

Optymalizacja pracy i zużycia energii elektrycznej w napędach z regulacją częstotliwościową

przykłady praktycznych zastosowań

Andrzej Gizicki

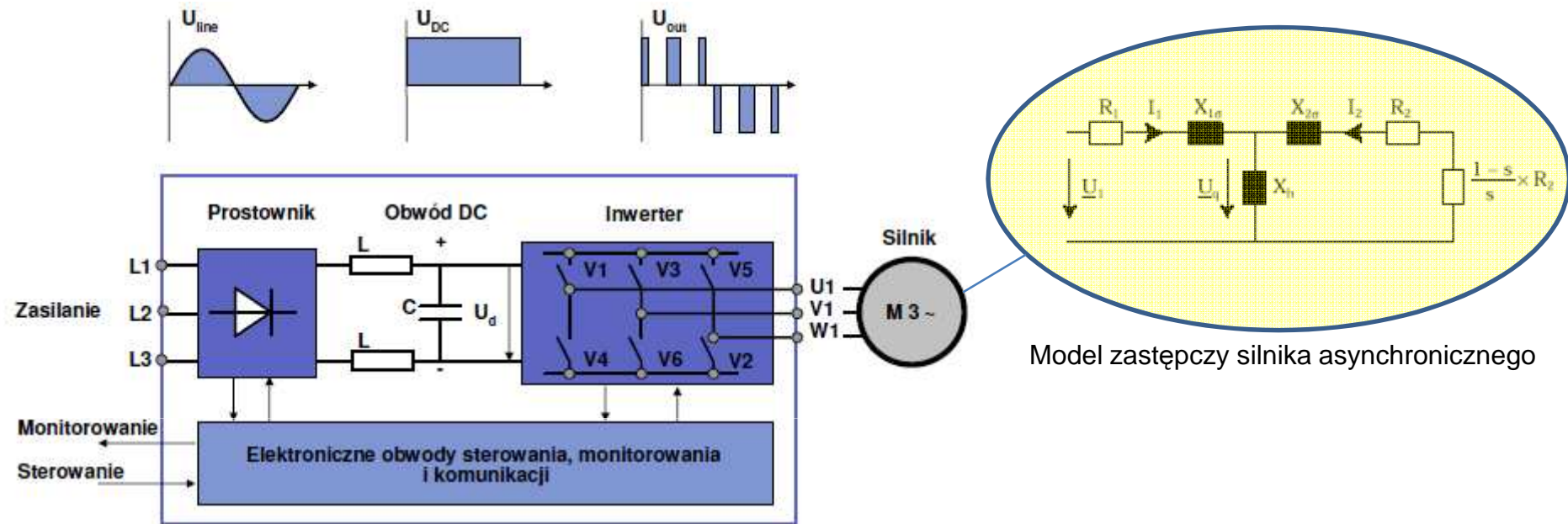
Biuro Inżynierskie ANAP

www.anap.pl

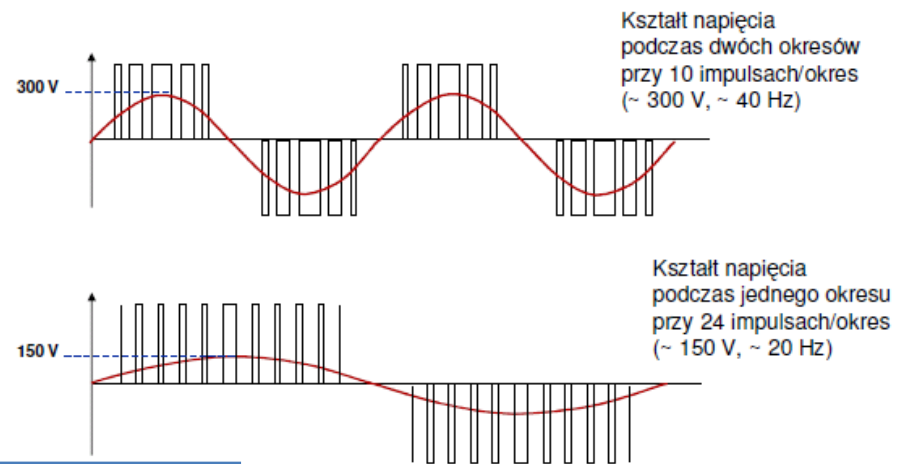
2010-05-20

JAK ZMNIJSZYĆ KOSZTY ENERGII W ZAKŁADACH PRZEMYSŁOWYCH
Optymalizacja pracy i zużycia energii elektrycznej w napędach z regulacją częstotliwościową

Regulacja częstotliwościowa – podstawowe informacje



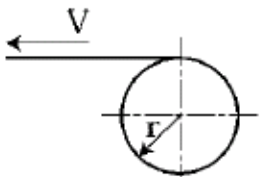
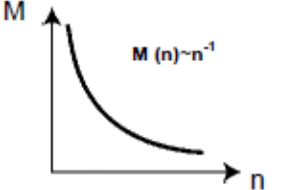
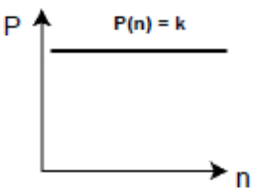
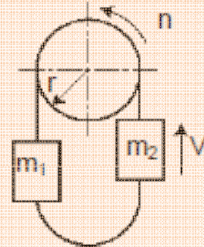
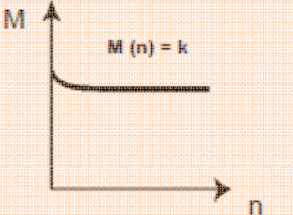
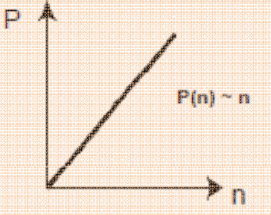
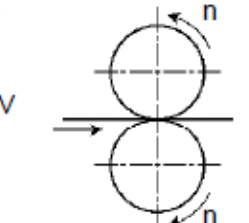
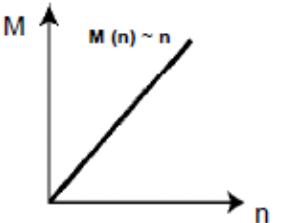
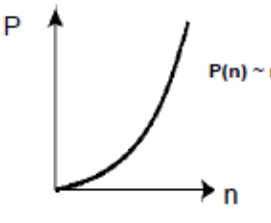
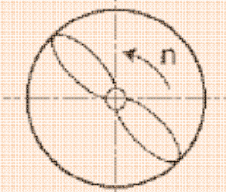
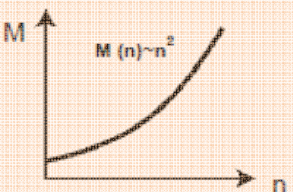
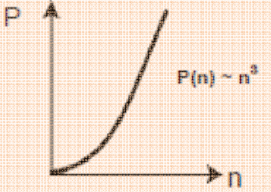
Schemat blokowy przetwornicy częstotliwości



Przebiegi napięcia na wyjściu przetwornicy

Regulacja częstotliwościowa – charakterystyki maszyn roboczych

Ilość energii jaką musimy dostarczyć do maszyny roboczej wyznacza aktualne zapotrzebowanie na moment obrotowy silnika napędzającego maszynę

<p>1</p> 	 <p>$M(n) \sim n^{-1}$</p>	 <p>$P(n) = k$</p>	<p>Maszyny nawijające, naciągające</p>
<p>2</p> 	 <p>$M(n) = k$</p>	 <p>$P(n) \sim n$</p>	<p>Przenośniki taśmowe, suwnice, wyciągarki, pompy śrubowe, obrabiarki</p>
<p>3</p> 	 <p>$M(n) \sim n$</p>	 <p>$P(n) \sim n^2$</p>	<p>Walcarki, sprężarki śrubowe,</p>
<p>4</p> 	 <p>$M(n) \sim n^2$</p>	 <p>$P(n) \sim n^3$</p>	<p>Maszyny wykorzystujące siłę odśrodkową np. wentylatory, pompy wirowe odśrodkowe, wirówki</p>

Regulacja częstotliwościowa – podstawowe zależności

k – współczynnik regulacji

$$k = N_r / N_n$$

$$k < 1$$

- Napędy pomp wirowych i wentylatorów
 - wydajność = **k** x prędkość obrotowa
 - ciśnienie robocze = **k²** x prędkość obrotowa
 - zużycie energii elektrycznej = **k³** x prędkość obrotowa
- Napędy linii transportu, pomp śrubowych, obrabiarek ...
 - wydajność = **k** x prędkość obrotowa
 - zużycie energii elektrycznej = **k** x prędkość obrotowa



Potencjał oszczędności energetycznych w napędach

W Polsce napędy elektryczne zużywają ok. 56%-60% energii wytwarzanej w przeciągu roku.

>>> 90% to napędy prądu przemiennego.

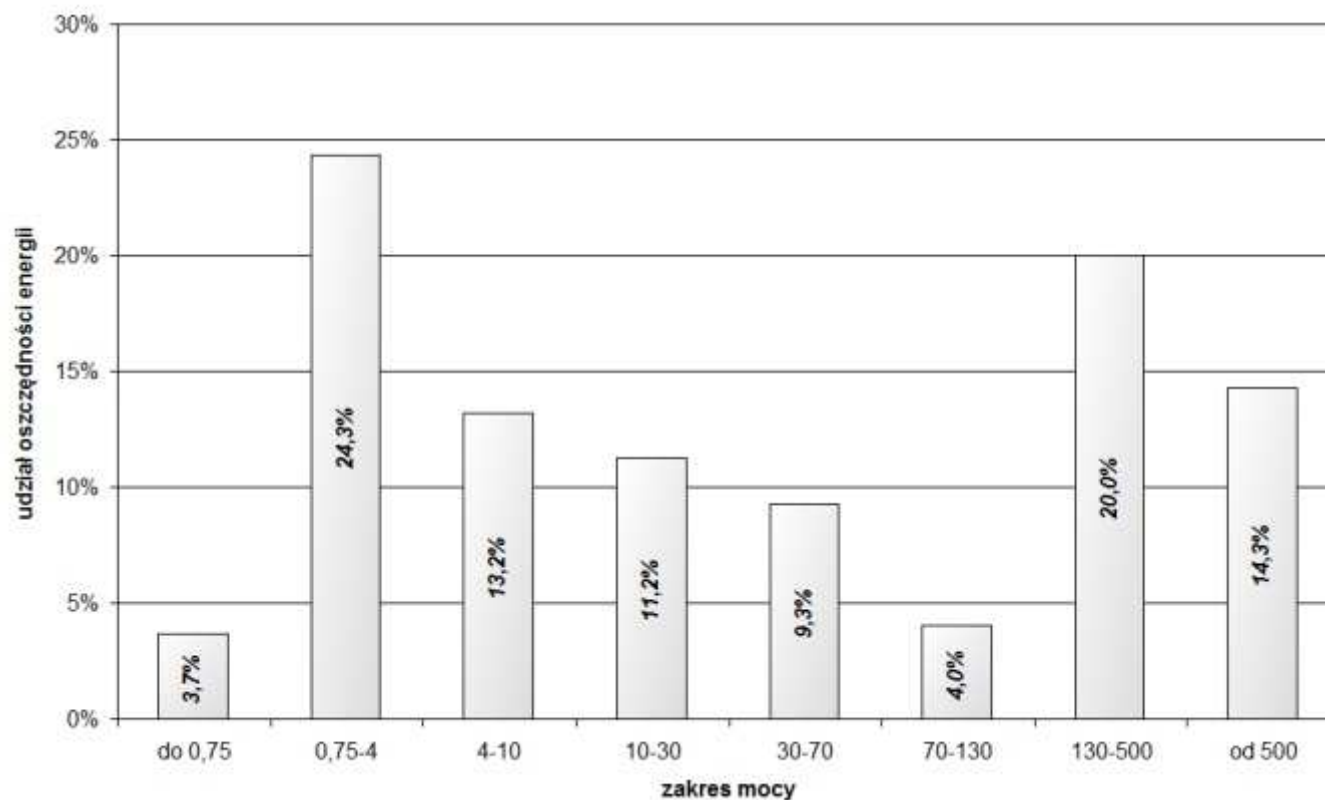
Rodzaj napędu	Procentowe zużycie energii elektrycznej [%]
Napędy pomp	30
Napędy wentylatorów i dmuchaw	18
Napędy kompresorów	14
Napędy obrabiarek	10
Napędy środków transportu	8
Pozostałe napędy	20

Wniosek:

Okolo 50% energii zuzywaja napędy pomp, wentylatorów i dmuchaw.

Potencjał oszczędności energetycznych w napędach

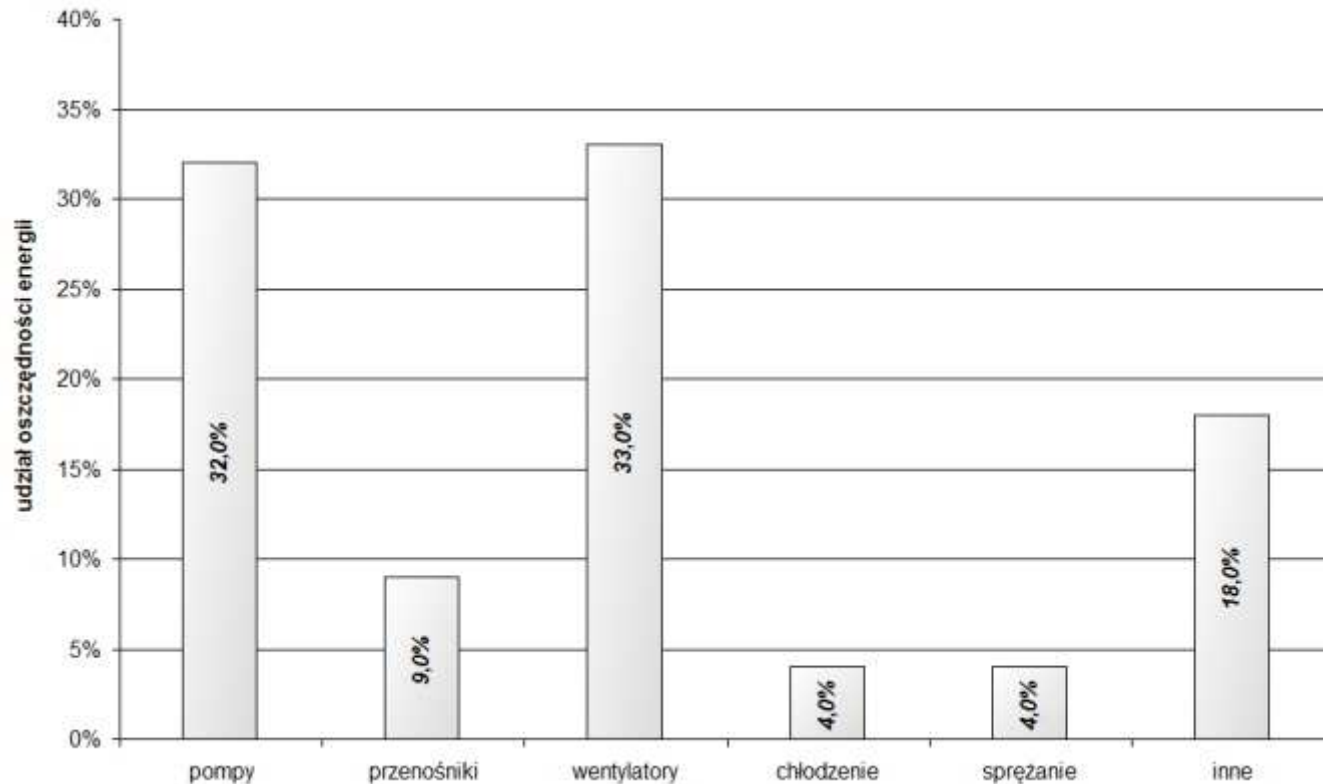
Udział poszczególnych grup silników w całkowitych oszacowanych oszczędnościach energii (wg. FEWE*)



*) FEWE – Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii)

Potencjał oszczędności energetycznych w napędach

Udział poszczególnych typów urządzeń w całkowitych oszacowanych oszczędnościach energii dla regulacji napędów (wg. FEWE*)

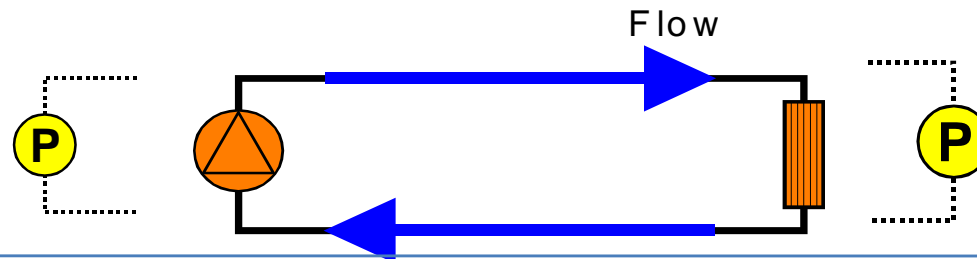
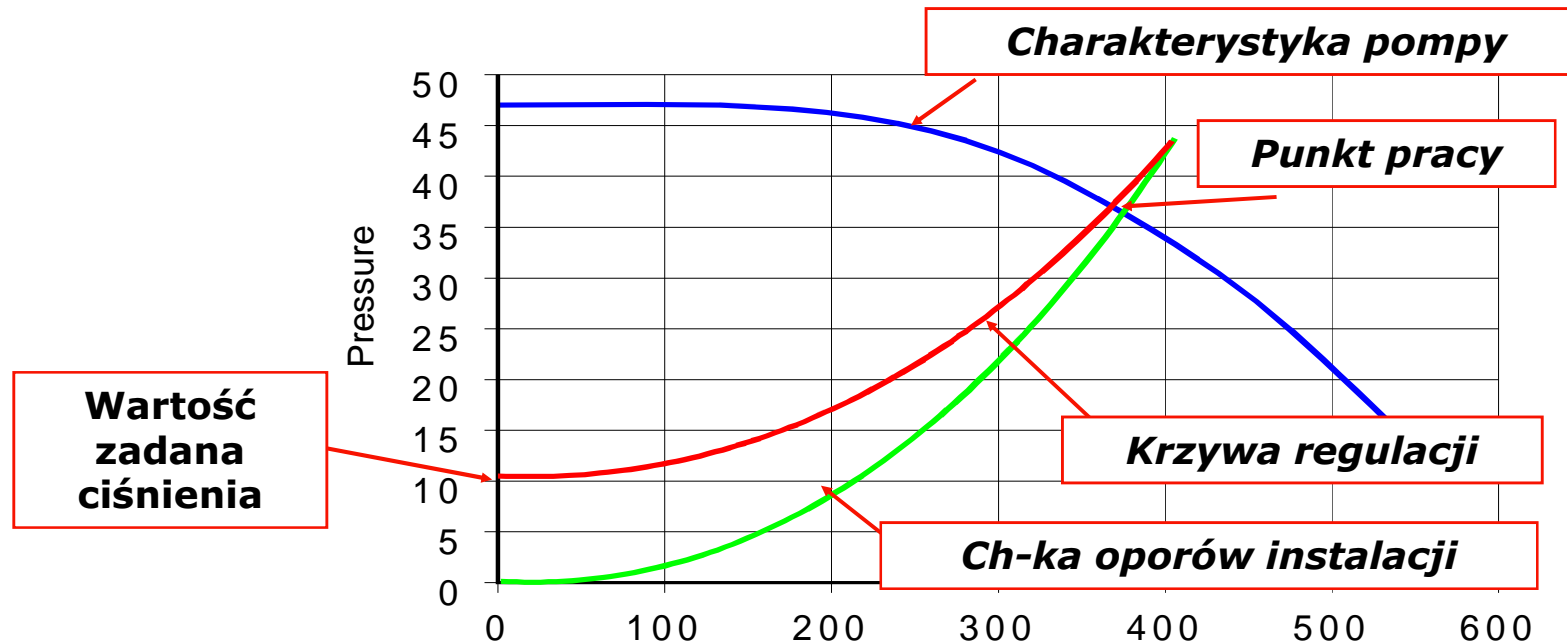


*) FEWE – Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii)

Regulacja prędkości obrotowej – pompy wirowe

Dlaczego opłaca się stosować przetwornice częstotliwości dla sterowania pracą pomp wirowych ?

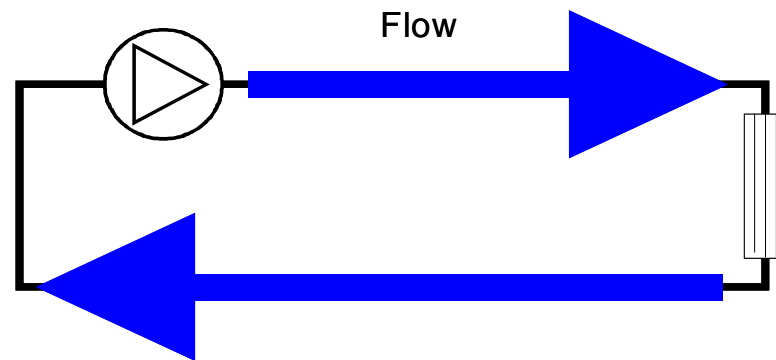
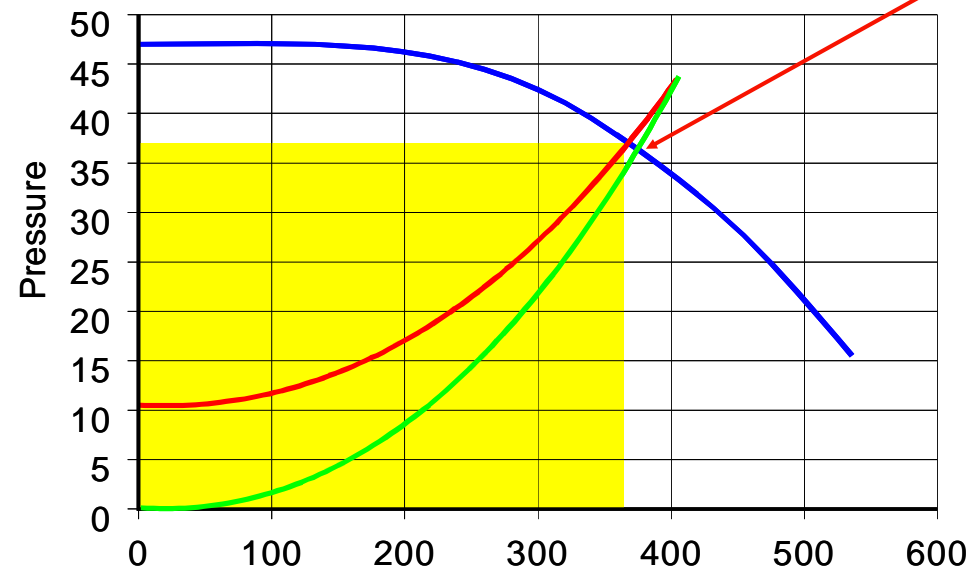
Pompy wirowe - zapotrzebowanie energii - podstawowe wykresy



Zapotrzebowanie energii

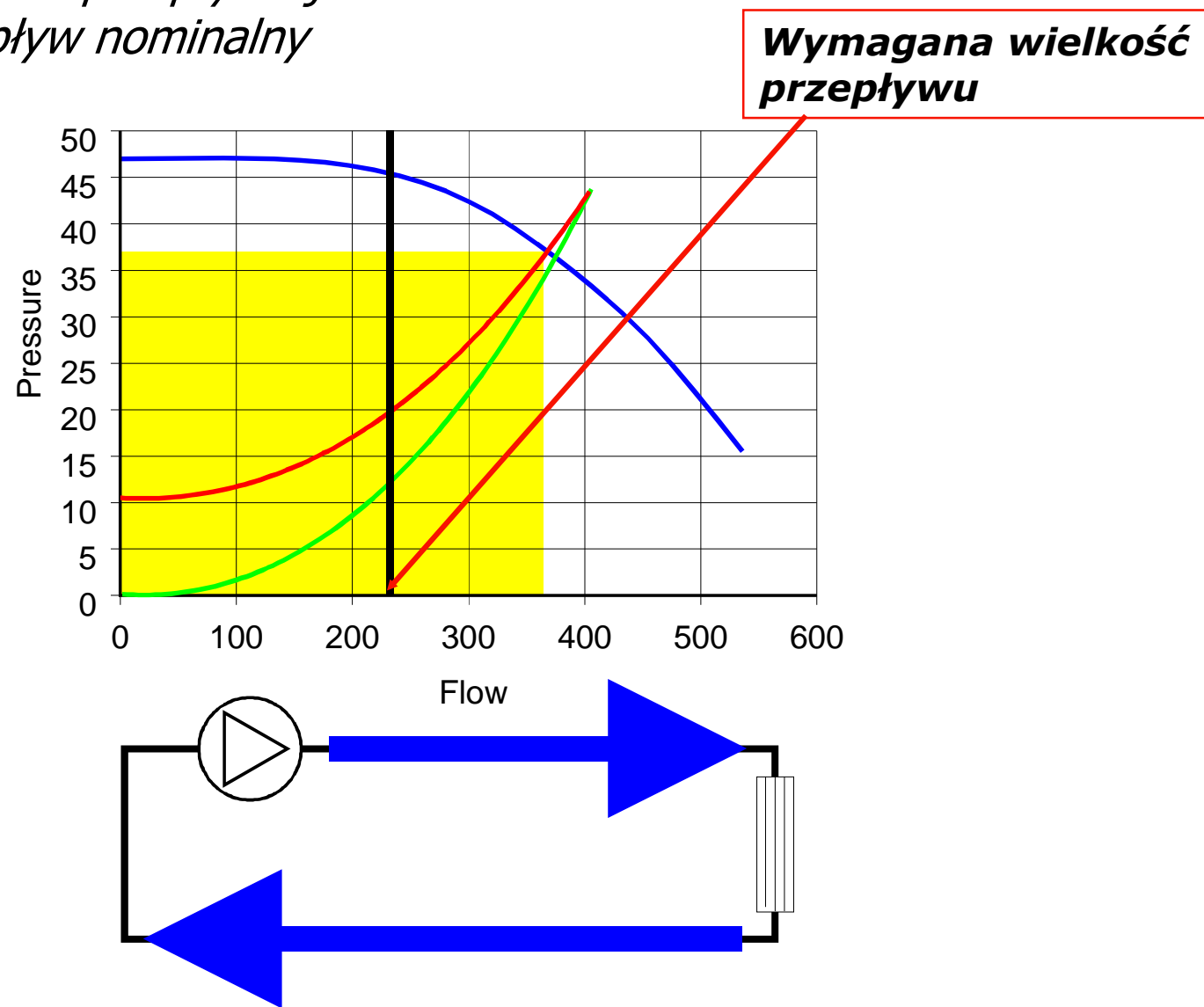
- układ bez regulacji
- znamionowe warunki pracy

$$\text{Energia} = k \times \text{Przepływ} \times \text{Ciśnienie}$$

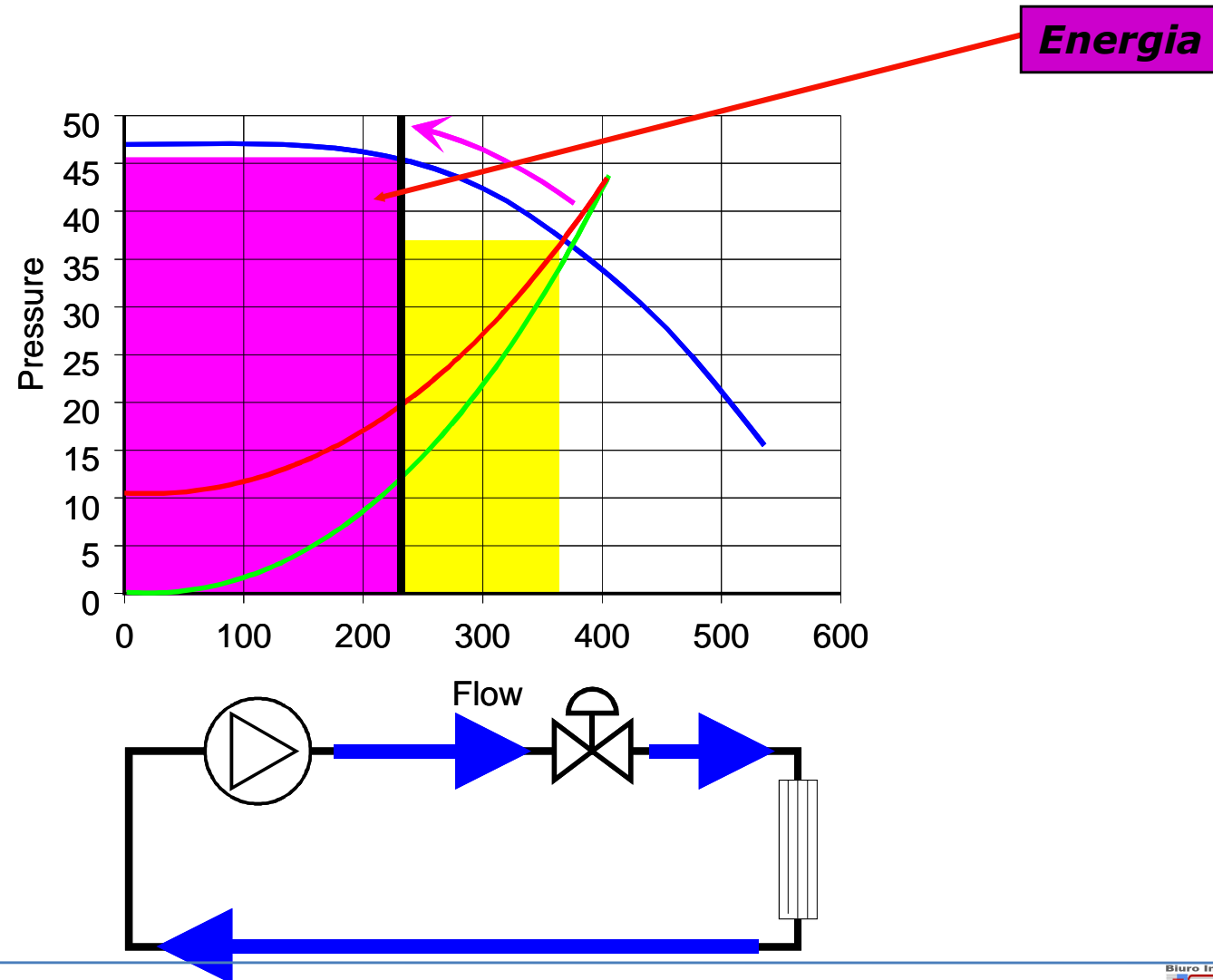


Analiza przypadku

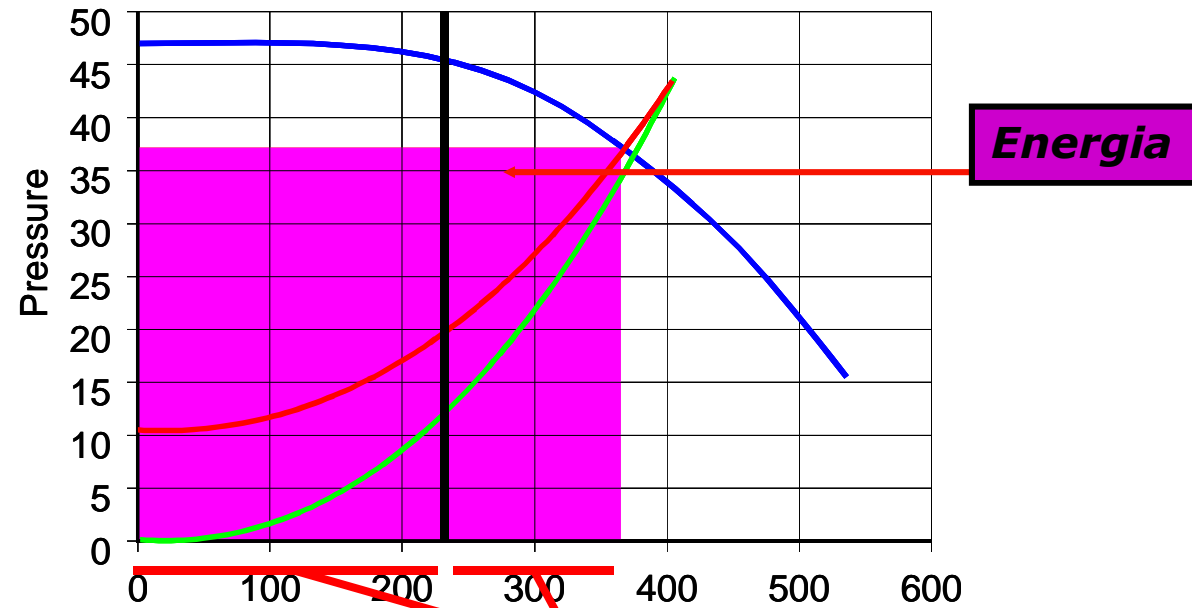
- wymagana wielkość przepływu jest mniejsza niż przepływ nominalny



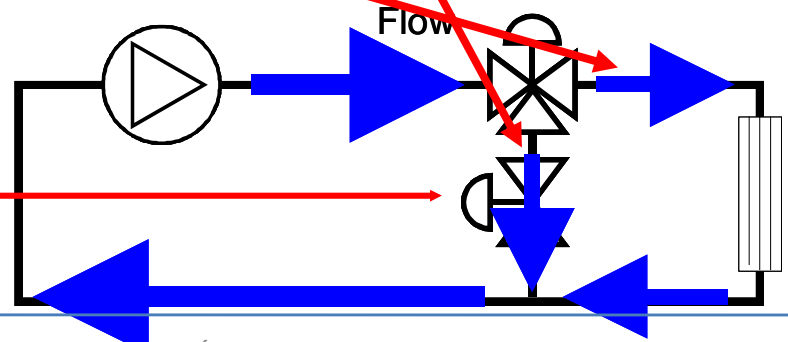
Regulacja przepływu z zastosowaniem zaworu dwudrogowego (dławienie)



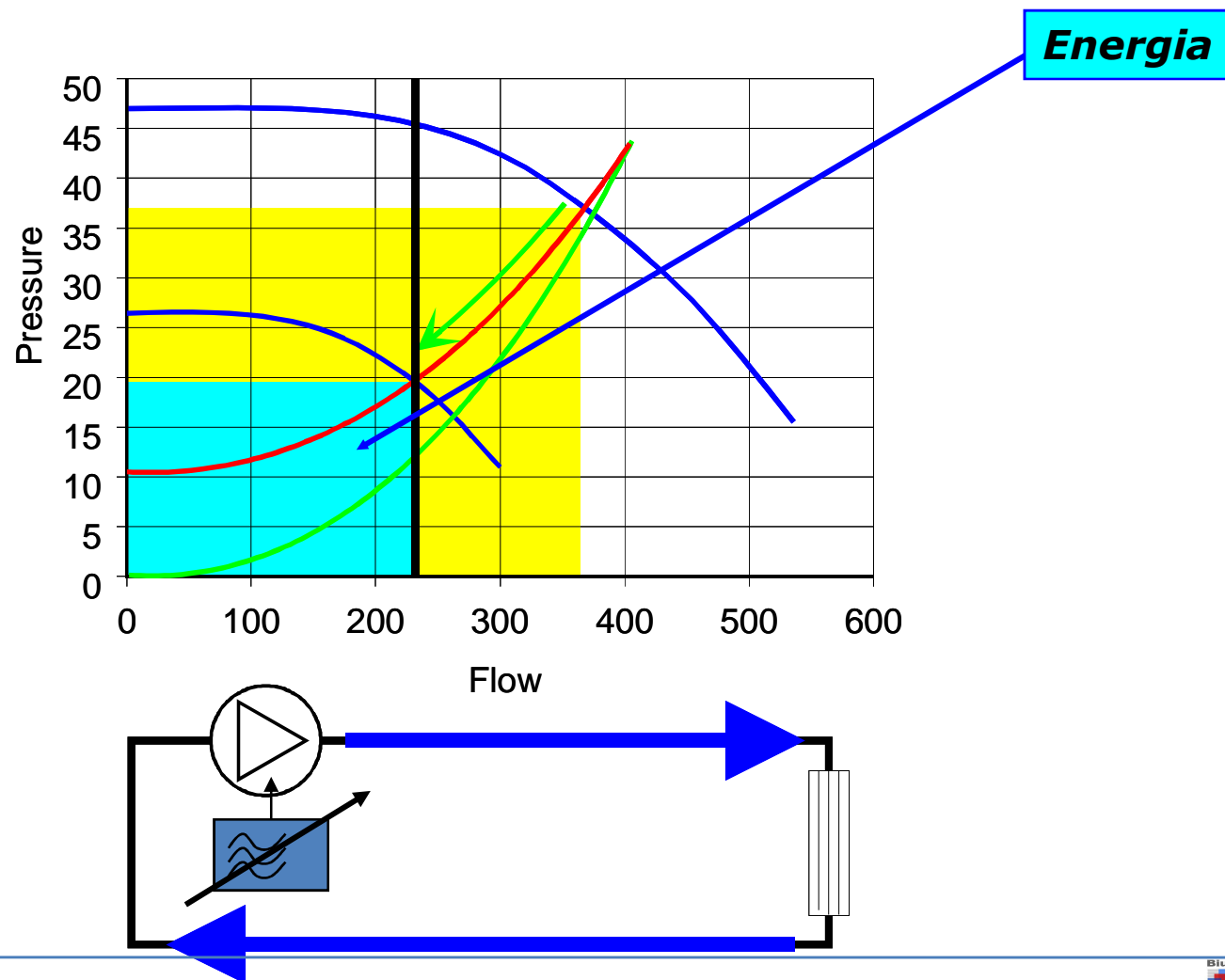
Regulacja przepływu z zastosowaniem zaworu trójdrogowego (Bypass)



Zawór upustowy



Regulacja przepływu z zastosowaniem regulacji prędkości obrotowej pompy (regulacja wydajności)



Czy opłaca się stosować regulację częstotliwościową ?

- Regulacja wydajności sterowanych maszyn roboczych - optymalizacja technologii
- Dopasowanie charakterystyk poboru mocy do rzeczywistego zapotrzebowania
- Oszczędności zużycia energii elektrycznej
 - niższe koszty wytworzenia finalnego produktu
 - obniżenie mocy zamawianej u dostawcy energii elektrycznej
- Poprawa współczynnika mocy (współczynnik mocy ~ 1)
 - ograniczenie lub całkowite wyeliminowanie potrzeby stosowania zespołów kondensatorów kompensacyjnych
- Poprawa sprawności zasilanych silników elektrycznych maszyn roboczych
- obniżenie kosztów inwestycyjnych w nowych instalacjach
 - obniżenie obciążenia transformatorów nn
 - redukcja stosowanych aparatów elektrycznych
 - obniżenie maksymalnych prądów występujących w układach zasilania

Od czego zacząć optymalizację zużycia energii przez zastosowanie regulacji częstotliwościowej ?

Zbieraj owoce z najniższej gałęzi

Nie ma sensu wspinać 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, oznacza to, że rozpocząć trzeba od zastosowania wskazówek pomagających w oszczędnościach, nie wymagających inwestycji, a które mogą zostać wdrożone beznakładowo lub przy proporcjonalnie małym nakładzie.

Po wdrożeniu podstawowych działań, można rozpocząć kolejną serię działań.

Zanim rozpoczniemy analizę układu napędowego pod kątem zastosowania regulacji wydajności jako czynnika optymalizującego koszty eksploatacji musimy mieć przekonanie, że inne sposoby zostały wyczerpane (!!!!)

Na początek konieczne jest przeprowadzenie analizy opłacalności inwestycji

- Trzeba znać stan obecny – konieczne monitorowanie
 - zapotrzebowania na czynnik technologiczny (woda, ciepło, para, powietrze, itp.) lub wymagania wydajności maszyny roboczej – konieczne monitorowanie przez okres pozwalający na określenie profilu zapotrzebowania na czynnik technologiczny w dłuższym okresie czasu
 - zużycia energii elektrycznej w odniesieniu do profilu zapotrzebowania technologicznego
 - liczby uruchomień i zatrzymań układu
 - bieżących kosztów materiałowych i osobowych utrzymania w ciągłości pracy monitorowanej instalacji
- Należy określić - czego oczekujemy od modernizowanej instalacji ?
 - jakie mamy rzeczywiste potrzeby technologiczne ?
 - jaka jest potrzebna maksymalna wydajność instalacji dla realizacji zadania technologicznego ?
- Ponadto powinniśmy się zastanowić i odpowiedzieć sobie na pytania
 - czy obecna instalacja jest właściwa do realizacji naszych celów ?
 - Jeśli nie , to co należy zrobić -> zmienić urządzenia wykonawcze, np. dobrać urządzenia o mniejszych wydajnościach ?!!!
- **Musimy mieć narzędzie, które pozwoli nam to wszystko skonsolidować i odpowiedzieć na pytanie – jak długo będę czekać na zwrot poniesionych nakładów ??**

Nie ma narzędzi uniwersalnych !!!!

Na część pytań pozwalają odpowiedzieć programy narzędziowe proponowane przez firmy produkujące przetwornice częstotliwości, ale ograniczają się one w większości przypadków do napędów o charakterystyce wentylatorowo-pompowej.

W zdecydowanej większości przypadków są to programy dostępne jako freeware

Programy analizujące zużycie energii

- Co możemy uzyskać ?
 - Analizę zużycia energii w układach pomp wirowych i wentylatorów
 - Analizę porównawczą układów z przetwornicami częstotliwości z tradycyjnymi metodami regulacji przepływu (np. dławienie zaworem, żaluzja na wlocie wentylatora, dławienie na wylocie wentylatora)
 - Określenie czasu zwrotu nakładów z tytułu oszczędności w zużyciu energii elektrycznej
- Jakimi danymi musimy dysponować?
 - wymagania technologiczne (wydajność, wymagane ciśnienie robocze)
 - profil rozkładu wydajności np.. w ciągu roku
 - czas pracy analizowanego układu w ciągu roku (np.. ilość godzin)
 - podstawowe dane techniczne analizowanego układu (moc silnika)
 - wartość przewidywanych nakładów
 - rodzaj (typ) realizowanej dotychczas tradycyjnej metody regulacji

Przykład obliczeniowy z wykorzystaniem VLT Energy Box (Danfoss):

- **układ pompowy** – 2 pompy z silnikami 132 kW w miejskiej instalacji ciepłowniczej - porównanie z regulacją realizowaną przez dławienie przepływu zaworem

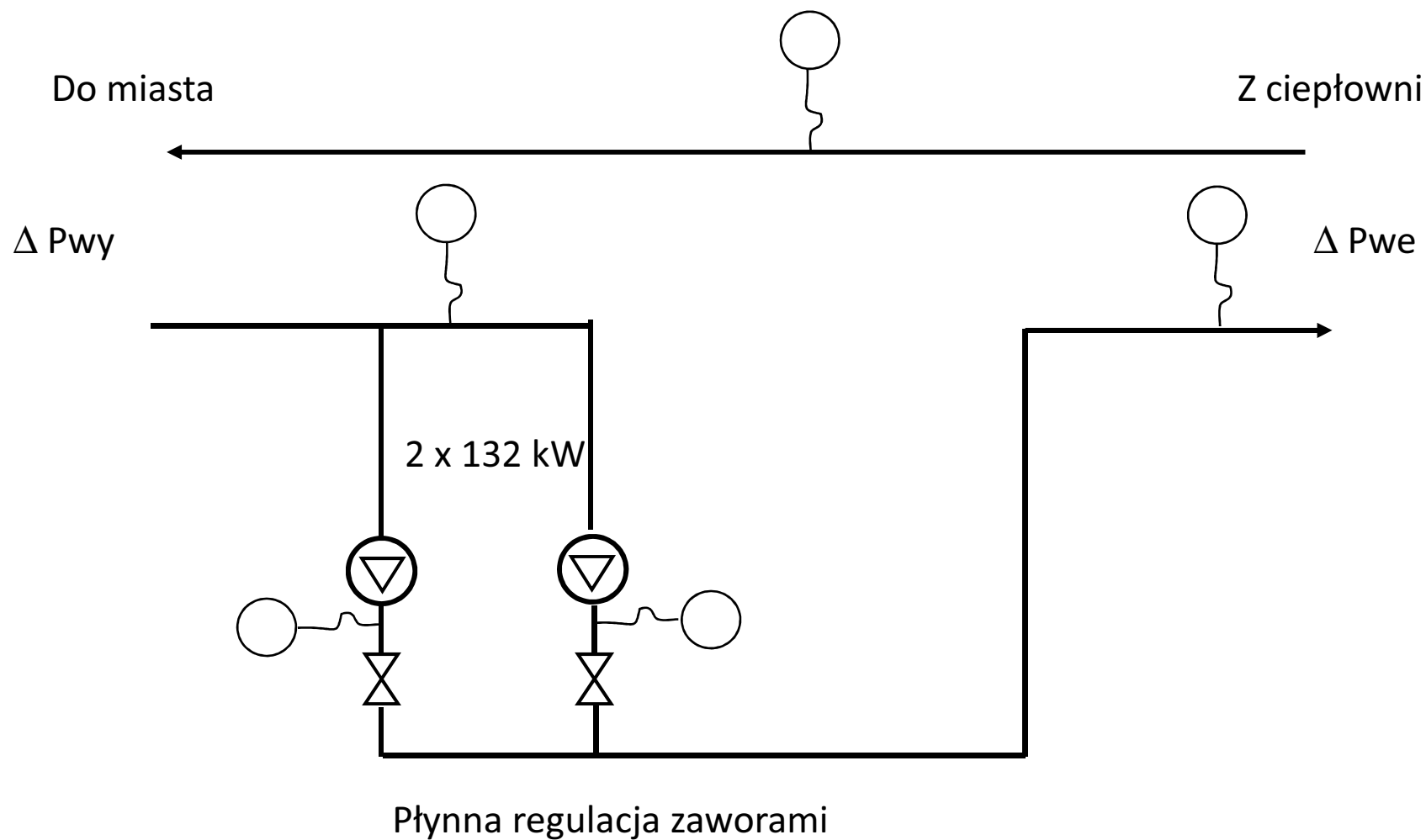
Dane wejściowe:

-Schemat instalacji

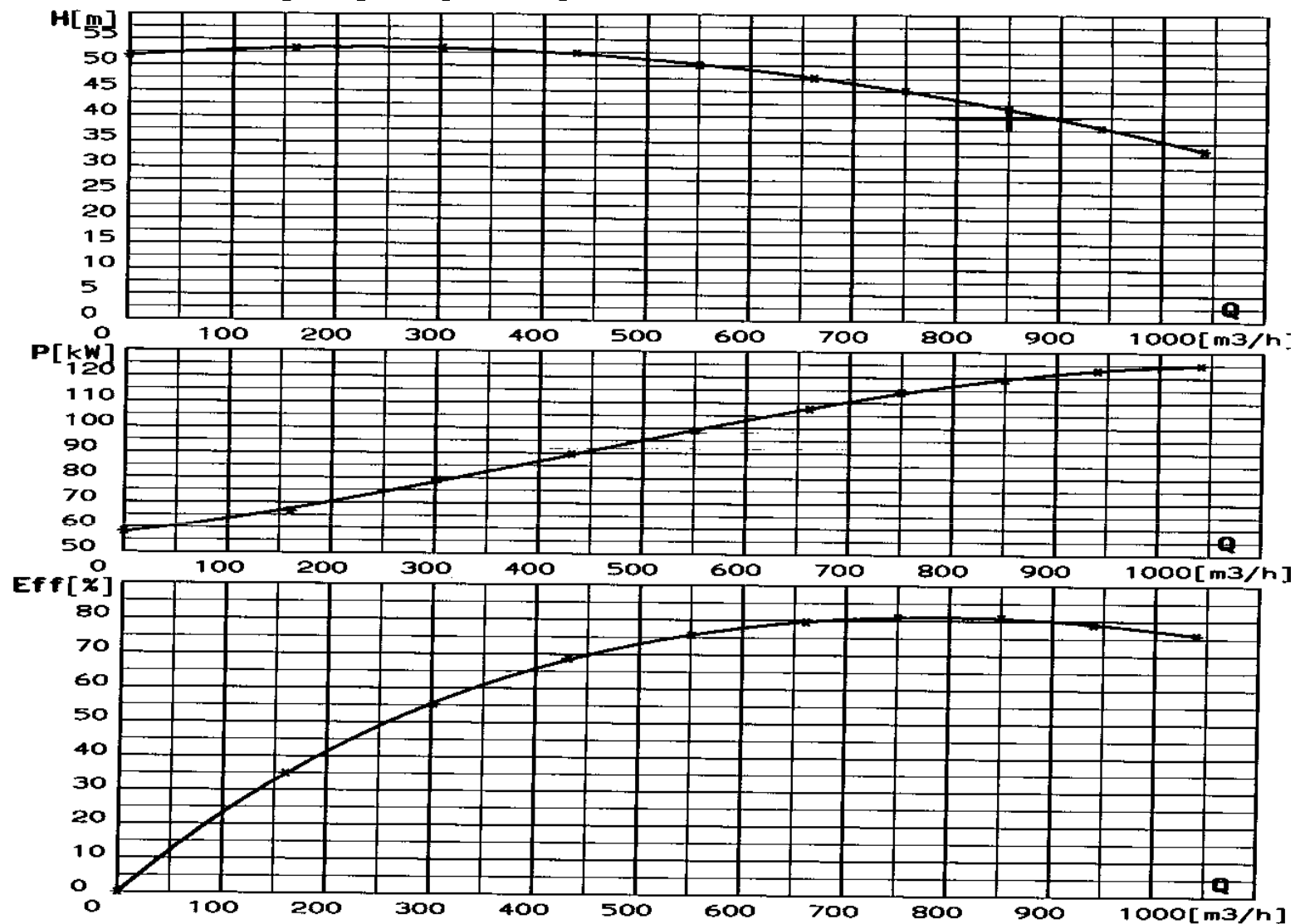
-Charakterystyki pomp

-Dane z monitoringu instalacji w referencyjnym okresie eksploatacji

Schemat instalacji



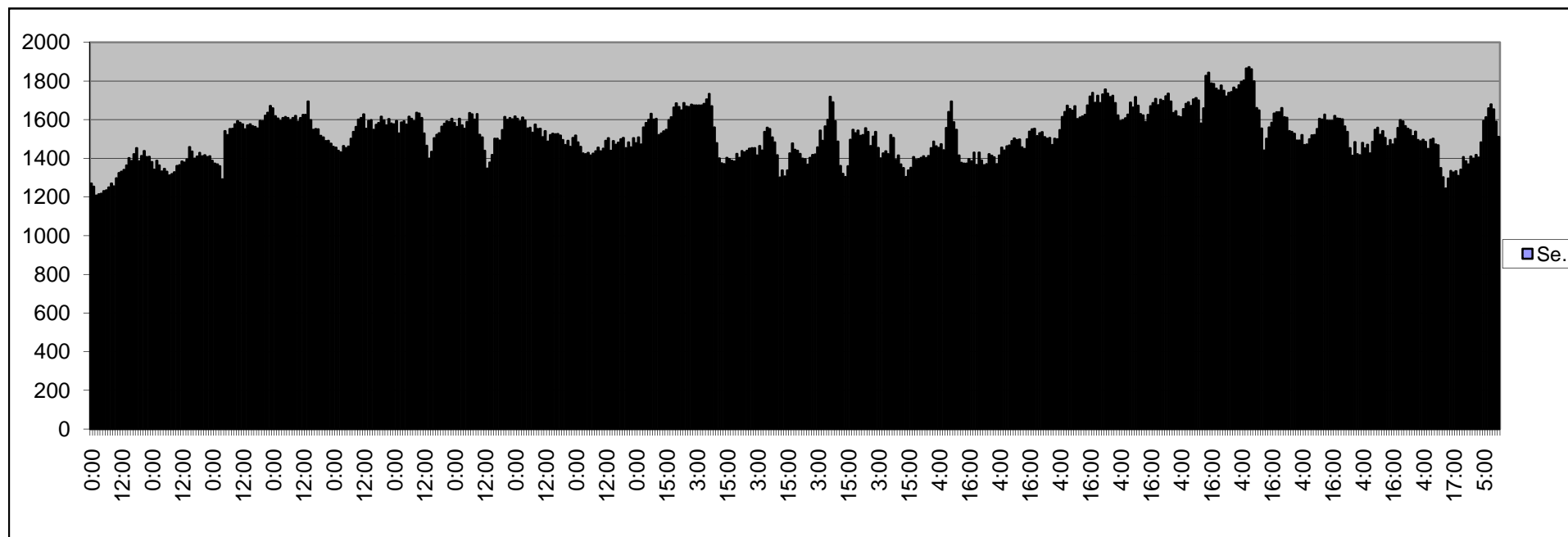
Charakterystyki pomp



25A40

Nr fabryczny.....85078	Sredn. zewn. wirnika (mm) 390.0
Obroty (obr/min) 1483.	Sredn. lopatek (mm)..... 390.0
Data pomiaru.....02.11.2006r.	Sredn. lopatek odc.(mm).. 370.0

Dane z monitoringu instalacji



rate (% of total time)	2,50%	13,06%	27,55%	29,52%	20,57%	5,72%	1,07%	0,00%	0,00%
capacity (% of total capacity)	60	65	70	75	80	85	90	95	100

Obliczeniowy czas zwrotu - poniżej 1 roku

-Oszczędności energii

przykłady aplikacyjne

Wodociągi – modernizacja pompowni

- **Dotychczasowe rozwiązanie – 4 pompy 315 kW/6kV**
- **Zakres modernizacji:**
 - wymiana pomp (dobór pomp do wymagań hydraulicznych sieci)
 - wymiana silników na silniki nn – dobrano silniki 132 kW /0,4 kV
 - zastosowanie przetwornic częstotliwości do sterowania wydajnością zespołu pomp
 - wymiana wyposażenia elektrycznego rozdzielni
- **Modernizację wykonano w II kwartale 2005**
- **Efekty modernizacji**
 - znacząca redukcja poboru energii elektrycznej
 - obniżenie mocy zamawianej
 - większa elastyczność systemu pompowego przy zmiennym zapotrzebowaniu na wodę
- **Skumulowane oszczędności – 20-30 kPLN miesięcznie w stosunku do „starego” rozwiązania**
- **Czas zwrotu inwestycji – ok. 2 lata**

Ciepłownia – modernizacja pomp sieciowych

- **Zakres modernizacji**
 - analiza hydrauliczna pomp sieciowych - wykonawca Energom (Świdnica)
 - modernizacja pomp (zmiana charakterystyk pomp) – ŚFP
 - wymiana silników 315 kW/6kV na silniki 200 kW/0,4 kV
 - zastosowanie przetwornic częstotliwości do sterowania pracą pomp
 - rozbudowa DCS o moduły sterowania i monitoringu pomp sieciowych
- **Modernizacja wykonana w 2001**
- **Efekty modernizacji**
 - znacząca redukcja zużycia energii elektrycznej
 - poprawa elastyczności systemu zasilania miasta w ciepło
 - znaczące obniżenie zużycia paliwa (węgla) i poprawa sprawności kotłów energetycznych
- **Czas zwrotu inwestycji z uwzględnieniem oszczędności paliwa i poprawy sprawności kotłów – 2 sezony grzewcze**

Zakład przemysłowy – przemysł chemiczny – instalacja chłodzenia wody przemysłowej

- **Zakres modernizacji**

Zastosowanie regulacji wydajnościowej w instalacji tłoczenia wody z instalacji przemysłowych do chłodni wentylatorowych w celu jej schłodzenia. Do tej pory zmiana wydajności pompy, w celu dostosowania do bieżącego zapotrzebowania systemu odbywała się w sposób mechaniczny, tj. poprzez dławienie zaworem.

- wymiana silników 800 kW/6kV na silniki 710 kW/0,69 kV
- zastosowanie przetwornic częstotliwości do sterowania pracą pomp
- rozbudowa DCS o moduły sterowania i monitoringu pomp

- **Modernizacja wykonana w 2009**

- **Efekty modernizacji**

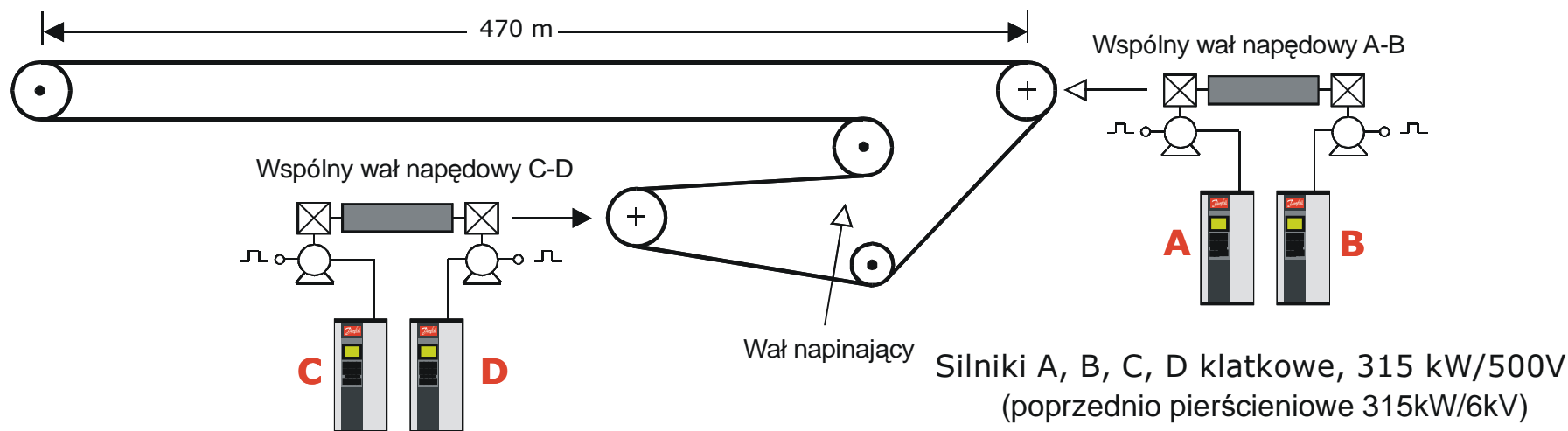
- Poprawa sprawności energetycznej układu (+10%) – nowe silniki nn z wysoką sprawnością
- znacząca redukcja zużycia energii elektrycznej (ok. 22 000 zł /miesiąc)
- poprawa elastyczności systemu

- **Szacowany czas zwrotu inwestycji z uwzględnieniem poniesionych kosztów towarzyszących – ok. 2 lata**

Napędy przenośników taśmowych na ciąg transportu węgla – kopalnia węgla brunatnego (2004-2006)

- Modernizacja napędów przenośników taśmowych na ciąg transportu węgla – zastąpienie silników pierścieniowych SN silnikami asynchronicznymi nn z regulacją prędkości obrotowej
- Główne problemy dotychczasowego rozwiązania
 - niska efektywność energetyczna (niska sprawność silników, duże straty energii w fazie rozruchu)
 - stosunkowo wysokie koszty konserwacji
 - brak możliwości sterowania prędkości taśmociągów w zależności od wielkości transportowanego urobku
- Zastosowane rozwiązanie
 - zastąpienie silników pierścieniowych silnikami asynchronicznymi (dobranymi ze względu wymaganą dyspozycję momentu na wale)
 - zastosowanie przetwornic częstotliwości indywidualnie na każdy silnik stacji (każda stacja robocza - 4 silniki 315 kW) z regulacją prędkościowo-momentową ze sprzężeniem obwodów pośrednich (układ Loadsharing) i pracą w trybie Master –Slave
 - docelowo zmodernizowano cały jeden ciąg węglowy – 7 stacji roboczych
- Efekt modernizacji
 - poprawa elastyczności sterowania napędami stacji
 - obniżenie kosztów eksploatacji i konserwacji
 - możliwość uzależnienia prędkości taśmociągu od wielkości transportowanego urobku
 - znaczące oszczędności energetyczne (ok. 50% w monitorowanym okresie) w porównaniu z dotychczasowym rozwiązaniem

Napędy przenośników taśmowych na ciągu transportu węgla – kopalnia węgla brunatnego (2004-2006)



Tab1. Energochłonność ciągów węglowych KWB Konin za 11 m-cy (V-2006-III.2007)

Odkrywka	Prędkość ciągu	Długość ciągu	Zużycie energii	Wydobycie węgla	Wskaźnik energochłonności
	m/s				km
Kazimierz	5,24	3,897	5902431	3486294	0,434
Józwin	5,24	9,326	9352128	1612415	0,622
Drzewce	3,0 przez 8 m-cy v.06-XII-06 2,5 przez 3 m-ce I.07-III.07	5,867	3328782	2323101	0,244

**Dziękuję za uwagę
i zapraszam do kontaktów**