

ZAJĄC Paweł<sup>1</sup>

## METODA OBNIŻENIA ENERGOCHŁONNOŚCI PRACY WÓZKA WIDLÓWEGO

*Zaprezentowano zastosowanie metodę obliczania energochłonności wózka widłowego w oparciu o jego charakterystykę napędową do określania jego optymalnej z punktu widzenia energochłonności prędkości jazdy. Wyliczoną energochłonność przeliczano wprost na wydatki przedsiębiorstwa na obsługę transportu bliskiego.*

## WORK METHOD ENERGY CONSUMPTION IN FORKLIFT

*Presents the application of the method of calculating the energy consumption of a forklift truck based on its driving characteristics to determine the optimum from the standpoint of energy consumption in speed. Calculated energy consumption expenditures counted directly on the company to support handling.*

### 1. WSTĘP

Efektywność energetyczna procesów wytwarzania, transportu dóbr, przesyłu i użytkowania energii znajduje się w centrum uwagi działań badawczo rozwojowych.

O ile wyraz w prawodawstwie oraz działaniach podejmowanych przez instytucje państwowe i organizacje międzynarodowe znajdują te ostatnie, to problematyka oceny energetycznej procesów składowania dóbr nie posiada systemu oceny energochłonności, norm jak również wytycznych w zakresie projektowania logistycznych obiektów magazynowych.

Temat energochłonności łączony jest z zeroenergetycznymi budowlami, pojazdami samochodowymi. W pracy porusza się problem zużycia energii w procesie magazynowym, która jest wymagana do zasilania maszyn i urządzeń potrzebnych w działaniu procesowym jak również uwzględnia się energię zużywaną przez procesy biurowe, magazynowe oraz inne.

Przedstawiona ocena energochłonności może być wykorzystywana w indywidualnych przypadkach, jednak sugeruje się wykorzystanie jej wraz z wybraną metodą projektowania logistycznych systemów magazynowych opisanych w literaturze.

Obiekty magazynowe w porównaniu z przemysłowymi, np. fabrykami, mają przeważnie mniejsze zużycie energii, jednakże w tej kwestii ciągle jest miejsce na poprawę i można wiele zrobić.

---

<sup>1</sup>Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, ul. I. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław

Szacuje się, że oszczędności na energii elektrycznej mogą sięgać 40 proc. oraz kolejnych 48 proc. na gazie w porównaniu do standardowego magazynu zakładając 25-letni cykl życia nieruchomości magazynowej. Taki wynik jest możliwy do uzyskania dzięki szczegółowej analizie naturalnych czynników jakie występują w obrębie i w okolicach działki.

Oszczędność energii w osiąga się zwykle dzięki:

- wykorzystanie energii słonecznej do wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej;
- wydajnemu energetycznie oświetleniu w biurach połączonemu z czujnikami ruchu;
- wydajnemu energetycznie oświetleniu w magazynach połączonemu z czujnikami ruchu oraz dobrym doświetleniem światłem dziennym;
- podwyższonej o 25 proc. szczelności elewacji i wydajności termalnej;
- naturalnej wentylacji;
- zoptymalizowaniu dziennego oświetlenia w biurach, które pomaga zredukować zużycie światła sztucznego;
- odzyskiwaniu wody deszczowej i ponownemu jej wykorzystywaniu;
- odzyskiwaniu ciepła wydzielanego przez urządzenia pracujące w obiekcie jak również ludzi oraz ciepło wydzielane przez składowane w obiekcie towary (np. owoce);
- zastosowaniu urządzeń umożliwiających ograniczenie zużycia wody w sanitariatach.

Prowadzi się prace w kierunku poprawy sprawności energetycznej oraz redukcji emisji CO<sub>2</sub> w istniejących terminalach, warsztatach i magazynach. Bardzo ważnym zadaniem jest kontrola realizacji trwałych rozwiązań ekologicznych we wszystkich budowanych i modernizowanych obiektach.

„Energochłonność jest to stosunek energii włożonej w określone działanie produkcyjne, eksploatacyjne itp. do efektu działania. Określa, ile należy włożyć energii pierwotnej do uzyskania np. jednego samochodu, lokomotywy, przemieszczenia ładunku na długość jednego kilometra itp.”

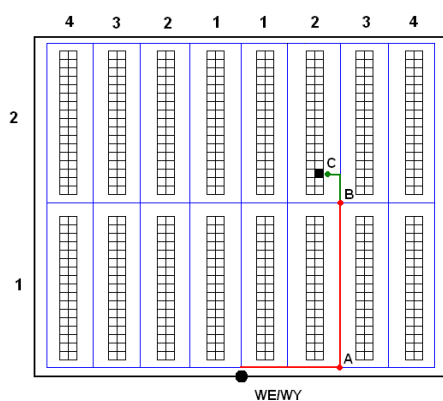
Minimalizacja energochłonności odgrywa bardzo ważną rolę we współczesnym świecie, gdyż wiąże się ona bezpośrednio z wykorzystaniem energii. Wraz z rozwojem cywilizacji zwiększa się również zużycie energii przez człowieka. Jest to głównie uwarunkowane rozwojem gospodarki i techniki, gdyż zasadniczą rolę przy zużyciu energii odgrywają maszyny i transport.

„Wyróżniamy 3 aspekty minimalizacji energochłonności w gospodarce i kraju [5, 6]:

- aspekt techniczny energochłonności dotyczy tak procesów produkcyjnych, jak i eksploatacji wyrobów przemysłowych w transporcie, rolnictwie, w gospodarstwach domowych, a także w budownictwie;
- aspekt organizacyjny minimalizacji energochłonności odgrywa bardzo istotną rolę, szczególnie w tych krajach, gdzie organizacja produkcji i eksploatacji obiektów pozostawia wiele do życzenia. Dobra organizacja wymaga w aspekcie zużycia energii znacznie mniejszych nakładów od działań inwestycyjnych;
- aspekt ekonomiczny zmniejszania energochłonności polega na stworzeniu stosunków ekonomicznych, sprzyjających stałemu zmniejszeniu energochłonności w przychodzie narodowym.” [6]

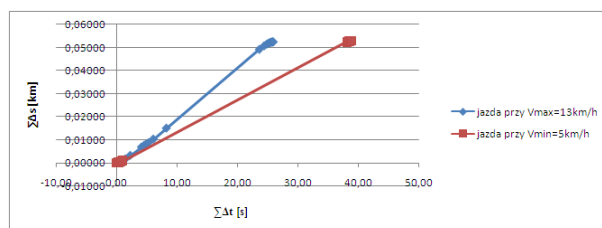
## 2. OBLICZENIA ENERGII

W referacie zastosowano do obliczeń pracy za pomocą modelu [1, 5]. Model pozwala na podstawie charakterystyki napędowej dla zadanej trasy wózka wyliczyć zużyty energię. Skupiono się na dojeździe do jednego, dowolnie wybranego pola odkładczego, jednak model pozwala wyliczyć trasę dla dowolnie wybranego pola odkładczego. Wybrano lokalizację widoczną na rysunku 1. Obliczenia prowadzono dla dwóch prędkości wózka ( $V$  minimum i  $V$  maksimum) dla dwóch wybranych wózków widłowych [2,3,4].

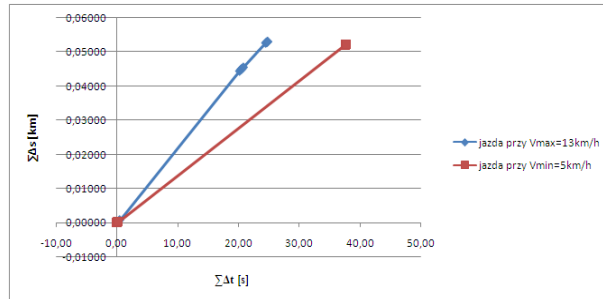


Rys. 1. Dojazd z punktu. WE/WY do wybranego pola odkładczego. Opracowanie własne.

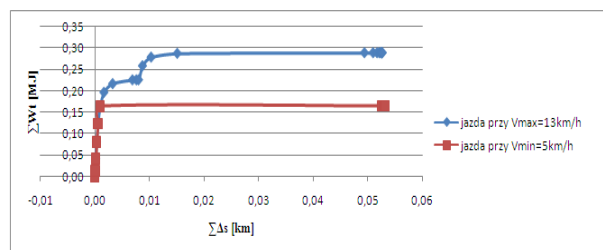
Dla ilustracji wyników, poszczególne zależności przedstawiono na poniższych wykresach.



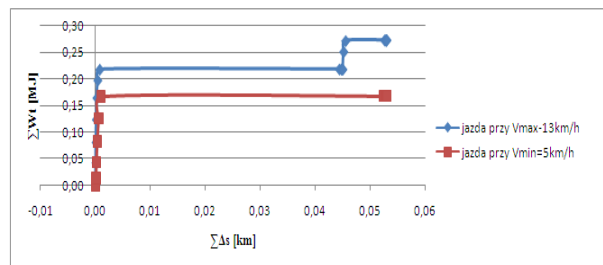
Rys. 2. Zależność przebytej drogi w czasie przez wózek z ładunkiem. Opracowanie własne.



Rys. 3. Zależność przebytej drogi w czasie przez wózek bez ładunku. Opracowanie własne.



Rys. 4. Zużycie energii na odpowiednich odcinkach trasy podczas jazdy wózka z ładunkiem. Opracowanie własne.



Rys. 5. Zużycie energii na odpowiednich odcinkach trasy podczas jazdy wózka bez ładunku. Opracowanie własne.

Wykresy zamieszczone na rysunkach 2 i 3 wskazują, iż podczas jazdy przy minimalnych prędkościach czas pracy wydłuża się dwukrotnie, w porównaniu do poruszania się tego samego wózka przy maksymalnych prędkościach. Należy jednak przeanalizować, czy czas ten nie przekracza czasu przeznaczanego na jednostkę paletową. W tym celu należy wyliczyć ile wózków widłowych potrzeba przy danych założeniach oraz jaki czas przypadnie na jednostkę paletową. Z wykresów 4 i 5 wynika natomiast fakt, iż zużycie energii w tym przypadku jest również znacznie mniejsze, a dzięki temu mniejsze są również koszty poniesione przez przedsiębiorstwo. Tabela 1 przedstawia zestawienie

wyników odnoszące się do kosztów, czasu, zużytej energii oraz kosztów związane z przejazdem wózka przy różnych prędkościach.

Tabela 1. Zestawienie wyników. Opracowanie własne.

	$\Sigma Wt$ [MJ] z ładunkiem	$\Sigma Wt$ [MJ] bez ładunku	$\Sigma Wt$ [kWh] z ładunkiem	$\Sigma Wt$ [kWh] bez ładunku	koszt przejazdu* [zł]	$\Sigma \Delta t$ [s] z ładunkiem	$\Sigma \Delta t$ [s] bez ładunku
Vmax	0,28929	0,27331	0,08100	0,07653	0,02518	25,94945	24,77567
Vmin	0,16475	0,16836	0,04613	0,04714	0,01551	38,84670	37,70756
RÓŻNICA	0,12453	0,10495	0,03487	0,02939	0,00967	-12,89725	-12,93190

\*Przyjęto, że koszt zużycia energii elektrycznej wynosi 0,3219zł/ 1kWh. [18]

Z tabeli 1 wynika, że najlepszym rozwiązaniem dla tego przypadku jest poruszanie się wózka widłowego z minimalną prędkością, czyli 5km/h. Czas w jakim wózek widłowy pokonuje tą trasę jest mniejszy niż bufor czasowy przypadający na jednostkę paletową, dlatego też jest to rozwiązanie niosące za sobą najmniejsze koszty, a jednocześnie nie zakłócające organizacji i pracy magazynu.

Na potrzeby pracy został stworzony algorytm postępowania, pozwalający wyliczyć koszt zużytej energii oraz ilość pracujących operatorów wózków widłowych. Algorytm ten został zaprezentowany poniżej.

- KROK 1: Wyliczenie całkowitej trasy przejazdu wózków widłowych przy załadunku i rozładunku wszystkich możliwych miejsc paletowych w magazynie.
- KROK 2: Wyliczenie miejsc paletowych w magazynie.
- KROK 3: Wyliczenie średniej trasy dojazdu do pola odkładczego.
- KROK 4: Wyliczenie koniecznej trasy do pokonania na podstawie dziennego przepływu paletowego magazynu.
- KROK 5: Wyliczenie średniej trasy dojazdu do pola odkładczego.
- KROK 6: Porównanie wyników odnoszących się do kosztów zużytej energii oraz liczby operatorów.

Dalej podano przykładowe wyniki dla dwóch różnych prędkości – tabela 2.

Tabela 2. Zestawienie różnicy kosztów i zużytej energii. Opracowanie własne.

	wartość	jednostka	wartość	jednostka	
	V=5 km/h		V=8 km/h		
trasa całkowita	525888	m	525888	m	
ilość miejsc paletowych w magazynie	1632	szt.	1632	szt.	
trasa konieczna do pokonania	533502,14	m	533502,14	m	
dzienny przepływ jednostki paletowej	1656	szt.	1656	szt.	
średnia trasa dojazdu do pola odkładowego	322,24	m	322,24	m	RÓŻNICA
ilość potrzebnych wózków widłowych	10	szt.	7	szt.	3
zużyta energia [okres 1 dnia]	888341,85	MJ	1487645,79	MJ	599303,93
koszt obsługi magazynu [okres 1 dnia]	81834,05	zł	137041,93	zł	55207,88

Należy jednak zwrócić uwagę, iż jest to minimalna liczba operatorów, ponieważ w obliczeniach pominięto wszelkie dodatkowe operacje wykonywane przy pomocy pojazdów- pod uwagę wzięto jedynie „czysty” przejazd do wskazanego adresu oraz powrót.

Jak zostało wcześniej wspomniane, należy jeszcze sprawdzić, czy czas, w jakim wózek zrealizuje zlecenie, nie przekracza buforu czasowego przeznaczanego na jednostkę

paletową. Ponieważ czas pełnego cyklu przejazdu wózka w obu przypadkach nie przekracza wyliczonego buforu czasowego, dlatego też oba rozwiązania są dopuszczalne. Na podstawie algorytmu przedstawionego w punkcie 5, wyliczono bufor czasowe dla różnych prędkości. Wyniki przedstawiono w tabelach 3 i 4.

*Tabela 3. Bufor czasowy przeznaczony na jednostkę paletową dla  $V_{min}=5$  km/h.  
Opracowanie własne.*

ZAŁOŻENIA ODNOŚNIE DOSTĘPNYCH ZASOBÓW		
Ilość operatorów pracujących podczas jednej doby	10	szt
Ilość zmian pracy na dobę	3	
Ilość godzin pracy na jednej zmianie	7,5	h
Liczba dni roboczych w roku	302	
Wielkość obrotu magazynowego jednostek ładunku paletowego w roku	500000	szt
Wielkość obrotu magazynowego jednostek ładunku paletowego dziennie	1656	szt
Bufor czasowy przypadający na jedną paletę	489,24	s
Czas pełnego cyklu przejazdu wózka	464,25	s

*Tabela 4. Bufor czasowy przeznaczony na jednostkę paletową dla  $V_{min}=8$  km/h.  
Opracowanie własne.*

ZAŁOŻENIA ODNOŚNIE DOSTĘPNYCH ZASOBÓW		
Ilość dostępnych wózków	7	szt
Ilość zmian pracy na dobę	3	
Ilość godzin pracy na jednej zmianie	7,5	h
Liczba dni roboczych w roku	302	
Wielkość obrotu magazynowego jednostek ładunku paletowego w roku	500000	szt
Wielkość obrotu magazynowego jednostek ładunku paletowego dziennie	1656	szt
Bufor czasowy przypadający na jedną paletę	342,47	s
Czas pełnego cyklu przejazdu wózka	312,68	s

Nie zawsze zredukowanie czasu przejazdu do minimum będzie niosło za sobą mniejsze koszty. Tabela 4 przedstawia bowiem, jak dla przykładowego przedsiębiorstwa prezentuje się rozkład kosztów w oparciu o dobór różnych prędkości wózków widłowych. W tym przypadku przy mniejszych prędkościach zużycie energii będzie mniejsze, a różnica przy zatrudnionych pracownikach nie będzie aż tak duża. Zaoszczędzone koszty związane ze zmniejszeniem zużytej energii w pełni wystarczą na pokrycie kosztów dodatkowych.

Opracowany algorytm pozwala dowolnemu przedsiębiorstwu wyliczyć najlepsze dla niego rozwiązanie w oparciu o wymiary magazynu i regałów, ilości miejsc paletowych oraz rocznego obrotu paletowego. Jak zostało zaprezentowane w tabeli 4, nie zawsze zmniejszenie prędkości obsługiwanych prędkości niesie za sobą zmniejszenie kosztów, bowiem w przedstawionym przykładzie wyszło, jednak w tym przypadku widać, iż jest to

prawdą, bowiem wybór większych prędkości byłby rozwiązaniem opłacalnym tylko wówczas, gdyby pracownicy otrzymywali wynagrodzenie w wysokości minimum 8 zł/h.

W tym przypadku potwierdzono, że większe prędkości będą niosły za sobą mniejsze koszty, gdyż potrzebna ilość pracowników do obsługi magazynu przy większych prędkościach potrzebuje mniejszych nakładów finansowych.

### 3. WNIOSKI

Obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem systemu obliczeniowego, który został napisany na potrzeby pracy: może on wyliczyć liczbę wózków widłowych o podanej charakterystyce potrzebnych, aby zrealizować konkretne zadanie, oraz w przypadku wariantowego - które rozwiązanie jest najlepsze, jeżeli chodzi o czas i koszty realizacji zadania. Informacjami koniecznymi do podania są następujące dane:

- odległość między ścianą a brzegiem regału;
- odległość między ścieżkami transportowymi a regałem;
- szerokość pól odkładczych;
- głębokość pól odkładczych;
- wysokość położenia pierwszego pola;
- wysokość bezpieczeństwa;
- masa ładunku;
- masa wózka;
- wymiary ładunku;
- prędkość maksymalna;
- prędkość na zakrętach;
- droga hamowania;
- ilość kolumn;
- ilość wierszy;
- ilość pól odkładczych w poziomie;
- ilość pól odkładczych w pionie;
- wypełnienie tabeli odnoszącej się do wyboru lokalizacji;
- wypełnienie tabeli odnoszącej się do lokalizacji punktu WE/WY;
- wskazanie, z której strony odbędzie się dojazd wózka widłowego do pola odkładczego;
- wskazanie wartości FN (V) wybranego wózka widłowego dla danych prędkościach.

W referacie przedstawiono rozwiązania dla pracy wózków widłowych w formie ciągłej, jednak stworzony system jest w stanie zaprezentować rozwiązanie dla krótszego, jednorazowego przejazdu.

Zmniejszenie kosztów związanych z pracą magazynu prowadzi do zwiększenia zysku całego przedsiębiorstwa. Praca, jaką wykonuje wózek widłowy równa jest zużyciu energii potrzebnej do wykonania konkretnego działania. Jak zostało już wspomniane, dążąc do osiągnięcia zużycia jak najmniejszej ilości energii, należy przede wszystkim dobrze wybrać odpowiedni pojazd, wyznaczyć jego trasy przejazdu oraz prędkości z jaką będzie się poruszał.



Możliwość zmniejszenia kosztów w magazynie wiąże się również z doбором odpowiedniej liczby wózków widłowych oraz pracujących przy nich operatorów. Jak wynika z podanych przykładów, różnica kosztów zużytej energii osiąga pewne wartości i nie zawsze zmniejszenie prędkości, które powoduje mniejsze zużycie energii, jest bardziej opłacalne.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bujak A.: „Innowacyjność i innowacyjne rozwiązania w logistyce”, Czasopismo LOGISTYKA 3/2011, Poznań, 2011
- [2] Grzybowska K.: „Gospodarka zapasami i magazynowaniem”. Wydawnictwo Difin, Warszawa, 2009.
- [3] Korzeń Z.: „Logistyczne Systemy Transportu Bliskiego I Magazynowania” T.1, Instytut Logistyki I Magazynowania w Poznaniu, Poznań, 1998.
- [4] Korzeń Z.: „Ekologistyka”. Wydawca: Instytut Logistyki I Magazynowania, Poznań, 2001.
- [5] Perek K.: „Organizacja i zarządzanie magazynem z uwzględnieniem energochłonności systemu - wykorzystanie pracy urządzeń pod kątem uzyskanie największego zysku“, Praca Politechniki Wrocławskiej, niepublikowana, Wrocław 2011.
- [6] Stokłosa J.: „Systemy przewozu pojazdów transportem intermodalnym z poziomym przeładunkiem – porównanie”, Logistyka nr 2/2010, ISSN 1231-5478.