

Paweł ZAJĄC*

METODY ENERGETYCZNE W OPTYMALIZACJI SYSTEMÓW MAGAZYNOWYCH

W referacie omówiono możliwości optymalizacji systemów logistycznych transportowo-magazynowych z uwzględnieniem energii wszędzie tam, gdzie ona występuje i zachodzi jej wymiana. Założono, że system transportowo-magazynowy to: element systemu logistycznego, składający się z budynku, miejsca, gdzie są składowane jednostki ładunkowe, wyposażone w regały bądź nie, sprzętu pozwalającego przemieszczać jednostki ładunkowe, ludzi obsługujących urządzenia i pracujących fizycznie. Optymalizacja zawiera w sobie elementy integracji: technologii składowania z transportem wewnętrznym oraz wymianą informacji.

Słowa kluczowe: logistyka, system, transportowo-magazynowy

1. WPROWADZENIE

W każdej dziedzinie życia gospodarczego zwraca się uwagę na energochłonność, czyli zużycie przez systemy techniczne energii w czasie realizowania wymaganych funkcji i procesów. Najczęściej realizuje się to poprzez monitorowanie zużycia: paliw, gazu, prądu oraz ciepła (energii elektrycznej i energii cieplnej), jak również pracy ludzkiej. Przykładem może być obecnie systematyczne zastępowanie żarówek żarowych oświetlenia – jarzeniowymi. Ponadto obserwuje się „kojarzenie” gospodarki energią cieplną i elektryczną, czyli rozwijanie techniki kogeneracji w systemach logistycznych. „Ekologiczne działanie” przestaje być wystarczającym, gdyż nie tylko interesujące jest, jak dużo w gospodarce wytwarza się odpadów, czy na jakim poziomie jest recykling, ale także poziom emitowania hałasu, odprowadzania drgań w ekosystemie oraz w jakim zakresie system techniczny obciąża środowisko podczas swojego cyklu życia np. emisją ciepła czy szkodliwych substancji, oraz w jakim zakresie po zakończeniu pracy obciąża system ekologiczny. Coraz więcej uwagi poświęca się pojęciu „cykl życia” w kontekście systemu i ten cykl życia ulega wydłużaniu i rozszerzaniu. Interesujące jest analizowanie przez firmy produkujące samochody przewidywanego

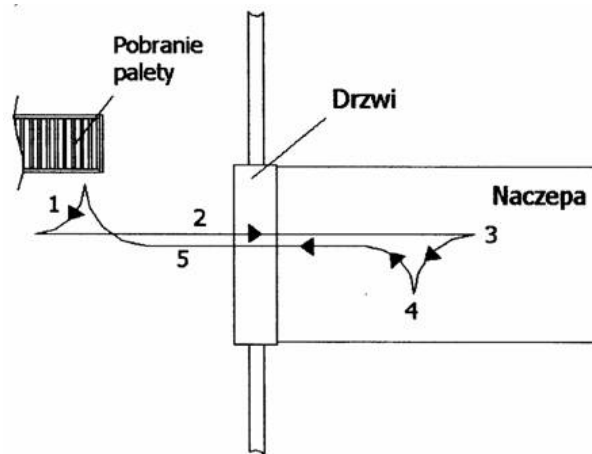
* Dr inż. Paweł Zajac, Politechnika Wroclawska

stopnia obciążenia przez pojazd w okresie eksploatacji środowiska, szacowanego obecnie na poziomie 35 ton różnych substancji.

Można zauważyć, że poszukuje się oszczędności energii wszędzie tam, gdzie ona występuje i zachodzi jej wymiana – również w systemach logistycznych.

Prawodawstwo Unii Europejskiej przyjęło w Dyrektywie redukcje emisji dwutlenku węgla do atmosfery, zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii i oszczędności energetyczne.

Przyjmuje się, że magazyn jako system t-m i element systemu logistycznego składa się z budynku, miejsc, gdzie są składowane jednostki ładunkowe, wyposażone w regały bądź nie, sprzętu pozwalającego przemieszczać jednostki ładunkowe. W procesie przemieszczania jednostek ładunkowych wykorzystuje się: wózki, przenośniki i układnice. Poszczególne procesy wymagają „inwestycji” energii w funkcji stosowanych systemów automatycznej identyfikacji oraz elektronicznej wymiany informacji. Przykładowy schemat systemu t-m pokazano na rysunku 1. Wózek zawsze wraca do punktu 1 – punktu zdawczo-odbiorczego. Zastosowanie w tym układzie terminala przenośnego powoduje, w zależności czy będzie on ze stacją bazową czy radiowy, że operator wózka widłowego może łączyć poszczególne polecenia w trasy poprzez multiplikowanie cykli prostych; można to uzyskać poprzez eliminowanie pustych przebiegów – cyklu 5.



Rys. 1. Schemat trasy wózka widłowego dla przykładowego terminala z tzw. służą towarową: 1– pobranie jł i skręt tyłem; 2 – przewóz ładunku do naczepy; 3 – odłożenie jł; 4 – nawrót; 5 – powrót wózka pustego do punktu zdawczo-odbiorczego.

Jeśli jł zostanie przemieszczona przez wózek elektryczny widłowy z przenośnika wałkowego na naczepę, na poziomym froncie przeładunkowym, to bilans energii wygląda następująco:

- Dojazd do jednostki ładunkowej – wydatek energii kinetycznej,
- Podniesienie karetki widel – wydatek energii potencjalnej,
- Dojazd do palety – wydatek energii kinetycznej,
- Podniesienie jł – wydatek energii potencjalnej,
- Opuszczenie jł na wysokość transportową, – „oddanie” energii przez jł,
- Przejazd z wycofaniem do naczepy – wydatek energii kinetycznej,
- Opuszczenie jł – „oddanie” energii potencjalnej,
- Wycofanie i przejazd wózka do boksu dla wózków – wydatek energii kinetycznej.

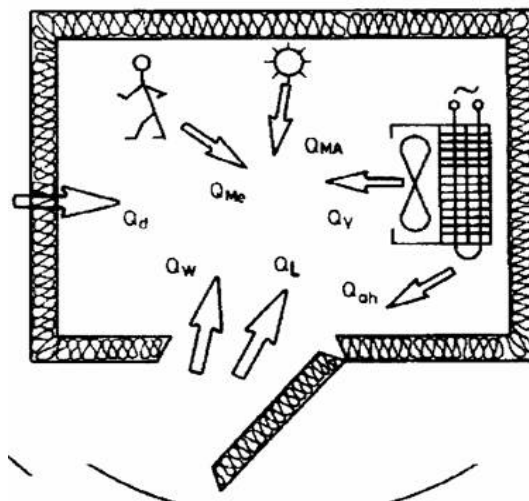
Dokładniejsza analiza wykazuje, że w procesach rzeczywistych energia nie jest tracona (nie chodzi tu bynajmniej o prawo zachowania), lecz przekształcana do innej postaci, mniej nadającej się do podtrzymywania procesów. Przykładem tego zjawiska jest np. proces pobrania jł z podłogi samochodu na froncie przeładunkowym na wejściu do magazynu i odłożenie jej do gniazda w regale na poziomie wybranego piętra. Energia zużyta na transport pionowy jł zostaje częściowo odzyskana w momencie jej wyprowadzania z regału, pomniejszona jedynie o energię potrzebną do powtórnego podniesienia karetki widel. W tym procesie jł działa jak akumulator energii.

Jeżeli przyjmiemy przykładowy magazyn pokazany schematycznie na rys. 2. można przyjąć, że bilans energii na podstawie równania (1), wynosi Q [Wh],

$$Q = Q_d + Q_w + Q_w + Q_L + Q_V + Q_{ah} + Q_{Ma} + Q_{Me} + Q_S \quad (1)$$

gdzie:

- Q_d – ciepło przenikające przez ściany, sufit i podłogę komory chłodniczej;
- Q_w – ciepło odprowadzone od chłodzonego towaru;
- Q_w – ciepło odprowadzone od towaru;
- Q_L – ciepło oddane przez powietrze, które zostało wprowadzone do wnętrza komory w sposób niezamierzony;
- Q_V – ciepło związane z pracą wentylatora chłodnicy powietrza;
- Q_{ah} – ew. ciepło podczas prowadzenia odszraniania;
- Q_{Ma} – ciepło wydzielane przez oświetlenie, maszyny i podobne urządzenia znajdujące się w magazynie;
- Q_{Me} – ciepło wydzielane przez ludzi;
- Q_S – ciepło stanowiące rezerwę ze względu na nieprzewidziane zmiany obciążenia cieplnego magazynu.



Rys. 2. Bilans energii w przykładowym magazynie.

Równanie (1) nie uwzględnia np. ciepła, które mogłoby być odzyskiwane w procesie wentylacji poprzez odpowiednie urządzenia, kierowane do odbiorników ciepła, ponadto ciepło skraplania uznaje się jako odpadowe w czasie pracy urządzenia chłodniczego (2), a mogłoby w zupełności wystarczyć, aby np. w procesie technologicznym mogła być podgrzewana woda użytkowa.

Potrzebne jest nowe spojrzenie na problemy optymalizacji systemów t-m, które będzie uwzględniało ww. zagadnienia. W literaturze można znaleźć metody wielokryterialne optymalizacji tras przejazdów/przemieszczeń. Tak więc pojawia się potrzeba wprowadzenia nowej wielkości w celu scharakteryzowania rozpatrywanych przemian energii.

W tym kontekście przestaje być wystarczającym uwzględnianie przy doborze elementów systemu t-m tylko i wyłącznie czynników kosztowych, technicznych. Można stwierdzić, że będzie to wysoce niewystarczające.

Z dotychczasowej praktyki wiadomo już, że błędy popełnione na etapie projektowania są trudne do naprawienia, co w konsekwencji powoduje stały wzrost kosztów eksploatacji. W świecie aktualnie funkcjonujących na ten temat poglądów, jakościową ocenę kosztów eksploatacji wyrobów lub w szerszym zakresie: systemów technicznych na etapie projektowania należy wiązać z takimi czynnikami jak:

- Przyjęty model zapewnienia eksploatacyjnej jakości systemu.
- Przyjęta strategia promocyjna inwestora dotycząca walorów eksploatacyjnych tworzonego systemu.
- Kwalifikacja grupowa tworzonego systemu, wynikająca z przyjętej pragmatyki jego eksploatacji.

Przydatność do eksploatacji to głównie problem techniczny projektanta optymalizującego system w celu uzyskania minimalnych kosztów jego budowy i obniżającego jakość na tyle, aby nie odbiło się to na wynikach eksploatacyjnych i nie spowodowało reklamacji ze strony inwestora. Dodatkowo należy tu zaakcentować problem trafności przeznaczenia wpływającego na optymalizację systemu logistycznego transportowo-magazynowego oraz zadowolenia inwestora, który będzie oczekiwał rozwiązań uwzględniających minimalizację kosztów eksploatacji, podwyższone bezpieczeństwo i niezawodność.

Swego rodzaju pogodzeniem racji technicznych, ekonomicznych, społecznych (ergologia, ekologia, bezpieczeństwo) są ogólnie przyjęte na świecie Normy Jakości, ponadto zakwalifikowanie systemu do odpowiedniej grupowej kwalifikacji systemu technicznego. Zazwyczaj systemy logistyczne t-m są zaliczane do grupy: „system zaprojektowany w taki sposób, aby jego elementy konstrukcyjne były wymieniane podczas obsługi profilaktycznej”.

Rozwiązania projektowe pomimo tych determinant bardzo często opierają się na intuicji bądź wieloletnich doświadczeniach poszczególnych producentów w tworzeniu systemu dla „statystycznego inwestora”. Tendencje światowe wykazują ciągle skracanie nominalnego okresu życia systemów technicznych. Nowe systemy powstają najczęściej nie poprzez znaczącą poprawę istniejących rozwiązań w oparciu o wnioski wynikające z eksploatacji, lecz na podstawie generalnej zmiany koncepcji - filozofii całego systemu, powodowanej nowymi wymogami: ergonomii, ekologii, oszczędności energii, humanizacji pracy, robotyzacji itp.

Systemy t-m podlegają radykalnym, zdecydowanym zmianom technologicznym – podlegającym reengineeringowi, nie benchmarkingowi

Skutki kosztowe potencjalnych zachowań i efekty eksploatacyjne systemu muszą być przewidywalne już na etapie projektowania i uwzględniane na etapie wdrażania.

2. ZASTOSOWANIE ENERGII W DOBORZE SYSTEMÓW T-M

Opis bilansu energii daje informację, ile energii wprowadzonej do systemu t-m jest wykorzystanej na prace użyteczną, a ile traconej. Wózek widłowy pracujący jak na rys. 1 z paliwa (którym w tym wybranym przypadku jest wózek widłowy o napędzie elektrycznym) – energii elektrycznej – jedynie ok. 25 do 30 procent zużywa na pracę (np. przestawienie palety), reszta jej, oczywiście po odliczeniu sprawności układu napędowego, przekazywana jest np. w postaci ciepła do otoczenia. Nie jest to jeszcze wielka strata, w przypadku wózków o napędzie spalinowym te straty są jeszcze większe. W przykładzie z rysunku 1, przewiezienie jednej palety z przenośnika na naczepę samochodu „kosztuje” 200 kJ energii. Można by było zwracać uwagę na etapie projektu, aby dobierać do odpowiednich wózków (pracujących w danych warunkach) elastyczne napędy czy wprost już wyskalowane pod kątem czekających je zadań. Obecnie wspomniany dobór jest jedynie realizowany poprzez jednorazowe na poziomie fabryki zestawienie układu napędowego wózka widłowego (silnik, skrzynka biegów, układ przeniesienia napędu).

Energia w tym przypadku nie może być liczona ze szkolnych, powszechnie znanych wzorów. Dla powyższych obliczeń przyjęto, że prędkość w przypadku energii kinetycznej będzie liczona z teorii ruchu – ogólnego równania ruchu pojazdu. Zależność uwzględnia siłę ciągu (siła mierzona na styku koła z podłogą) od prędkości. Uwzględnia się zarówno charakterystykę napędową zespołu napędowego wózka widłowego, jak również wpływ trajektorii ruchu na ilość zużywanej energii. Można uwzględniać zmiany, wyrażone w procentach, nachylenia płyty magazynowej bądź np. burty samochodu czy zmiany wysokości płyt magazynowych (podłóg).

Takie założenie powoduje, że można bilanse energetyczne liczyć dla różnych typów wózków widłowych, nie robiąc wyjątków dla poszczególnych typów, napędów itd. oraz uwzględniając trajektorię ruchu. Jest to szczególnie przydatne np. w optymalizacji przejazdu wózka w magazynie, w procesie kompletacji, jako uzupełnienie metod komiwojażera – przejazd minimalno-czasowy. Znana w literaturze fachowej metoda opisana przez J. Fiałkowskiego, opierająca się jedynie na pomiarach czasu, nie uwzględnia wielu parametrów. W tej omawianej metodzie można na podstawie danych o obiekcie t-m, podkładzie geodezyjnym i obowiązujących przepisach wykonywać obliczenia. Wyniki obliczeń testowych wypadają obiecująco.

Prosty przypadek podjazdu wózka ciągnikowego z dwoma wózkami o pewnym dopuszczalnym obciążeniu i zatrzymania zestawu na podjeździe o kącie nachylenia – gdy stosujemy ww. opisaną metodę – pozwala stwierdzić, czy wspomniany zestaw będzie miał na tyle mocy zainstalowanej, w dyspozycji, aby ruszyć. Metoda jest na tyle uniwersalna, że pozwala analizować transport jł przez wózki torowe, jak również układarki magazynowe.

Traktowanie jł jako akumulatora energii potencjalnej, w przypadku ustawienia jej na regale na pewnej wysokości wymaga energii (jeśli tylko podniesienie, to energii potencjalnej) na podniesienie jej, ale pobranie jej z gniazda regałowego wymaga jedynie podniesienia karetki wideł, a energia potencjalna daje pracę na przemieszczenie jł na poziom „0”. Na pewno z punktu optymalizacji celowym by było stosowanie układów rekuperacji energii potencjalnej. W przypadku energii elektrycznej jest to mało opłacalne, ale w przypadku akumulatorów hydraulicznych czy pneumatycznych może się opłacać. Na pewno osiągnięcia prezentowanej metody mogą wzbogacić zarządzanie miejscami paletowymi w systemie t-m z wykorzystaniem metody ABC – częstości pobrań horyzontalna/wertykalna, pierwsze wolne.

Wspomniana strata energii wózka na ciepło nie musi być liczona w straty systemu t-m. Jeżeli zastąpimy bilans energii egzergią, wtedy możemy założyć, że o tyle mniej ciepła musimy dostarczyć do systemu t-m w okresie zimowym, aby dotrzymać wymaganych 16 stopni ciepła wymaganych przez przepisy pracy. Ponadto staje się bardzo prawdopodobny scenariusz zakładający, że wykorzystywane elektryczne wózki widłowe w systemie t-m będą zasilane energią słoneczną z paneli montowanych na dachu magazynu, bądź w przypadku magazynu mroźni obok jej budynku można sobie wyobrazić zlokalizowanie budynku ubojni, w której woda użytkowa będzie ogrzewana z chłodnicy agregatu chłodniczego w mroźni. Przypadki można tu mnożyć. Potwierdzają one pewien trend w optymalizacji systemów t-m.

3. PODSUMOWANIE

Zalety analizy energetycznej:

- Sprawności energetyczne są łatwą do oceny i interpretacji miarą doskonałości układu.
- Obliczenie strat energii dla poszczególnych ogniw złożonego systemu pozwala zidentyfikować wielkość, przyczyny oraz lokalizację jego niedoskonałości. Dlatego też ww. analiza jest szczególnie przydatna przy rozwiązywaniu zagadnień optymalizacji.
- Analiza energetyczna może wydatnie pomagać w ocenie wpływu danego procesu na środowisko naturalne (jako element LCA), a także w ocenie aspektów ekonomicznych. Przez zmniejszenie strat energii uzyskuje się zmniejszenie kosztów eksploatacji urządzenia, ale zwykle wiąże się to ze zwiększeniem nakładów inwestycyjnych.

Słabe strony analizy energetycznej:

- Duża ilość i złożoność obliczeń niż w przypadku np. analizy wielokryterialnej,
- Niedostateczna edukacja.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Korzeń Z., *Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania*, T. 1, IliM, Poznań 1997
[2] Korzeń Z., *Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania*, T. 2, IliM, Poznań 1999

ENERGY IN THE METHODS THE OPTIMIZATION OF WAREHOUSE SYSTEMS

SUMMARY

This paper discusses the potential for optimizing transportation and storage logistic systems, taking into account energy. It was assumed that the system of transport and storage, are part of the logistics system, which consists of a building, a place where they are stored cargo unit, fitted with shelves or not, the equipment allows the unit to move cargo, people operating the equipment and working physically. Optimization includes the integration of technology to the transport of internal storage and exchange of information.

Keywords: logistics, system, transport and storage

Recenzent: dr hab. inż. Tomasz Nowakowski