

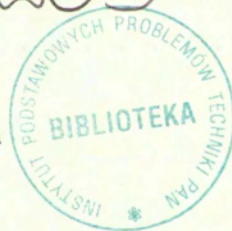
**Stanisław Chyrczakowski**

**BADANIE MOŻLIWOŚCI ZMNIEJSZENIA  
ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ  
NA POMPOWANIE SIECIOWEJ WODY PITNEJ  
W GOSPODARCE KOMUNALNEJ**

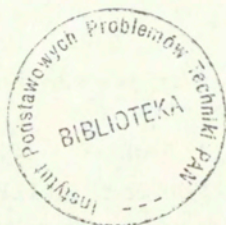
3/1996

P. 269

**Koszty wydania pracy pokryła Fundacja  
„ENERGETYKA POLSKA”**



Praca wpłynęła do Redakcji dnia 29 marca 1996 r.



56569



Na prawach rękopisu

---

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN  
Nakład 100 egz. Ark. wyd. 2,5 Ark. druk. 3,00  
Oddano do drukarni w kwietniu 1996 r.

---

Wydawnictwo Spółdzielcze sp. z o.o.  
Warszawa, ul. Jasna 1

<http://rcin.org.pl>

Stanisław Chyrczakowski  
Zakład Problemów Energetyki

## **BADANIE MOŻLIWOŚCI ZMNIEJSZENIA ŻUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ NA POMPOWANIE SIECIOWEJ WODY PITNEJ W GOSPODARCE KOMUNALNEJ**

### Streszczenie

Przedstawiono problematykę użytkowania energii elektrycznej w kraju w zakresie pompowania sieciowej wody pitnej w gospodarce komunalnej. Określono ilości zużywanej rocznie energii elektrycznej na ten cel i wielkość możliwych oszczędności energetycznych. Przedstawiono metody racjonalizacji użytkowania energii, z określeniem ich potencjałów energetycznych i kosztów.

Wiarygodność obliczeń w skali kraju sprawdzono poprzez przeanalizowanie możliwości uzyskania oszczędności energii w konkretnym obiekcie gospodarki wodno-kanalizacyjnej. Osiągnięto dobrą zgodność wyników, jeśli chodzi o koszty racjonalizacji. Natomiast skala możliwych oszczędności energetycznych okazała się znacznie mniejsza, niż sądzono wcześniej.

## Spis treści

1. Wstęp.....	5
2. Określenie zużycia energii elektrycznej w kraju na pompowanie sieciowej wody pitnej w gospodarce komunalnej.....	11
3. Omówienie metod racjonalizacji zużycia energii elektrycznej w zakresie pompowania sieciowej wody pitnej.....	17
4. Oszacowanie krajowego potencjału racjonalizacji zużycia energii elektrycznej na pompowanie wody pitnej w gospodarce komunalnej.....	18
5. Określenie charakterystyk techniczno-ekonomicznych wybranych metod racjonalizacji zużycia energii elektrycznej na pompowanie sieciowej wody pitnej.....	19
6. Możliwe techniczne realizacje racjonalizacji zużycia energii elektrycznej w przykładowym obiekcie gospodarki wodno-kanalizacyjnej.....	26
7. Podsumowanie.....	33
Bibliografia.....	34-38
Rysunki 1-12.	

## 1. Wstęp

Pompowanie sieciowej wody pitnej jest jednym z głównych celów użytkowania energii elektrycznej w gospodarce komunalnej, toteż badanie możliwości ograniczenia zużycia energii na ten cel jest istotne dla całości badań nad wykorzystaniem energii w sektorze komunalno-bytowym. Wg danych statystycznych za 1992 rok [1] - przedstawionych w układzie działów gospodarki wg Klasyfikacji Gospodarki Narodowej GUS - z sumarycznego bezpośredniego zużycia energii elektrycznej w gospodarce komunalnej, które wyniosło 3320 GWh, najwięcej energii - 1672 GWh - zużyto w gospodarce wodno-kanalizacyjnej, następnie 667 GWh w komunikacji miejskiej (w tym 633 GWh na cele trakcyjne [2]) oraz 982 GWh w pozostałych gałęziach gospodarki komunalnej (jest to głównie zużycie energii na pompowanie wody w sieciach ciepłowniczych).

Dane za 1994 r. [3] - przedstawione w układzie działów gospodarki wg Europejskiej Klasyfikacji Działalności - potwierdzają istotny udział zużycia energii na pompowanie wody (zimnej i gorącej) w całkowitym bezpośrednim zużyciu energii elektrycznej w sektorze, który moglibyśmy nazwać "gospodarką komunalną". Zużycie energii elektrycznej w 1994 r. wyniosło:

- w grupie "Pobór, oczyszczanie i rozprowadzanie wody" - 1688 GWh,
- w trakcji miejskiej - 630 GWh [4],
- w grupie "Wytwarzanie i dystrybucja pary wodnej i gorącej wody" - 1232 GWh.

Celowo nie przytoczono tutaj danych za 1993 r. (dla których GUS opracował dane w obu układach klasyfikacyjnych), ze względu na występujące w nich błędy (por. str. 12).

Niniejsza praca wykorzystuje częściowo opracowanie [5] wykonane przez autora w ramach Studium Podyplomowego "Automatyka Napędu Elektrycznego w Energetyce", prowadzonego przez prof. W. Koczarek na Politechnice Warszawskiej. Niektóre wyniki tego opracowania zostały przedstawione na Trzeciej Konferencji Naukowo-Technicznej "Racjonalizacja Użytkowania Energii i Środowiska" [6].

W ramach obecnej pracy:

- 1) wykorzystano najnowsze dane statystyczne [7,8] o zużyciu wody i energii elektrycznej [3,4] w skali kraju, a także sięgnięto do danych sprzed roku 1990,
- 2) zweryfikowano oszacowania eksperckie [9-12] dotyczące zużycia energii elektrycznej na cele napędowe,
- 3) opracowano prognozę zużycia energii elektrycznej na pompowanie sieciowej wody pitnej w gospodarce komunalnej oraz prognozę zużycia energii elektrycznej w gospodarce wodno-kanalizacyjnej,

- 4) uszczegółowiono analizę techniczno-ekonomiczną proponowanych rozwiązań racjonalizacyjnych w przykładowym obiekcie gospodarki wodno-kanalizacyjnej w oparciu o szczegółowe dane zebrane przez dr inż. I. Mróz-Radłowską [13],
- 5) uzupełniono bibliografię o najnowsze pozycje literaturowe.

Wymogi pracy przeznaczonej do publikacji spowodowały konieczność ograniczenia zakresu przekazywanych informacji. W związku z powyższym:

- 1) nie podano nazwy przykładowego obiektu gospodarki wodno-kanalizacyjnej, którego dotyczyła analiza,
- 2) usunięto rysunek przedstawiający schemat hydrauliczny obiektu, o którym mowa.

Jak podają W.Koczara i Z.Szulc [14], w krajach rozwiniętych ponad połowę wyprodukowanej energii elektrycznej zużywają układy napędowe. Już na przełomie lat 70. i 80. udział napędów w całkowitym zużyciu energii elektrycznej wynosił: w Anglii - 50%, w USA - 58%, we Francji - ponad 60% [15-17]. Udział ten ciągle wzrasta. W ostatnich latach opracowano wiele technologii zmniejszenia zużycia energii elektrycznej na cele napędowe. Są to zarówno opracowania wysokosprawnych silników elektrycznych, jak i układów energoelektronicznych do sterowania nimi. Bardzo dobry, zwięzły opis zagadnień efektywnych energetycznie napędów elektrycznych można znaleźć w pracy [18]. Podano tam także bardzo obszerny (146 pozycji) spis literatury przedmiotu.

W Polsce w latach 80. zużycie energii elektrycznej na cele napędowe wynosiło ok. 50% całej wyprodukowanej energii elektrycznej [14]. W roku 1993 udział ten szacowano w granicach 50-60% [19]. W.Koczara i Z.Szulc [11] oraz J.Przybylski [20] podają, że w 1993 r. na cele napędowe zużyto w kraju 62500 GWh energii elektrycznej, co odpowiadało 56% wyprodukowanej w kraju energii elektrycznej.

Spośród energii elektrycznej poświęcanej na cele napędowe największej energii używane jest przez napędy różnego rodzaju pomp. Eksperti szacują udział pomp w granicach od 15-25% [27] do 30% [20] krajowego zużycia energii elektrycznej na cele napędowe.

W Tabl. 1 przedstawiono (za W.Koczara i Z.Szulcem [11] oraz za J.Przybylskim [20]) strukturę zużycia energii elektrycznej na cele napędowe w Polsce.

Tablica 1.  
Struktura procentowa zużycia energii elektrycznej na cele napędowe [11]

Lp.	Rodzaj napędu	Udział [%]
1.	Napędy pomp	30
2.	Napędy wentylatorów i dmuchaw	18
3.	Napędy kompresorów	14
4.	Napędy obrabiarek	10
5.	Napędy środków transportu	8
6.	Napędy pozostałe	20

Wymienione w Tabl. 1 napędy realizowane są z użyciem silników o różnych mocach. W.Koczara i Z.Szulc w opracowaniu [11] określili przybliżoną strukturę mocy zainstalowanych w kraju silników.

Tablica 2.  
Struktura procentowa mocy zainstalowanych w kraju silników elektrycznych [11]

Lp.	Rodzaj napędu	Udział [%]
1.	Silniki wielkie, $P_s > 1\text{MW}$	10
2.	Silniki duże, $0,25\text{MW} < P_s < 1\text{MW}$	15
3.	Silniki średnie, $10\text{kW} < P_s < 250\text{kW}$	25
4.	Silniki małe, $1\text{kW} < P_s < 10\text{kW}$	40
5.	Silniki używane w gospodarstwach domowych, $P_s < 1\text{kW}$	10

Przy badaniu możliwości racjonalizacji zużycia energii na cele napędowe w skali kraju istotna jest znajomość struktury zużycia energii elektrycznej w odniesieniu do mocy silników elektrycznych zainstalowanych w różnych działach gospodarki. Strukturę tą określili W.Koczara i Z.Szulc w opracowaniu [11]. W ramach niniejszej pracy została ona zweryfikowana, m.in. w oparciu o dane zawarte w [21]. Ostatecznie ustalono jej postać jak w Tabl. 3.

Tablica 3.  
Zużycie energii elektrycznej w kraju przez silniki o różnych mocach

	Miejsce stosowania napędu	Zużycie energii [GWh] przez napęd z silnikami o mocach:				
		>1000kW	250-1000	10-250	1-10 kW	<1kW
1.	Górnictwo	1600	800	4000	1600	0
2.	Przemysł paliw i energetyczny	7500	2000	500	1600	0
3.	Przemysł metalurgiczny i el.-masz.	2000	5500	4500	1300	0
4.	Przemysł chemiczny	2600	1500	2500	1000	0
5.	Przem. mineralny i drzewno-pap.	500	1000	2300	500	0
6.	Przemysł lekki i spożywczy	0	50	2850	200	0
7.	Trakcja elektryczna	500	3000	880	200	0
8.	Gospodarstwa domowe	0	0	0	100	5000
9.	Pozostałe napędy	400	700	3000	320	500
	<b>OGÓŁEM</b>	<b>15100</b>	<b>14550</b>	<b>20530</b>	<b>6820</b>	<b>5500</b>

Jak można się zorientować z Tabl. 3, struktura zużycia energii przez silniki o różnych mocach różni się istotnie od struktury mocy zainstalowanej (Tabl. 2). Wynika to z różnych czasów pracy silników. Silniki o mocy powyżej 1 MW pracują ok. 8000 h w roku, silniki o mocy rzędu 10kW - ok. 4000 h/a [11].

Autorzy pracy [11] określili również ilości zużytej energii elektrycznej przez napędy zainstalowane w poszczególnych działach gospodarki narodowej w roku 1993 oraz wielkości możliwych oszczędności energetycznych. Przytoczono je w Tabl. 4.



Tablica 4.

Zużycie energii elektrycznej na cele napędowe oraz możliwości jego ograniczenia, wg opracowania [11]

L.p.	Miejsce stosowania napędów	Zużycie energii elektrycznej [GWh/a]	Możliwe oszczędności energetyczne [GWh/a]
1.	Górnictwo węgla kamiennego	6500	2000
2.	Górnictwo węgla brunatnego	1500	500
3.	Elektrownie i elektrociepłownie	10500	2000
4.	Pozostałe gałęzie przem. pal.-en.	1100	400
5.	Przemysł metalurgiczny	9100	2000
6.	Przemysł elektromaszynowy	4200	1200
7.	Przemysł chemiczny	7600	1900
8.	Przemysł mineralny	2200	500
9.	Przemysł drzewno-papierniczy	2100	300
10.	Przemysł lekki	1100	200
11.	Przemysł spożywczy	2000	300
12.	Pozostałe gałęzie przemysłu	180	20
13.	Budownictwo	500	100
14.	Transport kolejowy	4000	400
15.	Transport rurociągowy	80	30
16.	Rolnictwo	960*	200
17.	Komunikacja miejska	580	150
18.	Sieci wodociągowe	350	100
19.	Sieci ciepłownicze	250	50
20.	Gospodarstwa domowe	5100	1000
21.	Obiekty niemieszkalne	2600	500
	<b>OGÓŁEM</b>	<b>62500</b>	<b>13850</b>

\* W opracowaniu [11] podano, że napędy w Rolnictwie zużywają 1050 GWh/a. Liczbę tę skorygowano do wartości podanej w tablicy, tak by suma wyniosła 62500 GWh/a.

Na Rys.1 przedstawiono obecne i przewidywane zużycie energii elektrycznej w kraju na pompowanie wody w górnictwie węgla kamiennego, w elektrowniach i elektrociepłowniach, w przemyśle nieenergetycznym oraz w miejskich sieciach wodociągowych, obliczone na podstawie danych z pracy W.Jędrała [9]. W oparciu o

te dane wyliczono, że na pompowanie sieciowej wody pitnej zużyto w gospodarce komunalnej w 1993 roku 1155 GWh.

Porównując ze sobą przedstawione na Rys.1 zużycie energii na pompowanie wody w różnych sektorach gospodarczych należy pamiętać, że zgodnie z [9] obejmuje ono:

- 1) w odniesieniu do pozycji "Kopalnie" - tylko zasilanie pomp głównego odwadniania w kopalniach węgla kamiennego tzn. bez uwzględnienia pomp pracujących w zakładach wzbogacania węgla oraz pomp odwadniających kopalnie węgla brunatnego,
- 2) w odniesieniu do pozycji "Elektrownie" - w zasadzie całość potrzeb energetycznych w tym zakresie (pompy zasilające, pompy wody chłodzącej i pompy kondensatu w elektrowniach oraz dodatkowo pompy sieciowe w elektrociepłowniach),
- 3) w odniesieniu do pozycji "Przemysł" - potrzeby energetyczne pomp tłoczących wodę pobieraną z ujęć przez przemysł nieenergetyczny (bez pompowania wody w obiegach zamkniętych),
- 4) w odniesieniu do pozycji "Woda pitna" - energia używana przez pompy pracujące w gospodarce komunalnej, pompujące wodę zdatną do picia, ale dla wszystkich odbiorców, również przemysłowych. Pewne ilości wody pitnej są ujmowane i tłoczone poza gospodarką komunalną (patrz str. 13).

Na Rys. 2 przedstawiono obecne i przewidywane zużycie energii elektrycznej na pompowanie wody sieciowej: pitnej i ciepłowniczej, obliczone wg danych zaczerpniętych z pracy I.Mróż-Radłowskiej z zespołem [10]. W oparciu o dane z [10] wyliczono, że na pompowanie sieciowej wody pitnej zużyto w gospodarce komunalnej w 1993 r. 1235 GWh.

Znacznie mniejsza wartość - 350 GWh (por. Tabl. 4) - podana przez W.Koczarę i Z.Szulca [11] jest efektem innego zdefiniowania "miejsca stosowania napędów". Większość pomp tłoczących wodę pitną zlokalizowana jest nie w samych sieciach wodociągowych, lecz na ich wejściu (w stacjach uzdatniania, pompowniach). W obrębie rurociągu pracują pompy wspomagające, których zadaniem jest wyrównywanie ciśnienia wody w różnych częściach miasta. Z podobną sytuacją mamy do czynienia w przypadku sieci ciepłowniczych [12]. Pompy główne tłoczące gorącą wodę sieciową umiejscowione są w elektrociepłowni, zaś w obrębie samej sieci znajdują się stosunkowo niewielkie przepompownie.

Na Rys. 3 przedstawiono porównanie obecnego (1993 r.) i prognozowanego zużycia energii na pompowanie wody w wodociągach komunalnych, wyznaczonego w oparciu o dane zawarte w pracach W.Jędrala [9] oraz I.Mróż-Radłowskiej z zespołem [10].

## 2. Określenie zużycia energii elektrycznej w kraju na pompowanie sieciowej wody pitnej w gospodarce komunalnej

W latach ubiegłych w GUS oraz w Centrum Informatyki Energetyki zbierane były dane o zużyciu energii elektrycznej przez wodociągi komunalne [10]. Autorzy opracowań [10] i [22] dokonali zestawienia za okres 1975-1986.

Tablica 5.

Zużycie energii elektrycznej przez wodociągi komunalne (wg [10,22])

Rok	Produkcja wody [hm <sup>3</sup> ]	Zużycie energii elektrycznej [GWh]	Wsp. energetyczny [kWh/m <sup>3</sup> ]
1975	2408,80	970,0	0,403
1976	2479,40	985,0	0,397
1977	2542,60	1007,0	0,396
1978	2599,25	1045,0	0,402
1979	2650,25	1087,0	0,410
1980	2696,59	1100,0	0,408
1981	2739,32	1163,0	0,425
1982	2779,58	1175,0	0,423
1983	2818,00	1198,0	0,425
1984	2857,65	1288,0	0,451
1985	2898,12	1300,0	0,449
1986	2941,49	1373,8	0,467

Uwaga: Przedstawione w Tabl. 5 zużycie energii elektrycznej obejmuje całość potrzeb energetycznych związanych z dostawą sieciowej wody pitnej, tzn. jest to zużycie energii nie tylko na pompowanie wody w rurociągach sieciowych, lecz i na inne cele (np. uzdatnianie wody). Dominuje w nim jednak zdecydowanie zużycie energii przez różnego rodzaju pompy.

Obecnie takie dane nie są niestety zbierane. GUS prowadzi statystykę gospodarowania wodą w wodociągach komunalnych ([7], [8] i wydania wcześniejsze), lecz publikuje jedynie całkowite zużycie energii (w tym energii elektrycznej) w gospodarce wodno-kanalizacyjnej ([3] i wydania wcześniejsze), bez wyodrębnienia energii zużytej na pompowanie wody pitnej.

W Tabl. 6 zamieszczono przegląd danych za lata, dla których opublikowano dane statystyczne poboru i zużycia wody oraz zużycia energii w gospodarce wodno-kanalizacyjnej.

Tablica 6.

Gospodarka wodą w wodociągach komunalnych i zużycie energii w gospodarce wodno-kanalizacyjnej (wg [3] i [7] oraz ich wydań wcześniejszych)

Rok	Woda pobrana z ujęć [hm <sup>3</sup> ]	Woda dostarczona odbiorcom [hm <sup>3</sup> ]	Straty wody w sieci [hm <sup>3</sup> ]	Zużycie energii elektrycznej w gospodarce komunalnej [GWh/a]	
				ogółem	w tym: w gospodarce wodno-kan.
1975	2066,5	1817,7	203,5	.	.
1980	2722,6	2405,1	238,8	.	.
1985	2925,9	2567,4	273,8	.	.
1986	.	.	.	3278	1774
1987	.	.	.	3524	1858
1988	.	.	.	3624	1953
1989	3071,9	2552,2	335,9	3663	1980
1990	3004,6	2399,8	352,7	3680	1944
1991	2870,1	2240,8	430,1	4046	1867
1992	2838,1	2196,8	437,7	3320	1672
1993	2744,6	2100,0	470,7	2148	409
1994	2603,4	2008,3	417,7	.	1688

Uwaga: Przedstawione w Tabl. 6 ilości wody pobranej z ujęć nie są sumą ilości wody dostarczonej odbiorcom i strat wody w sieci, gdyż występuje jeszcze - nie uwidoczniiony tutaj, lecz przedstawiony w [7] - obrót wodą pomiędzy wodociągami komunalnymi a przemysłowymi oraz pomiędzy różnymi wodociągami komunalnymi. Znak "." oznacza brak danych.

Wykazywane w statystyce zużycie energii w gospodarce wodno-kanalizacyjnej w r. 1993 wydaje się być obarczone dużym błędem, wynikającym prawdopodobnie ze zmian w przepisach dotyczących obowiązkowej sprawozdawczości energetycznej, które miały miejsce w latach 1992-1994. Nie jest bowiem technicznie możliwe, aby z roku na rok zużycie energii elektrycznej w gospodarce wodno-kanalizacyjnej zmieniło się 4-krotnie, przy praktycznie niezmiennym poborze i zużyciu wody.

Porównując dane z Tabl. 5 i Tabl. 6 należy pamiętać o tym, że na zużycie energii w gospodarce wodno-kanalizacyjnej składa się:

- 1) pompowanie sieciowej wody pitnej,
- 2) pompowanie ścieków,

3) zaspokojenie innych potrzeb energetycznych, jak na przykład: oświetlenie i ogrzewanie elektryczne w pompowniach i temu podobnych obiektach, napędy elektronarzędzi w warsztatach itp.

Jak widać z Tabl. 6, jedynie w nader ograniczonym stopniu można przeprowadzić porównanie danych statystycznych dotyczących zużycia energii elektrycznej w wodociągach z całkowitym zużyciem energii w gospodarce wodno-kanalizacyjnej. Jest to możliwe jedynie dla roku 1986. Niestety dla tego roku brak jest dokładniejszych danych dotyczących gospodarowania wodą w wodociągach komunalnych. Porównując jednak dane z Tabl. 6 z danymi zawartymi w Tabl. 5 można stwierdzić, że z bardzo dobrym przybliżeniem (poza rokiem 1975) dane z kolumny "Produkcja wody" (Tabl. 5) odpowiadają danym z kolumny "Woda pobrana z ujęć" (Tabl. 6).

W tym miejscu należy wprowadzić rozróżnienie pomiędzy wodą surową (pobraną z ujęć), a wodą uzdatnioną (dostarczoną odbiorcom). Należy także pamiętać o tym, że nie tylko tak jest, że wodociągi komunalne dostarczają wodę odbiorcom domowym, przemysłowym i innym, ale i gospodarstwa domowe korzystają również z innych wodociągów niż komunalne. Skalę zagadnienia przedstawiono Tabl. 7.

Tablica 7.

Zużycie wody w gospodarstwach domowych z wodociągów komunalnych i z wodociągów sieciowych (wg [7] i [8] oraz ich wydań wcześniejszych

[hm<sup>3</sup>]

Rok	Zużycie wody z wodociągów komunalnych	Zużycie wody z wodociągów sieciowych	
		Ogółem	w tym: miasta
1975	932,6	1066,7	960,8
1980	1321,7	1504,0	1347,2
1985	1519,8	1762,3	1549,6
1986	.	1837,0	1597,9
1987	.	1871,2	1628,7
1988	.	1914,7	1651,8
1989	1606,4	1939,6	1647,2
1990	1577,2	1922,7	1616,1
1991	1545,5	1861,4	1588,5
1992	1555,8	1921,9	1588,0
1993	1520,3	1856,5	1535,3
1994	1451,6	1750,0	1448,0

Uwaga: "." oznacza brak danych.

Z Tabl. 7 wynika, że wodociągi komunalne mają w decydujące znaczenie dla pokrycia zapotrzebowania na wodę gospodarstw domowych w miastach. Ich udział wzrósł na przestrzeni lat 1975-1994 z 97% do 100%. Natomiast zaopatrywanie w wodę mieszkańców wsi (17% zużycia wody z wodociągów sieciowych w gospodarstwach domowych) odbywa się w 98% z użyciem wodociągów innych niż komunalne.

Z porównania danych w Tabl. 5 i 6 wynika, że w całym przedstawionym zakresie czasowym największy udział w zużyciu energii w gospodarce wodno-kanalizacyjnej ma pompowanie sieciowej wody pitnej (ok. 70%), obejmujące również potrzeby przemysłu. W związku z powyższym, na podstawie przewidywanego zużycia energii elektrycznej na pompowanie sieciowej wody pitnej w gospodarce komunalnej (Rys. 3) można pokusić się o sformułowanie prognozy dotyczącej zużycia energii w całej gospodarce wodno-kanalizacyjnej.

W tym celu przeanalizowano dokładnie dane zawarte w pracach [9-12]. Bliższa ich analiza wykazała, że wynikająca z Rys. 3 zgodność obliczeń przewidywanego zużycia energii na pompowanie wody wykonanych w oparciu o dane W. Jędrala [9] i zespołu I. Mróz-Radłowskiej [10] jest częściowo przypadkowa, wynikająca z gry wartości zmiennych objaśniających i wskaźników elektrochłonności. W pracy [9] zmienną objaśniającą jest ilość wody dostarczonej odbiorcom, natomiast w pracy [10] - ilość wody pobranej z ujęć (por. Tabl. 6). Wprawdzie są to wielkości do siebie proporcjonalne, ale w dłuższym horyzoncie czasowym stosunek ich nie jest stały - np. na przestrzeni lat 1985-1994 zmalał z 88% do 77%. Również w przyszłości dynamika przewidywanego przez obu autorów wzrostu ilości wody dostarczonej odbiorcom i wody pobranej z ujęć nie jest taka sama (patrz Rys. 4). W obu pracach przewiduje się po 1993 r. zachodzenie procesów racjonalizacyjnych w stosunku do użytkowania energii, ale o ile w pracy [9] w ich efekcie prognozowane wskaźniki elektrochłonności pompowania 1 m<sup>3</sup> wody maleją z czasem, to w pracy [10] - jednak rosną.

Z wymienionych powodów, zamiast po prostu przyjąć wartość średnią z przedstawionych na Rys. 3 prognozowanych wielkości zużycia energii na pompowanie wody, przeanalizowano dokładniej zawartość omawianych prac, łącznie z załącznikami - arkuszami TE-3 i TR-3 (patrz opracowanie [24]). W odniesieniu do opracowania [9] określono wpływ możliwych oszczędności energetycznych na prognozowane zapotrzebowanie na energię poprzez porównanie wyników obliczeń wykonanych z wartościami wskaźników elektrochłonności określonych przez eksperta [9] z obliczeniami, dokonanymi przy hipotetycznym założeniu, że wskaźniki elektrochłonności w całym horyzoncie czasowym mają wartości takie same, jak w

roku bazowym (1993). Jest to metoda bliżej opisana w pracy [25]. W stosunku do pracy [10] nie można jej było zastosować, gdyż - jak wspomniano - wskaźniki elektrochłonności tutaj rosną z czasem. Użyto więc danych dotyczących przewidywanych oszczędności energii zawartych w odpowiednim arkuszu TR-3, kalibrując je jednak do zera w roku bazowym. Pozwoliło to na wyznaczenie hipotetycznego przyszłego zużycia energii, które by miało miejsce, gdyby nie zachodziły procesy racjonalizacji przewidywane przez eksperta [10]. Z otrzymanych w ten sposób na podstawie obu źródeł danych przewidywanych wielkości zużycia energii bez racjonalizacji obliczono wartości średnie. Analiza merytoryczna technologii racjonalizacji użytkowania energii rozpatrywanych w pracach [9] i [10] pokazała, że są to technologie komplementarne. Zsumowano więc określone przez obu ekspertów wielkości przewidywanych oszczędności energii i po odjęciu ich od opisanej powyżej wartości średniej "bez racjonalizacji" - uzyskano ostateczną prognozę zapotrzebowania na energię elektryczną zużywaną na pompowanie sieciowej wody pitnej w gospodarce komunalnej.

Jak wspomniano, energia elektryczna przeznaczana na ten cel, stanowi około 70% potrzeb energetycznych całej gospodarki wodno-kanalizacyjnej. Pozostałe 30% wyznaczono w sposób uproszczony, wychodząc z następujących założeń:

- a) w gospodarce kanalizacyjnej procesy racjonalizacyjne będą zachodziły wolniej, niż w przypadku pompowania wody pitnej (przy pompowaniu ścieków w sieciach kanalizacyjnych na ogół nie ma potrzeby stosowania elektronicznej regulacji obrotów pomp, gdyż nie jest ważne utrzymywanie ciśnienia w określonych granicach),
  - b) część zużycia energii elektrycznej (np. na oświetlenie przepompowni ścieków) ma charakter zużycia stałego, niezależnego od ilości ścieków przepompowywanych,
  - c) istnieją wreszcie przyczyny mogące spowodować pewien wzrost zużycia energii elektrycznej w gospodarce kanalizacyjnej - jest nimi rozwój oczyszczalni ścieków.
- W efekcie przyjęto dynamikę wzrostu zużycia energii elektrycznej w pozostałej części gospodarki wodno-kanalizacyjnej w stosunku do roku bazowego 1993 zgodnie z dynamiką wzrostu zapotrzebowania na energię dla pompowania wody pitnej, ale bez uwzględnienia procesów racjonalizacji. Wyniki obliczeń przedstawiono w Tabl. 8 i na Rys. 5.

Tablica 8.

Obecne i przewidywane zużycie energii elektrycznej na pompowanie sieciowej wody pitnej w wodociągach komunalnych, przewidywane oszczędności energii oraz prognoza zużycia energii elektrycznej w gospodarce wodno-kanalizacyjnej

[GWh/a]

Rok	Wodociągi komunalne - na podstawie danych z pracy [9]		Wodociągi komunalne - na podstawie danych z pracy [10]		Wodociągi komunalne - wg obliczeń ostatecznych		Gospodarka wodno-kanalizacyjna w kraju
	Zużycie energii	Oszczędności	Zużycie energii	Oszczędności	Zużycie energii	Oszczędności	Zużycie energii
1990	1320	0	1382	0,0	1351	0,0	1994
1991	1232	0	1292	0,0	1262	0,0	1867
1992	1208	0	1277	0,0	1243	0,0	1672
1993	1155	0	1235	0,0	1195	0,0	1698
1994	1095	10	1185	0,1	1134	10,1	1688
1995	1188	22	1288	0,3	1227	22,3	1753
2000	1219	46	1392	2,3	1281	48,6	1841
2005	1274	74	1446	3,4	1321	77,4	1910
2010	1352	78	1500	4,5	1385	82,5	2002
2015	1404	81	1513	4,8	1415	85,8	2047
2020	1456	84	1525	5,0	1446	89,0	2092

Uwaga: Wielkości dla roku 1995 (i lat późniejszych) są wielkościami prognozowanymi, wyznaczonymi w oparciu o dane dla lat 1990-1993.



### 3. Omówienie metod racjonalizacji zużycia energii elektrycznej w zakresie pompowania sieciowej wody pitnej

Zasadniczo istnieją 2 grupy metod racjonalizacji zużycia energii elektrycznej w zakresie pompowania wody:

- 1) metody polegające na podwyższeniu sprawności pompy,
- 2) metody polegające na polepszeniu sterowania pompą.

Metody grupy 1 można scharakteryzować jako działania techniczne odnoszące się do części przepływowej pompy oraz silnika. W opracowaniu [9] wyróżniono:

- remonty regeneracyjne,
- remonty regeneracyjne połączone ze stacjami wirnika,
- remonty regeneracyjne połączone z usunięciem stopnia,
- remonty regeneracyjne połączone z przewajaniem silnika,
- wymiana starej pompy na nową, o większej sprawności.

Cechą charakterystyczną tej grupy metod jest to, że zmodernizowana pompa pracuje z wyższą sprawnością przy wszystkich wydajnościach. Dokładniejszy ich opis można znaleźć w pracach [26-29]. Zagadnienia hydrauliczne w aspekcie oszczędności energii opisywane są również w materiałach reklamowych firm sprzedających urządzenia energoelektroniczne, np. [30].

W metodach grupy 2 do istniejących pomp i silników dołącza się przekształtniki energoelektroniczne, pozwalające na płynną zmianę prędkości obrotowej silnika pompy, tj. na obniżenie szybkości tłoczenia w okresach małego zapotrzebowania na wodę. Można tutaj wyróżnić [11]:

- zastosowanie falowników napięcia lub prądu do silników indukcyjnych klatkowych,
- zastosowanie układów kaskadowych do silników indukcyjnych pierścieniowych,
- metody kombinowane, gdy zastosowaniu energoelektroniki towarzyszy modyfikacja bądź wymiana silnika pompy.

Cechą charakterystyczną tej grupy metod jest to, że oszczędności energetyczne uzyskiwane są wyłącznie w czasie obniżonego zapotrzebowania na wodę. Jednakże w szeregu przypadków i w takich warunkach można się spodziewać znacznych oszczędności energetycznych [10].

Dobry opis ogólny metod energoelektronicznych można znaleźć np. w książkach [31-33]. Poszczególne rozwiązania techniczne przedstawiono w referatach konferencyjnych i publikacjach [14], [19], [34-37]. Zagadnienia szczegółowe, jak np. oddziaływanie falowników na sieć zasilającą, czy problemy pomiarowe w układach energoelektronicznych opisano np. w pracach [38-40].

#### 4. Oszacowanie krajowego potencjału racjonalizacji zużycia energii elektrycznej na pompowanie sieciowej wody pitnej

Określenie potencjału racjonalizacji użytkowania energii w procesach pompowania wody (w energetyce, w przemyśle i w gospodarce komunalnej), czyli maksymalnych, technicznie możliwych do uzyskania oszczędności energii, było ostatnio przedmiotem kilku ekspertyz, zleconych przez IPPT PAN w ramach wykonywania prac [41-43].

Eksperci różnie oszacowali wielkość krajowego potencjału racjonalizacji zużycia energii elektrycznej przy pompowaniu wody w sieciach wodociagowych. Dla szacunków dotyczących roku 1993 wynosił on wg pracy [11]: 100 GWh/a (metody różne, głównie energoelektroniczne), natomiast wg pracy [10] - 25,5 GWh/a (sterowanie tyrystorowe). Inna ekspertyza [9] podaje zerową wartość potencjału racjonalizacji (na drodze modernizacji samych pomp) w 1993 r. Dla lat przyszłych w opracowaniu tym podano dane zagregowane, dotyczące racjonalizacji pompowania wody w przemyśle i w gospodarce komunalnej łącznie. Opisana sytuacja bierze się stąd, że poszczególni eksperci reprezentowali różne podejścia metodyczne i brali pod uwagę odmienne techniki racjonalizacji pracy pomp.

W opracowaniach [22-23] podano wyniki rozpoznania technicznego i obliczeń symulacyjnych dotyczących racjonalizacji użytkowania energii elektrycznej przy pompowaniu sieciowej wody pitnej w 10 największych miastach w Polsce. W pracy tej dość dobrze opisana jest specyfika zagadnienia pompowania wody pitnej w różnych miastach i podane wyniki obliczeń symulacyjnych dla każdego z nich. Brak jest jednak zestawień sumarycznych, zaś przyjęte założenia obliczeniowe - jak stwierdzono w ramach wykonywania niniejszej pracy na przykładzie wybranego obiektu gospodarki wodno-kanalizacyjnej - są zbyt optymistyczne.

Wstępna analiza wykonana przez autora niniejszej pracy pozwoliła określić bieżącą wartość krajowego potencjału racjonalizacji w zakresie zużycia energii elektrycznej na pompowanie sieciowej wody pitnej na ok. 100 GWh/a - łącznie, przy użyciu różnych metod: "hydraulicznych" i elektronicznych.

Wykorzystując dane z opracowań [9-12] postanowiono głębiej rozpoznać zagadnienie, tzn. określić ile i po jakim koszcie możliwe jest do zaoszczędzenia energii elektrycznej w procesach pompowania sieciowej wody pitnej. Wyniki przeprowadzonych analiz przedstawiono w dalszej części pracy.

## 5. Określenie charakterystyk techniczno-ekonomicznych wybranych metod racjonalizacji zużycia energii elektrycznej na pompowanie sieciowej wody pitnej

Na podstawie danych zawartych w cytowanych opracowaniach, a także na podstawie badań własnych (rozpoznanie ofert producentów urządzeń energoelektronicznych) opracowano następującą listę technologii racjonalizacji użytkowania energii, mających zastosowanie przy pompowaniu sieciowej wody pitnej.

### 1) Remonty regeneracyjne pomp średniej mocy, z silnikami rzędu 20 kW

Polegają one na rekonstrukcji uszczelnień wirnika i uszczelnień międzystopniowych, zastosowaniu nowoczesnych uszczelnień ROTALION i SIMMERING oraz na renowacji wewnętrznych powierzchni elementów przepływowych. Stosowane są do pomp typu A, Z2K, HL, PJM, G, Y i podobnych [9].

### 2) Remonty regeneracyjne pomp o mocy rzędu 50 kW, połączone ze stoczeniem wirnika

W przypadku pompy jednostopniowej, zbyt dużej w stosunku do wymagań instalacji, w celu wyeliminowania stałego, nadmiernego dławienia przepływu, stosuje się stoczenie wirnika dla zmniejszenia poboru energii przez pompę. Technika ta ma zastosowanie do pomp typu A, C, F i podobnych [9].

### 3) Remonty regeneracyjne pomp o mocy rzędu 125 kW, połączone z usunięciem stopnia

W przypadku pompy wielostopniowej, np. typu W czy Y, w przypadku nadmiaru mocy pompy, stosuje się usunięcie jednego ze stopni [9].

### 4) Remonty regeneracyjne pomp o mocy rzędu 75 kW połączone z przezwojeniem silnika

W przypadkach znacznego przewymiarowania pompy można zastosować przezwojenie silnika, tak aby zmniejszyć prędkość obrotową, np. z 1470 do 980 obr./min. Przykład zastosowań: pompy typu A, F W i podobne [9].

### 5) Wymiana pompy (zespołu pomp) o mocy rzędu 75 kW na nową, o większej sprawności

Gdy pompa jest już w dużym stopniu wyeksploatowana, opłaca się wymienić ją na nowocześniejszą. Można w ten sposób uzyskać wzrost sprawności pompy np. z 58% do 73%. Metoda ta ma zastosowanie dla pomp typu W, F i podobnych [9].

6) Instalacja falownika do pompy o mocy rzędu 30 kW, zasilanej silnikiem klatkowym niskonapięciowym (do 1 kV)

W obwodzie zasilania silnika pompy instaluje się falownik (przebiegnik częstotliwości). Ponieważ szybkość obrotowa silnika jest wprost proporcjonalna do częstotliwości prądu, zmieniając częstotliwość prądu stosownie do wymaganego przepływu przez pompę, uzyskuje się dopasowanie szybkości obrotowej pompy do potrzeb [11].

7) Instalacja falownika do pompy o mocy rzędu 400 kW, zasilanej silnikiem klatkowym średnionapięciowym (6 kV)

W tym przypadku sytuacja jest bardziej złożona, ponieważ w zasadzie brak jest komercyjnie dostępnych, sprawdzonych w eksploatacji falowników na napięcie 6kV. Wobec tego pomiędzy trójfazową sieć zasilającą a silnik pompy instaluje się transformator obniżający napięcie oraz falownik niskonapięciowy [11]. Silnik pompy musi ulec wymianie na niskonapięciowy. Jest to bardzo kosztowne. Rozwiązania alternatywne:

- 1) instalacja falownika na średnie napięcia [44],
- 2) zastosowanie podwójnej transformacji: 6kV/690V > falownik 690V > 690V/6kV [45],
- 3) zmiana silnika klatkowego 6kV na pierścieniowy i zastosowanie kaskady asynchronicznej [46]),

zostały jednak ocenione przez autorów pracy [11] jako kłopotliwe w eksploatacji (problemy z niezawodnością pracy falownika 6kV, transformacją odkształconego napięcia, konserwacją pierścieni ślizgowych) i dlatego nie zostały przyjęte przez nich jako technologie modelowe.

Potencjały racjonalizacji dla metod 1) - 4) określono wstępnie wychodząc z danych zawartych w arkuszach TR-3 dołączonych do opracowania [9]. Na podstawie pracy [11] oszacowano, że ok. 10% całkowitego potencjału racjonalizacji zużycia energii elektrycznej na pompowanie wody w sferze "przemysł + gospodarka komunalna" przypada na pompowanie sieciowej wody pitnej w gospodarce komunalnej. Dane kosztowe metod 1) - 4) zaczerpnięto wprost z opracowania [9].

Charakterystykę techniczno-ekonomiczną metody 5) przyjęto ściśle za opracowaniem [9], gdyż jest ona tam dobrze zdefiniowana.

Potencjał racjonalizacji z użyciem metod energoelektronicznych 6) i 7) przyjęto wg opracowania [10]. Dane kosztowe przyjęto zgodnie z pracą [11]. Rozdziału silników napędzających pompy na niskonapięciowe (nN) i średnionapięciowe (SN) dokonano w proporcji 75% i 25%, wykorzystując dane o strukturze mocy silników pracujących w różnych działach gospodarki narodowej przedstawione w Tabl. 3.

W Tabl. 9 przedstawiono zestawienie zbiorcze charakterystyk techniczno-ekonomicznych modelowych przedsięwzięć racjonalizacji zużycia energii elektrycznej przy pompowaniu sieciowej wody pitnej.

Tablica 9.

Charakterystyki techniczno-ekonomiczne modelowych przedsięwzięć zmniejszenia zużycia energii elektrycznej na pompowanie sieciowej wody pitnej. Ceny roku 1993. (Na podstawie danych z prac [9-11] oraz obliczeń własnych)

Numer	Nazwa przedsięwzięcia	Nakłady inwestycyjne [mln zł]	Zaoszczędzona energia [MWh/a]	Roczne korzyści pozaenergetyczne [mln zł/a]	Okres uzyskiwania oszczędności [a]	Maksymalne oszczędności energetyczne (potencjał racjonalizacji) w skali kraju [GWh/a] w poszczególnych latach				
						1995	2000	2005	2010	2020
1.	Remont regeneracyjny	5	11	10	5	6	20	35	38	38
2.	Remont + stoczenie wimika	12	40	60	8	15	45	68	68	68
3.	Remont + usunięcie stopnia	50	137	150	8	15	28	35	38	38
4.	Remont + przezwój silnika	200	262	70	20	10	40	50	55	55
5.	Wymiana pompy na nową, o większej sprawności	120	77	40	20	10	25	35	38	38
6.	Instalacja falownika do pompy z silnikiem nN	180	38	50	10	48	53	54	56	57
7.	Instalacja falownika do pompy z silnikiem SN	2300	560	100	10	16	17	18	18	19
OGÓŁEM		-	-	-	-	120	228	295	311	313

Na Rys. 6 przedstawiono jednostkowe nakłady inwestycyjne  $k_i$ , tzn. stosunek poniesionych nakładów inwestycyjnych  $K_i$  do rocznych oszczędności energetycznych  $\Delta E_t$ , przedsięwzięć wymienionych w Tabl. 9.

Zależność

$$k_i = K_i / \Delta E_t \quad (1)$$

nie umożliwia to jeszcze w sposób pełny porównania poszczególnych przedsięwzięć ze sobą, gdyż różne przedsięwzięcia charakteryzują się różnymi okresami uzyskiwania oszczędności, np. nowa pompa będzie eksploatowana przez 20 lat [9], czas eksploatacji falownika ekspersi oceniają na 10 lat [11], zaś efekty energetyczne prostego remontu regeneracyjnego będą zauważalne przez 5 lat [9].

Z omówionych powodów dokonano porównania efektywności ekonomicznej wymienionych w Tabl. 9 przedsięwzięć racjonalizacyjnych, stosując ogólnie przyjęte w ekonomii kryteria oceny efektywności. Zgodnie z nimi przedsięwzięcie jest efektywne, jeżeli suma efektów jest większa od poniesionych nakładów, tzn. jeżeli wartość pieniężna oszczędności energetycznych, powiększona o korzyści pozaenergetyczne jest większa od zdyskontowanych nakładów inwestycyjnych, powiększonych o zmianę kosztów eksploatacyjnych niepaliwowych, czyli

$$\Delta E_t c_e + Z_p - (r_n K_i + \Delta K_e) > 0 \quad (2)$$

gdzie:

$\Delta E_t$  - roczne oszczędności energetyczne,

$c_e$  - cena energii,

$Z_p$  - roczne korzyści pozaenergetyczne,

$r_n$  - rata rozszerzonej reprodukcji:

określona dla stopy procentowej  $r$  i okresu eksploatacji  $n$  lat następująco

$$r_n = r(1+r)^n / [(1+r)^n - 1] \quad (3)$$

$K_i$  - nakłady inwestycyjne,

$\Delta K_e$  - zmiana rocznych (nieenergetycznych) kosztów eksploatacyjnych.

Można zdefiniować tzw. jednostkowy koszt rachunkowy  $K_{jpe}$  dla wymienionych w Tabl. 9 przedsięwzięć następująco:

$$K_{jpe} = (r_n K_i + \Delta K_e - Z_p) / \Delta E_t \quad (4)$$

Jeżeli jednostkowy koszt rachunkowy  $K_{jpe}$  jest mniejszy od ceny energii  $c_e$ , to inwestycja jest opłacalna.

Zdarza się, że korzyści pozaenergetyczne  $Z_p$  są tak duże, że  $K_{jpe}$  jest ujemny. Inwestycja jest wtedy opłacalna niezależnie od wielkości oszczędności energetycznych. Sytuacja taka ma miejsce dla pierwszych pięciu wymienionych w Tabl. 9 przedsięwzięć racjonalizacyjnych.

Na ogół jednak ocena korzyści pozaenergetycznych (wyrażonych np. poprzez zwiększenie komfortu obsługi urządzenia, zwiększenie trwałości) jest problematyczna, albo też są one wymierne, ale uzyskiwane nie przez inwestora. Wówczas zaniedbuje się je i wzór (4) zapisuje w uproszczonej formie [24]:

$$K_{je} = (r_n K_i + \Delta K_e) / \Delta E_t \quad (5)$$

Często można zaniedbać również i zmiany niepaliwowych kosztów eksploatacyjnych  $\Delta K_e$ , które ewentualnie mogą wystąpić po wprowadzeniu racjonalizacji energetycznej i wtedy wzór (5) przyjmuje prostą postać

$$K_j = r_n K_i / \Delta E_t \quad (6)$$

Gdy jednostkowy koszt rachunkowy  $K_{jpe}$  jest mniejszy od ceny energii  $c_e$ , inwestycja energooszczędna jest opłacalna z punktu widzenia całokształtu osiągniętych efektów, jeżeli  $K_{je}$  jest mniejszy od ceny energii - inwestycja jest opłacalna ze względu na samą wartość zaoszczędzonej energii.

Inną, często stosowaną miarą opłacalności inwestycji, jest czas zwrotu nakładów inwestycyjnych. Można go obliczać z uwzględnieniem zarówno korzyści pozaenergetycznych  $Z_p$ , jak i zmiany niepaliwowych kosztów eksploatacyjnych  $\Delta K_e$  ze wzoru

$$t_{zpe} = K_i / (\Delta E_t c_e + Z_p - \Delta K_e) \quad (7)$$

Gdy korzyści pozaenergetyczne  $Z_p$  są trudno wymierne, uwzględnia się jedynie zmianę nieenergetycznych kosztów eksploatacyjnych  $\Delta K_e$ . Czas zwrotu nakładów inwestycyjnych  $t_{ze}$  wyrazi się wówczas wzorem

$$t_{ze} = K_i / (\Delta E_t c_e - \Delta K_e) \quad (8)$$

Dla prostoty interpretacji często zaniedbuje się również zmiany nieenergetycznych kosztów eksploatacyjnych  $\Delta K_e$  i określa się, po jakim czasie  $t_z$

uzyskane oszczędności finansowe  $\Delta E_t c_e$  przekroczyć poniesione nakłady inwestycyjne  $K_i$

$$t_z = K_i / (\Delta E_t c_e) \quad (9)$$

Zachodzi prosty związek

$$t_z = k_j / c_e \quad (10)$$

oznaczający, że czas zwrotu nakładów inwestycyjnych jest proporcjonalny do jednostkowych nakładów inwestycyjnych i odwrotnie proporcjonalny do ceny energii.

Gdy  $\Delta K_e$  i  $Z_p$  są zerowe, to również jednostkowy koszt rachunkowy oraz czas zwrotu nakładów inwestycyjnych są wielkościami do siebie proporcjonalnymi

$$K_j = c_e r_n t_z \quad (11)$$

lub

$$t_z = K_j / (c_e r_n) \quad (12)$$

Warto zwrócić uwagę na fakt, że współczynniki proporcjonalności we wzorach (11) i (12) zależą od uzyskiwania oszczędności energii (poprzez czynnik dyskontowy  $r_n$ ), co powoduje, że można wskazać takie przedsięwzięcia racjonalizacyjne, które przy mniejszym jednostkowym koszcie rachunkowym niż inne, charakteryzują się dłuższym czasem zwrotu nakładów inwestycyjnych (por. przedsięwzięcia nr 4 i nr 1 w Tabl. 9 i 10).

W Tabl. 10 przedstawiono porównanie omawianych przedsięwzięć racjonalizacji użytkowania energii elektrycznej w procesach pompowania sieciowej wody pitnej w kategoriach: jednostkowych nakładów inwestycyjnych, jednostkowego kosztu rachunkowego oraz czasu zwrotu nakładów inwestycyjnych. Przyjęto stopę procentową  $r=12\%$  [24], okresy uzyskiwania oszczędności jak w Tabl. 9 oraz cenę energii elektrycznej (taryfa B11) z maja 1995 r. (1200 starych zł/kWh), sprowadzoną do cen sierpnia 1993 r. przelicznikiem deflacyjnym 1,68 [47].



Tablica 10.

Porównanie kryteriów oceny ekonomicznej przedsięwzięć zmniejszenia zużycia energii elektrycznej na pompowanie sieciowej wody pitnej

Numer	Nazwa przedsięwzięcia	Jednostkowe nakłady inwestycyjne	Jednostkowy koszt rachunkowy			Czas zwrotu nakładów		
			$K_{jpe}$	$K_{je}$	$K_j$	$t_{zpe}$	$t_{ze}$	$t_z$
		[zł'93/kWh/a]	[zł'93/kWh]			[a]		
1.	Remont regeneracyjny	450	-783	126	126	0,28	0,64	0,64
2.	Remont + stoczenie wirnika	300	-1440	60	60	0,14	0,42	0,42
3.	Remont + usunięcie stopnia	360	-1021	73	73	0,20	0,51	0,51
4.	Remont + przezwyciężenie silnika	760	-165	102	102	0,78	1,07	1,07
5.	Wymiana pompy na nową, o większej sprawności	1560	-311	209	209	1,26	2,18	2,18
6.	Instalacja falownika do pompy z silnikiem nN	1380	49	1365	838	3,15	25,2	6,63
7.	Instalacja falownika do pompy z silnikiem SN	918	727	905	727	5,75	7,67	5,75

Z Tabl. 10 można się zorientować, że dla ceny energii elektrycznej 714 zł'93/kWh opłacalne są jedynie przedsięwzięcia "hydrauliczne". Jeśli uwzględnić korzyści pozaenergetyczne, to są one efektywne ekonomicznie niezależnie od wielkości uzyskanych oszczędności energetycznych. Zastosowanie metod energoelektronicznych dla samych oszczędności energii nie jest opłacalne, natomiast może być racjonalne z punktu widzenia całokształtu zagadnień związanych ze sterowaniem pompą.

## 6. Możliwe techniczne realizacje racjonalizacji zużycia energii elektrycznej w przykładowym obiekcie gospodarki wodno-kanalizacyjnej

Przykładowy obiekt gospodarki wodno-kanalizacyjnej jest pompownią wody pitnej w jednym z miast wojewódzkich. Pracują w nim 2 zespoły równoległe połączonych pomp: 4 pompy typu 5OD22A-3x3 ( $Q=2200 \text{ m}^3/\text{h}$ ) w jednym zespole, 5 pomp typu 5OD22A-3x2 ( $Q=1850 \text{ m}^3/\text{h}$ ) w drugim.

Pompy napędzane są silnikami indukcyjnymi klatkowymi SADYdm 136s (I zespół) oraz SADVdm 136si (II zespół), o mocach odpowiednio 720 i 630 kW, zasilanych napięciem 6 kV. Szybkość obrotowa pomp wynosi 987 obr/min.

Regulacja wydajności odbywa się poprzez załączanie i wyłączanie pomp oraz poprzez dławienie przepływu, tak by ciśnienie w sieci utrzymywało się w zadanych granicach.

Pompownia posiada nominalną zdolność tłoczenia wody 400 tys.  $\text{m}^3/\text{dobę}$ . Obecne zapotrzebowanie miasta wynosi 260 tys.  $\text{m}^3/\text{dobę}$ . W nocy zużycie wody zmniejsza się 2-krotnie.

W skali godzinowej pobór wody zmienia się od 6 tys.  $\text{m}^3/\text{h}$  w dzień w szczycie, do 2 tys.  $\text{m}^3/\text{h}$  w nocy, przy czym w czasie niedziel i świąt spada on nocami nawet do 1,5 tys.  $\text{m}^3/\text{h}$ .

W ostatnich latach, wskutek niskiej aktywności przemysłu nastąpiło ogólne obniżenie zapotrzebowania miasta na wodę. W nocy występuje dodatkowy spadek zapotrzebowania, tak że nominalna wydajność nawet jednej pracującej pompy jest zbyt duża.

Należy zaznaczyć, że pompownia prowadzona jest bardzo dobrze pod względem technicznym i wszystkie proste rezerwy racjonalizacji użytkowania energii elektrycznej zostały już prawdopodobnie wykorzystane (np. przeprowadzono remont regeneracyjny połączony z usunięciem stopnia).

W tej sytuacji wydaje się celowe zainstalowanie elektronicznej regulacji napędu - na razie do jednej z pomp. W przyszłości, po wzroście zapotrzebowania miasta na wodę, może się okazać uzasadnione objęcie regulacją elektroniczną ich większej liczby.

Istotną przeszkodą we wprowadzeniu energoelektroniki do pompowni jest stosunkowo wysokie napięcie zasilania silników pomp (6kV). W chwili obecnej brak jest bowiem wystarczająco niezawodnych falowników na tak wysokie napięcia.

Możliwe są następujące rozwiązania:

## 1. Przy założeniu nie dokonywania zmian w samym silniku pompy

### 1.1. Zainstalowanie falownika na napięcie 6 kV

Możliwe jest zakupienie falownika 6kV sprzedawanego przez firmę VIGOMAT [44]. Jest to jednak urządzenie, które jeszcze nigdzie w Polsce nie było stosowane, toteż trudno powiedzieć cokolwiek pewnego na temat jego niezawodności i możliwości współpracy z typowymi silnikami 6kV. Nie bez znaczenia są także bardzo duże gabaryty tego urządzenia (jest to szafa o długości 14 m).

#### Orientacyjne koszty:

(ceny z maja 1995 r., wyrażone w starych złotych)

- falownik ETWA1000 (6kV, 1MW): 3000 mln zł,
- prace projektowe i montażowe, transport: 30% ceny falownika.

### 1.2. Zainstalowanie układu z podwójną transformacją napięcia: z 6kV na 690V, następnie falownik 690V, transformacja z 690V do 6kV

Metoda ta opisana została w literaturze [31,45], jednak brak jest doniesień o seryjnej produkcji tego typu układów i ich praktycznych zastosowaniach. Układ taki można jednak zamówić u producenta jako prototyp.

Zalety: możliwość zastosowania typowego falownika napięcia, np. ABB Elta.

Wady: znaczny koszt 2 transformatorów 1MVA każdy. Możliwość wystąpienia znacznej ilości harmoniczných.

#### Orientacyjne koszty:

- transformator 6kV/690V, 1MVA: 1000 mln zł,
- transport i zabudowa transformatora: 50% jego ceny,
- falownik 700 kW, 690V: 2500 mln zł,
- instalacja falownika: 30% jego ceny,
- transformator 690V/6kV z montażem - jak wyżej.

## 2. Przy założeniu dokonywania zmian w silniku pompy

### 2.1. Zakup transformatora obniżającego napięcie z 6kV na 690V, zakup falownika na napięcie 690V, wymiana silnika na niskonapięciowy

Metoda znana i stosowana [11].

Zalety: możliwość zastosowania typowego falownika napięcia, np. ABB Elta.

Wady: znaczny koszt transformatora 1MVA, falownika i silnika niskonapięciowego. Metodę można zwłaszcza polecić w przypadku, gdy istniejący silnik jest już mocno wyeksploatowany, jako alternatywę jego remontu.

Orientacyjne koszty:

- transformator 6kV/690V, 1MVA: 1000 mln zł,
- transport i zabudowa transformatora: 50% jego ceny,
- falownik 700 kW, 690V z zainstalowaniem: 2500 mln zł,
- instalacja falownika: 30% jego ceny,
- silnik klatkowy 700kW z transportem i montażem: 800 mln zł.

2.2. Zakup kaskady podsynchronicznej do silnika na napięcie 6kV. Wymiana silnika na pierścieniowy

Metoda znana i stosowana [11,46].

Zalety: kaskada podsynchroniczna jest znacznie tańsza od falownika.

Wady: znaczny koszt wymiany silnika na pierścieniowy. Bardziej kłopotliwa eksploatacja silnika pierścieniowego niż klatkowego. Mniejszy zakres zmian prędkości obrotowej silnika.

Orientacyjne koszty:

- układ kaskady podsynchronicznej z zainstalowaniem: 2000 mln zł,
- transformator 6kV/380V, 400kVA (z montażem): 200 mln zł,
- przeróbka silnika 700kW, 6kV z klatkowego na pierścieniowy: 500 mln zł.

Należy podkreślić, że wszystkie podane wyżej dane kosztowe [48] mają charakter szacunkowy, gdyż koszt dostarczenia i zainstalowania urządzenia energoelektronicznego ustalany jest indywidualnie w drodze negocjacji pomiędzy dostawcą a klientem. Zależy on ponadto od warunków kontraktu (gwarancja, obsługa posprzedażna itp.).

W Tabl. 11 dokonano syntetycznego porównania omówionych wyżej rozwiązań dla 3 wariantów założonych oszczędności energetycznych: optymistycznego - przy oszczędnościach 1000 MWh/a (wg ekspertyzy [10]), takich samych jak w modelowym przedsięwzięciu nr 7 w Tabl. 9 - 560 MWh/a [11] oraz dla wariantu pesymistycznego - zakładającego uzyskanie jedynie 200 MWh/a [5].

Tablica 11.

Porównanie rozwiązań technicznych (ceny z maja 1995 r., w starych złotych)

Nr	Nazwa przedsięwzięcia (skrótowa)	Nakłady inwestycyjne [mln zł'95]	Jednostkowy koszt rachunkowy K <sub>j</sub> [zł'95/kWh], przy oszczędnościach energii		
			1000 MWh/a	560 MWh/a	200 MWh/a
1.1	Falownik SN	3900	690	1233	3451
1.2	Transf. SN/nN + falownik nN + tr.nN/SN	6250	1106	1375	5531
2.1	Transf. SN/nN + falownik nN + silnik nN	4800	850	1517	4248
2.2	Kaskada SN + silnik pierścieniowy	2700	478	853	2389

Jednostkowy koszt energii należy porównywać z ceną energii elektrycznej, która w I połowie 1995 r. wynosiła 1200 starych zł/kWh. Jak widać, przy oszczędnościach energii 1000 MWh/a wszystkie przedsięwzięcia są opłacalne, przy 200 MWh/a - żadne. Przy oszczędnościach 560 MWh/a opłacalne jest zastosowanie jedynie kaskady podsynchronicznej.

W celu umożliwienia porównania liczb zawartych w Tabl. 11 z danymi kosztowymi prezentowanymi w Tabl. 10, powyższe liczby wyrażono w cenach roku 1993, stosując przelicznik deflacyjny 1,68, wynikający z danych GUS o miesięcznych wskaźnikach wzrostu cen towarów i usług konsumpcyjnych ([47] i zeszyty wcześniejsze).

Tablica 12.

Porównanie rozwiązań technicznych (ceny roku 1993)

Nr	Nazwa przedsięwzięcia (skrótowa)	Nakłady inwestycyjne [mln zł'93]	Jednostkowy koszt rachunkowy [zł'93/kWh], przy oszczędnościach energii		
			1000 MWh/a	560 MWh/a	200 MWh/a
1.1	Falownik SN	2320	411	734	2054
1.2	Transf. SN/nN + falownik nN + tr.nN/SN	3720	658	1176	3292
2.1	Transf. SN/nN + falownik nN + silnik nN	2860	506	903	2529
2.2	Kaskada SN + silnik pierścieniowy	1610	285	508	1422

Jak widać, koszty modelowego przedsięwzięcia nr 7 z Tabl. 10 odpowiadają kosztom przedsięwzięcia 1.1 z Tabl. 12 (instalacja falownika SN), nie zaś przedsięwzięcia 2.1, polegającego na instalacji transformatora SN/nN, falownika nN oraz przeróbce silnika na niskonapięciowy. Oznacza to, że w obecnych kalkulacjach koszty przedsięwzięcia wypadają o 23% wyżej, niż przyjmowano w pracy [11].

Przeprowadzona w czerwcu 1995 r. wizja lokalna wykazała, że w rozpatrywanym obiekcie gospodarki wodno-kanalizacyjnej nie da się zastosować rozwiązań 1.2 i 2.1, ze względu na brak miejsca dla posadowienia transformatorów.

Z przedstawionych obliczeń wynika, że dla ekonomicznej opłacalności decydująca jest skala będących do uzyskania oszczędności energetycznych. Wobec tego podjęto badanie mające na celu ustalenie realnie możliwych oszczędności energetycznych w rozpatrywanym obiekcie gospodarki wodno-kanalizacyjnej. Przeprowadzono je w oparciu o dane o zużyciu energii elektrycznej w badanym obiekcie i ilościach pompowanej wody, uzyskane przez dr inż. I. Mróz-Radłowską [13].

Na wstępie przeanalizowano pracę obiektu w poszczególnych miesiącach roku 1994. Wyniki analizy przedstawiono na Rys. 8. Jak widać, przy wahaniami miesięcznych w tłoczeniu wody o ponad 20% elektrochłonność pompowania zmienia się nie więcej, jak 3,5%. Świadczy to bardzo dobrze o prowadzeniu ruchu pompowni, lecz każde pesymistycznie zapatrywać się na potencjalne efekty regulacji elektronicznej obrotów pompy - względna oszczędność energii elektrycznej dla modelowego przedsięwzięcia nr 7 z Tabl. 10 szacowana była na 25% [11], zaś autorzy pracy [12] szacowali możliwości zaoszczędzenia energii w wyniku regulacji tyrystorowej w rozpatrywanym obiekcie na 12%.

Istnieją znaczne różnice w obciążeniu poszczególnych pomp (Rys. 9). Pompy obciążone mniej są jednostkowo nieco bardziej elektrochłonne (do 8%). Widoczne są także drobne różnice w sprawnościach poszczególnych pomp.

Wniosek stąd, że pewne oszczędności energetyczne można osiągnąć bez żadnych przedsięwzięć inwestycyjnych, jedynie optymalnie obciążając poszczególne pompy, tzn. tak, aby te najsprawniejsze pracowały najdłużej w roku.

Odrębnym zagadnieniem są zmiany ilości pompowanej wody w obrębie doby. W tym zakresie dysponowano jedynie przykładowymi danymi o ilości pompowanej wody i o zużyciu energii elektrycznej dla 2 dni: roboczego (środa 16.08.95) oraz świątecznego (niedziela 13.08.95). Rozkład godzinowy ilości pompowanej wody dla dnia roboczego oraz dla dnia świątecznego przedstawiono na Rys. 10.

W oparciu o dane [13] wyznaczono elektrochłonność pompowania  $1 \text{ m}^3$  wody. Elektrochłonność ta wynosi średnio  $0,250 \text{ kWh/m}^3$  dla dnia roboczego oraz  $0,264 \text{ kWh/m}^3$  dla dnia świątecznego. Wzrasta ona o 80% w godzinach minimalnego zapotrzebowania na wodę w dniu roboczym oraz o prawie 40% w dniu wolnym od pracy. Zmienności czasowe przedstawiono na Rys. 11 i Rys. 12. Ponieważ jednak godziny spadku zapotrzebowania na wodę te nie mają dużego udziału w całej dobie, oszczędność energii, która wystąpiłaby, jeśli pompy by pracowały z niezmienną sprawnością wynosi zaledwie 4,2% (średnio dla sierpnia 1995 r.). Na dobę można by zaoszczędzić maksymalnie 748 kWh, co daje wskaźnik roczny 273 MWh/a. Biorąc pod uwagę, że w sierpniu występuje ogólny spadek zapotrzebowania na wodę i że w pozostałych miesiącach skala oszczędności będzie nieco większa, można się spodziewać oszczędności energii w skali roku rzędu 5%, czyli 300 MWh/a. Jest to relatywnie bardzo niewiele.

Czasy zwrotu nakładów inwestycyjnych silnie zależą nie tylko od ceny energii elektrycznej, ale i od taryfy stosowanej w rozliczeniach. Najbardziej opłacalne byłoby - z punktu widzenia oszczędności energii - rozliczenie zgodnie z taryfą B11 [49,50]. Jednak to rozliczenie - jak sprawdzono - byłoby zdecydowanie najmniej korzystne z punktu widzenia całości opłat za energię i moc.

Najbardziej korzystne dla rozpatrywanego obiektu gospodarki wodno-kanalizacyjnej jest rozliczenie w taryfie B23. Niestety, rozkład wysokości stawek taryfowych w poszczególnych strefach czasowych jest taki, że jeżeli większość oszczędności energetycznych miałyby miejsce w nocy, to 4,2% oszczędności energii odpowiadałoby zaledwie 2,8% oszczędności kosztów energii. W tych warunkach trudno jest oczekiwać rentowności rozpatrywanych przedsięwzięć energooszczędnych, nawet tych najtańszych.

W Tabl. 13 przedstawiono jednostkowy koszt rachunkowy dla rozpatrywanych przedsięwzięć racjonalizacyjnych przy oszczędnościach energetycznych 300 MWh/a oraz czasy zwrotu dla rozliczeń wg różnych taryf.

Tablica 13.

Jednostkowy koszt rachunkowy oraz czasy zwrotu nakładów inwestycyjnych dla rozpatrywanych przedsięwzięć racjonalizacyjnych, przy oszczędnościach energii 300 MWh/a i różnych rodzajach rozliczeń

Nr	Nazwa przedsięwzięcia (skrótowa)	Jednostkowy koszt rachunkowy $k_{je}$ [mln zł'95]	Czasy zwrotu nakładów inwestycyjnych $t_{ze}$ [a] przy rozliczeniach wg poszczególnych taryf		
			B11	B21	B23
1.1	Falownik SN	1370	11	14	26
2.2	Kaskada SN + silnik pierścieniowy	948	8	10	18

Uwaga: Wysokości stawek taryfowych dla strefy czasowej mającej największe znaczenie dla uzyskania oszczędności energetycznych są następujące: w taryfie B11 - 1200 zł/kWh (jest to stawka całodobowa), w taryfie B21 - 900 zł/kWh (stawka całodobowa), w taryfie B23 - 500 zł/kWh (stawka nocna).

Jak widać, przy tak niekorzystnych uwarunkowaniach jedynie zastosowanie kaskady podsynchronicznej miałoby jakikolwiek sens ekonomiczny, zwłaszcza przy uwzględnieniu dodatkowych korzyści nieenergetycznych, przejawiającej się w postaci np. łatwiejszej regulacji ciśnienia w sieci, zwiększenia trwałości rurociągów itp. Należałoby zwrócić uwagę, by pompa do której zastosowałoby się elektroniczną regulację obrotów pracowała jak największą ilość godzin w roku, również w dzień. Wtedy nawet drobne oszczędności energetyczne, ale uzyskane w strefie szczytowej (stawka 1200 zł/kWh) znacząco podniosłyby rentowność przedsięwzięcia. Za kilka lat będzie ono opłacalne bezdyskusyjnie w wyniku wzrostu cen energii elektrycznej

Należy wyraźnie zaznaczyć, że wobec operowania jedynie przykładowymi danymi dotyczącymi rozpatrywanej pompowni [13], nie uwzględniającymi charakterystyk pracy pompowni w miesiącach większego zapotrzebowania na wodę, celem wykonanych obliczeń było jedynie przedstawienie kontrastu pomiędzy eksperckimi oszacowaniami dotyczącymi całego kraju a sytuacją w konkretnym obiekcie, nie zaś przygotowanie materiału do konkretnych decyzji inwestycyjnych.



## 7. Podsumowanie

Wykonane badania wykazały, że istnieje znaczny potencjał racjonalizacji zużycia energii elektrycznej w procesach pompowania sieciowej wody pitnej. Jest on rzędu 120 GWh/a i wzrasta w latach 1995-2020 do ponad 300 GWh/a.

W wielu sytuacjach nie do końca jednak są rozwiązane problemy techniczne związane z instalacją układów energoelektronicznych. Dotyczy to szczególnie dużych pompowni miejskich zasilanych napięciem 6kV. Również koszty urządzeń są często zbyt wysokie. Należałoby więc większą uwagę zwrócić na nowe metody hydrauliczne racjonalizacji eksploatacji pomp wirowych oraz modernizacji całych układów pompowych [29].

Przy podejmowaniu decyzji o zainwestowaniu w oszczędność użytkowania energii niezmiernie ważne jest prawidłowe określenie możliwych do uzyskania efektów energetycznych. W wielu bowiem przypadkach pobieżne oszacowania są zbyt optymistyczne. Pierwszym krokiem powinien być rzetelny monitoring energetyczny stanu istniejącego, będący punktem wyjścia dla określenia ilości możliwej do zaoszczędzenia energii. Dopiero wówczas można przeprowadzić kalkulacje efektywnościowe, które muszą bazować na dokładnie przeprowadzonej analizie kosztów. Nie należy przy tym zapominać o ubocznych efektach dokonywanej racjonalizacji energetycznej, które dla użytkownika energii mogą być nawet ważniejsze od samych oszczędności finansowych będących pochodną oszczędności energii.

Energoelektroniczne metody uzyskiwania oszczędności energetycznych są ciągle bardzo drogie inwestycyjnie, zaś wiedza o metodach hydraulicznych - niedostatecznie rozpowszechniona. W tej sytuacji, dla osiągnięcia znaczących efektów energetycznych w skali kraju, wydaje się niezbędne połączenie wysiłków finansowych indywidualnych inwestorów - konsumentów energii z działaniami wynikającymi z ogólnokrajowej polityki energetycznej, mającej na celu zmniejszenie zużycia energii elektrycznej w imię ochrony środowiska naturalnego i uniknięcia poniesienia w niedalekiej już przyszłości kosztów rozbudowy krajowego systemu elektroenergetycznego.

Droga do tego mogłaby prowadzić poprzez zainteresowanie różnych fundacji powołanych dla racjonalizacji użytkowania energii (Fundacja Poszanowania Energii, Fundacja na Rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii, Fundacja "Energetyka Polska") sponsorowaniem, jeśli już nie częściowych kosztów zakupu urządzeń energoelektronicznych, to przynajmniej kosztów prac badawczo-wdrożeniowych niezbędnych do przeprowadzenia przed zainstalowaniem takich urządzeń.

## Bibliografia

- [1] *Gospodarka Paliwowo-Energetyczna w latach 1992-1993*. GUS, Warszawa 1994.
- [2] *Statystyka Elektroenergetyki Polskiej 1993*. Centrum Informatyki Energetyki, Warszawa 1994.
- [3] *Gospodarka Paliwowo-Energetyczna w latach 1993-1994*. GUS, Warszawa 1995.
- [4] *Statystyka Elektroenergetyki Polskiej 1994*. Centrum Informatyki Energetyki, Warszawa 1995.
- [5] S.Chyrczakowski, *Badanie możliwości zmniejszenia zużycia energii elektrycznej w kraju na pompowanie sieciowej wody pitnej z określeniem potencjału i kosztów racjonalizacji użytkowania energii*. Opracowanie wykonane w Zakładzie Problemów Energetyki IPPT PAN w ramach Studium Podyplomowego "Automatyka Napędu Elektrycznego w Energetyce" (Politechnika Warszawska, Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej, Zakład Napędu Elektrycznego, grudzień 1994 - czerwiec 1995), Warszawa, czerwiec 1995.
- [6] S.Chyrczakowski, *Określenie potencjału i kosztów racjonalizacji użytkowania energii elektrycznej zużywanej w kraju na pompowanie sieciowej wody pitnej*. Materiały Trzeciej Konferencji "Racjonalizacja Użytkowania Energii i Środowiska" Szczyrk, 16-18.10.1995, Tom II, str. 196-204.
- [7] *Ochrona środowiska 1995*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 1995.
- [8] *Rocznik Statystyczny 1995*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 1995.
- [9] W. Jędral, *Określenie możliwości racjonalizacji użytkowania energii przy pompowaniu cieczy, zwłaszcza wody*. Opracowanie wykonane dla IPPT PAN, Warszawa, listopad 1994 r.
- [10] I.Mróż-Radłowska, Z.Gabryjelski, W.Lewandowski, M.Szypowski, A.Wędzik, *Użytkowanie energii elektrycznej w sektorze komunalno-bytowym*. Opracowanie wykonane dla IPPT PAN. Łódź, listopad 1994 r.
- [11] W.Koczara, Z.Szulc, *Opracowanie eksperckie z zakresu użytkowania energii elektrycznej na cele napędowe*. Opracowanie wykonane dla IPPT PAN, Warszawa, grudzień 1994 r.
- [12] I.Mróż-Radłowska, Z.Gabryjelski, W.Lewandowski, M.Szypowski, A.Wędzik, *Analiza krytyczna i uzupełnienie danych z zakresu użytkowania energii elektrycznej w sektorze komunalno-bytowym*. Opracowanie wykonane dla IPPT PAN. Łódź, marzec 1995 r.

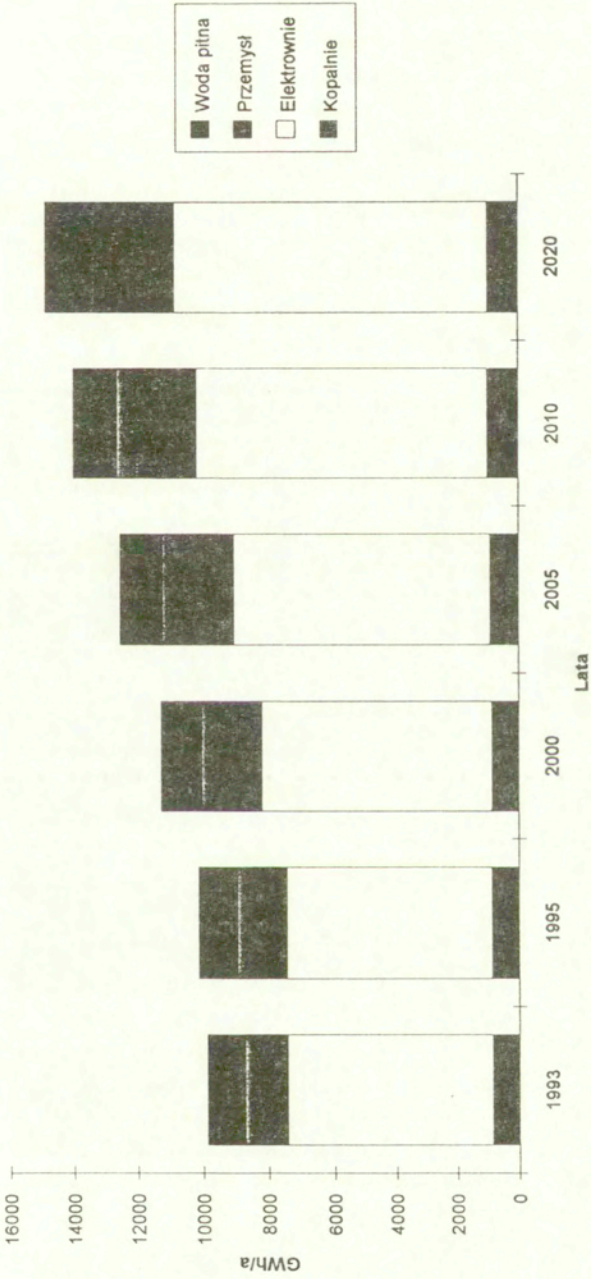
- [13] I. Mróz-Radiłowska, Nieopublikowane dane dotyczące tłoczenia wody oraz zużycia energii elektrycznej w wybranym obiekcie gospodarki wodno-kanalizacyjnej, Politechnika Łódzka, październik 1995.
- [14] W. Koczara, Z. Szulc, *Metody minimalizacji zużycia energii elektrycznej przez układy napędowe*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej "Racjonalizacja Użytkowania Energii i Środowiska", Porąbka-Kozubnik, 11-18.06.1993. Tom II, str. 146.
- [15] D.E. Knights, *Efficient use of electricity in motor drives*, Electronics and Power, No. 11, vol. 23, 1977.
- [16] H.E. Jordan, *Energy Efficient Electric Motors and their Application*, Van Nostrand Reinhold Company 1983.
- [17] R. Chauprade, *L'évolution de la force motrice par l'électricité*. Konferencja "Au carrefour de la force motrice", Paris, 10-11 Decembre 1981.
- [18] S.F. Baldwin, *Energy-Efficient Electric Motor Drive Systems*. [W] "Electricity. Efficient End-Use and New Generation Technologies, and Their Planning Implications". Pod red. T.B. Johansson, B. Codlund, R.H. Williams. Lund University Press 1989.
- [19] M. Wierzejski, *Energoelektronika - aspekty energetyczne, technologie przemysłowe*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej "Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska", Porąbka-Kozubnik, 11-18.06.1993. Tom II, str. 128-133.
- [20] J. Przybylski, *Metody sterowania*. Materiały do wykładu "Energoelektroniczne układy napędowe". Studium Podyplomowe "Automatyka Napędu Elektrycznego w Energetyce". Zakład Napędu Elektrycznego ISEP PW, Warszawa 1995.
- [21] *Charakterystyki energo-ekonomiczne gałęzi i branż przemysłu*. Centrum Informatyki Energetyki, Warszawa, marzec 1995.
- [22] *Programy wariantowe racjonalizacji oraz wynikający z nich program docelowy racjonalizacji użytkowania energii elektrycznej w gospodarce komunalnej*. Opracowanie wykonane w ramach CPBR 5.1 cel 1.4 PK4-01 przez zespół pod kierunkiem W. Mielczarskiego. Instytut Energetyki, Warszawa, kwiecień 1989 r.
- [23] *Zweryfikowany program racjonalizacji energii elektrycznej w latach 1991-95-2000. Podetap I. Scalony program określający zużycie i możliwości racjonalizacji zużycia energii w głównych kierunkach w gospodarstwach domowych i gospodarce komunalnej*. Opracowanie wykonane w ramach CPBR 5.1 cel 1.4 PK6-01 przez zespół pod kierunkiem W. Mielczarskiego. Instytut Energetyki, Warszawa, kwiecień 1990 r.

- [24] *Kwestionariusze charakterystyk techniczno-ekonomiczno-środowiskowych technologii*. Praca zbiorowa pod kierunkiem prof. W.Bojarskiego. Opracowanie ZPE IPPT PAN, Warszawa, styczeń 1995.
- [25] P.Gryza, Z.Parczewski, *Zarys analizy porównawczej procesów racjonalizacji użytkowania energii w wybranych krajach Europy*. Prace IPPT 32/1995. Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa 1995.
- [26] K.Jackowski, W.Jędral, *Zmniejszenie zużycia energii do napędu pomp wirowych w przemyśle i energetyce*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej "Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska", Porąbka-Kozubnik, 11-18.06.1993. Tom II, str. 155-160.
- [27] W.Jędral, *Energooszczędna eksploatacja pomp wirowych - oczekiwania i rzeczywistość*. Materiały Drugiej Konferencji "Racjonalizacja Użytkowania Energii i Środowiska", Szczyrk, 17-19.10.1994 r., Tom II, str. 180-185.
- [28] W.Jędral, *Rekonstrukcja uszczelnień wewnętrznych sposobem na energooszczędną eksploatację pomp wirowych*. Gospodarka Paliwami i Energią Nr 6/1996, str. 4-6.
- [29] W.Jędral, *Modernizacja układów pompowych i racjonalizacja eksploatacji pomp wirowych, zwłaszcza w energetyce*. Materiały Trzeciej Konferencji "Racjonalizacja Użytkowania Energii i Środowiska", Szczyrk, 16-18.10.1995 r., Tom II, str. 61-65.
- [30] *Energooszczędna eksploatacja pomp wirowych*. Materiały informacyjne wydane przez firmy TAKOM Sp. z o.o. i METEX Poland Sp. z o.o.
- [31] H.Tunia, B.Winiarski, *Energoelektronika*. WNT, Warszawa 1994.
- [32] R.Barlik, M.Nowak, *Technika tyrystorowa*. WNT, Warszawa 1994.
- [33] Z.Grunwald, M.Kaźmierkowski, W.Koczara, J.Łastowiecki, G.Przywara, *Napęd elektryczny*. WNT, Warszawa 1987.
- [34] M.Wierzejski, K.Żochowski, *Poprawa efektywności energetycznej odwadniania terenów depresyjnych*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej "Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska", Porąbka-Kozubnik, 11-18.06.1993. Tom II, str. 343-348.
- [35] S.Januszewski, K.Zymmer, *Energoelektroniczne napędy w energetyce*. Materiały Drugiej Konferencji "Racjonalizacja Użytkowania Energii i Środowiska", Szczyrk, 17-19.10.1994 r., Tom II, str. 53-60.
- [36] W.Koczara, Z.Szulc, *Modernizacja napędów elektrycznych pomp i wentylatorów*. Materiały Trzeciej Konferencji "Racjonalizacja Użytkowania Energii i Środowiska", Szczyrk, 16-18.10.1995 r., Tom II, str. 143-147.

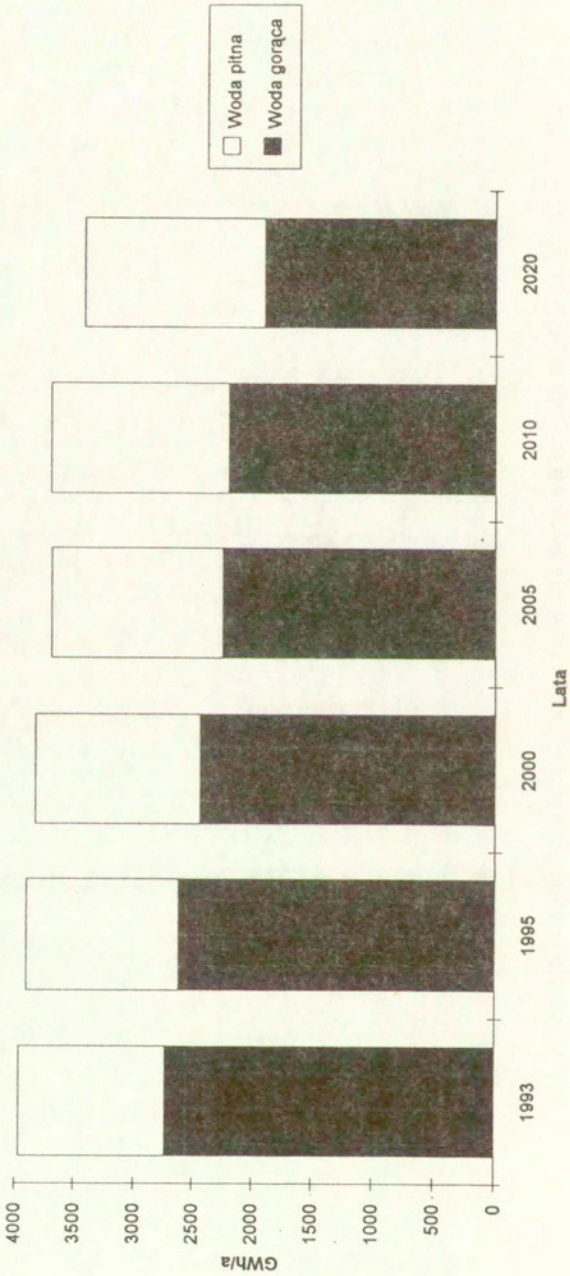
- [37] W.Koczara, Z.Szulc, *Zużycie energii przez napęd pompy wirowej*. Materiały Trzeciej Konferencji "Racjonalizacja Użytkowania Energii i Środowiska", Szczyrk, 16-18.10.1995 r., Tom II, str. 143-147.
- [38] W.Koczara, *Energoelektroniczne napędy potrzeb własnych elektrowni*. Przegląd Elektrotechniczny 2/1995, str. 33-36.
- [39] W.Koczara, *Problemy wprowadzania regulowanych układów napędowych z silnikami indukcyjnymi klatkowymi*. Gospodarka Paliwami i Energią 3/1995, str. 13-16.
- [40] T.Stefański, *Problemy pomiarowe w napędach falownikowych*. Przegląd Elektrotechniczny 3/1995, str. 57-61.
- [41] S.Chyrczakowski, W.Bojarski, P.Gryza, B.Jankowski, S.Senczek, A.Umer, *Wariantowe prognozy zapotrzebowania na energię elektryczną w kraju z uwzględnieniem konkurencyjności innych nośników i zasad DSM wraz z opracowaniem bazy danych o technologiach racjonalizacji użytkowania energii. Etap I. Opracowanie zbioru danych o wybranych technologiach użytkowania i racjonalizacji użytkowania energii u różnych grup odbiorców*. Opracowanie wykonane dla Polskich Sieci Elektroenergetycznych S.A., ZPE IPPT PAN, Warszawa, grudzień 1994 r.
- [42] S.Chyrczakowski, W.Bojarski, P.Gryza, B.Jankowski, M.Niemyski, S.Senczek, A.Umer, *Wariantowe prognozy zapotrzebowania na energię elektryczną w kraju z uwzględnieniem konkurencyjności innych nośników i zasad DSM wraz z opracowaniem bazy danych o technologiach racjonalizacji użytkowania energii. Etap II. Opracowanie efektywnego modelu badawczego i oprogramowania do optymalizacji sfery użytkowania energii, w skali kraju*. Opracowanie wykonane dla PSE S.A., ZPE IPPT PAN, Warszawa, marzec 1995 r.
- [43] S.Chyrczakowski, W.Bojarski, P.Gryza, B.Jankowski, M.Niemyski, S.Senczek, A.Umer, *Wariantowe prognozy zapotrzebowania na energię elektryczną w kraju z uwzględnieniem konkurencyjności innych nośników i zasad DSM wraz z opracowaniem bazy danych o technologiach racjonalizacji użytkowania energii. Etap III. Opracowanie wielowariantowych prognoz zapotrzebowania na energię elektryczną na rok 2000 i 2010*. Opracowanie wykonane dla PSE S.A., ZPE IPPT PAN, Warszawa, wrzesień 1995 r.
- [44] Materiały informacyjne firmy VIGOMAT SA dotyczące tyrystorowych przemienników częstotliwości ETWA1000, ETWA2000 i ETWA 4000 do silników 1, 2 i 4 MW, 6 kV.

- [45] B. Winiarski, Ż. Zakrzewski, *Napędy dużej mocy o podwójnej transformacji z falownikami napięciowymi*. Materiały III Krajowej Konferencji Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Trakcji, Kraków, AGH 1984. (Patrz również [31], str. 434).
- [46] S. Piróg, S. Gąsiorek, J. Czekoński, *Zastosowanie przekształtnikowej kaskady asynchronicznej do regulacji wydatku pomp w elektrowniach i elektrociepłowniach*. Materiały II Konferencji Naukowo-Technicznej "Potrzeby własne elektrowni. Eksploatacja - remonty - modernizacja", Słok, 21-23.09.1995, str. 69-74.
- [47] *Biuletyn Statystyczny* Nr 10/1995. GUS, Warszawa, listopad 1995.
- [48] Z. Szulc, Dane nieopublikowane dotyczące cen i kosztów instalacji urządzeń energoelektronicznych i energetycznych. Politechnika Warszawska, czerwiec 1995.
- [49] *Cennik nr 7-Z/95 "Energia elektryczna"*. Ministerstwo Finansów, Warszawa 1995.
- [50] *Decyzja Nr 11/GN-Z/95 Ministra Finansów z dn. 22 czerwca 1995 r. w sprawie zatwierdzenia zmian w cenniku nr 7-Z/95 "Energia elektryczna"*. Ministerstwo Finansów, Warszawa 1995.

Rys.1. Zużycie energii elektrycznej na pompowanie wody wg danych W.Jędrala [9]

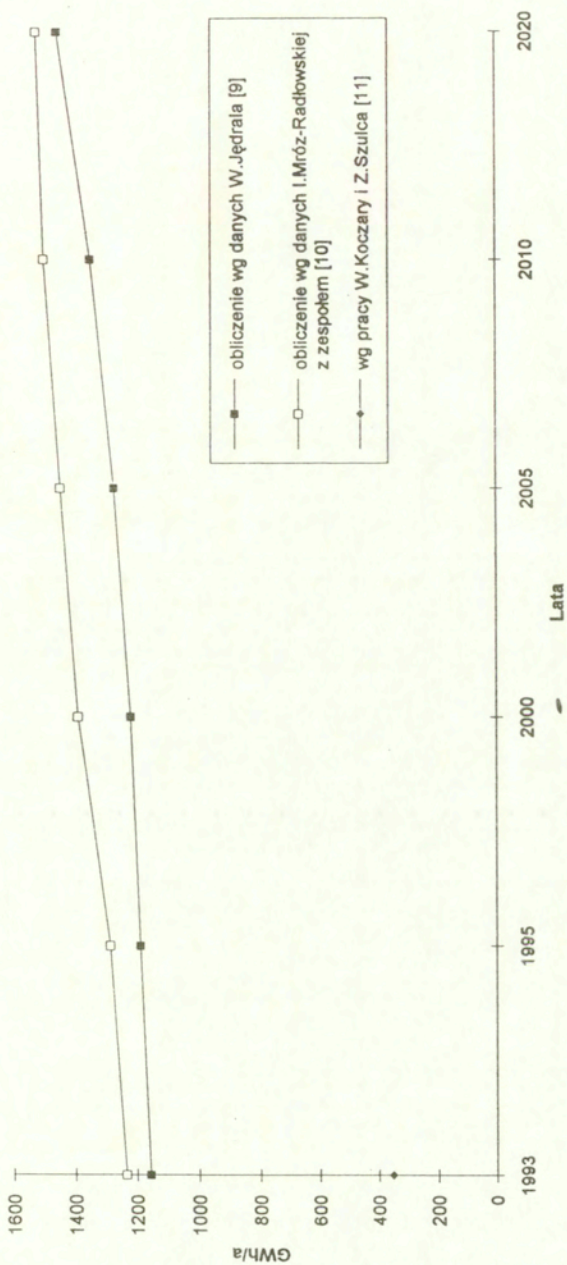


Rys.2. Zużycie energii elektrycznej na pompowanie wody wg danych I.Mróż-Radlowskiej z zespołem [10]

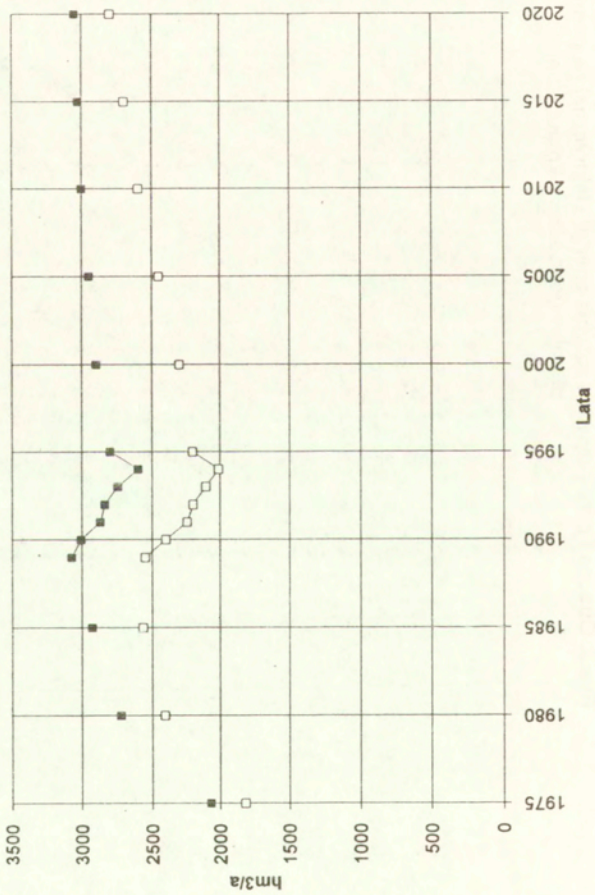




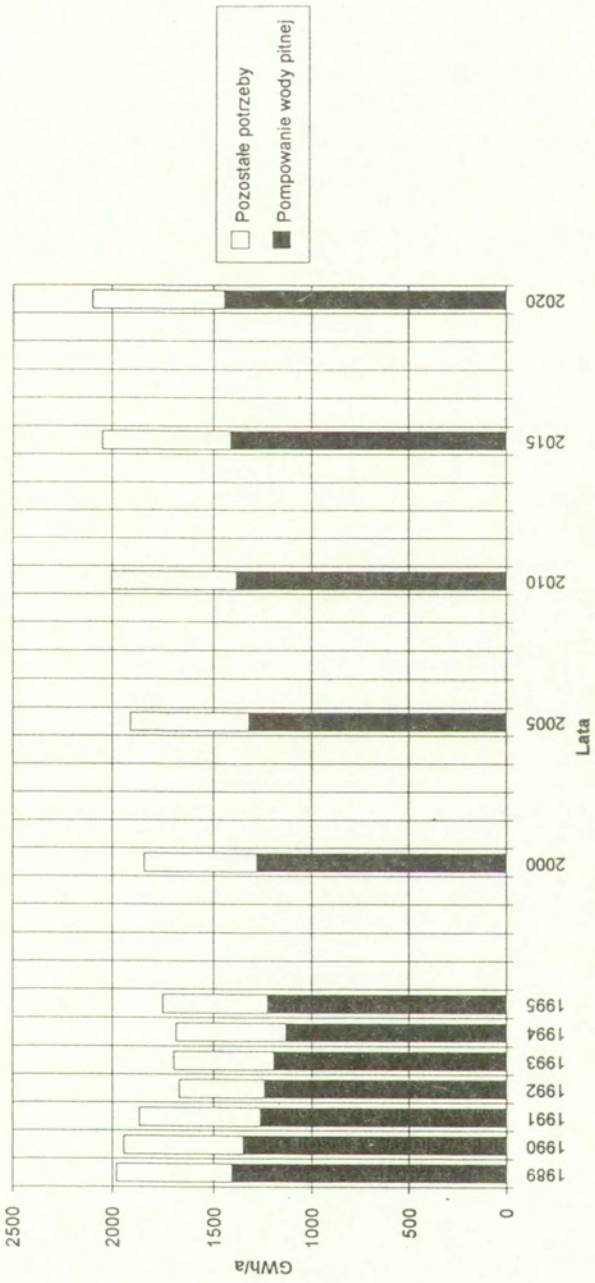
Rys.3. Obecne i przewidywane zużycie energii elektrycznej na pompowanie sieciowej wody pitnej w gospodarce komunalnej



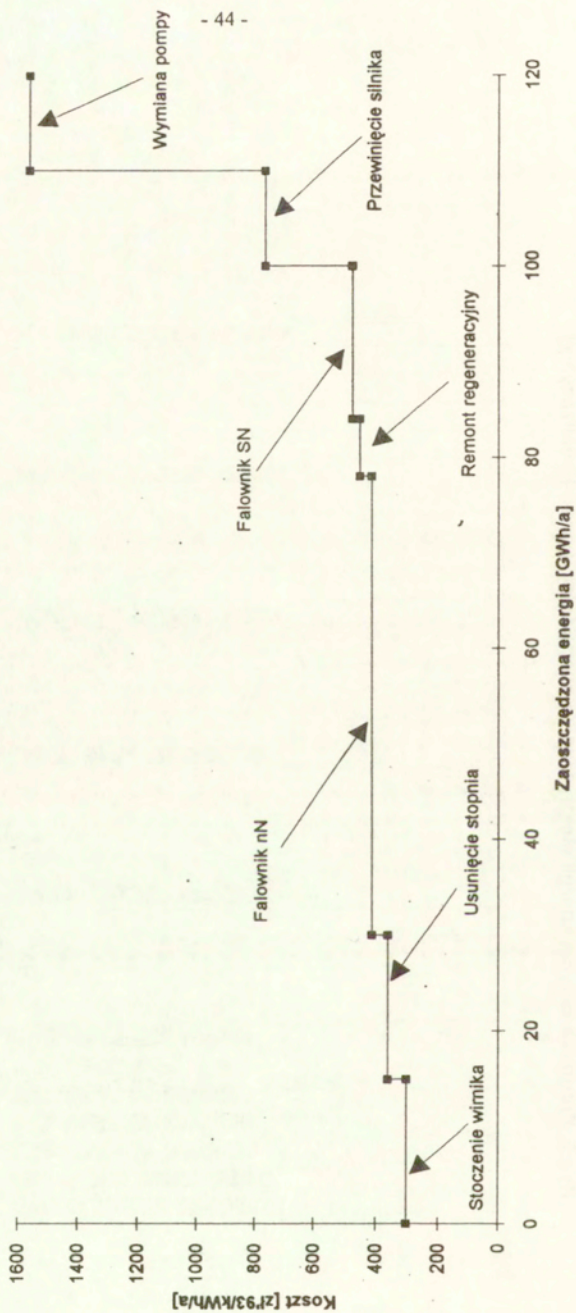
Rys.4. Gospodarka wodą w wodociągach komunalnych



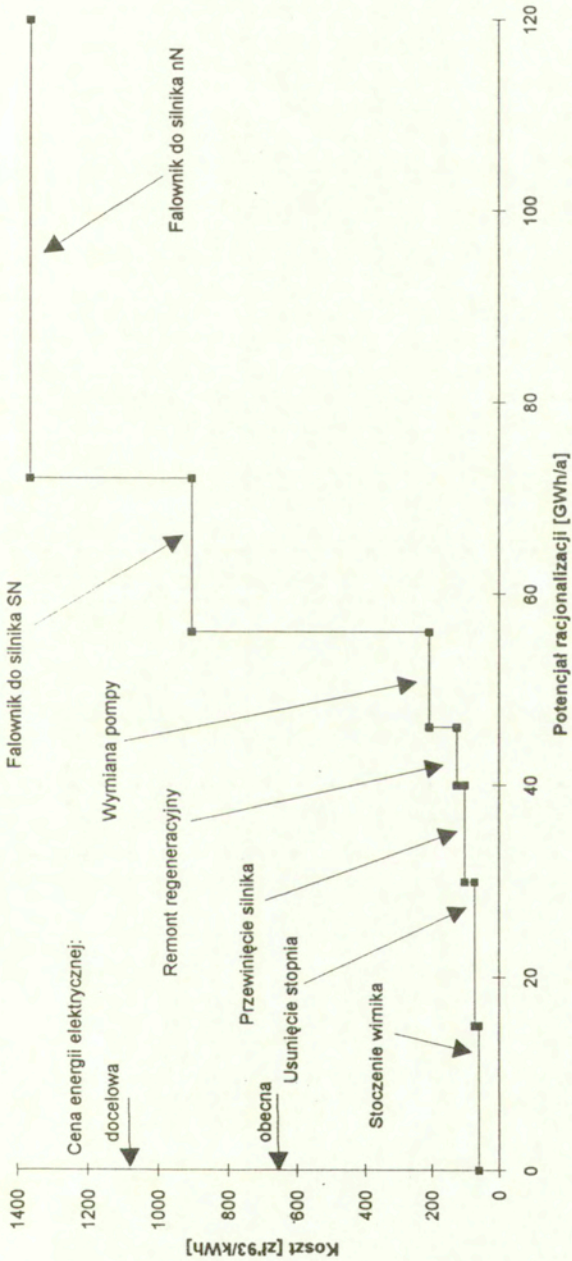
Rys.5. Prognoza zużycia energii elektrycznej w gospodarce wodno-kanalizacyjnej



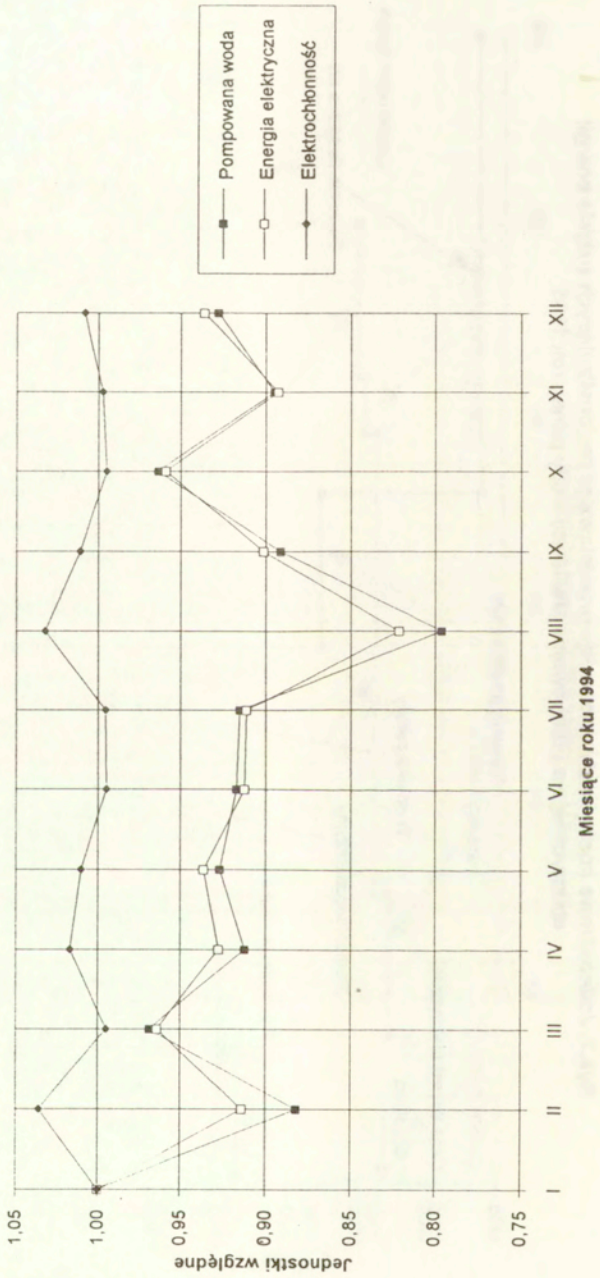
Rys.6. Jednostkowe koszty inwestycyjne ki racjonalizacji zużycia energii elektrycznej na pompowanie sieciowej wody pitnej, rok 1995



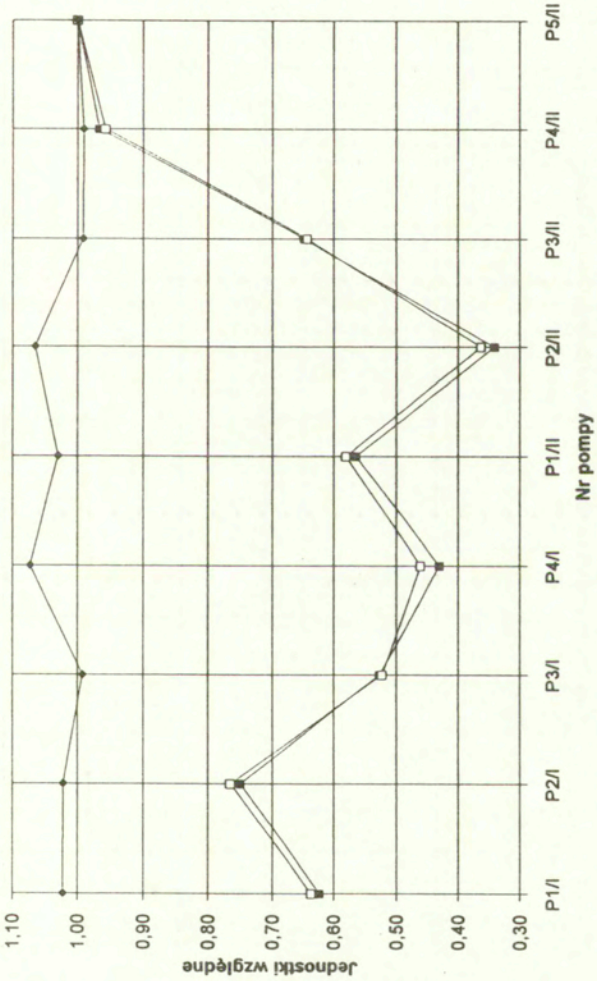
Rys.7. Jednostkowe koszty rachunkowe Kje przedsięwzięć racjonalizujących zużycie energii elektrycznej na pompowanie sieciowej wody pitnej, rok 1995



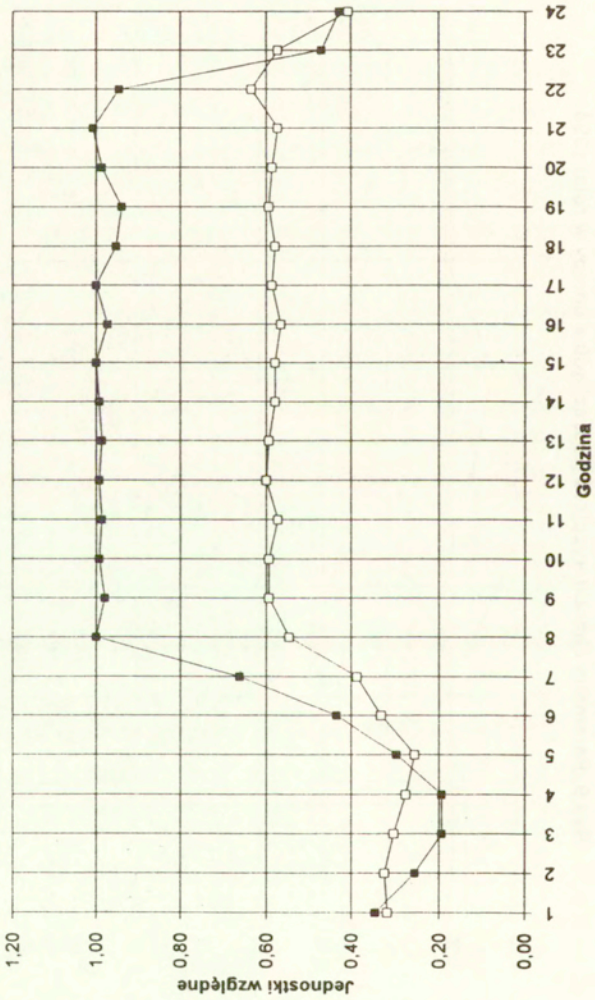
Rys.8. Zmiany miesięczne parametrów pracy pompowni



Rys.9. Parametry charakteryzujące poszczególne pompy w roku 1994

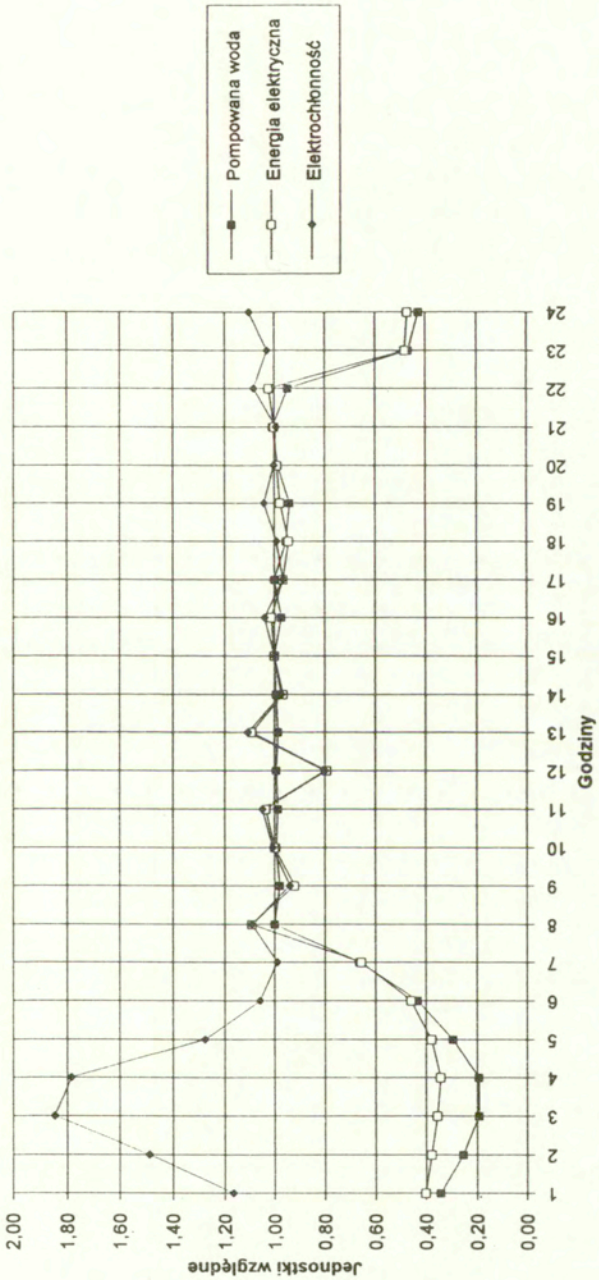


Rys.10. Rozkład godzinowy ilości pompowanej wody





Rys.11. Praca pompowni w dzień roboczy



Rys.12. Praca pompowni w dzień świąteczny

