

POMIAR ENERGOCHŁONNOŚCI INFRASTRUKTURY DROGOWEJ – KONCEPCJA I ZAŁOŻENIA METODYCZNE

DATA PRZESŁANIA: 30.06.2016 | DATA AKCEPTACJI: 5.07.2016 | KODY JEL: L92, N74, Q01, Q24, Q51, R14

Izabela Dembińska

Uniwersytet Szczeciński
Wydział Zarządzania i Ekonomiki Usług
Katedra Logistyki
e-mail: izabela.dembinska@wzieu.pl

STRESZCZENIE

Celem artykułu jest przedstawienie zasadniczych założeń koncepcji analizy energochłonności infrastruktury drogowej. Koncepcja zakłada wykorzystanie cyklu życia drogi, dlatego rozważania podzielono według etapów cyklu. Wskazano, jak można mierzyć energochłonność drogi na etapie jej budowy, użytkowania i likwidacji. Ze względu na to, że na etapie projektowania drogi zużycie energii jest marginalne, w przedstawionej koncepcji etap ten został pominięty. Rozważania mają charakter teoretyczny i stanowią autorską koncepcję mierzenia energochłonności dróg.

SŁOWA KLUCZOWE

infrastruktura, drogi, energochłonność, zrównoważony rozwój

WPROWADZENIE

Warunkiem funkcjonowania każdej gospodarki jest infrastruktura transportowa. Inwestycje transportowe są istotnym instrumentem rozwoju regionalnego. Infrastruktura transportowa jest przedmiotem, ale też stymulantą europejskiego procesu integracji, który jest ściśle związany z tworzeniem rynku wewnętrznego. Największe znaczenie w realizacji tych procesów odgrywa infrastruktura drogowa, w tym zwłaszcza autostrady i drogi ekspresowe.

Determinowanie procesów gospodarczych i społecznych przez infrastrukturę drogową implikuje ciągłe potrzeby inwestycyjne, polegające na budowie nowych odcinków czy rozbudowie lub modernizacji już istniejących. Rozwój sieci drogowej z punktu widzenia ekonomicznego jest zjawiskiem pozytywnym i zasadnym. Nie można i nie należy postrzegać jedynie pozytywnego aspektu wzrostu długości dróg. Trzeba również zauważyć oddziaływanie wzrostu długości

dróg na środowisko naturalne, które ma charakter negatywny. Stosując podejście holistyczne (systemowe) można go postrzegać w kontekście zasobochłonności, jak również w kontekście negatywnych efektów zewnętrznych. Problem staje się tym poważniejszy i tym bardziej pilny, im większy obserwuje się wzrost długości infrastruktury drogowej. Z punktu widzenia ekologicznych uwarunkowań zrównoważonego rozwoju występuje więc pewien konflikt – z jednej strony istnieje niekwestionowana potrzeba rozwoju infrastruktury drogowej, z drugiej strony rozwój ten oddziałuje negatywnie na środowisko naturalne.

Zasobochłonność infrastruktury drogowej oznacza wykorzystywanie przez nią różnych zasobów środowiska, jak energia, materiały, woda, teren. Przedmiotem rozważań jest problematyka wykorzystania energii na potrzeby infrastruktury drogowej. Poszukując pewnej koncepcji analizy energochłonności dróg, postawiono pytanie: w jaki sposób można zmierzyć energochłonność dróg?

Uzasadnieniem dla pilności tak zdefiniowanego problemu jest fakt, że na świecie zużywa się coraz więcej energii i tendencja ta jest trwała. Wątpliwe zdają się być realne perspektywy zrównoważenia popytu na energię, zarówno w skali naszego globu czy kontynentów, jak i poszczególnych państw, bez intensyfikacji działań zmierzających do racjonalnego użytkowania energii oraz bez sięgania w szerszej skali po źródła odnawialnej energii. Konsekwentnie do tego oczekuje się więc racjonalnego podejścia do zużycia energii w całym cyklu życia obiektów infrastruktury drogowej.

ELEMENTARNE ZAŁOŻENIA NA POTRZEBY KONCEPCJI POMIARU POZIOMU ENERGOCHŁONNOŚCI OBIEKTÓW INFRASTRUKTURY DROGOWEJ

Poziom zużycia energii przez infrastrukturalny obiekt logistyczny można charakteryzować przez energochłonność. Stąd też, stosując paralelne ujęcie, energochłonność może być traktowana jako miara tego, w jakim stopniu dany obiekt logistyczny jest energooszczędny. Według powszechnie stosowanego rozumienia energochłonność to ilość energii zużyta na wyprodukowanie danego wyrobu lub usługi (Gronowicz, 2006, s. 8). Innymi słowy, przez pojęcie energochłonności produkcji należy rozumieć ilość energii zużywanej w procesie wytwarzania odniesioną do wielkości produkcji. W oparciu o takie rozumienie energochłonności, zakładając dodatkowo, że wykorzystanie energii przez obiekt infrastruktury drogowej winno być rozpatrywane w oparciu o koncepcję cyklu życia, wyszczególniając następujące jego etapy: a) etap budowy, b) etap użytkowania (eksploatacji) oraz c) etap rozbiórki, energochłonność drogi będzie rozumiana jako ilość energii zużywanej w tych poszczególnych etapach odniesiona do całkowitej liczby kilometrów jej długości. Można również wyrazić jednostkową energochłonność drogi, mierzoną ilością energii zużywanej w czasie budowy 1 kilometra drogi albo użytkowania 1 kilometra drogi, albo likwidacji 1 kilometra drogi.

Pełen cykl życia obejmuje również etap projektowania, jednakże ze względu na relatywnie marginalne zużycie energii na tym etapie, można przyjąć, że etap w analizie energochłonności infrastruktury drogowej może być pominięty.

Ogólnie energię można charakteryzować pod kątem źródeł oraz form. Rozróżnia się następujące źródła energii:

- energia paliw kopalnych,
- energia słoneczna,
- energia wiatru,
- energia wody,
- energia geotermiczna,

- energia pływów morskich,
- energia ciepła oceanów.

Ponieważ źródła te pochodzą z natury, stanowią grupę pierwotnych nośników energii. Obok energii pierwotnej, wyszczególnia się też energię wtórną (pochodną), która pozyskiwana jest z pochodnych nośników energii, czyli takich, które uzyskuje się w procesie przemiany energetycznej. Wśród wtórnych nośników energii wymienia się najczęściej energię elektryczną, ciepło, paliwa gazowe z procesów technologicznych. Z wymienionych przykładów wynika, że energia przyjmuje różne formy, przy czym każda z nich może być zamieniona w inną. Do najważniejszych form energii należą energia elektryczna, energia cieplna, energia chemiczna, energia jądrowa, energia promienista. Dla infrastruktury drogowej największe znaczenie odgrywają trzy pierwsze z wymienionych. Ponadto w analizie energochłonności drogi można wyszczególnić zużycie energii nieodnawialnej i odnawialnej.

Z reguły w stosowanych metodach analizy energochłonności używa się dwojakiego podejścia do przedstawienia danych liczbowych. Dane dotyczące nakładów energetycznych wyrazić można albo w postaci naturalnej (fizycznej), tj. w jednostkach energii, masy, objętości itp., albo wartościowej (ekonomicznej), ujętej w kategoriach kosztów lub ceny z pomocą jednostek pieniężnych. Pierwsze podejście jest analizą procesu w kontekście technologicznym, natomiast drugie ma charakter ekonomiczny (Sadowska, s. 60). W przedstawianej koncepcji zastosowane będzie podejście pierwsze.

ENERGOCHŁONNOŚĆ INFRASTRUKTURY DROGOWEJ WEDŁUG ETAPÓW CYKLU ŻYCIA¹

Etap budowy

Na etapie budowy drogi energia wykorzystywana jest w procesie pozyskiwania surowców, produkcji materiałów i elementów budowlanych oraz podczas budowy. Zużywana jest wtedy tak zwana początkowa energia skumulowana. Droga powstaje z wykorzystaniem energii nie tylko w bezpośrednim finalnym procesie budowy, lecz we wszystkich, jak wiadomo – złożonych i licznych, wcześniejszych procesach. Takie łączne zużycie energii warunkujące budowę drogi określa się energochłonnością skumulowaną².

Zużycie energii służącej do wybudowania drogi, tak zwanej energii włożonej, może być ujmowane w trzech strumieniach:

- strumień nośników energii, czyli proces pozyskiwania nośników energii, przetworzenia ich na nośniki wtórne i przesłania ich do procesu budowy drogi,
- strumień materiałów, tj. proces pozyskiwania surowców naturalnych, przetworzenia ich na materiały oraz proces transportu ich do miejsca budowy,
- strumień środków trwałych, czyli proces budowy maszyn, urządzeń, budynków itp., składających się na obiekty ciągu technologicznego procesu budowy.

Najczęściej przyjmuje się zużytą energię w dwóch strumieniach – w strumieniu nośników energii oraz strumieniu materiałów – i nazywa się ją skumulowaną energochłonnością eksploatacyjną, a zużytą w strumieniu środków trwałych – energochłonnością inwestycyjną. Zauważyc

¹ Przedstawiane w tej części pracy wzory w większości są wyprowadzone na podstawie wzorów zawartych w opracowaniach J. Górzyńskiego (2007, 2012).

² W oparciu o definicje energochłonności skumulowanej, zawarte w opracowaniach: J. Gronowicza (2006) oraz Z. Bibrowskiego (1988).

można, że zużycie energii w trzecim strumieniu, rozłożone na ilość produktu wytworzonego, czyli na długość wybudowanej drogi, stanowi nieznaczną część całej energochłonności skumulowanej. Największą część stanowi strumień materiałów. Poza tym, w sytuacji nośników importowanych, z reguły uwzględnia się jedynie energię skumulowaną, niezbędną do ich przeróbki, i energię obsługi logistycznej wykonywanej na terenie danego kraju. Ważne jest także to, że analiza energochłonności może obejmować surowce wtórne wykorzystywane do budowy czy do remontów drogi, np. masy drogowe. Wówczas powinno się uwzględniać energię zużytą w procesie recyklingu oraz zużywaną podczas realizacji procesów logistycznych, jakie występują do czasu rozpoczęcia i w miejscu budowy drogi. Badanie energochłonności skumulowanej jest prowadzone najczęściej w aspekcie określonego procesu technologicznego. W odniesieniu do drogi punktem wyjścia będzie zatem określenie, jakie procesy składają się na proces budowy drogi z uwzględnieniem kolejności odpowiadającej przyjętej technologii i organizacji robót. Pamiętać należy, że proces budowlany jest zespołem technologicznie powiązanych ze sobą procesów produkcyjnych (robót) wykonywanych na placu budowy i zapleczu, i że można podzielić je na zasadnicze i pomocnicze. Procesy zasadnicze realizowane są bezpośrednio na budowanym obiekcie, zaś procesy pomocnicze – bezpośrednio na obiekcie lub poza nim.

Procedurę analizy energetycznej inwestycji w postaci drogi należy rozpocząć od rozłożenia całego przedsięwzięcia budowlanego na procesy cząstkowe, które mogą być rozpatrywane odrębnie, określając w ten sposób tzw. siatkę technologiczną drogi. Istotne są tutaj dwie kwestie. Po pierwsze, należy ustalić granice całego procesu budowlanego, określić, kiedy się on rozpoczyna, a kiedy kończy – czy na przykład proces rozpoczyna się operacją przygotowania podłoża czy może obejmuje jeszcze operacje wcześniejsze, polegające na zagospodarowaniu terenu. Po drugie, trzeba zwrócić uwagę na stopień agregacji poszczególnych procesów (operacji), co wynika z założeń podejścia procesowego. Liczba wyodrębnionych procesów cząstkowych będzie zależała od złożoności konstrukcyjno-technologicznej drogi oraz od jej rozmiarów (długości i szerokości). Oczywiście, stopień agregacji procesów też ma w tym względzie znaczenie.

Mając zdefiniowane procesy cząstkowe oraz odwzorowane sekwencje (łańcuch) kolejnych operacji technologicznych prowadzących do wybudowania drogi, można przejść do określania najpierw energochłonności wynikającej z nakładów bezpośrednich poniesionych na drogę, a następnie zbadać energochłonność poszczególnych strumieni, czyli strumienia nośników energii, materiałów i środków trwałych na wcześniejszych poziomach, tzn. na poziomie przetwarzania i pozyskiwania. Warunkiem przeprowadzenia analizy energochłonności procesów jest znajomość liczby zużywanych strumieni oraz odpowiadających im wskaźników skumulowanego zużycia energii. Nie można zapominać o procesach logistycznych, jakie występują między poziomami. Energia zużyta w wyniku ich realizacji też powinna być uwzględniona. A zatem, skumulowane zużycie energii w fazie budowy drogi, oprócz zużycia na potrzeby realizacji właściwego procesu budowy, obejmuje również zużycie energii w całym łańcuchu dostaw, tzn. w ciągu sekwencji procesów aż do pozyskania surowców, wytworzenia materiałów i urządzeń, uwzględniając w tym obsługę logistyczną poszczególnych procesów, co można wyrazić wzorem:

$$E_{\Sigma b} = E_{bt} + E_{bm} + E_{bl} + E_b \quad (1)$$

gdzie:

$E_{\Sigma b}$ – skumulowana energia procesu budowy drogi,

E_{bt} – energia zużyta na przygotowanie terenu na potrzeby drogi,

E_{bm} – energia zużyta na wytworzenie materiałów, maszyn i urządzeń niezbędnych w procesie budowy drogi,

E_{bl} – energia zużyta w procesach logistycznej obsługi budowy drogi,

E_b – energia zużyta we właściwym procesie budowy drogi.

Jednostkową skumulowaną energię procesu budowy drogi można natomiast wyrazić wzorem:

$$E_{\Sigma bj} = \frac{E_{bt} + E_{bm} + E_{bl} + E_b}{\sum km} \quad (2)$$

Rozpatrując z kolei elementy wzoru (1) i (2), skumulowane zużycie energii niezbędnej do wytwarzania zasadniczych materiałów, urządzeń i maszyn budowlanych wyraża iloczyn:

$$E_{bm} = x_{bm}^T G_{bm} \quad (3)$$

gdzie:

x_{bm}^T – wskaźniki skumulowanego zużycia energii niezbędnej na wytworzenie materiałów, urządzeń i maszyn budowlanych,

G_{bm} – ilość materiałów, urządzeń i maszyn budowlanych wykorzystanych w skumulowanym procesie budowy,

T – operacja tworzenia macierzy transponowanej.

W celu określenia skumulowanego zużycia energii w procesach logistycznej obsługi budowy drogi, przede wszystkim podczas transportu, ewentualnie jeszcze podczas magazynowania, jeśli takie procesy występują, można posłużyć się następującym wzorem:

$$E_{bl} = E_{blt} + E_{blm} \quad (4)$$

gdzie:

E_{blt} – energia zużyta w wyniku realizacji procesów transportowych wykonanych na potrzeby budowy drogi,

E_{blm} – energia zużyta w wyniku realizacji procesów magazynowania wykonanych na potrzeby budowy drogi.

Jednostkowe skumulowane zużycie energii na potrzeby procesów logistycznych obsługi budowy drogi, czyli w odniesieniu do 1 kilometra budowanej drogi, można wyrazić wzorem:

$$E_{bj} = \frac{E_{blt} + E_{blm}}{\sum km} \quad (5)$$

Jeżeli procesy magazynowania nie występują, wówczas można przyjąć, że:

$$E_{bl} = E_{blt} \quad (6)$$

Skumulowane zużycie energii w procesach transportu materiałów, urządzeń i maszyn budowlanych można określić korzystając ze wzoru:

$$E_{blt} = L_{blt}^T (G_{blt}^D x_{blt}) \quad (7)$$

gdzie:

L_{blt}^T – odległość przewozu materiałów, urządzeń i maszyn budowlanych,

G_{blt}^D – ilość materiałów, urządzeń i maszyn budowlanych przewiezionych na miejsce budowy,

x_{blt} – wskaźniki skumulowanego zużycia energii niezbędnej do transportu materiałów, urządzeń i maszyn budowlanych,

T – operacja tworzenia macierzy transponowanej,

D – operacja tworzenia macierzy diagonalnej z wektora kolumnowego.

Wzór (7) można stosować w przypadku, kiedy znane są wskaźniki skumulowanego zużycia energii w procesach transportowych wyrażone w MJ/(Mg × km). Nie zawsze jednak tak musi

być, bowiem procesy transportowe mogą być charakteryzowane wskaźnikiem MJ/km. Wtedy do określenia energii E_{blt} powinien być zastosowany wzór:

$$E_{blt} = L_{blt}^T (N_{blt}^D x_{blt}) \quad (8)$$

gdzie:

N_{blt}^D – liczba cykli transportu materiałów, urządzeń i maszyn budowlanych.

Rozpatrując z kolei skumulowane zużycie energii w procesach magazynowania materiałów, urządzeń i maszyn budowlanych, można je określić za pomocą wzoru:

$$E_{blm} = P_{blm}^T (G_{blm}^D x_{blm}) \quad (9)$$

gdzie:

P_{blm}^T – powierzchnia przeznaczona na magazynowanie materiałów, urządzeń i maszyn budowlanych,

G_{blm}^D – ilość materiałów, urządzeń i maszyn budowlanych poddanych magazynowaniu,

x_{blm} – wskaźniki skumulowanego zużycia energii niezbędnej do procesów magazynowania materiałów, urządzeń i maszyn budowlanych,

T – operacja tworzenia macierzy transponowanej,

D – operacja tworzenia macierzy diagonalnej z wektora kolumnowego.

Skumulowane zużycie energii w procesie budowy drogi jest sumą dwóch składników:

- energii wykorzystanej w postaci pomocniczych materiałów i wyrobów zużytych bezpośrednio w procesie budowy oraz podczas wykonywania prac przygotowawczych,
- energii wykorzystanej podczas wykonywania pojedynczych prac.

Można je wyrazić wzorem:

$$E_b = x_b^T G_b + z_b^T Z_b \quad (10)$$

gdzie:

x_b^T – wskaźniki skumulowanego zużycia energii niezbędnej do wytworzenia pomocniczych materiałów stosowanych podczas budowy obiektu logistycznego,

G_b – zużycie materiałów pomocniczych podczas budowy,

z_b^T – wskaźniki skumulowanego zużycia energii potrzebnej do wykonywania prac (zadań) podczas budowy,

Z_b – ilość robót wykonanych podczas budowy.

Aby określić skumulowane zużycie energii w procesie budowy 1 kilometra drogi, można zastosować wzór:

$$E_{bj} = \frac{x_b^T G_b + z_b^T Z_b}{\sum km} \quad (11)$$

Poziom zużycia energii na etapie budowy drogi jest warunkowany wieloma czynnikami. Do najistotniejszych można zaliczyć:

- klasę drogi,
- długość i szerokość drogi,
- konstrukcję drogi,
- strukturę łańcucha dostaw,

- rodzaj zużywanych materiałów oraz wykorzystywanych urządzeń i maszyn na poszczególnych poziomach łańcucha dostaw,
- gospodarkę energią w procesach produkcji materiałów, urządzeń, maszyn,
- ilość i gałęziowe zróżnicowanie procesów transportowych, wynikające ze struktury łańcucha dostaw,
- organizację procesów transportowych,
- występowanie i organizację procesów magazynowania.

Etap użytkowania

W przypadku dróg energia jest zużywana przede wszystkim na oświetlenie jej odcinków, oświetlenie i zasilanie urządzeń. Energia zużywana jest również przez urządzenia sterowania i zarządzania ruchem, np. urządzenia zbierania danych o ruchu drogowym, sygnalizację świetlną, jak też przez urządzenia znajdujące się na koronie drogi, zwłaszcza znaki i sygnały drogowe oraz urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego, sygnalizatory wiatru, mgły itp., urządzenia do pomiaru ruchu, kolumny łączności alarmowej. Jeśli droga ma charakter międzynarodowy, pod uwagę należy wziąć również zapotrzebowanie energii wynikające z funkcjonowania przejść granicznych. W związku z tym wzór na zużycie energii podczas eksploatacji drogi można zapisać następująco:

$$E_u = O_u + \sum_{k=1}^n U_k \quad (12)$$

gdzie:

E_u – energia zużyta podczas eksploatacji drogi w danej jednostce czasu,

O_u – energia zużyta na potrzeby oświetlenia podczas eksploatacji drogi w danej jednostce czasu,

U_k – energia zużyta przez k-te urządzenie podczas eksploatacji drogi w danej jednostce czasu,

n – liczba urządzeń zasilanych energią pracujących na drodze.

Wzór wyrażający zużycie energii na potrzeby eksploatacji drogi przypadające na 1 kilometr drogi można zapisać w następujący sposób:

$$E_{uj} = \frac{O_u + \sum_{k=1}^n U_k}{\sum km} \quad (13)$$

Poziomy zużywanej energii podczas eksploatacji dróg nie są oficjalnie rejestrowane. Jak wiadomo, dostępne są dane dotyczące energochłonności transportu, aczkolwiek są to ujęcia ukazujące zużycie energii przez poszczególne gałęzie transportu z pominięciem infrastruktury transportowej. Nie funkcjonują ogólnodostępne, rejestrowane w sposób cykliczny i obowiązkowy dane obrazujące wielkość zużycia energii konkretnych dróg. Takie informacje można ewentualnie zaczerpnąć z raportów, opracowań czy sprawozdań, jednakże trzeba zaznaczyć, że są one przeważnie bardzo ogólne i fragmentaryczne, nieprzedstawiające np. wielkości zużytej energii przez poszczególne urządzenia znajdujące się na drodze. Chcąc posłużyć się przykładem, można wspomnieć, że poziom zużycia energii w skali roku wynikający z funkcjonowania autostrady A2 w Polsce, ze wskazaniem na jej rodzaj, publikuje spółka Autostrada Eksploatacja SA. Z raportu za rok 2014 (*Autostrada...*, 2015, s. 31–32) wynika, że łączne zużycie energii wyniosło 5 424 900 kWh

i – jak zaznacza spółka – głównymi źródłami jej konsumpcji były: oświetlenie odcinków autostrady, oświetlenie i zasilanie urządzeń w obwodach utrzymania, na Placach Poboru Opłat, w Miejscach Obsługi Podróżnych i w warsztatach mechanicznych. Szczegółowe zestawienie rodzajów zużytej energii na autostradzie A2 przedstawiono w tabeli 1, natomiast zużycie energii odniesione do 1 kilometra autostrady w tabeli 2.

Tabela 1. Zużycie energii na autostradzie A2 w 2014 roku

Rodzaje energii	Jednostka	Zużycie energii w GJ
Energia elektryczna	MWh	39 731
Olej napędowy	tony	25 533
Benzyna	tony	483
Gaz ziemny wysokometanowy	dam ³	2 282
Gaz propan-butan	tony	895
Łącznie	GJ	68 925

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych zawartych w *Autostrada...* (2015).

Tabela 2. Zużycie energii na autostradzie A2 w 2014 roku przypadające na 1 km

	Jednostka miary	2014
Łączne zużycie energii	GJ	68 925
Efektywność związana z całkowitym zużyciem energii na 1 km	GJ/km	271,36

Źródło: jak w tabeli 1.

Jak można sądzić, podczas eksploatacji drogi energia jest zużywana w największym stopniu na potrzeby oświetlenia. Poziom zużycia energii jest więc zależny od ilości urządzeń technicznych zasilanych energią. Wpływ ma też sposób organizacji Obwodów Utrzymania Autostrad, Placów Poboru Opłat, Miejsc Obsługi Podróżnych.

Etap likwidacji

W ostatniej fazie cyklu życia drogi, w fazie likwidacji, skumulowane zużycie energii jest sumą:

$$E_l = E_{lr} + E_{ll} + E_{lu} \quad (14)$$

gdzie:

E_{lr} – skumulowane zużycie energii w procesie rozbiórki drogi,

E_{ll} – skumulowane zużycie energii podczas obsługi logistycznej procesów rozbiórki drogi,

E_{lu} – skumulowane zużycie energii podczas procesów utylizacji odpadów po rozbiórce drogi lub procesów odzysku energii w trakcie utylizacji odpadów, lub jedno i drugie łącznie.

Natomiast wielkość skumulowanego zużycia energii przypadającej na 1 kilometr likwidowanej drogi można wyrazić za pomocą wzoru:

$$E_{ij} = \frac{E_{lr} + E_{ll} + E_{lu}}{\sum km} \quad (15)$$

Nie wchodząc w dokładną analizę prowadzoną w stosunku do tej fazy, dodać można, że zużycie energii jest zależne głównie od sposobu rozbiórki drogi i wyboru technologii utylizacji i odzysku energii, zaś w przypadku procesów obsługi logistycznej – od występowania, obok transportu, procesów składowania odpadów. Na tej podstawie można stwierdzić, że wielkość użytej energii jest determinowana ilością i stopniem złożoności prac wykonywanych w fazie likwidacji obiektu logistycznego. Ważne znaczenie ma też odległość składowisk odpadów oraz odległość od miejsca, gdzie następują procesy utylizacji i odzysku.

PODSUMOWANIE

Badania energochłonności infrastruktury drogowej mogą dotyczyć:

- pojedynczego obiektu budowlanego, czyli drogi,
- grupy obiektów na danym obszarze, tj. sieci autostrad,
- obiektów budowlanych na obszarze całego kraju,
- całego cyklu życia obiektu logistycznego lub wybranego etapu.

Mogą służyć zarówno celom analitycznym, jak i stanowić podstawę analiz komparatystycznych. Dokładniej rzecz biorąc, mogą być podejmowane w celu:

- analizy zapotrzebowania na energię,
- analizy struktury zużycia energii,
- oceny zapotrzebowania na energię w różnych warunkach budowy i użytkowania drogi,
- porównania nakładów energii potrzebnych do procesu budowy drogi z zastosowaniem różnych technologii.

W opracowaniu przedstawiono elementarne założenia koncepcji pomiaru energochłonności infrastruktury drogowej. Koncepcję można dalej rozwijać, choćby uszczegóławiając analizę zużycia poszczególnych nośników energii. Pomocne w tym względzie będą zapewne znane już analizy energochłonności wyrobów, obiektów czy procesów, stosowane w różnych sektorach gospodarki.

LITERATURA

- Autostrada Eksploatacja 2014. Podróźni – Pracownicy – Przyroda* (2015). Poznań.
- Bibrowski, Z. (1988). *Energochłonność skumulowana*. Warszawa: PWN.
- Gronowicz, J. (2006). *Gospodarka energetyczna w transporcie lądowym*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Górzyński, J. (2012). *Podstawy analizy energetycznej obiektów budowlanych*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Górzyński, J. (2007). *Podstawy analizy środowiskowej wyrobów i obiektów*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

Sadowska, I. (2013). Metody analizy energochłonności w przemyśle – referat konferencyjny. XVI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Aktualne problemy w elektroenergetyce APE’13”. Jurata, 12–14 czerwca. *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej*, 33, 59–62.

Measurement of the Road Infrastructure’s Energy-Intensity – Conception and Methodology Assumptions

ABSTRACT | The aim of the article is to present the concept of measurement the energy-intensity of road infrastructure. The concept involves the use of life cycle analysis of the road, therefore considerations are divided according to the stages of the cycle. It indicates how you can measure the energy-intensity of road during construction, operation and liquidation of the road. Due to the fact that at the stage of designing of the road the energy consumption is marginal, it was omitted in the presented concept. Considerations are theoretical and are a unique concept of measuring resources-intensity of roads.

KEYWORDS | infrastructure, roads, energy-consumption, sustainable development

Translated by Izabela Dembińska