczbą godzin pracy
			Sprawdź kluczowe dane dla normalnej pracy
		Czy pompy zaczynają pracować przez dłuższe okresy czasu?	Wyczyść rurociąg
8.3.	Pompy	Czy wielkość pompy jest prawidłowa?	Wymień wirnik Wymień pompy Zainstaluj pompy na okres pogody suchej Zainstaluj przetwornicę częstotliwości
8.3.2.		Czy straty są zbyt wielkie?	Dobierz pompy wraz komponentami o wysokiej wydajności
			Zmień wirnik na kanałowy
8.4.1.	Utrzymuj rurociąg w czystości	Czy ciśnienie zwrotne narasta?	Zastosuj środek czyszczący
			Odpowietrz rurociąg Sprawdź działanie odpowietrzników automatycznych
8.4.3.	Ogranicz liczbę rozruchów	Czy pompy mają wiele rozruchów?	Zwiększ rozmiary studni Podnieś górny wyłącznik rozruchowy, obniż dolny wyłącznik Zainstaluj przetwornicę częstotliwości



## The frequency converters regulate



### Opis

Czujnik poziomu (przetwornik ciśnienia) w studni pompowej wysyła sygnał analogowy (4-20 mA), który przekazuje dane na temat poziomu w studni do wzmacniacza izolatora.

W oparciu o poziom studni, przemienniki częstotliwości przeliczają przy jakiej częstotliwości pompy powinny pracować.

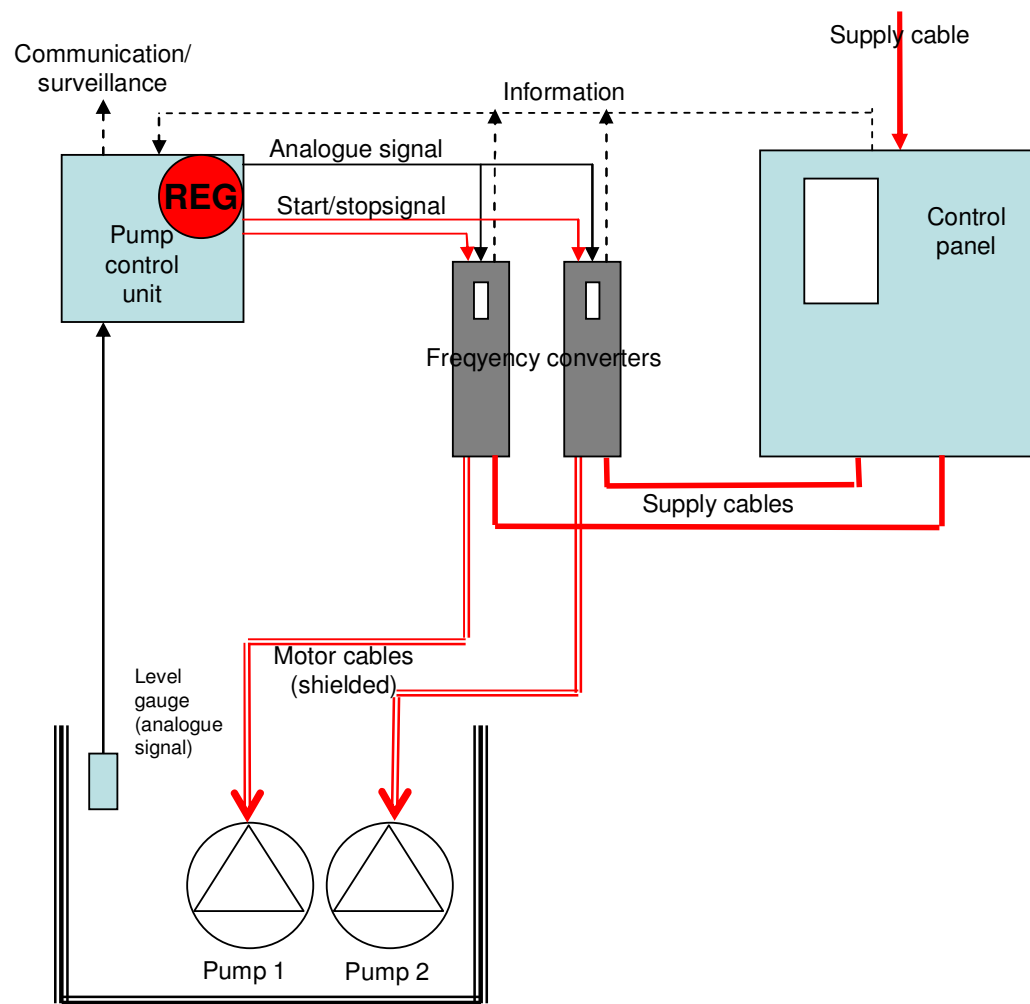
Jednostka sterująca pompami wysyła sygnał uruchomienia / zatrzymania do przetwornicy częstotliwości (naprzemiennie), co uruchamia pompy.

Informacja na temat jakichkolwiek awarii może zostać przesłana z panelu kontrolnego oraz przetwornicy częstotliwości do jednostki sterującej pompami (awaria termiczna w silniku, itp.).

Sterownik pomp może przesłać dane operacyjne do centralnej jednostki monitorującej.



## Pump control regulates



### Opis

Czujnik poziomu (czujnik ultradźwiękowy, przetwornik ciśnienia, wyłącznik pływakowy lub elektrody prętowe) wysyła sygnał rozruchu / zatrzymania do jednostki sterującej pompami.

Jednostka sterująca pompami wysyła sygnał uruchomienia / zatrzymania do przełączników w panelu kontrolnym które (naprzemiennie) uruchamiają / zatrzymują pompy.

Informacja na temat jakichkolwiek awarii może zostać przesłana z panelu kontrolnego do jednostki sterującej pompami (awaria termiczna w silniku, itp.).

Sterownik pomp może przesłać dane operacyjne do centralnej jednostki monitorującej.

