

# Analiza norm wydajności sprzętu budowlanego w aspekcie minimalizacji emisyjności CO<sub>2</sub>

Analysis of performance standards for construction equipment in terms of minimizing CO<sub>2</sub> emissions

dr inż. Jan Kowalski (ORCID: 0000-0002-8944-311X), dr inż. Grzegorz Wrzesiński (ORCID: 0000-0001-7715-3927), dr inż. Anna Markiewicz (ORCID: 0000-0002-7715-2809), Instytut Inżynierii Lądowej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

DOI: 10.5604/01.3001.0054.3609

**Streszczenie:** Zagadnienie analizy standardów pracy sprzętu budowlanego w branży budowlanej można rozpatrywać z dwóch punktów widzenia: jako zadanie optymalizacji rozwiązań minimalizujących zakres prac oraz określenie optymalnego wykorzystania zasobów pod względem emisji CO<sub>2</sub>. Przedmiotem niniejszego opracowania jest przedstawienie szczegółowych danych zebranych w trakcie wielomiesięcznych badań terenowych dotyczących rzeczywistych nakładów związanych z wykorzystaniem sprzętu ciężkiego podczas budowy kanalizacji sanitarnej. Celem jest przedstawienie analizy wyników z przeprowadzonych badań w odniesieniu do danych przyjętych przez inwestora na etapie planowania badanej inwestycji.

**Słowa kluczowe:** zrównoważony rozwój, wydajność koparek, emisja CO<sub>2</sub>, planowanie prac budowlanych.

**Abstract:** The issue of analysing the construction equipment hardware performance standards in the construction industry can be considered from two points of view: as a task of optimizing solutions to minimize the scope of work, and to determine the optimal use of resources in terms of CO<sub>2</sub> emissions. The subject of this paper is to present detailed data collected from the course of a long-month field research on the actual expenditures of heavy equipment use during the construction of sanitary sewers. The purpose is to present an analysis of the results from the conducted research in relation to performance standards adopted by Investor at the planning stage of the investment under study. In solving the issue, the differences between the assumed values and those used to carry out the work are determined.

**Keywords:** sustainable development, the performance of excavators, CO<sub>2</sub> emissions, planning of construction works.

## 1. Wprowadzenie

Realizacja obiektów budowlanych jest energochłonna. Nawet początkowe cykle istnienia obiektu (produkcja części do sprzętu budowlanego) wiążą się z emisjami do środowiska, zarówno w przemyśle wydobywczym, jak i materiałów budowlanych. Każdy z procesów składających się na produkcję materiałów budowlanych, od wydobycia i przetworzenia surowca po jego przygotowanie i zastosowanie, wymaga energii do transportu i budowy. Realizacja procesów wydobywczych i produkcyjnych pochłania energię wytwarzaną głównie z surowców nieodnawialnych [1].

Cykl życia obiektów, w tym obiektów liniowych, obejmuje fazę operacyjną, w wyniku której powstają odpady stałe, ciekłe i gazowe. Cykl istnienia zamyka rozbiórka obiektu i zbiórka lub utylizacja odpadów. Podczas tego cyklu istnieje również zapotrzebowanie na energię i grunty do przechowywania nieprzetworzonych pozostałości [1]. Poszczególne etapy cyklu istnienia obiektu liniowego charakteryzują się różnym zapotrzebowaniem na energię, które zależy od wielu czynników,

takich jak metody optymalizacji doboru sprzętu budowlanego i jego optymalnego wykorzystania. Dlatego, jak omówiono w [2], zapotrzebowanie energetyczne obiektów budowlanych powinno być rozpatrywane w całym cyklu życia obiektu. Na zagregowaną energię potrzebną do realizacji tych obiektów składa się nie tylko energia materiałowa (niezbędna do produkcji i utylizacji materiałów budowlanych), energia transportowa, ale także energia procesowa, która jest niezbędna do realizacji danego przedsięwzięcia budowlanego [3]. Energia procesowa w obiektach liniowych to niewątpliwie praca ciężkiego sprzętu budowlanego.

W literaturze można znaleźć badania dotyczące doboru maszyn do robót ziemnych pod kątem minimalizacji emisji CO<sub>2</sub> [2]. Większość z nich to analizy numeryczne wykorzystujące narzędzia statystyczne. Autorzy publikacji [2] uważają, że możliwe jest prognozowanie emisji dwutlenku węgla zestawu maszyn do robót ziemnych z wykorzystaniem metody sieci neuronowych. Na podstawie prognozy w sposób analityczny można dobrać odpowiedni zestaw maszyn tak, aby spełniały one kryteria zrównoważonego rozwoju.

Wpływ materiałów lub ich cyklu produkcyjnego na środowisko został również opisany w źródłach [4–19]. W literaturze brakuje analiz dotyczących emisji CO<sub>2</sub> dla sprzętu budowlanego, które dotyczyły porównania kosztorysu inwestorskiego z rzeczywistym procesem budowlanym.

Uzupełniając więc lukę w zakresie rzeczywistej emisyjności CO<sub>2</sub>, w pracy zaprezentowano badania nad wydajnością koparek. Wynik badań (post hoc) porównano z założeniami inwestora, które zostały opracowane na podstawie katalogów KNNR.

## 2. Przebieg badania

Jako materiał badawczy wykorzystano dane z inwestycji realizowanej w latach 2022–2023 w centralnej Polsce. Realizacja prac dotyczyła budowy sieci kanalizacji sanitarnej. Zadanie zostało zrealizowane w ramach Funduszu Spójności w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko 2014–2020. Kontrakt w zakresie zadania I.2.2 obejmował: budowę kanalizacji sanitarnej DN300 o długości 161,5 m i DN200 o długości 585,5 m oraz odcinków sieci DN150 o długości 39,0 m i DN160 o długości 225,5 m od kolektora ulicznego do granic posesji wraz z sięgaczami w ulicach bocznych. W ramach zadania I.2.3 wykonawca wykonał sieć kanalizacji sanitarnej DN200 o długości 141,0 m wraz z odcinkami sieci kanalizacyjnej DN160 o długości 18,0 m od kolektora ulicznego do granic posesji. Pierwotny termin realizacji umowy wynosił 8 miesięcy, a wartość brutto 5 312 370,00 zł. Po odbiorze robót dodatkowych termin końcowy wydłużono o 72 dni, zmieniając ostateczną wartość inwestycji na 5 482 804,46 zł. Obiekt badawczy realizowany był na zasadach Warunków Kontraktowych FIDIC – czerwona księga, tj. za opracowanie dokumentacji projektowej odpowiedzialny był zamawiający. W ramach dokumentacji projektowej opracowany został również przedmiar robót.

W ramach niniejszego opracowania autorzy dokonali analizy dokumentacji kontraktowej przekazanej wykonawcy, w tym przedmiaru robót. Celem badania było zweryfikowanie, czy nakłady rzeczowe przyjęte przez projektantów

na etapie projektowania inwestycji budowlanej są adekwatne do rzeczywistego procesu budowlanego. W szczególności w odniesieniu do emisji dwutlenku węgla.

W celu archiwizacji danych w pierwszej kolejności opracowano autorski arkusz kalkulacyjny, który został zaprojektowany w taki sposób, aby pozyskane dane charakteryzowały się jak najwyższym poziomem dokładności. Ze względu na złożoność procesów budowlanych zdecydowano się na codzienną archiwizację danych. Po zakończeniu badania terenowego badacze otrzymali szczegółową bazę danych, która zawiera informacje na temat: liczby roboczegodzin, liczby motogodzin, ilości wykorzystanych zasobów, ilości faktycznie wykonanej pracy. Dodatkowo co tydzień przeprowadzana była weryfikacja jakościowa wprowadzanych danych. Szczególną uwagę zwrócono na korelację planowanego sprzętu budowlanego, zestawionego na podstawie zestawienia ilościowego, z jego faktycznym wykorzystaniem. Ostatecznej analizie poddano emisję CO<sub>2</sub> przez koparki. Należy podkreślić, że analizy przedstawione w niniejszym artykule można uznać za badania wstępne.

## 3. Wyniki

Przykład obliczeniowy wykonano na podstawie powstałej różnicy w pracy sprzętu, mierzonej w motogodzinach, pomiędzy liczbą planowaną a wykonaną. Na potrzeby analizy

**Tabela 1.** Przewidywana praca ciężkiego sprzętu wg dokumentów kontraktowych.

Lp	Typ sprzętu budowlanego	Liczba motogodzin [m-g]	Założenie dotyczące zużycia paliwa [dm <sup>3</sup> /godz.]	Ilość zużytego paliwa [dm <sup>3</sup> ]
1	Koparka kołowa (poj. łyżki: 1,1–1,6 m <sup>3</sup> )	39,00	10,20	397,80
2	Koparka kołowa (poj. łyżki: 0,4 m <sup>3</sup> )	496,11	6,61	3279,29
	Razem	535,11	-	3677,09

**Tabela 2.** Pomiar rzeczywistych godzin jazdy (badania własne)

Lp	Typ sprzętu budowlanego	Model koparki	Liczba motogodzin [m-g]	Ilość zużytego paliwa [dm <sup>3</sup> ]
1	Koparka kołowa (poj. łyżki: 0,6–1,2 m <sup>3</sup> )	CAT 318F 318F	622	4,230
2	Koparka kołowa (poj. łyżki: 0,6–1,2 m <sup>3</sup> )	Doosan DX 210W-5 Dx 210W-5	533	3,333
3	Koparka kołowa (poj. łyżki: 0,6–1,2 m <sup>3</sup> )	Dosan DX 160-W5 160 W-5	492	2,750
4	Koparko-ładowarka (poj. łyżki: 0,4 m <sup>3</sup> )	CASE 695 695	26	170
5	Koparka kołowa (poj. łyżki: 0,6–1,2 m <sup>3</sup> )	Doosan Dx190W-5 DX-190 W-5 NR. 4	355	2,505
6	Koparka gąsienicowa (poj. łyżki: 0,6–1,2 m <sup>3</sup> )	Doosan Dx 235LCR-5 DX 235 LCR-5	159	1,464
		Razem	2187,00	14 452,00

**Tabela 3.** Emisje CO<sub>2</sub> dla planowanego sprzętu budowlanego wg dokumentacji kontraktowej

Lp.	Typ sprzętu budowlanego	Zakładana ilość zużytego paliwa	Zakładana emisja CO <sub>2</sub> ze spalania 1 dm <sup>3</sup> oleju napędowego [kg] CO <sub>2</sub>	Emisja dwutlenku węgla [kg] CO <sub>2</sub>
1	Koparka kołowa (poj. łyżki: 1,1–1,6 m <sup>3</sup> )	397,80	2,67	1062,13
2	Koparka kołowa (poj. łyżki: 0,4 m <sup>3</sup> )	3279,29	2,67	8755,70
			Razem	9 817,83

**Tabela 4.** Emisja CO<sub>2</sub> w warunkach rzeczywistej pracy sprzętu budowlanego (badania własne)

Lp	Typ sprzętu budowlanego	Całkowita ilość zużytego paliwa [dm <sup>3</sup> ]	Zakładana emisja CO <sub>2</sub> ze spalania 1 dm <sup>3</sup> oleju napędowego	Emisja dwutlenku węgla [kg] CO <sub>2</sub>
1	Koparka kołowa (poj. łyżki: 0,6–1,2 m <sup>3</sup> )	4230	2,67	11 294,10
2	Koparka kołowa (poj. łyżki: 0,6–1,2 m <sup>3</sup> )	3333	2,67	8899,11
3	Koparka kołowa (poj. łyżki: 0,6–1,2 m <sup>3</sup> )	2750	2,67	7342,50
4	Koparko-ładowarka (poj. łyżki: 0,4 m <sup>3</sup> )	170	2,67	453,90
5	Koparka kołowa (poj. łyżki: 0,6–1,2 m <sup>3</sup> )	2505	2,67	6688,35
6	Koparka gąsienicowa (poj. łyżki: 0,6–1,2 m <sup>3</sup> )	1464	2,67	3908,88
			Razem	38 586,84

przyjęto średnie spalanie oleju napędowego dla koparki na poziomie: 10,2 l/m-g dla pojemności łyżki: 1,1–1,6 m<sup>3</sup> oraz 6,61 l/m-g dla pojemności łyżki: 0,4 m<sup>3</sup> (dla danych z analizowanego kontraktu).

Dane wyjściowe (bazowe) wyodrębnione z dokumentacji kontraktowej (zestawienie ilości) i zakładane zużycie oleju napędowego przedstawiono w tabeli 1.

Rzeczywiste ilości motogodzin i całkowite zużycie paliwa przedstawia tabela 2.

Do obliczenia prawdopodobnej emisji wykorzystano równanie CO<sub>2</sub> (1), a wyniki przedstawiono w tabelach 3 i 4. Na potrzeby analizy przyjęto, że emisja CO<sub>2</sub> ze spalania 1 dm<sup>3</sup> oleju napędowego wynosi 2,67 kg CO<sub>2</sub> [20].

$$\text{Zużycie paliwa} \times \text{emisja ze spalania 1 dm}^3 \text{ oleju napędowego} = \text{całkowita emisja} \quad (1)$$

W wyniku obliczeń uzyskano znaczącą różnicę między planowaną a rzeczywistą emisją CO<sub>2</sub>. Do obliczeń wykorzystano równanie 2:

$$\text{Rzeczywista emisja (38 586,84)} - \text{Planowana emisja (9 817,83)} = 28 769,01 \text{ [kg] CO}_2 \quad (2)$$

Wynik: Przekroczenie emisji dwutlenku węgla: 393%.

#### 4. Podsumowanie

Możliwe jest prognozowanie emisji CO<sub>2</sub> za pomocą metod takich jak sieci neuronowe. Na podstawie prognozy w sposób analityczny można dobrać odpowiedni zestaw maszyn tak, aby spełniał on kryteria zrównoważonego rozwoju.

Ważne jest jednak, aby analizy te były poprzedzone badaniami terenowymi lub analizą dokumentacji zawierającej wiarygodne dane na temat planowanego wykorzystania sprzętu budowlanego.

Przedmiar powinien odzwierciedlać planowaną strukturę projektu, czas i terminy jego realizacji, planowane koszty oraz planowane nakłady rzeczowe i finansowe. Na tej podstawie dość łatwo jest obliczyć emisję CO<sub>2</sub> podczas realizacji projektów budowlanych. Niestety, jak wykazano w niniejszym artykule, dokumenty kontraktowe (np. kosztorysy robót) nie zawsze odzwierciedlają stan faktyczny. Dlatego inwestorzy nie są w stanie określić, które procesy powinny zostać zoptymalizowane w celu zmniejszenia emisji dwutlenku węgla.

Autorzy mają świadomość, że prezentowane dane zawierają pewne uproszczenia. Niemniej jednak opisany problem badawczy traktowany jest przez autorów jako wstępna faza planowanych badań, które będą sukcesywnie prowadzone na większą skalę. Docelowo planowane jest zweryfikowanie, jak w rzeczywistości prezentują się osiągi sprzętu budowlanego, np. z danych warunków terenowych.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że nastąpił znaczny wzrost emisji dwutlenku węgla, a w przypadku analizowanego kontraktu wynosi on ponad 393%. Tak duża wartość przekroczonego parametru CO<sub>2</sub> jednoznacznie wskazuje, że tematyka podjęta w niniejszym artykule powinna zostać rozszerzona na inne badania.

Założenia w zakresie: emisji 2,67 kg CO<sub>2</sub> ze spalania 1 litra oleju napędowego oraz średniego spalania oleju napędowego podczas pracy koparki, należy traktować jedynie jako parametr pomocniczy w zakresie analizy numerycznej.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Golański M., Wybór materiałów budowlanych w kontekście efektywności energetycznej i wpływu środowiskowego, *Civil and Environmental Engineering* 3/2012, str. 39–53
- [2] Rogalska M., Hejducki Z., Prognozowanie emisyjności CO<sub>2</sub> koparek gąsienicowych i samochodów samowładowczych metodami regresji wielorakiej i sieci neuronowych, *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej*, 13, 2012, str. 293–298
- [3] Rogalska M., Z. Hejducki, Analiza doboru materiałów budowlanych w aspekcie zrównoważonego rozwoju, *Przegląd Budowlany* 2/2007, str. 36–40
- [4] Anderson J., Shiers D., *The Green Guide to Specification*, Blackwell Science Ltd., Oxford, 2002
- [5] Anink D., Boonstra C., Mak J., *Handbook of sustainable building, an environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment*, James & James, London, 1996
- [6] Berge B., *Ecology of building materials*, Architectural Press, Oxford, 2001
- [7] Brand S., *How Buildings Learn*, Viking Penguin, New York, 1994
- [8] Cole R. J., Kernan P. C., *Life-cycle energy use in office buildings, building and environment*, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1996
- [9] Grabowska L., *Rynek koponpy w EU i w Polsce*, Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich, Poznań, 2009
- [10] Górzyski J., *Obciążenia środowiska w produkcji wyrobów budowlanych*, prace naukowe, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2004
- [11] Hammond G., Jones C., *Inventory of carbon & energy*, University of Bath, Bath, 2011
- [12] Kazimierzak Z., Gorzkowski S., *Ekologiczne technologie wytwarzania powłok organicznych*. Instytut Chemii Przemysłowej, Warszawa, 1999
- [13] Runkiewicz L., *Wykonywanie obiektów budowlanych zgodnie z zasadami rozwoju zrównoważonego*, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2010
- [14] Sarté B., *Sustainable infrastructure the guide to green engineering and design*, J.Willey & Son, Inc., Oxford, 2010
- [15] West J., Atkinson C., Howard N., *Proceedings of the first international conference of buildings and environment*, CIB, 1994
- [16] Williamson A. G., *Energy efficiency in domestic buildings, a literature review and commentary*. Ministry of Commerce, New Zealand, 1997
- [17] Woolley T., Kimmins S., Harrison P., Harrison R., *Green building handbook*, Spon Press, London, 1997
- [18] Zima K., *Zintegrowana analiza kosztów i ilości emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia budynku*, *Archiwum Inżynierii Lądowej* 67(2)2021
- [19] Wieczorek D., Zima K., *Analiza doboru materiałów do budowy dróg z uwzględnieniem śladu węglowego i kosztów budowy*, *Archives of Civil Engineering* 68(3)2022
- [20] <https://pl.econologie.com/Emisje-co2-litra-paliwa%2C-benzyna-lub-diesel-gpl/>



## XIV KONFERENCJA NAUKOWO – TECHNICZNA BUDOWNICTWO W ENERGETYCE

Karpacz 17–20 września 2024 r.

### KOMITET ORGANIZACYJNY:

- mgr inż. Janusz Darlak – przewodniczący,  
tel.: +48 75 773 7265; e-mail: janusz.darlak@gkpgge.pl;  
janusz.darlak@wp.pl
- mgr inż. Krystian Przygodzki – wiceprzewodniczący,  
tel.: +48 75 773 7272; e-mail: krystian.przygodzki@gkpgge.pl
- inż. Jerzy Bączkowski – członek

### KOMITET NAUKOWY:

- dr hab. inż. Eugeniusz Hotała, prof. uczelni (PWr.) – przewodniczący
- prof. dr hab. inż. Piotr Konderla – wiceprzewodniczący
- dr hab. inż. Jacek Korentz, prof. uczelni (UZ) – wiceprzewodniczący
- prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz – wiceprzewodniczący
- dr hab. inż. Dariusz Czepeżak, prof. uczelni (PWr.) – sekretarz

### TEMATYKA KONFERENCJI:

Organizowana po raz czternasty Konferencja obejmuje głównie problematykę budownictwa przemysłowego, która pojawia się aktualnie w procesach inwestycyjnych, modernizacyjnych, eksploatacyjnych i remontowych. Dotyczy to obiektów takich jak kominy przemysłowe, chłodnie kominowe, rurociągi, zbiorniki na ciecze, silosy i zasobniki na materiały sypkie, otwarte i zamknięte składowiska węgla, energetyczne budowle wodne, wiatrowe i jądrowe, linie energetyczne, estakady i mosty przemysłowe, fundamenty obiektów i urządzeń energetycznych oraz wieże i maszty. Przewidujemy przedstawić problemy związane z realizacją procesów budowlanych nowoczesnych obiektów przemysłowych w energetyce. Przedmiotem obrad i dyskusji staną się również zagadnienia powiązane z obiektami budowlanymi w energetyce odnawialnej i jądrowej. Tematyka Konferencji dotyczy rozwiązywania obecnych potrzeb inwestorów, projektantów, wykonawców i użytkowników budowlanych obiektów przemysłowych stosowanych m.in. w energetyce. Konferencja będzie szczególnym forum wymiany poglądów pomiędzy jej uczestnikami. Będzie też okazją do podsumowania dotychczasowych jej osiągnięć, a ponadto umożliwi prezentację bieżących osiągnięć wykonawców przemysłowych obiektów energetycznych i nowych technologii stosowanych przy ich realizacji.

### WARUNKI I KOSZTY UCZESTNICTWA:

uczestnik konferencji 2100 zł + 23% VAT, osoby towarzyszące 1500 zł + 23% VAT i obejmują: wyżywienie (obiad i kolacja), koszty organizacyjne, materiały konferencyjne oraz koszty imprez towarzyszących. Koszty zakwaterowania uczestnicy konferencji pokrywają indywidualnie. Preferencyjne ceny w hotelu Mercure są dostępne do dnia 30 maja 2024 r. po podaniu hasła: „Energetyka 2024”.



Konferencja „Budownictwo w Energetyce” | Stowarzyszenie Naukowe im. Stanisława Staszica w Krakowie  
ING Bank Śląski 33 1050 1360 1000 0090 8176 8625

31-115 Kraków, ul. Garncarska 5/2 | tel./fax: + 48 12 632 76 93 | e-mail: geo-staszic@wp.pl | [www.stow-staszica.org](http://www.stow-staszica.org)