

Paweł ZAJĄC¹

ASPEKTY ENERGETYCZNE INTELIGENTNYCH MAGAZYNÓW XXI WIEKU

Omówiono problematykę energochłonności systemów technicznych z uwzględnieniem systemów transportowo-magazynowych. Przedstawiono zaawansowanie w opracowaniu wskaźników energochłonności w systemach technicznych. Opisano opracowany model systemu transportowo-magazynowego pozwalający porównywać dobrane elementy systemów transportowo-magazynowych np. metodami wielokryterialnymi.

ASPECTS OF ENERGY INTELLIGENT STORE HOUSES XXI CENTURY

It discuss problems with taking into consideration system - store house system technical transport request for energy. Advancing present in elaboration of index in technical systems request for energy. Processed model of system - store house - store house describe transport allowing compare selected element system transport e.g. multicriterial methods.

1. WSTĘP

Energochłonność jest bardzo istotna – można się przekonać po lekturze wielu prac, nie tylko naukowych [1], [2] gdzie pojazdy wyposaża się w nową generacji hybrydowe, ekologiczne źródła napędu.

Podejście polegające na bilansowaniu energii można odnaleźć w pracy [5] gdzie energię potencjalną uzyskaną po załadowaniu pojemnika można odzyskać w procesie jego rozładunku. Skutkuje to zmianą dobranego zespołu napędowego, którego moc można pomniejszyć o energię potencjalną pojemnika.

Problematyką energochłonności zajęto się w pracach [3], [4], w których autor zajmował się energochłonnością pojazdów samochodowych, zwłaszcza osobowych. Gdzie wyznaczano faktyczne zapotrzebowanie na energię potrzebną do jazdy.

2. ENERGOCHŁONNOŚĆ - PRZEGLĄD LITERATURY

W pracy [6] proponuje się obniżenie energochłonności systemu logistycznego poprzez zastosowanie w procesie kompletacji tzw. metody „pick by light”. Polega ona na tym, że

¹Politechnika Wroclawska Wydział Mechaniczny ul. I. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław,
pawel.zajac@pwr.wroc.pl

pracownik przemieszcza się po magazynie wg ustalonej na podstawie zamówienia marszruty. Może ona zawierać elementy optymalizacji polegającej na zastosowaniu metody komiwojażera lub kąta północno-zachodniego wraz z optymalizacją najmniejszego elementu macierzy. Pierwszy z nich nie uwzględnia kosztów, druga pozwala wykonać kompletację uwzględniając koszt czynności.

Rozwój wskaźników efektywności energetycznej dostosowujący ilość energii do zmieniających się warunków funkcjonowania gospodarki i aktualnych potrzeb (monitorowanie gospodarki energią i kontrolowanie jej zarządzania w kierunku „zrównoważonego rozwoju”) realizowany jest w odpowiedzi na zapisy, zawarte w dokumentach Komisji Europejskiej i IEA/OECD. Dokumenty te zalecają wspólne działania Eurostatu i krajów członkowskich, celem stworzenia systemu wskaźników statystycznych, stanowiących narzędzie do oceny trendów w obszarze efektywności energetycznej i wspomagające podejmowanie decyzji oraz koordynację tych działań z pracami prowadzonymi przez Międzynarodową Agencję Energii. Powstały dlatego programy Unii Europejskiej **SAVE I i SAVE II** i „**Inteligentna Energia dla Europy**”.

Zwiększanie efektywności energetycznej procesów wytwarzania, przesyłu i użytkowania energii jest filarem prowadzenia zrównoważonej polityki energetycznej. Znajduje to swój wyraz w prawodawstwie i działaniach podejmowanych przez instytucje państwowe i organizacje międzynarodowe. Wymienić tu należy regulacje związane z efektywnością energetyczną, w tym:

- Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady¹ (z najnowszą 2006/32/WE z dnia 5 kwietnia 2006 r., w sprawie efektywności końcowego użytkowania energii i usług energetycznych i uchylającą dyrektywę Rady 93/76/EWG (Directive of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC),
- Odnowioną Strategię Lizbońską,
- Narodową Strategię Spójności na lata 2007-2013.

Głównym celem dyrektywy 2006/32/WE jest osiągnięcie uzasadnionej ekonomicznie poprawy efektywności końcowego użytkowania paliw i energii w państwach członkowskich Unii Europejskiej poprzez: ustalenie celów, mechanizmów i zachęt; ustalanie instytucjonalnych, finansowych i prawnych ram dla usunięcia istniejących barier rynkowych mających wpływ na efektywność końcowego użytkowania energii; promowanie programów służących poprawie efektywności energetycznej; rozwijanie rynku wysokiej jakości usług energetycznych dla użytkowników końcowych; zharmonizowanie metodologii obliczania i weryfikowania oszczędności energii.

Ww. dyrektywa zobowiązuje kraje członkowskie do gromadzenia i przekazywania danych niezbędnych do monitorowania, oceny i planowania działań na rzecz poprawy efektywności wykorzystania energii.

Istnieją dwie metody pomiaru wzrostu efektywności energetycznej (oszczędności energii). Są to:

- metoda „od ogółu do szczegółu” („top-down”),
- metoda „od szczegółu do ogółu” („bottom-up”).

W metodzie „od ogółu do szczegółu” wykorzystuje się dane zagregowane i dlatego nazywa się ją metodą „wskaźników efektywności energetycznej”. Dzięki niej można ustalić co prawda poprawne, ale jednak tylko wskaźniki rozwoju sytuacji, natomiast nie daje ona dokładnych pomiarów na poziomie szczegółowym. Najczęściej przedmiotem obliczeń w tej

metodzie są sekcje, działy, grupy gospodarki, grupy urządzeń, typy środków transportu. Obliczone wartości zużycia energii lub energochłonności podlegają korektom uwzględniającym czynniki zewnętrzne takie, jak ilość stopnio-dni w sezonie grzewczym, zmiany strukturalne, profil produkcji itp.

Metoda „od szczegółu do ogółu” jest bardziej precyzyjnym sposobem obliczania oszczędności energii wynikających ze wzrostu efektywności energetycznej. Najpierw oblicza się zużycie energii dla pojedynczego odbiornika końcowego, np. lodówki, w określonym przedziale czasu przed wdrożeniem działania mającego na celu zwiększenie efektywności energetycznej, uzyskując „wartości odniesienia”. Następnie stwierdzony poziom zużycia porównuje się ze zużyciem energii (odnotowanym w takim samym przedziale czasu, ale po wdrożeniu działania zwiększającego efektywność energetyczną). Różnica pomiędzy uzyskanymi wynikami jest miarą zwiększenia efektywności energetycznej. Jeżeli obliczenia takie wykona się dla wszystkich rodzajów odbiorników energii, a wyniki zsumuje się, otrzyma się dość dokładną miarę wzrostu efektywności energetycznej. Wykonując obliczenia, należy także i w tej metodzie pamiętać o uwzględnieniu korekty na warunki klimatyczne i inne czynniki, wymienione w opisie metody „od ogółu do szczegółu”.

Oszczędności energii, oprócz tego, że są wynikiem zastosowanych działań zwiększających efektywność energetyczną mogą być spowodowane zmianami w zachowaniu i stylu życia (te drugie mogą oznaczać lub nie zmianę poziomu świadczonych usług) nie dającymi się kontrolować warunkami pogodowymi, a także zmianami strukturalnymi (np. zmniejszenie produkcji przez energochłonne gałęzie przemysłu). Jeśli nie dokona się korekty, tego typu zmiany strukturalne wpłyną na poprawę efektywności energetycznej.

Rozwinięciu metod monitorowania efektywności energetycznej i metod oceny działań na rzecz poprawy efektywności energetycznej służył projekt Komisji Europejskiej pt.: „Ocena i monitorowanie efektywności energetycznej w nowych krajach członkowskich UE oraz UE- 25” (Evaluation and Monitoring of Energy Efficiency in the New EU Member Countries and the EU-25), o akronimie EEE-NMC, który realizowany był w ramach programu Inteligentna Energia dla Europy.

W Polsce ok. 89% energii zużywanej w transporcie zużywane jest w transporcie drogowym, a ok. 5,6% transporcie kolejowym. Pozostałe 5% energii zużywane jest w transporcie lotniczym oraz śladowe ilości przez żeglugę śródlądową i przybrzeżną.

W latach 1990-2005 obserwuje się stały wzrost zużycia paliw w transporcie drogowym (w tempie ok. 2,5%/rok) przy jednoczesnym wyraźnym spadku zużycia energii w transporcie kolejowym.

Wskaźnikiem ODEX nazwany jest zagregowany wskaźnik efektywności energetycznej. Został on opracowany ze względu na potrzeby w zakresie monitorowania efektywności energetycznej oraz w celu uzyskania zrozumiałego, prostego do opracowania i porównywalnego wskaźnika ilustrującego postęp w zakresie efektywności energetycznej w krajach członkowskich Unii Europejskiej. Wskaźnik ten jest otrzymywany poprzez agregowanie zmian w jednostkowym zużyciu energii, obserwowanych w danym okresie czasu na określonych poziomach użytkowania końcowego. Używając odnośnych parametrów fizycznych, wskaźnik ODEX dobrze ilustruje postęp w zakresie efektywności energetycznej.

ODEX jest alternatywą dla monetarnych wskaźników intensywności energetycznej, które zależą od wielu czynników związanych - nie bezpośrednio- z efektywnością energetyczną. Wskaźnik ODEX nie pokazuje bieżącego poziomu intensywności energetycznej, lecz postęp w stosunku do roku bazowego. Wskaźniki ODEX są przydatne do monitorowania realizacji celu indykatorywnego w zakresie efektywności energetycznej, określonego w dyrektywie 2006/32/WE.

Metodologia obliczania wskaźników ODEX jest obecnie wypracowywana, m.in. w ramach programów Komisji Europejskiej pod nazwą ODYSSEE. Obecnie stosuje się dwie alternatywne metody obliczania wskaźnika ODEX, dające taki sam wynik. Pierwsza z nich (metoda agregacji oparta na efekcie jednostkowego zużycia) łączy postęp w efektywności energetycznej osiągnięty we wszystkich podsektorach na podstawie ilości zaoszczędzonej energii (np. Mtoe): oparta jest na „efekcie jednostkowego zużycia”. Druga metoda (metoda wskaźnika ważonego) waży osobny wskaźnik zużycia jednostkowego każdego podsektora na podstawie jego udziału w zużyciu energii całego sektora.

W przemyśle, na przykład, ogólny efekt zużycia jednostkowego zostanie otrzymany poprzez agregację efektów zużycia jednostkowego energii w poszczególnych działach. ODEX jest obliczony na każdy rok jako iloraz rzeczywistego zużycia energii E_t i teoretycznego zużycia energii bez brania pod uwagę efektu zużycia jednostkowego (tzn. bez oszczędności energii uzyskanej poprzez zmniejszenie jednostkowego zużycia energii w wyniku działań na rzecz poprawy efektywności energetycznej procesu produkcji danego wyrobu). Jeśli wskaźnik efektywności energetycznej wyniósł 85 w 2000 roku to oznacza to poprawę efektywności energetycznej o 15% w porównaniu do technologii energetycznych i praktyk stosowanych w roku 1990.

3. ENERGIA W SYSTEMACH LOGISTYCZNYCH – MODEL

Przyjmuje się, że energię potencjalną materiał obsługiwany na palecie w systemie magazynowym gromadzi i oddaje w ramach odpowiednich procesów magazynowych. Jeżeli przyjmiemy, że poziom podłogi magazynu jest poziomem odniesienia, to każde przemieszczenie palety z materiałem w pionie generuje zmianę energii potencjalnej.

$$E_p = W \cdot I \quad (1)$$

Gromadzona energia jest równa pracy którą należy wykonać aby przemieścić w pionie paletę i materiał. Praca zależy od pracy mechanicznej i współczynnika przetwarzania informacji. Paleta, która wchodzi do systemu magazynowego przez drzwi magazynu zaczyna pobierać i oddawać energię potencjalną. Jeżeli paleta z materiałem zostanie z poziomu podłogi magazynu podniesiona i ustawiona na półce regału lub spiętrzona na innej palecie z ładunkiem, to jej energia potencjalna wzrośnie zgodnie z powszechnie znanym wzorem na energię potencjalną o pewną wartość ΔE_p . W chwili pobrania palety z tego miejsca paleta oddaje swoją energię do systemu transportowego. Zgodnie z zasadami fizyki przy pobraniu palety nastąpiłby jej swego rodzaju spadek, dlatego konieczne jest wprowadzenie dodatkowej siły hamującej karetkę wózków z paletą na tyle dużej aby nastąpiło bezpieczne opuszczenie palety i materiału. Oprócz możliwości odbioru energii potencjalnej z systemu, możliwe jest jej przekształcenie w inne rodzaje energii – najbardziej uniwersalną, wygodną jest forma energii elektrycznej.

Zasady obliczania energii kinetycznej w modelu:

$$E_K = R_L = \left(\xi + 0,15 \cdot \frac{V}{10} \right) \cdot G_L + 150 \cdot \chi + 3,5 \cdot \frac{V^2}{10} \quad (2)$$

gdzie:

- ξ – współczynnik oporów,
- V – prędkość,
- G_L – ciężar wózka widłowego,
- χ – liczba osi wózka.

Energia potrzebna na obsługę palety w systemie transportowo-magazynowym przez wózek widłowy wyraża równanie (3).

$$E_E = E_P + E_S + E_Z + E_C + E_W \quad (3)$$

gdzie:

- E_P - energia potrzebna na podniesienie palety z jt
- E_S - energia zużywana na podnoszenie pustej karetki widel
- E_Z - energia potrzebna na przewiezienie palety z jt
- E_C - energia potrzebna na przejazd wózka bez obciążenia (bez jt)
- E_W - energia zużywana na procesy widłowania

Energię cieplną uwzględniana jedynie w przypadku analizy systemów logistycznych magazynowo-transportowych, w których następuje z jakiś powodów technologicznych wymagania uzyskania temperatury innej niż otoczenia, w tedy uwzględnia się w obliczeniach wielkość energii: ciepło przenikające przez ściany, sufit i podłogę komory magazynu, ciepło odprowadzone od chłodzonego towar, ciepło oddane przez powietrze, które zostało wprowadzone do wnętrza komory w sposób niezamierzony, ciepło związane z pracą wentylatora chłodnicy powietrza, ciepło wydzielane przez ludzi; oraz inne zgodnie z równaniem.

Sumowanie źródeł ciepła, mierzonej w [J] pozwala zorientować się jaką część ciepła może być wykorzystana do ogrzania wody użytkowej w systemie logistycznym, czy też o jaką ilość można zmniejszyć wielkość ciepła potrzebną do ogrzania w porze zimowej hali magazynowej pochodzącą z kotłowni o ciepło z innych źródeł (wózków widłowych, ludzi etc.). W tym kontekście jest to energia, która jeżeli nie zostanie wykorzystana w systemie, jest transferowana do ekosystemu[5]. Proces ten ujmuje się liczbowo w ekobilansie.

4. MODEL SYSTEMU LOGISTYCZNEGO UWZGLĘDNIAJĄCY ENERGOCHŁONNOŚĆ

Proces magazynowy składa się z: procesu przyjęcia do magazynu, składowania, kompletacji, wydania z magazynu. W modelu zakłada się, że kompletacja odbywa się w jednostkach paletowych. Tak więc można wyróżnić następujące fazy, którym podlega

jednostka ładunkowa od ustawienia jej w pobliżu doku przeładunkowego, poprzez proces składowania do wydania z magazynu:

- pobranie palety (i),
- transport palety (j),
- odłożenie palety na wybrane miejsce odkładcze (l).

W przypadkach szczególnych następuje pomiędzy fazami i, j, l; zmiana urządzenia transportowego. Każda z faz jest realizowana przez urządzenie, czyli składowanie palety (przemieszczenie jednostki ładunkowej w systemie transportowo-magazynowym) można przedstawić jako trzy liczby (i, j, l) określając numer urządzenia realizującego składowanie. Dla każdego urządzenia oblicza się jednostkowe zapotrzebowanie energetyczne.

W przypadku rozładunku, wprowadzania jednostki ładunkowej do magazynu. Mamy zbiór n palet usytuowanych, w wybranym doku. Dla każdej palety mamy określone: jej masę, adres jej składowania w magazynie. Dla każdej palety (jednostki ładunkowej) definiuje się technologię rozładunku. Ponieważ między fazami może następować przeładunek z urządzenia na urządzenie transportu bliskiego, należy określić jednostkowe zużycie energii db tych operacji.

Dla każdej palety, mając określoną technologię (T) można wyznaczyć operacyjne jednostkowe zużycie energii, oznaczmy ją przez O .

Aby uzyskać zużycie energii na każdą operację trzeba elementy macierzy skorygować uwzględniając drogę, ładunek oraz wysokość.

Dokonując operacji „mnożenia uciętego” („pozycyjne”) macierzy WK i macierzy O otrzymujemy macierz E , której elementy, to zużycie energii dla każdej operacji na każdej paletce. „Mnożenie odcięte” zdefiniujemy następująco:

$$WK_{n \times 10} \otimes O_{n \times 10} = E_{n \times 10} \quad (4)$$

gdzie: $e_{ij} = WK_{ij} \cdot O_{ij}$

Całkowite zużycie energii wyniesie:

$$E_C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{10} e_{ij} \quad (5)$$

W pracach [1], [2] sugeruje się aby w ocenie trafności – optymalnego doboru elementów systemu transportowo-magazynowego posługiwać się między innymi, współczynnikami:

- Wykorzystania powierzchni magazynowej,
- Wykorzystanie przestrzeni magazynowej,
- ...
- Kosztu przejścia jednej palety przez magazyn.

Proponuje się aby wprowadzić nowy współczynnik zwany energochłonnością przejścia jednej jednostki ładunkowej przez magazyn obliczany wg wzoru (6).

$$\zeta = \frac{\sum E_c - \sum Q}{\eta} \quad (6)$$

gdzie:

$$\sum Q \quad - \text{ suma uzysku energii,}$$
$$\eta \quad - \text{ wydajność systemu transportowo magazynowego.}$$

Bądź też można z góry założyć pewien przedział wartości parametru ζ dla, którego optymalizacja systemu transportowo-magazynowego nie budzi zastrzeżeń.

WNIOSKI

Model jest w fazie testów, które przeprowadza się dla różnych wariantów:

- typów magazynów,
- wyposażenia nie mechanicznego,
- wyposażenia mechanicznego,
- technologii wymiany informacji,
- ilości pracy ludzkiej.

Wyniki obliczeń porównywane z istniejącymi systemami transportowo-magazynowymi wypadają obiecująco. Model może znaleźć zastosowanie w zakresie doboru urządzeń, który polega na indywidualnym doborze zarówno względem cech konstrukcyjnych jak również rezydentnych programów komputerowych odpowiedzialnych za funkcje życia i działania urządzeń np. wózka widłowego, układarki itd.

Implikuje to również indywidualne jakby nadzorowanie-opiekę firmy dostarczającej urządzenia w fazie eksploatacji, jak również odbioru przez wyspecjalizowane firmy po zużyciu po okresie eksploatacji maszyn czy urządzeń transportu bliskiego, gdyż indywidualne dobranie (customeryzacja) może utrudniać odstąpienie ich na wtórnym rynku. Są to nowe wymagania w zakresie odzysku i recyklingu.

Zastosowanie modelu daje możliwość analizy wykonywanych operacji (przeładunek/wyładunek/załadunek) pod kątem optymalizacji energii. Wyizolowanie pojedynczych procesów pozwala odnaleźć czynności, funkcje maszyny, które są nieoptymalne.

Należy również wziąć pod uwagę problemy w zakresie edukacji pod kątem wykorzystania, zarządzania energią w systemach logistycznych. Zwłaszcza poznania pojęcia ekosystemu i umiejętności projektowania w kontekście jego bezpieczeństwa.

Efektom zastosowania modelu jest uniwersalny wskaźnik energochłonności systemów transportowo-magazynowych, pozwalający porównać logistyczne systemy transportowo magazynowe (analogia do wskaźnika ODEX) uwzględniając energochłonność.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Karolewska W.: „Jeszcze czyściej”, Wiedza i Życie, Wraszawa, 2009
- [2] Klimczak B.: „Mikroekonomia”, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław, 1995
- [3] Ubysz A.: „Energochłonność samochodu a zużycie paliwa w złożonych warunkach ruchu”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2003

-
- [4] Ubysz A.: „Problem niedolicznia” w programie eko-drive '05 przebiegowego zużycia paliwa w samochodzie na krótkich trasach przejazdu”, Problemy Transportu' Tom2 Zeszyt1, Katowice, 2007
- [5] Korzeń Zb.: „Ekologistyka” , IliM, Poznań, 2001
- [6] Makris P.A., Makri A.P., Provatidis C.G.: „Energy-saving methodology for material handling application”, Lesevier LTD, Athens, 2005