

Paweł Zając
Politechnika Wroclawska

O DOSKONALENIU PROCESÓW PRZEŁADUNKU W SYSTEMACH TRANSPORTOWYCH

Streszczenie: przedstawiono podstawowe rozwiązania przestrzenne, funkcjonalne, operacyjne oraz technologiczne w zakresie obsługiwanych towarów tak aby na tej podstawie omówić problematykę poszukiwania nowych możliwości doskonalenia procesów transportowych i magazynowych w transporcie towarów. Przedstawiono koncepcję wykorzystania do tego celu nie jak powszechnie się to czyni zasady zachowania energii ale prawa egzergii. Dalej omówiono krótko (z odesłaniem do szczegółowych informacji z wcześniejszych publikacji autora) już stosowane wskaźniki oceny energetycznej poszczególnych działów gospodarki narodowej stosowanych w ramach polityki Unii Europejskiej. Najbardziej popularnym wskaźnikiem obecnie jest ODEX. Krótko scharakteryzowano wskaźnik i omówiono uwzględnienie w nim transportu. W dalszej części referatu przedstawiono założenia i zapis formalny nowego wskaźnika analogicznego do ODEX, mającego zastosowanie w logistyce i transporcie. Omówiono model matematyczny pozwalający obliczać przedmiotowy wskaźnik.

Słowa kluczowe: logistyka, egzergia, transport

1. WSTĘP

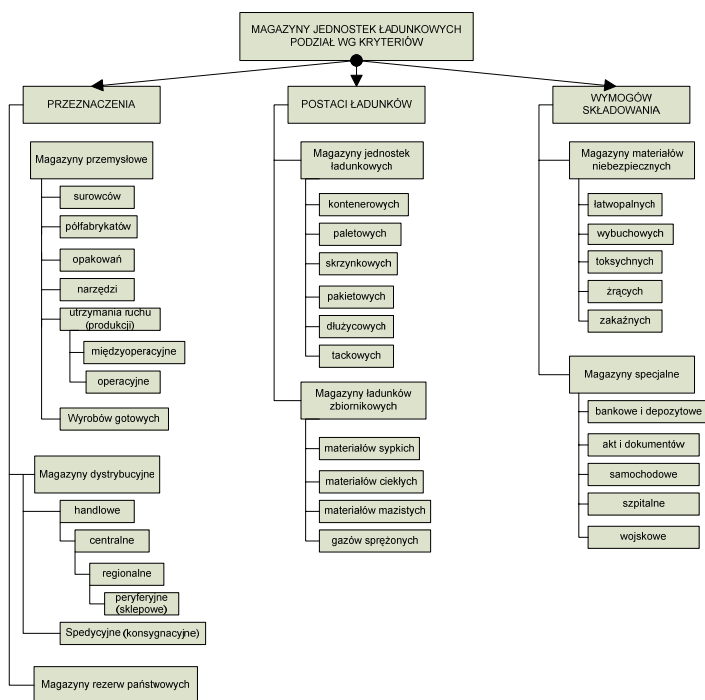
Śledząc rozwój techniki logistycznej można zauważyć, iż zależy on współcześnie w mniejszym stopniu od klasycznie pojmowanej budowy maszyn i urządzeń, natomiast znacznie bardziej od współdziałania i kompozycji różnorodnych technologii. Postęp w technice logistycznej - używając przyjętego w informatyce pojęcia - jest generowany głównie na przejściach między techniką wytwarzania, transportu, składowania i dystrybucji oraz techniką automatyzacji, telekomunikacji i informatyzacji w gospodarce.

W nawiązaniu do powyższych stwierdzeń w niniejszym referacie skupiono się na omówieniu szczegółowych uwarunkowań integracji procesów przeładunku towarów w złożonych systemach transportu, funkcjonujących w logistycznych łańcuchach dostaw towarowych.

Inteligentny terminal tworzy organizacyjno-funkcjonalne ogniwo logistyczne zdolne do ilościowo-czasowego wyrównywania przepływu materiałowego w łańcuchu dostaw, dysponujące zespołem możliwości zdalnego „odczuwania” swoich stanów wewnętrznych

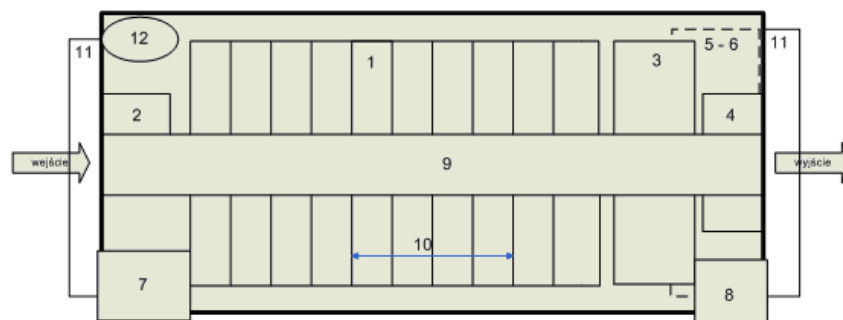
i zewnętrznych w celu efektywnego sterowania wszystkimi zasobami funkcjonującymi w jego obrębie.

Przeładunki są wykonywane w ramach obiektów magazynowych jednostek ładunkowych dzielonych w literaturze w sposób podany jak na rys. 1. Struktura przestrzenna i funkcjonalna, wielkość oraz forma konstrukcyjna budowli jest uzależniona od kryteriów przedstawionych na rysunku 1:



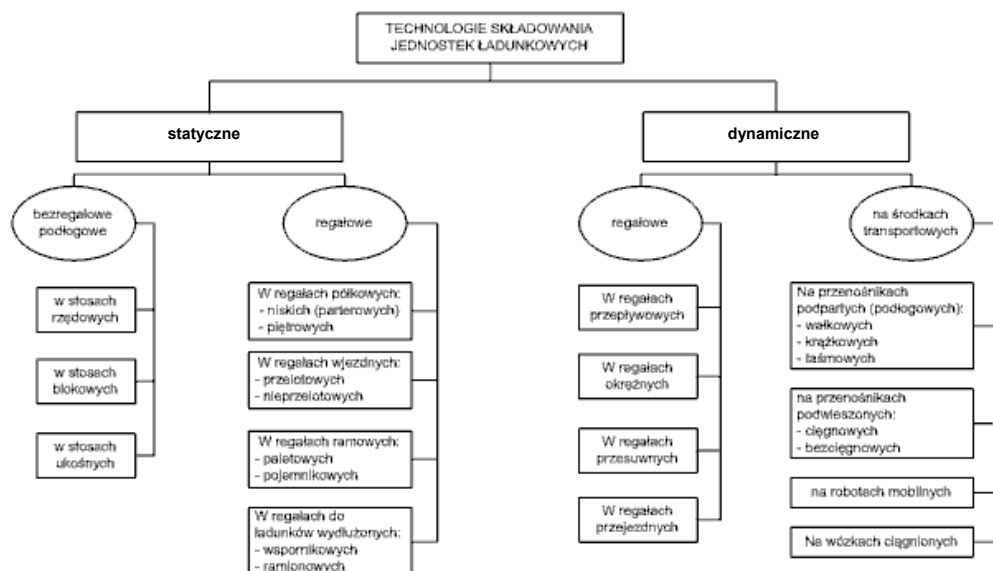
Rys. 1: Podział magazynów jednostek ładunkowych

Rozróżnia się trzy podstawowe typy magazynów uwzględniając rodzaj organizacji pracy: przepływ prosty; przepływ powrotny; przepływ łątowy. Najczęściej występującymi fazami magazynowania są: 1 składowanie; 2 przyjęcie; 3 kompletacja; 4 wydanie; 5 administracja; 6 czynności pomocniczych; 7 obsługa, eksploatacja i postój sprzętu manipulacyjnego; 8 doraźna obsługa jak np. ładowanie/wymiana akumulatorów; 9 transport drogami głównymi; 10 transport do miejsc składowania (od drogi głównej); 11 załadunek/rozładunek na rampie; 12 ochrona przeciwpożarowa i BHP.



Rys. 2: Zagospodarowanie przestrzeni magazynowej

Stosowane obecnie sposoby składowania zapasów można różnicować pod względem potrzeb selektywności (liczba jednostek ładunkowych / liczba asortymentów) bez wykonywania dodatkowych czynności przeładunkowych.



Rys. 3: Klasyfikacja technologii składowania jednostek ładunkowych

Ze względu na technikę wymiany informacji w systemie logistycznym, wyróżnia się: **kody kreskowe** (1D; 2D; 2D wykonywanych metodą wprost na ściance np. tłoka (metodą udarową, trawienia, laserowej obróbki). **Kody radiowe**, znane raczej jako transpondery, TAGI: UHV. **EDI** (elektroniczną wymianę informacji). **Tradycyjne przekazywanie informacji** (w formie wydruku lub ustne).

Analizując rysunki 1, 2 i 3 można rozróżnić na potrzeby szczegółowej analizy optymalizacyjnej, typ terminala w łańcuchu dostaw - określając: strukturę przestrzenną i funkcjonalną, fazę przepływu jednostek ładunkowych, technikę wymiany informacji. W dalszej części referatu omówiono w kontekście powyższych wielkości model pozwalający na uwzględnienie egzergii systemu. Egzergia występuje jako element analizy wielokryterialnej stosowanej powszechnie w tego typu zagadnieniach optymalizacyjnych. Model pozwala określić wielkość egzergii przejścia jednej jednostki ładunku przez terminal.

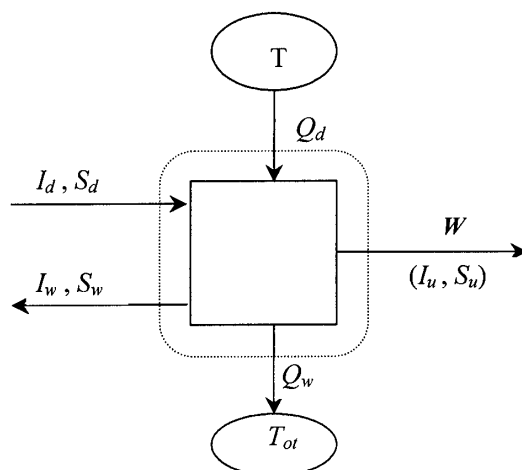
2. EGZERGIA JAKO MIARA DOSKONAŁOŚCI SYSTEMU

Powołując za ojcem egzergii w Polsce i na świecie – Prof. J. Szargutem z Politechniki Śląskiej – egzergia, to określenie praktycznej przydatności energetycznej materii. Egzergia materii jest to maksymalna zdolność tej materii do wykonania pracy w procesie odwracalnym, w którym stan końcowy określony jest warunkami równowagi termodynamicznej z otoczeniem.

Badania doskonałości procesów przetwarzania energii prowadzone były do niedawna przeważnie za pomocą analizy energetycznej, a więc wyłącznie w oparciu o pierwszą

zasadę termodynamiki. W bilansie energii traktuje się jednak wszystkie postaci energii równorzędnie, nie uwzględniając różnic w jakości (przydatności praktycznej).

Stratę egzergii wyznacza się porównując dowolne urządzenie rzeczywiste z odpowiadającym mu urządzeniem idealnym działającym w sposób odwracalny. Rodzaj realizowanego procesu nie ma wpływu na wynik rozważań.



Rys. 4: Ilustracja założeń do prawa G-S

Rozpatrzmy urządzenie przedstawione schematycznie na rysunku 4. Zadaniem urządzenia jest wykonanie pracy mechanicznej W (bądź też wytworzenie produktu użytecznego o entalpii I_u i entropii S_u). Czynnik napędowy dopływający do urządzenia ma parametry I_d, S_d , zaś przy odpływie I_w, S_w . Ponadto maszyna pobiera ze źródła o temperaturze T ciepło napędowe Q_d i oddaje do otoczenia o temperaturze T_{ot} ciepło odpadowe Q_{ot} . Zakłada się, że energia potencjalna i kinetyczna są takie same dla czynnika dopływającego oraz odpływającego z urządzenia. Odwracalne urządzenie porównawcze powinno działać przy takim samym zużyciu środków napędowych co urządzenie rzeczywiste, a więc wielkości I_d, S_d, I_w, S_w i Q_d powinny pozostać bez zmiany. Zmieni się natomiast użyteczny efekt działania urządzenia W_0 (lub I_{u0}, S_{u0}), oraz może ulec zmianie ilość ciepła odpadowego Q_{ot0} oddawanego do otoczenia. Po odpowiednich przekształceniach otrzymujemy równanie (1):

$$\boxed{\delta B = \Pi T_{ot}} \quad (1)$$

Prawo wyrażone równaniem (1) znane jest jako prawo Gouya-Stodoli. Określa ono bezzwrotną stratę egzergii spowodowaną przez nieodwracalność procesu rzeczywistego, dlatego też nazywane bywa również prawem znikania egzergii. Prawo Gouya-Stodoli jest prawem uniwersalnym i nie zależy od rodzaju realizowanego procesu.

3. PROBLEMATYKA DOSKONAŁOŚCI PRZETWARZANIA ENERGII - PRZEGLĄD LITERATURY

Autor przeprowadził studia literaturowe w zakresie wykorzystania energii w procesach doskonalenia systemów logistycznych. Szerzej wyniki ich omówiono w publikacjach zagranicznych, w czasopiśmie „Logistyka”, Zeszytach Naukowych Politechniki Warszawskiej i czasopiśmie angielskojęzycznym „Logistyka i Transport”. Bogaty przegląd literaturowy jest udostępniany przez autora.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że studiując literaturę polską i obcojęzyczną odczuwa się brak uniwersalnego wskaźnika pozwalającego porównywać różne systemy techniczne ze względu na energię, w tym przypadku energii choć w poszczególnych działach gospodarki przygotowuje się projekty procedur pozwalających ich obliczanie.

W dokumentach Komisji Europejskiej i IEA/OECD zaleca się wspólne działania Eurostatu i krajów członkowskich, celem stworzenia systemu wskaźników statystycznych, stanowiących narzędzie do oceny trendów w obszarze efektywności energetycznej, wspomagających podejmowanie decyzji oraz koordynację z pracami prowadzonymi przez Międzynarodową Agencję Energii (programy UE „SAVE I”; „SAVE II”; „**Inteligentna Energia dla Europy**”).

Zwiększanie efektywności energetycznej procesów wytwarzania, przesyłu i użytkowania energii jest podstawą prowadzenia zrównoważonej polityki energetycznej. Znajduje to swój wyraz w prawodawstwie i działaniach podejmowanych przez instytucje państwowe i organizacje międzynarodowe.

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 danych na poziomie szczegółowym. Najczęściej przedmiotem obliczeń w tej metodzie są sekcje, działy, grupy gospodarki, grupy urzędów, typy środków transportu. Obliczone wartości zużycia energii lub energochłonności podlegają korektom uwzględniającym czynniki zewnętrzne takie, jak liczba 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”.

W Polsce ok. 89% energii zużywanej w transporcie zużywane jest w transporcie drogowym, a ok. 5,6% w 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.

Obecnie zaczyna się stosować w niektórych analizach wskaźnik ODEX. Nazwana się nim 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.

ODEX jest alternatywą dla monetarnych wskaźników intensywności energetycznej, które zależą od wielu czynników pośrednio związanych z efektywnością energetyczną. Wskaźnik ODEX nie pokazuje bieżącego poziomu intensywności energetycznej, lecz wskazuje na postęp w stosunku do roku bazowego. Wskaźniki ODEX są przydatne do monitorowania realizacji celu indykatoryjnego 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. 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). Jest to metoda nadająca oparta na „efekcie jednostkowego zużycia”. Druga metoda (metoda wskaźnika ważonego) nadaje wagę wskaźnikom zużycia jednostkowego każdego podsektora na podstawie ich udziału w zużyciu energii całego sektora.

W przemyśle, na przykład, ogólny efekt zużycia jednostkowego otrzymuje się poprzez agregację efektów zużycia jednostkowego energii w poszczególnych działach. ODEX jest obliczony w skali roku, 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.

4. SYSTEM LOGISTYCZNY – MODEL

Jeżeli przyjmiemy, że poziom podłogi magazynu jest poziomem odniesienia, to każde przemieszczenie palety z materiałem w pionie generuje zmianę energii potencjalnej.

$$E_p = W \cdot I \quad (2)$$

Gromadzona energia jest równa pracy którą należy wykonać aby przemieścić w pionie paletę i materiał. Praca zależy od pracy mechanicznej i energochłonności przetwarzania informacji. Paleta, która wchodzi do systemu magazynowego 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 widel 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.

Energię kinetyczną oblicza się z wzoru (3). Wiąże się to z ustaleniem zależności siły ciągu wózka od prędkości. Niekiedy tego rodzaju zależności w formie wykresów publikują firmy produkujące urządzenia i maszyny.

$$\xi \cdot m \cdot \frac{dV}{dt} + W_{rcal} = F_N(V) \quad (3)$$

gdzie:

- ξ – współczynnik mas wirujących,
- m – masa wózka (bądź wózka z ładunkiem),
- W_{rcal} – opory ruchu wózka widłowego,
- F_N – siła ciągu.

Energia potrzebna do obsługi palety w systemie transportowo-magazynowym przez wózek widłowy wyraża równanie (4).

$$E_E = E_p + E_s + E_z + E_c + E_w \quad (4)$$

gdzie:

- E_p - energia potrzebna na podniesienie palety
- E_s - energia zużywana na podnoszenie pustej karetki widel
- E_z - energia potrzebna na przewiezienie palety
- E_c - energia potrzebna na przejazd wózka bez obciążenia
- E_w - energia zużywana na procesy widłowania

W ogólnym przypadku wchodząca przez terminal przeładunkowy na wejściu do magazynu paleta z ładunkiem oprócz energii kinetycznej i potencjalnej, posiada energię cieplną, którą uwzględnia się w przypadku magazynów chłodniczych oraz mroźni jak

również tam, gdzie uwzględnia się energię cieplną wytwarzaną przez ludzi oraz świeże owoce i warzywa. Bierze się pod uwagę wielkość ciepła przenikającego 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.

Proces magazynowy (rys. 2) składa się z: przyjęcia do magazynu, składowania, kompletacji, wydania. 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 że składowanie palety (przemieszczenie jednostki ładunkowej w systemie transportowo-magazynowym) można opisać trzema liczbami (i, j, l) określając numer urządzenia realizującego składowanie.

Dla każdego urządzenia oblicza się jednostkowe zapotrzebowanie energetyczne.

W przypadku rozładunku i wprowadzania jednostki ładunkowej do magazynu mamy zbiór n palet usytuowanych, w wybranym doku. Dla każdej palety jest określone: jej masę i 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 macierz jednostkowego zużycia energii db tych operacji.

Dla każdej palety, znając określoną technologię (T) można wyznaczyć operacyjne jednostkowe zużycie energii, oznaczone przez O.

Aby określić 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 palecie. „Mnożenie odcięte” zdefiniujemy następująco:

$$WK_{n \times 10} \otimes O_{n \times 10} = E_{n \times 10} \quad (5)$$

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

Całkowite zużycie energii wyniesie:

$$E_C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{10} e_{ij} \quad (6)$$

Proponuje się aby wprowadzić nowy współczynnik zwany energochłonnością przejścia jednej jednostki ładunkowej przez magazyn obliczany wg wzoru (7).

$$\zeta = \frac{\sum E_{dostarczonej} - \sum Q}{\eta} \quad (7)$$

gdzie:

$E_{dostarczonej}$ - energia dostarczona do systemu transportowo-magazynowego,

$\sum Q$ - suma uzysku ciepła [Wh],

η - wydajność systemu transportowo magazynowego [szt.].

WNIOSKI

Analiza egzergetyczna może być jednym z istotnych elementów bardziej złożonej analizy wieloczynnikowej takiej jak np. LCA (Life Cycle Analysis) np. Finnvenden i Ostlund - Life Cycle Exergy Analysis (LCEA), Cornelissen – Exergetic Life Cycle Analysis (ELCA).

W tym kontekście przestaje być wystarczającym uwzględnianie przy doborze elementów systemu przeładunkowego terminali dalekiego transportu tylko i wyłącznie czynników kosztowych czy technicznych, co jest to wysoce niewystarczające. Sugeruje się potrzebę uwzględniania współpracy systemu logistycznego z ekosystemem. Jego wpływu na niego dziś, jak również recyklingu w przyszłości.

Trudne do naprawienia są efekty błędnych decyzji na etapie projektowania terminali przeładunkowych, co w konsekwencji powoduje stały wzrost kosztów eksploatacji. Tendencje światowe wykazują ciągłe skracanie nominalnego okresu życia systemów technicznych i obserwowany jest stały wzrost zapotrzebowania na nowe generacje systemów. Jednocześnie postęp technologiczny powoduje, że nowe systemy powstają najczęściej nie na podstawie znaczącej poprawy 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.

Bibliografia

1. Kwaśniewski S. (red.), Zajac P. (red.): „Automatyczna identyfikacja w systemach logistycznych”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2004
2. Wręczycki B.: „The analysis of possibilities for exchangeable using of wooden and polysterene palletes in logistic systems of transport and distribution.”, Praca Politechniki Wrocławskiej pod kierunkiem P. Zajac, Wrocław, 2010.
3. Zajac P.: „Aspekty energetyczne inteligentnych magazynów xxi wieku”, Logistyka 2/2010 w CD, Poznań, 2010
4. Zajac P.: „Transport and storage system optimization in terms of energy”, Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2010 (praca w druku)
5. Zajac P.: „Concept of model of estimate of - store house system transport”, Total Logistic Management, Gliwice, 2009 wydane jako płyta dołączona do czasopisma „Logistyka”.

ABOUT TRANSHIPMENT WELL AS PROCESS IMPROVEMENT IN TRANSPORT SYSTEMS

Abstract: presents basic spatial solutions, functional, operational and technological supports for goods so that, on this basis to discuss issues to seek new opportunities to improve processes for transport and storage in the transport of goods. The concept of use for this purpose the principle of conservation of energy but not exergy. Next briefly discussed (with reference to the details of previous publications the author) have used indicators for assessing energy performance of individual sectors of national economy used in the context of European Union policy. The most popular indicator is now ODEX. Briefly characterized indicator and discussed the transport sector's share in it. In the remainder of the paper presents a formal record of assumptions and a new indicator similar to the ODEX applicable in logistics and transport. Discusses the mathematical model allows to calculate the indicator in question...

Keywords: logistics, egzergy, transport