

Joanna Białkiewicz (joanna.bialkiewicz@pk.edu.pl)

 <https://orcid.org/0000-0002-8827-9397>

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Architektury

Iga Dobosz (dobosz.iga04@gmail.com)

Aleksandra Dubiel (aleksandra.dubiel@proton.me)

Daria Dziób (dziob.daria@gmail.com)

Studentki, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Architektury

Szacowanie śladu węglowego w budownictwie – projekt kalkulatora ekwiwalentu CO₂

Assessing the Carbon Footprint in Construction industry – A CO₂e Calculator Project

Streszczenie

W artykule omówiono projekt strony internetowej z darmowym kalkulatorem emisji ekwiwalentu CO₂ dla materiałów budowlanych oraz procesów ich produkcji i transportu. Zweryfikowano jego skuteczność metodą porównawczą względem rozwiązań zagranicznych. Wyniki potwierdzają przydatność narzędzia, ale również wskazują bariery dla jego rozwoju, takie jak brak ram prawnych i istotnych krajowych baz danych.

Słowa kluczowe: ślad węglowy, budownictwo, zrównoważony rozwój, analiza LCA, narzędzia projektowe

Abstract

The article presents a website with a free calculator for estimating CO₂-equivalent emissions of building materials and related processes. Its effectiveness was verified through comparison with international tools. The results confirm its usefulness and identify key barriers to further development, including legal constraints and the lack of national CO₂-equivalent databases.

Keywords: carbon footprint, construction, sustainable development, LCA analysis, design tools

1. WPROWADZENIE

1.1. PROBLEM BADAWCZY – ZAKRES TEMATYCZNY, CZASOWY I TERYTORIALNY

W dobie rosnących wyzwań związanych z kryzysem klimatycznym redukcja emisji gazów cieplarnianych staje się priorytetem polityk środowiskowych zarówno na poziomie globalnym, jak i lokalnym. W sektorze budownictwa, który odpowiada za znaczący udział w zużyciu zasobów naturalnych oraz emisji gazów cieplarnianych wyrażonych w ekwiwalencie CO₂, konieczne jest wdrażanie narzędzi umożliwiających oszacowanie śladu węglowego projektów budowlanych. Przedmiotem niniejszego artykułu jest opracowany przez autorki projekt zatytułowany „Grzech pierworodny architektury: Kalkulator szacujący emisje CO₂ w budownictwie”, którego celem jest stworzenie narzędzia pozwalającego na analizę wpływu decyzji projektowych na środowisko w kontekście emisji związanych z produkcją materiałów budowlanych oraz wydobyciem i transportem surowców.

Zakres tematyczny obejmuje analizę emisji ekwiwalentu CO₂ wynikających z trzech głównych etapów cyklu życia materiałów budowlanych: wydobycia i produkcji surowców (moduł A1), transportu (A2) oraz produkcji wyrobów budowlanych (A3). Badania zawierają także porównanie wyników uzyskiwanych przy użyciu kalkulatora opracowanego w ramach projektu z wynikami zagranicznych narzędzi, takich jak program „FOOTPRINT CALC” (opracowany przez naukowców z Politechniki w Delft) oraz wtyczka „DesignLCA” przeznaczona do pracy w programie Archicad. Analiza została przeprowadzona dla budynków spełniających współczesne standardy energetyczne, co w kontekście rozważań dotyczących projektów energooszczędnych oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii, nabiera szczególnego znaczenia. Terytorialnie projekt skupia się na analizie warunków polskich przy jednoczesnym odniesieniu do rozwiązań stosowanych w krajach Europy Zachodniej, gdzie narzędzia do analizy śladu węglowego są już wdrożone i stanowią standard w procesie projektowania (Węglarz, 2020; Bartosz i Kowalski, 2022).

1.2. UZASADNIENIE WYBORU TEMATU, CEL BADAŃ ORAZ HIPOTEZA

Wybór tematu niniejszego artykułu podyktowany jest zarówno globalnymi wyzwaniami klimatycznymi, jak i specyfiką sektora budownictwa, który stanowi jeden z głównych obszarów działań Unii Europejskiej na rzecz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Przyjęcie pakietu „Fit for 55” przez Komisję Europejską w 2021 roku oraz wdrażanie nowych regulacji dotyczących efektywności energetycznej budynków wywołało konieczność dostosowania procesów projektowych do wymogów zrównoważonego rozwoju¹ (COM(2020)662 final). W krajach zachodnich, m.in. w Danii czy Holandii, standardem stało się stosowanie kalkulatorów szacujących ślad

¹ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej.

węglowy, co pozwala na podejmowanie świadomych decyzji projektowych oraz realizację inwestycji zgodnych z zasadami dekarbonizacji. W Polsce, pomimo rosnącego zainteresowania tematyką zrównoważonego budownictwa, dostępność takich narzędzi jest ograniczona. Stąd też podjęcie badań w tym zakresie ma istotne znaczenie dla adaptacji międzynarodowych standardów oraz przyspieszenia wdrażania praktyk sprzyjających ochronie środowiska.

Głównym celem badań przedstawionych w artykule jest opracowanie i walidacja kalkulatora szacującego emisje ekwiwalentu CO₂ związane z produkcją materiałów budowlanych oraz wydobyciem i transportem surowców. Kalkulator ma umożliwić szybkie oszacowanie śladu węglowego w fazach wydobycia surowców, ich transportu do fabryki oraz produkcji materiałów budowlanych, co pozwoli na porównanie różnych technologii konstrukcyjnych (np. konstrukcji drewnianych, stalowych, betonowych) w kontekście ich wpływu na środowisko. Dodatkowo badania mają na celu określenie rozbieżności między wynikami uzyskiwanymi przy użyciu krajowego narzędzia a zagranicznymi kalkulatorami, co stanowi punkt wyjścia do dalszych modyfikacji i kalibracji kalkulatora.

Hipoteza przyjęta w ramach badań zakłada, że wdrożenie specjalnie zaprojektowanego kalkulatora do szacowania emisji ekwiwalentu CO₂ w budownictwie, dostosowanego do lokalnych uwarunkowań produkcyjnych i technologicznych, pozwoli na uzyskanie wyników zbliżonych do rzeczywistych wartości. Hipoteza ta opiera się na założeniu, iż uwzględnienie specyfiki lokalnych baz danych środowiskowych umożliwi bardziej trafne oszacowanie śladu węglowego projektów budowlanych. W kontekście regulacji unijnych, gdzie analiza cyklu życia budynku (LCA) staje się standardem, implementacja narzędzia opartego na lokalnych danych stanowiłaby znaczący krok naprzód w kierunku dekarbonizacji sektora budownictwa w Polsce.

2. STAN BADAŃ

2.1. SZACOWANIE ŚŁADU WĘGLOWEGO W POLSCE ORAZ W INNYCH KRAJACH UNII EUROPEJSKIEJ

W związku z rosnącą świadomością kryzysu klimatycznego wiele krajów Unii Europejskiej zdecydowało się na wprowadzenie regulacji zobowiązujących projektantów do prowadzenia dokumentacji dotyczących emisji i cyklu życia projektowanych budynków. Komisja Europejska w 2014 roku opublikowała pierwszą wersję systemu dotyczącego zrównoważonego rozwoju środowiskowego budynków, zwanego Level(s) – jest to zestaw wskaźników odnoszących się do efektywności wykorzystania zasobów oraz wpływu budynków na środowisko (De Wolf i in., 2023). Różne rozwiązania wdrażane przez poszczególne kraje Unii Europejskiej są szczegółowo omawiane oraz porównywane w literaturze naukowej, szczególnie tej publikowanej za granicą. Przegląd takich rozwiązań można znaleźć między innymi w artykule „Whole life cycle environmental impact assessment of buildings: Developing software tool and database support

for the EU framework Level(s)” (De Wolf i in., 2023). W niniejszym artykule skrótowo zostaną omówione niektóre z nich. W Danii od 2023 roku prawo wymaga sporządzania analiz LCA (Life Cycle Assessment) w całym cyklu życia nowych budynków powyżej 1000 m². W 2025 roku planowane jest wprowadzenie pierwszych limitów emisji opracowanych na podstawie dostarczonych przez architektów analiz. We Francji od 2022 roku wprowadzono obowiązek sporządzania analiz LCA dla budynków mieszkalnych i biurowych, a od 2023 roku – dla pozostałych typów obiektów. W Finlandii opracowano metodę oceny oddziaływania budynków na środowisko, którą należy przeprowadzić na etapie projektowania budynku. Planowane jest także wprowadzenie limitów emisji od 2025 roku. W Holandii już w 2018 roku wprowadzono obowiązek sporządzania oceny efektywności środowiskowej dla każdego nowego budynku mieszkalnego i biurowego o powierzchni powyżej 100 m². Podobne regulacje obowiązują też w Szwecji, Norwegii oraz Wielkiej Brytanii (Bartosz i Kowalski, 2022). W wielu krajach opracowano także różne plany dekarbonizacji sektora budownictwa. Przykładowo Niemcy planują zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 65% do 2035 roku, a neutralność klimatyczną chcą osiągnąć do 2045. Celem Danii jest zmniejszenie emisji o 70% do 2030, Holandii o 49%, a Wielkiej Brytanii o 78% do 2035 roku (Bartosz i Kowalski, 2022).

Polskie przepisy obecnie nie wymagają od architektów przeprowadzania analizy cyklu życia budynku, dlatego nie są one powszechnie sporządzane. Jeśli są sporządzane, to często ze względu na potrzeby certyfikacji (np. BREEAM, LEED, ZIELONY DOM), najczęściej na podstawie gotowego projektu, podczas gdy największy potencjał optymalizacji projektu pod względem minimalizacji śladu węglowego leży w fazie koncepcyjnej (Bartosz i Kowalski, 2022). Aby zrealizować cele klimatyczne narzucone przez Unię Europejską, konieczne jest wprowadzenie odpowiedniej legislacji.

2.2. BAZY DANYCH

Wiele z wymienionych powyżej krajów posiada własne, narodowe bazy danych. Jest to bardzo ważne, ponieważ wskaźnik GWP (ang. *global warming potential*) dla danego materiału, który określa emisję ekwiwalentu CO₂ na daną jednostkę ilościową, różni się w zależności od kraju produkcji danego materiału. Wpływają na to różnice w metodach produkcji i wydobywania, różne uśrednione dystanse, na które transportowane są materiały, a także zróżnicowane struktury energetyczne danych regionów. W Polsce taka baza jeszcze nie została opracowana – wydawane są jedynie deklaracje środowiskowe produktów (EPD) dla konkretnych produktów. Obecnie na stronie Instytutu Technologii Budowlanych znajduje się ponad 700 deklaracji (z czego niektóre straciły już ważność). Brakuje jednak danych generycznych, czyli informacji uśrednionych zebranych dla jednego materiału, stworzonych na podstawie informacji pochodzących od różnych producentów. Dodatkowo wiele z produktów, dla których wydane zostały deklaracje, to produkty specjalistyczne o wąskiej możliwości zastosowania. Na palącą potrzebę utworzenia legislacji w zakresie opracowywania analiz cykli życia, a następnie zbierania danych oraz

rozwijania narodowej bazy danych wskazuje treść artykułu „Zerowy ślad węglowy budynków – mapa drogowa dekarbonizacji budownictwa do roku 2050” (Kuczera i Płoszaj-Mazurek, 2021). Autorzy w swoim raporcie przedstawiają ścieżkę prowadzącą do dekarbonizacji polskiego sektora budowlanego z podziałem na lata oraz na poszczególne grupy podejmujące działania (administracja rządowa, samorządowa, projektanci, producenci, wykonawcy itd.). Publikacja ta zauważa wiele problemów w polskiej polityce klimatycznej, m.in. brak jednoznacznych i mierzalnych celów klimatycznych w polityce krajowej, małą liczbę produktów i materiałów budowlanych z dostępnymi deklaracjami środowiskowymi czy brak istniejących procesów i praktyk weryfikacji deklarowanego zużycia energii w projektowanych, powstających i istniejących budynkach. Szereg rekomendacji i zaleceń dla sektora polskiego budownictwa został szczegółowo omówiony także w publikacji *Zeroemisyjna Polska 2050 – Budownictwo* opracowanej w 2020 roku przez Fundację WWF Polska (Węglarz, 2020) oraz w artykule „REPowerEU: Nowy impuls dla krajowych reform wspierających transformację” opracowanym przez organizację pozarządową Instytut Reform (Stefańczyk, Śniegocki, Wetmańska, 2022).

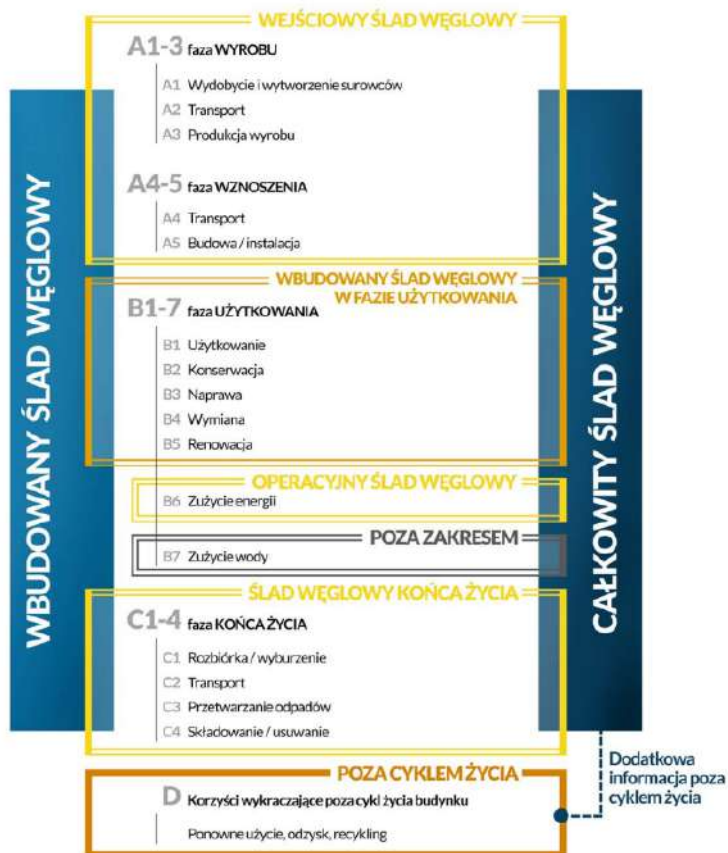
2.3. OCENA CYKLU ŻYCIA LCA

Ocena cyklu życia (LCA – Life Cycle Assessment) od lat 90. XX wieku jest jedną z bardziej rozwijających się metod wykorzystywanych w ocenie oddziaływania na środowisko produktów, technologii czy usług. W budownictwie, zgodnie z normą PN-EN 15978, cykl życia budynku podzielono na trzy fazy: A – fazę wyrobu i wznoszenia, B – fazę użytkowania, C – fazę końca życia. Niektóre analizy zawierają jeszcze moduł D, który uwzględnia korzyści wykraczające poza cykl życia budynku. Poszczególne fazy dzielą się dodatkowo na podfazy, zgodnie z zamieszczoną grafiką (il. 1).

W tej metodzie ślad węglowy dzieli się na wejściowy, wbudowany oraz ślad węglowy końca życia.

Ślad węglowy zazwyczaj określa się dla różnych zakresów cyklu życia. Można wybrać jedną z kilku przedstawionych poniżej metod:

- Ocena „od kolebki do bramy” (ang. *from cradle to gate*) obejmuje moduły od A1 do A3. Uwzględnia wyłącznie emisje powiązane z wytworzeniem wyrobów, z których powstał lub powstanie budynek. W tym zakresie można zastosować kalkulator, który powstał w opisywanym projekcie.
- Ocena „od kolebki do ukończenia budowy” (ang. *from cradle to completion*) uwzględnia moduły od A1 do A5, czyli dodatkowo zawiera emisje spowodowane przez transport wyrobów oraz przez proces budowy.
- Ocena „od kolebki do grobu” (ang. *from cradle to grave*) bierze pod uwagę cały cykl życia budynku, zatem moduły A1–A5, B1–B7 oraz C1–C4.



Il. 1. Fazy cyklu życia budynku wg normy PN-EN 15978 (Kuczera, Płoszaj-Mazurek, 2021)

- Ocena „od kolebki do kolebki” (ang. *from cradle to cradle*) uwzględnia dodatkowo korzyści z recyklingu materiałów budowlanych pozyskanych z rozbiórki budynku (Bartosz, Kowalski, 2022; Cabeza i in., 2013).

W fazach A1–A3 oraz B4–B5 i C1–D powszechnie stosowane są uśrednione dane (generyczne) lub szczegółowe dane z deklaracji EPD (gdy znany jest już konkretny produkt, który zostanie zastosowany przy budowie). W fazach A4 i A5, a także B1–B3 należy zastosować dane ogólne oparte na szacunkowych wartościach dla referencyjnych budów lub typów obiektów. Szczególnie problematyczne jest pozyskanie danych dotyczących emisji w fazach A4 i A5 oraz B1–B3, ponieważ są one z reguły trudno dostępne (Bartosz, Kowalski, 2022).

Przykładową analizę śladu węglowego dwóch projektów domów jednorodzinnych przeprowadzono w publikacji *Ślad węglowy domu jednorodzinnego pod lupą – dowiedz się, jak budować odpowiedzialnie* autorstwa specjalistów z Krajowej Agencji Poszanowania Energii

na zlecenie grupy Saint-Gobain i pracowni HomeKONCEPT (Krajowa Agencja Poszanowania Energii, b.r.). Autorzy analizy wykorzystali dokładne dane dotyczące śladu węglowego dla niektórych grup materiałów budowlanych (np. dla wełny mineralnej), zaczerpnięte z deklaracji środowiskowej produktu. Gdy takie dane nie były dostępne, przyjęto dane uśrednione na podstawie informacji gromadzonych przez odpowiednie instytuty. Dodatkowo wykonano szacunki śladu węglowego związanego z transportem materiałów. Na podstawie odpowiednich założeń obliczono liczbę kursów samochodu ciężarowego i ilość spalonego paliwa, z czego wyciągnięto wnioski dotyczące emisji. Zaprezentowana w tym artykule analiza dobrze ilustruje proces szacowania śladu węglowego budynków, prezentując wykonywane szacunki „krok po kroku” wraz z niezbędnymi założeniami. Podobną analizę przeprowadzono w artykule „Badanie wpływu rozwiązań projektowych na wbudowany ślad węglowy na przykładzie budynku biurowego” (Przywózka i in., 2022). W polskiej literaturze brakuje przeglądu przykładowych analiz dla różnych rodzajów budynków (w szczególności użyteczności publicznej oraz przemysłowych) wraz z zaprezentowanymi możliwościami redukcji śladu węglowego na etapie koncepcyjnym. Katalog taki pomógłby architektom zrozumieć proces tworzenia takich analiz oraz zwizualizować im skalę emisji różnych typów obiektów.

2.4. OPROGRAMOWANIA SŁUŻĄCE DO SZACOWANIA ŚŁADU WĘGLOWEGO

Obecnie na rynku istnieją specjalistyczne programy opracowane z myślą o ocenie cyklu życia budynku. Komisja Europejska w 2020 roku wydała dokument o nazwie *Criteria for analysis of LCA software tools and databases for buildings – DRAFT 4.1* (De Wolf, Cordella, Dodd, 2020), gdzie znajduje się zestawienie wszystkich powszechnie stosowanych w Europie oprogramowań oraz baz danych. Takie narzędzia ułatwiają dostęp do wielu informacji oraz posiadają zaimplementowane formuły do obliczeń różnych modułów na podstawie lokalizacji budowy i przyjętego środka transportu dla danego produktu. Programy mogą ułatwić także pozyskanie informacji o budynku z modelu BIM oraz przedstawienie wyników (De Wolf i in., 2023). Najpopularniejsze z nich to One Click LCA (z modułem Structural Carbon Tool), EC3 oraz eToolLCD. Są to płatne programy, których zakres obejmuje często moduły od A do D. Na rynku brakuje jednak darmowych wersji takich programów oraz oprogramowań dostosowywanych do uwarunkowań polskiej gospodarki. Znacznie utrudnia to dostęp do programów, np. studentom bądź małym biurom projektowym. Stworzenie darmowego programu, który ułatwia szacowanie śladu węglowego obiektu oraz wyjaśnia proces tworzenia analizy cyklu życia, przyczyniłoby się do wdrożenia w praktyce projektowej założeń projektowania zrównoważonego oraz mogłoby pomóc w zwiększaniu świadomości ekologicznej wśród studentów i projektantów.

3. OPIS BADAŃ WŁASNYCH

3.1. TERMIN PROWADZENIA BADAŃ I METODY BADAWCZE

W okresie luty–kwiecień 2024 roku przeprowadzona została pierwsza faza projektu – zebranie materiałów dotyczących szacowania śladu węglowego budynków oraz stworzenie „Bazy wiedzy” – tekstu opracowanego przez autorki projektu i zamieszczonego na stronie tworzonego kalkulatora, który zawiera wszystkie niezbędne informacje dotyczące śladu węglowego oraz powszechnie przyjętej metodologii jego szacowania². Odpowiada on na trzy kluczowe pytania: czym jest ślad węglowy budynku, dlaczego warto go oszacować oraz jakie metody należy zastosować? Celem stworzenia „Bazy wiedzy” było uświadomienie użytkownikowi, że szacowanie śladu węglowego budynku to kompleksowy proces, uwzględniający wszystkie fazy życia budynku – od wytworzenia surowców potrzebnych do budowy i rozbiórki budynku i recyklingu materiałów budowlanych.

Następnie w okresie kwiecień–maj 2024 stworzona została baza danych zawierająca najpopularniejsze materiały budowlane i przypisany im ekwiwalent dwutlenku węgla przypadające na daną jednostkę ilościową. Baza ta zawiera obecnie 103 materiały budowlane i elementy wykończeniowe podzielone na cztery kategorie: materiały główne, termoizolacje, wykończenia oraz pozostałe. Dane pochodzą obecnie z wielu źródeł, z których najczęściej używanym była niemiecka baza ÖKOBAUDAT (2025). Użycie polskich danych okazało się niemożliwe ze względu na brak informacji generycznych.

W maju 2024 roku powstała strona projektu, którą stworzył Jakub Dobosz, student Akademii Górniczo-Hutniczej. Po jej uruchomieniu oszacowano ślad węglowy projektu biurowca wykonanego przez pracowników Katedry Geometrii Wykreślnej i Technologii Cyfrowych WA PK, a udostępnionego w ramach zajęć z przedmiotu BIM w Architekturze. Aby przetestować program, ślad węglowy tego obiektu oszacowano także przy użyciu dwóch innych narzędzi – FOOTPRINT CALC, opracowanego przez naukowców z Politechniki w Delft, oraz wtyczki do Archicada – DesignLCA, opracowanej w Danii. Projekt zaprezentowano na Wydziałowej oraz Uczelnianej Sesji Kół Naukowych 2024 w ramach działalności w Studenckim Kole Naukowym „Architektura Najnowsza”.

3.2. WYNIKI PRAC

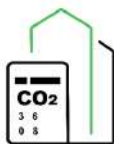
W ramach projektu opracowano prototypową stronę internetową pod nazwą „Kalkulator śladu węglowego budynków”, obejmującą dwie zakładki: bazę wiedzy i kalkulator. Kalkulator bez opłat umożliwia oszacowanie śladu węglowego surowców i materiałów budowlanych

² Strona internetowa, na której znajduje się wspomniany tekst, nie jest publicznie dostępna. Obecnie funkcjonuje jako część rozwijanego prototypu.

potrzebnych do realizacji konkretnego projektu. Skupia się na trzech początkowych fazach cyklu życia budynku: wydobycia i wytworzenia surowców (A1), transportu (A2) i produkcji wyrobu (A3). W przypadku budynków zrealizowanych w obecnym standardzie energetycznym te trzy fazy są odpowiedzialne za około 20% emisji w ogólnej strukturze śladu węglowego w całym cyklu życia budynku rozliczonym na 50 lat. W przypadku budynków energooszczędnych oraz wykorzystujących odnawialne źródła energii udział ten dochodzi nawet do 50%. Kalkulator pozwala użytkownikom na szybkie analizowanie wpływu decyzji projektowych na poziom obciążenia środowiskowego danego projektu.

Aby skorzystać z kalkulatora, wystarczy wybrać materiały budowlane, które mają znaleźć się w projekcie, podać ich ilość (jednostka jest zależna od rodzaju materiału i wyświetla się na ekranie), a następnie kliknąć przycisk „OSZACUJ”. Użytkownicy otrzymują w ten sposób wynik w tonach ekwiwalentu CO₂, który zostałby wyemitowany podczas wydobycia i wytworzenia surowców, transportu oraz produkcji potrzebnych materiałów.

Zakładka „Baza wiedzy” zawiera wszystkie niezbędne informacje dotyczące śladu węglowego w budownictwie oraz powszechnie przyjętej metodologii jego szacowania. Zaprojektowane narzędzie umożliwia szybkie przedstawienie emisji przypisanych do wybranych materiałów budowlanych oraz etapów ich wytwarzania. Dzięki przejrzystej strukturze interfejsu



Kalkulator śladu węglowego budynków

Jak skorzystać z kalkulatora?

Kalkulator śladu węglowego, dostępny w zakładce „Kalkulator”, pozwala na oszacowanie ton ekwiwalentu dwutlenku węgla, jakie zostałyby wyemitowane przy produkcji materiałów budowlanych potrzebnych do wzniesienia budynku według konkretnego projektu. Kalkulator skupia się na trzech początkowych fazach cyklu życia budynku: wydobycie i wytworzenie surowców (A1), transport (A2) i produkcja wyrobu (A3). Dla budynków zrealizowanych w obecnym standardzie energetycznym, te trzy fazy są odpowiedzialne za około 20% emisji w ogólnej strukturze śladu węglowego w całym cyklu życia budynku, rozliczonym na 50 lat. Dla budynków energooszczędnych oraz wykorzystujących odnawialne źródła energii udział ten dochodzi nawet do 50%.



Baza wiedzy

Nasza strona, w zakładce „Baza Wiedzy”, pozwala użytkownikom na uzyskanie wszystkich niezbędnych informacji potrzebnych do oszacowania śladu węglowego projektowanego budynku w całym jego cyklu życia. W zakładce tej można dowiedzieć się między innymi, czym jest ślad węglowy budynku, dlaczego warto go szacować, jak dokonać oceny cyklu życia budynku i gdzie znaleźć dane niezbędne do sporządzenia analizy.



Kalkulator CO₂

W zakładce „Kalkulator” udostępniamy kalkulator, który bez opłat umożliwia oszacowanie śladu węglowego surowców i materiałów budowlanych potrzebnych do realizacji konkretnego projektu (metoda „od kolebki do bramy”). Kalkulator pozwala na szybkie analizowanie wpływu decyzji projektowych na poziom obciążenia środowiskowego danego projektu. Zalecamy przygotowanie kilku wersji projektu, o różnych technologiach konstrukcji (np. drewnianej, stalowej czy betonowej), a następnie porównywanie otrzymanych wyników. Serdecznie zapraszamy do korzystania!

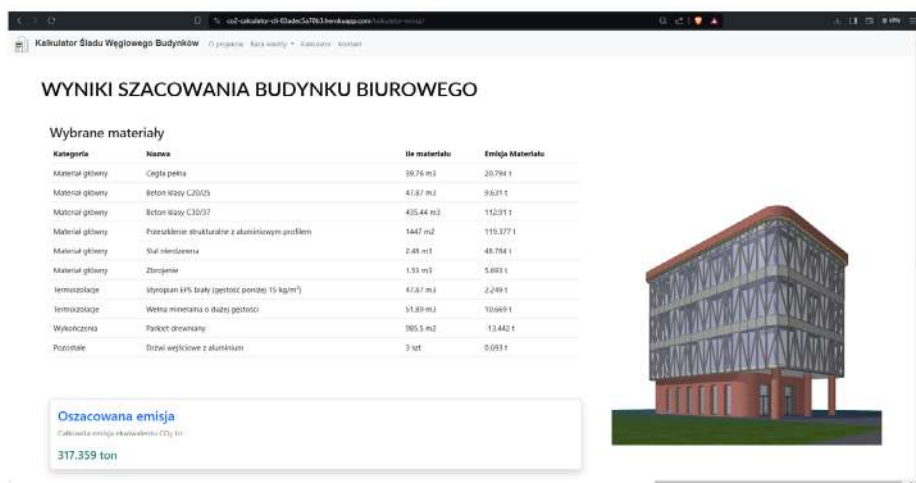
II. 2. Fragment prototypowej strony internetowej – „Kalkulator śladu węglowego budynków”. Oprac. aut.

użytkownik otrzymuje natychmiastowy liczbowy obraz śladu węglowego analizowanego projektu. Funkcjonalność ta porządkuje proces szacowania emisji i ułatwia porównywanie alternatywnych rozwiązań materiałowych na wczesnych etapach projektowania.

4. WNIOSKI

W trakcie pracy nad kalkulatorem udało się potwierdzić, że istnieje realna potrzeba tworzenia prostych, darmowych narzędzi do szacowania śladu węglowego budynków – szczególnie takich, które uwzględniają lokalne realia. Opracowany kalkulator, mimo swojej uproszczonej struktury, pozwala na uzyskanie wyników porównywalnych z rezultatami generowanymi przez bardziej zaawansowane zagraniczne narzędzia. Zestawienie wyników uzyskanych za pomocą kalkulatora z danymi z programów FOOTPRINT CALC oraz DesignLCA wykazało spójność obliczeń oraz potwierdziło poprawność przyjętych założeń metodologicznych.

Badanie wykazało również, że decyzje projektowe podejmowane na wczesnym etapie – zwłaszcza te związane z wyborem materiałów – mają bezpośrednie przełożenie na poziom emisji ekwiwalentu CO₂. Dla obiektów zaprojektowanych zgodnie ze współczesnymi standardami energetycznymi udział faz A1–A3 w całkowitym bilansie emisyjnym wynosi około 20%, natomiast w przypadku budynków energooszczędnych lub pasywnych udział ten może sięgać nawet 50% (Bartos, Kowalski, 2022). Oznacza to, że największy potencjał wprowadzania zmian przypada właśnie na ten etap.



Il. 3. Fragment prototypowej strony internetowej – „Kalkulator śladu węglowego budynków”, prezentujący emisję ekwiwalentu CO₂ związaną z modułami A1–A3 analizy LCA dla budynku zaprezentowanego obok. Oprac. aut.

W praktyce pojawiły się też trudności. Główny problem to brak krajowej, generycznej bazy danych materiałów budowlanych. Mimo dostępności deklaracji EPD, wiele z nich dotyczy produktów niszowych albo już nieaktualnych. W efekcie polski projektant – chcąc nie chcąc – musi sięgać po dane niemieckie czy skandynawskie, co zaburza lokalny obraz emisji.

5. PODSUMOWANIE

Opracowanie kalkulatora emisji ekwiwalentu CO₂ w ramach projektu „Grzech pierworodny architektury” stanowi odpowiedź na rosnącą potrzebę włączania analiz środowiskowych do procesu projektowego w Polsce. Narzędzie to ma charakter edukacyjno-projektowy – z jednej strony wspiera użytkowników w zrozumieniu podstaw metodologii LCA, z drugiej umożliwia przeprowadzenie rzeczywistych analiz na potrzeby projektów architektonicznych. Szczególnie istotne jest jego potencjalne zastosowanie w pracy dydaktycznej oraz przez młodych projektantów, którzy dotychczas mieli ograniczony dostęp do zaawansowanych i kosztownych narzędzi komercyjnych. To krok w dobrą stronę, zwłaszcza w kraju, gdzie sporządzanie analizy LCA nie jest jeszcze standardem.

Projekt pokazał również, że możliwe jest opracowanie rozwiązania, które – mimo ograniczeń technicznych i zasobowych – pozostaje funkcjonalne i przydatne w praktyce. Dużą wartością kalkulatora jest jego przejrzystość, prostota obsługi oraz integracja z przygotowaną „Bazą wiedzy”, która dostarcza użytkownikom podstawowych informacji na temat śladu węglowego i cyklu życia budynku.

Jednocześnie wyniki badań ujawniły kilka istotnych problemów, które wymagają dalszych działań. Brak generycznych danych środowiskowych dotyczących materiałów budowlanych wytwarzanych w Polsce stanowi realną barierę w rozwoju krajowych narzędzi LCA. Bez ogólnodostępnej, aktualizowanej bazy danych trudne będzie wprowadzenie standardów szacowania emisji do powszechnej praktyki projektowej. Dodatkowo wciąż brakuje ram prawnych, które w sposób systemowy wymuszałyby wykonywanie analiz LCA w procesie inwestycyjnym.

Wśród postulatów badawczych i praktycznych na przyszłość należy wymienić:

- stworzenie krajowej, generycznej bazy materiałów z przypisanym śladem węglowym;
- rozszerzenie narzędzia o kolejne etapy cyklu życia budynku (m.in. moduły A4–A5, B1–B7, C1–C4, D);
- uwzględnienie obowiązkowej analizy LCA w przepisach budowlanych, zwłaszcza dla budynków publicznych i o znacznej powierzchni użytkowej;
- prowadzenie szkoleń i kampanii informacyjnych wspierających wdrażanie narzędzi środowiskowych w praktyce zawodowej architektów i inżynierów.

BIBLIOGRAFIA

- Bartosz, D., Kowalski, W. (2022). *Szacowanie śladu węglowego budynków. Mapa drogowa dekarbonizacji budownictwa do roku 2050* (raport). Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego. Pobrane z: <https://cms.plgbc.org.pl/wp-content/uploads/2024/03/Szacowanie-sladu-weglowego-budynkow-1.pdf> (dostęp: 21.03.2025).
- Cabeza, L., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014(29), 394–416. Pobrane z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113005777> (dostęp: 18.03.2025).
- De Wolf, C., Cordella, M., Dodd, N. (2020). Criteria for the analysis of LCA software tools and databases for buildings – Draft 4.1. JRC Technical Report, European Commission, Joint Research Centre. Pobrane z: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2021-10/UM3_Indicators_1-2_list_of_LCA_software_databases_v4.1.pdf (dostęp: 20.03.2025).
- De Wolf, C., Cordella, M., Dodd, N., Byers, B., Donatello, S. (2023). Whole life cycle environmental impact assessment of buildings: Developing software tool and database support for the EU framework Level(s). *Resources, Conservation and Recycling*, 188, 106642.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej.
- ECO-Platform. (2025). ECO Portal. Pobrane z: <https://www.eco-platform.org/epd-data.html> (dostęp: 18.03.2025).
- Instytut Technologii Budowlanych. (2025). *ITB-EPD Environmental Product Declarations*. Pobrane z: <https://www.itb.pl/itbepds/> (dostęp: 18.03.2025).
- Komisja Europejska. (2020). *Opinia Europejskiego Komitetu Regionów – Fala renowacji na potrzeby Europy – ekologizacja budynków, tworzenie miejsc pracy, poprawa jakości życia*. COM(2020)662 final. Pobrane z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020IR2786> (dostęp: 20.03.2025).
- Krajowa Agencja Poszanowania Energii. (b.r.). *Ślad węglowy domu jednorodzinnego pod lupą*. Warszawa: Saint-Gobain.
- Kuczera, A., Płoszaj-Mazurek, M. (2021). *Zerowy ślad węglowy budynków. Mapa drogowa dekarbonizacji budownictwa do roku 2050*. Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego. Pobrane z: <https://cms.plgbc.org.pl/wp-content/uploads/2024/04/Mapa-drogowa-dekarbonizacji-2050.pdf> (dostęp: 13.03.2025).
- ÖKOBAUDAT. (2025). Pobrane z: <https://www.oekoaudat.de/en.html> (dostęp: 18.03.2025).
- PN-EN 15804+A2:2020-03: Zrównoważoność obiektów budowlanych. Deklaracje środowiskowe wyrobów. Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych.

- PN-EN 15978:2012: Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania.
- Przywózka, A., Wojcieszek, A., Kowalski, W., Michalczuk, P. (2022). Badanie wpływu rozwiązań projektowych na wbudowany ślad węglowy na przykładzie budynku biurowego. *Builder Science*, 298(5), 15–19.
- Stefańczyk, A., Śniegocki, A., Wetmańska, Z. (2022). *REPowerEU: Nowy impuls dla krajowych reform wspierających transformację?* Warszawa: Instytut Reform. Pobrane z: https://ireform.eu/s/uploads/RE_Power_EU_Polska_transformacja_f12a96b5a6.pdf (dostęp: 15.03.2025).
- Węglarz, A. (2020). Budownictwo. W: O. Kulik (koord. proj.), *Zeroemisyjna Polska 2050*. Warszawa: Fundacja WWF Polska.