



Ślad węglowy betonu

Streszczenie

Obecnie, ślad węglowy stał się jednym z najczęściej stosowanych parametrów określających wpływ wyrobów na środowisko. Jest to pojęcie zdefiniowane w normie ISO 14067 jako „suma emitowanych i pochłanianych przez produkt gazów cieplarnianych, wyrażana ekwiwalentem CO₂ i bazująca na ocenie cyklu życia”. W przypadku betonu, podejście do określania śladu węglowego staje się coraz bardziej kompleksowe, uwzględniające „główne życie” (pozyskiwanie surowców, ich transport, produkcję materiału, transport na plac budowy, układanie itp.), „drugie życie” (rozbiórka i ewentualny recykling), a także sekwestrację CO₂ w procesie karbonatyzacji. Pomocne są tu dostępne systemy komputerowego wspomaganie liczenia śladu węglowego nie tylko dla betonu, ale dla całej konstrukcji. Co istotne, w ostatniej dekadzie rozwój oprogramowania komputerowego, wspomagającego obliczanie śladu węglowego, postępuje prawie wykładniczo, a istniejące rozwiązania są coraz bardziej kompleksowe.

Słowa kluczowe:

beton, CO₂, ślad węglowy, ocena cyklu życia, norma ISO 14067

Abstract

At present, the carbon footprint has become one of the most commonly used parameters to determine the environmental impact of products. It is a concept defined in ISO 14067 as „the sum of the greenhouse gases emitted and absorbed by a product, expressed as CO₂ equivalents and based on a life cycle assessment”. In the case of concrete, the approach to determining the carbon footprint becomes more and more comprehensive, taking into account the „main life” (raw material extraction, transport, material production, transport to the construction site, laying, etc.), „second life” (demolition and possible recycling) as well as CO₂ sequestration in the carbonation process. The available computer-aided carbon footprint counting systems are helpful here not only for concrete, but for the entire structure. Importantly, in the last decade, the development of computer software supporting the calculation of the carbon footprint has progressed almost exponentially, and the existing solutions are becoming more and more complex.

Keywords:

concrete, CO₂, carbon footprint, life cycle assessment, ISO standard 14067

1. Wprowadzenie

Przeciwdziałanie zmianom klimatu stało się w ciągu ostatnich lat jednym z najistotniejszych elementów polityki światowej. Przyczynił się do tego wzrost średniej rocznej temperatury na Ziemi w ostatnim stuleciu oraz świadomość, że brak reakcji może doprowadzić do dalszego jej wzrostu nawet o 6,4°C w ciągu następnych stu lat [1].

Obecnie we wszystkich sektorach przemysłu obserwuje się dążenie do kwantyfikacji emisji gazów cieplarnianych, pozwalającej na identyfikację czynników i etapów produkcji najbardziej zanieczyszczających środowisko oraz stanowiącej pierwszy krok w kierunku wdrożenia rozwiązań redukujących emisję. Miarą wielkości emisji jest ślad węglowy (ang. carbon footprint), pojęcie zdefiniowane w normie ISO 14067 „Carbon footprint of products – requirements and guidelines for quantification and communication” jako „suma emitowanych i pochłanianych przez produkt gazów cieplarnianych, wyrażana ekwiwalentem CO₂, bazująca na ocenie cyklu życia”. Ślad węglowy obejmuje, oprócz emisji CO₂ – głównego źródła wzmocnienia efektu cieplarnianego, także metan – CH₄, podtlenek azotu – N₂O, fluorowęglowodory – HCFs, perfluorowodory.

Głównym źródłem emisji gazów cieplarnianych z ludzkiej aktywności jest spalanie paliw kopalnych dla pozyskiwania energii elektrycznej, ogrzewania mieszkań i w transporcie [2-5]. Z uwagi na to, największym śladem węglowym cechują się produkty, których wytworzenie jest procesem wysokoenergetycznym. Znacznie mniejszym poziomem emisji cechuje się energia pozyskana ze źródeł odnawialnych, takich jak: promieniowanie słoneczne, wiatr, geotermia (tabela 1). Ważnym czynnikiem jest też transport surowców do zakładów produkcyjnych, gdyż zużycie litra paliwa uwalnia do atmosfery około 2,3 kg CO₂, natomiast litra diesla 2,7 kg CO₂.

W celu ujednoczenia jednostek i rozszerzenia pojęcia śladu węglowego na pozostałe gazy wprowadzono termin ekwiwalent dwutlenku węgla (eCO₂). Jest to miara metryczna, określana dla danego gazu w wyniku pomnożenia masy tego gazu przez odpowiedni dla niego wskaźnik potencjału tworzenia efektu cieplarnianego (ang. Global War-

ming Potential, GWP, tabela 2). Przykładowo dla podtlenku azotu N_2O GWP wynosi 310, więc emisja 1 mln ton N_2O odpowiada 310 mln ton CO_2 . Obecnie ślad węglowy stał się jednym z najczęściej stosowanych parametrów określających wpływ wyrobów na środowisko. Jest również wykorzystywany w działalności marketingowej firm produkcyjnych i usługowych praktycznie każdej branży, często do wykazywania przewagi konkurencyjnej. Rozważania dotyczące emisji gazów cieplarnianych oraz działań na rzecz zrównoważonego rozwoju nie ominęły przemysłu budowlanego. Istotnym źródłem emisji gazów cieplarnianych w tym sektorze jest najczęściej stosowany i najczęściej używany materiał na świecie – beton. Przygotowanie mieszanki betonu zwykłego zanieczyszcza atmosferę ziemską o 140 – 310 kg eCO_2/t . Jest to wartość kilkukrotnie mniejsza niż w przypadku produkcji stali (~1900 kg eCO_2/t) [8]. Wpływ betonu na środowisko naturalne przybiera na znaczeniu przy uwzględnieniu ogromnej objętości tego materiału produkowanego rocznie na świecie.

2. Obliczanie śladu węglowego betonu

Obliczanie śladu węglowego betonu powinno opierać się na analizie cyklu życia, obejmującej najczęściej wydobycie i przygotowanie surowców, ich transport do betoniarni, przygotowanie mieszanki betonowej, kończąc na jej transporcie na plac budowy, a także uwzględniać etap użytkowania oraz tzw. drugie życie betonu, okres po eksploatacji, czyli rozbiórkę i ewentualne ponowne użycie [6]. Istotną kwestią, rzadko podejmowaną w ekologicznych debatach o materiałach na bazie cementu, jest sekwestracja CO_2 następująca w procesie karbonatyzacji. Wpływ karbonatyzacji na ogólny bilans CO_2 w cyklu życia betonu uważany jest za marginalny. Powodem jest mała głębokość absorpcji CO_2 i mała powierzchnia betonu w konstrukcji. Według Woyciechowskiego i Jackiewicz-Rek wiadukt betonowy o objętości 62 m³ może pochłonąć 450 kg CO_2 [9]. Sekwestracja CO_2 na ośmiokrotnie wyższym poziomie zachodzi w czasie drugiego życia betonu, gdyż po rozbiórce obiektu wzrasta wielkość powierzchni ekspozowanej na działanie powietrza.

We wcześniejszym okresie brak jednolitego podejścia przy określaniu śladu węglowego był powodem rozbieżności uzyskiwanych wyników. Dowodzi tego tablica 3, przedstawiająca zmiany wielkości emisji CO_2 w zależności od liczby źródeł uwzględnionych przez autorów przy obliczaniu śladu węglowego. Według Marceau [10] przy produkcji betonu o wytrzymałości na ściskanie 35 MPa uwalnia się 313 kg CO_2/m^3 (tablica 3, pozycja 1), natomiast zdaniem Wcisło i Kuniczuka [11] beton o wytrzymałości niższej jedynie o 5 MPa i zawierający popiół lotny (tablica 3, pozycja 9) emituje o 54 kg CO_2/m^3 więcej. Autorzy nie uwzględnili jednak emisji związanej z magazynowaniem składników betonu, transportem paliwa oraz eksploatacją betoniarni. Występujące różnice mogłyby być także spowodowane nieuwzględnieniem efektu stosowania domieszek, których produkcja i transport zostały wzięte pod uwagę w obliczeniach Wcisło i Kuniczuka. Udział domieszek wydaje się jednak mało istotny, gdyż są one dodawane do mieszanki betonowej w stosunkowo małych ilościach (do 5% masy cementu) i ich wpływ na środowisko można oszacować jako 220

Tabela 1. Ślad węglowy wytworzenia przykładowych produktów [6]

Źródło emisji	Wielkość emisji
Energii z gazu	0,5 kg eCO_2/kWh
Energia z węgla	>1,0 kg eCO_2/kWh
Energia nuklearna	0,005 kg eCO_2/kWh
Energia słoneczna	0,088 kg eCO_2/kWh
Energia geotermalna	0,015 – 0,053 kg eCO_2/kWh
Energia wiatru	0,020 – 0,096 kg eCO_2/kWh
Produkcja stali	1900 kg eCO_2/t

Tabela 2. Wartości wskaźnika GWP dla głównych gazów cieplarnianych [7]

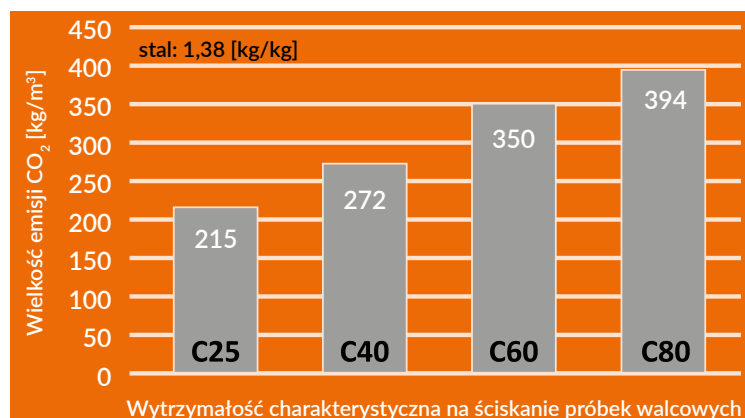
Gaz, GHG	GWP
Dwutlenek węgla CO_2	1
Metan CH_4	21
Podtlenek azotu N_2O	310
Fluorowęglowodory HCFs	124 – 14800
Perfluorowęglowodory PFCs	7390 – 12200
Sześćsiofluorek siarki SF_6	22800

kg CO_2/t [13]. Autorzy przeanalizowanych publikacji nie brali pod uwagę zmian CO_2 zachodzących w procesie karbonatyzacji i „drugim życiu betonu”. Kruszywo (drobne i grube), popiół lotny czy woda mogą stanowić do 90% masy mieszanki betonowej, jednakże wydobycie i rozdrobnienie materiałów kamiennych, mieszanie składników czy transport materiałów lub mieszanki na budowę wymagają stosunkowo małych ilości energii i emitują relatywnie małe ilości CO_2 – odpowiednio 5,4; 1,5; 0,9 kg CO_2/t [13]. Czynnikiem determinującym stopień oddziaływania betonu na środowisko jest udział cementu w mieszance betonowej (por. rozdz. 2).

Coraz powszechniej stosowanym sposobem otrzymywania bardziej korzystnego ekwiwalentu CO_2 betonu jest używanie domieszek upłynniających (superplastyfikatorów), które umożliwiają obniżenie zawartości wody zarobowej w mieszance betonowej, a tym samym pozwalają na redukcję ilości cementu przy zachowaniu odpowiedniego stosunku wodno-cementowego i konsystencji. Do wciąż rozwijanych sposobów mających na celu redukcję śladu węglowego betonu zaliczyć można: stosowanie spoiw alternatywnych, wychwytywanie CO_2 ze spalania paliw i dekompozycji węgla wapnia w cementowniach, czy sekwestrację CO_2 w prefabrykacjach betonowych.

Dane przedstawione w tablicy 3 potwierdzają wysoki udział poziomu emisji CO_2 przy produkcji cementu w śladzie węglowym. Redukcja ilości cementu w mieszance betonowej powoduje prawie liniowy spadek ilości CO_2 oddawanego do atmosfery przez

Rys. 1. Wielkość emisji CO_2 zależnie od wytrzymałości betonu na ściskanie próbek walcowych (na podstawie [14])



beton [6]. Uzyskiwanie wyższej wartości wytrzymałości betonu na ściskanie wiąże się ze wzrostem wartości śladu węglowego betonu [14] – rys. 1. Habert i Roussel [15] zaproponowali empiryczną formułę, która pozwala na oszacowanie emisji CO₂ w funkcji wytrzymałości charakterystycznej określonej na walcach:

$$\text{Wielkość emisji CO}_2 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = \delta \sqrt{f_{ck}}$$

gdzie: δ – stała równa 46,5 kg CO₂ / $\sqrt{\text{MPa}}$

Fantilli i inni [14] wykazali na podstawie porównania z danymi eksperymentalnymi, że powyższa formuła daje dość dobre oszacowanie śladu węglowego betonu. Wydaje się jednak, że możliwość sformułowania ogólnie przyjętej formuły obliczania śladu węglowego na podstawie wytrzymałości na ściskanie wymaga ujednoczenia procedury obliczania śladu betonu. Obliczanie śladu węglowego może zostać ujednoczone przy zastosowaniu obecnie obowiązujących norm i wytycznych (tablica 4), które m.in. umożliwiają uzyskanie klasyfikacji Deklaracji Środowiskowej Produktu EPD.

Tabela 3. Emisja CO₂ w zależności od uwzględnionych źródeł emisji [6]

Lp.	f _{cm} [MPa]	Skład betonu [m ³]	Źródła emisji CO ₂																			
			Cement		Kruszywo			Woda	Dodatki		Domieszki		Paliwa		Beton			Karbonatyzacja	„Drugie życie betonu”	Łączna emisja CO ₂ [kg/m ³]		
			Produkcja	Transport	Magazynowanie i podawanie	Produkcja	Transport		Magazynowanie i podawanie	Transport	Popiół lotny	Żużel wielkopiecowy	Produkcja	Transport	Produkcja	Transport	Eksploatacja betoniarni				Przygotowanie mieszanki	Transport na budowę
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	35	Cement – 335 kg, woda – 141 kg, kruszywo – 1899 kg [10]	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	313
2	25	Cement – 279 kg, woda – 141 kg, kruszywo – 1958 kg [10]	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	262
3	20	Cement – 223 kg, woda – 141 kg, kruszywo – 1958 kg [10]	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	211
4	20	Cement – 179 kg, popiół lotny – 44 kg, woda – 141 kg, kruszywo – 1958 kg [10]	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	171
5	20	Cement – 167 kg, popiół lotny – 56 kg, woda – 141 kg, kruszywo – 1958 kg [10]	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	161
6	20	Cement – 145 kg, żużel wielkopiecowy – 78 kg, woda – 141 kg, kruszywo – 1958 kg [10]	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	142
7	20	Cement – 112 kg, żużel wielkopiecowy – 112 kg, woda – 141 kg, kruszywo – 1958 kg [10]	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	112
8	25	Cement 300 kg, popiół 230 kg, kruszywo 1547 kg, plastyfikator 0,88; superplastyfikator 2,51; woda 160 kg [11]	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	327
9	30	Cement 340 kg, popiół 190 kg, kruszywo 1647 kg, plastyfikator 0,81; superplastyfikator 2,34; woda 160 kg [11]	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	367
10	25	Cement 240 kg, popiół 100 kg, kruszywo 1786 kg, stabilizator 0,28; superplastyfikator 2,25; woda 170 kg [11]	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	271
11	30	Cement 285 kg, popiół 100 kg, kruszywo 1760 kg, stabilizator 0,27; superplastyfikator 2,24; woda 170 kg [11]	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	315
12	40	Cement – 328 kg, kruszywo – 2023 kg, woda – 190 kg [12]	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	354

Tabela 4. Normy wykorzystywane przy obliczaniu śladu węglowego

Norma	Tytuł
PN-EN 15643-2:2011 (PL)	Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena budynków – Część 2: Zasady oceny właściwości środowiskowych
PN-EN 15643-4:2012 (Eng.)	Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena budynków – Część 4: Postanowienia dotyczące oceny ekonomicznych właściwości użytkowych
PN-EN 15804+A1:2014-04 (Eng.)	Zrównoważoność obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobu – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych
PN-EN 15804+A2:2020-03 (Eng.)	Zrównoważenie obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobu – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych (zastąpiła PN-EN 15804+A1:2014-04)
PN-EN 15978:2011 (Eng.)	Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method
EN 16627:2015 (Main) (Eng.)	Sustainability of construction works – Assessment of economic performance of buildings – Calculation methods
ISO 14025:2010 (Eng.)	Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures
PN-EN ISO 14040:2009 (PL)	Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura
PN-EN ISO 14044:2006 (PL)	Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne
PN-EN ISO 14067: 2018-10 (Eng.)	Gazy cieplarniane – Ślad węglowy wyrobów – Wymagania i wytyczne dotyczące kwantyfikacji
ISO 15686-5:2017 (Eng.)	Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 5: Life-cycle costing
ISO 21930:2017 (Eng.)	Sustainability in buildings and civil engineering works — Core rules for environmental product declarations of construction products and services

Przy projektowaniu składu mieszanek betonowych korzystną byłaby też możliwość stosowania narzędzi do kompleksowego szacowania śladu węglowego, które brałyby pod uwagę możliwie szeroki zakres życia budowli, w oparciu o rozbudowaną bazę danych zawierającą kompletne informacje o materiałach budowlanych, procesach oraz stosowanych technologiach. Narzędzia te powinny pozwalać także na uwzględnienie wpływu transportu towarzyszącego każdemu etapowi powstawania konstrukcji, zużycia energii i wody na poszczególnych etapach oraz przewidywanego wykorzystania elementów konstrukcji po zakończeniu ich „życia”. Pożądana byłaby możliwość analizy konstrukcji już na etapie tworzenia zintegrowanego projektu BIM, tak aby ułatwić projektantom optymalizację projektowanej konstrukcji pod względem jej śladu węglowego. Rodzaj i wielkość konstrukcji może w istotny sposób wpływać na dobór rodzaju betonu. Może się zdarzyć, że beton o większym śladzie węglowym ostatecznie zapewni zmniejszenie śladu węglowego całej konstrukcji. Fantilli i inn. [14] przeprowadzili analizę zmian wartości śladu węglowego trzech konstrukcji o zbliżonym kształcie, ale różnej kubaturze. Ich obliczenia pokazały, że w przypadku konstrukcji wysokich, o dużej kubaturze, wzrost wytrzymałości betonu, tym samym

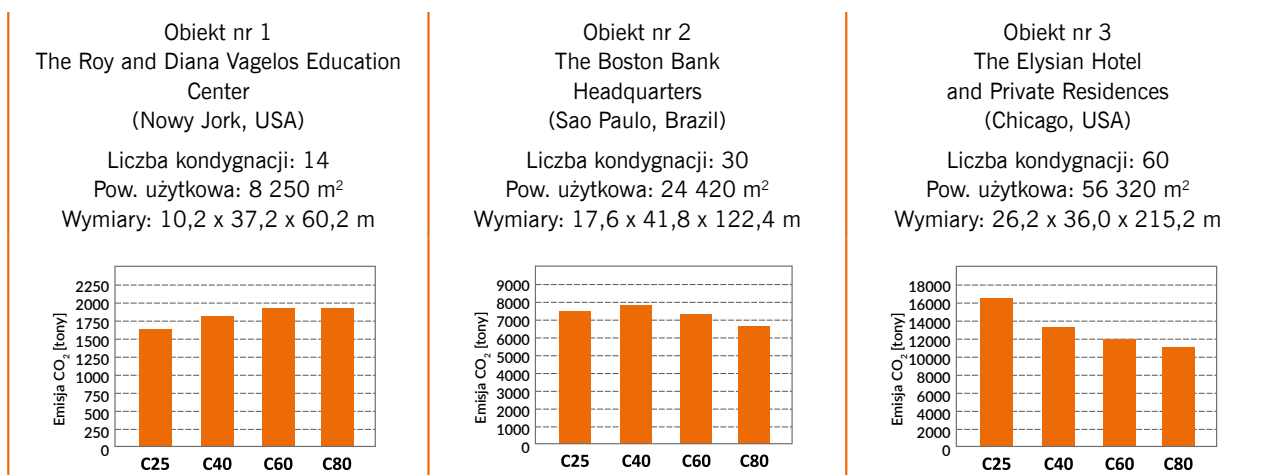
wzrost śladu węglowego, ostatecznie powodował spadek śladu węglowego stali i betonu użytego w konstrukcji (rys. 2). Wynikało to z możliwości zmniejszenia ilości stosowanej stali zbrojeniowej w przypadku zastosowania betonu o wyższej wytrzymałości.

3. Komputerowe wspomaganie obliczania śladu węglowego

Obecnie dostępne na rynku oprogramowania jedynie częściowo spełniają te wymagania (tabela 5). Należy zauważyć, że w ostatniej dekadzie rozwój oprogramowania komputerowego wspomagającego obliczanie śladu węglowego postępuje prawie wykładniczo, a istniejące rozwiązania są coraz bardziej kompleksowe. Systemy te jednak w różnym stopniu wykorzystują normy zebrane w tabeli 4.

Najbardziej dopracowane narzędzia to, istniejące od 2000 roku, One Click LCA będące wynikiem współpracy brytyjsko-fińskiej oraz GaBi produkcji niemieckiej. Porównywalnym narzędziem, lecz mniej intuicyjnym, jest SimaPRO. Programy te posiadają bardzo obszerne bazy danych, które są na bieżąco aktualizowane i rozbudowywane dla wielu regionów całego świata (w tym Polski), pozwalające na optymalizację użytych materiałów pod względem ich wpływu na środowisko oraz

Rys. 2. Ślad węglowy stali i betonu użytego do wzniesienia konstrukcji trzech różnych obiektów żelbetonowych o zbliżonym kształcie i różnej wysokości



dające porównywalne w stosunku do siebie wyniki. Pozwalają na uwzględnienie tego, co dzieje się z konstrukcją od etapu poboru surowców do etapu rozbiórki i ewentualnego recyklingu poszczególnych elementów (tabela 4). Zastosowane w nich metody obliczeniowe są często zgodne z normą ISO 14067, usprawniają proces uzyskiwania certyfikatów zielonego budownictwa, takich jak LEED czy BREEAM, oraz pozwalają na uzyskanie EPD dla nowych materiałów/produktów. Przewagą One Click LCA jest możliwość automatycznej integracji obliczeń z projektem budowlano-architektonicznym opracowywanym w technologii BIM. Oba rozwiązania pozwalają na jednoczesną optymalizację i porównywanie kosztów danej konstrukcji. Warto również zwrócić uwagę na nakładkę EC3 dla oprogramowania Revit Structures, wspieraną przez Billa Gatesa, powstałą niespełna trzy lata temu. Narzędzie to w sposób graficzny wskazuje w modelu obiektu punkty krytyczne dla środowiska, tzw. heat map eCO₂.

wego jest opracowanie oprogramowania łatwego w obsłudze, a prowadzone analizy z jego użyciem pozwolą na przygotowanie czytelnych symulacji środowiskowych. Przydatną funkcją oprogramowania jest możliwość konsultacji projektów z ekspertami środowiskowymi zarówno w kontekście optymalizacji zastosowanych materiałów i technologii, jak również potencjału recyklingowego budowni. Podejście do określania śladu węglowego betonu staje się coraz bardziej kompleksowe, uwzględniające „główne życie” (pozyskiwanie surowców, ich transport, produkcję materiału, transport na plac budowy, układanie itp.), „drugie życie” (rozbiórka i ewentualny recykling), a także sekwestrację CO₂ w procesie karbonatyzacji. Pomocne tu są obecnie dostępne systemy komputerowego wspomaganie liczenia śladu węglowego nie tylko dla betonu, ale dla całej konstrukcji. Dotyczy to także najnowszych rozwiązań materiałowo-technologicznych w obszarze mieszanek betonowych.

prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz
mgr inż. Paulina Urbańska
Politechnika Warszawska

Tabela 5. Najczęściej stosowane systemy komputerowego wspomaganie

L.p.	Nazwa	LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)																			Zgodność z normami
		Wytwarzanie			Konstrukcja		Eksploatacja							Wycofanie z eksploatacji			Korzyści				
		Surowce	Transport	Wytwarzanie	Transport na budowę	Konstrukcja	Użycie	Utrzymanie	Naprawa	Wymiana	Remont	Zużycie energii	Zużycie wody	Rozbiórka	Transport	Przetwarzanie odpadów	Rozkład odpadów	Ponowne użycie	Odzysk	Recykling	
		A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	
1	One Click LCA	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+/-	+/-	+/-	EN 16627 ISO 15686-5 ISO 14040 ISO 14044 ISO 14067 EN15804+A1+A2 ISO 21930 ISO 14025
2	GaBi Sphera	+	+/-	+	+/-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	nd	nd	+	ISO 14067 EN 15804+A2 (2019) NF EN 15804
3	Embodied Carbon in Construction Calculator (EC3 for BIM 360 Autodesk)	+	nd	+	nd	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Tak – materiały w bazie jedynie certyfikowane EPD
4	SimaPRO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	nd	nd	nd	ISO 14067 ISO 14040
5	ADW DEVELOPMENTS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	ISO 14044 EN 15643-2 EN 15643-4 EN 15978
6	eTool	+	+	+	+	+	nd	nd	nd	nd	nd	+	+	+	+	+	+	nd	nd	nd	EN 15978 ISO 14044

Bibliografia

- Zmiana klimatu i środowisko naturalne, Dokumenty informacyjne o Unii Europejskiej 2013
- Krajowy Raport Inwentaryzacyjny – Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1988-2011, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2013
- Carbon Footprint of Electricity Generation, Parliamentary Office of Science and Technology 268, 2006
- Carbon Footprint of Electricity Generation, Parliamentary Office of Science and Technology 383, 2011
- Kundak M., Lazić L., Crnko J.: CO₂ emissions in the steel industry, *Metalurgia* 48, 2009, s. 193-197
- Załęgowski K., Jackiewicz-Rek W., Garbacz A. Courard L., *Materiały Budowlane*, 2013 (12), s.34-36
- Wasilewski M.: Wprowadzenie do zagadnienia metodyki wyliczania carbon footprint, Podsumowanie seminarium Ministerstwa Gospodarki i CSRIinfo, 2009
- Concrete CO₂ fact sheet, National ready Mixed Concrete Association, 2012
- Woyciechowski P., Jackiewicz-Rek W.: Ecological aspects of concrete carbonation, *Central European Congress on Concrete Engineering*, 2013
- Marceau M.L., Nisbet M.A., VanGeem M.G.: *Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete*, Portland Cement Association, 2007
- Wcisło A., Kuniczuk K.: Eco-SCC, Green-SCC – ekonomiczna i ekologiczna alternatywa dla betonów samozagęszczalnych, *Dni Betonu, Wiśła, październik 2012*,
- Cement and Concrete Institute, Concrete Industry, *Greenhouse Gas Emissions, InEnergy*, 2010
- Turner L.K., Collins F.C.: Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete, *Construction and Building Materials* 43, 2013, s. 125-130
- A.P.Fantilli, O.Mancinelli, B.Chiaia: The carbon footprint of normal and high-strength concrete used in low-rise and high-rise buildings, *Case Studies in Construction Materials*, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00296>
- G. Habert, N. Rousset, *Study of two concrete mix-design strategies to reach carbon mitigation objectives*, *Cem. Concr. Compos.*, 2009, pp. 397-402

Integracja z oprogramowaniem projektowym	BIM	Certyfikacja	Szacowanie kosztów (LCC)	Baza danych	Inne
REVIT, ARCHICAD, GRASSHOPPER, ITP	TAK	Podstawa uzyskiwania certyfikatów takich jak LEED, BREEAM, EPD	Tak – bazując na różnych cennikach, m.in. Neubau baupreise kompakt, statistische baupreise fur positionen mit kurztexten (BK1) i spon's architects' and builders' price book (AECOM)	100000+ pozycji, na bieżąco weryfikowana i korzysta m.in. z bazy impact prowadzonej przez BRE (Building Research Establishment)	Projektowanie ukierunkowane na odzysk materiałów; optymalizacja kosztów i śladu węglowego; posiada dane z itb; najbardziej rozbudowana baza danych
NIE – ale można zaciągnąć dane o rodzaju i ilości materiałów z wykazu materiałów (BOM – Bill of Materials)	NIE	Podstawa uzyskiwania certyfikatów takich jak DGNB, LEED, BREEAM, EPD	Tak – pokazuje koszty życia konstrukcji na mapie etapów życia	14000+ pozycji, specjalne rozszerzenie dla budownictwa (2640 pozycji) – procesy i materiały z całego świata, w tym 118 pozycji z Polski; na bieżąco walidowana i aktualizowana	Oferują usługi konsultingu środowiskowego
Nakładka dla REVITA na BIM 360 AUTODESK	TAK	NIE	NIE	Baza materiałów certyfikowanych EPD	Generuje heat map dla emisji poszczególnych elementów konstrukcji; aktualnie mocno lobbowany i dofinansowany projekt (m.in. przez Billa Gatesa)
NIE	NIE	EPD	nd	Korzysta z wielu zintegrowanych baz danych	Wielu użytkowników może pracować jednocześnie nad tym samym projektem; pokazuje punkty krytyczne inwestycji budowlanej
NIE	NIE	BREEAM, LEED, GRIHA	TAK	Korzysta m.in. z bazy impact prowadzonej przez BRE (Building Research Establishment)	Prowadzą audyty konstrukcji kwalifikowanych do rozbiórki, aby określić, co i jak odzyskać/podać recyklingowi/zniszczyć
REVIT	TAK	Przygotowuje zestaw raportów, które mogą służyć przy certyfikacji środowiskowej	nd	Korzysta m.in. z bazy impact prowadzonej przez BRE (Building Research Establishment) i The Australasian LCI	Prowadzą konsulting LCA