



## **Ocena efektywności energetycznej zmodernizowanych pompowni melioracyjnych**

*Jerzy Bykowski, Michał Napierała, Czesław Przybyła*  
*Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań*

### **1. Wstęp**

Pompownie melioracyjne, zgodnie z Prawem wodnym [25], należą do urządzeń melioracji podstawowych i do głównych obiektów służących poprawie stosunków wodnych w glebie oraz ochronie terenów zalewowych podczas powodzi [24]. Jako składowe urządzeń wodnomelioracyjnych przyczyniają się ponadto do bezpośredniej intensyfikacji produkcji rolniczej, poprawiając równocześnie sytuację gospodarczą w danym regionie [12]. Wobec powyższego, obiekty te powinny charakteryzować się dużą sprawnością i niezawodnością funkcjonowania, przy możliwie prostej i taniej obsłudze [7]. Problemy związane z utrzymaniem i obsługą pompowni melioracyjnych, są jednak następstwem wielu czynników wynikających nie tylko ze sprawności samych agregatów pompowych, ale z ogólnego stanu całego systemu melioracyjnego. Dlatego, aby móc zapewnić skuteczną efektywność ekonomiczną układu pompowego konieczna jest dbałość o racjonalną eksploatację wszystkich urządzeń wodnomelioracyjnych [3,15,16,18–20].

Podjęmując działania mające na celu obniżenie nakładów na bieżącą eksploatację i utrzymanie pompowni melioracyjnych oraz zmniejszanie ich energochłonności stosuje się zwykle metody najprostsze [6]. Obecnie zmniejszenie zużycia energii, a tym samym poprawienie wskaźników ekonomicznych uzyskuje się poprzez dwie kategorie zabiegów: zabiegi technologiczne oraz zabiegi związane z jakością regulacji wykorzystania energii [9]. Polegają one zwykle na modernizacji obiektów i wymianie dotychczas eksploatowanych agregatów pompowych na no-

we, łatwiejsze i tańsze w obsłudze pompy zatapialne. Posiadają one wbudowane systemy zabezpieczające silnik przed awarią oraz zaopatrzone są przeważnie w systemy „miękkiego” rozruchu (tzw. soft-starty) oraz kompensacji mocy biernej.

## 2. Cel, zakres i metodyka pracy

Celem pracy była ocena poprawy efektywności energetycznej i związanych z tym oszczędności finansowych zmodernizowanych 11 pompowni melioracyjnych eksploatowanych przez Wielkopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych (WZMiUW) – Rejonowy Oddział w Lesznie.

Modernizacja badanych obiektów została wykonana w latach 2010 i 2011 i polegała na wymianie pomp wraz z armaturą, instalacji elektrycznej i automatyki. W miejsce starych pomp wałowych produkcji Warszawskiej Fabryki Pomp zamontowano nowoczesne agregaty zatapialne firmy KSB.

W badaniach i analizach wykorzystano dane z dokumentacji projektowych, specyfikacji technicznych i instrukcji eksploatacji oraz faktury za energię elektryczną i dane dotyczące ogólnych kosztów eksploatacji i utrzymania poszczególnych obiektów. Analizą objęto trzyletni okres eksploatacji urządzeń od 2010 do 2012 roku.

Analizowany okres badań charakteryzował się dużą zmiennością opadów atmosferycznych, przy rocznej sumie opadów wg. stacji meteorologicznej w Lesznie wynoszącej w 2010 roku 728 mm, w 2011 rok 388 mm i w 2012 – 530 mm [26]. Lata te według klasyfikacji Kaczorowskiej [11] określono odpowiednio jako: mokry (2010), bardzo suchy (2011) oraz przeciętny (2012).

Głównym założeniem modernizacji urządzeń pompowych była możliwość przepompowania tej samej objętości wody  $V$  przy mniejszych nakładach energii i czasu. Ocena efektywności jej wykonania przeprowadzono zatem na podstawie wskaźnika „ $ee$ ”, który szacuje ilość zaoszczędzonej energii elektrycznej w ciągu roku, według poniższej formuły (1):

$$ee = \left( \left( \frac{\rho g Q_S H_S}{\eta_{SS} \eta_{SP}} - \frac{\rho g Q_N H_N}{\eta_{NS} \eta_{NP}} \right) \cdot T * W_{obc.} \right) [\text{kWh/rok}] \quad (1)$$

gdzie:

- $ee$  – wskaźnik poprawy efektywności ekonomicznej [kWh/rok];  
(index of economic improvement investments [kWh/rok]);
- $\rho$  – gęstość cieczy –  $\rho_{\text{woda}} \approx 1000$  [kg/m<sup>3</sup>];  
(density of the liquid –  $\rho_{\text{water}} \approx 1000$  [kg/m<sup>3</sup>]);
- $g$  – przyspieszenie ziemskie –  $g \approx 9,81$  [m/s<sup>2</sup>];  
(gravity acceleration –  $g \approx 9,81$  [m/s<sup>2</sup>]);
- $\eta_{SS}$  – sprawność nominalna silnika przed modernizacją [-];  
(nominal efficiency of engine before refurbishment [-]);
- $\eta_{NS}$  – sprawność nominalna silnika po modernizacji [-];  
(nominal efficiency of engine after refurbishment [-]);
- $\eta_{SP}$  – sprawność nominalna pompy przed modernizacją [-];  
(nominal efficiency of pump before refurbishment [-]);
- $\eta_{NP}$  – sprawność nominalna pompy po modernizacji [-];  
(nominal efficiency of pump after refurbishment [-]);
- $H_S$  – wysokość podnoszenia pompy przed modernizacją [m];  
(head pump before refurbishment [m]);
- $H_N$  – wysokość podnoszenia pompy po modernizacji [m];  
(head pump after refurbishment [m]);
- $Q_S$  – wydajność nominalna pompy przed modernizacją [m<sup>3</sup>/s];  
(nominal pump capacity before refurbishment [m<sup>3</sup>/s]);
- $Q_N$  – wydajność nominalna pompy po modernizacji [m<sup>3</sup>/s];  
(nominal pump capacity after refurbishment [m<sup>3</sup>/s]);
- $T$  – średni czas pracy pompowni w roku [h];  
(average annual work time [h]);
- $W_{obc}$  – średni wskaźnik obciążenia agregatu pompowego [od 0 do 1].  
(average rate of pump unit overloaded [from 0 to 1]).  
Dla analizowanych obiektów wskaźnik  $W_{obc}$  przyjęto na poziomie 0,7, jako średnie obciążenie określone na podstawie wieloletnich obserwacji.

Do oceny efektywności finansowej zmodernizowanych pompowni melioracyjnych wykorzystano metodę Life Cycle Cost (LCC) [2,4,8, 22,23], która pozwala określić rzeczywiste wyniki podjętych działań mających na celu zmniejszenie kosztów eksploatacji i utrzymania pompowni, zmierzających do ogólnej poprawy efektywności ekonomicznej w rozważanym cyklu życia, w oparciu o zależność (2):

$$LCC = K_p + \sum_{n=1}^{n=t} \frac{Ke \cdot (1 + re)^n}{\left(1 + \left(\frac{1 + in}{1 + i} - 1\right)\right)^n} \text{ [zł]} \quad (2)$$

gdzie:

- $K_p$  – koszty początkowe inwestycji (koszty modernizacji);  
(the initial cost of investment);
- $Ke$  – roczne koszty eksploatacji (utrzymania i użytkowania) pompowni;  
(annual operating costs of pumping);
- $re$  – stopa wzrostu cen energii 3% w skali roku (przyjęto wg [1]);  
(rate of increase in energy prices 3% per annum according to [1]);
- $in$  – nominalna stopa dyskonta 6% przyjęta na podstawie [13];  
(6% discount rate according to [13]);
- $i$  – stopa inflacji 3,6% przyjęta na podstawie [5];  
(3,6% inflation according to [5]);
- $t$  – kolejny rok użytkowania obiektu;  
(the following year);
- $n$  – 1...20 –kolejne lata użytkowania obiektu (n=20 lat – zakładany cykl życia pomp [12])  
(work years in whole LCC according to [12]).

Obliczenia wykonano dla okresu przed modernizacją ( $LCC_1$ ) i po wykonaniu modernizacji ( $LCC_2$ ) urządzeń, dla jednostrefowej taryfy energii elektrycznej. Koszty początkowe ( $K_p$ ) do obliczenia  $LCC$  w obu przypadkach przyjęto na poziomie kosztów modernizacji urządzeń.

W pracy przyjęto ponadto założenie, że roczne koszty utrzymania (konserwacja, obsługa itp.) pompowni są stałe, określone jako średnia wartość z analizowanego okresu lat 2010–2012. Zmianie ulega jedynie koszt użytkowania pompowni określony jako ilość zużytej energii  $E$  [kWh] potrzebnej na przepompowanie określonej objętości wody. W pracy uwzględniono również możliwy przyrost opłat za energię elektryczną  $e$  [zł/kWh] (1). W opracowaniu nie uwzględniono natomiast innych możliwości poprawy efektywności eksploatacyjnej działania pompowni.

Z uwagi na specyfikę obszaru w jakim funkcjonują poszczególne pompownie melioracyjne (występowanie okresowej lub stałej depresji), na podstawie literatury [10, 17, 21] oraz własnych obserwacji, dokonano także ich klasyfikacji na poszczególne typy użytkowania (tabela 1).

**Tabela 1.** Klasyfikacja i charakterystyka analizowanych pompowni melioracyjnych po modernizacji**Table 1.** Classification and characteristics of the analyzed land reclamation pumping station after refurbishment

Typ użytkowania pompowni Type of pump houses using	Nazwa Name	Obszar odwadniany Drained area $F_p$ [ha]	Liczba pomp Number of pumps [szt.]	Wydajność Capacity $Q_i$ [m <sup>3</sup> /s]	Moc Power $P_i$ [kW]	Wysokość podnoszenia Total Head $H$ [m]
KORYTOWE CHANNEL	ZAKRZEWO	250	2	0,50	18	2,42
	ZBĘCHY	342	2	0,50	18	2,42
OKOŁO ZBIORNIKOWE RESERVOIR	DRZECZKOWO	133	3	0,35	18	3,52
	WONIEŚĆ	45	2	0,35	18	3,54
	WOJNOWICE	144	2	0,35	18	3,54
	KĄTY	292	4	0,35	18	3,39
WAŁOWE LEVEE	WARSZEWO	2 010	5	0,50	32	4,50
	IZBICE	620	2	0,50	18	1,82
	NIEŁĘGOWO	1 383	4	0,50	32	5,66
	JANISZEWO	520	3	0,40	32	4,50
	TARNOWA ŁĄKA	2 000	4	0,50	32	4,50

### 3. Wyniki analizy

Rejonowy Oddział Wielkopolskiego Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych (RO WZMiUW) w Lesznie dla którego prowadzono analizy, jest administratorem łącznie dwunastu pompowni melioracyjnych. Stanowią one 24% ilościowego stanu ewidencyjnego wszystkich pompowni i obejmują swym zasięgiem 13% ogólnej powierzchni odwadniającej w województwie wielkopolskim. Na terenie administrowanym przez RO Leszno znajduje się łącznie 158 tys. ha użytków rolnych, z czego 25 tys. ha przypada na trwałe użytki zielone (głównie łąki). Około 1,5% (7 769 ha) trwałych użytków zielonych można użytkować tylko dzięki pracy pompowni i utrzymaniu w technicznej sprawności sieci rowów i kanałów melioracyjnych oraz wałów przeciwpowodziowych, chroniących te obszary przed zalaniem.

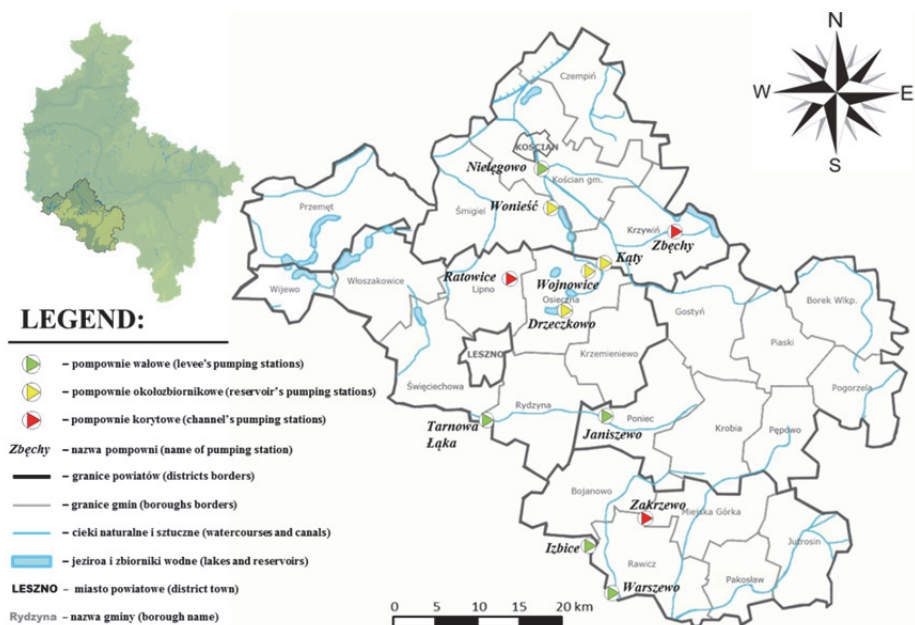
Jak przedstawiono w poprzednim rozdziale pracy analizą objęto 11 pompowni melioracyjnych na których przeprowadzono modernizację w latach 2010–2011, sklasyfikowanych w 3 grupach – pompownie korytowe, około zbiornikowe i wałowe. Ich lokalizację przedstawiono na rysunku 1, a charakterystykę po modernizacji i klasyfikację w tabeli 1.

Zasadniczą cechą pompowni korytowych jest przede wszystkim konstrukcja w układzie zwartym blokowym [17]. Oznacza to, że w pompowniach tego typu nie ma rurociągu tłocznego, a więc dodatkowych strat ciśnienia na rurociągu, a sama pompa tłoczy nadmiar wody bezpośrednio do tego samego rowu (kanału) lub ciekę nadrzędnego. Obiekty te zlokalizowane są zazwyczaj na mniejszych ciekach, gdzie na skutek ukształtowania terenu, przy wyższych stanach wody nie ma możliwości grawitacyjnego odpływu i konieczne jest pompowanie.

Pompownie okołozbiornikowe są zlokalizowane w obrębie zbiornika retencyjnego lub przeciwpowodziowego. Ich zadaniem jest przepompowywanie wody z rowów opaskowych i terenów przyległych do zbiornika.

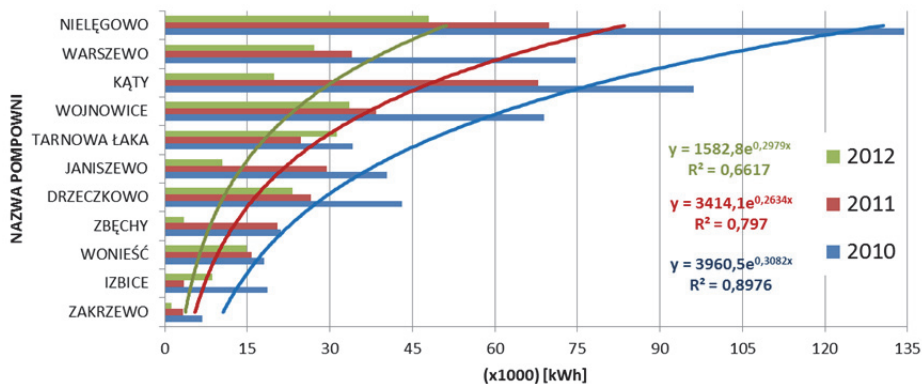
Występująca tutaj depresja ma charakter stały, gdyż poziom wody w zbiorniku jest zawsze wyższy od poziomu terenu otaczającego zbiornik. Nie ma więc możliwości grawitacyjnego odprowadzania nadmiaru wody z terenów przyległych. Pompownie wałowe są położone w obrębie wałów przeciwpowodziowych, chroniących tereny przyległe od wpływów wahań stanów wody w rzece (kanale). W okresie występowania intensywnych i długotrwałych opadów powstaje sytuacja, w której stany wody w rzece (kanale) są wyższe od poziomu terenu wokół (polder). Sytuacja taka jest określana jako depresja okresowa. Pompownie okołozbiornikowe i wałowe według istniejącej systematyki [17] są konstrukcji pół luźnej, co znaczy, że zainstalowane pompy posiadają tylko i wyłącznie rurociąg tłoczny.

Na rysunku 2 zestawiono roczne zużycie energii elektrycznej w poszczególnych pompowniach melioracyjnych w latach 2010–2012, w układzie, od obiektu z najmniejszym, do obiektu z największym sumarycznym jej zużyciem. Było ono istotnie zróżnicowane, przy czym można wskazać generalnie i co zrozumiałe, że największe zużycie odnotowano w roku 2010 – mokrym pod względem sumy opadów. Nadmienić przy tym należy, że zestawienie obejmuje całą energię elektryczną zużytą w okresie rozliczeniowym, w tym również na ogrzewanie i oświetlenie budynku pompowni. Dlatego w oparciu o dostępne dane określono średni poziom wykorzystania energii elektrycznej na proces pompowania. W analizowanym okresie lat 2010–2012 wyniósł on średnio aż 80%, co świadczy o wysokim poziomie efektywności całego procesu eksploatacji.



**Rys. 1.** Lokalizacja analizowanych pompowni melioracyjnych na obszarze RO WZMiUW w Lesznie

**Fig. 1.** Location of analyzed land reclamation pumping stations in the area of RO WZMiUW in Leszno

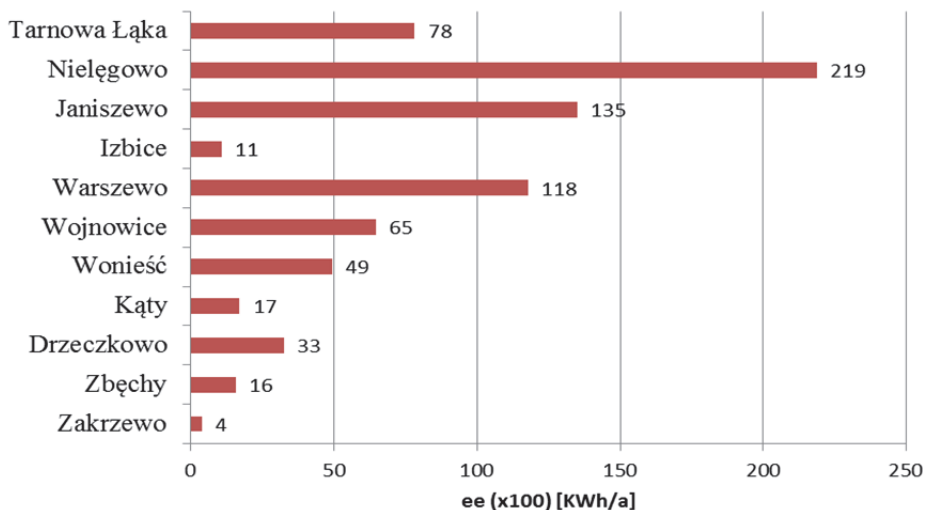


**Rys. 2.** Roczne zużycie energii elektrycznej przez analizowane pompownie melioracyjne w latach 2010–2012

**Fig. 2.** Annual electricity consumption by analyzed land reclamation pumping stations in years 2010–2012

Najwyższy, uzyskano na pompowniach: Izbice, Wonieść oraz Zakrzewo. Praktycznie 95% zużytej w nich energii elektrycznej przeznaczono na pompowanie. Najmniejszy, na jednej z największych pompowni – Tarnowa Łąka, w której aż 32% pobranej energii elektrycznej zostało zużyte na procesy nie związane z pompowaniem. Wskazuje to na istnienie dodatkowych możliwości optymalizowania zużycia energii elektrycznej i co z tym związane całkowitych kosztów eksploatacji tego obiektu.

Ocenę poprawy efektywności eksploatacji analizowanych pompowni melioracyjnych po modernizacji urządzeń wykonano na podstawie wskaźnika „*ee*”, oszacowanego opisaną w metodyce formułą (1). Im większa jego wartość (wyrażona w kWh w stosunku rocznym), tym większa efektywność energetyczna przeprowadzonych działań. Jak wynika z rysunku 2 największe roczne oszczędności energii elektrycznej po modernizacji uzyskano dla pompowni w Nielęgowie (21 900 kWh), a najmniejsze w Zakrzewie (400 kWh). Obliczona średnia wartość wskaźnika dla analizowanych obiektów wyniosła 6 800 kWh w okresie rocznym.



**Rys. 1.** Wskaźnik poprawy efektywności energetycznej „*ee*” określony dla 11 zmodernizowanych pompowni melioracyjnych

**Fig. 1.** Index of economic improvement investments “*ee*” specified for 11 modernized land reclamation pumping stations



W tabeli 2 zestawiono nakłady finansowe poniesione na modernizację urządzeń oraz średnio roczne (z lat 2010–2012) łączne koszty eksploatacji i zakupu energii elektrycznej, w analizowanych pompowniach melioracyjnych.

**Tabela 2.** Koszty modernizacji pompowni melioracyjnych oraz średnioroczne łączne koszty eksploatacji, w tym koszty zużycia energii elektrycznej

**Table 2.** Costs of retrofits' land reclamation pumping stations and the average total cost of utilization, including the cost of electricity consumption

Nazwa pompowni Name of pumping stations	Koszty modernizacji Retrofits' costs $K_p$ [tys. zł]	Średnioroczne łączne koszty eksploatacji $K_e$ , w tym energii elektrycznej $K_{ee}$ Average total cost of utilization $K_e$ , including the cost of electricity $K_{ee}$		Średnioroczne koszty jedn. eksploatacji The average annual cost of operating unit $K_{e,e}$ [zł/ha]
		$K_e$ [tys. zł]	$K_{ee}$ [tys. zł]	
ZAKRZEWO	1 395	31,1	11,8 (37,9%)	373
ZBĘCHY	1 469	43,3	15,4 (35,6%)	378
DRZCZKOWO	1 821	39,1	19,3 (49,4%)	877
WONIEŚĆ	1 360	36,3	10,8 (29,8%)	2 667
WOJNOWICE	1 548	67,2	30,7 (45,7%)	1 589
KĄTY	2 677	52,8	35,2 (66,7%)	537
WARSZEWO	3 282	154,5	34,7 (22,5%)	230
IZBICE	2 647	27,6	8,4 (30,4%)	133
NIEŁĘGOWO	2 398	79,0	56,0 (70,9%)	172
JANISZEWO	1 629	75,3	26,5 (35,2%)	435
TARNOWA ŁĄKA	2 188	91,3	29,8 (32,6%)	141
<b>RAZEM (TOTAL):</b>	<b>22 414</b>	<b>697,5</b>	<b>278,6 (39,9%)</b>	<b>-</b>

Na modernizację analizowanych pompowni wydatkowano łącznie 22,4 mln zł. Nakłady na poszczególne obiekty były istotnie zróżnicowane i wynosiły od 1,360 (pompownia Wonieść) do 3,282 mln zł (pompownia Warszewo), przy średniej 2,038 mln zł na pompownię. Średnio roczne koszty eksploatacji poszczególnych pompowni w latach 2010–2012 wynosiły od 27,6 do 154,5 tys. zł i obejmowały koszty utrzymania obiektów, w tym robót na ujęciach i rowach doprowadzających oraz koszty energii elektrycznej. Te ostatnie wynosiły od 8,4 do 56,0 tys. zł, co stanowiło od 22,5 do 70,9%, w przypadku największej pompowni Niełęgowo. Średnio rocznie na energię elektryczną w analizowanych pompowniach wydatkowano prawie 700 tys. zł, co stanowiło około 40% łącznych kosztów eksploatacji obiektów. Obliczone średnio roczne koszty jednostkowe były także zróżnicowane i wynosiły od 141 do nawet 2700 zł,

w przeliczeniu na hektar odwadnianego terenu (tab. 2). Średnio roczne koszty użytkowania i utrzymania pompowni jakie ponosi WZMiUW – Rejonowy Oddział w Lesznie stanowią obecnie nieco ponad 3% wartości poniesionych nakładów modernizacyjnych.

W oparciu o przedstawione dane obliczono wg zależności (1) koszty cyklu życia LCC dla poszczególnych pompowni, natomiast bilans ekonomiczny porównywanych wariantów eksploatacji przed i po modernizacji wykazano w oparciu o różnicę kosztów cyklu życia (3):

$$\Delta LCC = LCC_2 - LCC_1 \text{ [zł]} \quad (3)$$

gdzie:

$\Delta LCC$  – różnicowe koszty w cyklu życia (differential life cycle costs),

$LCC_1$  – koszt cyklu życia pompowni przed modernizacją (life cycle costs before refurbishment),

$LCC_2$  – koszt cyklu życia pompowni po modernizacji (life cycle costs after refurbishment).

**Tabela 3.** Koszty cyklu życia projektu przed ( $LCC_1$ ) i po ( $LCC_2$ ) modernizacji pompowni oraz uzyskane oszczędności w okresie 20 lat życia projektu ( $\Delta LCC_{20}$ ) i wartości średnio roczne ( $\Delta LCC_{ROK}$ )

**Table 3.** Life Cycle Costs before ( $LCC_1$ ) and after ( $LCC_2$ ) retrofit's pumping stations and the savings in the 20 years of the project life ( $\Delta LCC_{20}$ ) and the average annual values ( $\Delta LCC_{ROK}$ )

Typ Type	Nazwa Name	$LCC_2$ (zł)	$LCC_1$ (zł)	$\Delta LCC_{20}$ (zł)	$\Delta LCC_{ROK}$ (zł)
KORYTOWE <sup>1</sup> CHANNEL	ZAKRZEWO	1 974 165	1 954 715	19 450	973
	ZBĘCHY	2 294 310	2 241 976	52 334	2 617
OKOŁO ZBIORNIKOWE <sup>2</sup> RESERVOIR	DRZECZKOWO	2 621 900	2 549 613	72 287	3 614
	WONIEŚĆ	2 032 093	1 997 916	34 177	1 709
	WOJNOWICE	2 850 865	2 786 792	64 073	3 204
	KĄTY	3 811 654	3 711 970	99 684	4 984
WAŁOWE <sup>3</sup> LEVEE	WARSZEWO	6 132 678	5 927 233	205 445	10 272
	IZBICE	3 158 797	3 132 595	26 202	1 310
	NIEŁĘGOWO	4 206 097	3 964 673	241 424	12 071
	JANISZEWO	3 122 806	2 971 278	151 528	7 576
	TARNOWA ŁĄKA	3 906 040	3 802 676	103 364	5 168
<b>POMPOWNI KORYTOWE<sup>1</sup></b>		<b>2 134 237</b>	<b>2 098 345</b>	<b>35 892</b>	<b>1 795</b>
<b>POMPOWNI OKOŁOZBIORNIKOWE<sup>2</sup></b>		<b>2 829 128</b>	<b>2 761 573</b>	<b>67 555</b>	<b>3 378</b>
<b>POMPOWNI WAŁOWE<sup>3</sup></b>		<b>4 105 284</b>	<b>3 959 691</b>	<b>145 593</b>	<b>7 280</b>

Jak wykazały wyniki obliczeń zestawione w tabeli 3 średni całkowity koszt eksploatacji stacji pomp poniesiony w całym cyklu życia (20 lat) w porównywanych opcjach przed i po modernizacji był najwyższy dla pompowni wałowych, najniższy zaś dla pompowni korytowych.

Jednocześnie bilans ekonomiczny przeprowadzonej modernizacji wskazuje, że największe oszczędności po modernizacji uzyskano na pompowniach polderowych, najmniejsze natomiast z modernizacji pompowni korytowych. Szacuje się, że średnio roczne oszczędności z podjętych działań modernizacyjnych wyniosły dla pompowni polderowych średnio rocznie 7 280 zł, a dla pompowni korytowych 1795 zł.

Należy jednak nadmienić, że całkowite średnie koszty różnicowe  $\Delta LCC$ , określające oszczędności z przeprowadzonej modernizacji urządzeń pompowych stanowią zaledwie 5% poniesionych nakładów modernizacyjnych. Stąd możliwy do wyznaczenia prosty okres zwrotu nakładów wynosi zatem średnio 20 lat, czyli tyle na ile założono okres życia obiektu inwestycyjnego. Świadczy to o stosunkowo małej rentowności przeprowadzonych inwestycji. Z analiz wynika jednak, że średnio na pompowni zamontowane zostały 3 agregaty pompowe, gdy zaś w praktyce eksploatacyjnej korzysta się zazwyczaj przemiennie tylko z jednej pompy. Można więc stwierdzić, że czynnik ten ma najistotniejszy wpływ na uzyskane wyniki opłacalności realizacji inwestycji (wysokie koszty modernizacji).

Co ważne, analiza wykazała, że w wyniku podjętych działań modernizacyjnych obniżone zostały koszty zużycia energii elektrycznej pompowni – średnio o 13% (od 9 do 22%). Podjęte działania przyczyniły się również do zmniejszenia energochłonności procesu odwodnienia 1 ha gruntu. Dla pompowni korytowych oszczędności wyniosły 5 zł/ha/rok, dla pompowni wałowych 6 zł/ha/rok, a dla pompowni okołoziornikowych aż 24 zł/ha/rok.

Należy podkreślić, że inwestor nie zastosował innych, dodatkowych sposobów oraz możliwości zmniejszenia kosztów eksploatacji pompowni melioracyjnych [4,8,23]. Obecnie nowoczesne systemy obsługi oparte na metodach predykcyjnych wykorzystują w sterowaniu systemem melioracyjnym skomplikowane programy eksperckie, pozwalające w maksymalny sposób optymalizować prace pomp [14].

## 4. Wnioski

1. Analiza techniczno-ekonomiczna oparta na metodzie *LCC (Life Cycle Cost)* oraz wskaźniku poprawy efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia „*ee*” jest dobrym narzędziem do określania efektywności podjętych działań modernizacyjnych pompowni melioracyjnych. Obliczony bilans wykazał łączny efekt finansowy o wartości 1, 070 mln zł, co daje średnio oszczędności na funkcjonowanie i utrzymanie pompowni w kwocie 53,5 tys. zł rocznie.
2. W wyniku podjętych działań modernizacyjnych zmniejszono udział energii elektrycznej w ogólnych kosztach eksploatacji o 6%, a ich kierunek należy uznać za właściwy. Jednak rzeczywisty efekt podjętych działań na poszczególnych obiektach będzie zależał od przebiegu warunków hydrometeorologicznych na obszarze oddziaływania poszczególnych pompowni.
3. Uwzględniając dotychczasowe doświadczenia w eksploatacji pompowni melioracyjnych proponuje się dla WZMiUW w Poznaniu, RO w Lesznie następujące kierunki działania, zmierzające do bardziej efektywnego użytkowania pompowni melioracyjnych:
  - uzupełnić istniejący monitoring o pomiar i rejestr aktualnego poboru mocy w zależności od geometrycznej wysokości podnoszenia, gdyż dane te dostarczają informacji na temat aktualnego stanu urządzeń, dzięki czemu możliwa jest bardziej efektywna eksploatacja całego systemu;
  - dostosować pojemność zbiorników wyrównawczych do wydajności pompowni, tak aby jego rezerwy pozwalały na pracę pomp w okresach pozaszczytowych, o niższych stawkach taryfowych za zużytą energię elektryczną;
  - uzależnić reżim pracy pomp od rzeczywistych potrzeb wodnych i warunków przyrodniczych panujących na odwadnianym terenie, a nie od sztywnych reguł pompowania bazujących na rzędnych eksploatacyjnych;
  - na obiektach o dość stałym reżimie pracy (pompownie okołozbiornikowe) zaleca się wprowadzić predykcyjną strategię utrzymywania, pozwalającą „w rzeczywistym czasie” obserwować zmiany zachodzące w układzie

## Literatura

1. **Agencja Rynku Energii:** *Aktualizacja prognozy zapotrzebowania na paliwa i energię do roku 2030.* Ministerstwo Gospodarki. Warszawa 2011.
2. **Askin J.:** *Life cycle cost analysis for pumping systems.* WORLD PUMPS. Elsevier science. Sierpień 1998.
3. **Bykowski J., Kozaczyk P., Przybyła Cz., Sielska I.:** *Problemy eksploatacji systemów melioracyjnych Nizin Obrzańskich.* Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol. 506, 111–118 (2005).
4. **Durmus K., Alptekin Y.E., Suleyman Y.K., Fatma C.K., Salih E.A., Cenk C.:** *Energy efficiency in pumps.* Energy Conversion and Management. 49, 1662–1673 (2008).
5. **Główny Urząd Statystyczny (GUS)** *Consumer Price Index (CPI).* [http://www.stat.gov.pl/gus/5840\\_1632\\_PLK\\_HTML.htm](http://www.stat.gov.pl/gus/5840_1632_PLK_HTML.htm).
6. **Hartman M., Łowiec E. Bogusławski P. Mandrek S.:** *Pięć lat doświadczeń w automatyzacji przepompowni melioracyjnych na Żuławach, Problemy odwodnień terenów depresyjnych.* Jachranka 18–19 września 1997 r. Materiały konferencyjne IMUZ. 131–138 (1997).
7. **Henning H.:** *Kosten des Betriebes konventioneller Schöpfwerke.* Zeitschrift für Landeskultur, H2. 1970.
8. **Hovstadius G.:** *The Real Price of Pumping.* PUMPS&SYSTEMS, Randall Publishing, January 2002.
9. **Jędral W.:** *Efektywność energetyczna pomp i instalacji pompowych.* PEMP, Warszawa 2007.
10. **Klugiewicz J.:** *Polderyzacja terenów depresyjnych.* Towarzystwo Wolnej Wszechnicy Polskiej, 451. Warszawa 1992
11. **Kaczorowska Z.:** *Najsuchsze i najwilgotniejsze pory roku w Polsce w okresie 1900–1959.* Prz. Geof., 7/15, 3 (1962).
12. **Marcilonek S.:** *Eksploatacja urządzeń melioracyjnych.* PWRiL, Warszawa 1979.
13. **Ministerstwo Rozwoju Regionalnego:** *Wytyczne w zakresie wybranych zagadnień związanych z przygotowaniem projektów inwestycyjnych.* Warszawa 2011.
14. **Nien-Sheng H., Chien-Lin H.; Chih-Chiang W.:** *Intelligent real time operation of a pumping station for an urban drainage system.* Journal of Hydrology. 489, 85–97 (2013).
15. **Nyc K., Pokładek R.:** *Eksploatacja systemów melioracyjnych podstawą racjonalnej gospodarki wodnej w środowisku przyrodniczo-rolniczym.* Współczesne problemy Inżynierii Środowiska. XIV. Wrocław 2009.
16. **Nyc K., Pokładek R.:** *Współczesne problemy eksploatacji w melioracjach.* Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie. Falenty, 4, 31–46 (2004).

17. **Prochal P.:** *Podstawy melioracji rolnych t. II.* Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. 418, Warszawa 1987.
18. **Przybyła Cz., Bykowski J., Marcinkowska R.:** *Efektywność robót konserwacyjnych urządzeń melioracyjnych w programie „Rowy”.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection). 14, 834–843 (2012).
19. **Przybyła C., Bykowski J., Mroziak K., Napierała M.:** *Dynamika zmian stanów wód gruntowych i zapasów wody w glebach polderu Zagórów w zasięgu oddziaływania budowli hydrotechnicznych.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection). 15, 793–806 (2013).
20. **Przybyła Cz, Kozaczyk P., Sielska I, Bykowski J., Mroziak K.:** *Zmiany uwilgotnienia gleb polderu Nielegowo w okresach wegetacyjnych lat 2005 do 2007.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection). 11 899–911 (2009).
21. **Przybyła C., Kozdrój P., Bykowski J., Napierała M., Mroziak K.:** *Techniczno-ekonomiczna analiza efektywności energetycznej pompowni melioracyjnych.* Inżynieria Ekologiczna. Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej. 39, 114–123 (2014).
22. **Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems.** Hydraulic Institute/Europump, N. Jersey 2001.
23. **Reynolds L.K., Bunn S.:** *Improving energy efficiency of pumping systems through real time scheduling systems.* Integrating Water Systems. 325–329 (2010).
24. **Świdorski M.:** *Analiza LCC narzędziem wspomagającym ocenę projektów inwestycyjnych związanych z technika pompową.* IX FORUM Użytkowników Pomp, Szczyrk 2003.
25. *Prawo wodne Dz.U. 2001 Nr 115 poz. 1229. USTAWA z dnia 18 lipca 2001 r.*
26. **Wielkopolski Internetowy Serwis Informacji Agrometeorologicznej (WISIA):** <http://www.agrometeo.pl>.

## **Energy Efficiency Assessment of Retrofits' Land Reclamation Pumping Stations**

### **Abstract**

Great importance of land reclamation pumping stations in flood protection makes that operation and maintenance this kind of objects in the most cases is a priority. However, due to the significant resources allocated each year for maintenance a full technical efficiency of pumping stations, writers together

with the Department of Drainage and Water Administration in Poznan, Regional Department in Leszno (WZMIUW, RO Leszno), the efforts to assess the possibility of improving the effectiveness of these devices were taken.

The study was conducted in 2010–2012, when the 11 from among 12 existing pumping station made a complete renovation, including replacing all pumps, power supply and control system. In accordance with the strategy of the Polish Energy Policy we are obligated until 2030 to reduce energy consumption and increase energy yield of all production processes and supply about 15%. Therefore, the authors' intention was a series of measures seeking to optimize work of the existing pumping stations. In this case, the results of retrofitting achievement was compared by the use of index of economic improvement investments (“*ee*”). In this way, the present results of carried investment was determined.

In calculations the model Life Cycle Cost (LCC) developed jointly by Europump and Hydraulic Institute were taken advantage. This model allows to determine the actual effects of the activities carried out throughout the whole life of pumping system (20 years), differentiating and comparing the results. Analyses were performed with respect to the proposed classification and distribution this objects on levee's, reservoir's and channel's pumping station.

According to research, electricity costs account for 40% of the total expenditures carried by WZMIUW, RO Leszno. As a result of modernization the costs of electricity in total operating costs was reduced by 6%.

The analysis conducted for land reclamation pumping stations point to a need for more detailed control of these facilities, including the introduction of the current monitoring continuous recording of rainfall and water level control inlet and the water level in the receiver. Obtained information in this way (with a certain advance) would allow to conduct a more optimal management of water in the catchment area of the pumping station, and thus on their a more efficient operation.

**Słowa kluczowe:**

efektywność energetyczna pomp, efekty modernizacji,  
Koszty w Cyklu Życia (LCC)

**Keywords:**

pumps energy efficiency, retrofits' effects, Life Cycle Costs (LCC)