

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



BUDOWNICTWO NATURALNE

MODEL WYLICZEŃ ŚŁADU
WĘGLOWEGO NATURALNYCH
SUROWCÓW DLA MATERIAŁÓW
BUDOWLANÝCH



IOŚ-PIB
Instytut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy



BN

Ogólnopolskie
Stowarzyszenie
Budownictwa
Naturalnego

autorzy:

Cezary Czemplik

Marta Matuszak-Dziarłowska

Mateusz Płoszaj - Mazurek

Przemysław Poszwa

Koordinacja:

Marta Krawcewicz

Skład i łamanie:

Studio KOZA Kinga Tomaszewska-Smolarczuk

Projekt „Dekarbonizacja procesów budowlanych – wprowadzenie materiałów naturalnych o zerowym śladzie węglowym, w tym drewna, do gospodarki obiegu cyrkularnego w budownictwie” jest realizowany przez Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy oraz Ogólnopolskie Stowarzyszenie Budownictwa Naturalnego i finansowany z funduszy Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego 2014-2021 w ramach programu „Środowisko, Energia i Zmiany Klimatu”. Fundusze Europejskiego Obszaru Gospodarczego reprezentują wkład Islandii, Liechtensteinu i Norwegii w tworzenie Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

www.eeagrants.pl

Warszawa, 2024



BUDOWNICTWO NATURALNE

MODEL WYLICZEŃ ŚLADU
WĘGLOWEGO NATURALNYCH
SUROWCÓW DLA MATERIAŁÓW
BUDOWLANYCH



IOŚ-PIB
Instytut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy



Ogólnopolskie
Stowarzyszenie
Budownictwa
Naturalnego



Spis Treści

I. Wstęp - Dekarbonizacja Procesów Budowlanych5
-----------------------------------------------------------------	-----------

II. Modele wyliczeń śladu węglowego poszczególnych surowców i wyrobów budowlanych17
----------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

1. Słoma	18
2. Konopie.	35
3. Tarcica sucha	60
4. Drewno konstrukcyjne	67
5. CLT.	76
6. Płyta OSB	89
7. Piasek	101
8. Kruszywa.	111
9. Gлина (tynk gliniany)	119
10. Perlit.	126
11. Cement (jako referencja)	134
12. Celuloza wdmuchiwana	138

III. Zestawienie śladu węglowego poszczególnych przegród.	146
--------------------------------------------------------------------------	------------

IV. Uproszczony kalkulator obliczania śladu węglowego przegród . .	158
---------------------------------------------------------------------------	------------

V. Propozycja mechanizmu wsparcia produktów o niskim śladzie węglowym.161
---------------------------------------------------------------------------------------	-------------



Wstęp

Dekarbonizacja Procesów Budowlanych

Dekarbonizacja Procesów Budowlanych

Wybór materiałów budowlanych w kontekście projektowania zrównoważonego

Decyzje dotyczące wyboru materiałów są kluczowe dla projektantów, gdyż wpływają one nie tylko na wygląd i trwałość budynków, lecz także na ich wpływ na środowisko. Materiały budowlane różnią się znacząco pod względem śladu węglowego, czyli ilości emitowanych gazów cieplarnianych (ang. GreenHouse Gas emissions - GHG) podczas produkcji, transportu i użytkowania. Jest to szczególnie istotne w kontekście rosnącej świadomości ekologicznej i dążeń do ograniczenia zmian klimatu.

W tym kontekście, naturalne materiały budowlane odgrywają kluczową rolę. Wykorzystanie takich materiałów, jak drewno, glina, czy kamień, może znacząco zmniejszyć ślad węglowy budynków, gdyż cechują się zwykle mniejszym zużyciem energii w produkcji w porównaniu z materiałami syntetycznymi.

Najnowsze badania wskazują, że wraz ze wzrostem efektywności energetycznej nowo wznoszonych budynków, udział wbudowanego śladu węglowego w całkowitym bilansie staje się coraz większy (Ürge-Vorsatz i in., 2020). Szczególnie w przypadku budynków o zerowym zużyciu energii, udział ten może wynosić nawet 75% całkowitego śladu węglowego (Kjendseth Wiik i in., 2018). Oznacza to, że nawet jeśli budynek zużywa minimalną ilość energii w trakcie użytkowania, to jego wpływ na środowisko może być nadal znaczący z powodu użytych materiałów. Niestety mimo popularyzacji różnorodnych metod badania wpływu budynków na środowisko, analiza

śladu węglowego dalej nie jest wciąż wykonywana dość często (McCord i in. 2024, Wang i in. 2024).

W związku z tym, projektowanie budynków staje się coraz bardziej złożonym wyzwaniem, wymagającym holistycznego podejścia. Oprócz zapewnienia efektywności energetycznej, projektanci muszą także uwzględniać ślad węglowy materiałów użytych do budowy. Dlatego rośnie znaczenie nowoczesnych metod projektowania, które biorą pod uwagę całościowy wpływ budynku na środowisko, począwszy od fazy projektowej aż po jego użytkowanie i likwidację. W tym kontekście, promowanie naturalnych materiałów budowlanych może być kluczowym krokiem w kierunku bardziej zrównoważonej architektury i urbanistyki.

Niniejszy tekst jest krótką instrukcją o tym jak podchodzić do analizy śladu węglowego w kontekście budownictwa naturalnego. W ramach opracowania znajduje się przegląd literatury naukowej, wyciągnięciwniosków,orazestawzaleceń o tymjak postępować tworząc taką analizę.

Definicja śladu węglowego w kontekście budownictwa

Ślad węglowy reprezentuje całkowitą emisję gazów cieplarnianych wywołaną konkretną aktywnością lub działaniem, wyrażoną w ekwiwalencie dwutlenku węgla (East, 2008). Zazwyczaj jest to przeliczane na jednostkę odniesienia, na przykład na pojedynczy budynek lub na metr

kwadratowy powierzchni użytkowej budynku. Termin „ślad węglowy” bywa używany zamiennie z innymi nazwami, choć odnosi się do tego samego zjawiska. Jest to spowodowane różnorodnością terminologii i definicji występujących w literaturze. Na przykład, norma EN 15978:2011 używa terminu „Global Warming Potential”, określającego potencjał tworzenia efektu cieplarnianego w cyklu życia budynku, wyrażanego w kilogramach ekwiwalentu CO₂ (CENELEC, 2011). Warto również wspomnieć, że w literaturze naukowej spotyka się różne definicje, na przykład te, które ograniczają analizowany gaz cieplarniany wyłącznie do dwutlenku węgla, pomijając inne gazy (Wiedmann i Minx, 2008).

Przyjęto następującą definicję w ramach tego raportu:

„Ślad węglowy jest to całkowita suma bezpośrednich i pośrednich emisji gazów cieplarnianych wywołanych przez dane działanie, obiekt lub przedmiot w całym cyklu życia, przeliczonych na ekwiwalent masy dwutlenku węgla” (Płoszaj-Mazurek, 2022)

W ramach analizy należy uwzględnić cały okres życia budynku, biorąc pod uwagę wszystkie akcje, zdarzenia, czy materiały które wiążą się z budynkiem i powodują emisje gazów cieplarnianych. Standardową jednostką stosowaną w analizach jest kilogram ekwiwalentu dwutlenku węgla - kgCO₂e - czyli przeliczenie wszystkich gazów cieplarnianych na ekwiwalent potencjału tworzenia efektu cieplarnianego dla dwutlenku węgla. Ta wartość z definicji jest równa 1 dla CO₂, podczas gdy inne gazy cieplarniane mają te wartości dużo większe.

Obieg węgla w kontekście materiałów budowlanych

Ślad węglowy budynków może być oszacowany przy użyciu specjalistycznych

narzędzi przeznaczonych do oceny wpływu na środowisko. Jednym z popularnych instrumentów jest Metoda Oceny Cyklu Życia (Life Cycle Assessment, LCA). Jest to zaawansowane narzędzie analityczne stosowane do analizy wpływu produktów, obiektów, budynków i procesów na środowisko naturalne. Procedura stosowania metody LCA w dziedzinie architektury i budownictwa została szczegółowo opisana w normie PN-EN 15978:2012, zatytułowanej „Zrównoważone obiekty budowlane. Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków. Metoda obliczania”. Ta procedura pozwala na analizę powiązań między etapami projektowania a decyzjami projektowymi a ich wpływem na środowisko, włącznie z obliczeniem śladu węglowego. Norma PN-EN 15978:2012 szczegółowo opisuje procedurę obliczania śladu węglowego budynku, który jest przedstawiony jako kategoria wpływu o nazwie „Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego” i wyrażony jest w kilogramach ekwiwalentu CO₂.

Norma EN 15978 definiuje pojęcie „Cyklu Życia” i dzieli ten cykl na poszczególne Fazy Cyklu Życia. Ślad węglowy związany z fazami od A1 do C4, określany jest jako ślad węglowy cyklu życia. Natomiast moduł D, obejmujący ślad węglowy poza cyklem życia, dotyczy korzyści związanych z ponownym wykorzystaniem, odzyskiwaniem lub recyklingiem materiałów i komponentów. Takie działania mogą być podejmowane poza cyklem życia danego budynku, przyczyniając się do zmniejszenia śladu węglowego innych inwestycji.

Ślad węglowy budynku można podzielić na dwie główne części: wbudowany i operacyjny. Wbudowany ślad węglowy wynika głównie z zastosowanych materiałów oraz procesów z nimi związanych, takich jak produkcja, transport i wykorzystanie w budynku. Wejściowy ślad węglowy dotyczy faz produkcji i wznoszenia. W fazie projektowania architekt ma kluczową kontrolę nad inwestycją. Faza użytkowania (B) opisuje ślad węglowy zarówno wbudowany, jak i operacyjny. Wbudowany ślad węglowy z fazy B wynika

z napraw, wymian, remontów czy przebudowy, wraz z towarzyszącymi tym czynnościami, takimi jak produkcja czy transport materiałów. Natomiast ślad węglowy końca życia uwzględnia działania po zakończeniu użytkowania budynku, takie jak rozbiórka, transport, przetwarzanie odpadów czy ich składowanie. Ślad węglowy operacyjny związany jest z zużywaniem energii i wody podczas użytkowania budynku.

Moduły A1-A3, określane są jako faza wyrobu i skupiają się na produkcji materiałów, obejmując procesy od pozyskiwania surowców do ich przetworzenia w materiały budowlane. Emisje związane z całym cyklem wydobywania surowców i produkcji materiałów są uwzględnione w tych modułach. Procedury obliczania tych emisji są szczegółowo opisane w normie PN-EN 15804+A2:2020-03. Informacje dotyczące emisyjności materiałów budowlanych można znaleźć w Deklaracjach Środowiskowych Produktów (EPD).

Moduł A4, który obejmuje fazę transportu, opisuje przemieszczanie niezbędnych elementów z fabryk do miejsca budowy. Zawiera transport zarówno surowców, materiałów, i komponentów budowlanych, jak i sprzętu budowlanego. Nie obejmuje transportu pracowników.

Moduł A5, związany z budową i instalacją, opisuje proces budowy, włączając w to prace ziemne, przechowywanie materiałów na działce, montaż, dostarczanie mediów oraz prace związane z odpadami. Razem moduły A4 i A5 tworzą fazę wznoszenia.

Moduły B1-B7, dotyczące fazy użytkowania, opisują procesy związane z użytkowaniem budynku, konserwacją, naprawami, wymianą, renowacją, zużyciem energii operacyjnej oraz zużyciem wody.

Moduły C1-C4, reprezentujące fazę końca życia, skupiają się na dekonstrukcji budynku, transportowaniu materiałów, przetwarzaniu odpadów i składowaniu/usuwaniu odpadów.

Te moduły analizy cyklu życia, szczególnie ważne przy wykorzystaniu naturalnych materiałów budowlanych.

Moduł D opisuje korzyści poza cyklem życia, takie jak ponowne wykorzystanie materiałów czy odzyskanie energii.

Instrukcja Krok po Kroku:

- **Dokonaj Wyboru Materiałów:** Zwróć uwagę na ich ślad węglowy w fazie produkcji, transportu i montażu.
- **Optymalizuj Projekt:** Zaprojektuj budynek w sposób maksymalizujący efektywność energetyczną i minimalizujący potrzebę interwencji w fazie użytkowania.
- **Planuj na Przyszłość:** Rozważ łatwość demontażu i potencjalne ponowne wykorzystanie materiałów przy projektowaniu budynku. Zwróć uwagę na możliwość trwałej akumulacji węgla i możliwość powrotu substancji organicznych w naturalnym obiegu materii.
- **Zastosuj LCA:** Użyj Metody Oceny Cyklu Życia (LCA) do dokładnego zrozumienia i optymalizacji śladu węglowego na każdym etapie życia budynku.
- **Dokumentuj i Udoskonalaj:** Utrzymuj dokumentację dotyczącą decyzji materiałowych i projektowych, a także monitoruj realne zużycie energii w fazie użytkowania, aby na bieżąco udoskonalać praktyki budowlane.

Podążanie za tymi krokami pozwoli na lepsze zrozumienie i zarządzanie śladem węglowym budynków, co jest kluczowe w dążeniu do zrównoważonego rozwoju i redukcji negatywnego wpływu na środowisko.

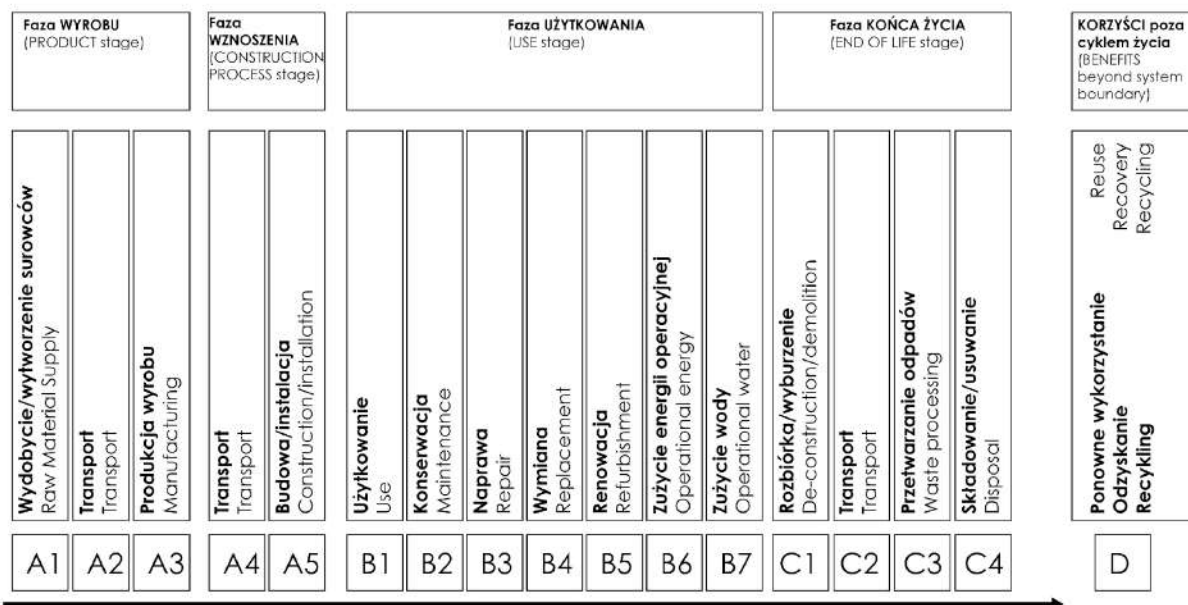
Ślad Węglowy Cyklu Życia (Whole Life Carbon)

Wejściowy Ślad Węglowy (Upfront Carbon)

Wbudowany Ślad Węglowy (Embodied Carbon)

Operacyjny Ślad Węglowy (Operational Carbon)

Ślad Węglowy poza Cyklem Życia (Beyond lifecycle)



Ilustracja 1

przedstawia poszczególne fazy cyklu życia budynku (opracowanie własne, oparte na PN-EN 15978).

Naturalne i biogenne materiały budowlane stosowane w budownictwie

Materiały biogenne to w skrócie materiały pochodzenia organicznego, pochodzące od organizmów żywych lub wytworzone przez nie, wyłączając te pochodzenia kopalnego (Matthews i in., 2015). Wykorzystanie takich materiałów może istotnie zmniejszyć wbudowany ślad węglowy budynku (Breton i in., 2018). Charakteryzują się one zazwyczaj niższym śladem węglowym niż inne materiały o podobnej funkcji, lecz pochodzenia nieorganicznego. Niemniej jednak, w przypadku materiałów biogenicznych należy uwzględnić cały ich cykl życia (Hoxha i in., 2020), aby dokładnie ocenić ich wpływ na środowisko. Warto zauważyć, że cały czas trwa dyskusja na temat tego jak uwzględniać efekt redukcji emisji gazów cieplarnianych poprzez usuwanie dwutlenku węgla z atmosfery w procesie wzrostu roślin, używanych później do produkcji materiałów budowlanych. Chociaż istnieje wartość w tymcza-

sowym przechowywaniu węgla w materiałach budowlanych — na przykład, daje czas na wdrożenie trwałych środków łagodzenia skutków wcześniejszych emisji gazów cieplarnianych — to nie jest tożsame z trwałym łagodzeniem skutków i nie powinno być traktowane jako równoważne (Brander i Broekhoff 2023).

Materiały biogenne mają potencjał redukcji emisji CO₂eq związanych z budownictwem, ponieważ pochodzą z odnawialnych źródeł, takich jak drewno, słoma czy roślinne włókna. Wykorzystanie tych materiałów może przyczynić się do zmniejszenia uzależnienia od materiałów kopalnych oraz promowania bardziej zrównoważonych praktyk budowlanych. Jednakże, konieczne jest uwzględnienie pełnego cyklu życia tych materiałów, włączając w to procesy ich produkcji, transportu, montażu oraz ewentualnego utylizacji po zakończeniu użytkowania budynku. W ten sposób możliwe będzie dokładne zrozumienie ich rzeczywistego wpływu na środowisko

i podejmowanie bardziej świadomych decyzji projektowych.

Sekwestracja dwutlenku węgla to proces wychwytywania i przechowywania gazu CO₂ z atmosfery. W procesie fotosyntezy i wzrostu roślin (Brandão i inni 2013) następuje sekwestracja dwutlenku węgla i gaz jest usuwany z atmosfery. Podczas tego procesu, rośliny absorbują cząsteczki dwutlenku węgla (CO₂) i wbudowują węgiel (C) do swojej struktury, jednocześnie uwalniając tlen do atmosfery. Mając na uwadze masę atomową cząsteczki CO₂, gdzie masa węgla to 12 jednostek, a masa tlenu (O₂) to 32 jednostki, około 27% masy pochłoniętego dwutlenku węgla stanowi węgiel.

Podsumowując, materiały biogenne pochodzą z naturalnych, odnawialnych źródeł i są wytwarzane przez organizmy żywe. Obejmują one drewno, słomę, roślinne włókna i inne materiały pochodzenia organicznego. Charakteryzują się one zazwyczaj niższym śladem węglowym w porównaniu z materiałami nieorganicznymi. Ich wykorzystanie może znacznie obniżyć wbudowany ślad węglowy budynków dzięki niższemu zużyciu energii w procesie produkcji i transportu. Materiały biogenne, poprzez proces fotosyntezy, absorbują CO₂ z atmosfery, co może przyczyniać się do redukcji ogólnych emisji gazów cieplarnianych. Przy projektowaniu budynków używaj materiałów biogenicznych z myślą o ich całkowitym wpływie środowiskowym - od „kołyski” do „grobu”. Wybór materiałów biogenicznych może promować bardziej zrównoważone praktyki w budownictwie, zmniejszając zależność od surowców kopalnych. Preferowanie materiałów biogenicznych z lokalnych źródeł może dodatkowo obniżyć ślad węglowy poprzez ograniczenie potrzeby transportu.

Metodologie LCA w analizie cyklu życia budynków

Kluczowym aspektem w analizie cyklu życia budynku jest etap końca życia, i wiążące się z nim uwolnienie wcześniej zgromadzonego dwutlenku

węgla i innych gazów cieplarnianych. Istnieje kilka metodologii stosowanych w Ocenie Cyklu Życia (LCA), aby uwzględnić wpływ biogenicznego dwutlenku węgla na ślad węglowy budynków. Tradycyjne podejścia obejmują metody „0/0” oraz „-1/+1”.

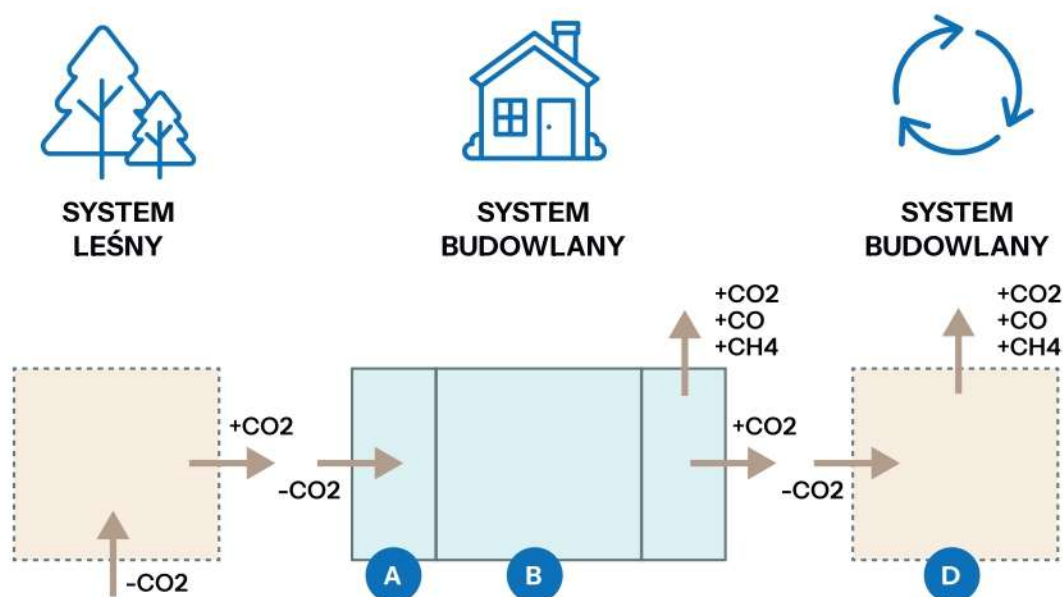
Istnieje kilka metodologii stosowanych w Ocenie Cyklu Życia (LCA), aby uwzględnić wpływ biogenicznego dwutlenku węgla na ślad węglowy budynków. Tradycyjne podejścia obejmują metody „0/0” oraz „-1/+1”.

Metoda „0/0” zakłada, że ilość dwutlenku węgla pochłonięta w procesie sekwestracji jest równoważna ilości dwutlenku węgla emitowanego podczas rozkładu materiału. W tej metodzie nie uwzględnia się przepływu dwutlenku węgla pomiędzy różnymi fazami cyklu życia materiału, skupiając się jedynie na uwolnieniu metanu (CH₄) w fazie końca życia.

Metoda „-1/+1” została stworzona z celem dokładnego modelowania przepływu dwutlenku węgla przez cały cykl życia budynku (patrz ilustracja 2). W odróżnieniu od poprzedniej metody, ta technika uwzględnia nie tylko emisje CO₂ w poszczególnych fazach cyklu życia, ale również pozwala na dokładniejsze zrozumienie działań związanych z modułem D, który obejmuje recykling, odzysk materiałów oraz idee projektowania cyrkularnego.

Zastosowanie tej metody jest rekomendowane przez normy i standardy dotyczące oceny budynków pod kątem ich całego cyklu życia, takie jak EC 2013b, EN-16485 z 2014 roku czy ISO-14067 z 2018 roku.

Metoda Dynamiczna natomiast ma na celu uwzględnienie czasu jaki jest potrzebny na wzrost roślin i czasu kiedy emisje następują (Levasseur i inni 2010; Cherubini i inni 2011; Hoxha i inni 2020). Podejścia 0/0 i -1/+1 są nieraz uważane za zbyt uproszczone, co prowadzi do niedoszacowania potencjału magazynowania węgla w długotrwałych produktach, takich jak



Ilustracja 2

Metoda '-1/+1' pozwala na dokładne prześledzenie efektów decyzji materiałowych w różnych fazach cyklu życia (opracowanie własne na podstawie Hoxha i inni 2020)

materiały budowlane. Wymaga to podejścia zależnego od czasu życia produktu, (metoda dynamiczna). Potencjał magazynowania materiałów biogenych zależy od relacji między horyzontem czasowym GWP (zwykle przyjmuje się wartość 100 lat), żywotnością materiału a okresem wzrostu danego materiału naturalnego (okres rotacji). Okres rotacji to czas, jaki zajmuje nowo posadzonej roślinie, aby zsekwestrować tą samą ilość CO₂ co zużyte do produkcji rośliny. Zanim magazynowanie węgla może zmniejszyć akumulowane Gazy Ciepłarniane w atmosferze i przekształcić budynki w magazyny węgla, konieczne jest ponowne zasadzenie. Z drugiej strony metoda dynamiczna często jest uważana za zbyt skomplikowaną do użycia w zwykłych analizach, i głównie spotykana jest w opracowaniach naukowych.

$$\tau(t) = 2 - e^{\frac{\ln 2}{T} t}$$

Ilustracja 3

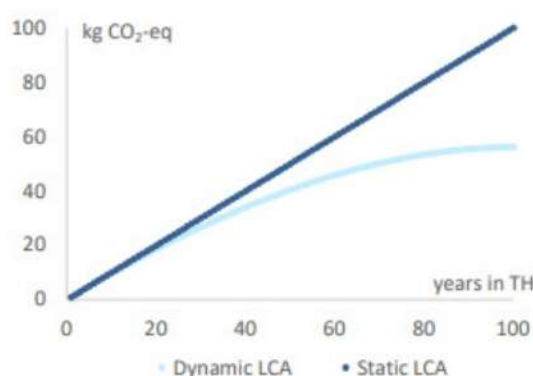
Wzór na 'dyskontowanie' efektu emisji CO₂e w funkcji czasu (Resch i in. 2021)

Obliczenia w ramach metody dynamicznej prezentuje wzór na ilustracji 3. T to horyzont czasowy wskaźnika Potencjału Globalnego Ocieplenia (GWP), który wynosi od 20 do 500 lat, a t to czas, w którym występuje emisja. Należy zauważyć, że czynniki opóźnienia czasowego dotyczą wyłącznie GWP, nie obejmują jednak żadnych innych kategorii wpływu (Andersen i in. 2023). Analiza przeprowadzona przez zespół Andersen, Sørensen, Jensen, Hoxha, Rasmussen oraz Birgisdóttir, wykazała, że późniejsze fazy cyklu życia (B4, C3 i C4) mają mniejszy wpływ na finalny wynik niż w statycznej metodzie LCA, ponieważ wyniki są dyskontowane. Można zauważyć, że faza końca życia C3 jest w największym stopniu zredukowana, ponieważ ten etap cyklu życia ma stosunkowo znaczący wpływ ze względu na uwolnienie biogenicznego węgla z drewna pod koniec cyklu życia. Ogólnie rzecz biorąc, waga wpływów przesuwana się w kierunku etapów wczesnego cyklu życia budynku (takich jak A1-A3), podczas gdy mniej uwagi poświęca się etapom późniejszym (takim jak C3 i C4), gdy stosuje się dynamiczną metodę LCA. Wykorzystanie

dynamicznej metody do oszacowania potencjału ociepleniowego globalnego (GWP) budynku skłania projektantów do skupienia się na redukcji wczesnych emisji związanych z produkcją materiałów i fazą budowy (Andersen i in. 2023).

W deklaracjach środowiskowych produktów biogenicznych coraz częściej uwzględnia się podział na różne typy śladu węglowego. Oprócz tradycyjnego śladu pochodzącego od spalania paliw kopalnych, uwzględnia się także ślad węglowy biogeniczny, wynikający z ilości dwutlenku węgla zgromadzonego w tkankach roślin. Dodatkowo, w analizach uwzględnia się również ślad węglowy związany ze zmianą użytkowania gruntów (Land Use and Land Use Change - LULUC). Tę wartość znów dzielimy na dwie składowe - dLUC - emisje bezpośrednie (direct LUC); i iLUC - emisje pośrednie (indirect LUC).

W zależności od przyjętej metody analizy, konieczne jest używanie odpowiedniego typu śladu węglowego. Dzięki temu można dokładniej ocenić wpływ produktów biogenicznych na środowisko, biorąc pod uwagę zarówno aspekty związane z emisjami związanymi ze spalaniem, jak i z ich naturalnym pochodzeniem oraz zmianami w użytkowaniu gruntów.



Ilustracja 3

Metoda dynamiczna pozwala na symulację efektu emisji gazów cieplarnianych w funkcji czasu (opracowanie własne na podstawie Andersen i in. 2023)

Kolejny podział pojawia się ze względu na perspektywę analizy LCA - metoda atrybucyjna i konsekwencyjna (European Commission 2010).

Atrybucyjne LCA (ang. Attributional LCA, ALCA) - Podejście modelowania systemu, w którym wejścia i wyjścia są przypisywane do jednostki funkcjonalnej systemu produktowego poprzez powiązanie i/lub podział procesów jednostkowych systemu zgodnie z regułą normatywną.

Konsekwencyjne LCA (ang. Consequential LCA, CLCA) - Podejście konsekwencjonalne: Podejście modelowania systemu, w którym działania w systemie produktowym są ze sobą powiązane tak, że działania są uwzględniane w systemie produktowym w zakresie, w jakim oczekuje się, że zmienią się w wyniku zmiany popytu na jednostkę funkcjonalną.

Podsumowując, kluczowym momentem w analizie śladu węglowego budynku wykorzystującego materiały naturalne jest etap jego końca życia. To wtedy uwolniony może być wcześniej zgromadzony dwutlenek węgla i inne gazy cieplarniane, co znacząco wpływa na całkowity bilans emisji. Domyślną metodą stosowaną w analizach jest metoda -1/+1. To właśnie ta wartość jest zwykle podawana w Deklaracjach Środowiskowych Produktów.

Obliczanie śladu węglowego budynku lub elementu budynku

Proces obliczania Śladu Węglowego opiera się na wykonaniu obliczeń dla wszystkich uwzględnionych modułów. Dla każdego modułu, należy przemnożyć każdy komponent i proces przez odpowiednią wartość kategorii wpływu.

$$EP_i = \vec{a}_j \times M$$

gdzie:

EP_i to wartość danej kategorii wpływu dla danego modułu **i**

a_j to wektor zawierający wszystkie komponenty i procesy w module **j**

M to matryca zawierająca współczynniki wpływu dla każdej z analizowanych kategorii dla każdego komponentu i procesu modułu **i**. Przykładowo dla Potencjału Globalnego Ocieplenia (GWP) obliczenia dla modułu **i** prezentują się następująco:

$$GWP_i = a_{1,i} \times GWP_{a_{1,i}} + a_{2,i} \times GWP_{a_{2,i}} + a_{3,i} \times GWP_{a_{3,i}} + \dots + a_{n,i} \times GWP_{a_{n,i}}$$

gdzie:

GWPI to Potencjał Globalnego Ocieplenia dla modułu **i**

a_{n,i} to całkowita ilość/liczba komponentów/procesów **n** w module **i**

GWP_{a_{n,i}} to Potencjał Globalnego Ocieplenia dla komponentu/procesu **n** w module **i**

Wzór z normy może wyglądać skomplikowanie, jednak w praktyce sprowadza się do prostych kilku kroków. Należy przejść przez każdą analizowaną fazę i następnie dla każdego elementu znaleźć wartość emisji związanych z danym elementem. W kolejnym kroku mnożymy ilość elementu razy wartość emisji i sumujemy wszystkie elementy dla danej fazy. Na koniec należy zsumować wszystkie fazy.

Wpływ zastosowania materiałów naturalnych w budynkach na redukcję ilości gazów cieplarnianych w atmosferze

Materiały biogenne mają ogromny potencjał

redukcji śladu węglowego budynków. Na pierwszym miejscu znajduje się stosowanie konstrukcji drewnianej. Potencjał redukcji emisji gazów cieplarnianych mógłby zostać zwiększony, gdyby obok elementów konstrukcyjnych uwzględniono także elementy wykończeniowe, takie jak drzwi, okna, podłogi, okładziny zewnętrzne. Potencjał elementów wykończeniowych w redukcji emisji gazów cieplarnianych nie powinien być bagatelizowany, ponieważ produkty wykończeniowe z drewna mogą być instalowane w każdym budynku, niezależnie od jego konstrukcji (Hafner i Ozlem 2022). Budynki wykonane z materiałów naturalnych przyczyniają się do wychwytywania części CO₂ z atmosfery - w porównaniu do budynków wykonanych z innych materiałów (Hafner et al. 2020). Wśród materiałów naturalnych na pierwsze miejsce wysuwa się drewno. Istnieją dwa czynniki, które wpływają na całkowitą ilość magazynowania węgla przez budownictwo drewniane: objętość drewna na powierzchnię budynku i procent budynków drewnianych w porównaniu z innymi typami budynków, takimi jak beton i stal (Amiri et al. 2020). Potencjał magazynowania węgla w budynkach drewnianych nie jest głównie związany z typem budynku, typem drewna ani wielkością budynku, ale opiera się na liczbie i objętości komponentów drewnianych w tych budynkach.

Bibliografia

- Breton, C., Blanchet, P., Amor, B., Beauregard, R., Chang, W. 2018 Assessing the Climate Change Impacts of Biogenic Carbon in Buildings: A Critical Review of Two Main Dynamic Approaches. Sustainability, vol. 10.2020
- Hoxha, Endrit & Passer, Alexander & Saade, Marcella & Trigaux, Damien & Shuttleworth, Amie & Pittau, Francesco & Allacker, Karen & Habert, Guillaume. (2020). Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods. Buildings and Cities. 1. 504-524. 10.5334/bc.46. https://www.researchgate.net/publication/343622393_Biogenic_carbon_in_buildings_a_critical_overview_of_LCA_methods
- Hansen, Rasmus & Nygaard Rasmussen, Freja & Ryberg, Morten & Birgisdottir, Harpa. (2022). Wood as a carbon mitigating building material: A review of consequential LCA and biogenic carbon characteristics. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1078. 012066. 10.1088/1755-1315/1078/1/012066. https://www.researchgate.net/publication/363552010_Wood_as_a_carbon_mitigating_building_material_A_review_of_consequential_LCA_and_biogenic_carbon_characteristics
- Ekvall T (2020) Attributional and Consequential Life Cycle Assessment. Sustainability Assessment at the 21st century. IntechOpen. Available at: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89202>. <https://www.intechopen.com/chapters/69212>
- European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edit. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2010.

- Vélez-Henao, Johan & Garcia-Mazo, Claudia. (2019). Marginal technology based on consequential life cycle assessment. The case of Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. 51-61. 10.17533/udea.redin.n90a07. https://www.researchgate.net/publication/333491002_Marginal_technology_based_on_consequential_life_cycle_assessment_The_case_of_Colombia/figures?lo=1
- UNEP 2011 <http://www.unep.org/pdf/Global-Guidance-Principles-for-LCA.pdf>
- Brander et al. 2008 https://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0804_Ecometrica_-_Consequential_and_attributional_approaches_to_LCA.pdf
- Wiedmann, T., Minx, J. 2008 A Definition of Carbon Footprint. w: *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1*, pp. 1-11, Hauppauge NY, Nova Science Publishers
- CENELEC 2011 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method
- Płoszaj-Mazurek, Mateusz. (2022). Cyfrowe metody wspomagania projektowania architektonicznego a analiza śladu węglowego budynków. 10.13140/RG.2.2.14976.71687. https://www.researchgate.net/publication/360519981_Cyfrowe_metody_wspomagania_projektowania_architektonicznego_a_analiza_sladu_weglowego_budynkow
- Ürgü-Vorsatz, D., Khosla, R., Bernhardt, R., Chan, Y., Vérez, D., Hu, S., Cabeza, L.F. 2020 Advances Toward a Net-Zero Global Building Sector. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 45
- Kjendseth Wiik, M., Fufa, S., Kristjansdottir, T., Andresen, I. 2018 Lessons learnt from embodied GHG emission calculations in zero emission buildings (ZEBs) from the Norwegian ZEB research centre. *Energy and Buildings*. vol. 165
- McCord, Kieren & Dillon, Heather & Gunderson, Patricia & Carlson, Sadie & Phillips, Adam & Griechen, Darrin & Antonopoulos, Chrissi. (2024). Strategies for connecting whole-building LCA to the low-carbon design process. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*. 4. 10.1088/2634-4505/ad17ce. https://www.researchgate.net/publication/376734748_Strategies_for_connecting_whole-building_LCA_to_the_low-carbon_design_process
- Wang, Xinyue & Teigland, Robin & Hollberg, Alexander. (2024). Identifying influential architectural design variables for early-stage building sustainability optimization. *Building and Environment*. 252. 111295. 10.1016/j.buildenv.2024.111295. https://www.researchgate.net/publication/378167545_Identifying_influential_architectural_design_variables_for_early-stage_building_sustainability_optimization
- Brander, Matthew & Broekhoff, Derik. (2023). Methods that equate temporary carbon storage with permanent CO₂ emission reductions lead to false claims on temperature alignment. *Carbon Management*. 14. 10.1080/17583004.2023.2284714. https://www.researchgate.net/publication/375887108_Methods_that_equate_temporary_carbon_storage_with_permanent_CO_2_emission_reductions_lead_to_false_claims_on_temperature_alignment
- Andersen, Camilla Ernst & Sørensen, C & Jensen, O & Hoxha, Endrit & Nygaard Rasmussen, Freja & Birgisdottir, Harpa. (2023). Turning dynamic LCA principles into practice. *Journal of Physics: Conference Series*. 2600. 152025. 10.1088/1742-6596/2600/15/152025. https://www.researchgate.net/publication/376153399_Turning_dynamic_LCA_principles_into_practice
- Andersen, Camilla Ernst & Sørensen, C & Jensen, O & Hoxha, Endrit & Nygaard Rasmussen, Freja & Birgisdottir, Harpa. (2023). Turning dynamic LCA principles into practice. *Journal of Physics: Conference Series*. 2600. 152025. 10.1088/1742-6596/2600/15/152025. https://www.researchgate.net/publication/376153399_Turning_dynamic_LCA_principles_into_practice
- E. Resch, I. Andresen, F. Cherubini, and H. Brattebø, "Estimating dynamic climate change effects of material use in buildings—Timing, uncertainty, and emission sources," *Build Environ*, vol. 187, p. 107399, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107399.
- Hafner, Annette & Özdemir, Özlem. (2022). Comparative LCA study of wood and mineral non-residential buildings in Germany and related substitution potential. *European Journal of Wood and Wood Products*. 81. 1-16. 10.1007/s00107-022-01888-2. https://www.researchgate.net/publication/364057526_Comparative_LCA_study_of_wood_and_mineral_non-residential_buildings_in_Germany_and_related_substitution_potential
- Hafner, Annette & Slabik, Simon & Storck, Michael. (2020). Urban Site Development as Temporal Carbon Storage—A Case Study in Germany. *Sustainability*. 12. 5827. 10.3390/su12145827.
- Amiri, Ali & Ottelin, Juudit & Sorvari, Jaana & Junnila, Seppo. (2020). Cities as carbon sinks - classification of wooden buildings. *Environmental Research Letters*. 15. 10.1088/1748-9326/aba134. https://www.researchgate.net/publication/342574550_Cities_as_carbon_sinks_-_classification_of_wooden_buildings
- Hoxha, Endrit & Passer, Alexander & Saade, Marcella & Trigaux, Damien & Shuttleworth, Amie & Pittau, Francesco & Allacker, Karen & Habert, Guillaume. (2020). Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods. *Buildings and Cities*. 1. 504-524. 10.5334/bc.46. https://www.researchgate.net/publication/343622393_Biogenic_carbon_in_buildings_a_critical_overview_of_LCA_methods
- Micales, J. A. and K. E. Skog (1997). „The Decomposition of Forest Products in Landfills.” *International Biodeterioration & Biodegradation* 39(2-3), 145-158. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964830597833896>
- Ximenes, F. A., W. D. Gardner, et al. (2008). „The decomposition of wood products in landfills in Sydney, Australia.” *J. of Waste Management*, doi:10.1016, 2007.11.06 https://www.researchgate.net/publication/5672388_The_Decomposition_of_Wood_Products_in_Landfills_in_Sydney_Australia
- Aloor, Andrew & Donn, Michael. (2010). Life Cycle Potential of Straw bale and Timber for Carbon Sequestration in House Construction. 2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Ancona, Italy. 885-895. https://www.researchgate.net/publication/289724558_Life_cycle_potential_of_strawbale_and_timber_for_carbon_sequestration_in_house_construction
- Sodagar, Behzad & Rai, Deepak & Jones, Barbara & Wihan, Jakub & Fieldson, Rosi. (2011). The carbon-reduction potential of straw-

bale housing. *Building Research and Information - BUILDING RES INFORM.* 39. 51-65. 10.1080/09613218.2010.528187. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613218.2010.528187>

- Hu Li, Zhixing Luo, Xudong Xu, Yujie Cang, Liu Yang, Assessing the embodied carbon reduction potential of straw bale rural houses by hybrid life cycle assessment: A four-case study, *Journal of Cleaner Production*, Volume 303, 2021, 127002, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127002>.
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262101221X>
- Diviš, Jakub & Růžicka, Jan. (2022). The Influence of Clay Structures to the Hygrothermal Component of the Indoor Environment. *Materials*. 15. 1744. 10.3390/ma15051744.
- https://www.researchgate.net/publication/358912509_The_Influence_of_Clay_Structures_to_the_Hygrothermal_Component_of_the_Indoor_Environment
- Gomes, M.I.; Lima, J.; Santos, T.; Gomes, J.; Faria, P. The Benefits of Eco-Efficient Plasters for Occupant's Health—A Case Study. In *Ecological and Health Effects of Building Materials*; Malik, J.A., Marathe, S., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2022; pp. 383–404. ISBN 978-3-030-76072-4
- Jiang, Y.; Phelipot-Mardele, A.; Collet, F.; Lanos, C.; Lemke, M.; Ansell, M.; Hussain, A.; Lawrence, M. Moisture Buffer, Fire Resistance and Insulation Potential of Novel Bio-Clay Plaster. *Constr. Build. Mater.* 2020, 244, 118353.
- Sotayo, A.; Bradley, D.; Bather, M.; Sareh, P.; Oudjene, M.; El-Houjeiry, I.; Harte, A.M.; Mehra, S.; O'Ceallaigh, C.; Haller, P.; et al. Review of State of the Art of Dowel Laminated Timber Members and Densified Wood Materials as Sustainable Engineered Wood Products for Construction and Building Applications. *Dev. Built Environ.* 2020, 1, 100004
- Abed, Joseph & Rayburg, Scott & Rodwell, John & Neave, Melissa. (2022). A Review of the Performance and Benefits of Mass Timber as an Alternative to Concrete and Steel for Improving the Sustainability of Structures. *Sustainability*. 14. 5570. 10.3390/su14095570.
- https://www.researchgate.net/publication/360417893_A_Review_of_the_Performance_and_Benefits_of_Mass_Timber_as_an_Alternative_to_Concrete_and_Steel_for_Improving_the_Sustainability_of_Structures
- Karacabeyli, E.; Douglas, B. *CLT Handbook: Cross-Laminated Timber*; FPIInnovations: Quebec, QC, Canada, 2013
- Stevulova, Nadezda & Hospodarova, Viola. (2015). Cellulose Fibres Used in Building Materials. 211. 10.7250/rehvaconf.2015.031.
- Hurtado, Pablo & Rouilly, Antoine & Vandenbossche, Virginie & Delgado Raynaud, Christine. (2015). A review on the properties of cellulose fibre insulation. *Building and Environment*. 96. 10.1016/j.buildenv.2015.09.031.
- Marincioni, Valentina & Altamirano, Hector. (2023). The Behaviour of Wood Fibre Insulation Systems for Solid Wall Buildings: Lessons from a Long-term Monitoring Study. *Journal of Physics: Conference Series*. 2654. 012127. 10.1088/1742-6596/2654/1/012127. https://www.researchgate.net/publication/376440617_The_Behaviour_of_Wood_Fibre_Insulation_Systems_for_Solid_Wall_Buildings_Lessons_from_a_Long-term_Monitoring_Study
- Asdrubali, Francesco & Evangelisti, Luca & Guattari, Claudia & Roncone, Marta & Milone, Daniele. (2023). Experimental Analysis of the Thermal Performance of Wood Fiber Insulating Panels. *Sustainability*. 15. 1963. 10.3390/su15031963. https://www.researchgate.net/publication/367318038_Experimental_Analysis_of_the_Thermal_Performance_of_Wood_Fiber_Insulating_Panels
- Pruteanu, Marian & Diaconu, Livia & Rujanu, Mircea & Babor, Dan. (2016). Studies on the possibilities of using expanded perlite for reducing buildings energy consumption. *Environmental engineering and management journal*. 15. 1103-1008. 10.30638/eemj.2016.123. https://www.researchgate.net/publication/312880429_Studies_on_the_possibilities_of_using_expanded_perlite_for_reducing_buildings_energy_consumption
- Sengul, Ozkan & Azizi, Senem & Karaosmanoğlu, Filiz & Tasdemir, Mehmet. (2011). Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. *Energy and Buildings*. 43. 671-676. 10.1016/j.enbuild.2010.11.008. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778810004056?via%3Dihub>
- Gonçalves, Diogo & Bordado, João & Marques, Ana & Galhano dos Santos, Rui. (2021). Non-Formaldehyde, Bio-Based Adhesives for Use in Wood-Based Panel Manufacturing Industry—A Review. *Polymers*. 13. 4086. 10.3390/polym13234086. https://www.researchgate.net/publication/356679810_Non-Formaldehyde_Bio-Based_Adhesives_for_Use_in_Wood-Based_Panel_Manufacturing_Industry-A_Review
- American Cancer Society, 2022. Formaldehyde. *Am. Cancer Soc.* Available online: <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/formaldehyde.html>
- ECHA. SUBSTANCE EVALUATION CONCLUSION as Required by REACH Article 48 and EVALUATION REPORT for Formaldehyde EC No 200-001-8 CAS No 50-00-0. 2019. Available online: <https://echa.europa.eu/documents/10162/cc0acabf-6e82-f2ed-5dbe-8058f48ce6c4>



**Modele wyliczeń śladu
węglowego poszczególnych
surowców i wyrobów
budowlanych:**



Słoma

Rodzaj surowca: słoma

Zastosowanie: materiał izolacyjny

Liczba EPD: 4, przygotowane w ciągu ostatnich 5 lat

Opis

Słoma jako materiał izolacyjny w budownictwie naturalnym charakteryzuje się szeregiem właściwości, które czynią ją atrakcyjnym wyborem z perspektywy technicznej i środowiskowej. Jej główne zalety to wysoka izolacyjność termiczna, zdolność do regulacji wilgotności wewnątrz pomieszczeń oraz niski wpływ na środowisko naturalne dzięki odnawialności surowca i niskiemu zużyciu energii w procesie produkcji.

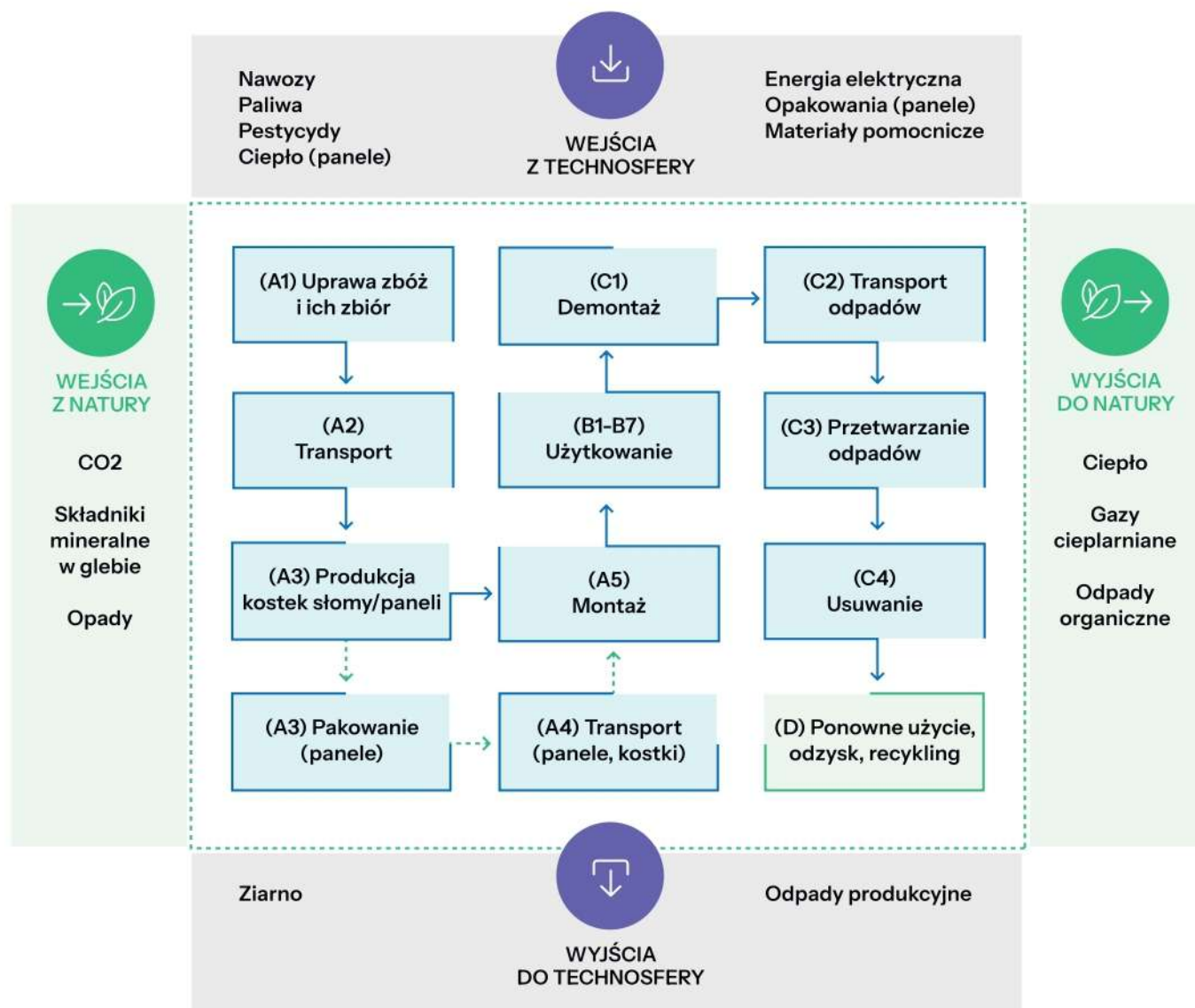
Właściwości izolacyjne słomy wynikają z jej struktury, która składa się z dużej liczby drobnych powietrznych komórek uwieczonych wewnątrz organicznego materiału. Dzięki temu słoma może skutecznie zatrzymywać ciepło ograniczając jego przepływ. Współczynnik przewodzenia ciepła (λ) dla słomy może wynosić ok. 0,045- 0,1 W/(m K). W zależności od kierunku przepływu i stopnia kompresji. Kolejnym ważnym aspektem technicznym jest zdolność słomy do regulacji wilgotności w pomieszczeniach. Słoma może absorbować i oddawać wilgoć, co pomaga w utrzymaniu stałego i zdrowego mikroklimatu wewnątrz budynków, ograniczając ryzyko powstawania pleśni i grzybów. Posiada także podobne właściwości do drewna łącząc cechy izolacyjności i pojemności cieplnej, wpływa na wysokie parametry przesunięcia fazowego i ochrony przed przegrzewaniem.

Z perspektywy środowiskowej, słoma jest materiałem o małym śladzie węglowym (do końca etapu użytkowania jej ślad węglowy jest ujemny). Jej produkcja i przetwarzanie wymagają stosunkowo niewiele energii, a sam materiał jest w pełni biodegradowalny i odnawialny. Może także być stosowany jako surowiec energetyczny w spalaniu bezpośrednim w formie balotów, czy kostek, oraz jako surowiec do produkcji pelletu.

Wyzwania związane z wykorzystaniem słomy obejmują zagadnienia trwałości, odporności ogniowej i ochrony przed szkodnikami. Aby zapewnić długotrwałość takich rozwiązań, konieczne jest odpowiednie stosowanie słomy w odpowiednich warunkach cieplno-wilgotnościowych, kompresji zapewniającej podstawową odporność zabezpieczenia poprzez zastosowanie otwartych dyfuzyjnie rozwiązań, tynków, płyt glinianych/ wapiennych, ochrony elewacji przed wnikaniem wilgoci.

Założenia poszczególnych deklaracji środowiskowych EPD

Schemat procesu



Zestawienie deklaracji środowiskowych

OZNACZENIE	A	B			D	E
Producent	producent 1	producent 2	producent 3	producent 4	producent 5	producent 6
Typ produktu	Kostka słomy	Kostka słomy	Izolacja w belach słomy polnej pochodzącej z rolnictwa konwencjonalnego	Izolacja w belach słomy polnej pochodzącej z rolnictwa ekologicznego	Rama drewniana wypełniona słomą 90% - słoma 10% - drewno	Płyta izolacyjna z włókien słomy z dodatkiem 5% żywicy polimerowej
Referencyjny czas użytkowania [lata]	50	75	50	50	60	60
Jednostka funkcjonalna/ deklaracyjna	1 m3	1 m3	1 m3	1 m3	1 m2	1 m2
Grubość (jeżeli istotne) [m]	0,36 ¹	0,37	0,37	0,389	0,40 ²	0,043
Przewodność cieplna λ [W/(m K)]	0,043 (przepływ w poprzek włókien)	0,05211	0,052	0,052	0,056 ³	0,043
Gęstość [kg/m3]	85-115	100	80 do 120 (przyjęto 100)	80 do 120 (przyjęto 100)	110	140
Produkcja GWP paliwa (maszyny rolnicze +transport) [kg CO2/m3]	do uzupełnienia	do uzupełnienia	(0,173) 0,55	(0,173) 0,55	(14,5 CO2/m2) 36,5 CO2/m3	do uzupełnienia
Zawartość węgla biogenego A1-A3) [kg CO2/m3]	(49,29 CO2/m2) 136,91 ⁴	47,82 CO2/m2) 129,25	(52,30) 138,11	(54,4) 139,84	(25,75 kg CO2/m2) 64,28 CO2/m3 (przeliczenie) (123 CO2/m2 ⁵) 307,5 CO2/m3	(8,53 kg CO2/m2) (79,35 kg CO2/m2 ⁶) 198,37 CO2/m3 (przeliczenie)
Całociowy GWP	do uzupełnienia	do uzupełnienia	(-52,11) -137,56	(54,57) -139,29	(-109 CO2/m2 ⁷) -272,5 CO2/m3	do uzupełnienia
Przeliczenie GWP dla udziału biogeny w wyrównaniu gęstości na 100 kg/m3 (pot. przechowywania węgla 161 CO2/m3 [kg CO2/m3])	-136,91 ⁸	-129,25	-138,11	139,84	-73,3 (10% drewno) -181,1 kg CO2/m3 (90% słoma)	-141,69 (przeliczenie)

¹ https://fasba.de/wp-content/uploads/2022/02/the_strawbale_building_guideline_2019.pdf

² <https://ecococon.eu/pl/panel>

³ https://ecococon.eu/assets/downloads/ecococon_u-value_calculation.zip

⁴ <https://drive.google.com/file/d/1pgOMmEO78O0qd4slODFXL3ZrOnWIZcsJ/view?usp=sharing>

⁵ z karty EPD A1- A3

⁶ wyrównanie do grubości funkcjonalnej 0,4 m

⁷ z karty EPD A1- A3

⁸ <https://drive.google.com/file/d/1pgOMmEO78O0qd4slODFXL3ZrOnWIZcsJ/view?usp=sharing>

OZNACZENIE	A	B			D	E
Alokacja (ekonomiczna) [-]	<10% słoma	16% słoma	brak danych		-	9,7% słoma
przeliczony wpływ procesów uprawy ograniczający bilans węgla biogenego przy wyrównaniu udziału do 10 %	24,09 kg CO ₂ /m ³	19,84 kg CO ₂ /m ³	22,89	21,71	-	19,9 kg CO ₂ /m ³
Reprezentatywność geograficzna	Niemcy	UK	Francja	Francja	-	Belgia/Polska

Komentarz do założeń EPD: Udział wartości słomy pszenicznej odgrywa istotną rolę w kontekście alokacji emisji związanych z uprawą, gdyż może się istotnie zmieniać okresie dekad. Przyjęte wartości powinny zostać zweryfikowane w przypadku próby użycia wyznaczonych współczynników. Dodatkowo, w przypadku uzyskania słomy o podwyższonej jakości, dedykowanej do zastosowania w procesach budowlanych można się spodziewać uzyskania wyższej ceny, skutkującej przypisaniu większych emisji słomie aniżeli O w styczniu średnia cena słomy wynosi ok. 215 zł/t, o tyle cena 10 kg kostki słomy kosztuje ok. 5 zł, co stanowi cenę prawie 2,5-krotnie większą, istotnie zaburzającą ilość emisji, które należy przypisać do poszczególnych współproduktów.

Przyjęta metodyka podziału śladu węglowego współproduktów dla procesów produkcyjnych jest zmienna i zależy od rynkowej wartości współproduktów. Natomiast ślad węglowy biogeny jest stały i przypisany zarówno do słomy jak i ziarna - ze względu na zawartość rzeczywistą węgla wychwyconego i potencjalne późniejsze emisje w procesach spalania/składowania/kompostowania.

Założenia dla sposobu nawożenia dla EPD dla rolnictwa francuskiego

Parametr	rolnictwo konwencjonalne	rolnictwo ekologiczne
Nawóz N (kg/t słomy)	7,67	3,16
Nawóz P (kg/t słomy)	1,91	0,10
Nawóz K (kg/t słomy)	1,44	0
Paliwo dla uprawy i zbiory (L/t słomy)	10,38	9,53
Odległość między polami i magazynowanie (km)	6,81	3,59
Odległość dostawy (km)	131,51	67,58
ślad węglowy biogeny słomy 100kg /m ³ (różnica 1,73) [kg CO ₂ /m ³]	-138,11	-139,84

Komentarz autorów: Różnica pomiędzy uprawą standardową i ekologiczną (o zmniejszonym nawożeniu i transporcie), nie wykazała w porównaniu EPD, spodziewanego efektu zwiększenia potencjału biogenego. Zaleceniem jest szczegółowe przeliczenie śladu węglowego upraw i przyjęcie referencyjnych stałych i uśrednionych wartości odniesienia dla Polski.

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego: PCR 2.22.5 Requirements for an EPD for insulation materials from renewable raw materials, EN 16783:2017 Thermal insulation products. Product category rules (PCR) for factory made and in-situ formed products for preparing environmental product, w dwóch przypadkach bazowano na EN15804 bez konkretnej kategorii produktu, (w jednym z tych przypadków użyto metodę oceny istotności wg NMD).

Reprezentatywność geograficzna danych: W dwóch przypadkach wskazano reprezentatywność geograficzną uprawy i produkcji (UK oraz Belgia z adaptacją miksu energii elektrycznej charakterystyczną dla Polski). Prezentowane dane ze względu na ujednolicony model uprawy dla krajów UE, przyjmuje się za reprezentatywny dla Polski do wykorzystania w obliczeniach śladu węglowego komponentów i budynków. .

Bazy danych i jakość danych: W 2 przypadkach wskazano bazy danych, obliczenia zostały przeprowadzone na podstawie bazy danych, pochodzące z roku 2016 (Gabi) oraz 2019 (Ecoinvent 3.6), niemniej nie powinno mieć to bardzo dużego wpływu na wynik końcowy ze względu na fakt, iż zużycie energii elektrycznej w tym wypadku nie powinno odgrywać bardzo istotnej roli.

Opis surowca: w 2 przypadkach była to czysta słoma (żytnia, pszena), w jednym przypadku razem z ramą drewnianą, przeanalizowano też pokrewny wyrób budowlany w formie płyty prasowanej z dodatkiem 5,211% żywicy pMDI (poly(methylene diphenyl diisocyanate) oraz uwzględnieniem dedykowanej metody produkcji.

Etapy cyklu życia:

Dla słomy w jednym z dokumentów założono dane wg średniej produkcji w Wielkiej Brytanii; kompozycja 67% pszenicy, 33% jęczmienia. Dostarczone dane obejmują średnie krajowe plony pszenicy i jęczmienia w Wielkiej Brytanii na rok/hektar, z odrębnymi obliczeniami obejmującymi:

- ilość słomy na hektar;
- ilości usuniętej z pól słomy pszennej i jęczmiennej oraz obliczenie usuniętych składników odżywczych z gleby (jako części słomy)
- zużycie nawozów według rodzaju, na hektar i na kg ziarna, dla pszenicy i jęczmienia;
- zużycie paliwa na hektar dla wszystkich upraw zbóż (informacji dla poszczególnych zbóż nie znaleziono).

W bazie Ecoinvent dla jęczmienia i pszenicy dane obejmują już procesy uprawy, siewu, zawijania, nawozów i pestycydów, nawadniania i zbioru. W obliczeniach użyto dane z bazy Ecoinvent i tam, gdzie było to możliwe, zostały one skorygowane o dane krajowe. Tam, gdzie nie było to możliwe, wykorzystywane są dane bezpośrednio z bazy (B).

W przypadku paneli ze słomy podano ograniczone informacje dla tego etapu - Moduł A1 obejmuje wydobycie i przetwarzanie surowców (w tym ich rozdrobnienie), oraz przetwarzanie dodatków. Produkt jest głównie wykonany z słomy (95% słomy o wilgotności 15% przed suszeniem i 7,5% po wysuszeniu) oraz 5% żywicy pMDI. W przypadku słomy straw-bale nie występuje proces suszenia wpływający na ślad węglowy materiału.

W pozostałych dokumentach nie wskazano istotnych informacji dla tego etapu.

A2 – transport

Informacje nt. transportu zostały wskazane tylko w jednym dokumencie (odległość 100 km).

A3 – wytwarzanie:

Wytwarzanie zależy od tego, czy mowa o słomie straw-bale czy słomie w postaci paneli. Jedynie w 2 dokumentach znaleziono szczegółowo opisany ten etap.

W poniższej tabeli zawarto porównanie różnych:

Kostka słomy	Słoma w prefabrykacie drewnianym	włókna ze słomy, płyty izolacyjne
produkcja uwzględniona w procesach rolniczych, obróbka ręczna na terenie budowy, montażu zużycie energii nie jest uwzględnione	produkcja w zakładzie produkcyjnym: prasowanie z wykorzystaniem energii, transport wewnętrzny oraz składowanie; udział drewna i złączy	przemysłowy proces produkcji paneli w zakładzie, montaż ręczny z użyciem elektronarzędzi na terenie budowy

W przypadku straw-bale (kostek słomy) dokument zakłada brak emisji w związku z produkcją, ponieważ instalacja jest przeprowadzana ręcznie bez jakiegokolwiek istotnego zużycia energii lub surowców. Utracone materiały podczas instalacji można wykorzystać jako ściółkę lub w elektrowniach biogazowych lub termicznie wykorzystać w spalarni odpadów. W dokumencie obliczono dwie różne scenariusze zagospodarowania odpadów poprodukcyjnych.

W scenariuszu 1 słoma jest przenoszona na pole i gnije tam; w scenariuszu 2 pozostałości słomy są zbierane i termicznie wykorzystywane w spalarni odpadów.

W obu scenariuszach dodatkowa produkcja strat poniesionych podczas instalacji jest naliczana do fazy montażu. W przypadku produkcji płyt izolacyjnych) ze słomy produkcja składa się z procesów fragmentacji, defibryzacji (w tym użycia wody i ługu), prasowania, rozluźniania, suszenia i montażu. Panel słomy jest pakowany, co również jest zawarte w tym module.

A4 – transport na miejsce budowy

W przypadku straw-bale transport albo jest ujęty w A2 (produkcja kostek odbywa się na miejscu), albo jest wskazana w A4, z kolei w przypadku paneli wskazano odległość rzędu 1288 km, w związku ze sprzedażą na terenie Europy i lokalizacją zakładu produkcji na Łotwie. Zatem zakładany ślad transportu w stanowi 25% całego śladu węglowego związanego z paliwami kopalnymi.

A5 – instalacja

Deklaracje obejmują zużycie energii oraz materiałów pomocniczych podczas instalacji, straty surowca podczas instalacji i ich utylizację, odpady opakowaniowe oraz ich utylizację.

B1-B3 – etapy użytkowania

Ze względu na fakt, iż surowiec jest wbudowany w ścianę, dokumenty nie obejmują tych etapów.

B4 i B5 – zastąpienie produktu i renowacja

Aspekty nie są ujęte w dokumentach. Wyrób nie ma zaleceń konserwacji, a ewentualne naprawy wynikają z zaniedbań i mogą skutkować wymianą produktu w przypadku pożaru czy zalania.

B6-B7 – operacyjne zużycie wody i energii

Niniejsze 2 etapy nie są objęte w dokumentach

C1-C4 – Koniec życia

Dokumenty dla straw-bale obejmuje dekonstrukcję/demontaż (C1), niezbędny transport (C2) z miejsca rozbiórki do lokalizacji sortowania oraz odległość do ostatecznego składowania. Obejmuje również ostateczne składowanie na wysypisku (C4), spalanie (C3) oraz niezbędne procesy recyklingu aż do punktu zakończenia odpadów (C3). Obciążenia i korzyści z recyklingu, ponownego wykorzystania oraz wyeksportowanej energii stanowią część modułu D.

W przypadku paneli demontażu produktów płyt izolacyjnych ze słomy można wg dokumentu je wyjąć bez dodatkowej energii i/lub emisji z budynku dlatego w fazie demontażu C1 nie uwzględnia się żadnego wpływu, w praktyce będą zawierać powłoki tynkarskie oraz elementy montażowe.

Wg twórców produkt (płyty izolacyjne słomiane) jest sortowany (scenariusz belgijski zakładu sortującego bez kruszarki), a następnie spalany z odzyskiem (95%) w Belgii lub składowany (5%).

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

W poszczególnych dokumentach ujęto obciążenia i korzyści z recyklingu, termicznego przekształcania i ponownego wykorzystania. Korzyści są obliczane w odniesieniu do aktualnego stanu technicznego w danym kraju. Dla przykładu w jednym z dokumentów odniesiono korzyści polegające na zastąpieniu gazu ziemnego energią cieplną pochodzącą z termicznego przekształcenia odpadu w celu wykorzystania tego ciepła do ogrzewania i do produkcji energii elektrycznej (uwzględniono 25,56% unikniętego ciepła z gazu ziemnego oraz 13% produkcji energii elektrycznej). W module D nie uwzględniono korzyści z powstałych współproduktów.

Wykluczenia z obliczeń: Poniżej przedstawiono 2 zestawy wykluczeń, które pojawiły się w dokumentach.

a) kostka słomy

- Materiały instalacyjne (A5), jako że są zależne od projektu;
- Faza użytkownika (moduł B)
- Procesy rozbiórki (C1), jako że są zależne od projektu

b) płyta izolacyjna słomiana

- Wpływ dóbr kapitałowych i procesów infrastrukturalnych.
- Przepływy związane z działalnością człowieka, takie jak transport pracowników i działalność administracyjna.

Ślad węglowy surowca

Tab. X Ślad węglowy 1m³ kostki słomy w różnych scenariuszach i przewodności $\lambda = 0,052 \text{ W/(m K)}$ o średniej gęstości 100 kg/m³

Etap	Oznaczenie	A - Scenariusz 1 - gnicie na polu		A - Scenariusz 2 - przekształcanie termiczne z produkcją energii D		B - Kostka 2 - termiczne przekształcanie z produkcją ciepła i prądu	
		GWPf	GWPb	GWPf	GWPb	GWPf	GWPb
A1-A3	Zaopatrzenie w surowce, transport surowców, produkcja	6,58	-134,00	6,58	-134,00	12,93	-128,999
A4	Transport do miejsca użytkowania	2,54	0,00	2,54	0,00	0,00	0,00
A5	Instalacja	0,70	0,00	0,818	0	0	0
B1-B7	Użytkowanie	0	0,00	0	0	0	0
C1	Rozbiórka/wyburzenie	0,00	0,00	0	0		
C2	Transport odpadów	0,38	0,00	3,81	0	1,99	0,000919
C3	Przetwarzanie odpadów	0,00	0,00	2,31	121	0,835	123
C4	Usuwanie	0,00	134,00	0	13,4	0,3	4,49
Suma A1-C4		10,2	0	16,06	0,4	16,06	-1,51
D z A5	Ponowne wykorzystanie produktu	-0,176	0,00	-2,88	0	-	-
D z C3	Wykorzystanie jako surowiec energetyczny	0,00	0,00	-63	0	-	-
D	Potencjał recyklingu	-	-	-	-	-5,82	-0,601

W badaniach Syp i in. [2015] wskaźnik GWP w uprawie pszenicy wynosił od 2378 kg CO₂ ekw. ha⁻¹ dla małych gospodarstw do 2759 kg CO₂ ekw. ha⁻¹ dla dużych gospodarstw, co było związane z intensywnością produkcji. Przy założeniu:

- 10% emisji przypisanych do słomy
- wydajności 3,3 t słomy/ha
- gęstości słomy 100 kg/m³

uzyskano średni ślad węglowy na poziomie 8,36 kg CO₂eq / m³, co pokrywa się z wartościami przedstawionymi w EPD.

Tab. X Ślad węglowy 1m² paneli słomianych o grubości 0,043 m i przewodności $\lambda = 0,043 \text{ W/(m K)}$

Etap	Opis	Ślad węglowy (paliwa kopalne)	Ślad węglowy (biogeny)
A1-A3	Zaopatrzenie w surowce, transport surowców, produkcja	5,65	-9,53
A4	Transport do miejsca użytkowania	1,29	0,00
A5	Instalacja	0,21	0,69
B1-B7	Użytkowanie	0	0
C1	Demontaż/dekonstrukcja	0	0
C2	Transport odpadów	0,13	0
C3	Przetwarzanie odpadów	0,76	8,1
C4	Usuwanie	0,04	0,43
D	Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	-2,67	-0,39

Dane zostały zebrane dla jednego dokumentu. Ślad węglowy związany z użytkowaniem terenu oraz zmianą użytkowania terenu był bliski zeru we wszystkich etapach, w związku z czym został pominięty.

Komentarz: W deklaracjach ślad węglowy surowców w jednym przypadku został dostosowany do danych lokalnych, w pozostałych przypadkach nie znaleziono na ten temat informacji. Ma to istotne znaczenie z perspektywy wydajności z hektara, ponieważ w zależności od warunków glebowych i klimatycznych możliwe jest osiągnięcie różnych plonów przy tych samych zabiegach agrotechnicznych. W zależności od deklaracji zastosowano wykluczenia dot. montażu, niemniej, które jednak wg wyliczeń nie stanowią istotnego śladu węglowego w przeliczeniu na m³ kostek słomy lub m². Transport surowców oraz odpadów odpowiada za ok. 20-35% śladu węglowego pochodzącego z paliw kopalnych, co oznacza, iż ślad węglowy wytworzenia surowca jest bardzo mały. Dokumenty zawierają informacje nt. korzyści środowiskowych związanych z zagospodarowaniem zdemontowanego produktu na końcu życia, np. poprzez termiczne przekształcenie odpadów wraz z produkcją ciepła i elektryczności, które ogranicza zapotrzebowanie na paliwa kopalne.

Należy zwrócić uwagę, iż udział terenów rolniczych powinien ulegać zmniejszeniu, na rzecz zwiększania terenów leśnych. Uprawy rolnicze nie wywierają obecnie presji na wylesianie. Zwiększa się natomiast presja na wykorzystanie surowców organicznych w procesach produkcji surowców energetycznych. Słoma ze zbóż posiada niski potencjał w wykorzystaniu w biogazowniach. Jest obecnie wykorzystywana w procesach produkcji biomasy energetycznej, zatem rzeczywisty udział emisji poprzez spalanie może niekontrolowanie przyrastać. W dokumentach przedstawiono różne metodologie dot. wyznaczania zawartości węgla biogenego i śladu węglowego biogenego, który jest ujemny na etapie wytwarzania, a dodatni i blisko równoważny na końcu życia wyrobu. Oznacza to, że słoma tak długo jak jest wykorzystywana (zainstalowana w budynku) stanowi rezerwuar węgla, który okresowo przyczynia się do redukcji ilości gazów cieplarnianych w atmosferze (uwolnienie nastąpi w ciągu 50-75 lat, zależnie od czasu życia izolacji). W całym cyklu życia wynik ten może być dodatni, zależnie od uniknięcia zapotrzebowania na paliwa kopalne. W A - Scenariusz 2 uzyskano znaczącą redukcję zapotrzebowania na paliwa kopalne, podczas gdy w B wynik wyszedł niekorzystny (dodatni), żeby był sens rozważyć przekształcanie termiczne.

Pominiętym aspektem jest kwestia montażu, który w zależności od sposobu realizacji może przyczynić się do skomplikowania procesu odzysku materiału (na skutek jego zanieczyszczenia). Należałoby więc zdefiniować sugerowany/dedykowany sposób montażu niepowodujący utrudnień w dalszym zagospodarowaniu.

Uwagi dot. końca życia

W żadnym z zaprezentowanych modeli w EPD nie uwzględnia się możliwości trwałego wiązania węgla w procesie zagospodarowania końcowej fazy życia, w której następuje zagospodarowanie odpadów:

- Wg aktualnie uznawanych metod korzysta się z tzw. metody -1/+1, wg której na końcu życia wyrobu cały zgromadzony węgiel jest uwalniany. Prawdopodobnie wynika to z dużych potencjalnych rozbieżności w kontekście rzeczywistych emisji, więc dla uproszczenia stosuje się model, w którym cały węgiel ulega rozkładowi.
- Powyższe założenie stoi to w sprzeczności z badaniami Alcorn i Donn 2010, w których autorzy wykazali, że w przypadku przechowywania słomy w warunkach suchych na składowisku możliwe jest trwałe związanie 63% wychwyconego dwutlenku węgla (bardzo ważny jest brak dostępu do wody eliminujący problem gnicia). Oznacza to, że to rozwiązanie może być trwałym sposobem na usunięcie dwutlenku węgla z powietrza.
- Żaden ze scenariuszy nie zawierał możliwości powtórnego wykorzystania słomy w produkcji rolnej. W jednym z EPD⁹ dla użycia słomy w postaci strzechy założono kompostowanie słomy. W przypadku kompostowania szacuje się, że 20%-50% dwutlenku węgla zostanie ustabilizowane w materiale, a reszta CO₂ zostanie wyemitowana, dodatkowo zwracając do gleby część składników mineralnych.
- W niektórych pracach rozważono spalanie na końcu życia, dzięki czemu następuje całościowa emisja węgla biogenego, a w przypadku odzysku ciepła następuje ograniczenie zużycia węgla kopalnego w ilości równej połowie zaabsorbowanego i wyemitowanego węgla biogenego. Ze względu na aktualnie wykorzystywane modele końca życia (-1/+1) ta metoda (spalanie/termiczne przekształcanie) może być faworyzowana, ponieważ nie zakłada się, że w innych scenariuszach węgiel jest trwale związany w materii organicznej. Z drugiej strony obawy te są uzasadnione, ponieważ w przypadku składowania słomy wilgoć może spowodować rozkład materii, co w warunkach tlenowych będzie skutkowało emisją dwutlenku węgla, a w warunkach beztlenowych metanu, co jest wykorzystywane już w biogazowniach. będącego silnym gazem cieplarnianym (28-razy bardziej intensywnym niż CO₂). Z kolei w przypadku kompostowania na skutek intensywnych upraw może następować erozja gleby skutkująca utlenianiem. Trwałość wiązania węgla jest przesunięta zatem w kierunku nowych produktów i zależy od jego użytkowania.
- Obecne modele przetwarzania biomasy na cele energetyczne nie zakładają wychwytywania emisji CO₂ w procesach spalania. Przechwycenie i składowanie dwutlenku węgla w materiałach budowlanych jest ogromnym potencjałem procesów termomodernizacji zasobu budowlanego i w przypadku upowszechnienia stałym nowym rezerwuarem węgla. Przesunięcie procesu zagospodarowania odpadu o 50-75 lat, daje szansę na dopracowanie technologii wychwytywania CO₂, czy trwałej akumulacji w naturalnym obiegu produktów organicznych.
- Producenci w wyliczeniach EPD zakładają najczęściej końcowe użycie surowców pochodzenia naturalnego w produktach budowlanych jako odzysk energii na drodze spalania, skutkuje uwolnieniem biogenego CO₂ z powrotem do atmosfery. W takiej ocenie nie widać potencjału

⁹ <https://www.epddanmark.dk/uk/epd-database/?free=straw&category=0&lang=0&type=0&validD>

magazynu węglowego w budownictwie jako korzyści w okresie użytkowania wyrobu.

- Słoma jako surowiec produkcji rolnej jest także wykorzystywany w cyrkularnym obiegu, gdzie jako odpad poźniwny, czy ściółka dla zwierząt, wraca na pole i uzupełnia składniki mineralne i może zwiększać zawartość węgla w glebie. Pewność trwałego wiązania węgla, można na tym etapie jedynie uwzględniać przy certyfikowanej produkcji skutkującej zwiększeniem żyzności gleb (oraz zwiększeniem zawartości węgla organicznego w glebie) u certyfikowanych dostawców surowców, którzy już teraz mogą zagospodarowywać nadwyżki produkcji słomy. Ocena trwałości wiązania węgla będzie wykazywana w bilansowaniu upraw rolniczych, zależnych od końcowej zawartości gleby próchnicznej i stosowaniu zabiegów nawożenia ograniczających emisję azotowych gazów cieplarnianych.

Ślad węglowy surowca - węgiel biogeny

Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono szereg czynników, które wpływają na ślad węglowy wyrobu w postaci produktów słomianych w całym cyklu życia:

- wydajność upraw - istotnym czynnikiem wpływającym na ślad węglowy jest uzyskana ilość surowca w przeliczeniu na 1 hektar uprawy. Im większe plony, tym mniejsze emisje w przeliczeniu na jednostkę produktu.
- sposób nawożenia, ochrony roślin oraz zakres zabiegów agrotechnicznych - wraz z ilością zużytego paliwa, nawozów oraz środków ochrony roślin rośnie ślad węglowy, z drugiej jednak strony działania te są podejmowane w celu zwiększenia plonów z hektara. Będzie to wyraźnie rzutować na ślad węglowy w przeliczeniu na 1 ha uprawy
- ceny współproduktów i ich liczba - Przyjęty udział obciążenia produkcji słomy w procesach rolniczych dla słomy analizowanych EPD wynosił 7-16% i był związany z małą wartością słomy i ceną biomasy. Obecnie wartość biomasy z możliwością przeznaczenia na cele energetyczne regulowana jest rynkowo jako ekwiwalent jej wartości opałowej, czy koniecznych do zrównoważenia w glebie nawozach mineralnych. Obecna wartość giełdowa słomy w stosunku do wartości ziarna przy założonym uśrednieniu dochodzi do 15% (co przedstawiono w poniższej tabeli). Surowiec w postaci kostki słomy, czy balotu o kontrolowanej jakości może być nawet dwukrotnie droższy, a dochodzący do 30% udział wartości surowca może wskazywać na dwu-czterokrotnie większy ślad węglowy słomy od zakładanego w deklaracjach. Wykorzystanie słomy w produktach budowlanych jako współprodukt, zmniejsza tym samym ślad węglowy rolniczych produktów spożywczych.

Analiza wartości na styczeń 2024	średni plon	średnia cena na 2024	Średnia wartość	Udział wartości
Ziarno pszenicy	4,84 t/ha. (59,5%)	851 zł ¹⁰	4 118,84	85,3% (71,4%)
słoma zbóż (słoma w kostkach)	3,3, t/ha ¹¹ (40,5%)	214.35 zł/t ¹² (500 zł/t)	707,355 zł (1650 zł)	14,7% (28,6%)
Suma	8,14	-	4 826,19 (5 768,84 zł)	100%

¹⁰<https://www.traktorykubota.pl/cena-tony-pszenicy-w-styczniu-2024/>

¹¹<https://www.mdpi.com/1996-1073/13/19/5054>

¹²https://www.notowania.kpodr.pl/notowania_pokaz,,,a=-ba=-b203a=-ba=-b92a=-b.html

- faza końca życia - w zależności od sposobu zagospodarowania słomy na końcu życia możliwe jest ograniczenie emisji węgla biogenego do atmosfery lub ograniczenie zapotrzebowania na paliwa kopalne
- praktyki rolnictwa regeneratywnego - w aktualnych modelach zakłada się, że nie dochodzi do sekwestracji węgla w glebie na skutek realizowanych upraw, co jest prawdą, ponieważ rolnictwo intensywne skutkuje erozją gleby, która prowadzi do utlenienia węgla organicznego w niej zawartego (dodatkowo resztki poźniwne rozkładają się w ciągu kilku lat). W przypadku rolnictwa regeneratywnego często następuje zwiększenie zawartości węgla organicznego w glebie, który w przypadku utrzymania dobrej kultury rolnej na danym terenie nie ulega utlenieniu w czasie, tylko jest przechowywany w glebie na stałe. Oszacowano, że tego typu działania zwiększają zawartość węgla organicznego w glebie do ok. 0,5 t C/ha/rok, co daje 1,8(3) tCO₂/ha/rok. Biorąc pod uwagę sumaryczną wydajność upraw jest to ok. 0,22509 kg CO₂ na kg masy uzyskanego surowca. W przypadku alokacji ekonomicznej przypisując 15% korzyści do słomy i zakładając 100 kg słomy na m³ wyrobu gotowego daje to redukcję emisji na poziomie 3,38 kg CO₂/ m³ produktu, co stanowi 20-30% emisji z paliw kopalnych (przypisując 100% emisji wychwyconych do słomy produkt byłby zeroemisyjny lub ujemny węglowo. Efekt ten w śladzie węglowym jednak powinien być przypisany do pola jako miejsca certyfikowanej produkcji i surowca na starcie, którego wykazane procesy uprawowe, mogą bilansować obecny negatywny wpływ nawozowej uprawy intensywnej.

Ślad węglowy surowca - koniec życia

Sekwestracja węgla w materiale i jego utlenianie na końcu życia

Kolejnym kluczowym aspektem jest kwestia sekwestracji dwutlenku węgla. Typowym założeniem jest uproszczenie o natychmiastowym uwolnieniu gazów cieplarnianych po końcu życia budynku (metoda O/O oraz metoda -1+1). Metoda dynamiczna próbuje zdyskontować efekt przesunięcia emisji w czasie w sposób matematyczny. Okazuje się, że badania naukowe przeprowadzone na wysypiskach pokazują, że elementy budowlane z drewna, czy słomy umieszczone na wysypisku potrafią przez dłuższy czas zachować dobry stan techniczny, a proces uwalniania gazów cieplarnianych poprzez gnicie może być bardzo powolne (Alcorn i Donn 2010).

Obliczenia wykonane przez dwa zespoły (Ximenes i in. 2008, Micales i Skog 1997) pokazują, że tempo utraty węgla w obu badaniach dla elementów drewnianych oscyluje w granicach 5 do 6%, natomiast dla słomy w badaniu Micales i Skog na poziomie 7%. Ximenes i współpracownicy zauważyli, że niska wilgotność gleby przyczynia się do wolniejszego rozkładu biologicznych materiałów składowanych na wysypiskach. W odpowiednio zarządzanych wysypiskach można osiągnąć bardzo niskie tempo utraty węgla przez dłuższy okres czasu. To tempo utraty węgla przekłada się na trwałą sekwestrację CO₂ na poziomie 70% dla drewna i 63% dla słomy (Alcorn i Donn 2010).

Alternatywnym rozwiązaniem jest przekształcenie słomy w kompost. Tego typu działanie powoduje, że słoma zostaje przekształcona w nawóz wraz z częściową emisją dwutlenku węgla na skutek rozkładu węgla zawartego w słomie. Proces ten jest o tyle ważny, że zwraca do gleby część pierwiastków, które wcześniej zostały pobrane podczas wzrostu słomy, a całościowy bilans węgla jest wciąż ujemny. W jednej z prac (Verma i in. 2014) ustalono, iż słoma podczas kompostowania emituje ok. 80% zgromadzonego węgla (zależnie od metody kompostowania), a reszta pozostanie ustabilizowana. Tutaj zatem jedynie 20% węgla bazie trwale zsekwestrowanego (zakładając praktyki

przeciwdziałające erozji gleby i utlenianiu węgla organicznego).

Oznacza to, że w przypadku zastosowania składowania słomy po procesie użytkowania może sprawić, iż słoma dalej będzie stanowić rezerwuuar węgla biogenego, a ujemny ślad węglowy nie będzie prawdziwy dla końca życia, ale również w całym cyklu życia. Ważne jest wtedy skupienie się na prawidłowym zabezpieczeniu słomy na składowisku (a w przypadku kiedy surowiec nie jest zanieczyszczony, można rozważyć inne formy zagospodarowania), dzięki czemu wystąpi trwała sekwestracja węgla i trwałe usunięcie dwutlenku węgla z atmosfery. Ilość zakumulowanego węgla w zależności od sposobu zagospodarowania może się różnić od wskazanych wartości. Rzeczywisty potencjał składowania węgla w gruntach ornych wymaga monitorowania - co jest praktykowane w ramach rolnictwa węglowego, w ramach którego mierzy się przyrost zawartości węgla w glebie próchniczej.

Alternatywne scenariusze wykorzystania słomy

W jednej z prac przedstawiono opracowanie dla różnych sposobów wykorzystania słomy jako surowca w 3 sektorach: rolniczym, energetycznym i budowlanym. W analizie uwzględniono emisje uniknięte oraz emisje opóźnione (wynikające ze związania węgla w materiale na dłuższy czas). Biorąc pod uwagę jedynie uniknięte emisje, wykorzystanie słomy jako surowca do produkcji elektryczności charakteryzuje się najwyższą efektywnością klimatyczną (930 kg CO₂e/t słomy). Biorąc pod uwagę jedynie tymczasowe składowanie węgla, izolacja budynków na bazie słomy ma najwyższą skuteczność klimatyczną (881 kg CO₂e/t słomy). Łącząc emisję unikniętą i opóźnioną, zastosowanie izolacji na bazie słomy charakteryzuje się najwyższą efektywnością klimatyczną (1344 kg CO₂e/t słomy). Obecnie polityka UE zachęca do wykorzystania słomy w sektorze rolniczym i energetycznym, zaniebując korzyści z jej wykorzystania w sektorze budowlanym¹³.

Propozycja modelu obliczeń dla wyrobów budowlanych ze słomy - autor: Cezary Czemplik OSBN

Do wyznaczenia śladu węglowego kostki słomy będą niezbędne następujące dane:

	Dane wejściowe	Wpływ na ślad węglowy kg CO ₂ eq/kg
Ziarno pszenicy	4,84 t/ha. (59,5%)	85,3% (71,4%)
A1 - zaopatrzenie w surowce :	SUMA:	-1,31
Użycie średniej zawartości węgla w słomie (wyjściowa zawartość węgla dla słomy, niezależnie od gatunku)	1,61 kg CO ₂ /kg słomy	-1,61
Uśredniona standardowa produkcja rolna z użyciem uśrednionego dla upraw poziomu nawożenia i zbioru z EPD		3,3t słomy / 4,84t ziarna
Alokacja ekonomiczna procesów uprawy i produkcji lub :	25 / 75%	+0,53
Alokacja masowa procesów uprawy i produkcji	40 / 60 %	+0,85

¹³<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ad0517/pdf>

	Dane wejściowe	Wpływ na ślad węglowy kg CO2eq/kg
Zużycie nawozów w przeliczeniu na hektar oraz emisje podtlenku azotu z nawozów do powietrza - (główny czynnik emisyjny możliwy do ograniczenia w przypadku przejścia na zasady rolnictwa regeneratywnego.)	Przyjęto ślad węglowy Emisji z procesów uprawy w Polsce na poziomie 2 kg CO2eq/ ha dla mieszanki zbóż ¹⁴ Nie uwzględnia emisji utleniania nawozów.	(dla wilgotności 12% w stanie suchym) 0,56/88%*25%
Zużycie paliw kopalnych w zabiegach agrotechnicznych (uprawa, siew, stosowanie nawozów i pestycydów, nawadnianie i zbiór) w przeliczeniu na hektar		+0,159 dla alokacji ekonomicznej
Zużycie pestycydów w przeliczeniu na hektar		0,56/88%*40%
W przypadku innych wskaźników środowiskowych - ilość usuniętych składników odżywczych z gleby w przeliczeniu na słomę.		+0,255 dla alokacji masowej
Zużycie sznurków, jeżeli dotyczy		pomijalne
Emisje z procesów nawożenia metodami standardowymi , uśrednione , przyjęte wg. modelowania Trier 1 - zgodnego z metodyką IPCC ¹⁵	2,74 N2O/ ha 816,72 kg CO2eq /ha	+0,045
Do opracowania w przypadku szczegółowych danych od dostawców rolnych na podstawie modeli PCR produkcji rolniczej dla rolnictwa regeneratywnego <ul style="list-style-type: none">- zależna od rodzaju gleby- sposobów nawożenia- poplonów	brak danych	brak danych
Środków do montażu i innych surowców , jeżeli dotyczy	zależne od sposobu prefabrykacji	
A2 - transport	najgorszy scenariusz	+0,25
Średnia zużycie paliwa przeznaczonego na transport surowca lub średnia odległość wraz z typem transportu, na podstawie wcześniej zrealizowanych projektów (jeżeli dane są dostępne)		
A3 - wytwarzanie materiału: (w przypadku produkcji zakładowej)	zależne od sposobu produkcji izolacji	
Zużycie energii elektrycznej w procesie produkcyjnym (jeżeli dotyczy)		
Ilość generowanych odpadów / sposób zagospodarowania odpadów	0	0 pomijalna
A4 - transport gotowego produktu	1,29-2,54	0,026
Średnia zużycie paliwa przeznaczonego na transport lub średnia odległość wraz z typem transportu, na podstawie wcześniej zrealizowanych projektów (jeżeli dane są dostępne i koszty są produkowane w zakładzie, a nie na terenie budowy)		
A5 - instalacja	0	0
Ilość powstających odpadów/ sposób ich zagospodarowania	0	0
B1-B7 - użytkowanie -pominięte	0	0
C1 - demontaż	0	0
Ocena stanu czystości zdemontowanej słomy (wpływający na sposób zagospodarowania)	analiza możliwości uwzględnienia zagospodarowania rolniczego	
Zużycie energii podczas demontażu przez elektronarzędzia (raczej nie dotyczy - demontaż ręczny)	0	0
C2-C4		
C2 - transport do miejsca utylizacji	najgorszy scenariusz	+0,25

¹⁴https://www.iung.pl/sir/zeszyt67_2.pdf

¹⁵<https://bibliotekanauki.pl/articles/870570.pdf>

Średnia odległość do miejsca utylizacji, zależnie od scenariusza		
C3 - przetwarzanie odpadów (zakładany % udział):	(90%)	1,08
Przetworzenie na pellet energetyczny (0,65556 kgCO ₂ eq/kWh ¹⁶)	0,106 kW/kg ¹⁷	+0,07
Termiczne przekształcanie z produkcją ciepła / węgiel biogeny ulegnie wyemitowaniu w całości na tym etapie - przyjmuje się ekwiwalent spalania paliw kopalnych - przeliczenie dla zastępstwa krajowego bilansu energii cieplnej (0,75 sprawności dostarczania ciepła)	100% (70%)	1,21 (0,85)
Termiczne przekształcanie z produkcją ciepła lub/i prądu/ określenie korzyści płynących z odzysku energii cieplnej / węgiel biogeny ulegnie wyemitowaniu w całości na tym etapie - przyjmuje się ekwiwalent spalania paliw kopalnych - przeliczenie dla ekwiwalentu krajowego bilansu energii dla sprawności w elektrociepłowni (0,9 sprawności)	100% (20%)	1,45 (0,3)
C4 - utylizacja (zakładany % udział)	10%	+0,161
Składowanie bez korzyści energetycznych i środowiskowych: założenie całości utlenienia węgla biogenego	100%	+1,61
SUMA:		???
D - Potencjał ponownego wykorzystania	potencjał ponownego wykorzystania można bilansować w przypadku stosowania zagospodarowania odpadów w praktyce rolniczej czy zakładowej	
Założenie ponownego wykorzystania kostki / brak emisji, w drugim cyklu produkt jest o zerowych emisjach. - ślad węglowy jest pozbawiony obciążenia zabiegami rolniczymi	100%	-1,61
W przypadku słomy pochodzącej z rolnictwa regeneratywnego można rozważyć uwzględnienie sekwestracji węgla w glebie (wg literatury wdrożenie praktyk z tego zakresu daje ok. 1,83 tCO ₂ /ha wychwyty CO ₂ i ograniczenia emisji nawozowych, przy możliwych większych korzyściach niż wskazane). Konieczna korelacja i ustalenie metodyki z zasadami rolnictwa węglowego.	maksymalny teoretyczny potencjał (przy 25% udziale ekonomicznym)	-0,46 (początkowa akumulacja w okresie pierwszych 10 lat)
Składowanie na polu jako bionawóz w formie rozdrobnionej, zależne od formy i procedury rolniczej (do 33% trwałego związania)	33% związania węgla biogenego	-0,53
Zgodnie ze stosowanymi w Polsce współczynnikami reprodukcji i degradacji materii organicznej, współczynnik odnowy materii organicznej dla 1 tony masy słomy wynosi średnio +0,175-0,210 ¹⁸ . (w powiązaniu z ekoschematami)		-0,193
Maksymalny trwały potencjał akumulacji węgla w glebie uprawowej w okresie 50 lat - 10 t C/ha (36,6 tCO ₂ eq/ ha) , bez zbilansowania wpływu nawożenia tj 0,732 (36,6 tCO ₂ eq/ ha rok)	11% (przy 25% udziale ekonomicznym)	-0,183 możliwy do przyjęcia parametr dla surowca
		pozyskanego z rolnictwa regeneratywnego w fazie A1
Kompostowanie lokalne : Ilość wyemitowanego dwutlenku węgla w przeliczeniu na kg węgla organicznego w kompoście - zależna od metody (wg. badań min. 20% węgla jest zachowane)	20% związania węgla biogenego	-0,32
Powrót do obiegu w gospodarce rolnej z wykorzystaniem jako substrat w hodowli i biogazowni (zależne od przetwarzania biomasy w nowym obiegu)	przeniesienie do odrębnego modelu	
Produkcja biogazu i biowęgla dla zagospodarowania rolniczego ¹⁹	przeniesienie do odrębnego modelu	

¹⁶<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20220002671/O/D20222671.pdf>

¹⁷<https://labcotech.pl/news/biznesplan-obliczanie-rentownosci-05%9Bci>

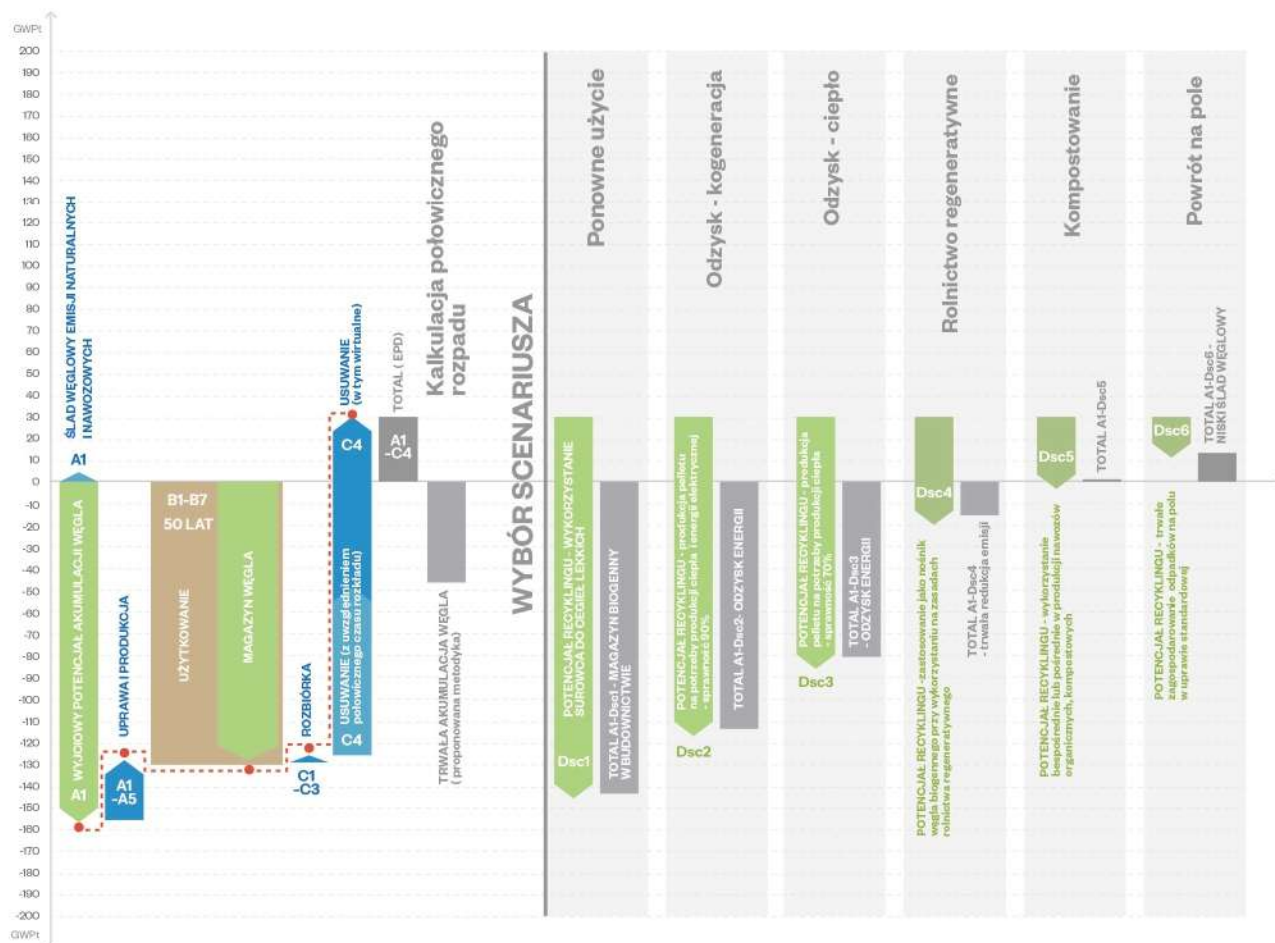
¹⁸<https://wmodr.pl/files/PtDIAPFYG6mrJQYEDlraLlOy6bXYmDOrrUD6gYCM.pdf>

¹⁹https://iung.pl/sir/zeszyty59_6.pdf

¹⁹https://www.researchgate.net/publication/259678044_Is_biochar_or_straw_bale_construction_a_better_carbon_storage_from_a_life_cycle_perspective

Średni ślad węglowy słomy A1-C4 (D)

- z rozkładem na polu: 10,2 kgCO₂e (-0,176 kg CO₂e) / m³
- z termicznym przekształcaniem 15,50 kgCO₂e (-36,15 kgCO₂e)/kg





Konopia

Rodzaj surowca: konopia

Zastosowanie: materiał izolacyjny, materiał konstrukcyjny

Liczba EPD: 6, w jednym przypadku opisano 2 surowce

Opis

Konoplit, znany również jako beton konopny lub hempcrete, to biokompozytowy materiał budowlany zyskujący na popularności ze względu na swoje unikalne właściwości i zrównoważony charakter. Składa się on z paździerzy konopnych, zdrewniałych części rośliny, połączonych spoiwem wapiennym. W procesie produkcji mieszane ze sobą drobne kawałki konopi i płynne spoiwo formowane są w zwartą strukturę, która może stanowić wypełnienie ścian, podłóg, izolację stropów i dachów.

Technologie wykonania konoplitu

Istnieje kilka metod wykonywania konoplitu:

- W szalunku: Mieszanke konoplitu wylewa się do przygotowanego wcześniej szalunku, w którym zastyga i twardnieje.
- Jako zasyp stropów i dachów: Suchą mieszanke konoplitu rozprowadza się na stropie lub dachu, a następnie ubija i nawilża.
- Natrysk: Mieszanke konoplitu rozpyla się na powierzchnię za pomocą specjalnej pompy.
- Prefabrykaty: Konoplit może być również produkowany w formie prefabrykatów, takich jak bloczki, płyty i panele.

Pozostałe wyroby budowlane z konopi

Oprócz konoplitu, z konopi wytwarzane są również inne materiały budowlane, m.in.:

- Włókna konopne: Stosowane do wzmacniania betonu i zapraw murarskich.
- Wełna konopna: Izolacja termiczna i akustyczna.
- Maty z włókien: Izolacja termiczna i akustyczna, stosowana również jako wypełnienie ścian działowych.
- Płyty miękkie: Izolacja termiczna i akustyczna, stosowana również jako wykończenie ścian i sufitów.

Cechy technologii konoplitu

Konoplit posiada szereg zalet, które czynią go atrakcyjnym materiałem budowlanym:

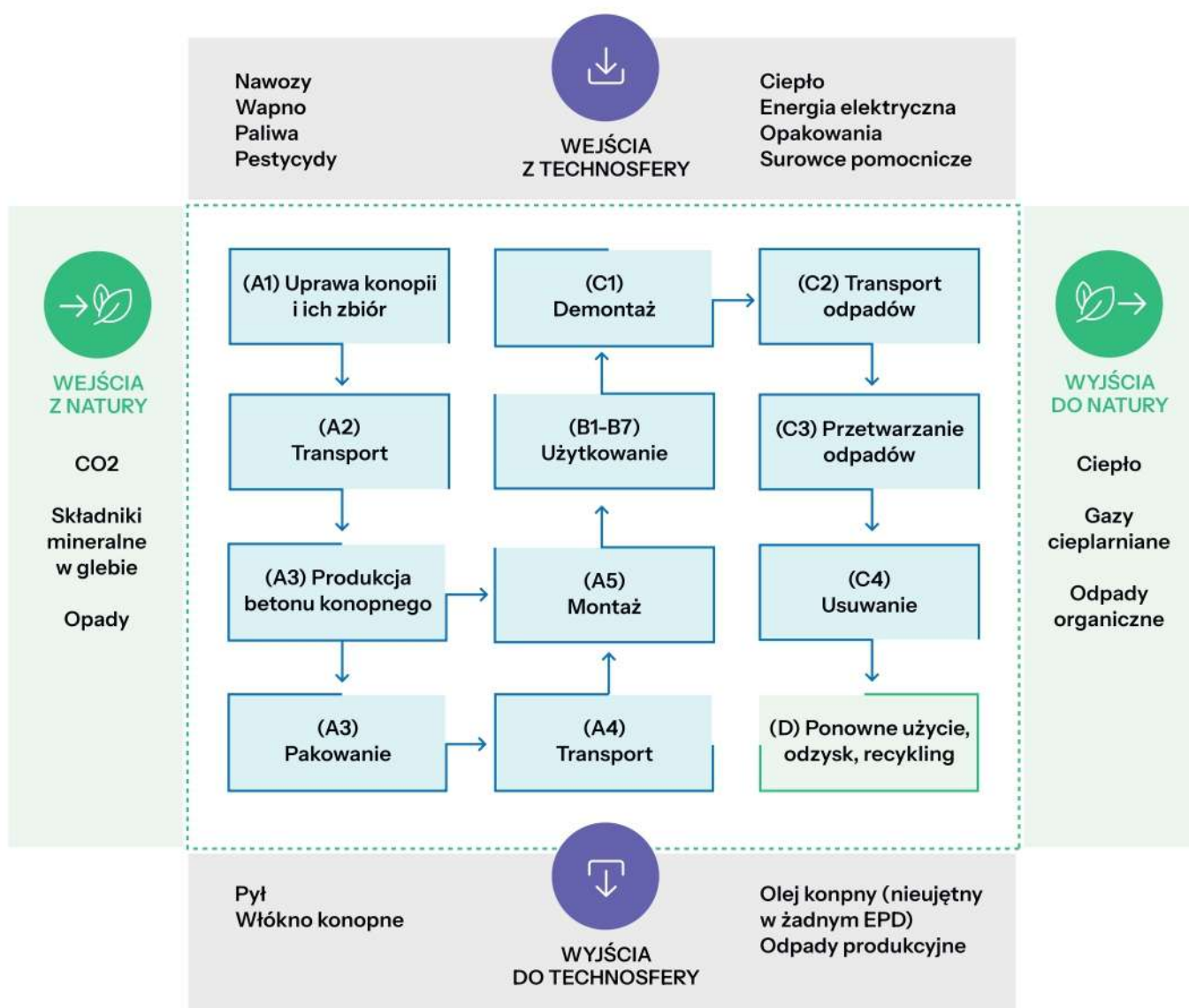
- Izolacyjność: Współczynnik przewodności cieplnej (λ) konoplitu wynosi od 0,065 do 0,12 W/(mK) (w zależności od gęstości materiału), co zapewnia doskonałą izolację termiczną.
- Wysoki odczyn pH: Konoplit ma wysoki odczyn pH, co czyni go odpornym na grzyby, pleśń i gryzonie.
- Ujemny ślad węglowy: Uprawa konopi i produkcja konoplitu wiążą dwutlenek węgla z atmosfery, co przyczynia się do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych.
- Monolityczna struktura ścian: Konoplit tworzy monolityczną strukturę ścian, która zapewnia szczelność powietrzną i ogranicza mostki termiczne.
- Wyższa klasa ogniowa: Konoplit może osiągnąć klasę ogniową B-s1 d0, co oznacza, że jest trudnopalny.
- Wysoka pojemność cieplna: Konoplit ma wysoką pojemność cieplną, co oznacza, że powolnie

pochłania i oddaje ciepło, co zapewnia komfort termiczny wewnątrz budynku.

- **Dobra izolacyjność akustyczna:** Konoplit zapewnia dobrą izolację akustyczną, co czyni go idealnym materiałem do budowy domów i innych budynków mieszkalnych.
- **Materiał aktywny kapilarnie:** Konoplit jest materiałem aktywnym kapilarnie, co oznacza, że potrafi wchłaniać i oddawać wilgoć. Pozwala to na regulację wilgotności powietrza w pomieszczeniach.
- **Niski wpływ środowiskowy uprawy konopi:** Uprawa konopi ma niski wpływ na środowisko. Nie wymaga stosowania pestycydów ani herbicydów, a także wiąże dwutlenek węgla z atmosfery. Konoplit z biegiem czasu staje się coraz trwalszy.

Założenia poszczególnych deklaracji środowiskowych EPD

Schemat procesu



Zestawienie danych z deklaracji środowiskowych

Oznaczenie	B	C	D	D
Producent	producent 1	producent 2	producent 3	producent 4
Typ produktu	Beton konopny	Beton konopny	Beton konopny	Izolacja z betonu konopnego
Referencyjny czas użytkowania [lata]	Założono 60, choć wg analiz powinno być 100-150	100	100	100
Jednostka funkcjonalna/ deklaracyjna	1m3, spaletyzowany i zapakowany 0,36m3	1m3	1m2	1m2
Grubość (jeżeli istotne) [m]	Dostępne są grubości 0,06; 0,09; 0,12; 0,15; 0,3 m, lecz nie wskazano dla której grubości wyznaczono niższą przewodność cieplną.	0,1	0,3	0,3
Przewodność cieplna λ [W/(m K)]	0,076	0,09, RSI = 1,11 (m2 K)/W	0,07	0,053
Gęstość [kg/m3]	337	400	330	190/230
Zawartość masowa paździerza [kg/m3]	100	105 (130 zbiór z pola)	110	110
Produkcja GWP paliwa (zbiór konopi + paliwo) A1 na m3	(58 jo) 161,1	59,5 jo-m3	67 jo 223,3	27,6 jo 92
Przeliczenie czynników produkcji na 100 kg spoiwa	70,9		101,5	92
Zawartość węgla biogenego w paździerz - A1(JO)	-51,87 jo k		-63,55	-60,5
Przeliczenie GWP dla udziału biogeny w wyrównaniu gęstości na 100 kg/m3	-144,08 - przeliczenie -151,7 - z karty	brak możliwości wyliczenia	-192,6 (wartości zawyżone)	-183,3 (wartości zawyżone)
Podział emisji [-]	68% włókno, 32% paździerz (53,125%- przeliczenie)	40%	-brak danych	- brak danych
Reprezentatywność geograficzna	-, miks energii elektrycznej 44,33% gaz ziemny i 55,67% energia jądrowa	Francja	Miejsce produkcji znajduje się w Montichiari (Brescia). Średnia odległość między fabryką a placami budowy wynosi 150 km. Surowce pochodzą z północnych Włoch i Francji. Rok odniesienia badania to 2020.	Miejsce produkcji znajduje się w Montichiari (Brescia). Średnia odległość między fabryką a placami budowy wynosi 150 km. Surowce pochodzą z północnych Włoch i Francji.
Rok badania	2017	2017	2021	2020
Adnotacje nt. dostępnych informacji	Szczegółowe informacje nt.. nawozów, zużycia energii, zużycia paliw	Szczegółowe informacje nt.. nawozów, wydajności upraw,		

Słoma zapewnia trzy produkty uboczne, które są również dystrybuowane według przydziału masy, a rozkład obrotu jest zgodny z rozkładem masy: konopie (50%), włókno (30%) i pył (20%). Te podstawowe dane zostały przekazane przez Chanvrière. Współczynniki masy i alokacji ekonomicznej są identyczne dla tej konfiguracji.

W całym cyklu życia, jeśli weźmiemy pod uwagę, że pod koniec życia i po składowaniu na wysypisku rozkłada się 15% (w okresie życia rozpatrywanym dla produktu), 1 m² (1 UF) bloczków z betonu konopnego pozwala na składowanie 44,09 kg WSPÓŁ2/UF dla PAL36) (niezależnie od strat instalacyjnych)

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego: PCR Construction products, 2019:14, Version 1.3.1; PCR ICMQ-001/15 rev. 3; UL Environment. Building Related Products and Services. Part B: Building Envelope Thermal; MS-HB Version 2.0 dated 20.04.2022; - dla produktów z betonu konopnego (konoplitu, kompozytu konopno-wapiennego)

PKR: Insulation materials made from renewable raw materials PKR code: 2.22.5 Version 9.0; - dla izolacji z włókien konopnych

Reprezentatywność geograficzna: deklaracje dotyczą wyrobów wytwarzanych w Europie w zbliżonej szerokości geograficznej do polskiej

Bazy danych i jakość danych: Ecoinvent 3.8, IEA 2021, Ecoinvent 3.4, Agri-Footprint 5.0, GaBi Professional database 2020 (SP 40), 2 przykłady nie starsze niż 5 lat oraz 2 przykłady nie starsze niż 10 lat. Dla tego typu procesów produkcyjnych wpływ technologii nie powinien istotnie wpływać na ślad węglowy wyrobów.

Ślad węglowy surowca

A1 – surowce

Uprawa konopii obejmuje:

- Uprawa - wiosenna brona zębowa (CRA-W i in., b.d.) EVEA 5,07 t /h]
- Nawożenie (przez przetwarzanie rozsiewacza) - w dwóch dokumentach wskazano szczegółowe informacje nt. nawożenia [EVEA fosforany 26,4 kg/ha, azotany 75,9 kg/ha]
- Siew
- Koszenie kosiarką spalinową
- Koszenie siana przetrząsaczem karuzelowym
- Belowanie
- Transport vers ferme (hip. 1 trasa/ha, 10 km)

Produkcja surowca konopnego obejmuje produkcję włókna, paździerza oraz pyłu. Produkt jest otrzymywany z paździerza konopnego, wapna hydratyzowanego, wapna hydraulicznego (substancji wiążących) oraz wody.

Surowiec	ISOHEMP	EVEA
	kg, w przeliczeniu na m3 betonu konopnego	
Paździerz konopny	100	105
Wapno hydratyzowane	75	253
Wapno hydrauliczne	115	
Woda	250	324

A2 – transport

Surowiec jest transportowany na odległość ok. 400 km

A3 – wytwarzanie:

Proces produkcji obejmuje

- Oddzielenie paździerza od włókien [EVEA 45,3 kWh/kg]
- Mieszanie, prasowanie, przechowywanie przez 24 godziny w miejscu z naturalną wentylacją (karbonatyzacja wapieni), paletowanie, przechowywanie przez 2 miesiące na dziedzińcu fabryki (ukończenie karbonatyzacji).
- Zawracanie wadliwego surowca do ponownego przetworzenia

W jednym z rozwiązań dodatkowo stosuje się mikroorganizmy.

Założono podczas produkcji sekwestrację 0,594 kgCO₂ na kg użytego Ca(OH)₂ (w innym dokumencie założono je na etapie użycia B1).

A4 – transport na miejsce budowy

Założono transport na odległość 100-150 km (średnio 125 km).

A5 – instalacja

Dla jednego z produktów podczas montażu do przygotowania zaprawy klejowej potrzeba 38,73 kg suchej masy i 10,8 l wody na 1 m³ betonu konopnego. Dla innego produktu wskazano jedynie zużycie energii elektrycznej.

B1-B7 – etapy użytkowania

Wykluczone, w jednym przypadku w etapie B1 ujęto karbonatyzację betonu konopnego obejmującą wychwyt -44,2 kg CO₂e/m³ betonu konopnego (w innym przypadku karbonatyzacja była realizowana na placu produkcyjnym i dlatego została ujęta w A3)

C1 – dekonstrukcja i wyburzanie

Brak założeń w żadnym z dokumentów.

C2 – Transport odpadów

Założono transport na odległość odpowiednio 25, 100 km do centrum sortującego.

C3 – Przetwarzanie odpadów

Założono składowanie na wysypisku jako materiału inertnego.

C4- Usuwanie

Założono brak emisji z paździerza konopnego, ponieważ został on ustabilizowany przez wapno.

Uwzględnienie końca życia produktów drewnianych, 2012) uważa się, że 15% konopi ulega degradacji (tj. 34,72 kg/UF), co oznacza, że 15% masowych zawartego w nich węgla jest emitowane do powietrza, z czego połowa w postaci dwutlenku węgla, a połowa w postaci metanu. Na składowiskach biogaz powstały w wyniku rozkładu odpadów organicznych jest wychwytywany i spalany w jednostce kogeneracyjnej. Uważa się, że 30% metanu ucieka (traci do atmosfery), a 70% jest przetwarzane na ciepło i energię elektryczną (patrz Moduł D). [producent 1]

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

Brak założeń.

Wykluczenia z obliczeń: Wykluczenia zostały wskazane w jednym przypadku.

a) Isohemp

- budynki i infrastruktura;
- przestrzeń magazynowa na ziemi;
- odpady domowe (zwykłe odpady związane z obecnością człowieka: opakowania pożywienia itp.);
- odpady opakowaniowe u klienta IsoHemp, który używa bloków do budowy (czapki, zaciski, narożniki, papierowe worki z zaprawą klejową);
- palety: są to drewniane palety kupowane w drugim obiegu i wielokrotnie używane (odzyskane od klienta gwarantowane palety), ich wpływ jest znikomy;
- ścieki: nieistotne (15 m³/rok, czyli 0,0025 m³/UF).

Ślad węglowy wyrobu

Tab. X Ślad węglowy betonu konopnego

Etap		IsoHemp	EVEA ²⁰	Blocco Ambiente* (dla 1m ²)			Bio Beton Pronto			Bio Beton Jet		
		GWPt	GWPt	GWPt	GW Pf	GW Pb	GW Pt	GW Pf	GW Pb	GW Pt	GW Pf	GW Pb
A1-A3	Zaopatrzenie w surowce, transport surowców, produkcja	-96,30 ²¹	89,80		71,80	-65,95		33,73	-60,49		43,47	-61,80
A4	Transport do miejsca użytkowania	7,36	35,30		2,27	0,00		2,44	0,00		1,56	0,00
A5	Instalacja	9,78			0,21	5,45		0,46	0,00		0,51	2,44
B1-B7	Użytkowanie	0	-73		-22,20	0,00		-4,49	0,00		-6,73	0,00

²⁰ wartości poszczególnych faz nie są zbieżne z innymi wynikami dla prefabrykatów; wyjaśnienia poniżej

²¹ znacząco niższy ujemny ślad węglowy wiąże się z dodatnią ujemnego śladu węglowego paździerza, wraz ze skarbonatyzowanym zbilansowanym wapnem w procesie schnięcia prefabrykatu; wyjaśnienia poniżej

C1	Rozbiórka/wyburzenie	0,00	-71 ²²		0,37	0,00		0,21	0,00		0,26	0,00
C2	Transport odpadów	1,39			0,71	0,00		0,41	0,00		0,50	0,00
C3	Przetwarzanie odpadów	0,00			0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00
C4	Usuwanie	2,44			-8,17	0,00		-3,83	0,00		-11,50	0,00
D	Potencjał ponownego wykorzystania , odzyskania lub recyklingu	-	-		-	-		0,00	0,00		0,00	0,00

Nie przedstawiono użycia oraz zmiany użycia terenu ze względu na marginalny wpływ. Dla jednego z konopliów znaleziono emisje dla etapu A1-A3 wraz z podziałem na poszczególne surowce.

Tab. X Ślad węglowy poszczególnych etapów produkcji dla IsoHemp (brak rozbicia na węgiel biogeny i pochodzący z paliw kopalnych)

Paździerz konopny	-147,00
Wapno hydratyzowane	67,00
Wapno hydrauliczne	73,20
Woda	0,09
Mieszanie	1,23
Prasowanie	0,70
Karbonatyzacja	-95,50
Paletyzacja	2,51
Inne	1,12
Suma	-96,30

Komentarz:

Z deklaracji Evea , ze względu na brak podania informacji o zawartości węgla biennego nie ma możliwości weryfikacji rozdzielenia kompozytu.

Jedynie w niektórych deklaracjach środowiskowych zostały wskazane informacje nt. zużycia pestycydów, wielkości plonów z hektara, które mają istotne znaczenie z perspektywy szacowania śladu węglowego. Jedynie w deklaracji ISOHEMP, możemy zauważyć rzeczywisty wpływ na obniżenie węgla biennego uwzględnionego w surowcu

Nie wskazano nigdzie danych nt. spoiw wapiennych, dla których sposób produkcji (np. wykorzystanie biomasy w do wypalania przemysłowego) może mieć bardzo istotny wpływ na ślad węglowy betonu konopnego.

²² W deklaracji wychwycono błąd, ponieważ karbonatyzacja została wyliczona jako wartość dodatnia, a nie ujemna

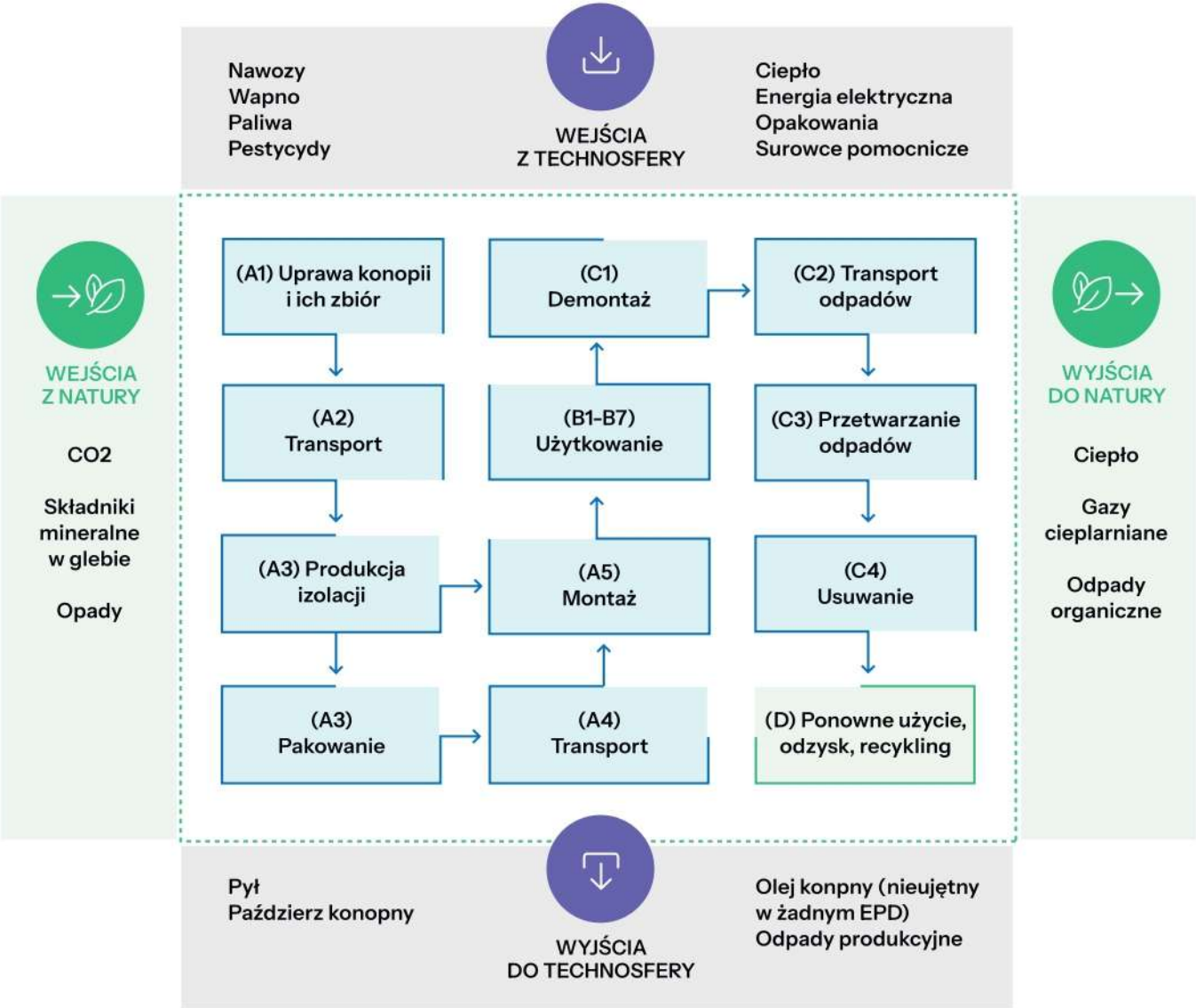
W jednej z deklaracji oszacowano ślad węglowy montażu, co może być interesujące w przypadku próby modelowania całego cyklu życia ścian łączonych z wykorzystaniem zaprawy klejowej. W przypadku betonu konopnego ważne są 2 aspekty. Pierwszym z nich jest karbonatyzacja wapna, czyli reakcja wapna z dwutlenkiem węgla skutkująca jego wychwytem i przekształceniem do węglanu wapnia. W ten sposób następuje częściowe ograniczenie śladu węglowego surowca (proces był ujmowany w fazie A3 albo B1, zależnie od specyfiki produkcji). Drugim ważnym aspektem jest sprawienie, że paździerz konopny staje się inertny, przez co na końcu życia surowca węgiel biogeny zawarty w paździerzu nie będzie się ulatniać, dzięki czemu nawet po rozbiórce materiał ten będzie cechować się ujemnym śladem węglowym (jedynie w jednym z przypadków wartość śladu węglowego była dodatnia, niemniej jakość samego dokumentu została oceniona na niską, w związku z czym te doniesienia należy brać z pewną rezerwą). W przypadku Isohemp, dokonany próby symulacji składowania, odzysku metanu i wykorzystania jako surowiec w kogeneracji.

Wyliczenia śladu węglowego kompozytu z konopii i wapna zazwyczaj nie podają wyników w podziale na paździerz i spoiwo, co przy różnych składach i stosunku paździerza do spoiwa utrudnia weryfikację wartości i metodyki wyznaczenia (jedynie w przypadku IsoHemp taka informacja była dostępna), dla pozostałych dokonano przeliczenia na podstawie zawartości węgla biogenego w paździerzu.

1. Beton konopny stosowany w metodzie natryskowej odznacza się niższym śladem węglowym ze względu na zmniejszoną zawartość spoiwa wapiennego
2. W zależności czy jest to prefabrykat (Isohemp), czy mieszanka sporządzona na budowie (Evea), proces karbonatyzacji wapna jest uwzględniany w fazie produkcji, użytkowania lub uwzględniony częściowo w każdej z faz.
3. Dla EPD betonu konopnego Evea - nie uwzględniono śladu węglowego biogenego paździerza w Fazie A1, a w fazie nazywanej "Lifecycle implementation", którą dopasowano do etapu użycia B1-B7. Dokument uwzględnia emisje w fazie C, gdzie następuje emisja węgla biogenego.
4. Dla pozostałych produktów - przyjęto trwałe wiązanie węgla biogenego i brak emisji na końcowym etapie życia. w fazach C i D
5. Zastosowanie spoiwa wapiennego, uniemożliwia wykorzystanie paździerza jako biomasy energetycznej. Zarówno paździerz jak i wapno hydratyzowane - nieaktywne może być używane jako składnik lub dodatek do gruntów. Przyjęte wartości wskazują raczej na przeliczenie ekwiwalentu dla równoważnych nawozów wapiennych i organicznych. Docelowy potencjał dla akumulacji węgla w takim wypadku także powinien być potwierdzony badaniami.

Maty z Izolacji konopnej

Schemat cyklu życia



Zestawienie danych z deklaracji środowiskowych

Oznaczenie	A	E	F
Producent/produkt	EKOLUTION	Nature fibers Profib MAT	Thermo Hanf Combi Jute
Typ produktu	Izolacja konopna	Izolacja konopna z dodatkiem włókien poliestrowych	Izolacja konopna
Referencyjny czas użytkowania [lata]	60	75	50
Jednostka funkcjonalna/deklaratywna	1 m ²	1 m ² zainstalowanego panelu izolacyjnego z włókna konopnego/poliestrowego o grubości, która zapewnia średnią oporność cieplną RSI = 1 m ² K/W.	1 m ³
Grubość (jeżeli istotne) [m]	0,1	0,039	-
Przewodność cieplna λ [W/(m K)]	0,04	-	0,04
Gęstość [kg/m ³]	35	35	36
Produkcja GWP paliwa			
Zawartość węgla biogenego A1 (A2-A3)			
Całociowy GWP			
Przeliczenie GWP dla udziału biogeny w wyrównaniu gęstości na 100 kg/m ³			
Podział emisji [-]	-	-	Włókna 68%
Reprezentatywność geograficzna	Czechy, Europa, miks resztkowy energii elektrycznej dla Czech	Kanada, włókno poliestrowe produkowane we Francji	Niemcy(?)
Wiek danych	2019	2019	2020-2021
Adnotacje nt. dostępnych informacji		Zużycie paliw	

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego:

PCR Construction products, 2019:14, Version 1.3.1; PCR ICMQ-001/15 rev. 3; UL Environment. Building Related Products and Services. Part B: Building Envelope Thermal; MS-HB Version 2.0 dated 20.04.2022; - dla produktów z betonu konopnego (konoplitu, kompozytu konopno-wapiennego)

PKR: Insulation materials made from renewable raw materials PKR code: 2.22.5 Version 9.0; - dla izolacji z włókien konopnych

Reprezentatywność geograficzna: deklaracje dotyczą wyrobów wytwarzanych w Europie w zbliżonej szerokości geograficznej do polskiej

Bazy danych i jakość danych: Ecoinvent 3.8, IEA 2021, Ecoinvent 3.4, Agri-Footprint 5.0, GaBi Professional database 2020 (SP 40), 3 przykłady nie starsze niż 5 lat

Etapy cyklu życia:

A1 – surowce

W dokumentach wskazano udział procentowy poszczególnych składników.

Surowiec	Ekolution	Nature Fibers Profib-MAT
Włókno konopne	87%	92%
Włókno dodatkowe (polietylen lub polipropylen z recyklingu pochodzące w 50% z recyklingu tkanin)	10%	-
Fosforan amonu	3%	-
Włókno poliestrowe	-	8%

W deklaracjach nie omówiono sposobu uprawy konopii, niemniej został on szczegółowo przedstawiony w dokumentach opisujących beton konopny. W jednym przypadku wskazano wydajność produkcji rzędu 8 ton (1 tona ziarna, 1,89 tony włókien, 3,5 tony paździerza, 1,61 t pyłu)

A2 – transport

Nie podano informacji nt. transportu

A3 – wytwarzanie:

Nie podano informacji nt. procesu wytwarzania.

A4 – transport na miejsce budowy

W jednym przypadku wskazano odległość 280 km

A5 – instalacja

Instalacja obejmowała jedynie zagospodarowanie opakowań produktu.

B1-B7 – etapy użytkowania

Etapy zostały wykluczone

C1 – dekonstrukcja i wyburzanie

Brak założeń w dokumentach

C2 – Transport odpadów

Założono transport na odległość odpowiednio 50 km do centrum sortującego

C3 – Przetwarzanie odpadów

W jednym przypadku założono składowanie na wysypisku (Nature fibres), w drugim termiczne przetwarzanie (Thermo hanf). W trzecim przypadku nie zadeklarowano końca życia, jednak analizując zawarte w raporcie liczby było to składowanie. Wpływ na środowisko procesu utylizacji odpadów i procesu spalania został zadeklarowany w C3. Wyprodukowana podczas utylizacji odpadów energia użyteczna została zadeklarowana jako energia eksportowana w C3 (wskaźniki EEE i EET), Kredyty związane z wyprodukowaną energią użyteczną zostały zadeklarowane w Module D.

C4- Usuwanie

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

Brak założeń w dokumentach, w jednym przypadku odzyskano energię z procesu termicznego przekształcania

Ślad węglowy surowca

Tab. X Ślad węglowy mat z izolacji konopnej

Etap	Nazwa	EKOLUTION		Nature fibres Profib MAT		Thermo Hanf Combi Jute	
	Jednostka	1 m2		1 m2		1 m3	
		GWPf	GWPb	GWPf	GWPb	GWPf	GWPb
A1-A3	Zaopatrzenie w surowce, transport surowców, produkcja	1,01	-7,88	1,74	-2,53	32,10	-53,50
A4	Transport do miejsca użytkowania	0,19	0,00	0,51	0,00	1,39	0,00
A5	Instalacja	-0,02	0,59	0,01	0,30	1,88	5,12
B1-B7	Użytkowanie	0	0	0	0	0	0
C1	Rozbiórka/wyburzenie	-	-	0	0	0	0
C2	Transport odpadów	0,01	0,00	0,01	0,00	0,46	0,00
C3	Przetwarzanie odpadów	0,00	7,08	0,00	0,00	7,46	48,30
C4	Usuwanie	0,02	0,15	0,02	0,64	0,00	0,00
Suma A1-C4		1,03	2,76	2,29	-1,59	18,89	-0,14
D	Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	-0,18	2,82	-	-	-24,40	-0,06

Tab. X Ślad węglowy 1m3 izolacji konopnej

Etap	Nazwa	EKOLUTION		Nature fibres Profib MAT		Thermo Hanf Combi Jute	
		GWPf	GWPb	GWPf	GWPb	GWPf	GWPb
A1-A3	Zaopatrzenie w surowce, transport surowców, produkcja	10,10	-78,80	44,62	-64,87	32,10	-53,50
A4	Transport do miejsca użytkowania	1,90	0,00	13,08	0,00	1,39	0,00
A5	Instalacja	-0,20	5,90	0,26	7,69	1,88	5,12
B1-B7	Użytkowanie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C1	Rozbiórka/wyburzenie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Etap	Nazwa	EKOLUTION		Nature fibres Profib MAT		Thermo Hanf Combi Jute	
C2	Transport odpadów	0,10	0,00	0,26	0,00	0,46	0,00
C3	Przetwarzanie odpadów	0,00	70,80	0,00	0,00	7,46	48,30
C4	Usuwanie	0,20	1,50	0,51	16,41	0,00	0,00
Suma A1-C4		12,10	-0,60	58,72	-40,77	43,29	-0,08
D	Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	-1,80	28,20	-	-	-24,40	-0,06

W dokumentach nie przedstawiono użycia oraz zmiany użycia terenu ze względu na marginalny wpływ.

Komentarz:

Rodzaj produkcji mat izolacyjnych ma kluczowe znaczenie dla początkowego śladu węglowego wyrobów (4-krotne różnice). Pomimo podobnego masowego udziału surowca z włókien, przyjęta zawartość węgla biogenego jest różna (53,5-78,8 kg/m³).

Dane dot. cyklu życia w przypadku izolacji konopnej były bardzo ograniczone. W przypadku 2 rozwiązań surowcami składowymi izolacji były włókna poliestrowe lub polietylenowe i propylenowe. W jednym przypadku nie został wskazany sposób końca życia (Ekolution), w drugim przypadku (Profib MAT) założono, że surowiec zostanie składowany i założono małe wartości emisji w przypadku składowania razem z gruzem budowlanym (co w praktyce może prowadzić do istotnych emisji węgla biogenego). Co gorsza, gdyby materiał był składowany w warunkach, gdzie mógłby nastąpić rozkład w warunkach beztlenowych, to wspomniane szacunki byłyby nieprawdziwe ze względu na emisję gazu wysypiskowego. W ostatnim przypadku założono utylizację na drodze termicznego przekształcenia, dzięki czemu uzyskany wynik (w przeliczeniu na 1m³) był lepszy, niż w przypadku Ekolution (z uwzględnieniem etapu D), ale sumarycznie nieznacznie gorszy niż dla Protib MAT. W całym cyklu życia wspomniany produkt niezależnie od sposobu zagospodarowania ma dodatni ślad węglowy, jednym ze sposobów, żeby stał się ujemny jest próba składowania materiału nieskutkująca emisją węgla biogenego. W przypadku Ekolution zaobserwowano bardzo duże emisje w etapie D - jest to etap, dla którego wykazuje się wartości ujemne stanowiące korzyść środowiskową. W tym wypadku może to albo stanowić błąd (emisje powinny mieć wartość ujemną i być ujęte wcześniej, albo być o rząd wielkości mniejsze) albo założono emisje metanu. Ze względu na brak wyjaśnienia nie ma możliwości posłużenia się tymi danymi.

Ze względu na dodatek włókien poliestrowych, lub polipropylenowych nie jest możliwe zagospodarowanie w przemyśle rolnym lub kompostowanie, ze względu na zagrożenie skażenia tworzywami sztucznymi/mikroplastikiem. W grę wchodzi jedynie produkcja biogazu, a następnie termiczne przekształcanie pofermentu.

W niniejszych deklaracjach nie został nigdzie uwzględniony efekt sekwestracji węgla w glebie, który jest przypisywany konopiom. W jednym z dokumentów (ISOHEMP) pojawiła się wzmianka o pominięciu tego efektu, w związku z niepewnościami co do praktyk rolniczych (Boutin et al., 2006), oraz koniecznością nawożenia. Może mieć to istotny wpływ na wynik końcowy, szczególnie w przypadku realizacji praktyk z zakresu rolnictwa regeneratywnego, globalne bilansowanie emisji gazów cieplarnianych będzie się odbywać m.in. z wykorzystaniem sekwestracji węgla w rolnictwie węglowym.

W przeciwieństwie do betonu konopnego, dodatek włókien poliestrowych, czy polimerowych, uniemożliwia wykorzystanie surowców organicznych w procesach kompostowania, czy powrót biomas do gruntu. Najbardziej prawdopodobnym scenariuszem jest utylizacja jako biomasa organiczna i uwolnienie emisji. Należy zatem dążyć do opracowania produktów bez sztucznych dodatków, co dopiero po kilkunastu latach udało się w produkcji przemysłowej wełny drzewnej.

Czynniki wpływające na ślad węglowy wyrobu w całym cyklu życia

Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono szereg czynników, które wpływają na ślad węglowy wyrobu w postaci produktów konopnych w całym cyklu życia:

- wydajność upraw - istotnym czynnikiem wpływającym na ślad węglowy jest uzyskana ilość surowca w przeliczeniu na 1 hektar uprawy wraz z ilością zużytego paliwa, nawozów oraz środków ochrony roślin. Im większe plony, tym mniejsze emisje w przeliczeniu na jednostkę produktu
- ceny współproduktów i ich liczba - z konopii powstają 3 współprodukty – paździerz, włókno oraz pył (traktowany w EPD jako odpad). W zależności od ceny ich ceny w różny sposób zgodnie z alokacją ekonomiczną będą przypisywane emisje do poszczególnych współproduktów. Należy tutaj zwrócić uwagę, że w ostatnich latach popularności nabiera olejek konopny pozyskany z nasion konopii siewnej. Jest to czynnik nieuwzględniony w EPD, który ze względu na dużą cenę oleju konopnego powinien istotnie obniżyć ślad węglowy pozostałych surowców.
- W obliczeniach nie uwzględnia się masy liści, która w normalnych warunkach ulega rozkładowi na polu. Gdyby liście były wykorzystywane do produkcji biogazu lub kompostowane - mogłoby to również wpłynąć na alokację ekonomiczną emisji związanych z produkcją włókien i paździerza
- energochłonność produkcji wapna (dla betonu konopnego) - w zależności od źródła energii cieplnej w procesie produkcji wapna, może mieć on różny ślad węglowy, co też istotnie może wpłynąć na ślad węglowy betonu konopnego.
- faza końca życia - w zależności od sposobu zagospodarowania konopii na końcu życia możliwe jest uniknięcie emisji węgla biogenego do atmosfery lub ograniczenie zapotrzebowania na paliwa kopalne. W przypadku izolacji z mat konopnych składowanie może skutkować emisjami węgla biogenego, który w przypadku złego składowania może przekształcić się w metan, stanowiący składnik gazu wysypiskowego. W tej sytuacji emisje zdecydowanie większe od zadeklarowanych.
- praktyki rolnictwa regeneratywnego - w aktualnych modelach zakłada się, że nie dochodzi do sekwestracji węgla w glebie na skutek realizowanych upraw, co jest prawdą, ponieważ rolnictwo intensywne skutkuje erozją gleby, która prowadzi do utlenienia węgla organicznego w niej zawartego. W przypadku rolnictwa regeneratywnego często następuje zwiększenie zawartości węgla organicznego w glebie, który w przypadku utrzymania dobrej kultury rolnej na danym terenie nie ulega utlenieniu w czasie, tylko jest przechowywany w glebie na stałe. Oszacowano, że tego typu działania zwiększają zawartość węgla organicznego w glebie o ok. 0,5 t/ha/rok.
- Biorąc pod uwagę sumaryczną wydajność upraw na poziomie 8 ton/ha, to korzyści są równe o ok. 0,22916 kg CO₂ na kg masy uzyskanego surowca.
- Beton konopny: korzystając z alokacji ekonomicznej i przypisując 32% korzyści do paździerza konopnego, zakładając 100 kg paździerza konopnego na m³ wyrobu gotowego daje to redukcję emisji na poziomie 7,33 kg CO₂/m³ produktu, co stanowi 15-25% emisji z paliw kopalnych.
- Izolacja ze słomy: korzystając z alokacji ekonomicznej i przypisując 68% korzyści do włókna konopnego i zakładając 35 kg włókna konopnego na m³ wyrobu gotowego daje to redukcję emisji na poziomie 5,45 kg CO₂/m³ produktu, co stanowi 10-50%% emisji z paliw kopalnych (zależnie od końca życia)

Średni ślad węglowy wyrobu

Średni ślad węglowy betonu konopnego: $-34,52$ (0) $\text{kg CO}_2\text{e/m}^3$

Średni ślad węglowy izolacji z maty konopnej: $17,95 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$ (składowanie - wykluczono Ekolution ze względu na nienaturalnie duże wartości w fazie D i brak wyjaśnienia) lub $43,21$ ($-24,46$) $\text{kgCO}_2\text{e/m}^3$ (termiczne przekształcanie). Po odjęciu korzyści wynikających z termicznego przekształcania (etap D) obydwie ścieżki dają porównywalny ślad węglowy.

Propozycja modelu obliczeń dla wyrobów budowlanych z konopii

Pierwszym ważnym aspektem jest uwzględnienie i podział modelu na surowce z upraw konopi (paździerz, włókno, nasiona, liście i pył) i spoiwo (wapienne z możliwymi dodatkami). To osobne modele produkcyjne, które dla konoplitu spotykają się na placu budowy lub w tożsamej produkcji prefabrykatów. Nie mają możliwości rozdzielenia w ostatniej fazie życia podobnie jak płyty izolacyjne z dodatkami sztucznych włókien, więc są traktowane jako jeden wyrób.

Druga kluczową decyzją, jest oszacowanie i przyjęcie wpływu emisji nawozów azotowych w zależności od sposobu uprawy. Konopie podobnie jak inne zboża, wymagają nawożenia, dla zbilansowania właściwości gleby. Może się to odbywać metodami agrotechnicznymi, lub regeneratywnymi (dla których są konieczne szczegóły wyliczenia)

Trzecim kluczowym aspektem jest przyjęcie trwałości materiałowej dla wyrobów budowlanych. Nieprzypadkowo dla wyrobów z konoplitu, podobnie jak dla wyrobów z betonu przyjęto 100 lat. Pozwala to dla wyrobów budowlanych przyjąć trwałe wiązanie zakumulowanego węgla. Dyskusyjne jest jednak traktowanie kompozytu z konoplitu i jego trwałego wiązania dla surowca organicznego. Wiemy że to następuje; nie może ulec spaleni, ale podobnie jak dla innych surowców organicznych może być po okresie użytkowania wykorzystane jako surowiec nawozowy.

Kompozyty konopne nie pełnią funkcji konstrukcyjnych i podobnie jak inne izolacje z materiałów organicznych są wypełnieniem o właściwościach izolacyjnych. Biorąc pod uwagę ustaloną trwałość dla wyrobów z drewna na 35 -75 lat. Nie mają one potencjału trwałej akumulacji. Budynki z konopi oparte na szkieletie drewnianym powinny być traktowane tożsamo.

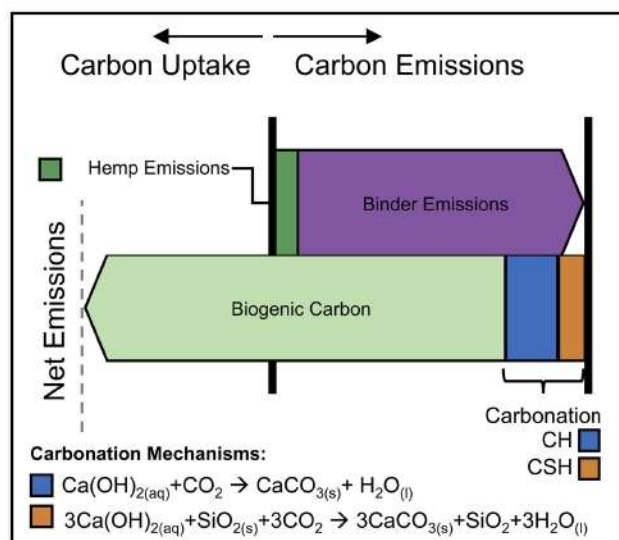
Należy jednak dokonać rozróżnienia pomiędzy materiałami i kompozytami niepalnymi i tymi, które po okresie eksploatacji mogą zostać przetworzone jako surowiec energetyczny. Konoplit i jego właściwości niepalne, będzie sprzyjał utrzymaniu konstrukcji drewnianych w okresie jej eksploatacji.

Propozycja uwspólnienia podejścia do określenia trwałej akumulacji węgla biogenego dla materiałów budowlanych o różnym czasie eksploatacji

Dla materiałów zawierających węgiel biogeny, niezależnie od sposobu jego pozyskania powinno się ustalić wspólną metodykę rozliczeń w momencie jego usuwania, która jest wirtualną czynnością - najgorszym scenariuszem zagospodarowania, po którym powinna nastąpić w gospodarce cyrkularnej kolejna faza zagospodarowania surowców uzyskanych w wyniku rozbiórki materiałów. Nie można zatem fazy D traktować to jako opcję, ale jako obowiązek zagospodarowania.

Ze względu na zbyt dużą różnicę pomiędzy stałą trwałością akumulacji w przypadku produktów o eksploatacji pow. 100 lat, a możliwością przyjęcia metodyki połowicznego rozpadu węgla dla wyrobów o krótszym okresie, proponuje się przyjęcie połowicznego rozpadu po pierwszej fazie eksploatacji.

Czas eksploatacji wyrobów budowlanych - propozycja ujednolicenia:		
	Czas eksploatacji (lata)	Uwalnianie po okresie eksploatacji połowiczne węgla w okresie 100 lat
Kompozyty organiczne niepalne na konstrukcji niepalnej (mineralnej)	100	0%
Konstrukcje z drewna klejonego	75	16,6%
Konstrukcje z tarcicy drewnianej	50	25%
Kompozyty organiczne niepalne na konstrukcji z drewna	75	16,6%
Izolacje i okładziny palne na konstrukcji drewnianej	50	50%
Tynki, farby i materiały wykończeniowe	25	93,75%



<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262031893X>

A1 – zaopatrzenie w surowce		1kg
Przyjęcie ustalonej (uśrednionej na podstawie badań) zawartości węgla w paździerz konopnym i włóknie konopnym)		1,63 ²³
Średnia ilość surowców (w okresie 5 cio letnim) na hektar dla zbiorów krajowych lub dostawcy konopii w podziale na: Średni zbiór: 14,45 t/ha (15%) 12,3t/ha (w stanie suchym) - włókna 31,7% - słoma 62,6% (paździerz 50%, pył 5% i liście konopne 7,26%) - nasiona 5,7% Przyjęto udział masowy dla odmiany konopii Białobrzeskich ²⁴	5,5-20 t/ha zbiór w stanie 15% będzie różny w zależności od odmiany i celu produkcji	przyjęto dla paździerza w stanie suchym 6t/ha (56%) dla włókien 4t / ha (37%) 0,7t/ha nasion (7%)
Przyjęcie stałego współczynnika alokacji ekonomicznej : Średnie ceny w okresie 5 letnim, zdyskontowane o inflację: - włókna - paździerz - nasiona - pył i liście konopne (odpad zagospodarowanie)	brak danych statystycznych	brak danych statystycznych
Zużycie nawozów w przeliczeniu na hektar, ślad węglowy ich produkcji Zalecane dawki podstawowych składników w kg. ha-1 powinny kształtować się następująco: 60-120	Przyjęto ślad węglowy Emisji z procesów uprawy na poziomie 2 kgCO ₂ eq/ ha dla	min. 0,1 (Włochy) -max. 0,223 (Francja)
N; 70-100 P2O ₅ i 120-180 K ₂ O. ²⁵	mieszanki zbóż - wymaga on przeliczenia na konkretne zabiegi dostawcy. Brak możliwości skorzystania z uśrednionych danych ²⁶ Uwzględnia on także emisje utleniania nawozów.	wyłącznie dla procesów produkcji + 0,130 dla paździerza +0,086 dla włókna
Zużycie paliw kopalnych w zabiegach agrotechnicznych (uprawa, siew, stosowanie nawozów, nawadnianie i zbiór) w przeliczeniu na hektar		
Zużycie pestycydów w przeliczeniu na hektar - brak lub pomijalne		
W przypadku innych wskaźników środowiskowych - ilość usuniętych składników odżywczych z gleby w przeliczeniu na wydajność upraw		
Emisje podtlenku azotu z nawozów do powietrza. Warto rozważyć określenie precyzyjnych wartości emisji podtlenku azotu jako kluczowych ze strony rolnictwa (w przypadku doboru odpowiednich zabiegów agrotechnicznych możliwe jest znaczące ograniczenie emisji podtlenku azotu do atmosfery) - w badaniach Francuskich założono bardzo duże emisje z ulatniania się azotu w procesach nawożenia, emisje te nie są wykazywane w żadnym innym modelu i wymagają weryfikacji	N ₂ O 2.7E-4 kg/JO N ₂ 1.94E-3 kg/JO (przy 100 kg N/ha i zbiorze słomy 9t/ha) 0.752 (Francja)	

²³<https://www.aph.gov.au/documentstore.ashx?id=ae6e9b56-1d34-4ed3-9851-2b3bf0b6eb4f> - różne źródła naukowe podają odmienne wartości; należy przyjąć jako bazę- uśrednioną stałą zawartość węgla w masie słomy konopnej. Krajowe jednostkowe badania <https://min-pan.krakow.pl/wpcontent/uploads/sites/4/2019/09/2018-biomasa-wer-z-licencja%04%85.pdf> podają nawet zawartość 1,69 kg CO₂eq/ kg, będzie ona się różnić i zależeć od odmiany i zawartości celulozy.

²⁴ <https://poznan.cdr.gov.pl/catalog/uploads/2019-UPRAWA-KONOPI-WLOKNISTYCH-POLSKICH-ODMIAN.pdf>

²⁵<https://wiescirolnicze.pl/uprawy/uprawa-konopi-wloknistych-na-co-zwrocic-szczegolna-uwage/>

²⁶https://www.iung.pl/sir/zeszyt67_2.pdf

Emisje z procesów nawożenia metodami standardowymi , uśrednione , przyjęte wg. modelowania Trier 1 - zgodnego z metodyką IPCC ²⁷ dla słomy ozimej	2,74 N2O/ ha 816,72 kgCO2eq /ha	+0,043 dla paździerza +0,031 dla włókna
Rozdzielenie przemysłowe surowców konopnych	(Francja)	+ 0,012 dla paździerza +0,008 dla włókna (przeliczenie)
Zagospodarowanie odpadów - możliwe do uwzględnienia zagospodarowanie biomasy w uprawie rolnej (liście + pył ok. 10% suchej masy), przy 20% wiązaniu węgla	(Francja)	+0,0114 20%*10%*-1,63= -0,0326
W przypadku konopii pochodzącej z rolnictwa regeneratywnego można rozważyć uwzględnienie sekwestracji węgla w glebie (wg literatury wdrożenie praktyk z tego zakresu daje ok. 1,8(3) tCO2/ha wychwyty CO2, przy możliwych większych korzyściach niż wskazane). Konieczna korelacja i ustalenie metodyki z zasadami rolnictwa węglowego. ²⁸		
Uwzględnienie spoiwa wapiennego lub dodatków na podstawie odrębnego wyliczenia A1-A3 - z ewentualnym uwzględnieniem biomasy w produkcji i energochłonności	0,709 - 1,02 kgCO2 /kg na podstawie EPD kompozytów 0,46-1,4 kgCO2 /kg na podstawie EPD spoiw wapiennych	przyjęcie wartości uśrednionej + 0,9
Środków do montażu i innych surowców, jeżeli dotyczy		
A2 - transport Średnia zużycie paliwa przeznaczonego na transport surowca lub średnia odległość wraz z typem transportu, na podstawie wcześniej zrealizowanych projektów (jeżeli dane są dostępne), przyjęto średnią odległość dystrybucyjną -300km ładowność 90m3 spalanie diesel 30l/100km emisyjność 2,6 kgCO2eq/l	przyjęto średnią odległość dystrybucyjną 300 km - dla wszystkich rodzajów dystrybucji i utylicacji	0,026
A3 - wytwarzanie materiału: Zużycie energii elektrycznej w procesie produkcyjnym: - przetwarzanie konopii rozdział na włókna i paździerz - ew. produkcja paneli lub sortowanie paździerza - tworzenie kompozytów dla prefabrykatów - ilość generowanych odpadów / sposób zagospodarowania odpadów	w przypadku produkcji prefabrykatów, charakterystyczne dla zakładu względem energochłonności i wykorzystania paliw	

²⁷<https://bibliotekanauki.pl/articles/870570.pdf>

A4 - transport gotowego produktu Średnie zużycie paliwa przeznaczonego na transport lub średnia odległość wraz z typem transportu, na podstawie wcześniej zrealizowanych projektów	średnia odległość dystrybucji 300km	0,026
A5 - instalacja Ilość powstających odpadów i sposób ich zagospodarowania	ilość pomijalna dla konoplitu dla paneli izolacyjnych 10%	
B1 - Uwzględnienie karbonatyzacji spoiwa i powtórnego wiązania dwutlenku węgla (% w stosunku do przyjętego w spoiwach A1 - 70-90%); Przyjęcie zasady o wykazaniu całości karbonatyzacji - także dla prefabrykatów. Maksymalna ilość CO2 związana przez 1 kg (1000 g) wapnia będzie wynosić: $(1 \text{ mol CaO} / 56,08 \text{ g}) * (44,01 \text{ g CO}_2 / 1 \text{ mol CaO}) * (1000 \text{ g}) \approx 785,57 \text{ g CO}_2$	przyjęcie 55%	- 0,43 na 1 kg spoiwa wapiennego
B2 -B7 - użytkowanie -pominięte	-	-
C1 - demontaż Ocena stanu czystości zdemontowanej maty konopnej (wpływający na sposób zagospodarowania) Zużycie energii podczas demontażu przez elektronarzędzia (raczej nie dotyczy - demontaż ręczny)	pomijalne	
C2 - transport do miejsca utylizacji Średnia odległość do miejsca utylizacji, zależnie od scenariusza	średnia odległość do ciepłowni biomasowej 300km	0,026
C3 sc.1 -termiczne przetwarzanie odpadów Dla paneli izolacyjnych z odpadów. W przypadku obliczenia końcowego należy zbadać sposób zagospodarowania danego typu odpadu w danym kraju i określić udział procentowy z podziałem na ponowne wykorzystanie, recykling, termiczne przekształcanie (z produkcją ciepła lub/i prądu) Termiczne przekształcanie z produkcją ciepła lub/i prądu/ określenie korzyści płynących z odzysku energii cieplnej Dla termicznego przekształcania: ilość generowanego ciepła oraz uniknięcie emisji związane z wykorzystaniem tego ciepła / węgiel biogeny ulegnie wyemitowaniu w całości na tym etapie Dla konoplitu - przyjęty w EPD model odzysku metanu ze składowisk, może być ograniczany przez wiązanie wapienne	+1,63 uwolnienie całości węgla biogenego - stopień zastąpienia paliw kopalnych	
C3 sc.1 - przetwarzanie odpadów dla konoplitu Kruszenie konoplitu na materiał do wykorzystania w uprawach rolnych jako nawóz . Koszty węglowe i energetyczne.		
C4 - utylizacja Składowanie bez korzyści energetycznych i środowiskowych: założenie całości utlenienia węgla biogenego -		+1,63 uwolnienie węgla - 0,16 (20% karbonatyzacji wodorotlenku wapnia +1,47

<p>D - Potencjał ponownego wykorzystania</p> <p>Założenie ponownego wykorzystania kruszywa i, w drugim cyklu kruszywo jest o zerowych emisjach, zawiera węgiel biogeny</p> <p>Wykorzystanie na polu w formie rozdrobnionej, zależne od formy i procedury rolniczej.</p> <ul style="list-style-type: none"> - możliwość oceny właściwości równoważnej bilansowaniu innymi nawozami wapiennymi czy słoma odpadową - stopień trwałego wiązania węgla w odpadach z konopli może być większy niż zakładany z samej biomasy - zalecana maksymalna ilość nawozów wapiennych to 0,5t rocznie - maksymalna roczne możliwości wiązania węgla biogenego w glebie to 0,5t CO₂eq/ha rocznie 	<p>0,012 do 0,325 wapno CaCO₃</p> <p>(zastąpienie pomijalne ze względu na większe - 0,3 kg CO₂eq/kg możliwości karbonatyzacji wolnego CaO)</p> <p>-0,16 kg CO₂eq/kg (20% dalszej karbonatyzacji spojwa)</p> <p>-1,5 kg *33% CO₂eq/kg (zastąpienie nowym surowcem uprawy konopii)</p>	<p>-0,66</p>
<p>W glebie, węglan wapnia (CaCO₃) rozkłada się na dwa podstawowe składniki: wapń (Ca) i dwutlenek węgla (CO₂). Proces ten nazywa się wapnowaniem gleby. Węglan wapnia może reagować z kwasami organicznymi lub mineralnymi w glebie, co prowadzi do uwolnienia jonów wapnia i dwutlenku węgla. Ten proces jest istotny dla wielu procesów glebowych, takich jak regulacja pH, dostępność składników odżywczych dla roślin, struktura gleby i wiele innych.</p> <p>W uprawach rolnych koniecznym jest wapnowanie celem uzyskania optymalnego pH gleby. W procesie tym dochodzi zarówno do wiązania dwutlenku węgla z nieskarbonatyzowanego CaO (45-20%) jak i emisji. CaCO₃ (55-80%) . Bilans tego procesu będzie zależał od rodzaju gleby i skali nawożenia. Ze względu na brak danych powinien być on szczegółowo analizowany przy uprawie - tutaj dla dalszych rozważań pomijamy.</p>		

Dyskusja naukowa:

Wskaźnika akumulacji węgla biogenego w uprawie konopii może znacząco różnić się ze względu na różny rodzaj alokacji (fizycznej (masowej) i ekonomicznej), ilość i rodzaj użytych nawozów i środków ochrony roślin, wydajność poszczególnych współproduktów: włókna, nasion (oleju) i paździeża.

Kluczową kwestią jest uwzględnienie emisji podtlenku azotu (265-298 razy większy potencjał globalnego ocieplenia, zależnie od raportu IPCC) w procesach nawożenia (wielkość emisji podtlenku azotu jest uwzględniona w bazach środowiskowych).

Tabela 5. Porównanie wyników z wcześniejszymi badaniami LCA oceniającymi konopie konopne na materiały budowlane

Lokalizacja Studium	EF dla bezpośrednich emisji N z O-N z nawozów N	Hotspot	Produkty towarzyszące	Metoda alokacji i procent przydzielony dla Hurdów	Ślady konopne (kg ekwiwalentu CO2 / kg hurdów)		CF (kg CO z eq/kg Hurdów)	Analiza wrażliwości	Nr ref.
					Emisje	Wychwyt			
Istniejąca literatura									
Wielka Brytania	Nieokreślony	Nawóz	f, d	Nieokreślony	> 0,192	1,527	>-1,335	-	[21]
Włochy	1,70%	Nawóz	f, d	Masa 75%	> 0,100	1,830	-1,730	-	[19]
				Ekonomiczny 61%	> 0,080	1,830	-1,750		
Zachodnia Francja	1,25% *	Nawóz N	f, d, s	Masa 47%	< 0,290	1,840	-1,560	-	[20]
				Ekonomiczny 32%	> 0,210	1,840	-1,630		
Wandea (Francja)	1,25% *	Nawóz N	f, s	Masa 56%	0,975	1,290	>-0,315	Linia bazowa	[17]
					0,853	1,290	>-0,437	Wykorzystanie kompostu, 50%	
					0,886	1,290	>-0,404	Wykorzystanie kompostu, 75%	
					0,732	1,290	>-0,558	Wykorzystanie kompostu, 100%	
					0,167	1,446	>-1,281	Linia bazowa	
					0,167	1,349	>-1,182	Pesymistyczny	
Serbia	1,25% *	Nieokreślony	f, d	Masa 60%	0,167	1,547	>-1,380	Optymistyczny	[18]

Environmental Life Cycle Assessment of a Novel Hemp-Based Building Material

W badaniach francuskich szczegółowo przeanalizowano statystykę upraw konopi i zużycie nawozów. Do już niższej wartości zawartości węgla w paździerzach na poziomie -1,29kg CO₂ eq/ kg dodano 0,752 CO₂ eq/ kg udziału emisji nawozów i środków ochrony roślin, oraz 0,0223 CO₂ eq/ kg procesów przetwórstwa. W badaniach tych wskazano także na mniej emisyjne scenariusze uprawy. Wskazane scenariusze nawozowe, oparte o kompost wykazują dużo wyższe niż w innych badaniach poziomy emisyjności. Badania są sygnałem możliwego niedoszacowania rzeczywistej emisyjności; najwyższe emisje wykazano z procesów utleniania azotu w momencie aplikacji nawozu, przy braku możliwości jego rozwiązania w gruncie.

Udział nawożenia i śladu węglowego produkcji zależy także od wydajności produkcji z hektara, bazowej żyzności gleby i klimatu lokalnego. Różnice w wychwycie mogą być także zależne od odmiany konopii: ilości liści w stosunku do paździerza, czy włókien. Zagospodarowanie odpadów w postaci pyłu czy liści jest często pominięte.

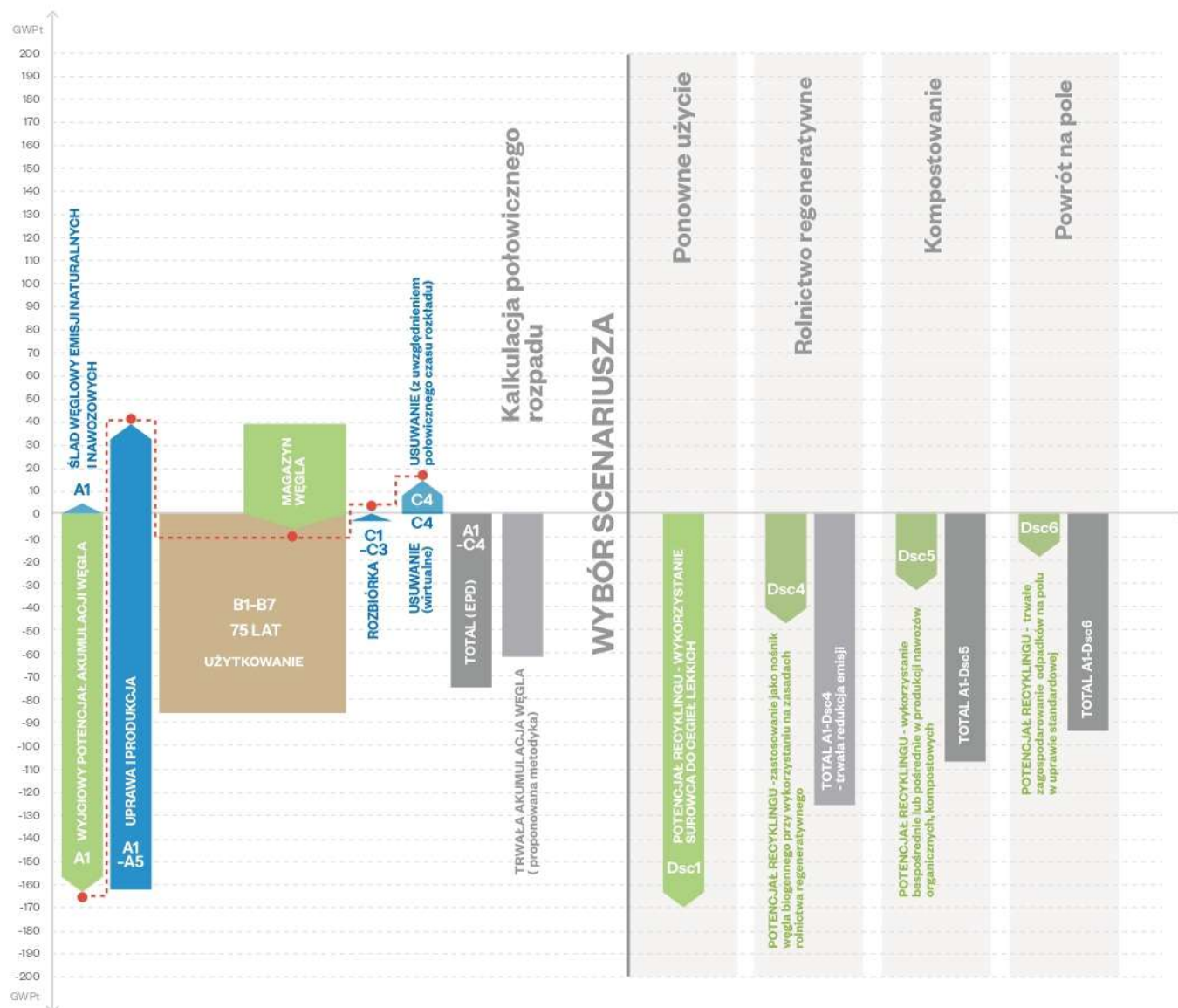
Sekwestracja węgla w glebie zwiększa jej naturalną emisję węgla i metanu. Zwiększona zawartość próchnicy będzie wpływać tym samym na akumulację wody i zwiększony wzrost roślin i plony z hektara.

Dodatkowe nadliczbowe plony, mogą zwiększyć ilość biomasy o 4t suchej masy, co będzie miało wpływ na zwiększoną akumulację węgla przy zachowaniu podobnej lub zmniejszonej ilości zabiegów nawozowych. Dzięki praktykom regeneratywnym można doprowadzić do bardziej optymalnego bilansu produkcji i zachowaniu zwiększonego banku węgla w glebie i produktach dla budownictwa.

17 Scrucca, F.; Ingrao, C.; Maalouf, C.; Moussa, T.; Polidori, G.; Messineo, A.; Arcidiacono, C.; Asdrubali, F. Energy and carbon footprint assessment of production of hemp hurds for application in buildings. *Environ. Impact Assess. Rev.* 2020, 84, 106417. [Google Scholar] [CrossRef]

18 Bošković, I.; Radivojević, A. Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime concrete wall constructions in Serbia: The impact of carbon sequestration, transport, waste production and end of life biogenic carbon emission. *J. Build. Eng.* 2023, 66, 105908. [Google Scholar] [CrossRef]

- 19** Zampori, L.; Dotelli, G.; Vernelli, V. Life cycle assessment of hemp cultivation and use of hemp-based thermal insulator materials in buildings. *Environ. Sci. Technol.* 2013, 47, 7413– 7420. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- 20** Heidari, M.D.; Lawrence, M.; Blanchet, P.; Amor, B. Regionalised life cycle assessment of bio-based materials in construction; the case of hemp shiv treated with sol-gel coatings. *Materials* 2019, 12, 2987. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- 21** Ip, K.; Miller, A. Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime wall constructions in the UK. *Resour. Conserv. Recycl.* 2012, 69, 1–9. [Google Scholar] [CrossRef]





Tarcica sucha

Rodzaj surowca: tarcica sucha

Zastosowanie: elementy wykończeniowe i stolarka, meble, podłogi i panele ściennie

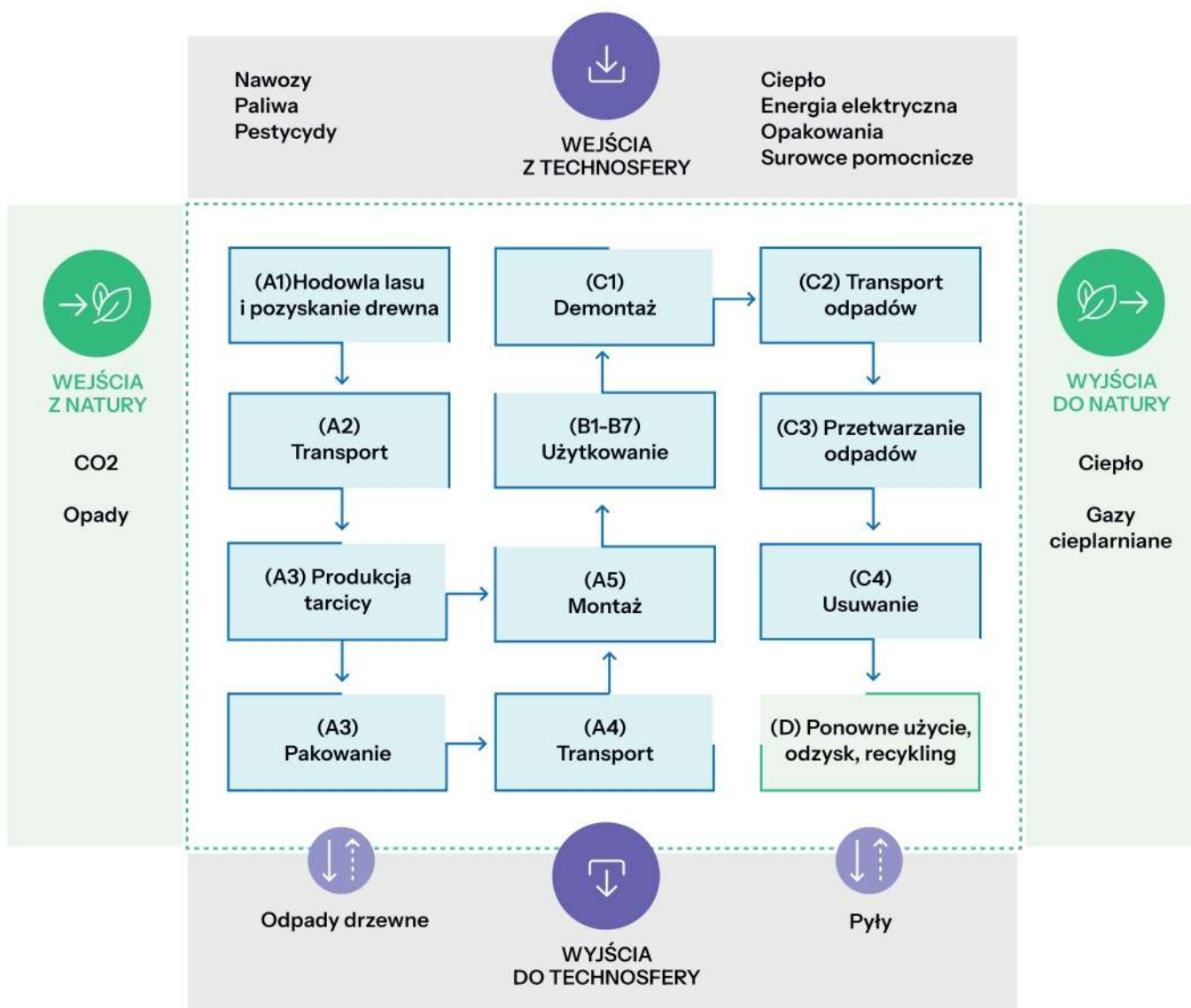
Liczba EPD: 4

Opis

Tarcica sucha jest rodzajem drewna przetworzonego, które zostało wysuszone w kontrolowanych warunkach, aby zmniejszyć jego naturalną wilgotność do poziomu zgodnego z przewidywanym zastosowaniem, zazwyczaj pomiędzy 6% a 19%. Proces suszenia może odbywać się naturalnie, przez dłuższy czas na powietrzu, lub w szybszym tempie w suszarniach. Dzięki temu procesowi, tarcica sucha jest stabilniejsza wymiarowo, bardziej odporna na deformacje i pękanie w porównaniu z tarcicą mokrą.

Założenia poszczególnych deklaracji środowiskowych EPD

Schemat cyklu życia



Założenia poszczególnych deklaracji środowiskowych EPD

Oznaczenie	29	31	32	33
Producent/nazwa produktu	Roseburg Forest Products	Stora Enso Division Wood Products	Stora Enso Division Wood Products	Bergene Holm AS
Referencyjny czas użytkowania [lata]	-	Referencyjny okres użytkowania (RSL): RSL jest rozumiany jako okres czasu do momentu wymiany, odbudowy, renowacji lub odnowienia struganego drewna. Produkty drewniane mogą osiągać ponad 100-letni okres użytkowania w klasach użytkowania 1 i 2.	Referencyjny okres użytkowania (RSL): RSL jest rozumiany jako okres czasu do momentu wymiany, odbudowy, renowacji lub odnowienia tarcicy. Produkty drewniane mogą osiągać ponad 100-letni okres użytkowania w klasach użytkowania 1 i 2	Przy normalnym obciążeniu oczekiwana żywotność wynosi 60 lat. Dla drewna nie obliczono żadnej obróbki powierzchniowej.
Jednostka funkcjonalna/deklaratywna	1 m ³ suszonej w piecu i struganej tarcicy iglastej. Tarcica suszona w piecu produkowana w Ameryce Północnej zawiera pewną ilość wilgoci w produkcji, podczas gdy jednostka miary suszona w piecu nie zawiera wilgoci.	1 m ³ drewna struganego o wilgotności 12%	1 m ³ tarcicy suszonej o wilgotności 15%	Wyprodukowanie 1 metra tarcicy świerkowej lub sosnowej o standardowych wymiarach 50 mm x 125 mm, która była używana przez 60 lat i zutylizowana po zakończeniu okresu użytkowania. Aby przeliczyć emisje na m ² lub metry bieżące, należy pomnożyć przez podane wymiary.
Grubość (jeżeli istotne) [m]		Drewno strugane 0,015-0,089 Drewno sortowane wytrzymałościowo 0,034-0,089	Tarcica klasyczna 0,016-0,1 Tarcica budowlana 0,02-0,14 Tarcica opakowaniowa 0,015-0,050 Tarcica sortowana wytrzymałościowo 0,032-0,090	
Gęstość [kg/m³]	-456	460	460	480
Reprezentatywność geograficzna	Region objęty przeglądem Produkcja tarcicy z iewna miękkiego odbywa się w zakładzie Roseburg w Dillard w stanie Oregon.	Drewno strugane jest produkowane w fabrykach w Amsterdamie (Holandia), Alytus (Litwa), Brand (Austria), Bad St. Leonhard (Austria), Gruvön (Szwecja), Imavere (Estonia), Impilahti (Rosja), Launkalne (Łotwa), Murów (Polska), Näpi (Estonia), Nebolchi (Rosja),	Tarcica jest produkowana w fabrykach w Ala (Szwecja), Alytus (Litwa), Brand (Austria), Bad St. Leonhard (Austria), Gruvön (Szwecja), Honkalahti (Finlandia), Imavere	Miejsce produkcji: Skarnes, Kirkenær, Brandval, Nidarå, Larvik i Haslestad Obszar rynkowy: Głównie Norwegia.

		Plana (Czechy), Varkaus (Finlandia), Ybbs an der Donau (Austria) i Zdirec (Czechy), a następnie dystrybuowane na całym świecie. Fabryki te mają roczną zdolność cięcia prawie 5,5 miliona m ³ najlepszego drewna sekwoi i białego drewna. Niniejsza EPD obejmuje 100% produkcji drewna struganego Stora Enso (objętość).	(Estonia), Impilahti (Rosja), Launkalne (Łotwa), Murów (Polska), Näpi (Estonia), Nebolchi (Rosja), Plana (Czechy), Uimaharju (Finlandia), Varkaus (Finlandia), Veitsiluoto (Finlandia), Ybbs an der Donau (Austria) i Zdirec (Czechy) przed dystrybucją na całym świecie. Fabryki te mają roczną zdolność cięcia prawie 5,5 miliona m ³ najlepszego drewna sekwoi i białego drewna. Niniejsza EPD obejmuje 100% produkcji tarcicy Stora Enso (wolumen).	
Rok badania	Niniejsze badanie ma na celu przedstawienie produkcji za rok 2014.	2018	2018	Zbieranie danych: 2019, Analiza LCA: 2021

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego:

FPIInnovations: 2015. Product Category Rules (PCR) for preparing an Environmental Declaration for North American Structural and Architectural Wood Products, Version 2 (UN CPC 31, NAICS 321), normy EN 15804:2012 + A2:2019, EN 16485:2014 i PCR 2019:14 (Construction Products). Zawartość węgla biogenego w drewnie jest obliczana zgodnie z normą EN 16449:2014, PCR. NPCR015 wersja 3.0 - Część B dla drewna i produktów drewnopochodnych do stosowania w budownictwie.

Bazy danych i jakość danych:

GaBi 2017, Ecoinvent 3.5, W jednej z deklaracji dane dotyczące eksportowanej energii z odzysku energii są oparte na danych z norweskiego urzędu statystycznego i dotyczą roku 2019 (2019a, b i c).

Etapy cyklu życia:

A1 – surowce

W (29) Operacje leśne na wcześniejszym etapie obejmują gospodarkę leśną, pozyskiwanie drewna, sadzenie i załadunek pozyskanego drewna okrągłego na ciężarówkę.

A2 – transport:

Etap obejmuje transport drewna do tartaku z wykorzystaniem ciężarówek i ew. pociągów

A3 – wytwarzanie:

W tartaku kłody są okorowywane i piłowane do mniejszych rozmiarów. Tarcica jest następnie wysyłana do strugarki lub suszona w piecu i strugana zgodnie z odpowiednimi specyfikacjami wymiarowymi.

Na koniec tarcica jest pakowana do wysyłki. Wszystkie te procesy wymagają energii elektrycznej, paliw i drewna jako paliwa z biomasy.

Ten etap obejmuje również produktów ubocznych oraz wytwarzanie energii elektrycznej lub ciepła z zasobów energii pierwotnej. Do emisji wliczane są również materiały opakowaniowe i przetwarzanie odpadów, które nie opuszczają fabryki wraz z produktem.

A4 – transport na miejsce budowy:

Etap obejmuje emisje związane z transportem tarcicy na plac budowy. W jednej z deklaracji założono transport na odległość 75 km ciężarówką, 16-32 tony, Euro 5, z fabryki do Oslo.

A5 – instalacja

W (33) założono, że na placu budowy jest 5% surowców staje się odpadem i 1 MJ zużycia energii na budowę. W obliczeniach uwzględniono gospodarkę odpadami opakowań

B1-B7 – etapy użytkowania

W (31-33) zadeklarowano brak emisji.

C1-D– Koniec życia

W (29) nie zdefiniowano scenariusza końca życia.

W (31,32) Opracowano cztery alternatywne scenariusze dla etapu końca życia (C1-C4 i D).

- Ponowne wykorzystanie: Drewno strugane jest ponownie wykorzystywane w spójnej formie. C1: rozbiórka budynku, C2: transport do sortowania na odległość 50 km, C3: przygotowanie do ponownego użycia, C4: produkt do ponownego użycia, D: ponowne użycie produktu, zastąpienie materiału pierwotnego
- Recykling: Struganie drewna do recyklingu. C1: rozbiórka budynku, C2: transport do sortowni 50 km, C3: przygotowanie do recyklingu, C4: zrębki do recyklingu, D: odzysk zrębków, zastąpienie materiału pierwotnego
- Spalanie: Spalanie drewna struganego w celu odzyskania energii C1: rozbiórka budynku, C2: transport do sortowni 50 km, C3: przygotowanie do spalania, C4: zrębki do spalania (wydajność 75%), D: zastąpienie gazu ziemnego w produkcji ciepła
- Składowanie: Drewno strugane jest składowane. C1: rozbiórka budynku, C2: transport do sortowni 50 km, C3: przygotowanie do składowania, C4: proces składowania, D: pobór metanu ze składowiska częściowo zastępuje gaz ziemny w produkcji ciepła.

W (33) faza końcowa (C1, C3, C4) obejmuje spalanie z odzyskiem energii. Korzyści z eksportu energii z odzysku energii w zakładach utylizacji odpadów komunalnych są obliczane poprzez zastąpienie norweskiego koszyka energii elektrycznej i norweskiego koszyka ciepłowniczego. Dane dotyczące koszyka energii elektrycznej są takie same, jak użyte w A1-A3 (Norwegia), a koszyk ciepłowniczy opiera się na produkcji w 2019 r. (Statistics Norway 2019c).

Wykluczenia

(31, 32) A4 - Transport produktu na budowę

(31, 32) A5 - Montaż

Czynniki wpływające na ślad węglowy wyrobu w całym cyklu życia

Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono szereg czynników, które wpływają na ślad węglowy wyrobu w postaci produktów konopnych w całym cyklu życia:

- wydajność hodowli lasu- w zależności od gatunku drzewa, warunków glebowych, stosowanych zabiegów, środków ochrony, nawozów (jeżeli dotyczy), a także warunków pogodowych, klimatu możliwe jest uzyskanie różnej wydajności i tym samym różnej emisyjności w przeliczeniu na m³ surowca
- ceny współproduktów i ich liczba – podczas produkcji tarcicy powstają odpady drzewne, które mogą być wykorzystane jako substrat do produkcji biogazu/biometanu/energii cieplnej/energii elektrycznej na terenie zakładu lub jako współprodukt do sprzedaży na zewnątrz będący nośnikiem emisji. W przypadku dużego zapotrzebowania na energię elektryczną (stabilizacja sieci) i ciepłą (wymogi dot. ograniczania emisji w ciepłowniach i elektrociepłowniach) może się okazać, że sprzedaż będzie istotnie wpływać na związane emisje.
- faza końca życia - w zależności od sposobu zagospodarowania można uzyskać korzyści na końcu życia. W przypadku ponownego użycia recyklingu w rzeczywistości moment emisji węgla biogenego zostanie znacząco odsunięty w czasie.
- ślad węglowy energii cieplnej – ze względu na fakt, że drewno jest suszone, to pochodzenie energii cieplnej (spalanie gazu ziemnego, odpadów drzewnych lub ich pochodnych, wykorzystanie energii elektrycznej w krajach o niskoemisyjnym miksie energetycznym) będzie istotnie wpływać na końcowy ślad węglowy produktu.
- montaż - w przypadku wybranych wyrobów wpływ może mieć montaż na ślad węglowy, szczególnie ilość powstającego odpadu
- zabezpieczenie i użytkowanie - zabezpieczenie może mieć mały wyraźny wpływ na ślad węglowy, tarcicy. W deklaracjach pomijano kwestię jego zabezpieczenia w czasie, które w pewnych przypadkach trzeba regularnie odnawiać.

Propozycja modelu obliczeń dla wyrobu budowlanego

A1 – surowce

Ślad węglowy operacji leśnych oraz szkółkarskich (zawierających nawożenie, nawadnianie, energię dla szklarni, jeśli jest to stosowane itp.), przygotowania terenu, a także sadzenia, nawożenia, przerzadzanie i innych operacji zarządzania.

Analiza powinna być szeroko prowadzona dla całego cyklu hodowanego drzewa, ponieważ na poszczególnych etapach jest pozyskiwana biomasa w różnej postaci, co może redukować ślad węglowy tego etapu na podstawie alokacji ekonomicznej.

W przypadku tarcicy opcjonalnie można uwzględnić produkcję impregnatu lub środków wykańczających.

A2 – transport

Zużycie paliw związane z transportem surowców do zakładu produkcyjnego

A3 – wytwarzanie

Zużycie energii elektrycznej, cieplnej oraz paliw związanych z następującymi procesami:

- okorowanie
- piłowanie

- struganie
- suszenie

Obliczenia powinny być skorygowane o powstające współprodukty w postaci m.in. kory oraz odpadów drzewnych, które mogą być wykorzystywane na terenie zakładu do produkcji biogazu/biometanu ciepła/energii elektrycznej lub sprzedawane na zewnątrz do wykorzystania w tych samych celach lub zawrócone do obiegu naturalnego jako biomasa (np. kora). Trzeba zwrócić szczególną uwagę na zawracanie surowców do obiegu w obrębie zakładu produkcyjnego.

Należy również uwzględnić emisje związane z zużyciem opakowań.

A4 – transport na miejsce budowy

Zużycie paliw do transportu

A5 – instalacja

Sposób zagospodarowania materiałów opakowaniowych (jeżeli dotyczy), zużycie energii elektrycznej podczas montażu. Oszacowanie i uwzględnienie odpadu podczas montażu (w jednym z EPD wskazano straty na poziomie 5%). Możliwe do uwzględnienia są materiały pomocnicze do montażu (np. wkręty)

B1-B7 – zastąpienie produktu i renowacja

W deklaracjach pominięto etap użytkowania oraz związanego z tym prawidłowego zabezpieczenia drewn. W zależności od sposobu użycia takowe zabezpieczenie może być wymagane, co powinno mieć odzwierciedlenie w obliczeniach. W przypadku uwzględnienia tego etapu należy określić powierzchnię płyt w przeliczeniu na m³ i oszacować ilość środka zabezpieczającego płytę oraz określić jego ślad węglowy.

C1 – Demontaż

Zużycie energii elektrycznej związanej z demontażem (użycie elektronarzędzi). Jest to szczególnie ważne w przypadku próby odzyskania surowca.

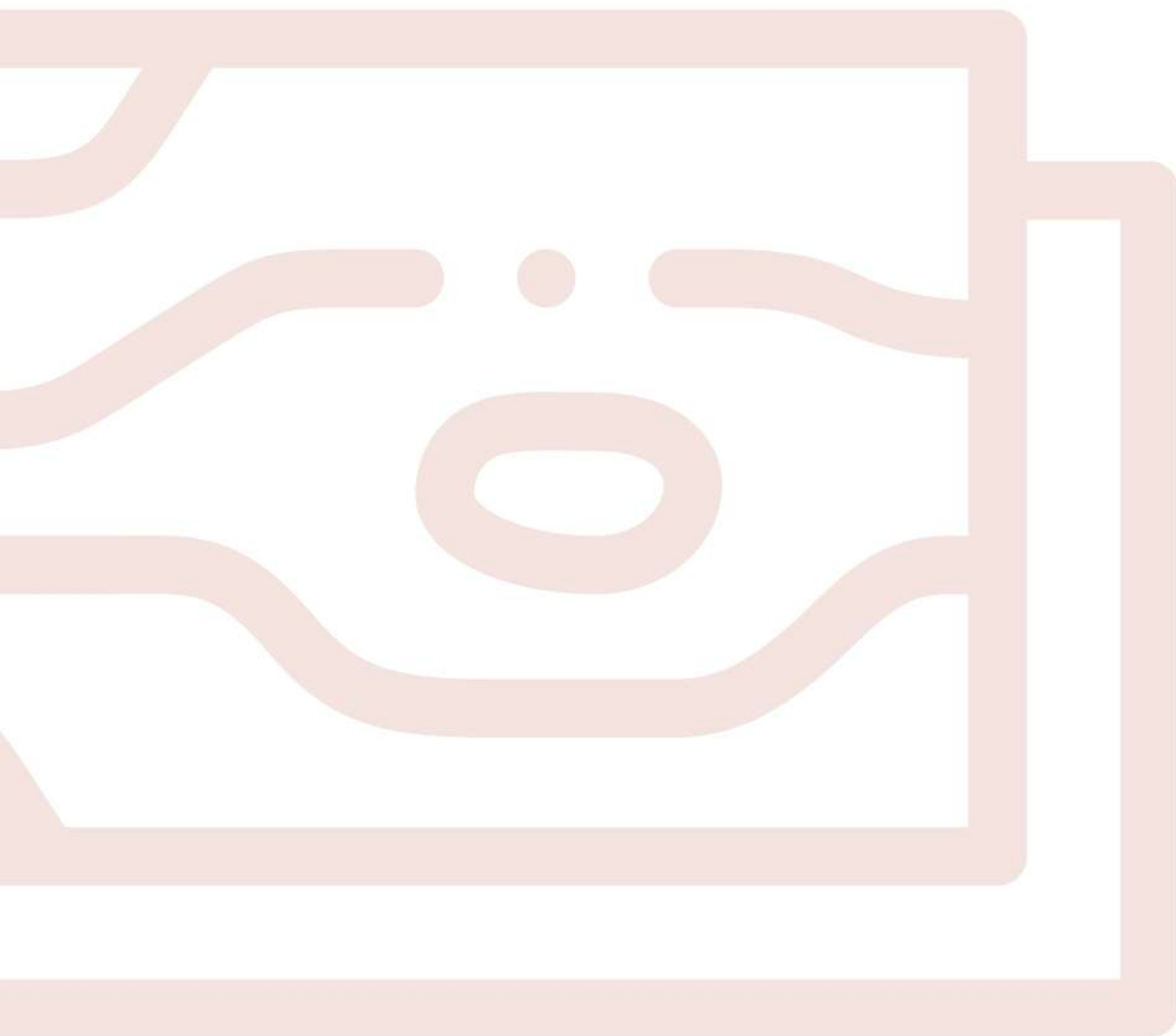
C2 – Transport odpadów

Zużycie paliw do transportu odpadu

C3-D – Przetwarzanie odpadów, utylizacja oraz obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

W deklaracjach EPD dostępne były 4 scenariusze końca życia (ponowne wykorzystanie, recykling, spalanie oraz składowanie). Na bazie tych deklaracji możliwe jest opracowanie scenariuszy końca życia oraz związanych z tymi scenariuszami emisji. Kluczowe jest rzetelne uwzględnienie emisji związanych ze składowaniem (szczególnie wynikających z rozkładu beztlenowego), które może różnić się od sposobu składowania.

W scenariuszu końcowym obok obliczenia wszystkich 4 scenariuszy sugeruje się określenie potencjalnego miksu scenariuszy dla danego kraju na podstawie danych nt. gospodarki odpadami.



Drewno konstrukcyjne

Rodzaj surowca: drewno konstrukcyjne

Zastosowanie:

- suche: ramy konstrukcyjne, elementy dachowe, podłogi i ściany, zewnętrzne konstrukcje
- mokre: konstrukcje tymczasowe, niektóre elementy konstrukcyjne, produkcja mebli i elementów drewnianych

Liczba EPD: 4

Opis

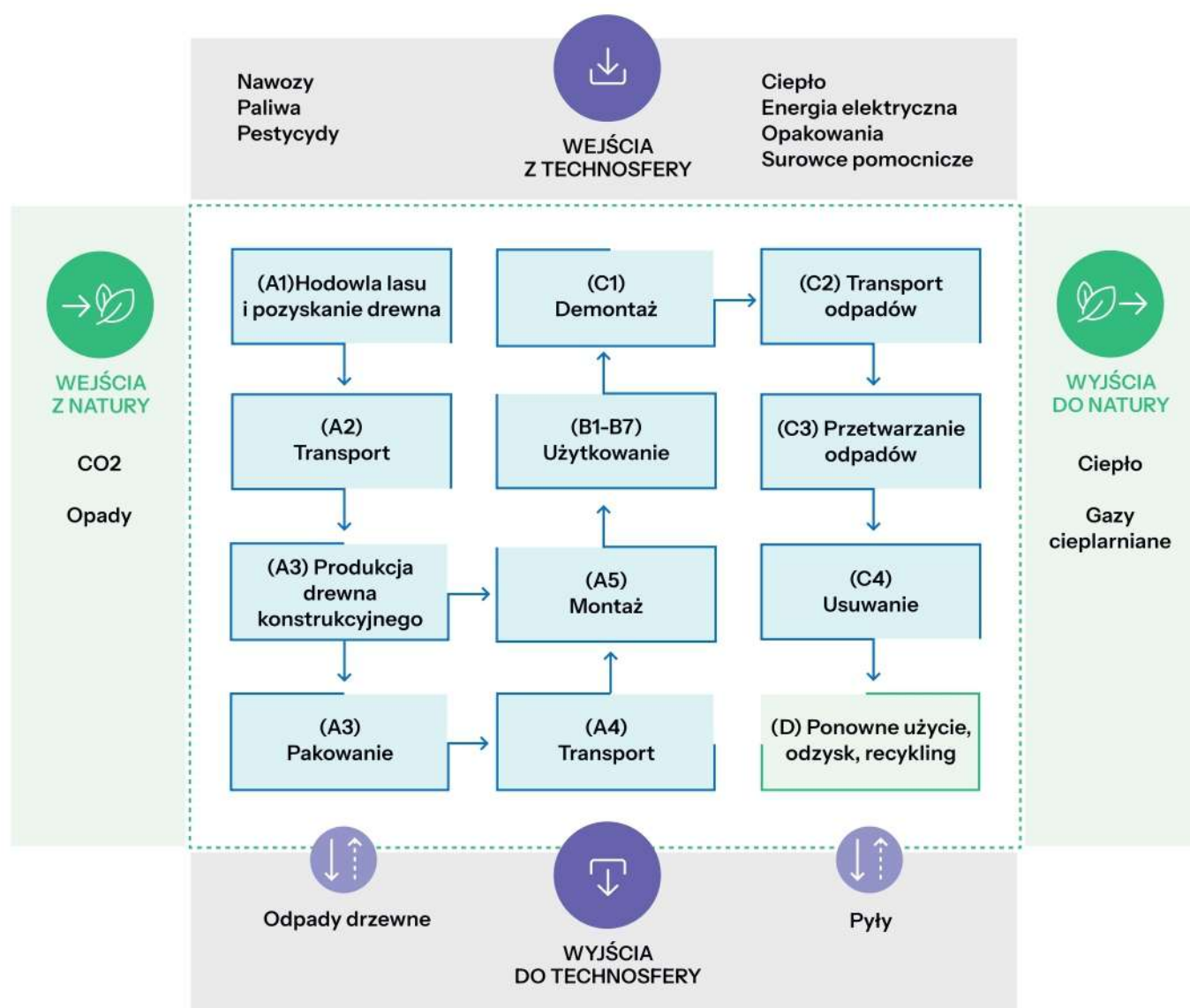
Drewno konstrukcyjne to materiał budowlany pozyskiwany z drzew, który jest szeroko stosowany w budownictwie ze względu na swoje właściwości mechaniczne oraz prośrodowiskowe. Jest to drewno obrabiane w taki sposób, aby nadawało się do zastosowań konstrukcyjnych, takich jak elementy szkieletów budynków, belki, słupy czy stropy.

Do podstawowych zalet można zaliczyć:

- **Odnawialność** - drewno jest materiałem odnawialnym, co oznacza, że jego stosowanie ma mniejszy wpływ na środowisko w porównaniu z wieloma innymi materiałami budowlanymi, jak stal czy beton. Jego produkcja wymaga również mniejszej ilości energii.
- **Lekkość i wytrzymałość** - drewno jest stosunkowo lekkie przy zachowaniu dobrej wytrzymałości mechanicznej, co ułatwia transport i montaż, a także pozwala na tworzenie konstrukcji wymagających mniejszych fundamentów.
- **Izolacyjność termiczna i akustyczna** - drewno posiada naturalne właściwości izolacyjne, co przyczynia się do lepszego utrzymania ciepła wewnątrz budynków oraz redukcji hałasu. Szybkość budowy - konstrukcje z drewna często można wstępnie przygotować, co znacząco skraca czas potrzebny na budowę obiektu.

Założenia poszczególnych deklaracji środowiskowych EPD

Schemat cyklu życia



Zestawienie danych z deklaracji środowiskowych EPD

Oznaczenie	30	34	36	37 MOKRE
Typ produktu	Drewno konstrukcyjne suche			Drewno konstrukcyjne mokre iglaste o zawartości wilgoci $35 \pm 10\%$ * W zależności od konkretnego gatunku drzewa, ta ogólna zmienność może zostać przekroczona.
Producent/nazwa produktu	Træ.dk c/o Træ- og Møbelindustrien	Træ.dk c/o Træ- og Møbelindustrien	Træ.dk c/o Træ- og Møbelindustrien	Træ.dk c/o Træ- og Møbelindustrien
Referencyjny czas użytkowania [lata]	Nie zadeklarowano RSL. Niniejsza EPD opiera się na ocenie cradle-to-gate z opcjami i nie obejmuje etapu użytkowania.	Nie zadeklarowano RSL. Niniejsza EPD opiera się na ocenie cradle-to-gate z opcjami i nie obejmuje etapu użytkowania.	Nie zadeklarowano RSL. Niniejsza EPD opiera się na ocenie cradle-to-gate z opcjami i nie obejmuje etapu użytkowania.	Nie zadeklarowano RSL. Niniejsza EPD opiera się na ocenie cradle-to-gate z opcjami i nie obejmuje etapu użytkowania.
Jednostka funkcjonalna/deklaratywna	1 m3 przeciętnego drewna budowlanego o różnych wymiarach.	1 m3 przeciętnego drewna budowlanego o różnych wymiarach.	1 m3 przeciętnego drewna budowlanego o różnych wymiarach.	1 m3 niesuszonego drewna budowlanego o różnych wymiarach
Gęstość [kg/m3]	456	456	536	644
Podział emisji [-]				
Reprezentatywność geograficzna	Zakład produkcyjny Wiele zakładów produkcyjnych w Szwecji, Norwegii i Finlandii.	Zakład produkcyjny Wiele zakładów produkcyjnych w Szwecji, Norwegii i Finlandii.	Zakłady produkcyjne Norlund Savværk w Nørager i Rold Skov Savværk w Sabro	Zakłady produkcyjne Rold Skov Savværk w Arden i Norlund Savværk w Nørager Niniejsza deklaracja, w tym gromadzenie danych i modelowany system nowej wiedzy wraz z wynikami, przedstawia średnią krajową opisanego rodzaju produktów z drewna budowlanego pochodzących od wielu producentów w Danii i przeznaczonych na sprzedaż w Danii. Dane produkcyjne opierają się na średniej ważonej duńskich tartaków reprezentujących zdecydowaną większość całkowitego wolumenu produkowanego w Danii.
Rok badania	2017	2017	2018	2018

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego:

Niniejsza EPD została opracowana zgodnie z podstawowymi zasadami dla kategorii produktów budowlanych w EN 15804 i PCR EN16485.

Bazy danych i jakość danych:

GaBi ts wersja 8.7, Ecoinvent 3. W (36) zawarto adnotację, iż deklaracja, w tym gromadzenie danych i modelowany system nowej wiedzy wraz z wynikami, przedstawia średnią krajową dla opisanego rodzaju produktów z drewna konstrukcyjnego pochodzących od wielu producentów w Danii i przeznaczonych na sprzedaż w Danii. Dane produkcyjne opierają się na średniej ważonej duńskich tartaków reprezentujących zdecydowaną większość całkowitego wolumenu produkowanego w Danii. Dane produkcyjne zostały zebrane za 2018 r. Dane podstawowe pochodzą z bazy danych GaBi ts w wersji 8.7 i mają mniej niż 10 lat. Ogólnie rzecz biorąc, wykorzystane zbiory danych są wysokiej jakości, a większość z nich ma zaledwie kilka lat.

Etapy cyklu życia:

A1-B7:

Zakres wyników dla (30,34) jest taki sam jak dla tarcicy suchej (w przypadku mokrego drewna konstrukcyjnego nie będzie możliwe proste porównanie z innymi kategoriami)

B1-B7 - użytkowanie

Etap użytkowania nie został ujęty w deklaracjach.

C1-C4 – Koniec życia

(30,34,36,37) Końcowy etap życia (C1-C4) obejmuje:

C2-C3 - Transport i przetwarzanie odpadów: Koniec życia obejmuje dwa różne scenariusze. Jeden z nich zakłada 100% zbiórkę zmieszanych odpadów budowlanych w celu spalania produktów z odzyskiem energii. Drugi scenariusz zakłada 100% oddzielną zbiórkę w celu recyklingu na płyty wiórowe. Żaden z tych scenariuszy nie jest prawdopodobny, ale prawdopodobna jest ich mieszanka. Dokładny stosunek spalania do recyklingu nie jest znany. Transport z placu budowy do spalarni zakłada 100 km, a do recyklingu 150 km. Nie ma utylizacji w C4.

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

(30,34,36,37) Korzyści i obciążenia poza granicami systemu (D) obejmują: W przypadku scenariusza spalania moduł D obejmuje wpływ netto i korzyści wynikające z uniknięcia produkcji energii elektrycznej na średnim poziomie duńskim i odzysku energii cieplnej. W przypadku scenariusza recyklingu moduł D obejmuje wpływ netto i korzyści wynikające z uniknięcia produkcji nowych wiórów drzewnych do produkcji płyt wiórowych.

Wykluczenia z obliczeń:

C1- demontaż

Tab. X Ślad węglowy drewna konstrukcyjnego

	Drewno konstrukcyjne suche																	
	DREWNO KONSTRUKCYJNE (30)						DREWNO KONSTRUKCYJNE (34)						DREWNO KONSTRUKCYJNE (36)					
	spalanie			recykling			spalanie			recykling			spalanie			recykling		
	GWPf	GWPb	GWPt	GWPf		GWPt	GWPf	GWPb	GWPt	GWPf	GWPb	GWPt	GWP-fossil [kg CO2-eq.] incineration	GWPb	GWPt	GWPf	GWPb	GWPt
A1-A3	3,54E+01	-7,15E+02	-6,80E+02	3,54E+01	-7,15E+02	-6,80E+02	4,46E+01	-7,15E+02	-6,70E+02	4,46E+01	-7,15E+02	-6,70E+02	4,19E+01	-6,94E+02	-6,52E+02	4,19E+01	-6,94E+02	-6,52E+02
A4	1,92E+01		1,92E+01	1,92E+01		1,92E+01	1,92E+01	0,00E+00	1,92E+01	1,92E+01	0,00E+00	1,92E+01	3,63E+00	0,00E+00	3,63E+00	3,63E+00	0,00E+00	3,63E+00
A5																		
B1-B7																		
C1																		
C2	3,71E+00	0,00E+00	3,71E+00	5,56E+00	0,00E+00	5,56E+00	3,71E+00	0,00E+00	3,71E+00	5,56E+00	0,00E+00	5,56E+00	4,24E+00	0,00E+00	4,24E+00	6,36E+00	0,00E+00	6,36E+00
C3	1,27E+01	7,15E+02	7,28E+02	2,25E+00	7,15E+02	7,17E+02	1,27E+01	7,15E+02	7,28E+02	2,25E+00	7,15E+02	7,17E+02	1,45E+01	6,95E+02	7,09E+02	2,57E+00	6,94E+02	6,97E+02
C4																		
D	-3,71E+02	0,00E+00	-3,71E+02	-5,31E+01	-7,15E+02	-7,68E+02	-3,71E+02	0,00E+00	-3,71E+02	-5,31E+01	-7,15E+02	-7,68E+02	-4,25E+02	0,00E+00	-4,25E+02	-6,08E+01	-6,94E+02	-7,55E+02

	Drewno konstrukcyjne mokre					
	DREWNO KONSTRUKCYJNE MOKRE (37)					
	Spalanie			Recykling		
	GWPf	GWPb	GWPt	GWPf	GWPb	GWPt
Zaopatrzenie w surowce, transport surowców, produkcja	2,97E+01	-6,94E+02	-6,64E+02	2,97E+01	-6,94E+02	-6,64E+02
Transport do miejsca użytkowania	4,15E+00	0,00E+00	4,15E+00	4,15E+00	0,00E+00	4,15E+00
Instalacja						
Użytkowanie						
Rozbiórka/wyburzenie						
Transport odpadów	4,24E+00	0,00E+00	4,24E+00	6,36E+00	0,00E+00	6,36E+00
Przetwarzanie odpadów	1,45E+01	6,95E+02	7,09E+02	2,57E+00	6,94E+02	6,97E+02
Usuwanie		0,00E+00			0,00E+00	
Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	-4,25E+02	0,00E+00	-4,25E+02	-6,08E+01	-6,94E+02	-7,55E+02

Czynniki wpływające na ślad węglowy wyrobu w całym cyklu życia:

Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono szereg czynników, które wpływają na ślad węglowy wyrobu w postaci produktów konopnych w całym cyklu życia:

- wydajność hodowli lasu- w zależności od gatunku drzewa, warunków glebowych, stosowanych zabiegów, środków ochrony, nawozów (jeżeli dotyczy), a także warunków pogodowych, klimatu możliwe jest uzyskanie różnej wydajności i tym samym różnej emisyjności w przeliczeniu na m3 surowca
- ceny współproduktów i ich liczba – podczas produkcji tarcicy powstają odpady drzewne, które mogą być wykorzystane jako substrat do produkcji biogazu/biometanu/energii cieplnej/energii elektrycznej na terenie zakładu lub jako współprodukt do sprzedaży na zewnątrz będący nośnikiem emisji. W przypadku dużego zapotrzebowania na energię elektryczną (stabilizacja sieci) i ciepłą (wymogi dot. ograniczania emisji w ciepłowniach i elektrociepłowniach) może się okazać, że sprzedaż będzie istotnie wpływać na związane emisje.
- faza końca życia - w zależności od sposobu zagospodarowania można uzyskać korzyści na

końcu życia. W przypadku ponownego użycia recyklingu w rzeczywistości moment emisji węgla biogenego zostanie znacząco odsunięty w czasie.

- ślad węglowy energii cieplnej – ze względu na fakt, że drewno jest suszone, to pochodzenie energii cieplnej (spalanie gazu ziemnego, odpadów drzewnych lub ich pochodnych, wykorzystanie energii elektrycznej w krajach o niskoemisyjnym miksie energetycznym) będzie istotnie wpływać na końcowy ślad węglowy produktu.
- montaż - w przypadku wybranych wyrobów wpływ może mieć montaż na ślad węglowy, szczególnie ilość powstającego odpadu
- zabezpieczenie i użytkowanie - zabezpieczenie może mieć mały wyraźny wpływ na ślad węglowy, tarcicy. W deklaracjach pomijano kwestię jego zabezpieczenia w czasie, które w pewnych przypadkach trzeba regularnie odnawiać.

Propozycja modelu obliczeń dla wyrobu budowlanego

A1 – surowce

Ślad węglowy operacji leśnych oraz szkółkarskich (zawierających nawożenie, nawadnianie, energię dla szklarni, jeśli jest to stosowane itp.), przygotowania terenu, a także sadzenia, nawożenia, przerzadzanie i innych operacji zarządzania.

Analiza powinna być szeroko prowadzona dla całego cyklu hodowanego drzewa, ponieważ na poszczególnych etapach jest pozyskiwana biomasa w różnej postaci, co może redukować ślad węglowy tego etapu na podstawie alokacji ekonomicznej.

W przypadku tarcicy opcjonalnie można uwzględnić produkcję impregnatu lub środków wykańczających.

A2 – transport

Zużycie paliw związane z transportem surowców do zakładu produkcyjnego

A3 – wytwarzanie

Zużycie energii elektrycznej, cieplnej oraz paliw związanych z następującymi procesami:

- okorowanie
- piłowanie
- struganie
- suszenie

Obliczenia powinny być skorygowane o powstające współprodukty w postaci m.in. kory oraz odpadów drzewnych, które mogą być wykorzystywane na terenie zakładu do produkcji biogazu/biometanu ciepła/energii elektrycznej lub sprzedawane na zewnątrz do wykorzystania w tych samych celach lub zawrócone do obiegu naturalnego jako biomasa (np. kora). Trzeba zwrócić szczególną uwagę na zwracanie surowców do obiegu w obrębie zakładu produkcyjnego.

Należy również uwzględnić emisje związane z zużyciem opakowań.

A4 – transport na miejsce budowy

Zużycie paliw do transportu

A5 – instalacja

Sposób zagospodarowania materiałów opakowaniowych (jeżeli dotyczy), zużycie energii elektrycznej podczas montażu. Oszacowanie i uwzględnienie odpadu podczas montażu (w jednym z EPD wskazano straty na poziomie 5%). Możliwe do uwzględnienia są materiały pomocnicze do montażu (np. wkręty)

B1-B7 – zastąpienie produktu i renowacja

W deklaracjach pominięto etap użytkowania oraz związanego z tym prawidłowego zabezpieczenia drewn. W zależności od sposobu użycia takowe zabezpieczenie może być wymagane, co powinno mieć odzwierciedlenie w obliczeniach. W przypadku uwzględnienia tego etapu należy określić powierzchnię płyt w przeliczeniu na m³ i oszacować ilość środka zabezpieczającego płytę oraz określić jego ślad węglowy.

C1 – Demontaż

Zużycie energii elektrycznej związanej z demontażem (użycie elektronarzędzi). Jest to szczególnie ważne w przypadku próby odzyskania surowca.

C2 – Transport odpadów

Zużycie paliw do transportu odpadu

C3-D – Przetwarzanie odpadów, utylizacja oraz obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

W deklaracjach EPD dostępne były 2 scenariusze końca życia - odzysk ciepła na drodze spalania oraz recykling w celu wytworzenia płyt wiórowych (w praktyce są możliwe jeszcze 2 scenariusze, omówione przy okazji tarcicy suchej).

W scenariuszu końcowym obok obliczenia wszystkich 4 scenariuszy sugeruje się określenie potencjalnego miksu scenariuszy dla danego kraju na podstawie danych nt. gospodarki



CLT

Rodzaj surowca: CLT

Zastosowanie: Konstrukcje ścienne i stropowe,
elementy konstrukcyjne podłóg i dachów

Liczba EPD: 8

Opis

Cross-Laminated Timber (CLT) to surowiec budowlany pochodzenia naturalnego, który zyskuje na popularności, szczególnie w obszarze budownictwa zrównoważonego. CLT składa się z wielu warstw drewna ułożonych na przemian pod kątem 90 stopni i sklejonych razem, co tworzy panele o podwyższonej wytrzymałości i stabilności. Ten materiał łączy w sobie tradycję drewnianej konstrukcji z nowoczesnymi technologiami, oferując alternatywę dla konwencjonalnych materiałów budowlanych jak stal czy beton. Materiał (jako, że jest wykonany z drewna) posiada małą przewodność cieplną, co przyczynia się do lepszej efektywności energetycznej budynków oraz redukcji hałasu. Dodatkowo, pomimo drewnianej konstrukcji, CLT może oferować dobrą odporność na ogień dzięki zdolności warstw zewnętrznych do tworzenia warstwy węglowej, która spowalnia rozprzestrzenianie się ognia (wybrane rozwiązania mają klasę ogniową F90, co oznacza ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia równą 90 min). Wadą CLT (jak i każdego surowca organicznego) jest konieczność ich prawidłowego zabezpieczenia przed wilgocią w celu ochrony przed procesem gnicia.

Zastosowania

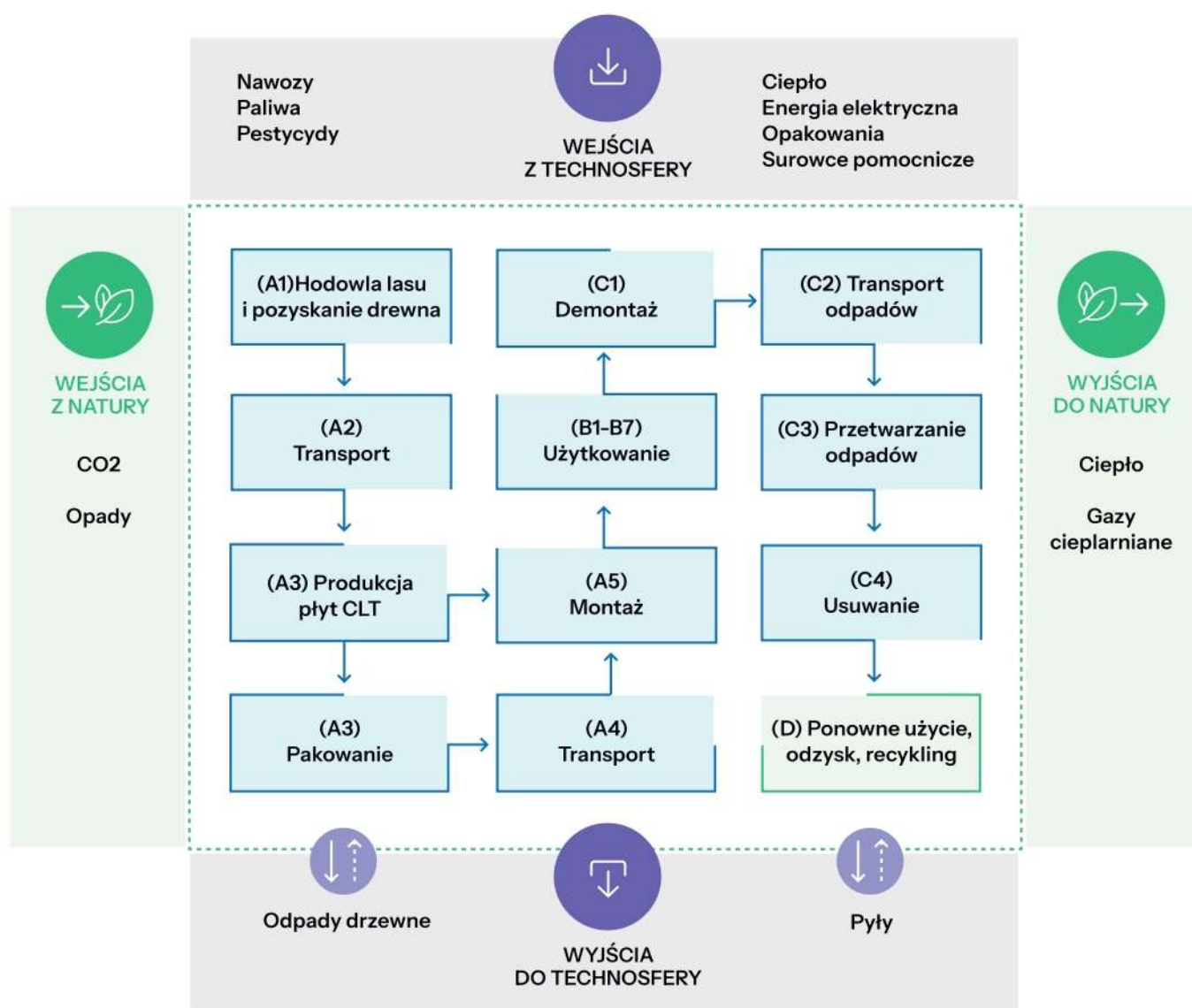
Poniżej przedstawiono typowe zastosowania CLT:

- Konstrukcje ścienne i stropowe - CLT jest może być stosowany jako główny materiał konstrukcyjny w budynkach mieszkalnych, komercyjnych i publicznych, oferując dużą szybkość montażu.
- Podłogi i dachy - Panele CLT mogą być również używane jako elementy konstrukcyjne podłóg i dachów, zapewniając solidną i stabilną bazę.
- Modułowa budowa – dzięki możliwości precyzyjnego kształtowania i łatwości w prefabrykacji, CLT jest idealnym materiałem do budownictwa modułowego, umożliwiając szybkie wznoszenie budynków.

²⁹ <https://besttimberpolska.pl/panele-clt-bbs-x-lam-szybkie-bezpieczne-trwale/>

Założenia poszczególnych deklaracji środowiskowych EPD

Schemat cyklu życia



Zestawienie danych z deklaracji środowiskowych

Oznaczenie	73	74	81	83
Producent/nazwa produktu	Stora Enso Division Wood Products	Red Stag	DERIX	Kalesnikoff Lumber Co.
Referencyjny czas użytkowania [lata]	50 lat jest domyślnym referencyjnym okresem użytkowania. Produkty drewniane mogą osiągnąć ponad 100-letni okres użytkowania w klasach użytkowania 1 i 2.	-	60	75
Jednostka funkcjonalna/deklaratywna	1 m ³ CLT o wilgotności 12%	1m3	1 m ³	1 m3
Grubość (jeżeli istotne) [m]	-	-	0,4	-
Gęstość [kg/m3]	470	480	470	-
Reprezentatywność geograficzna	Austria i Szwecja	Nowa Zelandia	Norwegia	Kolumbia brytyjska
Rok badania	2018	Dane pierwotne dla tartaku zostały zebrane za okres 12 miesięcy od stycznia 2019 r. do grudnia 2019 r. Dane pierwotne dla zakładu CLT zostały zebrane za okres 3 miesięcy od 1 czerwca 2021 r. do 31 sierpnia 2021 r.	Zebrane dane uwzględniają 2018 r. dla nakładów i 2019 r. dla składu produktu.	2020
Adnotacje nt. dostępnych informacji				

Oznaczenie	84	86	87	88
Producent/nazwa produktu	Vaagen Timbers, LLC	Vaagen Timbers, LLC	XLAM Dolomiti s.r.l.,	KLH Massivholz GmbH
Referencyjny czas użytkowania [lata]	-	RSL produktu: nie dotyczy	50 lat	Okres użytkowania, którego można oczekiwać od KLH przy prawidłowym użytkowaniu, jest zatem równy okresowi użytkowania budynku, w którym jest używany. Referencyjny okres użytkowania w niniejszej EPD nie jest istotny, ponieważ w modułach B1-B7 nie występuje zanieczyszczenie środowiska.
Jednostka funkcjonalna/deklaratywna	1m3	1m3	1 m3 płyty 3-warstwowej	1 m3 (o zawartości 12%+/-2% wilgoci)
Grubość (jeżeli istotne) [m]	-	-	0,057	Max. 0,5
Gęstość [kg/m3]	-	561	450	480
Podział emisji [-]				
Reprezentatywność geograficzna	USA	Dane zastępcze wykorzystane w ocenie są reprezentatywne dla operacji globalnych lub amerykańskich i północnoamerykańskich. Dane reprezentatywne dla operacji globalnych są uważane za wystarczająco podobne do rzeczywistych procesów.	-	Austria, uwzględniono austriacki miks energetyczny
Rok badania	2021(?)	2019-2020.	2020	2017
Adnotacje nt. dostępnych informacji				

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego:

EN 15804, EN 16485, PCR 2019:14 Construction products (EPD International), PCR 2012:01 Construction Products and Construction Services, Version 2.33, 2019-12-20 (EPD Australasia), NPCR Part A version 1.0 (2017): Construction products and services NPCR 015 version 3.0 (2019): PCR – Part B for wood and wood-based products for use in construction (EPD Norge), ISO 21930:2017 Sustainability in Building Construction — Environmental Declaration of Building Products, UL Environment: Product Category Rules for Building-Related Products and Services Part A: Calculation Rules for the Life Cycle Assessment and Requirements on the Project Report, v3.2 oraz Part B: Structural and Architectural Wood Products EPD Requirements, v1.0, Solid wood products, 12.2018 (IBU)

Bazy danych i jakość danych:

Ecoinvent 3.5, Ecoinvent 3.6, Datasmart, w przypadku leśnictwa wykorzystano dane wtórne, w szczególności Sandilands i in. (2006), zaktualizowane przez Scion (Evanson, 2018). Dane dotyczące wszystkich nakładów energii, procesów transportowych i surowców pochodzą z baz danych GaBi 2021,

Etapy cyklu życia:

A1 – surowce

W EPD (73) ten etap obejmuje wydobycie i przetwarzanie surowców, takich jak operacje leśne, jak również produkcję kleju. W tym wypadku wykorzystywane jest drewno sosnowe i świerkowe. W EPD (84) etap obejmuje również procesy zalesiania, które zawierają operacje szkółkarskie (zawierające nawożenie, nawadnianie, energię dla szklarni, jeśli jest to stosowane itp.), przygotowanie terenu, a także sadzenie, nawożenie, przerzedzanie i inne operacje zarządzania. Z kolei w (87) etapy uwzględnia procesy produkcji surowców niezbędnych do produkcji paneli, takie jak procesy leśne, produkcja suszonego w suszarni drewna sosnowego (zabiegi zabezpieczające i niezabezpieczające), od wszystkich dostawców, co zazwyczaj jest umiejscowione w A3.

A2 – transport

W (73) ten etap obejmuje transport surowców do tartaku (ciężarówkami i pociągami) oraz paliwa potrzebne do transportu wewnętrznego

A3 – wytwarzanie:

W (73) ten etap obejmuje produkcję CLT oraz powstawanie produktów ubocznych. W obliczeniach uwzględniono wytwarzanie energii elektrycznej oraz ciepła z zasobów energii pierwotnej. Uwzględnione są również materiały opakowaniowe oraz obróbka odpadów, które nie opuszczają fabryki wraz z produktem. W przypadku (74) etap ten obejmuje fazę tartaczną i suszenie w suszarni. Obejmuje także obróbkę, struganie, łączenie wczepami palcowymi oraz laminowanie dla odpowiednich produktów. Z kolei w (84) etap ten uwzględnia wycinanie, łączenie wczepami palcowymi, struganie lameli, nakładanie kleju, prasowanie, obróbkę CNC oraz wykończenie. W (88) do klejenia (powierzchni) stosuje się klej poliuretanowy (PUR) zgodnie z normą EN 15425. Do wąskiego klejenia krawędzi z widocznymi powierzchniami stosuje się klej PVAC (biały klej). W przypadku kleju PUR zawartość kleju wynosi 0,66% wagowo, a w przypadku kleju PVAC wynosi 0,01% wagowo.

W (74) na schemacie wskazano, że w procesie odpady drzewne powstające podczas produkcji są wykorzystywane jako paliwo do procesu suszenia w piecu w celu osiągnięcia założonej wilgotności surowca.

A4 – transport na miejsce budowy

W dokumencie (73) etap obejmuje transport do uśrednionego klienta, zlokalizowanego w różnych lokalizacjach (założono średnie odległości). W (81) etap obejmuje transport produktu z zakładu produkcyjnego w Niederkróchten na plac budowy w Oslo. W analizie (88) uwzględniono cały niezbędny transport surowców i materiałów pomocniczych. Ponadto, do analizy wliczono opakowania, aż do gotowego produktu „przy bramie” fabryki.

A5 – instalacja

W (73) proces budowlany obejmuje takie odpady opakowaniowe, które dotyczą dostarczonego produktu oraz prac budowlanych, takich jak podnoszenie i przykręcanie paneli CLT.

W przypadku (81) określono utratę materiału podczas budowy na poziomie 3% (wliczono dodatkową produkcję, transport i utylizację materiału utraconego podczas budowy). W obliczeniach został również uwzględniony montaż na placu budowy za pomocą żurawia elektrycznego (podobnie jak (87)).

B1-B7 – etapy użytkowania

W dokumencie (73) w fazie użytkowania nie przewidziano żadnych wpływów środowiskowych, a przynajmniej nie założono brak emisji szkodliwych substancji do powietrza, wody i gleby podczas użytkowania produktu. W (81, 87) założono brak konserwacji w celu zachowania właściwości technicznych; konserwacja estetyczna w postaci lakierowania, malowania itp. nie jest uwzględniona. W (88) stwierdzono, że podczas użytkowania paneli z drewna klejonego warstwowo KLH nie występują emisje zanieczyszczeń i tym samym wartości B1 i B2 oraz B6 i B7 są ustawione na 0 (zero). Etapy B3-B5 zostały uznane za nieistotne.

C1-C4 – Koniec życia

W dokumencie (73) zaprojektowano cztery alternatywne scenariusze dla etapu końca życia (C1-C4 i D):

- Ponowne wykorzystanie: CLT jest ponownie wykorzystywane w spójnej formie. C1: rozbiórka budynku, C2: transport do miejsca sortowania na odległość 50 km, C3: przygotowanie do ponownego wykorzystania, C4: produkt do ponownego wykorzystania, D: ponowne wykorzystanie produktu, zastępując surowiec pierwotny
- Recykling: Rozdrabnianie CLT do recyklingu. C1: rozbiórka budynku, C2: transport do miejsca sortowania na odległość 50 km, C3: przygotowanie do recyklingu, C4: wióry do recyklingu, D: odzysk wiórów drewnianych, zastępując surowiec pierwotny
- Spalanie: Spalanie CLT w celu odzysku energii. C1: rozbiórka budynku, C2: transport do miejsca sortowania na odległość 50 km, C3: przygotowanie do spalania, C4: wióry do spalania (75% sprawności), D: zastąpienie gazu ziemnego w produkcji ciepła
- Składowanie na składowisku: CLT jest składowane na składowisku. C1: rozbiórka budynku, C2: transport do miejsca sortowania na odległość 50 km, C3: przygotowanie do składowania, C4: proces składowania, D: częściowe pochłanianie metanu ze składowiska zastępuje gaz ziemny w produkcji ciepła

W (74) na końcu swojego użytkowania produkt drewniany jest usuwany z budynku i może zostać poddany recyklingowi, ponownie wykorzystany, spalony w celu produkcji energii lub umieszczony na składowisku. W Nowej Zelandii najczęstszą metodą końca życia jest składowanie na składowisku, szczególnie dla produktów poddanych obróbce, które mają ograniczenia dotyczące recyklingu i spalania. W dokumencie opisano scenariusz składowania na składowisku i trzy inne możliwe scenariusze końca życia. W każdym scenariuszu zakłada się, że 100% drewna jest przesyłane do tego scenariusza. Aby utworzyć mieszankę końca życia dla określonego regionu lub zastosowania końcowego zasugerowano, iż należy wykonać sumę ważoną tych scenariuszy. Gdzie nie ma dostępnych konkretnych danych dla danego rynku i surowca, należy użyć scenariusza składowania na składowisku.

W (81) na końcu życia budynku, rozpoczyna się jego demontaż/rozbiórka. Dokument obejmuje niezbędny transport (C2) z miejsca rozbiórki do miejsca sortowania i odległość do ostatecznej utylizacji.

Etap końca życia obejmuje ostateczne usunięcie na składowisko (C4), spalanie (C3) oraz niezbędne procesy recyklingu do punktu końca odpadów (C3). Obciążenia i korzyści z recyklingu, ponownego wykorzystania i eksportowanej energii są częścią modułu D. Moduł demontażu C1 nie został jest brany pod uwagę. Z kolei w (87) przetwarzanie odpadów (Moduł C3) jest stosowane dla scenariuszy odzysku energii, recyklingu i ponownego wykorzystania, a usuwanie (Moduł C4) jest stosowane dla scenariuszy składowania na składowisku.

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

W dokumencie (73) w etapie D uwzględniono proces wychwytu gazu wysypiskowego zawierającego 50% metanu oraz jego spalanie jako substytutu gazu ziemnego w celu produkcji ciepła

W (74) uwzględniono korzyści środowiskowe z eksportowanej energii w wyniku spalania, przy założeniu, że ilość unikniętej energii opiera się na niższej wartości opałowej materiałów. Z kolei w (83) uwzględniono zastępowanie gazu ziemnego i unikanie produkcji drewna do przyszłych projektów budowlanych. Aby oszacować zastępowanie gazu ziemnego, najpierw obliczono potencjalną wartość opałową paliwa produktu na podstawie wartości opałowej wynoszącej 20,9 MJ/kg. Odpowiednia ilość energii równoważna gazowi ziemnemu została obliczona na podstawie wyższej wartości opałowej wynoszącej 38,66 MJ/m³. W przypadku, gdy produkt zostanie odzyskany i ponownie wykorzystany, założono, że uniknięta produkcja sklejki jest równoważna wpływom A1-A3 obliczonym w ramach tego dokumentu. W przypadku (87) etap D uwzględnia potencjalne korzyści wynikające z ponownego wykorzystania i recyklingu na końcu pierwszego użytkowania w budynku. Korzyści energetyczne z odzysku energii związanej z CLT poprzez spalanie (scenariusz odzysku energii) lub generację energii elektrycznej ze spalania gazu ziemnego ze względnie niewielkich ilości metanu generowanych przez składowanie na liniowych i uszczelnionych składowiskach (scenariusze składowania na składowisku) również zostały uwzględnione.

W (88) założono odzysk energetyczny zużytych paneli w piecach (wartość opałowa 17,3 MJ/kg) składających się z linii spalania, która jest wyposażona w ruszt i generator pary. Energia z zakładów spalania odpadów w Austrii jest przekształcana w ok. 1/3 w energię elektryczną i w 2/3 w ciepło miejskie. Założono sprawność produkcji energii elektrycznej równą 17% oraz 75% sprawności kotła dla ciepła miejskiego jako najgorszy możliwy scenariusz z raportu UBA.³²

Wykluczenia z obliczeń:

- (73) B1-B7 - W fazie użytkowania nie przewiduje się żadnych wpływów środowiskowych, a przynajmniej nie są emitowane żadne szkodliwe substancje do powietrza, wody ani gleby.
- (74) Dotyczące personelu, infrastruktury oraz produkcji, sprzętu.
- (74) Demontaż i transport odpadów
- (81) B1-B3 - Nie planowana jest konserwacja w celu zapewnienia właściwości technicznych, konserwacja estetyczna w postaci lakierowania, malowania itp. nie jest uwzględniona.
- (83-84, 87-88) Wyłączenia zgodnie z limitami ustalonymi w PCR.
- (86) A4.
- (81) Ankerowanie, materiały pomocnicze, zabiegi konserwacyjne i inne warstwy wierzchnie, lakier nie są uwzględnione.
- (81) C1 – demontaż

³⁰Athena Sustainable Materials Institute (2021) A Life Cycle Assessment of Cross-Laminated Timber and Glulam Manufactured by Kalesnikoff, v1.0.

³¹National Renewable Energy Laboratory (2019) U.S. Life Cycle Inventory Database <http://www.nrel.gov/lci/>

³²/UBA 2007/Abfallverbrennung in Österreich, Statusbericht 2006, Umweltbundesamt, Wien, 2007

Ślad węglowy produktu

		73			87			74	
	gęstość	470			450			470	
		GWPf	GWPb	GWPI	GWPf	GWPb	GWPI	GWPf	GWPb
A1	Zaopatrzenie w	31,90	-762	0,682	109,00	-780,00	1,68	65,9	-780,00
A2	surowce, transport	14,20	0,0158	0,0056	47,10	0,0496	0,0174	(niezabezpieczony) -135 (produkt do zastosowań zewnętrznych, malowany)	
A3	surowców, produkcja	7,61	0,334	0,161	25,80	286,00	0,00		
A4	Transport do miejsca użytkowania	38,40	0,0134	0,0101	127,00	0,0208	0,0649	-	-
A5	Instalacja	14,70	0,10	0,0019	175,00	0,0478	0,0138	-	-
B1-B7	Użytkowanie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
Ponowne użycie	C1 Rozbiórka/wyburzenie	0,54	0,000115	0,000060	17,90	1,57	0,00272	-	-
	C2 Transport odpadów	2,04	0,000710	0,000535	127,00	0,0208	0,0649	-	-
	C3 Przetwarzanie odpadów	0,00	762,00	0,00	0,00	780,00	0,00	0,00	786,00
	C4 Usuwanie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	D Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	-51,20	-762,00	-0,85	-182,00	-780,00	-1,70	-65,90	-786,00*
Recykling	C1 Rozbiórka/wyburzenie	0,54	0,00012	0,00006	17,90	1,57	0,00	-	-
	C2 Transport odpadów	2,04	0,00071	0,00054	19,50	0,01	0,01	-	-
	C3 Przetwarzanie odpadów	5,65	762,00	0,00048	0,00000	780,00	0,00	4,89	786,00
	C4 Usuwanie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	D Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	-58,20	-763,00	-0,33	-20,60	-780,00	-0,13	-23,40	-0,52
Spalanie	C1 Rozbiórka/wyburzenie	0,54	0,00012	0,00006	17,90	1,57	0,00	-	-
	C2 Transport odpadów	2,04	0,00071	0,00054	19,50	0,01	0,01	-	-
	C3 Przetwarzanie odpadów	33,00	762,00	0,01	0,00	780,00	0,00	4,89	786,00
	C4 Usuwanie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	D Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	-365,00	-0,0273	0,000344	-380,00	-37,20	-0,0137	-538,00	1,08
Składowanie	C1 Rozbiórka/wyburzenie	0,54	0,000115	0,000060	17,90	1,57	0,00	-	-
	C2 Transport odpadów	2,04	0,000710	0,000535	19,50	0,00973	0,00846	-	-
	C3 Przetwarzanie odpadów	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C4 Usuwanie	10,00	1040,00**	0,00118	5,00	887,00**	0,00	52,90	2,26**
	D Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	-3,92	-0,0006	-0,000143	-29,60	-0,008040	-0,000849	-0,03	0,00

* z niewiadomych powodów przy ponownym wykorzystaniu nie uwzględniono ujemnych emisji biogenych, zostały one skorygowane

** składowanie zależnie od warunków może skutkować całkowitym rozłożeniem CLT, nawet z powstawaniem gazu wysypiskowego zawierającego metan (73). zawarto wartości oznaczające, że drewno nie będzie ulegać rozkładowi, stąd emisje tej wielkości (74).

		CLT (81)	CLT (83)		CLT (84)		CLT (86)	CLT (88)
			-		450		480	
Etap		GWPt	GWPf	GWPb	GWPf wg TRACI 2.1	GWPb	GWPt	GWPt
A1	Zaopatrzenie w surowce, transport surowców, produkcja	-699	92,4	-1045,63	88,75	-850,23	92,50	-601,29
A2		7,59	0,33	0,00	2,16	2,16	48,90	
A3		1,92	31,78	1045,63	45,20	984,18	36,30	
A4	Transport do miejsca użytkowania	68,80	-	-	-	-	-	70,38
A5	Instalacja	8,47	-	-	-	-	-	20,69
B1-B7	Użytkowanie	0,00	-	-	-	-	-	0,00
C1	Rozbiórka/wyburzenie		-	-	-	-	-	9,28
C2	Transport odpadów	5,31	-	-	-	-	-	4,02
C3	Przetwarzanie odpadów	786	-	-	-	-	-	808,39
C4	Usuwanie	0,00	-	-	-	-	-	0,00
D	Potencjał ponownego wykorzystania, oczyszczenia lub recyklingu	-187,00	-	-	-	-	-	-203,39

Komentarz:

- Ślad węglowy produkcji drewna CLT istotnie różni się w etapach A1-A3 między poszczególnymi deklaracjami. Różnice występują zarówno na etapie pozyskania surowca (31-109, 135 kg CO₂e/m³ w stanie zaimpregnowanym), transportu (0,33-48,90 kgCO₂e/m³) jak i procesu produkcji CLT (7,61-45,2 kg CO₂e/m³).
- Część dokumentów EPD zawierała informacje nt. etapu produkcji scalone do jednej wartości, co dodatkowo utrudniło analizę wyników.
- Niepokojące są wyliczenia pozostałych faz wykorzystania CLT w budownictwie, które może wynosić od 75 do 375 KgCO₂eq/m³. Związane jest z różnorodnym użyciem drewna CLT od wykorzystania w stolarce do użycia w konstrukcjach wielkogabarytowych (największe emisje stwierdzono w przypadku montażu z wykorzystaniem żurawia)
- Wartość węgla biogenego m³ produktów drewnianych zależy przede wszystkim od gęstości 450-700 kg/m³ drewna i jego gatunku.
- Żaden z producentów nie zadeklarował dłuższego czasu użytkowania niż 75 lat.
- Wskaźniki emisyjności gazów cieplarnianych dla wykorzystania drewna na cele energetyczne - mogą być przyjęte poniżej maksymalnej wartości zawartego węgla. Część węgla w formie pyłów może być odzyskana i następnie zakumulowana, niemniej wszystko zależy od technologii spalania.
- W porównaniu do płyt OSB płyty CLT mogą zostać zagospodarowane na wiele sposobów, również w takie, które skutkują odsunięciem uwolnienia węgla biogenego w czasie. Co więcej, w przypadku różnych deklaracji koniec życia poprzez składowanie cechował się 3 różnymi podejściami - składowaniem z całkowitym uwolnieniem emisji, składowaniem z prawdopodobnym uwolnieniem metanu (emisje biogenne większe niż pochłanianie), oraz składowaniem jako materiał inertny (prawie zerowe emisje). Poszczególne wartości będą prawdziwe zależnie od sposobu składowania, sugeruje się zwrócenie uwagi na wytyczne zawarte w PCR w kontekście prawidłowego zamodelowania końca życia poprzez składowanie.

Zanieczyszczenie	Emisja z 1 m ³ drewna (kg)	Współczynnik CO ₂ eq	Emisja CO ₂ eq (kg)	Jednostka
Pył całkowity	28,55	-	-	kg
Pył PM ₁₀	24,87	-	-	kg
Pył PM _{2,5}	16,72	-	-	kg
Dwutlenek węgla (CO ₂)	678,4	1	678,40	kg
Tlenek węgla (CO)	31,59	-	-	kg
Tlenki azotu (NO _x /NO ₂)	66,58	-	-	kg
Tlenki siarki (SO _x /SO ₂)	46,22	-	-	kg
Benzo(a)piren	0,0015	-	-	g
		RAZEM:	678,4	kgCO ₂ eq

Czynniki wpływające na ślad węglowy wyrobu w całym cyklu życia:

Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono szereg czynników, które wpływają na ślad węglowy wyrobu w postaci produktów konopnych w całym cyklu życia:

- wydajność hodowli lasu- w zależności od gatunku drzewa, warunków glebowych, stosowanych zabiegów, środków ochrony, nawozów (jeżeli dotyczy), a także warunków pogodowych, klimatu możliwe jest uzyskanie różnej wydajności i tym samym różnej emisyjności w przeliczeniu na m³ surowca
- ceny współproduktów i ich liczba – podczas produkcji płyt CLT powstają odpady drzewne oraz pył, które mogą być wykorzystane jako substrat do produkcji biogazu/biometanu/energii ciepłej/energii elektrycznej na terenie zakładu lub jako współprodukt do sprzedaży na zewnątrz będący nośnikiem emisji. W przypadku dużego zapotrzebowania na energię elektryczną (stabilizacja sieci) i ciepłą (wymogi dot. ograniczania emisji w ciepłowniach i elektrociepłowniach) może się okazać, że sprzedaż będzie istotnie wpływać na związane emisje.
- faza końca życia - w zależności od sposobu zagospodarowania można uzyskać korzyści na końcu życia. W przypadku ponownego użycia recyklingu w rzeczywistości moment emisji węgla biogenego zostanie znacząco odsunięty w czasie.
- ślad węglowy energii cieplnej – ze względu na fakt, że płyty CLT są suszone podwyższonej temperaturze, w związku z czym pochodzenie energii cieplnej (spalanie gazu ziemnego, odpadów drzewnych lub ich pochodnych, wykorzystanie energii elektrycznej w krajach o niskoemisyjnym miksie energetycznym) będzie istotnie wpływać na końcowy ślad węglowy produktu.
- montaż - w przypadku wybranych wyrobów (instalowanych z wykorzystaniem żurawia elektrycznego) możliwe jest, że faza A5 będzie odznaczać się znaczącymi emisjami.
- zabezpieczenie i użytkowanie - zabezpieczenie płyt ma wyraźny wpływ na ślad węglowy, może wynosić nawet kilkanaście-kilkadziesiąt kg/m³ surowca. W deklaracjach pomijano kwestię jego zabezpieczenia w czasie, podczas gdy płyty CLT w przeciwieństwie do OSB są stosowane w sposób, który może wymagać ich dodatkowego zabezpieczenia.

Propozycja modelu obliczeń dla wyrobu budowlanego

A1 – surowce

Ślad węglowy operacji leśnych oraz szkółkarskich (zawierających nawożenie, nawadnianie, energię dla szklarni, jeśli jest to stosowane itp.), przygotowania terenu, a także sadzenia, nawożenia, przerzadzanie i innych operacji zarządzania.

Analiza powinna być szeroko prowadzona dla całego cyklu hodowlanego drzewa, ponieważ na poszczególnych etapach jest pozyskiwana biomasa w różnej postaci, co może zredukować ślad węglowy tego etapu na podstawie alokacji ekonomicznej.

W przypadku płyt CLT należy również uwzględnić syntezę klejów, oraz opcjonalnie produkcję impregnatu lub środków wykańczających.

A2 – transport

Zużycie paliw związane z transportem surowców do zakładu produkcyjnego

A3 – wytwarzanie

Zużycie energii elektrycznej, ciepłej oraz paliw związanych z następującymi procesami:

- suszenie
- obróbka (wycinanie),
- struganie,
- łączenie wczepami palcowymi
- struganie lameli,
- nakładanie kleju
- prasowanie,
- wykończenie (w tym impregnacja)

Obliczenia powinny być skorygowane o powstające współprodukty w postaci m.in. odpadów drzewnych oraz pyłu, które mogą być wykorzystywane na terenie zakładu do produkcji biogazu/biometaanu ciepła/energii elektrycznej lub sprzedawane na zewnątrz do wykorzystania w tych samych celach lub zawrócone do obiegu naturalnego jako biomasa (np. kora). Trzeba zwrócić szczególną uwagę na zwracanie surowców do obiegu w obrębie zakładu produkcyjnego.

Należy również uwzględnić emisje związane z zużyciem opakowań.

A4 – transport na miejsce budowy

Zużycie paliw do transportu

A5 – instalacja

Sposób zagospodarowania materiałów opakowaniowych (jeżeli dotyczy), zużycie energii elektrycznej podczas montażu. Oszacowanie i uwzględnienie odpadu podczas montażu (w jednym z EPD wskazano straty na poziomie 3%). Możliwe do uwzględnienia są materiały pomocnicze do montażu (wkręty)

B1-B7 – zastąpienie produktu i renowacja

W deklaracjach pominięto etap użytkowania oraz związanego z tym prawidłowego zabezpieczenia drewna CLT. W zależności od sposobu użycia takowe zabezpieczenie może być wymagane, co

powinno mieć odzwierciedlenie w obliczeniach. W przypadku uwzględnienia tego etapu należy określić powierzchnię płyt w przeliczeniu na m³ i oszacować ilość środka zabezpieczającego płytę oraz określić jego ślad węglowy.

C1 – Demontaż

Zużycie energii elektrycznej związanej z demontażem (użycie elektronarzędzi). Jest to szczególnie ważne w przypadku próby odzyskania surowca.

C2 – Transport odpadów

Zużycie paliw do transportu odpadu

C3-D – Przetwarzanie odpadów, utylizacja oraz obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

W deklaracjach EPD dostępne były 4 scenariusze końca życia (ponowne wykorzystanie, recykling, spalanie oraz składowanie). Na bazie tych deklaracji możliwe jest opracowanie scenariuszy końca życia oraz związanych z tymi scenariuszami emisji. Kluczowe jest rzetelne uwzględnienie emisji związanych ze składowaniem (szczególnie wynikających z rozkładu beztlenowego), które może różnić się od sposobu składowania.

W scenariuszu końcowym obok obliczenia wszystkich 4 scenariuszy sugeruje się określenie potencjalnego miksu scenariuszy dla danego kraju na podstawie danych nt. gospodarki odpadami.

Aspekty poruszane w literaturze naukowej:

W niektórych dokumentach zawierających informacje nt. śladu węglowego/środowiskowego produktów pochodzenia roślinnego znaleziono informacje nt. ujemnym śladzie węglowym związanych z sekwestracją węgla w glebie przez drzewa. W praktyce jednak należy pamiętać, że przedstawianie węgla zsekwestrowanego jest niezgodne z zasadami opracowywania EPD - w samej normie EN15804+A2 określone jest uwzględnienie emisji związanych gazami cieplarnianymi pochodzenia kopalnego, naturalnego oraz związane z użytkowaniem i przekształceniem terenu



Płyta OSB

Rodzaj surowca: płyta OSB

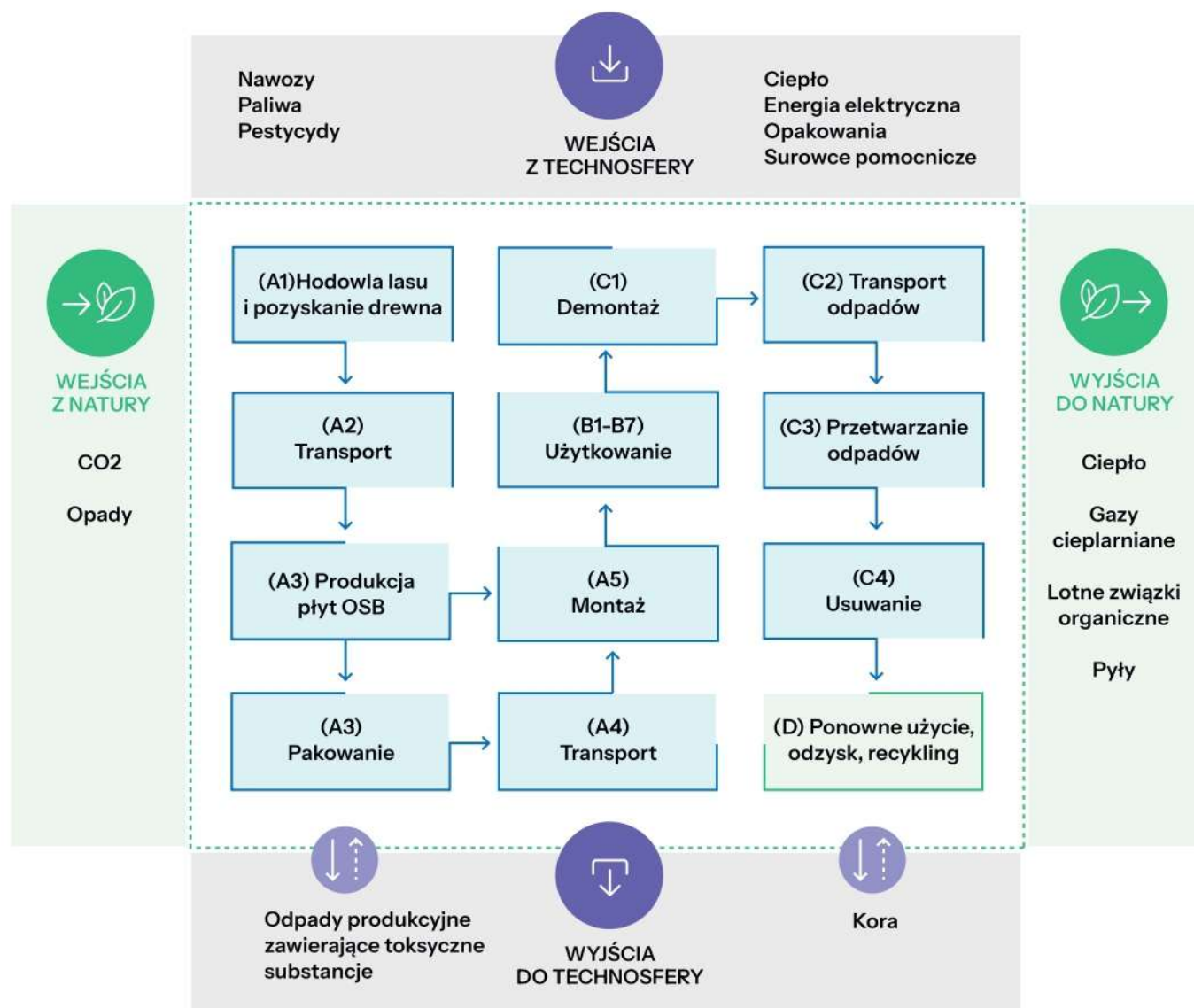
Liczba EPD: 5

Opis

Płyta OSB (ang. Oriented Strand Board), znana także jako płyta wiórowa orientowana, to materiał budowlany wykorzystywany powszechnie w budownictwie i stolarce. Składa się z wielu warstw wiórów drzewnych, które są orientowane w różnych kierunkach i połączone za pomocą żywic i wosków pod wysoką temperaturą i ciśnieniem. Płyty OSB są cenione za ich wytrzymałość, stabilność wymiarową oraz wszechstronność zastosowań. Płyty OSB produkowane są głównie z drzew iglastych, takich jak sosna, świerk czy jodła, choć mogą być też wykorzystywane inne gatunki drzew. Ich struktura składa się z trzech lub więcej warstw wiórów, z których każda jest orientowana w innym kierunku. Ta specyficzna konstrukcja zapewnia płytom OSB wyjątkową wytrzymałość mechaniczną i odporność na odkształcenia. Płyty OSB znajdują szerokie zastosowanie w budownictwie i remontach. Są wykorzystywane jako materiał na ściany nośne i działowe, konstrukcje dachowe, podłogi, jak również w produkcji mebli. Dzięki swej wytrzymałości i łatwości obróbki, płyty te są również popularnym wyborem dla projektów DIY (zrób to sam). Cechują się dobrą odpornością na pleśń i grzyby przy umiarkowanej odporności na wilgoć. Wadą tego surowca są emisje formaldehydu i innych lotnych związków organicznych, w ilościach regulowanych normami.

Założenia poszczególnych deklaracji środowiskowych EPD

Schemat cyklu życia



Zestawienie danych z deklaracji środowiskowych

Oznaczenie	50	53	55	56	57
Producent/nazwa produktu	Norbord Europe Ltd	Norbord Europe Ltd	Fritz EGGER GmbH & Co. OG	American Wood Council, Canadian Wood Council	SIA "KRONOSPA N Riga"
Typ produktu	plyta OSB	plyta OSB	plyta OSB	plyta OSB	plyta OSB
Referencyjny czas użytkowania [lata]	Nie podano referencyjnego okresu użytkowania, ponieważ moduły na etapie użytkowania (B1-B5) nie zostały zadeklarowane.	Nie podano referencyjnego okresu użytkowania, ponieważ moduły na etapie użytkowania (B1-B5) nie zostały zadeklarowane.	Żywotność płyt OSB zależy od zastosowania w ramach konkretnego projektu budowlanego w klasie użyteczności 1 i 2 zgodnie z /EN 1995-1-1/. Przy prawidłowym użytkowaniu, zgodnie z normą /DIN 68800-2/ i konserwacji, okres użytkowania wynosi 50 lat i więcej, zgodnie z tabelą /BBSR/ z dnia 03.11.2011.	-	50 lat
Jednostka funkcjonalna/deklaracyjna	1 m ³ płyt OSB o gęstości pozornej 600-620 kg/m ³ (zależnie od zakładu produkcyjnego)	1 m ³ płyt OSB o gęstości pozornej 600-620 kg/m ³ (zależnie od zakładu produkcyjnego).	1 m ³ płyt OSB o średniej gęstości surowej 607 kg/m ³ i wilgotności około 5%.	1 m ³	1m ³ płyt OSB bez szlifowania
Grubość (jeżeli istotne) [m]	0,008-0,03	0,008-0,03	0,006-0,04	0,0095	0,009-0,03
Gęstość [kg/m³]	600 / 620	600 / 620	580 -640 (607)		600-620
Podział emisji [-]	-	Jedynymi produktami ubocznymi wytwarzanymi podczas produkcji płyt OSB w zakładach były kora i inna biomasa pochodząca z przetwarzania drewna. Zostały zostały wykorzystane jako biopaliwo do kotłów, a zatem zostały zamodelowane przy użyciu pętli wewnętrznych. W jednym zakładzie niewielka ilość odpadów jest wysyłana na zewnątrz do recyklingu, ale nie dokonano alokacji w tym zakresie. Zamiast tego przyjęto najgorsze założenie, w którym wszystkie skutki procesu są przypisane do płyty OSB. Żadne inne produkty uboczne nie były sprzedawane ani wykorzystywane poza granicami zakładu.s	Zawartość dwutlenku węgla i energii pierwotnej w produktach została zrównoważona na podstawie ich nieodłącznych właściwości materiałowych zgodnie z podstawowymi zależnościami fizycznymi. Alokacja w ramach łańcucha leśnego opiera się na publikacji /Hasch 2002/ i jej aktualizacji przez /Rüter & Albrecht 2007/. Alokacja ekonomiczna zgodnie z /Rüter & Diederichs, 2012/ została zastosowana do zakupionego, energetycznie wykorzystanego świeżego drewna. Energia cieplna i elektryczna wytwarzana w systemach skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej jest przydzielana zgodnie z egzergią. Sprzedane produkty uboczne (na przykład kora) zostały potraktowane zgodnie z zaleceniami normy /EN 16485/ jako produkty uboczne i emisje zostały przydzielone zgodnie z alokacją ekonomiczną	Alokacja fizyczna, zgodnie z UL PCR	-

Reprezentatywność geograficzna	UK, Belgia	UK, Belgia	Europa	Ameryka Północna (USA)	Międzynarodowa
Rok badania	2018	2020	2015	2012-2018	2020
Adnotacje nt. dostępnych informacji	Precyzyjny opis procesu produkcyjnego				EPD z wykluczeniami, szczegółowy opis odpadów produkcyjnych

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego:

PCR 2012:01 Construction products and construction services, Version 2.3; SUB-PCR to PCR 2012:01: Wood and woodbased products for use in construction; UL Environment: Product Category Rules for Building-Related Products and Services Part A: Calculation Rules for the Life Cycle Assessment and Requirements on the Project Report, v3.2; Part B: Structural and Architectural Wood Products EPD Requirements, v1.0

Bazy danych i jakość danych:

Dane podstawowe do modelowania LCA pochodzą z baz danych, GaBi 8, GaBi 2019, GaBi 2021(10), USLCI (2019), Ecoinvent v3.5, Datasmart (2019), BDD CODDE-2018-11, ELDC 3.2 i Ecoinvent 3.0.1.57, „Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz”

Etapy cyklu życia:

A1 – surowce

Kłody są pozyskiwane z lasów zarządzanych przez Forestry Stewardship Certification (FSC), co jest standardem w Europie. W jednym z EPD (56) opisano proces pozyskania drewna, obejmujący usuwanie surowców i przetwarzanie, przetwarzanie materiałów wtórnych (np. procesy recyklingu) po przekroczeniu granicy systemu poprzedniego systemu produktu. A1 obejmuje również procesy ponownego zalesiania, które obejmują operacje szkółkarskie (w tym nawozy, nawadnianie, energię dla szklarni, jeśli dotyczy itp.), przygotowanie terenu, a także sadzenie, nawożenie, przerzadzanie i inne operacje zarządzania.

A2 – transport

Etap obejmuje transport do fabrycznego składu drewna

A3 – wytwarzanie:

W jednym z EPD (50) znaleziono precyzyjny opis procesu pozyskiwania surowców. Na początku kłody są sortowane według gatunków i przygotowywane do obróbki. Posortowane kłody są okorowywane (powstały w ten sposób surowiec jest wykorzystywany jako biopaliwo w tartaku), po czym są następnie cięte na cienkie pasma o określonym rozmiarze w procesie zwanym skrawaniem (ang. „stranding”). Pasma te są przechowywane w mokrych pojemnikach, aż będą gotowe do suszenia. Pasma są następnie przetwarzane przez suszarkę obrotową, aż do osiągnięcia prawidłowej wilgotności pasma. Drobne cząstki są przesiewane i wykorzystywane jako biopaliwo. Powstałe pasma są mieszane z żywicą i niewielką ilością wosku. Wosk poprawia wydajność żywicy i zwiększa odporność

mieszanek na wilgoć i absorpcję wody. Sploty przechodzą przez orientery, które budują matę z pojedynczych warstw i nakładają je na siebie prostopadle. Maty te są prasowane pod wysokim ciśnieniem i w wysokiej temperaturze. Ciśnienie to powoduje reakcję żywicy i tworzy panel strukturalny o wysokiej gęstości. Panele są cięte do standardowych rozmiarów i wytłaczane zgodnie z klasą jakościową. Gotowe produkty OSB są przechowywane przez co najmniej 48 godzin przed wysyłką. Produkty są na końcu pakowane.

W przypadku jednego EPD (55) natrafiono na informację, iż w procesie produkcyjnym ciepło oraz energia elektryczna są wytwarzane we własnej biogazowni, a także jest tam produkowany klej, który zazwyczaj jest pozyskiwany z zewnątrz.

	50	53	56	57
Drewno	92/92%	90-93%	95,8% (drewno miękkie)	95-98%
Żywica	1,53%/1,63% (PMDI)	2-4%	4,20%	2-4%
Emulsja wosku parafinowego/wosk	0,63%/0,53%	1%	-	0,6-0,99%
Środek rozdzielający	0,02%/0,01%	-	-	-
Wilgoć	5,83%/6,00%	3-5%	-	-
Inne	-	<1%	-	-

A4 – transport na miejsce budowy

W trzech przypadkach (50,53,56) zdefiniowano sposób transportu. W pierwszych dwóch przypadkach produkty były wysyłane do konsumenta ciężarówką (model Euro 6, 28-32 t ładowności brutto), a średnia odległość transportu z fabryki do konsumenta wynosi 450/713-761 km, co zostało oszacowane na podstawie danych dostaw z danego roku. W ostatnim EPD odległości zależały od typu płyty OSB (2/3/4), i wynosiły odpowiednio 1900/868/1570 km ciężarówką o ładowności 27 t (zużycie 38 l oleju napędowego/100 km i całkowite wypełnienie), oraz 7139/0/26 km łodzią transoceaniczną,

A5 – instalacja

Etap instalacji został ujęty w jednej deklaracji (53), emisje z tego tytułu są marginalne

B1-B7 – użytkowanie

Niniejsze etapy zostały pominięte we wszystkich deklaracjach

C1-C4 – Koniec życia

C1 - Demontaż

Tylko w jednym EPD (53) ujęto etap demontażu, gdzie założono, że będzie się on odbywać manualnie generując zerowe emisje.

C2 – Transport odpadów

W jednym EPD (53) zdefiniowano transport odpadów na odległość 100 km, w drugim (57) ujęto ten etap bez wskazywania założeń.

C3 – Przetwarzanie odpadów

Wg jednego EPD (53) etap ten obejmuje obciążenie środowiskowe wynikające z termicznego przekształcenia produktu. Module C3 contains environmental loads related to the thermal treatment of the product. Dla procesu spalania przyjęto sprawność większą niż 60% (R1 - wartość > 0,6). Do

obliczenia kredytów, w celu zastąpienia energii cieplnej i elektrycznej, wykorzystano zestawy danych scenariuszy europejskich. W drugim EPD (55) etap obejmuje emisję biogenego dwutlenku węgla podczas energetycznego wykorzystania na koniec okresu użytkowania produktu. Ponadto uwzględniane jest również rozdrabnianie po demontażu produktu.

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

W jednym EPD (53) etap D zawiera kredyty związane z zastąpieniem energii cieplnej i energii elektrycznej przez wytwarzanie energii z obróbki cieplnej produktu (Moduł C3) i opakowania (Moduł A5). W drugim EPD (55) energetyczne wykorzystanie produktu na końcu jego cyklu życia jest opisane w Module D, w tym potencjał zastępowania energii w oparciu o uśredniony scenariusz europejski. W trzecim EPD (57) etap ten uwzględnia wióry drzewne uzyskane z odzysku płyt OSB i przekształcone w płyty wiórowe. W związku z tym etap ten obejmuje wpływ żywicy niezbędnej do uzyskania końcowej płyty wiórowej oraz uniknięty wpływ pierwotnych wiórów drzewnych, które zostałyby wykorzystane bez recyklingu płyt OSB.

Wykluczenia z obliczeń:

W jednym z EPD (57) wykluczono emisje związane z następującymi czynnikami:

- Oświetlenie, ogrzewanie, warunki sanitarne i sprzątanie obiektów
- Transport pracowników i zaplecze gastronomiczne dla pracowników.
- Produkcja i konserwacja narzędzi produkcyjnych i infrastruktury.
- Przepływy z działów badań i rozwoju, administracji, zarządzania i marketingu.

Ślad węglowy surowca

Tab. X Ślad węglowy płyt OSB

		50	53		55
		Zakład 1			
		GWPt	GWPI	GWPI	GWPI
A1	Zaopatrzenie w surowce	-871	58,9	-1140,	0,170
A2	Transport surowców	16,800	6,580	0,150	0,000
A3	Produkcja	-7,190	35,700	141,000	0,010
A4	Transport na miejsce użytkowania	33,000	25,600	0,630	0,000
A5	Instalacja	-	0,510	8,200	0,000
B1-B7	Użytkowanie	-	-	-	-
C1	Rozbiórka/wyburzenie	-	0,000	0,000	0,000
C2	Transport odpadów	-	4,420	0,110	0,000
C3	Przetwarzanie odpadów	-	321,000	988,	0,010
C4	Usuwanie	-	-	-	-
D	Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu		-286,000	-2,330	-0,38
					-549,00

		50	53			56	
		Zakład 2				Nd.	
		GWPt	GWPf	GWPb	GWPI	GWPf, wg TRACI 2.1	GWPb (A3 uwzględnia emisje niższego szczebla z etapów A5 oraz C3/C4)
A1	Zaopatrzenie w surowce	-948,	52,000	-1240,00	0,070	97,040	-1,580,83
A2	Transport surowców	17,300	16,800	0,120	0,000	10,110	10,110
A3	Produkcja	-10,400	33,500	206,000	0,010	135,430	1,813,30
A4	Transport na miejsce użytkowania	21,600	20,600	0,530	0,000	-	-
A5	Instalacja	-	0,700	9,500	0,000	-	-
B1-B7	Użytkowanie	-	-	-	-	-	-
C1	Rozbiórka/wyburzenie	-	0,000	0,000	0,000	-	-
C2	Transport odpadów	-	4,570	0,120	0,000	-	-
C3	Przetwarzanie odpadów	-	332,000	1 030,00	0,010	-	-
C4	Usuwanie	-	-	-	-	-	-
D	Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu		-296,	-2,4	-0,4	-	-

Komentarz:

Na podstawie zebranych wyników stwierdzono, że zawartość węgla biogenego oraz ślad węglowy związany z produkcją jest zbliżony dla poszczególnych płyt.

Analizując przedstawione powyżej dokumenty stwierdzono, że w żadnym przypadku płyty OSB nie są produkowane z recyklatu, a do ich wytworzenia wykorzystuje się całe kłody poddane odpowiedniej obróbce. W dokumentach opisano sposób zagospodarowania kory (sprzedaż na zewnątrz w celach energetycznych lub spalanie we własnej kotłowni w celu pozyskania ciepła do procesu produkcyjnego – w tym drugim wypadku zaobserwowano mniejsze emisje z paliw kopalnych w etapie A3 oraz dodatkowe emisje biogenne).

Dużą rolę odgrywa ujęcie śladu węglowego surowca w całym cyklu życia. W przypadku jednego EPD (błędnie) nie zadeklarowano emisji związanych z końcem życia produktu (C1-C4, D), przez co wg wspomnianej deklaracji produkty cechowały się ujemnym śladem węglowym. W praktyce płyty OSB na końcu życia muszą zostać zutylizowane ze względu na zawartość toksycznych substancji, przez co nie mogą stanowić trwałego rezerwuaru węgla na końcu życia. Płyty OSB mogą zostać przetworzone poprzez spalanie z odzyskiem energii cieplnej lub poprzez recykling stanowiąc surowiec bazowy dla płyt wiórowych. W przypadku spalania uzyskano realne ograniczenie zapotrzebowania na paliwa kopalne redukujące całkowity ślad węglowy surowca. Z drugiej strony założony recykling również ogranicza emisje w całym cyklu życia, niemniej korzyści środowiskowe nie są tak duże, jak w przypadku procesu spalania. Z drugiej strony analizując wartości z deklaracji uwzględniającej recykling (57) widać tu emisje węgla biogenego w etapie przetwarzania odpadów, co nie do końca jest prawdziwe w związku z wykorzystaniem surowca w kolejnym materiale. Ze strony formalnej emisje te są słuszne, ponieważ surowiec wytworzony z recyklingu nie powinien być obciążony żadnymi emisjami z poprzedniego cyklu życia. Niemniej należy zwrócić uwagę, że recykling w praktyce będzie stanowić wydłużenie czasu „unieruchomienia” węgla biogenego, który trafi do środowiska po bardzo długim okresie (100 lat i więcej, w przypadku jedno- lub wielokrotnego recyklingu do postaci płyt wiórowych). W praktyce odzysk płyt wiórowych na cele surowcowe jest nie wykazywany i ze względu na różnorodność dodatków i bardziej restrykcyjne standardy dot. zawartości i emisji formaldehydów, są one po użyciu składowane lub wykorzystywane jako surowiec energetyczny.

W rozważanych przypadkach emisje związane z użytkowaniem i zmianą użytkowania terenu nie odgrywały istotnej roli.

Zagadnienia poruszane w publikacjach naukowych:

W przypadku płyt OSB oraz wyrobów podobnych (płyty wiórowe, płyty MDF, sklejka) kluczowym czynnikiem wyróżniającym od innych materiałów okazuje się zastosowanie żywice i klejów.

Substancje te najczęściej charakteryzują się emitowaniem lotnych związków organicznych, o potwierdzonym negatywnym wpływie na ludzkie zdrowie - przede wszystkim formaldehydu i fenolu (American Cancer Society 2022, ECHA 2019). Rozwój zrównoważonych i przyjaznych dla środowiska klejów staje się przedmiotem badań w odpowiedzi na nowe regulacje i problemy związane z użyciem tradycyjnych systemów klejących, takich jak zastępowanie klejów na bazie formaldehydu.

Przejsie na bardziej ekologiczne kleje koncentruje się głównie na rozwijaniu bio-polimerów, używanych przede wszystkim z białek, tanin lub ligniny, które oprócz ekonomicznych zalet stawiają przed sobą wyzwania, takie jak odporność na wodę i biodegradacja. Postęp w tej dziedzinie jest znaczący na poziomie laboratoryjnym, ale przejście na skalę przemysłową jest nadal trudne, chociaż nowe regulacje i zwiększona presja społeczna stymulują dalsze badania nad nowymi technologiami bio-klejów (Gonçalves i in. 2021). Może to bardzo istotnie wpłynąć zarówno na ślad węglowy jak i możliwości utylizacji (np. poprzez składowanie i traktowanie płyt OSB jako trwałych rezerwuarów węgla biogenego na końcu życia).

Czynniki wpływające na ślad węglowy wyrobu w całym cyklu życia

Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono szereg czynników, które wpływają na ślad węglowy wyrobu w postaci produktów konopnych w całym cyklu życia:

- wydajność hodowli lasu- w zależności od gatunku drzewa, warunków glebowych, stosowanych zabiegów, środków ochrony, nawozów (jeżeli dotyczy), a także warunków pogodowych, klimatu możliwe jest uzyskanie różnej wydajności i tym samym różnej emisyjności w przeliczeniu na m³ surowca
- ceny współproduktów i ich liczba – podczas produkcji płyt OSB powstają różne odpady drzewne (m.in. kora), które mogą być wykorzystane jako substrat do produkcji ciepła/biogazu na terenie zakładu lub jako współprodukt do sprzedaży na zewnątrz będący nośnikiem emisji. W przypadku dużego zapotrzebowania na energię elektryczną (stabilizacja sieci) i ciepłą (wymogi dot. ograniczania emisji w ciepłowniach i elektrociepłowniach) może się okazać, że sprzedaż będzie istotnie wpływać na związane emisje.
- Uwzględnienie wszystkich etapów cyklu życia – nieuwzględnienie końca życia znacząco zaburza cały obraz związany z emisjami biogennymi, sugerują ujemny ślad węglowy płyt OSB
- faza końca życia - w zależności od sposobu zagospodarowania można uzyskać korzyści na końcu życia. W przypadku recyklingu w rzeczywistości moment emisji węgla biogenego zostanie znacząco odsunięty w czasie.
- Ślad węglowy energii cieplnej – ze względu na fakt, że płyty OSB są prasowane w podwyższonej temperaturze przez co pochodzenie energii cieplnej (spalanie gazu ziemnego, kory, wykorzystanie energii elektrycznej w krajach o niskoemisyjnym miksie energetycznym) będzie istotnie wpływać na końcowy ślad węglowy produktu.

Propozycja modelu obliczeń dla wyrobu budowlanego

A1 – surowce

Emisje związane z sadzonkami, nawozami, środkami ochrony roślin, zabiegami leśnymi w trakcie cyklu życia lasu przemysłowego. Zużycie paliw związanych z pozyskaniem surowca drzewnego. Emisje związane z przekształceniem terenu, szczególnie jeżeli surowiec nie jest pozyskiwany. Analiza powinna być szeroko prowadzona dla całego cyklu hodowlanego drzewa, ponieważ na poszczególnych etapach jest pozyskiwana biomasa w różnej postaci, co może redukować ślad węglowy tego etapu na podstawie alokacji ekonomicznej.

W przypadku płyt OSB należy również uwzględnić syntezę żywicy oraz produkcję wosków.

A2 – transport

Zużycie paliw związane z transportem surowców do zakładu produkcyjnego

A3 – wytwarzanie

Zużycie energii elektrycznej oraz paliw związanych z procesami:

- sortowania
- okorowania
- skrawania (ang. "stranding")
- suszenia
- przesiewania
- prasowania
- cięcia
- pakowania

Obliczenia powinny być skorygowane o powstające współprodukty w postaci m.in. kory oraz pyłu drzewnego, które mogą być wykorzystywane na terenie zakładu do produkcji biogazu/biometanu ciepła/energii elektrycznej lub sprzedawane na zewnątrz do wykorzystania w tych samych celach lub zawrócone do obiegu naturalnego jako biomasa (np. kora).

Należy również uwzględnić emisje związane z zużyciem opakowań.

A4 – transport na miejsce budowy

Zużycie paliw do transportu

A5 – instalacja

Sposób zagospodarowania materiałów opakowaniowych (jeżeli dotyczy), zużycie energii elektrycznej podczas montażu. Oszacowanie i uwzględnienie odpadu podczas montażu (dla CLT wskazano 3%). Możliwe do uwzględnienia są materiały pomocnicze do montażu (wkręty)

B1-B7 – zastąpienie produktu i renowacja

Założono brak emisji na tych etapach, gdyż produkt zainstalowany w budynku nie wymaga dodatkowej konserwacji w czasie.

C1 – Demontaż

Zużycie energii elektrycznej związanej z demontażem (użycie elektronarzędzi). Jest to szczególnie

ważne w przypadku próby odzyskania surowca.

C2 – Transport odpadów

Zużycie paliw do transportu odpadu

C3 – Przetwarzanie odpadów

W przypadku oceny etapu C3 kluczowe jest zamodelowanie emisji płynących z etapu termicznego przekształcenia z odzyskiem energii cieplnej i produkcją energii elektrycznej (oraz odpowiednich korzyści w etapie D) wraz z uwzględnieniem specyfiki europejskiej (a najlepiej krajowej) w kontekście sposobu zagospodarowania tego typu odpadów). Wraz z rozwojem technologii recyklingu sugeruje się uwzględnienie śladu węglowego związanego z procesem recyklingu oraz uwzględnieniem korzyści środowiskowych z tytułu zawrócenia płyty OSB w etapie D. Należy jednak pamiętać o kontekście lokalnym - żeby nie zakładać scenariuszy niewystępujących w krajach, do których produkt jest kierowany.

C4 – Utylizacja

Nie dotyczy.

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

Korzyści środowiskowe związane z produkcją energii cieplnej i ew. energii elektrycznej, w przypadku rozwoju technik recyklingu również procesu odzysku materiału (adekwatnie do dostępnej technologii na rynkach gdzie produkt jest wprowadzany).

Wnioski dodatkowe (do rozważań naukowych dorzucić)

1. Natrafiono na deklaracje producentów wskazujące wykorzystanie do 50% surowców wtórnych, <https://www.swisskrono.com/pl-pl/certyfikaty/#/>, jednak nie jest jednak jednoznacznie wykazane jego pochodzenie surowców oraz konkretny rodzaj surowców. W produkcji płyt OSB powtórne wykorzystanie surowca jest istotnie ograniczone ze względu na strukturę płyt OSB, której nie da się uzyskać z wykorzystaniem recyklatów. Analizując też zawartość EPD powtórne wykorzystanie surowca organicznego, nie jest docenianym procesem w metodyce sporządzania deklaracji EPD, co może mieć związek ze sposobem wykorzystania płyt OSB (branża budowlana, a nie produkcja mebli) oraz ograniczeniami związanymi ze składem chemicznym (dodatek wosku czy ilości żywicy może wpływać na proces produkcji innego typu płyt, co może nie być tak odczuwalne w przypadku płyt wiórowych).
2. Przedstawione w dokumentach opisy procesów produkcyjnych wskazują na wykorzystanie pełnowartościowego surowca drzewnego, możliwego do zastosowania jako drewno konstrukcyjne (wadą deklaracji środowiskowych jest brak przedstawienia alternatywnych możliwości wykorzystania surowca bazowego). Docelowy konsument nie będzie widział zatem różnicy w sposobie i pozyskaniu materiału odpadowego, gdyż w produkcji drzewnej każdy surowiec jest równoważnym współproduktem.
3. Zmniejszenie śladu węglowego i presji na pozyskanie surowca leśnego może się odbywać z wykorzystaniem zamienników w produkcji płyt z wykorzystaniem włókien roślin jednorocznych słomy pszennej, żytniej, ryżowej, rzepaku, czy konopii. Przyjęta metodyka wyznaczania węgla biogenego nie wskazuje na przewagę w zastosowaniu surowców organicznych o szybszym tempie

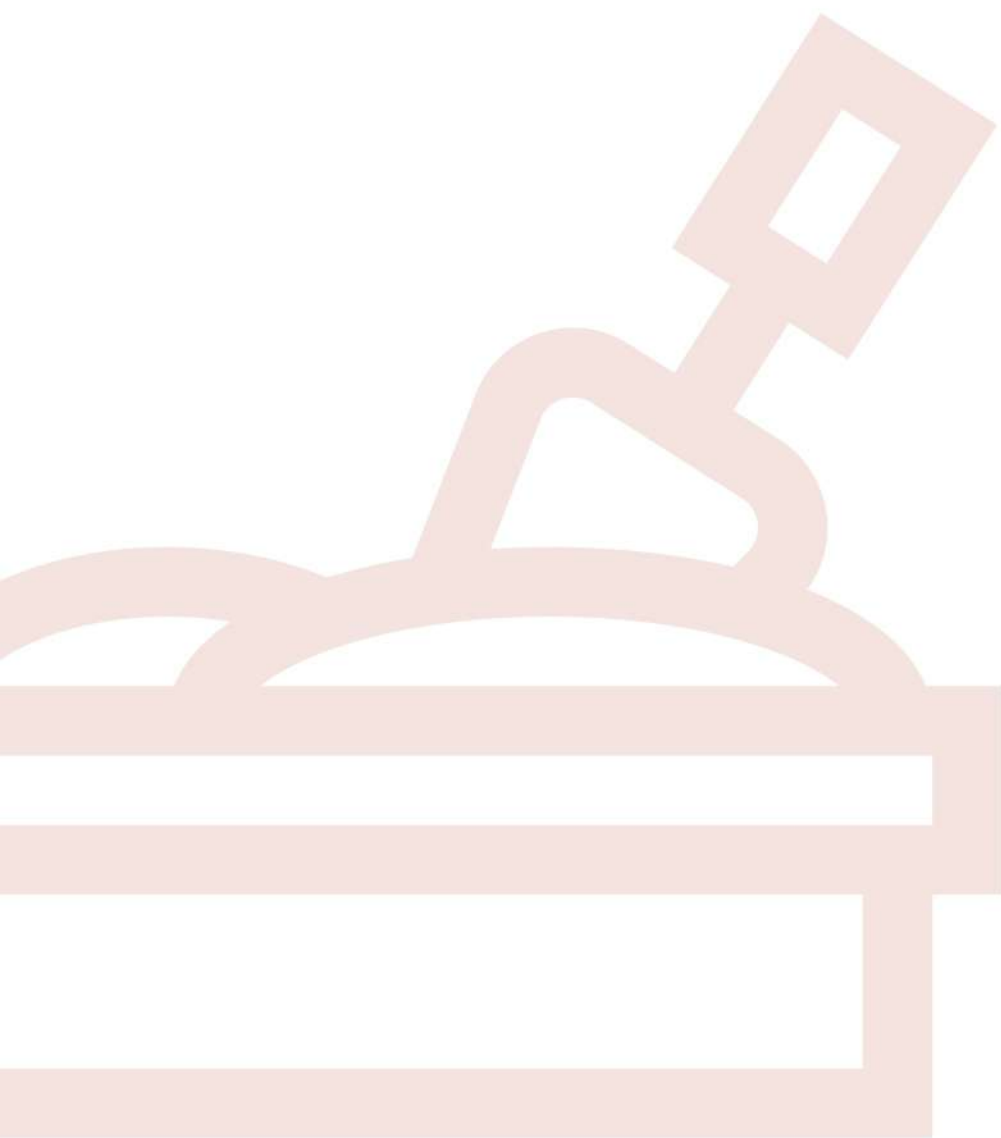
odnawiania niż drewno, ponieważ ślad węglowy nie jest miernikiem bezpośredniego wpływu na środowisko, a na klimat. Do porównania wpływu alternatyw należałoby zwrócić uwagę na wskaźniki związane z bilansem minerałów w glebie, obiegiem wody, zużyciem nawozów czy środków ochrony roślin.

4. Komercjalizacja opracowanych metod produkcji nowych produktów na bazie roślin jednorocznych jest trudna, ze względu na większą cenę początkową produktów, oraz potencjalnie wyższą zawartość żywic i spoiw, przy porównywalnej cenie surowca organicznego (pod znakiem zapytania pozostają jeszcze właściwości fizykochemiczne takie jak moduł sztywności, wytrzymałość na zginanie czy odporność działanie wilgoci). Koncerny nie mają zatem zachęty do wprowadzania i utrzymania na rynku niekonkurencyjnych produktów.
5. Porównanie śladu węglowego płyt konstrukcyjnych (OSB) , powinno zatem dotyczyć obecnych na rynku zamienniku o podobnych właściwościach użytkowych i konstrukcyjnych:
 - płyty włóknowo-gipsowe
 - twarde płyty paździerzowe
 - płyty ze sprasowanej słomy w osnowie kartonowej (nie wykazują tak dużej wytrzymałości konstrukcyjnej, ale w większości zastosowań posiadają cechy wystarczające do usztywnienia konstrukcji szkieletowej; dodatkowo są aktywne dyfuzyjnie i nie zawierają spoiw na bazie żywic.

³³ <https://forestor.pl/2022/05/swiss-krono-tworzy-krok-wyprzedzajacy-dla-recyklingu-drewna-w-polsce/>

³⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Oriented_structural_straw_board

³⁵ <https://www.hempmonster.com/hemp-osb-by-plantd/>



Piasek

Rodzaj surowca: piasek

Zastosowanie

Piasek jest kluczowym składnikiem betonu, gdzie działa jako wypełniacz, poprawiając jego właściwości strukturalne i zmniejszając skurcz. W zaprawach murarskich piasek pełni funkcję wzmocnienia i zapewnia odpowiednią konsystencję, a w tynkach – gładkość i trwałość powierzchni.

Liczba EPD: 4

Opis

Piasek jest jednym z najbardziej powszechnych materiałów naturalnych wykorzystywanych w budownictwie. Jego obecność jest niezbędna w wielu procesach produkcyjnych i konstrukcyjnych, od produkcji betonu po tworzenie zapraw murarskich. Charakteryzuje się wysoką dostępnością i różnorodnością typów, co czyni go wszechstronnym materiałem budowlanym. Składa się z drobnych ziaren mineralnych, zazwyczaj kwarcu, choć jego skład może się różnić w zależności od źródła.

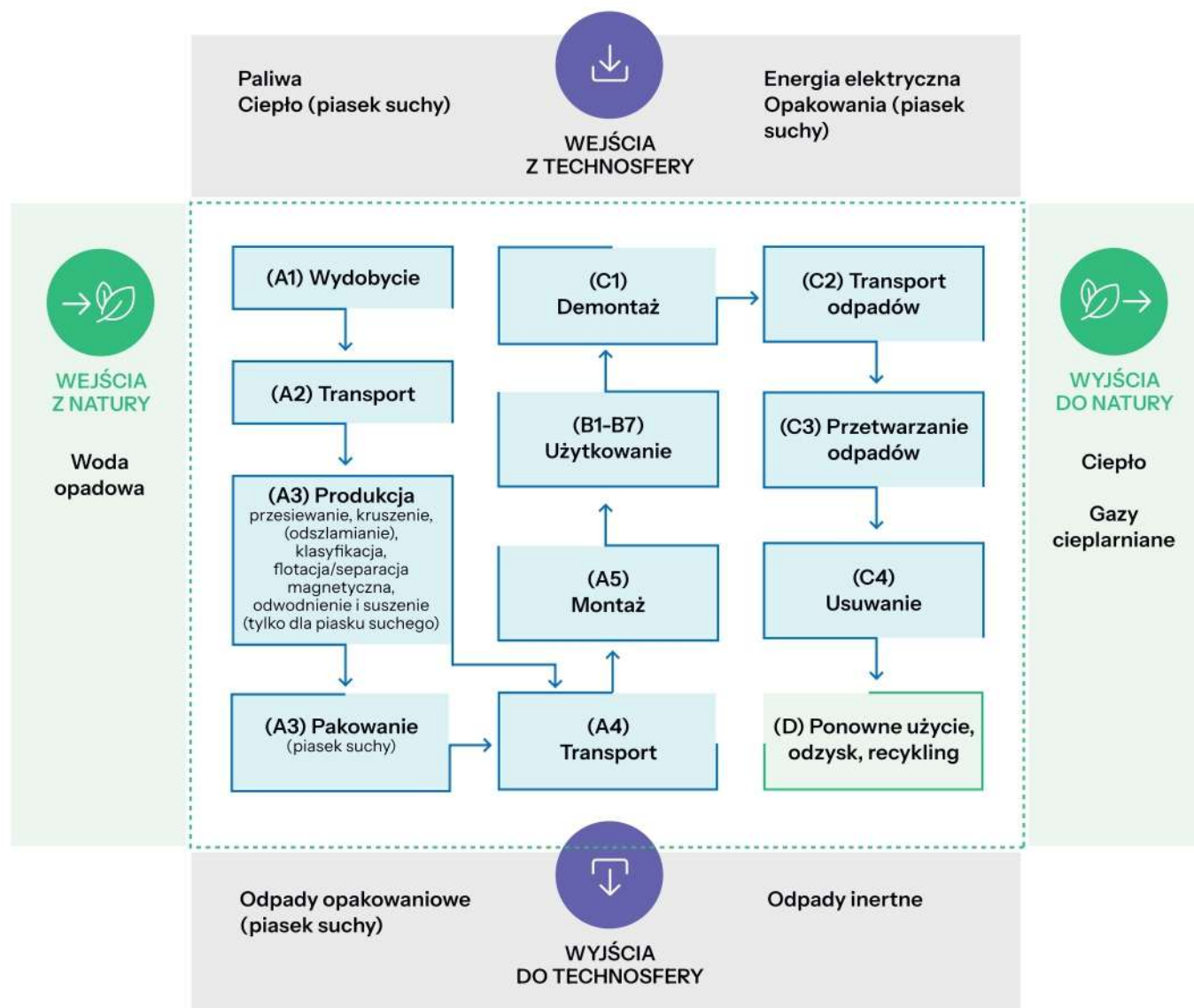
Wielkość i kształt ziaren mają kluczowe znaczenie dla jego właściwości, takich jak przepuszczalność czy zdolność do wiązania. Surowiec pozyskiwany z naturalnych źródeł, takich jak rzeki, jeziora, morza i kopalnie odkrywkowe, piasek jest materiałem odnawialnym, jednak jego nadmierna eksploatacja może prowadzić do problemów środowiskowych. Deklaracje środowiskowe zawierające piasek, zazwyczaj są elementem gotowych produktów zapraw i betonów. Zakłady wydobywcze nie posiadają w Polsce certyfikatów i deklaracji środowiskowych, pomimo hurtowej sprzedaży produktu na rynek budowlany.

Poniżej przedstawiono podstawowe zastosowania piasku:

- Produkcja betonu - piasek jest kluczowym składnikiem betonu, gdzie działa jako wypełniacz, poprawiając jego właściwości strukturalne i zmniejszając skurcz.
- Zaprawy i tynki - w zaprawach murarskich piasek pełni funkcję wzmocnienia i zapewnia odpowiednią konsystencję, a w tynkach – gładkość i trwałość powierzchni.
- Budowa dróg - używany jako podstawa pod nawierzchnie drogowe, zapewnia stabilizację i drenaż.
- Filtracja – w systemach filtracji wody piasek stosowany jest do usuwania zanieczyszczeń ze względu na swoje właściwości filtracyjne.

Założenia poszczególnych deklaracji środowiskowych EPD

Schemat cyklu życia



Zestawienie danych z deklaracji środowiskowych

Oznaczenie	60	62	63	64
Producent/nazwa produktu	Mineração JUNDU	GRUPPO BASSANETTI – Via Granelli	Polaris Materials Corporation	Vulcan Materials Company
Referencyjny czas użytkowania [lata]	50 lat	-	-	-
Jednostka funkcjonalna/deklaratywna	1 t piasku suchego	1 t	1 t	1 t (waga sucha).
Gęstość [kg/m³]	-	-	- , zgodne z ASTM C 33.	- , zgodne z ASTM C 33.
Podział emisji [-]			-	
Reprezentatywność geograficzna	Produkcja i transport w Brazylii	WŁOCHY – Produkty wydobywane i przetwarzane w kraju	Kanada	USA
Rok badania	2021	Od lipca 2018 r. do czerwca 2019 r.	2017	2017
Uwagi	Tylko w tej deklaracji ujęto etapy C1-C4			

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego:

ASTM Product Category Rules (PCR) for Construction Aggregates: Natural Aggregate, Crushed Concrete, and Iron/Steel Furnace Slag, issued January, 2017, PCR 2019:14EN15804+A2: 2019/AC:2021, IOMQ-001/15 rev. 2.1 z dn. 03/06/2019

Bazy danych i jakość danych:

Ecoinvent v3.5, Allocation, Cut-off by classification. W dwóch przypadkach użyto lokalnego źródła danych dot. energii elektrycznej (brak informacji nt. baz danych).

W jednym przypadku przeprowadzona ocena jakości danych odzwierciedla słabą jakość danych inwentaryzacyjnych dla reprezentacji geograficznej, dobrą dla reprezentacji technologicznej i dobrą dla reprezentacji czasowej.

Etapy cyklu życia:

A1 – surowce

Piasek składający się z różnych frakcji jest pozyskiwany odkrywkowo z gleby. W obliczeniach ujęto transformację terenu.

A2 – transport

Transport jest realizowany do przestrzeni składowania

A3 – wytwarzanie

Wytwarzanie piasku budowlanego składa się z przesiewania, kruszenia (w niektórych przypadkach konieczne jest zastosowanie odszlamiania), klasyfikacja oraz flotacja/separacja frakcji magnetycznej. W przypadku piasku suchego stosuje się również proces suszenia. W jednym przypadku emisje związane z suszeniem zostały objęte w etapie A1.

Etap obejmuje również pakowanie i utylizację odpadów.

A4 – transport na miejsce budowy

W jednym EPD wskazano transport na odległość 280 km oraz 100 km dostawy na teren budowy, w drugim transport morski na odległość ok. 115-155 km (w tabeli ujęto ok. 155 km), bez dostaw na teren budowy.

Piasek w dalszych etapach jako surowiec - wyrób budowlany o jednorodnych właściwościach stosowany jest jedynie jako podsypka w fundamentowaniu. Jako surowiec dla pozostałych wyrobów nie ma możliwości rozdziału i jest traktowany jako element innych wyrobów budowlanych.

A5 – instalacja

W jednej deklaracji na etapie instalacji założono odzysk 100% surowców opakowaniowych dla piasku suchego oraz ich ponowne wykorzystanie.

B1-B5 – zastąpienie produktu i renowacja

Założono brak emisji z tytułu tych etapów

C1 – Demontaż

Założono brak emisji z tytułu demontażu dla piasku.

C2 – Transport odpadów

Założono transport odpadów na odległość 100 km, pojazdem o ładowności 24 ton i przy spalaniu rzędu 38 l oleju napędowego / 100 km.

C3 – Przetwarzanie odpadów

Założono brak emisji w związku ze składowaniem piasku

C4 – Utylizacja

Założono koniec życia 100% piasku na drodze składowania.

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

Założono brak korzyści w związku ze składowaniem surowca

Wykluczenia z obliczeń

Ślad węglowy surowca

Tab. X Ślad węglowy piasku [kgCOe2]

		Piasek mokry (G2)		Piasek suchy (G2 – suszenie w etapie A1)		
		Luzem	W workach z tworzywa sztucznego	Luzem	w Big-bagach	W workach z tworzywa sztucznego
		GWPf*				
A1	Zaopatrzenie w surowce, w tym suszenie	2,47	4,34	18,50	19,50	20,40
A2	transport surowców,	0,17	3,34	3,83	7,62	10,70
A3	produkcja	0,02	13,00	0,02	3,97	13,00
A4	Transport do miejsca użytkowania	-	-	-	-	-
A5	Instalacja	-	-	-	-	-
B1-B7	Użytkowanie	-	-	-	-	-
C1	Rozbiórka/wyburzenie	-	-	-	-	-
C2	Transport odpadów	-	-	-	-	-
C3	Przetwarzanie odpadów	-	-	-	-	-
C4	Usuwanie	-	-	-	-	-
D	Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	-	-	-	-	-

* Emisje biogenne nieistotne

		Piasek suchy (60), pakowany			Piasek mokry (63) luzem	Piasek mokry (wyprodukowany, prawdopodobnie na drodze kruszenia, luzem (64))	Piasek mokry (wyprodukowany na drodze płukania), luzem (64)
		GWPf	GWPb	GWPI	GWPf*	GWPf*	GWPf*
A1-A3	Zaopatrzenie w surowce, transport surowców, produkcja	12,700000	-0,0239	0,047700	1,65	7,49	4,87
A4	Transport do miejsca użytkowania	10,800000	0,000000	0,911000	11,35	-	-
A5	Instalacja	0,063500	0,0239	0,005350		--	-
B1-B7	Użytkowanie	0,000000	0,000000	0,000000	-	-	-
C1	Rozbiórka/wyburzenie	0,000000	0,000000	0,000000	-	-	-
C2	Transport odpadów	0,000000	0,000000	0,000355	-	-	-
C3	Przetwarzanie odpadów	0,000000	0,000000	0,000000	-	-	-
C4	Usuwanie	0,015500	0,043600	0,000367	-	-	-
D	Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	0,000000	0,000000	0,000000	-	-	-

* Emisje biogenne nieistotne

Piasek jest surowcem stosunkowo łatwo dostępnym, który cechuje się bardzo małym śladem węglowym. Trudność w porównywaniu wynika z faktu, że zależnie od dokumentu, wskazywana jest jedna tona surowca lub jedna tona suchego surowca (pomimo, że w obliczeniach ujmowany jest surowiec mokry bez podawania zawartości wody). Jest on związany przede wszystkim z pracami wydobywczymi, a w przypadku piasku suchego również odwodnieniem i suszeniem (suszenie odpowiada za ok. 10-15 kg CO₂e/tonę surowca). W większości przypadków nie ujęto emisji biogennych, ponieważ produkcja piasku nie wiąże się z takimi emisjami. W jednym przypadku konieczne było ich ujęcie, ponieważ zastosowanie opakowań papierowych wiązało się z emisjami biogennymi, które w obiegu makulatury, czy spalania tworzą odrębny model w gospodarce obiegu zamkniętego.

W jednym przypadku ujęto emisje związane z użytkowaniem terenu i zmianą użytkowania terenu, ze które stanowi istotną wartość w całkowitych emisjach związanych z pozyskaniem piasku mokrego. Zaobserwowano również istotny udział emisji związanych z opakowaniami, który kilkakrotnie przewyższał emisje związane z pozyskaniem mokrego piasku. To pokazuje, że w przypadku niskoemisyjnych surowców opakowania stanowią kluczowe źródło emisji.

Warto zwrócić uwagę, że żaden z analizowanych modeli nie dotyczył lokalnie pozyskiwanego piasku w Polsce dla celów budowlanych. Ze względu na emisje związane przede wszystkim z paliwami kopalnymi średnie wartości uzyskane na podstawie omówionych deklaracji mogą być stosowane w Polsce po uwzględnieniu czynników wpływających na ślad węglowy piasku wymienionych poniżej.

Czynniki wpływające na ślad węglowy wyrobu w całym cyklu życia

Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono szereg czynników, które wpływają na ślad węglowy wyrobu w postaci piasku w całym cyklu życia:

- Zawartość wilgoci – w zależności od zawartości wilgoci inna ilość suchego piasku będzie transportowana. W deklaracjach nie znaleziono informacji nt. zawartości wilgoci w piasku, co utrudnia możliwości porównania wyników
- współprodukty – ze względu na zbliżoną cenę możliwe jest stosowanie alokacji fizycznej, dzięki czemu emisje będą bezpośrednio związane z masą uzyskanego piasku i nie będą fluktuować w czasie
- zużycie energii - ślad węglowy pozyskaniem surowca związany jest z zużyciem paliw potrzebnych do wydobycia, z kolei etap wytwarzania wiąże się z opcjonalnym zużyciem energii na potrzeby suszenia piasku oraz pakowanie.
- Opakowania - w przypadku produktu pakowanego konieczne jest uwzględnienie śladu węglowego worków papierowych lub z HDPE, które przy małych emisjach związanych z wydobyciem piasku mogą być istotne.
- Użycie produktu – w obliczeniach założono, że emisje związane z użyciem są równe zero, w rzeczywistości jednak piasek stanowi składnik różnych innych surowców, których utrzymanie wymaga m.in. wymieszania składników. O ile są to procesy mechaniczne i nie są bardzo energochłonne, o tyle przy bardzo małej emisyjności piasku mogą stanowić istotny udział w całości emisji.
- demontaż i alokacja emisji – w zaledwie jednej deklaracji znaleziono informacje nt. demontażu, w której przypisano tu emisje równe 0, podczas gdy proces rozbiórki wymaga zużycia pewnej ilości energii. O ile są to procesy mechaniczne i nie są bardzo energochłonne, o tyle przy bardzo małej emisyjności piasku mogą stanowić istotny udział w całości emisji. W rzeczywistości piasek jest wykorzystywany w różnych produktach i stanowi istotny ich udział. Jeżeli emisje będą przypisane względem ceny surowca, to faktycznie emisje przypisane do piasku będą marginalne. Jeżeli jednak emisje będą przypisywane masowo, to wtedy udział emisji może być istotny.
- Transport – ze względu na bardzo mały ślad węglowy produkcji piasku ślad węglowy transportu nawet na małe odległości jest kilkakrotnie większy od śladu węglowego produkcji piasku. Może mieć on kluczowe znaczenie w całkowitym śladzie węglowym surowca.
- Ponowne wykorzystanie – w obliczeniach założono brak ponownego wykorzystania surowca na końcu życia. W praktyce istnieją już technologie pozwalające na produkcję kruszyw z odpadów budowlanych. W ten sposób możliwe jest uzyskanie dodatkowych korzyści środowiskowych poprzez wyprodukowanie np. kruszywa z recyklingu (szczególnie w obszarach miejskich, ograniczając ślad węglowy transportu) zamiast kruszywa z surowców pierwotnych.
- Piasek w zasadzie nie ma możliwości rozdzielenia ze spoiwami i dla zapraw betonowych czy wapiennych, może być traktowany wyłącznie łącznie jako gruz lub kruszywo recyklingowe w produktach budowlanych. Na drodze produkcji kruszywa z recyklingu możliwe jest uzyskanie korzyści środowiskowych na końcu życia (zależnie od śladu węglowego potrzebnego na obróbkę recyklatu).
- Wpływ użytkowania gruntów w eksploatacji i rekultywacji gruntów, może być kluczowym nie uwzględnianym aspektem. Końcowe wyrobiska są często obecnie wykorzystywane jako miejsce składowania odpadów, docelowo mogą być także magazynem dla zanieczyszczonej masy organicznej. Dodatkowo, samo pozyskanie piasku w początkowym etapie może stanowić źródła emisji w związku z usunięciem wierzchniej warstwy gleby i jej degradacji.

Propozycja modelu obliczeń dla wyrobu budowlanego

A1 – surowce

Zużycie paliw związanych z wydobywaniem piasku. Emisje związane z przekształceniem terenu, szczególnie jeżeli może doprowadzić do emisji węgla biogenego zgromadzonego w usuniętej glebie

A2 – transport

Zużycie paliw związane z transportem do zakładu produkcyjnego

A3 – wytwarzanie

Zużycie paliw i energii elektrycznej na etapy przesiewania, kruszenia (w niektórych przypadkach konieczne jest zastosowanie odszlamiania), klasyfikację, flotację, separację magnetyczną (jeżeli dotyczy). W przypadku piasku suchego - zużycie paliw lub/i energii elektrycznej na suszenie. W przypadku pakowania - zużycie energii na proces pakowania.

A4 – transport na miejsce budowy

Zużycie paliw do transportu

A5 – instalacja

Sposób zagospodarowania materiałów opakowaniowych (jeżeli dotyczy)

B1-B7 – zastąpienie produktu i renowacja

Założono brak emisji z tytułu tych etapów, chociaż teoretycznie możliwe zostać uwzględniona eksploatacja wyrobów wytwarzanych z wykorzystaniem piasku (drogi, budynki mają relatywnie małe zużycie energii w porównaniu do intensywnie eksploatowanych dróg)

C1 – Demontaż

Założono brak emisji z tytułu demontażu dla piasku, ponieważ zazwyczaj stanowi on element składowy innych surowców. W przypadku dróg sugerowane jest uwzględnienie zużycia paliw potrzebnego do wydobywania i demontażu drogi (proporcjonalnie do alokacji fizycznej lub ekonomicznej)

C2 – Transport odpadów

Zużycie paliw do transportu

C3 – Przetwarzanie odpadów

Nie dotyczy

C4 – Utylizacja

Założono koniec życia 100% piasku na drodze składowania.

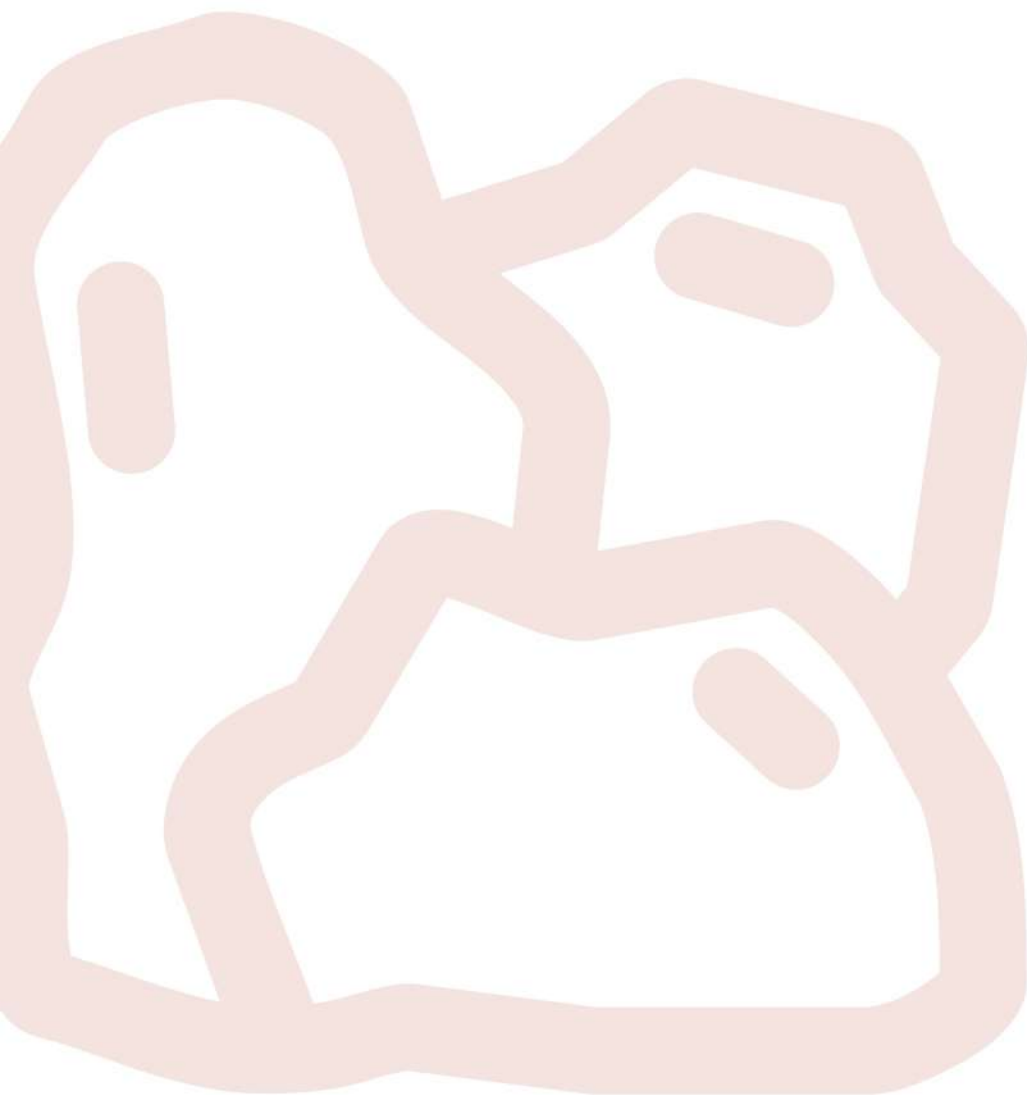
D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

W przypadku recyklingu wyrobów zawierających piasek (kruszywa z recyklatu betonowego) możliwe jest uzyskanie korzyści środowiskowych, zależnie od zużycia energii potrzebnych do produkcji wspomnianych kruszyw.

Średni ślad węglowy surowca

Powyższe wyliczenia zostały określone z wyłączeniem śladu węglowego transportu na budowę, gdyż ten istotnie różni się zależnie od metody transportu i odległości

- Piasek mokry luzem - 4,17
- Piasek mokry w opakowaniu - 22,35
- Piasek suszony luzem - 13,79
- Piasek suchy w opakowaniu - 44,10
- Piasek suchy w bigbaku - 31,09



Kruszywa

Rodzaj surowca: kruszywa

Zastosowanie: beton i zaprawy: jako kluczowy składnik betonu, kruszywa zapewniają mu strukturę, wytrzymałość oraz odporność na uszkodzenia.

Liczba EPD: 5

Opis

Kruszywa są jednymi z najczęściej używanych materiałów w budownictwie, obejmując szeroką gamę materiałów granicznych, takich jak żwir, kamień łamany oraz inne rodzaje skalnych i mineralnych surowców. Ze względu na swoją wszechstronność, kruszywa znajdują zastosowanie w różnych aspektach budownictwa, od produkcji betonu po budowę dróg i inżynierię lądową.

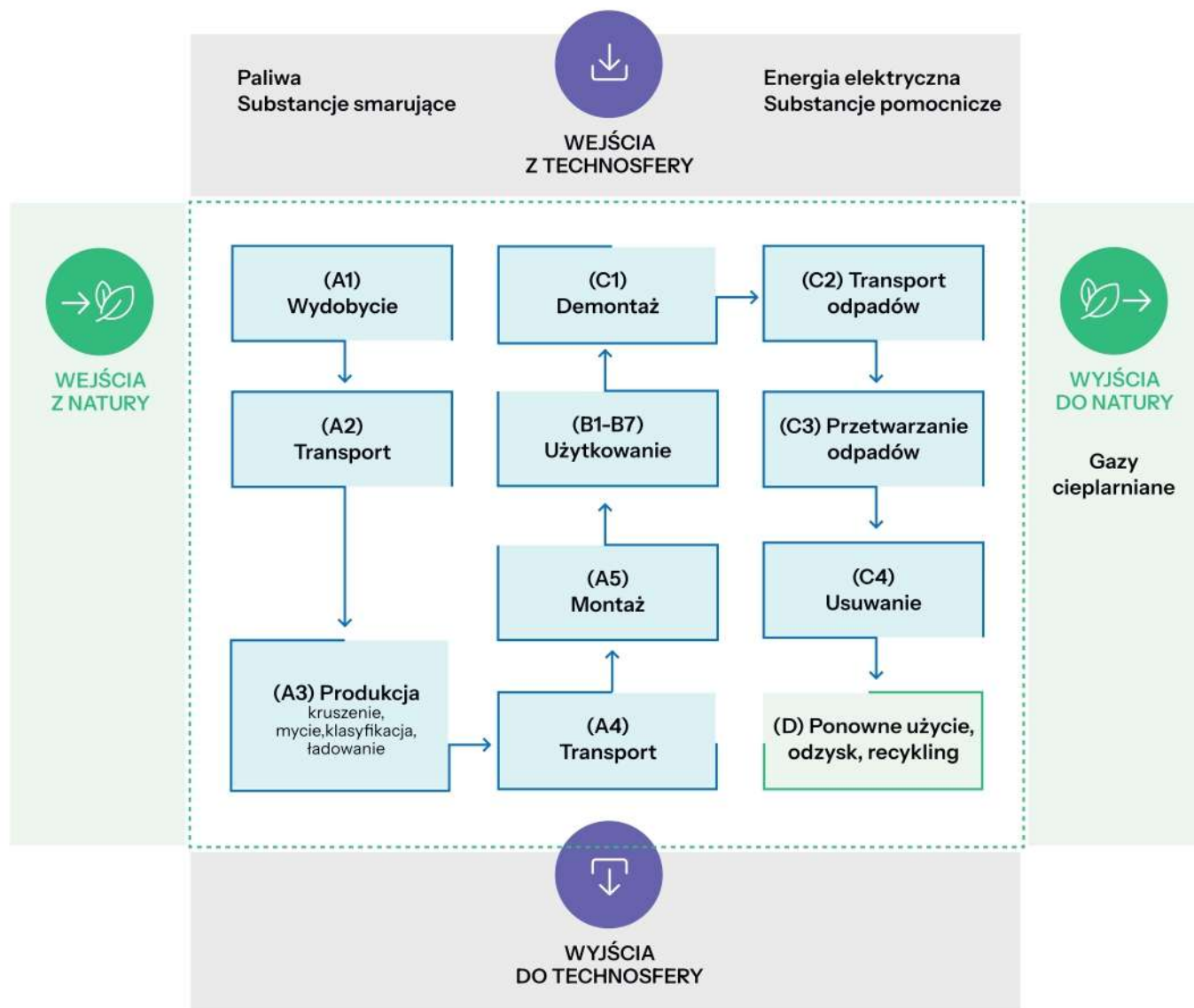
Kruszywa są wybierane ze względu na ich wytrzymałość, odporność na ściskanie i zużycie, co jest kluczowe dla trwałości i stabilności konstrukcji. Są to materiały dostępne w różnych rozmiarach i typach, od drobnego żwiru po większe kamienie, kruszywa mogą być dostosowane do specyficznych potrzeb projektowych. Większość kruszyw pochodzi z naturalnych źródeł, takich jak rzeki, kopalnie odkrywkowe czy kamieniołomy, co czyni je szeroko dostępnymi.

Poniżej przedstawiono podstawowe zastosowania kruszyw:

- Produkcja betonu - żwir jako stanowi podstawowy składnik betonu, zapewnia mu odpowiednią strukturę, wytrzymałość oraz odporność na uszkodzenia.
- Budowa dróg – kruszywa są wykorzystywane w budowie podbudowy dróg, nawierzchni asfaltowych oraz chodników, gdzie zapewniają stabilność i drenaż.
- Konstrukcje inżynieryjne – kruszywa są stosowane w fundamentach, nasypach kolejowych, groblach oraz jako materiał filtracyjny i drenażowy.
- Krajobraz i architektura ogrodowa - kruszywa są używane jako dekoracyjny element krajobrazowy, w ścieżkach ogrodowych, jako pokrycie gruntu czy elementy małej architektury.

Założenia poszczególnych deklaracji środowiskowych EPD

Schemat cyklu życia



Zestawienie danych z deklaracji środowiskowych

Oznaczenie	59 kruszywa	64 kruszywa betonowe	61	62	63
Producent/nazwa produktu	Vilniaus karjerai, JSC	Vulcan Materials Company	Vulcan Materials Company	GRUPPO BASSANETTI – Via Granelli	Polaris Materials Corporation
Typ produktu	Kruszywa wydobywane lub kruszone	Kruszywa betonowe			
Referencyjny czas użytkowania [lata]	-	-	-	Referencyjny okres użytkowania: N.D. - LCA przeprowadzona z zastosowaniem podejścia "od kołyski do bramy"	-
Jednostka funkcjonalna/deklaratywna	1 t	1 t (sucha waga)	1 t (sucha waga)	1 t	1 t
Podział emisji [-]	Alokacja fizyczna, tam gdzie występuje produkcja większej liczby kruszyw				
Reprezentatywność geograficzna	Europa	USA	USA	WŁOCHY – Produkty wydobywane i przetwarzane w kraju	Kanada
Rok badania	Dane pierwotne zostały zebrane wewnętrznie. Dane dotyczące produkcji odnoszą się do średniej z okresu 2020 październik – 2021 wrzesień.	2017	2020	Od lipca 2018 r. do czerwca 2019 r.	2017
Adnotacje nt. dostępnych informacji	Szczegółowy opis urzędzie stosowanych w procesie produkcyjnym, wzmianka o par. 5.2 z EN 15804				

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego:

PCR 2019:14 Construction products (version 1.1), EN 15804:2012+A2:2019 Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products, ASTM Product Category Rules (PCR) for Construction Aggregates: Natural Aggregate, Crushed Concrete, and Iron/Steel Furnace Slag, issued January, 2017

Bazy danych i jakość danych:

ecoinvent v3.5, Allocation, Cut-off by classification, Ecoinvent 3.6., dane lokalne nt. emisyjności miksu energii elektrycznej

Etapy cyklu życia:

A1 – surowce

Kruszywa są wydobywane odkrywkowo z gleby, chociaż mogą być wydobywane również z rzek. W deklaracjach zawarto bardzo skąpe opisy dot. pozyskania piasku, jednak w jednej z deklaracji szczegółowo omówiono aspekty związane z rozpoczęciem pozyskiwania (nakład – usuwanie warstwy gleby z wykorzystaniem koparki i spychacza, przechowywanej w celu późniejszej rekultywacji) jego trwaniem (omówienie rodzajów urządzeń stosowanych w procesie przesiewania, mycia, sortowania i kruszenia), oraz zakończenia procesu poprzez rekultywację (nakładanie wcześniej usuniętej żyznej warstwy gleby, budowa sieci kanałów odwadniających i doprowadzających wodę, instalacja urządzeń oszczędzających glebę w celach takich jak: ochrona przyrody, rekreacja, rolnictwo, leśnictwo)

A2 – transport

Transport jest realizowany do przestrzeni składowania, brak informacji nt. pokonywanych odległości.

A3 – wytwarzanie

Wytwarzanie kruszywa składa się z przesiewania, mycia (zależnie od rodzaju), sortowania i kruszenia (zależnie od rodzaju). Etap obejmuje również utylizację odpadów.

W żadnym z analizowanych dokumentów nie zadeklarowano etapów A4-D. O ile etapy A4-B5 nie są obligatoryjne w podstawowej wersji EPD, o tyle C1-D już tak. W jednym EPD zadeklarowano podstawę wykluczenia etapów C1-D – mianowicie zostało zrealizowane na podstawie par. 5.2 normy EN15804, mówiącego, że pominięcie tych etapów jest możliwe w sytuacji gdy materiał spełnia jednocześnie 3 kryteria:

- produkt lub materiał jest fizycznie zintegrowany z innymi produktami podczas instalacji, w związku z czym nie można ich fizycznie oddzielić od nich po zakończeniu cyklu życia
- po zakończeniu cyklu życia produktu lub materiału nie można już zidentyfikować w wyniku procesu transformacji fizycznej lub chemicznej
- produkt lub materiał nie zawiera węgla biogenego.

Z tego powodu w przypadku surowców mineralnych możliwe jest uproszczenie procesu oceny cyklu życia, niemniej nie zawsze jest to pożądane.

A4 – transport

W jednym EPD zawarto informację nt. transportu na odległość rzędu 115-155 km, bez dostaw na teren budowy.

Ślad węglowy surowca

Tab. X Ślad węglowy kruszywa

		A1-A3			
		Zaopatrzenie w surowce, transport surowców, produkcja			
		GWPf	GWPb	GWPI	
59	Żwir kruszony	3,63	0,01430	0,00148	
61	Żwir typ 1 1/2"	3,85			
	Żwir typ 3/8"	3,44			
	Żwir typ Fill Rock	3,39			
	Żwir typ WCS	3,63	A1	A2	A3
	Żwir typ Nursery	3,79	Zaopatrzenie w surowce	Transport	Produkcja
62	Żwir	2,67	2,47	0,17	0,02
64	Żwir typ 3/4", kruszony	5,63			
	Żwir typ 3/8", kruszony	5,75			
	Żwir typ Class II Base	5,31			
	Żwir kruszony, typ Class II Perm	5,26			
	Żwir typ Class II Perm	4,5			
	Żwir typ 1" x #4	4,43			
	Żwir typ 3/4" x #4	4,48			
	Żwir typ Pea Gravel	4,61	A4 (ok. 115 km)	A4 (ok. 155 km)	
63	Żwir	1,55	9,25	11,35	

Żwir jest surowcem stosunkowo łatwo dostępnym, który cechuje się bardzo małym śladem węglowym. Trudność w porównywaniu wynika z faktu, że zależnie od dokumentu, wskazywana jest jedna tona surowca lub jedna tona suchego surowca (pomimo, że w obliczeniach ujmowany jest surowiec mokry bez podawania zawartości wody). Jest on związany przede wszystkim z pracami wydobywczymi, myciem oraz kruszeniem – gdzie kruszenie skutkuje wyraźnie większymi emisjami). W większości przypadków nie ujęto emisji biogenych i związanych z użytkowaniem i przekształceniem terenu, ponieważ produkcja piasku nie wiąże się z takimi emisjami (a tam gdzie ujęto, są one nieistotne). To pokazuje, że w przypadku niskoemisyjnych surowców transport stanowi kluczowe źródło emisji

Ze względu na emisje związane przede wszystkim z paliwami kopalnymi średnie wartości uzyskane na podstawie omówionych deklaracji mogą być stosowane w Polsce po uwzględnieniu czynników wpływających na ślad węglowy piasku wymienionych poniżej. Różnice mogą wynikać przede wszystkim od efektywności pracy maszyn i sposobu pozyskania danego typu żwiru.

Czynniki wpływające na ślad węglowy wyrobu w całym cyklu życia

Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono szereg czynników, które wpływają na ślad węglowy wyrobu w postaci piasku w całym cyklu życia:

- Zawartość wilgoci – w zależności od frakcji wilgoć może mieć pewien wpływ na wielkość finalnego

śladu węglowego żwiru.

- współprodukty – alokacja ekonomiczna może wpłynąć na cenę poszczególnych typów kruszyw.
- instalacja – w obliczeniach założono, że emisje związane z użyciem są równe zero, w rzeczywistości jednak żwir stanowi składnik różnych innych surowców, których utrzymanie wymaga m.in. wymieszania składników. O ile są to procesy mechaniczne i nie są bardzo energochłonne, o tyle przy bardzo małej emisyjności żwiru mogą stanowić istotny udział w całości emisji.
- demontaż i alokacja emisji – w zaledwie jednej deklaracji znaleziono informacje nt. demontażu, w której przypisano tu emisje równe 0, podczas gdy proces rozbiórki wymaga zużycia pewnej ilości energii. O ile są to procesy mechaniczne i nie są bardzo energochłonne, o tyle przy bardzo małej emisyjności żwiru mogą stanowić istotny udział w całości emisji. W rzeczywistości żwir jest wykorzystywany w różnych produktach i konstrukcjach i stanowi istotny ich udział. Jeżeli emisje będą przypisane względem ceny surowca, to faktycznie emisje przypisane do piasku będą marginalne. Jeżeli jednak emisje będą przypisywane masowo, to wtedy udział emisji może być istotny.
- Transport – ze względu na bardzo mały ślad węglowy produkcji żwiru ślad węglowy transportu nawet na małe odległości jest kilkukrotnie większy od śladu węglowego produkcji żwiru. Może mieć on kluczowe znaczenie w całkowitym śladzie węglowym surowca.
- Ponowne wykorzystanie – w obliczeniach założono brak ponownego wykorzystania surowca na końcu życia. W praktyce istnieją już technologie pozwalające na produkcję kruszyw z odpadów budowlanych. W ten sposób możliwe jest uzyskanie dodatkowych korzyści środowiskowych poprzez wyprodukowanie np. kruszywa z recyklingu (szczególnie w obszarach miejskich, ograniczając ślad węglowy transportu) zamiast kruszywa z surowców pierwotnych.

Propozycja modelu obliczeń dla wyrobu budowlanego

Dla kruszyw sugeruje się jednoczesną alokację fizyczną oraz ekonomiczną, ponieważ ceny surowca mogą znacząco się zmieniać zarówno w czasie jak i w zależności od lokalizacji gdzie surowiec jest wydobywany (w związku z zazwyczaj małymi odległościami transportowymi..

A1 – surowce

Zużycie paliw związanych z wydobywaniem żwiru. Emisje związane z przekształceniem terenu, szczególnie jeżeli może doprowadzić do emisji węgla biogenego zgromadzonego w usuniętej glebie

A2 – transport

Zużycie paliw związane z transportem do zakładu produkcyjnego

A3 – wytwarzanie

Zużycie paliw i energii elektrycznej na etapy przesiewania, kruszenia (w niektórych przypadkach konieczne jest zastosowanie odszlamiania), klasyfikację.

A4 – transport na miejsce budowy

Zużycie paliw do transportu

A5 – instalacja

Sposób zagospodarowania materiałów opakowaniowych (jeżeli dotyczy), emisje związane z wytworzeniem produktu finalnego podczas instalacji (praca maszyn budowlanych, mieszanie)

B1-B7 – zastąpienie produktu i renowacja

Założono brak emisji z tytułu tych etapów, ponieważ użytkowanie kruszyw nie generuje emisji

C1 – Demontaż

Zużycie energii i paliw potrzebnych do demontażu (wyburzenia lub rozbiórki) - emisje należy przypisać proporcjonalnie do alokacji fizycznej)

C2 – Transport odpadów

Zużycie paliw do transportu

C3 – Przetwarzanie odpadów

Nie dotyczy, w przypadku produkcji kruszywa budowlanego z gruzu należy przypisać tu emisje

C4 – Utylizacja

Założono koniec życia 100% żwiru poprzez składowanie.

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

W przypadku recyklingu wyrobów zawierających kruszywa (kruszywa z recyklatu betonowego) możliwe jest uzyskanie korzyści środowiskowych, na drodze zastąpienia surowca pierwotnego

Inne: w obliczeniach należy przeprowadzić alokację ekonomiczną pod kątem śladu węglowego poszczególnych frakcji



Gлина

(tynk gliniany)

Rodzaj surowca: tynk gliniany (brak EPD dot. czystej gliny)

Zastosowanie: wewnętrzne wykończenie ścian, renowacje, budownictwo ekologiczne

Liczba EPD: 1

Opis

Tynk gliniany jest tradycyjnym materiałem budowlanym, który ostatnio zyskał na popularności w kontekście budownictwa ekologicznego i naturalnego. Składający się głównie z gliny, piasku, wody oraz różnych dodatków naturalnych, takich jak włókna roślinne czy słoma, tynk ten jest stosowany zarówno w nowoczesnych, jak i renowacyjnych projektach budowlanych, oferując wiele korzyści środowiskowych i zdrowotnych.

Do cech przypisywanych tynkom glinianym można zaliczyć:

Naturalność składników - tynk gliniany składa się z odnawialnych surowców, co czyni go wyjątkowo przyjaznym dla środowiska.

Zdolność do regulacji wilgotności - Dzięki zdolności do absorbowania i oddawania wilgoci, tynk gliniany pomaga utrzymać zdrowy i zrównoważony mikroklimat w pomieszczeniach.

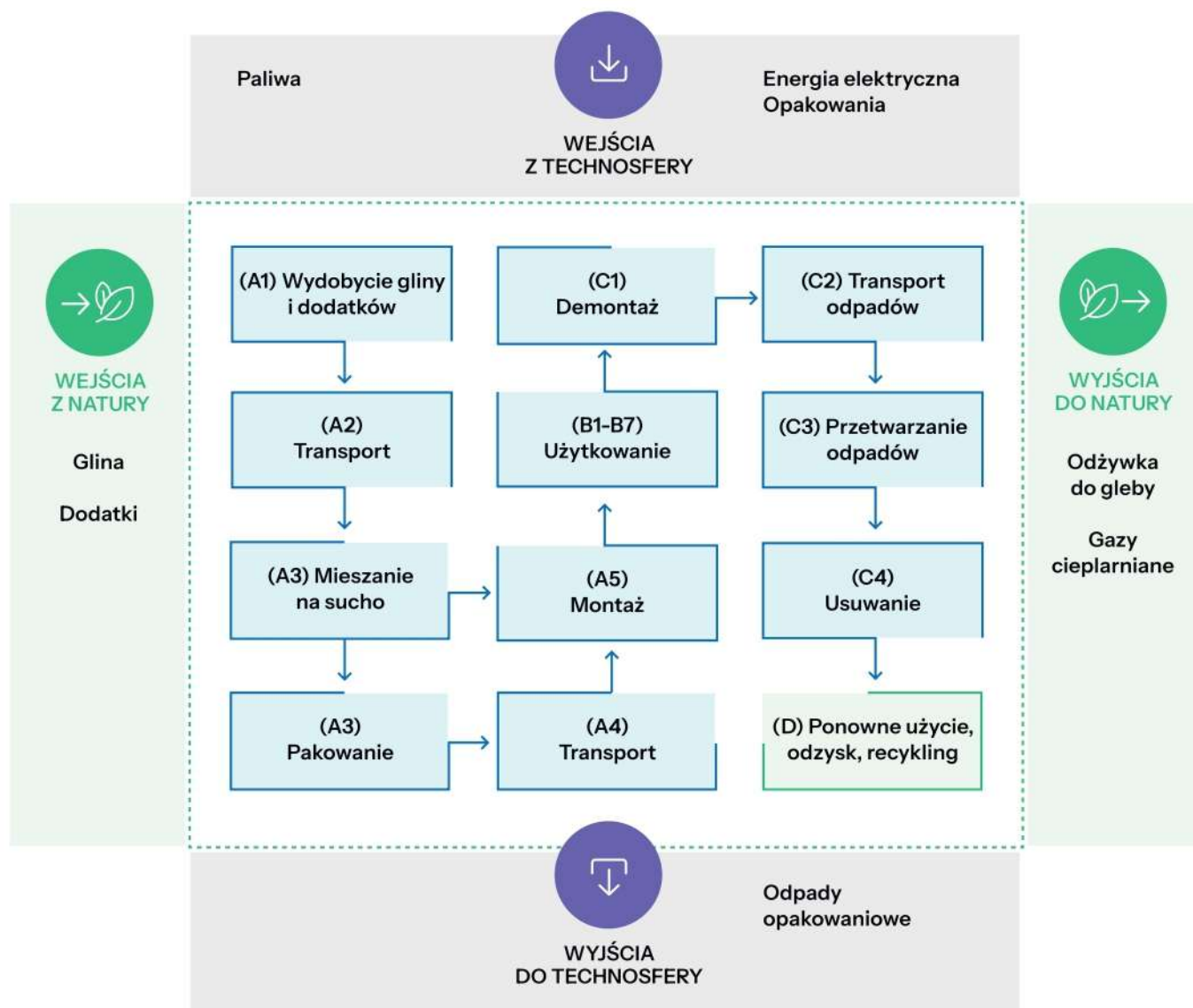
Izolacja akustyczna - Naturalna struktura tynku glinianego przyczynia się do redukcji hałasu, poprawiając komfort akustyczny wewnątrz.

„Oddychające ściany” - Tynk gliniany pozwala ścianom „oddychać”, co przyczynia się do eliminacji problemów z wilgocią i pleśnią.

Ograniczona odporność na uszkodzenia mechaniczne - tynk gliniany może być mniej odporny na uderzenia i zadrapania w porównaniu z tradycyjnymi tynkami gipsowymi czy cementowymi.

Założenia poszczególnych deklaracji środowiskowych EPD

Schemat cyklu życia



Charakterystyka produktów:

Oznaczenie	71
Producent/nazwa produktu	Clayworks Ltd
Typ produktu	
Referencyjny czas użytkowania [lata]	60 lat, oczekuje się, że zaprawy narażone na niewielkie obciążenia środowiskowe przetrwają przez cały okres użytkowania konstrukcji budynku, (w odniesieniu do ISO 15686-1, w oparciu o rozważany komercyjny okres użytkowania budynków mieszkalnych, handlowych, biurowych lub przemysłowych, użytkowanie wewnętrzne i doświadczenia w Szwecji, Norwegii i Francji).
Jednostka funkcjonalna/deklaratywna	1 kg pakowanego tynku glinianego
Grubość (jeżeli istotne) [m]	0,0015
Reprezentatywność geograficzna	UK
Rok badania	2019
Adnotacje nt. dostępnych informacji	

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego:

CEN standard EN 15804 serves as the Core Product Category Rules (PCR) Product category rules (PCR): PCR 2012:01. Construction Products. Version 2.33. (date 2020-09-18, valid until 2021-12-31). Sub-PCR-A Mortars Applied to a Surface. UN CPC Code 154000 (clays) (date 2020-09-18, valid until 2021-12-31)

Bazy danych i jakość danych:

Ecoinvent 3.7

Etapy cyklu życia:

A1 – surowce

Tynki gliniane są produkowane z mieszanek łatwo dostępnych surowców. Nie wskazano składu.

A2 – transport

Etap obejmuje transport do fabryki.

A3 – wytwarzanie:

Podczas mieszania nie wykorzystuje się wody, ciepła, ani dodatków, a jedynie niewielką ilość energii do mieszania. W związku z tym w procesie nie ma żadnych odpadów ani zanieczyszczeń uwalnianych do powietrza. Produkt jest pakowany w worki z brązowego papieru lub w szyte worki, gdzie obydwa rodzaje opakowań nadają się do recyklingu (w rzeczywistości brązowy papier nie nadaje się do kompostowania ze względu na dodatki, a szyte worki z kolei nadają się jedynie do ponownego wykorzystania).

A4 – transport na miejsce budowy

Transport mieszany w Kornwalii tynki gliniane są transportowane drogą lądową, a następnie statkiem, jeśli są wysyłane za granicę. W dokumencie założono odległość 100 km.

A5 – instalacja

Założono dodanie wody i mieszanie z użyciem mieszalnika zainstalowanego na wiertarce. Założono brak powstawania odpadów w związku z naturalnością surowców, co nie do końca jest prawdą.

B1-B7 – etapy użytkowania

Tynki gliniane nie wymagają malowania, lakierowania ani uszczelniania przez cały okres ich użytkowania. Założono brak emisji z tego tytułu.

C1-C4 – Koniec życia

Założono ręczny demontaż bez wkładania dodatkowej energii. Stwierdzono brak konieczności przetwarzania na końcu życia w celu utylizacji.

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

Założono transport 10 km i wykorzystanie tynku jako odżywki dla gleby.

Wykluczenia z obliczeń:

Ślad węglowy produktu

		Wyniki na 1 kg tynku glinianego Rustic lub Demi-Rustic (71)			Wyniki na 1 kg tynku glinianego Smooth Finish lub Tonal (71)		
		GWPf	GWPb	GWPI	GWPf	GWPb	GWPI
A1	Zaopatrzenie w surowce, transport surowców, produkcja	6,44E-03	4,62E-05	4,47E-06	9,65E-03	-5,42E-04	6,54E-04
A2		4,35E-02	2,58E-05	1,47E-05	5,96E-02	3,53E-05	2,01E-05
A3		7,59E-03	-9,28E-03	6,31E-05	7,59E-03	-9,28E-03	6,31E-05
A4	Transport do miejsca użytkowania	8,74E-03	5,20E-06	2,95E-06	8,74E-03	5,20E-06	2,95E-06
A5	Instalacja	2,29E-03	5,24E-05	4,26E-06	3,52E-03	8,06E-05	6,55E-06
B1-B7	Użytkowanie	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C1	Rozbiórka/wyburzenie	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C2	Transport odpadów	8,74E-04	5,20E-07	2,95E-07	8,74E-04	5,20E-07	2,95E-07
C3	Przetwarzanie odpadów	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C4	Usuwanie	2,04E-03	-4,26E-05	7,91E-07	2,04E-03	-4,26E-05	7,91E-07
D	Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	-1,03E-02	6,33E-05	-1,18E-05	-1,03E-02	6,33E-05	-1,18E-05

Komentarz:

W przypadku tynku glinianego największe emisje stwierdzono w kontekście transportu surowców do zakładu produkcyjnego. Zaobserwowano również znaczące korzyści na końcu cyklu życia, związane z faktem wykorzystania tynku glinianego jako odżywki dla gleby (co niekoniecznie musi mieć miejsce w rzeczywistości).

Czynniki wpływające na ślad węglowy wyrobu w całym cyklu życia

Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono szereg czynników, które wpływają na ślad węglowy wyrobu w postaci piasku w całym cyklu życia:

- Zużycie energii - ślad węglowy pozyskaniem surowca związany jest z zużyciem paliw potrzebnych do wydobywania, z kolei etap wytwarzania wiąże się z opcjonalnym zużyciem energii na potrzeby suszenia piasku oraz pakowanie.
- Opakowania - w przypadku produktu pakowanego konieczne jest uwzględnienie śladu węglowego worków papierowych lub sztych (oraz uwzględnieniu krotności ich użycia, jeżeli będą zwrotne), które przy małych emisjach związanych z wydobywaniem piasku mogą być istotne.
- Transport – ze względu na bardzo mały ślad węglowy produkcji piasku ślad węglowy transportu nawet na małe odległości jest kilkakrotnie większy od śladu węglowego produkcji piasku. Może mieć on kluczowe znaczenie w całkowitym śladzie węglowym surowca.
- Sposób zagospodarowania - założono, że materiał nie jest składowany, tylko jest wykorzystywany jako odżywka do gleby, czyli została włożona praca ręczna (niekoniecznie w praktyce musi to być praca ręczna) do zdjęcia tynku. W praktyce jeżeli tynk nie zostanie odseparowany będzie składowany konwencjonalnie razem z gruzem
- Wpływ użytkowania gruntów w eksploatacji i rekultywacji gruntów, może być kluczowym nieuwzględnianym aspektem. Końcowe wyrobiska są często obecnie wykorzystywane jako miejsce składowania odpadów, docelowo mogą być także magazynem dla zanieczyszczonej masy organicznej. Dodatkowo, samo pozyskanie piasku w początkowym etapie może stanowić źródła emisji w związku z usunięciem wierzchniej warstwy gleby.

Propozycja modelu obliczeń dla wyrobu budowlanego

A1 – surowce

Zużycie paliw związanych z wydobywaniem gliny oraz dodatków. Emisje związane z przekształceniem terenu, szczególnie jeżeli może doprowadzić do emisji węgla biogenego zgromadzonego w usuniętej glebie.

A2 – transport

Zużycie paliw związane z transportem do zakładu produkcyjnego

A3 – wytwarzanie

Zużycie paliw i energii elektrycznej na mieszanie tynku. W przypadku pakowania - zużycie energii na proces pakowania.

A4 – transport na miejsce budowy

Zużycie paliw do transportu

A5 – instalacja

Sposób zagospodarowania materiałów opakowaniowych (jeżeli dotyczy), straty surowca

B1-B7 – zastąpienie produktu i renowacja

brak

C1 – Demontaż

Założono brak emisji z tytułu demontażu dla tynku, ponieważ zazwyczaj stanowi on element składowy innych wyrobów. W praktyce powinno jednak zostać uwzględnione użycie maszyn budowlanych lub elektronarzędzi do usuwania tynku. (w przypadku użycia maszyn budowlanych proporcjonalnie do alokacji fizycznej).

C2 – Transport odpadów

Zużycie paliw do transportu do miejsca składowania

C3 – Przetwarzanie odpadów

Nie dotyczy

C4 – Utylizacja

W jedynej deklaracji założono koniec życia 100% tynku na drodze wykorzystania jako odżywka do gleby. W rzeczywistości w związku z trudnościami w odseparowaniu czystego tynku sugeruje się założenie składowania odpadu inertnego i braku korzyści w kontekście śladu węglowego na końcu życia.

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

W jedynej deklaracji założono koniec życia 100% tynku na drodze wykorzystania jako odżywka do gleby. W rzeczywistości w związku z trudnościami w odseparowaniu czystego tynku sugeruje się założenie składowania odpadu inertnego i braku korzyści w kontekście śladu węglowego.



Perlit

Rodzaj surowca: perlit

Zastosowanie: szeroko stosowany w budownictwie, rolnictwie i przemyśle

Liczba EPD: 1

Opis

Perlit to naturalny surowiec wulkaniczny, który po obróbce cieplnej rozszerza się, tworząc lekkie, porowate granulki. Jest szeroko stosowany w budownictwie, rolnictwie i przemyśle ze względu na swoje właściwości izolacyjne, lekkość i zdolność do zatrzymywania wody. Jego zastosowanie w budownictwie jest zróżnicowane i obejmuje izolacje, lekkie betony oraz substraty do upraw hydroponicznych. Rozszerzony perlit jest wyjątkowo lekki, co czyni go idealnym do zastosowań, gdzie niska masa jest pożądana. Cechuje się doskonałymi właściwościami termoizolacyjnymi i akustycznymi, dzięki czemu jest często używany jako izolacja w budownictwie. W przypadku zastosowań w rolnictwie wykorzystuje się jego dużą porowatość pozwalającą na zatrzymywanie wody i powietrza. Jest to materiał wulkaniczny, naturalnie odporny na ogień. Jest to jedno z najlżejszych kruszyw mineralnych na rynku. Prawdopodobnie zainstalowany jest uznawany przez producentów za wieczny materiał izolacyjny, ponieważ produkt ten nie wchłania wody, jest stabilny pod względem ciepła, zimna i wymiarów.

Poniżej przedstawiono wybrane zastosowania perlitu:

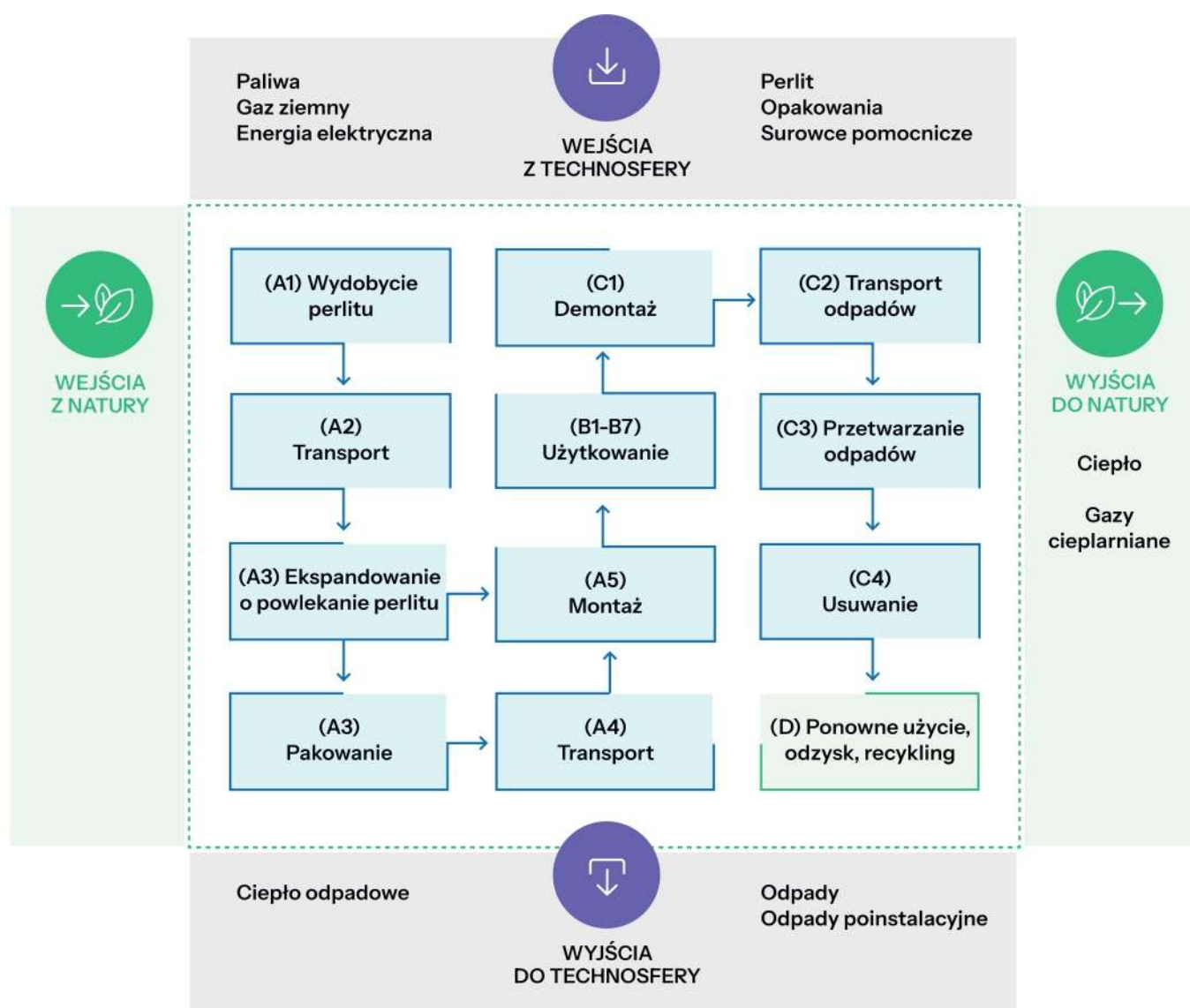
- Materiał izolacyjny – perlit jest używany jako izolacja termiczna i akustyczna w ścianach, podłogach i dachach, zarówno w postaci luźnej, jak i w formie płyt izolacyjnych.
- Produkcja betonów lekkich – perlit dodawany do betonu w celu zmniejszenia jego masy oraz poprawy izolacyjności termicznej i akustycznej.
- Dodatek do upraw - w rolnictwie i ogrodnictwie perlit jest stosowany jako poprawiający strukturę gleby, zwiększający jej porowatość i zdolność do zatrzymywania wody.
- Filtracja wody i ścieków – perlit jest wykorzystywany w systemach filtracji wody i ścieków ze względu na swoją porowatość i lekkość.

W niniejszym przypadku przeanalizowano ekspandowane kruszywa perlitowe. Surowy perlit jest ekspandowany 10-15 razy w piecu zasilanym gazem ziemnym, w temperaturze 1000°C. Po ekspandowaniu granulki są powlekane wodoodporną membraną polisiloksanową (0,2-0,3% wagowo), zapobiegającą przenikaniu wody i wilgoci. Wg producenta ekspandowany perlit o 3 rozmiarach cząstek może być stosowany do izolacji termicznej w postaci luźnego wypełnienia oraz jako lekki wypełniacz hydrofobowy i selektywny pochłaniacz olejów. Wg deklaracji producenta dodatek polimerowy jest trwale związany z granulkami, w związku z czym jest uznany jako bezpieczny. Materiał wykazuje właściwości pochłaniania hałasu i tworzy naturalną warstwę ognioodporną, A1 w klasie ogniowej we wszystkich zastosowaniach.

W deklaracji jednego z producentów znaleziono stwierdzenie, że perlit (hydrofobizowany) będąc wiecznym służyć jako materiał izolacyjny, ponieważ produkty te nie wchłaniają wody, są stabilne pod względem ciepła, zimna i wymiarów.”

Założenia poszczególnych deklaracji środowiskowych EPD

Schemat cyklu życia



Zestawienie danych z deklaracji środowiskowych

Oznaczenie	47
Producent/nazwa produktu	Nordisk Perlite ApS
Typ produktu	Izolacja z perlitu
Referencyjny czas użytkowania [lata]	Równy okresowi użytkowania budynku, co najmniej 50 lat.
Jednostka funkcjonalna/deklaratywna	1 m ³
Grubość (jeżeli istotne) [m]	Gęstość nasypowa 85 kg/m ³
Przewodność cieplna λ [W/(m K)]	0,042
Gęstość [kg/m ³]	85
Reprezentatywność geograficzna	Europa. Produkcja w Danii
Rok badania	2021

Ze względu na fakt, iż w niniejszym procesie używa się przede wszystkim gazu ziemnego, to produkcja perlitu jest reprezentatywna dla całej Europy pod warunkiem wykorzystywania tego samego źródła ciepła w procesach technologicznych.

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego:

EPD PCR 2019 General Programme Instructions for the Norwegian EPD Foundation, version 5

Bazy danych i jakość danych:

Jakość danych: Proces produkcyjny A3 opiera się na danych dotyczących całkowitej produkcji w 2021 r.. Dane transportowe A2 zostały również dostarczone przez producenta. Niektóre dane zostały dostarczone z tureckiej kopalni perlitu. W obliczeniach wykorzystano bazę danych GaBi oraz Ecoinvent 3.8. Uwzględniono wszystkie przepływy wejściowe i wyjściowe w procesie jednostkowym, tj. biorąc pod uwagę wartość wszystkich przepływów w procesie jednostkowym i odpowiednie LCI, jeśli dane były dostępne. Luki w danych zostały wypełnione konserwatywnymi założeniami z danymi średnimi lub ogólnymi. Wszelkie założenia w takim przypadku zostały udokumentowane

Etapy cyklu życia:

A1 – surowce

Etap ten uwzględnia wydobycie i przetwarzanie wszystkich surowców, energii i transportu, które mają miejsce przed badanym procesem produkcyjnym, w tym materiałów opakowaniowych (z wyjątkiem materiałów pomocniczych wykorzystywanych w procesie wytwarzania produktu).

A2 – transport

Etap obejmuje transport surowców do producenta. Obejmuje to również powłoki i materiały opakowaniowe

A3 – wytwarzanie:

Etap wytwarzania obejmuje produkcję perlitu ekspandowanego i jego powlekanie siloksanami ³⁶

Na etapie produkcji energia cieplna jest odzyskiwana i wykorzystywana w celach ogrzewania. Zakłada się, że jest to substytut energii cieplnej z gazu ziemnego. Znaczna część opakowań jest wykonana z monomateriałów, które można poddać recyklingowi.

A4 – transport na miejsce budowy

Etap obejmuje transport surowca na plac budowy na podstawie uśrednionych danych (pojazd o ładowności 27 t przy obciążeniu równym 28% i spalaniu 0,0167 kg oleju napędowego/tkm oraz odległości transportowej równej 250 km)

A5 – instalacja

Etap ten obejmuje wszelkie zasoby wykorzystane podczas instalacji produktu na placu budowy. W tym przypadku izolacja może być instalowana ręcznie (brak emisji) lub za pomocą dmuchawy (założono zużycie energii równe 0,018 kWh/m³). Odpady są znikome, ponieważ perlitu nie trzeba przycinać do odpowiedniego kształtu. Założono, że 1% odpadów to rozsypany materiał i pył, a ich ilość jest zbyt mała, aby można je było poddać recyklingowi. Uwzględniono przetwarzanie odpadów opakowaniowych na miejscu i przyjęto średnie duńskie wskaźniki końca życia dla mieszanych odpadów budowlanych.

B1-B7 – etapy użytkowania

Etapy te nie obejmują żadnych działań ani emisji związanych z produktem

C1- Demontaż

Wg producenta surowiec można łatwo zebrać, gromadząc materiał w dużych workach za pomocą odsysania. Wymaga to takiej samej ilości energii i takiego samego rodzaju sprzętu, jak w przypadku instalacji perlitu. Dlatego wartości C1 są takie same jak A5

C2 – Transport odpadów

Etap obejmuje transport na odległość do instalacji przetwarzania zmieszanych odpadów budowlanych (obciążenie 61%, spalanie 0,0167 kg oleju napędowego/tkm oraz odległość transportowa równa 100 km)

C3 – Przetwarzanie odpadów

Cały perlit może być ponownie użyty w etapie D, ponieważ nie zmienia swoich właściwości.

C4 – Utylizacja

Cały perlit może być ponownie użyty w etapie D, ponieważ nie zmienia swoich właściwości.

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

Kredyty emisji uzyskuje się z ponownego wykorzystania perlitu jako zamiennika perlitu/ kruszywa wypełniacza betonu pod koniec okresu eksploatacji budynku. założenia do obliczeń założono w poniższej tabeli.

³⁶ Siloksany – związki chemiczne, w strukturze których atomy krzemu połączone są wiązaniami kowalencyjnymi z atomami tlenu, Znalazły zastosowanie w przemyśle kosmetycznym (do produkcji dezodorantów, pomadek, kremów, mydeł), spożywczym (jako konserwanty).

Założenia do korzyści D (w przeliczeniu na m ³ perlitu)	Jednostka	Wartość
Ciepło odpadowe zastępujące gaz ziemny w systemie ciepłowniczym	kWh	41,5
Perlit zastępujący beton	kg	85
Energia elektryczna ze spalania odpadów perlitu	kWh	-0,67
Energia cieplna ze spalania odpadów perlitu	kWh	-0,17
Produkcja polipropylenu z recyklingu	kg	0,84
Energia elektryczna z utylizacji opakowań	kWh	0,58
Energia cieplna z utylizacji opakowań	kWh	1
Produkowany HDPE z recyklingu	kg	0,19

Wykluczenia z obliczeń:

Dokument przygotowane zgodnie z kryterium odcięcia dla nakładów masy i energii pierwotnej na poziomie procesu jednostkowego (1%) i na poziomie modułu informacyjnego (5%) (brak informacji nt. konkretnych wykluczeń).

Ślad węglowy surowca

Tab. X Ślad węglowy perlitu 1 m³ o gęstości nasypowej 85 kg/m³

		GWPf	GWPb	GWPI
A1-A3	Zaopatrzenie w surowce, transport surowców, produkcja	20,8	0,0181	0,0119
A4	Transport do miejsca użytkowania	2,37	-0,00325	0,0131
A5	Instalacja	0,24	0,00426	9,05E-05
B1-B7	Użytkowanie	-	-	-
C1	Rozbiórka/wyburzenie	0	2,22E-05	1,68E-06
C2	Transport odpadów	0,51	-0,0007	0,00283
C3	Przetwarzanie odpadów	0,58	0,0259	0,00114
C4	Usuwanie	0	0	0
D	Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	-7,85	-0,0069	-0,00579

Ekspandowany perlit jest materiałem o bardzo małej gęstości oraz dobrych właściwościach mechanicznych. Ze względu na trwałe, chemiczne związanie powłoki jest również bezpieczny dla ludzi i środowiska. Wg deklaracji sugeruje się jego ponowne wykorzystanie w postaci napełniacza do betonu lekkiego na końcu życia, chociaż prawdopodobnie będzie w stanie pełnić swoją funkcję jako materiał izolacyjny. Największy udział w śladzie węglowym ma etap związany z produkcją perlitu ze względu na duże zużycie energii cieplnej pochodzącej ze spalania gazu ziemnego, w celu przeprowadzenia procesu ekspandowania w temperaturze powyżej 1000°C. z tego powodu w ślad węglowy materiału w przeliczeniu na 1 kg jest wyraźna. W przypadku tego surowca emisje biogenne oraz związane z użytkowaniem oraz przekształceniem terenu są nieistotne.

Zagadnienia poruszane w publikacjach naukowych:

Perlit znakomicie nadaje się do produkcji tynków gipsowych. W wielu zastosowaniach budowlanych stał się alternatywą dla perlitu. Wykorzystuje się go także w izolacjach. Zastosowanie ekspandowanego perlitu w tynku poprawia jego właściwości termiczne (Pruteanu i in. 2016). Zauważa się jednak

obniżoną wytrzymałość elementów budowlanych produkowanych z wykorzystaniem perlitu (Sengul i in. 2011).

Czynniki wpływające na ślad węglowy wyrobu w całym cyklu życia

Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono szereg czynników, które wpływają na ślad węglowy wyrobu w postaci produktów konopnych w całym cyklu życia:

- Ślad węglowy transportu – ze względu na względnie duże emisje związane z procesem produkcyjnym transport nie odgrywa bardzo dużej roli w całościowym transporcie produktu.
- Odległość transportowa – w przypadku produkcji perlitu w Polsce konieczny jest jego import z zagranicy – w przypadku bardzo dużych odległości emisje te zaczną być znaczące.
- Efektywność wykorzystania ciepła oraz jego odzysk - w przypadku odzysku ciepła i ponownego wykorzystania lub sprzedaży na zewnątrz można zredukować istotnie ślad węglowy produktu

Wnioski :

1. Ślad węglowy perlitu jako materiału izolacyjnego jest wyższy niż materiałów na bazie organicznej. Nie posiada on także zdolności do akumulacji węgla biogenego
2. Polskie zakłady produkcji perlitu nie posiadają deklaracji EPD dla produktów
3. Ślad węglowy produkcji można wyznaczać na podstawie energochłonności zakładu produkcji i pozyskania kruszywa do jego wydajności
4. Na ślad węglowy wyrobu istotny wpływ ma ilość powstających odpadów, sposób ich zagospodarowania. Ślad węglowy może być różny dla danego zakładu, w zależności od rozwiązań do wykorzystania energii odpadowej do celów grzewczych , czy produkcji energii elektrycznej w zakładach ciepłowniczych
5. Wykorzystanie perlitu jako surowca dla innych produktów budowlanych ze spoiwami gipsowymi, skutkuje koniecznością utylizacji jako gruz/ kruszywo budowlane.

Scenariusze wykorzystania perlitu

na końcu życia produktu budowlanego, powinny uwzględniać możliwość wykorzystania zarówno jako produkt budowlany jak i zanieczyszczony odpad z możliwości utylizacji jako substrat w produktach ogrodnictwa.

Ślad węglowy surowca

A1 – surowce

Zużycie paliw związanych z wydobyciem perlitu oraz syntezą związków powlekających

A2 – transport

Zużycie paliw związane z transportem do zakładu produkcyjnego

A3 – wytwarzanie

Zużycie paliw i energii elektrycznej na proces ekspandowania oraz proces powlekania, zużycie opakowań, jeżeli dotyczy

A4 – transport na miejsce budowy

Zużycie paliw do transportu na miejsce budowy

A5 – instalacja

Sposób zagospodarowania materiałów opakowaniowych (jeżeli dotyczy)

B1-B7 – zastąpienie produktu i renowacja

Założono brak emisji z tytułu tych etapów.

C1 – Demontaż

Założono takie same emisje jak dla montażu

C2 – Transport odpadów

Zużycie paliw do transportu

C3 – Przetwarzanie odpadów

Emisje zgodnie ze sposobem zagospodarowania, w przypadku recyklingu należy uwzględnić emisje związane z przetworzeniem surowca, a w przypadku ponownego użycia należy uwzględnić emisje potrzebne do przygotowania surowca do ponownego użycia (jeżeli będą występowały)

C4 – Utylizacja

W przypadku składowania należy uwzględnić ślad węglowy związany z procesem składowania

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

W przypadku ponownego użycia oraz recyklingu należy “odzyskać” cały ślad węglowy produktu w etapie D.

Dla etapu C3-D emisje należy przypisać w oparciu o średnie scenariusze zagospodarowania dla danego kraju.

Sengul, Ozkan & Azizi, Senem & Karaosmanoğlu, Filiz & Tasdemir, Mehmet. (2011). Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. *Energy and Buildings*. 43. 671-676. 10.1016/j.enbuild.2010.11.008. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778810004056?via%3Dihub>

Pruteanu, Marian & Diaconu, Livia & Rujanu, Mircea & Babor, Dan. (2016). Studies on the possibilities of using expanded perlite for reducing buildings energy consumption. *Environmental engineering and management journal*. 15. 1103-1008. 10.30638/eemj.2016.123. https://www.researchgate.net/publication/312880429_Studies_on_the_possibilities_of_using_expanded_perlite_for_reducing_buildings_energy_consumption



Cement

Rodzaj surowca: cement

Zastosowanie: produkcja betonu, zaprawy mularskie i tynkarskie, elementy prefabrykowane

Liczba EPD: 1

Opis

Cement jest kluczowym surowcem w budownictwie, będąc podstawowym składnikiem betonu – najczęściej stosowanego materiału budowlanego na świecie. Jego wszechstronność, wytrzymałość oraz łatwość w użyciu sprawiają, że znajduje zastosowanie w wielu aspektach konstrukcji, od fundamentów po elementy dekoracyjne. Podstawowym składnikiem cementu jest klinkier, który powstaje przez wypalenie w wysokich temperaturach mieszanki wapienia i gliny. Do klinkieru dodaje się gips, regulujący czas wiązania, oraz inne dodatki poprawiające właściwości. Cement charakteryzuje się zdolnością do wiązania i twardnienia w reakcji z wodą, co sprawia, że jest trwały i odporny na warunki atmosferyczne.

Poniżej przedstawiono dwa podstawowe zastosowania cementu:

Produkcja betonu - Cement jest mieszany z wodą, piaskiem i kruszywami, tworząc beton używany w konstrukcjach budowlanych, drogowych i mostowych.

Zaprawy murarskie i tynkarskie – Cement służy jako spoiwo w zaprawach do murowania, tynkowania

Założenia poszczególnych deklaracji środowiskowych EPD

Schemat cyklu życia

Zestawienie danych z deklaracji środowiskowych

Oznaczenie	90
Producent/nazwa produktu	Stowarzyszenie Producentów Cementu
Referencyjny czas użytkowania [lata]	Referencyjny okres użytkowania: zgodnie z normą EN 16908 nie deklaruje się referencyjnego okresu użytkowania (RSL) cementów, ponieważ są one pośrednimi produktami stosowanymi w budownictwie.
Jednostka funkcjonalna/deklaratywna	1 kg cementu CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V wyprodukowanego w Polsce.
Podział emisji [-]	
Reprezentatywność geograficzna	Polska
Rok badania	dane były gromadzone przez Członków SPC w 2017 r. reprezentatywne dla technologii produkcji stosowanych w 2017 r.

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego:

Zgodność: Analiza cyklu życia cementu (LCA) została przeprowadzona zgodnie z normami: PN-EN 15804, PN-EN 16908, PN-EN ISO 14025, PN-EN ISO 14040 i zasadami kategoryzacji wyrobów ITB PCR-A.

Bazy danych i jakość danych:

Baza Ecoinvent 3.6, alokacja w miejscu powstania, EPD dla gipsów i anhydrytów opracowane przez ITB, dane KOBIZE dotyczące paliw i energii elektrycznej, dane specyficzne dotyczące produkcji dostarczone zostały przez SPC, dane ITB dotyczące składników drugorzędnych, żużli i pucolanów.

Etapy cyklu życia:

A1 – surowce

Surowcami naturalnymi do produkcji cementu są przede wszystkim materiały wapienne, takie jak wapień lub margiel, piasek, materiały glinowe takie jak glina lub łupek, które występują powszechnie. W procesie stosowane są surowce alternatywne, takie jak popioły, żużle jako substytuty surowców naturalnych.

Użycie zamienników klinkieru ma znaczący wpływ na zmniejszenie śladu węglowego cementu.

A2 – transport

Transport odpowiadał za 0,02 kgCO₂e/kg cementu

A3 – wytwarzanie:

Produkcja mączki realizowana jest zarówno w procesie metodą mokrą jak i suchą (rys. 1). W metodzie mokrej szlam z mączki jest produkowany przed wypałem. Szlam jest homogenizowany i pompowany do pieca. W metodzie suchej żądaną mieszankę najczęściej przygotowuje się w jednostopniowym procesie mielenia. Do procesu suszenia stosuje się ciepło z gazów procesowych. Ilość cementu produkowanego metodą mokrą zmniejsza się w każdym roku. Mączka surowcowa jest wstępnie podgrzewana z wykorzystaniem gazów surowcowych, a następnie wypalana w piecu obrotowym w temperaturze ok. 1450°C. Głównymi paliwami stosowanymi w procesie są węgiel kamienny (z udziałem na poziomie 35,2%, tabela 2) oraz paliwa alternatywne pochodzące z odpadów. Udział paliw alternatywnych w produkcji cementu z roku na rok sukcesywnie wzrasta i w roku 2017 wynosił 64,4% (tabela 2). Stosowane paliwa alternatywne pochodzą z odpadów, a ich udział z roku na rok sukcesywnie wzrasta. Duża część paliw alternatywnych charakteryzuje się zawartością biomasy o niskim współczynniku śladu węglowego (średnio w Polsce 0,049 MgCO₂/GJ). Zastosowanie paliw alternatywnych znacząco zmniejsza ślad węglowy cementu. Stopień zastosowania paliw alternatywnych różni się znacząco na obszarze Polski.

Ślad węglowy różnych gatunków cementu w fazach A1-A3 [kgCO₂e/kg]

	CEM I	CEM II	CEM III	CEM IV	CEM V
Netto	0,812	0,648	0,452	0,536	0,549
Brutto	0,710	0,571	0,405	0,473	0,485

netto – bez uwzględniania emisji z paliw alternatywnych

brutto – bez uwzględniania emisji biogennej z paliw alternatywnych



Celuloza wdmuchiwana

Rodzaj surowca: Celuloza wdmuchiwana

Zastosowanie: izolacja: poddaszy, ścian, stropów i podłóg

Liczba EPD: 4

Opis

Luźna celuloza, wykorzystywana jako materiał izolacyjny w budownictwie, jest produkowana z recyklingu papieru, głównie ze zużytych gazet. Dzięki procesom chemicznym papier zostaje przetworzony w drobne włókna celulozowe, które są następnie traktowane środkami przeciwpożarowymi oraz przeciwgrzybicznymi, aby zwiększyć ich odporność na ogień i zapobiec rozwojowi pleśni. Izolacja z luźnej celulozy jest ceniona za swoje właściwości termiczne, akustyczne oraz ekologiczne.

Do podstawowych zalet materiału można zaliczyć

- Dobra izolacyjność termiczna - Luźna celuloza skutecznie zatrzymuje ciepło, co przyczynia się do zmniejszenia strat energii w budynkach.
- Dobra izolacyjność akustyczna - Włókna celulozowe efektywnie tłumią dźwięki, poprawiając komfort akustyczny wewnątrz.
- Materiał z odzysku - Wykorzystanie recyklingowanego papieru minimalizuje wpływ na środowisko, a sama celuloza jest materiałem biodegradowalnym.
- Odporność na ogień i szkodniki: Dzięki dodatkom chemicznym, izolacja z luźnej celulozy jest odporna na ogień i szkodniki, takie jak insekty czy gryzonie.

Do wad można z kolei zaliczyć:

- Podatność na wilgoć - Mimo obróbki chemicznej, nadmierna wilgotność może negatywnie wpływać na właściwości izolacyjne i trwałość celulozy.
- Konieczność zastosowania barier paroizolacyjnych - Aby uniknąć problemów z wilgocią, konieczne może być zastosowanie dodatkowych barier paroizolacyjnych.
- Koszty - Chociaż materiał jest produkowany z surowców recyklingowanych, koszty instalacji mogą być wyższe w porównaniu z innymi materiałami izolacyjnymi ze względu na konieczność specjalistycznego sprzętu do aplikacji.

Charakterystyka produktów:

Oznaczenie	3	15	21	46
Producent/nazwa produktu	ISOPROC	AFT Carbon Smart™	European Cellulose Insulation Association (ECIA)	Cellulose Insulation Ltd, trading as Ecocel Marina Commercial Park, Centre Park Road, Cork (Ireland)
Referencyjny czas użytkowania [lata]	60 lat. W przypadku prawidłowej instalacji zgodnie z wytycznymi producenta, produkty izolacyjne z celulozy luzem nie wymagają dalszej konserwacji, naprawy, wymiany lub renowacji przez cały okres użytkowania produktu. Jeśli produkt jest stosowany i konserwowany zgodnie z instrukcjami instalacji i konserwacji, obowiązuje 60-letni okres użytkowania.	75	50	50
Jednostka funkcjonalna/deklaratywna	1 kg izolacji celulozowej luzem	1 m ² zainstalowanej izolacji z opakowaniem; grubość zapewniająca średni opór cieplny RSI = 1 m ² -K/W przez 75 lat	1 kg celulozowego materiału izolacyjnego	1 m ² zainstalowanej na miejscu izolacji o grubości 300 mm i wartości R = 9,09 m ² K/W, przy gęstości 37 kg/m ³
Grubość (jeżeli istotne) [m]	0,133-0,266	0.0381	-	0,3
Przewodność cieplna λ [W/(m K)]	0,038 (wartość średnia na bazie www.epdb.de)		0,037	
Gęstość [kg/m³]	23-65 (średnio 30)	25.214	25-65	37
Podział emisji [-]				
Reprezentatywność geograficzna	Belgia	Reprezentuje 1 lokalizację w Stanach Zjednoczonych: Bucyrus, OH	Niemcy	Marina Commercial Park, Centre Park Road, Cork (Irlandia)
Rok badania	2019	2018	2018	2019
Adnotacje nt. dostępnych informacji				

Zasady wykorzystywane do obliczenia śladu węglowego/środowiskowego:

ISO 21930:2017, EN 15804, ULE PCR i ISO 14025:2006; LEED v4.0 i 4.1 beta pod kątem kwalifikowalności do optymalizacji EPD. EPD Ireland PCR Część A EN 16783:2017 Produkty do izolacji termicznej

Bazy danych i jakość danych:

Ecoinvent 3.1, Ecoinvent 3.4, Ecoinvent 3.6, Ecoinvent 1, GaBi 2016, A GaBi Professional database 2016 (SP 30)

Etapy cyklu życia:

A1 – surowce

W (3) wskazano, że 88-92% stanowi makulatura (gazety), a pozostałe 8-12% stanowią niepalniacze nieorganiczne)

W (15) wskazano, że 86,01% stanowi makulatura w różnej postaci (odpad papierowy gazety) oraz włókna celulozowe, do tego produkt zawiera 6,12% kwasu borowego oraz 5,54% siarczanu amonu. Wspomniane 2 związki są niepalniaczami i stanowią największy udział w emisji w etapie A1 (co ma związek z faktem, że surowiec z recyklingu nie jest obciążony emisjami jako takimi)

W (21) produkt składa się w 85-93% z makulatury oraz w 7-15% z niepalniaczy (siarczany i borany, przy czym kwas borowy w ilości 1-3%)

W (46) etap ten uwzględnia wydobycie i przetwarzanie wszystkich surowców i energii, które występują przed procesem produkcyjnym, a także przetwarzanie odpadów aż do stanu końcowego odpadów.

A2 – transport :

W żadnym z dokumentów nie wskazano odległości, na jaką surowce były transportowane.

W (46) etap obejmuje odległość transportu surowców do zakładu produkcyjnego drogą lądową, statkiem i/lub pociągiem.

A3 – wytwarzanie:

W (3) Zanieczyszczenia są oddzielane, a papier jest rozdrabniany. Papier nadal zawierający niewielkie ilości zanieczyszczeń jest poddawany recyklingowi. Podczas mielenia rozdrobnionego papieru dodawane są środki zmniejszające palność. Moduł ten obejmuje również opakowania izolacji celulozowych. Specyficzny dla firmy miks energetyczny jest brany pod uwagę przy produkcji – energia elektryczna pochodzi częściowo z fotowoltaiki.

W (21) po dostarczeniu makulatura jest oddzielana od zanieczyszczeń i rozdrabniana. Jeśli pojawiają się dalsze zanieczyszczenia, papier ten jest ponownie wprowadzany do procesu produkcyjnego od początku. Do rozdrobnionego materiału dodawane są środki zmniejszające palność. Celulozowy materiał izolacyjny jest następnie prasowany (do ok. 140 kg/m³) i pakowany. Proces produkcji jest procesem suchym, więc nie są wymagane żadne linie suszące. Jako, że jest to deklaracja sektora – wg dokumentu producenci starają się w miarę możliwości wykorzystywać zieloną energię do produkcji. Sześciu z siedmiu producentów wykorzystuje w 100% ekologiczną energię elektryczną do produkcji materiałów izolacyjnych, co zostało uwzględnione w bilansie.

W (46) Izolacja z włókien celulozowych jest produkowana z mieszanki makulatury pochodzącej z recyklingu i niepalniaczy. Makulatura jest rozdrabniana, a pył jest usuwany podczas przechodzenia przez pierwszy cyklon. Następnie dodawane są domieszki, a mieszanka jest dalej sproszkowana w młynie młotkowym. Jest ona następnie podawana przez wiele cyklonów w celu dalszego usuwania pyłu, a następnie umieszczana w pojemniku, gdzie jest podawana do ubijaka i workownicy, gdzie gotowy materiał jest kompresowany do plastikowych worków, po 15 kg na worek, przeznaczonych na rynek. Pył z cyklonów jest wysyłany do składowiska odpadów komunalnych

A1-A3

(3) Moduł A1 obejmuje wydobycie i przetwarzanie surowców, przetwarzanie materiałów wtórnych (np. procesy recyklingu) oraz dodatki.

A2.

Transport surowców do producenta Obejmuje odległość transportu surowców do zakładu produkcyjnego drogą lądową, statkiem i/lub pociągiem. A3. Produkcja Moduł ten obejmuje produkcję izolacji Ecocel i obejmuje wszystkie procesy związane z produkcją, takie jak rozdrabnianie, mieszanie, mielenie i pakowanie. W produkcji uwzględnia się również zużycie energii elektrycznej, paliwa i materiałów pomocniczych.

A4 – transport na miejsce budowy:

W (3) założono w 75% przypadków transport bezpośrednio na plac budowy na odległość 169 km średnio z „Transport, freight, lorry 16-32 metric tonne, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry 16-32 metric tonne, EURO5 | Cut-off, S” oraz w 25% przypadków do sprzedawców na odległość 178 km średnio z „Transport, freight, lorry 16-32 metric tonne, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry 16-32 metric tonne, EURO5 | Cut-off, S

W (15) założono transport na odległość 482,8 km

W (21) założono transport na odległość 299 km

W (46) założono transport na odległość 150 km ciężarówką spełniającą normę EURO6 o masie całkowitej 7,5-16 ton przy wypełnieniu 64% .

A5 – instalacja:

W (3) Na placu budowy uwalniane są materiały opakowaniowe. Uwzględniono również 2% straty materiału. W obliczeniach ujęto belgijski miks energetyczny.

W (15) W miejscu instalacji produkty izolacyjne są rozpakowywane i instalowane za pomocą maszyny do wdmuchiwania. Potencjalny wpływ dmuchawy został uwzględniony w obliczeniach. Plastikowe opakowania używane do owijania produktu końcowego są w 100% usuwane na wysypisko śmieci.

W (21) założono, że instalacja jest realizowana z wykorzystaniem nadmuchu. Zużycie energii przez maszynę do wdmuchiwania jest brane pod uwagę. Przetwarzanie jest przeprowadzane przez wyspecjalizowany personel, dlatego nie można zakładać niepotrzebnego zużycia energii. Pozostałe worki PE i palety są przekazywane do utylizacji termicznej, poddawane recyklingowi lub, jeśli nie jest to możliwe, utylizowane.

W (46) wdmuchiwanie jest zasilane energią elektryczną na miejscu, założono zużycie 0.0133 kWh energii elektrycznej o niskim napięciu zgodnie z miksem irlandzkim

B1-B7

(3) W przypadku prawidłowej instalacji zgodnie z wytycznymi producenta i dostawcy, produkty izolacyjne z celulozy luzem nie wymagają dalszej konserwacji, naprawy, wymiany lub renowacji przez cały okres użytkowania produktu. Jeśli produkt jest stosowany zgodnie z instrukcjami montażu, okres eksploatacji wynosi 60 lat.

W (15,21) Nie jest wymagana żadna konserwacja ani wymiana w celu osiągnięcia żywotności produktu.

C1-C4 – Koniec życia:

(3) Demontaż jest bardzo prosty: materiał celulozowy może być zassany węzem do ciężarówki na drodze i może być ponownie użyty lub poddany recyklingowi, jeśli jest to właściwe. Proces ten jest szybkim procesem odwrotnym do instalacji. 100% spalania z odzyskiem energii w Belgii tabela 3-5

(15) Zakłada się, że po usunięciu izolacja zostanie wyrzucona na wysypisko, a nie ponownie wykorzystana lub poddana recyklingowi

Wg (21) niezanieczyszczona izolacja celulozowa może być ponownie wykorzystana. Ponieważ nie jest to obecnie praktykowane w Europie, stosuje się scenariusz utylizacji termicznej odpadów. W wyjątkowych przypadkach jako scenariusz odpadu stosuje się również składowanie na wysypisku, co założono w obliczeniach.

W (46) koniec życia nie został uwzględniony.

D – Obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu:

W (3) aby zadeklarować korzyści poza granicami systemu wykorzystano belgijski miks energetyczny. Odzysk energii ze spalania celulozowych materiałów izolacyjnych jest traktowany jako korzyści poza granicami systemu, W przypadku spalania z odzyskiem energii zastosowano wartość opałową 12,14 MJ. Kredyty są przypisywane do mocy wyjściowej i ciepła przy użyciu belgijskiej mieszanki sieciowej i energii cieplnej z gazu ziemnego. Ten ostatni reprezentuje najczystsze paliwo kopalne, a zatem skutkuje konserwatywnym oszacowaniem unikniętych obciążeń. W przypadku efektywności regionalnej i stosunku produkcji ciepła do mocy uwzględniono 20% dla unikniętego ciepła z gazu ziemnego i 10% dla produkcji energii elektrycznej. W etapie D nie ma korzyści ani obciążeń związanych z przydzielonymi produktami ubocznymi.

W (21) założono termiczne przekształcanie odpadu z wykorzystaniem wytworzonej energii cieplnej.

W (46) koniec życia nie został uwzględniony.

Wykluczenia z obliczeń:

(46) – B1-D

Ślad węglowy wyrobu

Wartości zostały przeliczone na 1 kg celulozy wdmuchiwanej

		luźna celuloza (3)			luźna celuloza(15)	luźna celuloza(21)	
		GWPf	GWPb	GWPI	GWPt	GWPt	
A1	Zaopatrzenie w surowce, transport surowców, produkcja	0,0174	-1,37	0,0000721	0,404932726	1,23	0,1441441441
A2		0,0545	0,0000244	0,0000211	0	0	0,01153153153
A3		0,035	-0,0102	0,00136	0	0	0,1585585586
A4	Transport do miejsca użytkowania	0,0189	-0,00000261	0	0,09056336031	0,0577	0,03252252252
A5	Instalacja	0,0116	0,0227	0,0000252	0,001852905533	0,0429	0,007981981982
B1-B7	Użytkowanie	0	0	0	0	0	0
C1	Rozbiórka/wyburzenie	0,004	0,00000111	0,000000315	0	0,000562	0
C2	Transport odpadów	0,0217	0,0000116	0,00000757	0,02748129554	0,00541	0
C3	Przetwarzanie odpadów	0,0203	1,37	0,00000655	0	1,45	0
C4	Usuwanie	0	0	0	0,008639952765	0	0
D	Potencjał ponownego wykorzystania, odzyskania lub recyklingu	-0,227	0,0114	-0,000217	0	-0,447	0

Wdmuchiwana celuloza jest bardzo ciekawym surowcem ze względu na fakt, że jest produkowana z surowca pochodzącego z recyklingu, dzięki czemu uzyskiwany jest bardzo mały ślad węglowy tego produktu. Materiał może być wykorzystywany w przyszłości ponownie, a najpowszechniejszym scenariuszem końca życia jest termiczne przekształcenie w związku z zawartością uniepalniaczy.

Czynniki wpływające na ślad węglowy:

- Celuloza – ze względu na fakt, że celuloza pochodzi z recyklingu to cechuje się zerowym śladem węglowym
- miks energetyczny kraju, w którym powstaje produkt – energia elektryczna jest jedynym istotnym źródłem emisji
- miks energetyczny kraju, w którym jest instalowany produkt – ze względu na relatywnie mały ślad węglowy produktu instalacja ma istotny ślad węglowy, w związku z powyższym w Polsce aspekt ten może mieć istotny wpływ. W jednej z deklaracji wskazano zużycie energii i można go użyć jako referencji.
- uniepalniacze – uniepalniacze stanowią główną część śladu węglowego etapie A1, w związku z czym znalezienie mniej emisyjnych uniepalniaczy może wpłynąć na ślad węglowy celulozy wdmuchiwanej

- koniec życia – w zależności od końca życia mogą występować emisje w fazie C3 wraz z korzyściami w fazie C4 lub też nie wystąpią żadne emisje.
- Nieprawidłowa instalacja - W przypadku narażenia na działanie wody może nastąpić gnicie skutkujące emisjami

Propozycja modelu obliczeń dla wyrobu budowlanego

A1 – surowce

Ślad węglowy uniepalniaczy

A2 – transport

Zużycie paliw związane z transportem surowców do zakładu produkcyjnego

A3 – wytwarzanie

Zużycie energii związane z procesem luźnej celulozy, utylizacja odpadów

A4 – transport na miejsce budowy

Zużycie paliw do transportu

A5 – instalacja

Sposób zagospodarowania materiałów opakowaniowych (jeżeli dotyczy), zużycie energii elektrycznej podczas montażu (kluczowe szczególnie w przypadku Polski)

B1-B7 – zastąpienie produktu i renowacja

W deklaracjach pominięto etap użytkowania oraz związanego z tym prawidłowego zabezpieczenia izolacji

C1 – Demontaż

Zużycie energii elektrycznej związanej z demontażem (użycie elektronarzędzi). Jest to szczególnie ważne w przypadku próby odzyskania surowca w krajach o wysokoemisyjnym miksie (Polska)

C2 – Transport odpadów

Zużycie paliw do transportu odpadu

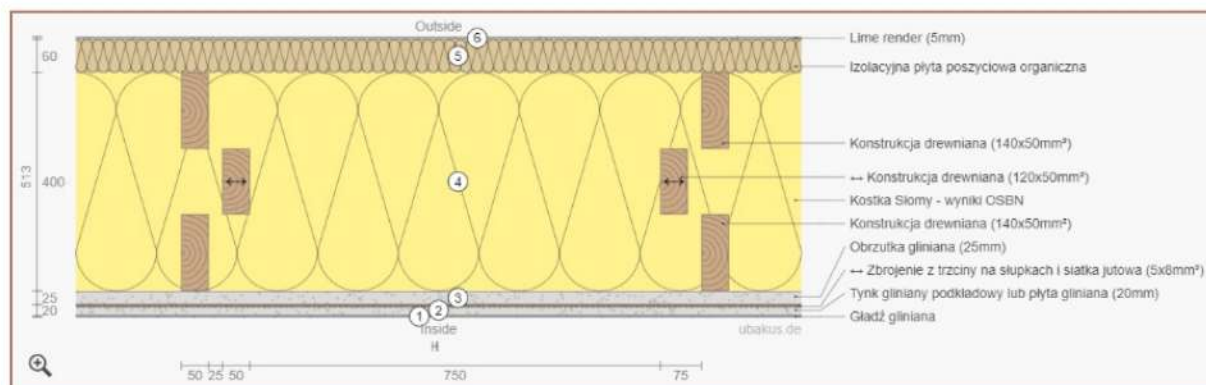
C3-D – Przetwarzanie odpadów, utylizacja oraz obciążenia i korzyści wynikające z ponownego wykorzystania, odzysku lub recyklingu

Możliwe jest zamodelowanie śladu węglowego związanego z ponownym użyciem, składowaniem oraz termicznym przekształceniem, w przypadku termicznego przekształcenia konieczne jest uwzględnienie zawartości węgla biogenego uwalnianego do atmosfery podczas termicznego przekształcania oraz korzyści płynące z odzyskiem ciepła (tu należy rozważyć krajowy miks energetyczny).

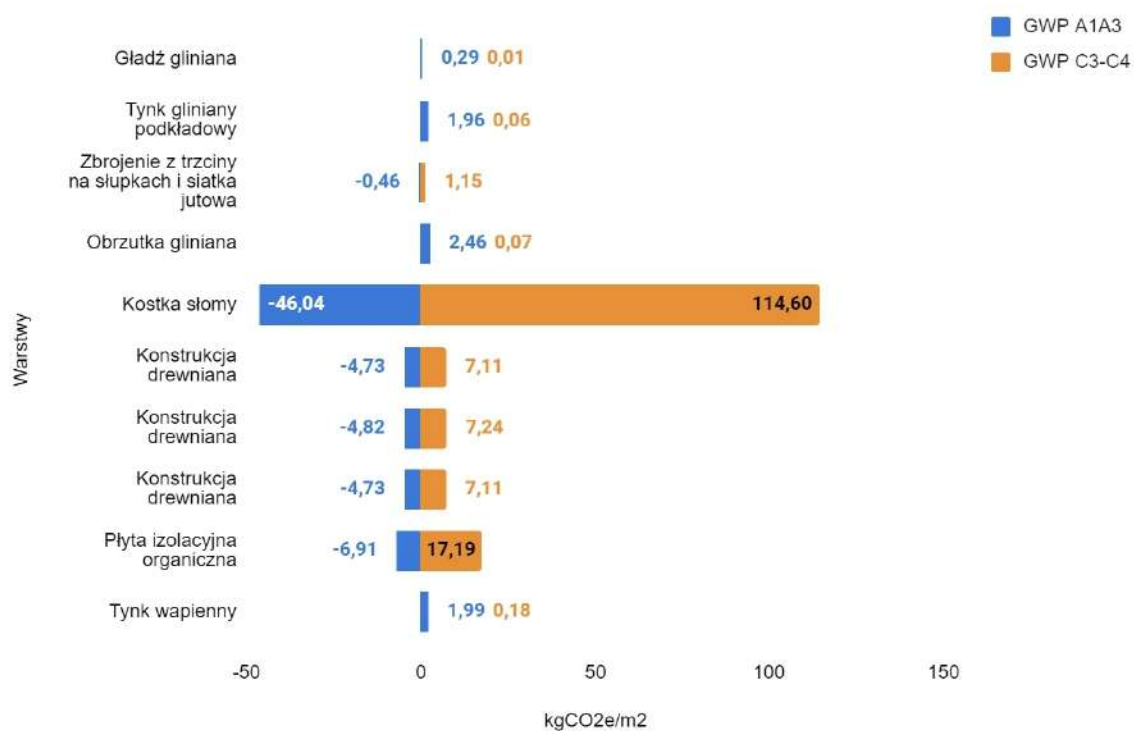


Zestawienie śladu węglowego poszczególnych przegród

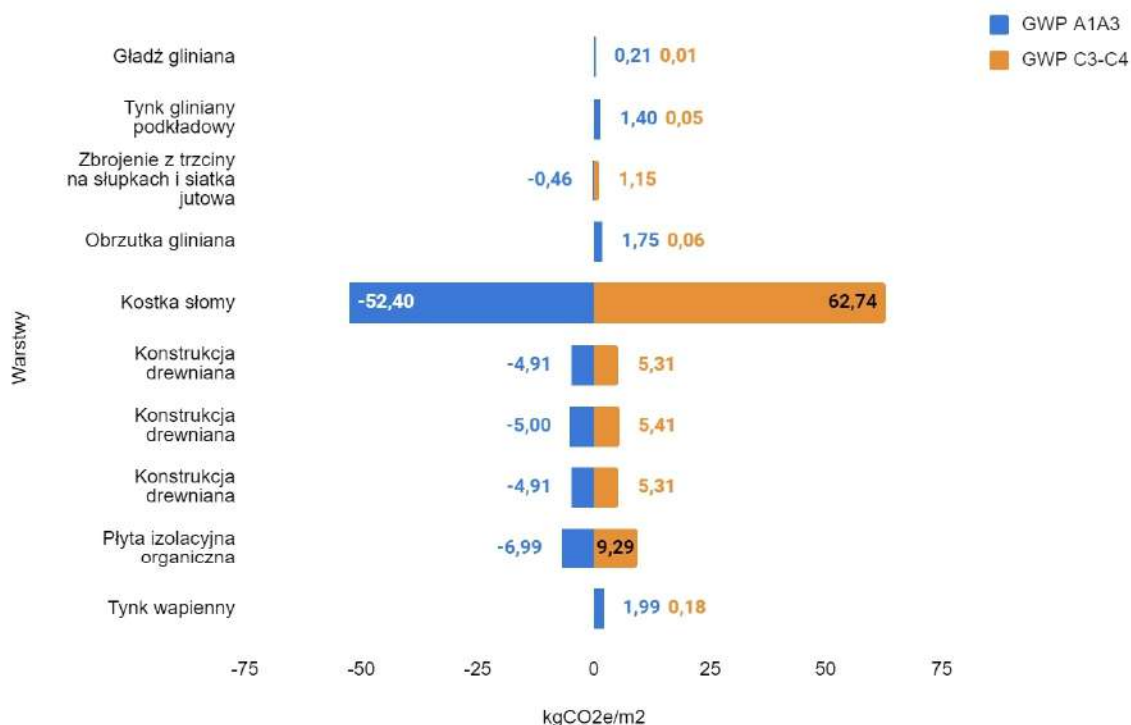
1. Ściana z izolacji prasowanej - $U=0,15$



Ślad węglowy warstw A1A3 vs. C3C4 [kgCO₂e/m²] (OEKO)



Ślad węglowy warstw A1A3 vs. C3C4 [kgCO₂e/m²] (OSBN)



Wynik na podstawie danych OEKOBAU.dat:

93,74 kgCO₂e/m²

Wynik na podstawie danych z OSBN:

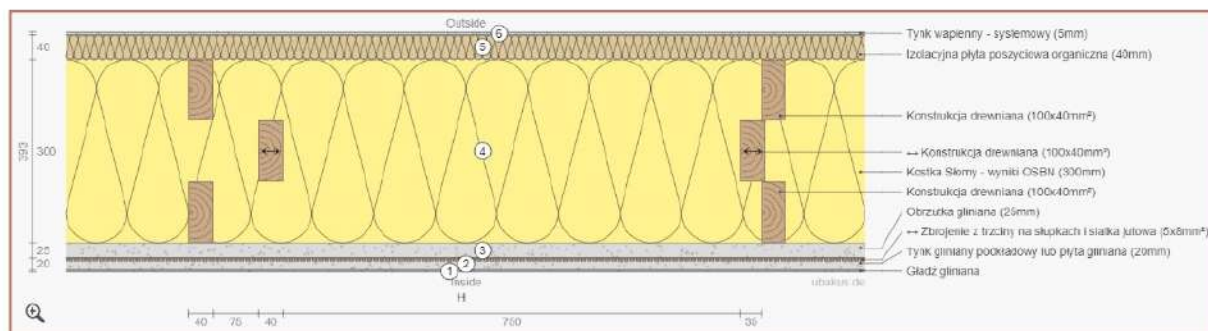
20,17 kgCO₂e/m²

Kwestia różnic w wartościach dla kostki słomy w bazie danych OEKOBAU.dat jest istotnym elementem analizy cyklu życia materiału budowlanego, jakim jest słoma. W bazie tej nie znaleziono materiału, który w pełni odwzorowuje właściwości kostki słomy, co jest wyzwaniem przy dokładnym modelowaniu wpływu środowiskowego.

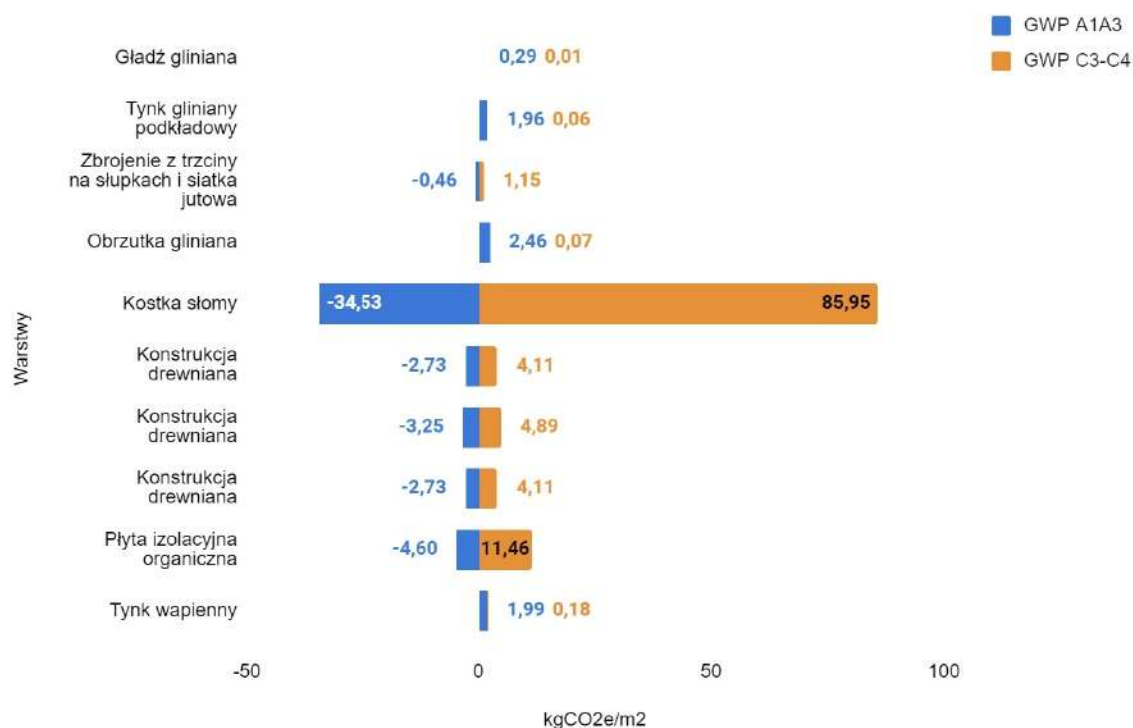
W fazach C3-C4, które dotyczą procesów użytkowania, konserwacji, napraw i zastąpienia w cyklu życia materiału, zastosowanie materiału tylko podobnego do kostki słomy mogło wprowadzić znaczną różnicę w wynikach. To może prowadzić do błędnych wniosków dotyczących trwałości i efektywności ekologicznej kostek słomy.

W finalnej analizie zastosowano materiał, który lepiej odpowiada właściwościom kostki słomy. Wybór ten pozwolił na uzyskanie bardziej precyzyjnych i reprezentatywnych wyników, szczególnie w zakresie fazy C3-C4, gdzie zauważono dużo niższe wartości, co wskazuje na lepszą wydajność środowiskową i mniejsze obciążenie ekologiczne w dłuższym okresie użytkowania.

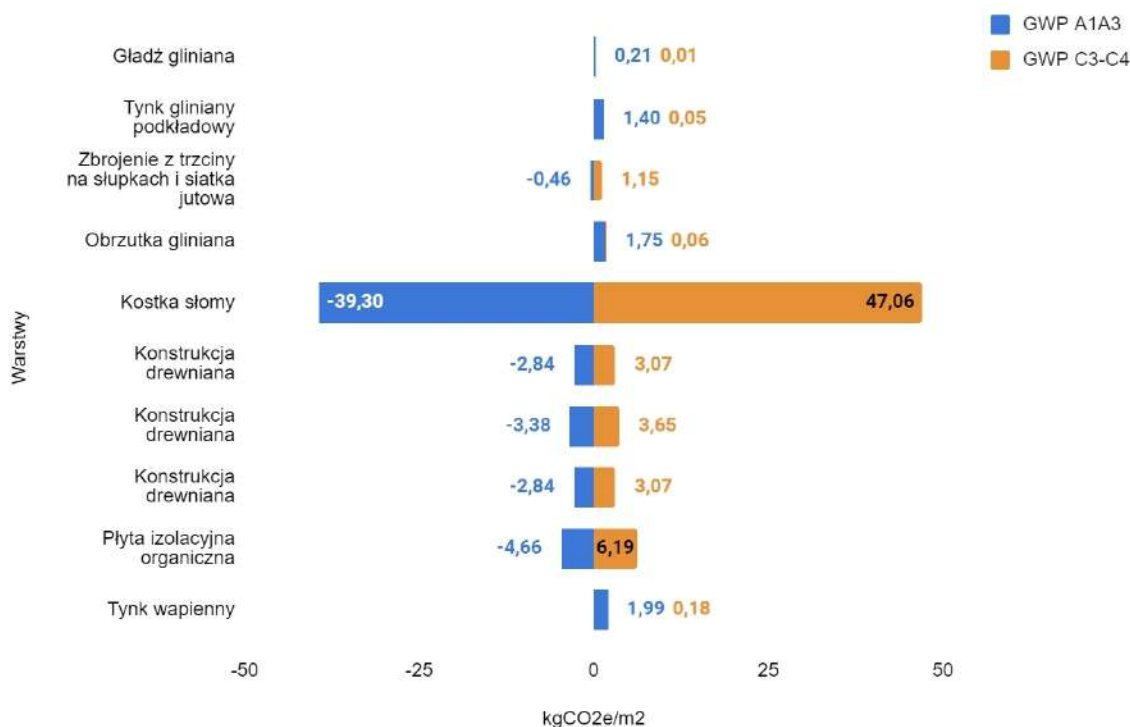
2. Ściana z izolacji prasowanej - U=0,20



Ślad węglowy warstw A1A3 vs. C3C4 [kgCO₂e/m²] (OEKO)



Ślad węglowy warstw A1A3 vs. C3C4 [kgCO₂e/m²] (OSBN)



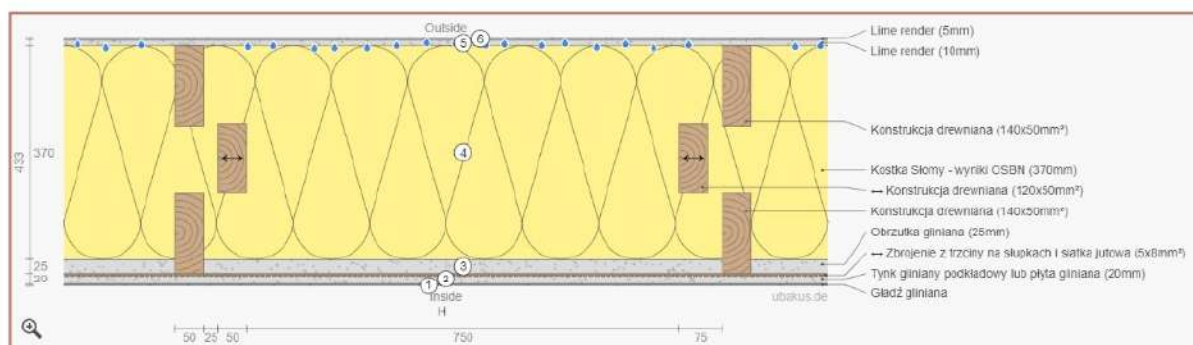
Wynik na podstawie danych OEKOBAU.dat:
70,37 kgCO₂e/m²

Wynik na podstawie danych z OSBN:
16,35 kgCO₂e/m²

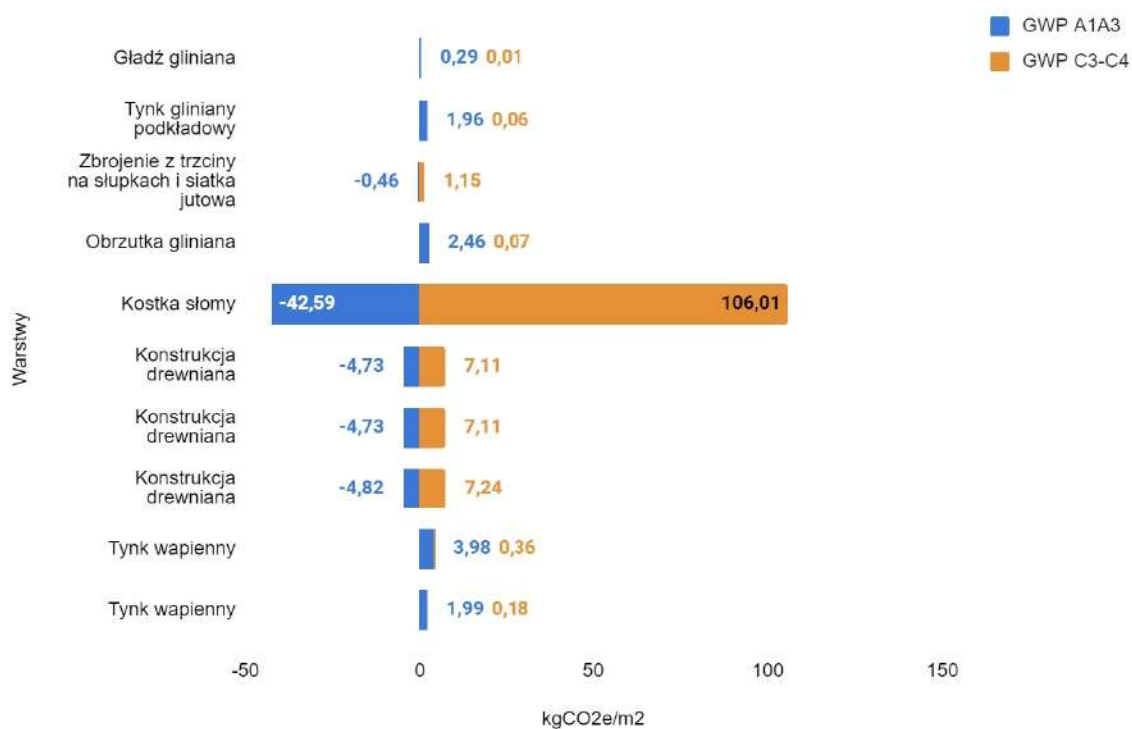
Podobnie jak w pierwszym przypadku, także w drugiej sytuacji użyto materiału tylko zbliżonego do kostki słomy. To doprowadziło do znacznych rozbieżności w fazach C3-C4, które obejmują procesy końca życia produktu. Wykorzystanie nieadekwatnego materiału mogło przekłamywać dane dotyczące trwałości i wpływu ekologicznego kostek słomy, prowadząc do nieprawidłowych wniosków w ocenie środowiskowej.

W drugiej sytuacji również zdecydowano się na użycie materiału, który lepiej reprezentuje właściwości kostki słomy w finalnej analizie. Ta zmiana pozwoliła na uzyskanie bardziej precyzyjnych wyników dla faz C3-C4, z znacznie niższymi wartościami, co sugeruje lepsze parametry środowiskowe i redukcję obciążenia ekologicznego przez dłuższy czas użytkowania.

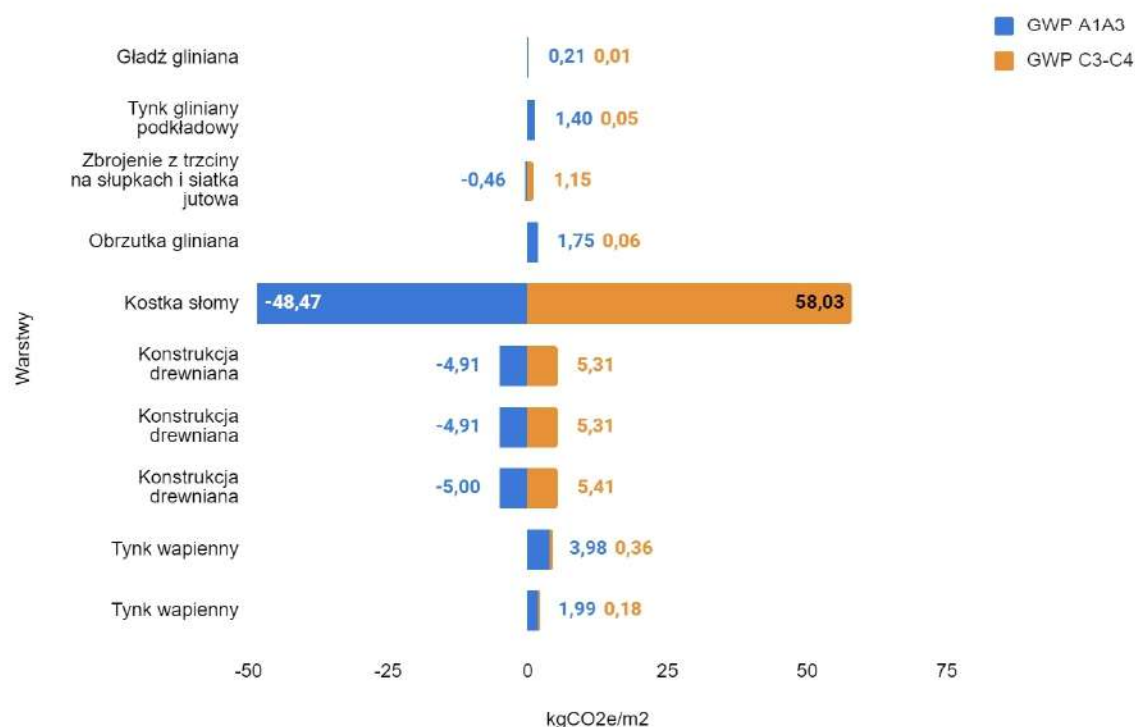
3. Ściana z izolacji prasowanej - budowa standardowa - $U=0,20$



Ślad węglowy warstw A1A3 vs. C3C4 [kgCO₂e/m²] (OEKO)



Ślad węglowy warstw A1A3 vs. C3C4 [kgCO₂e/m²] (OSBN)



Wynik na podstawie danych OEKOBAU.dat:

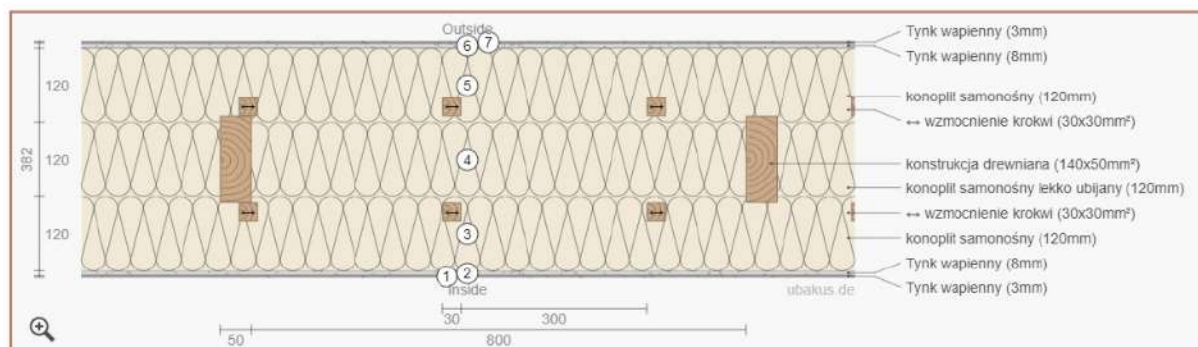
82,65 kgCO₂e/m²

Wynik na podstawie danych z OSBN:

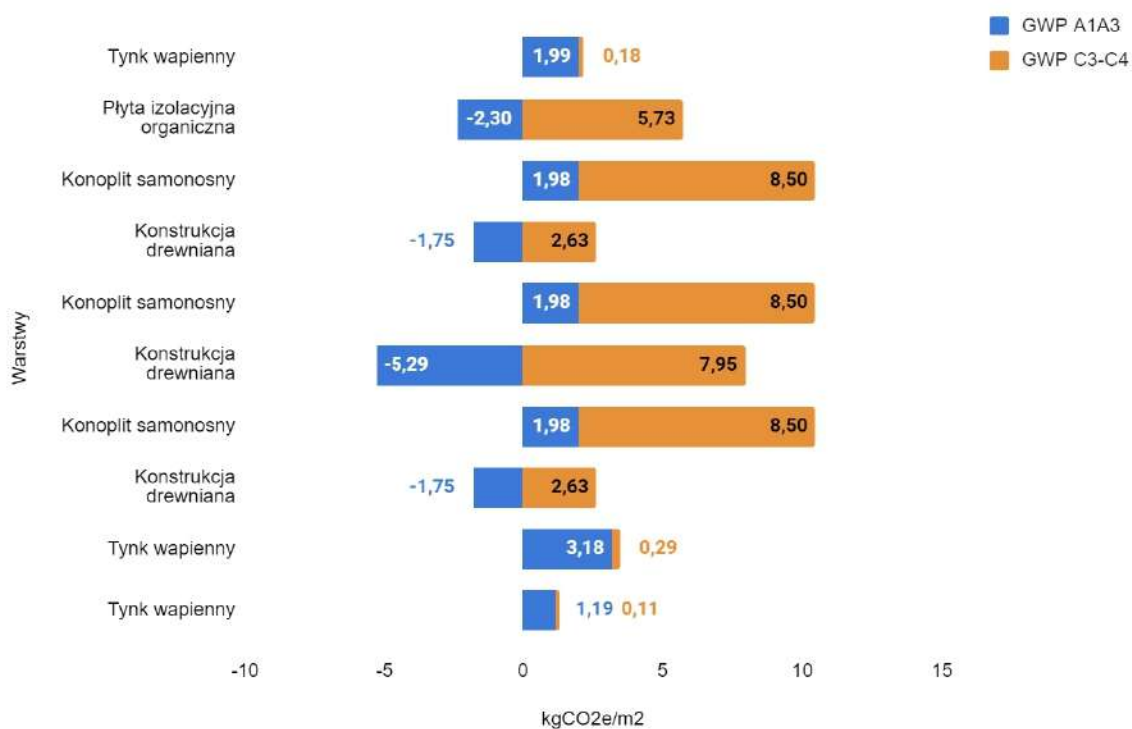
21,43 kgCO₂e/m²

W trzeciej kombinacji materiałów sytuacji również zdecydowano się na użycie materiału, który lepiej reprezentuje właściwości kostki słomy w finalnej analizie. Ta zmiana pozwoliła na uzyskanie bardziej precyzyjnych wyników dla faz C3-C4, z znacznie niższymi wartościami, co sugeruje lepsze parametry środowiskowe i redukcję obciążenia ekologicznego przez dłuższy czas użytkowania.

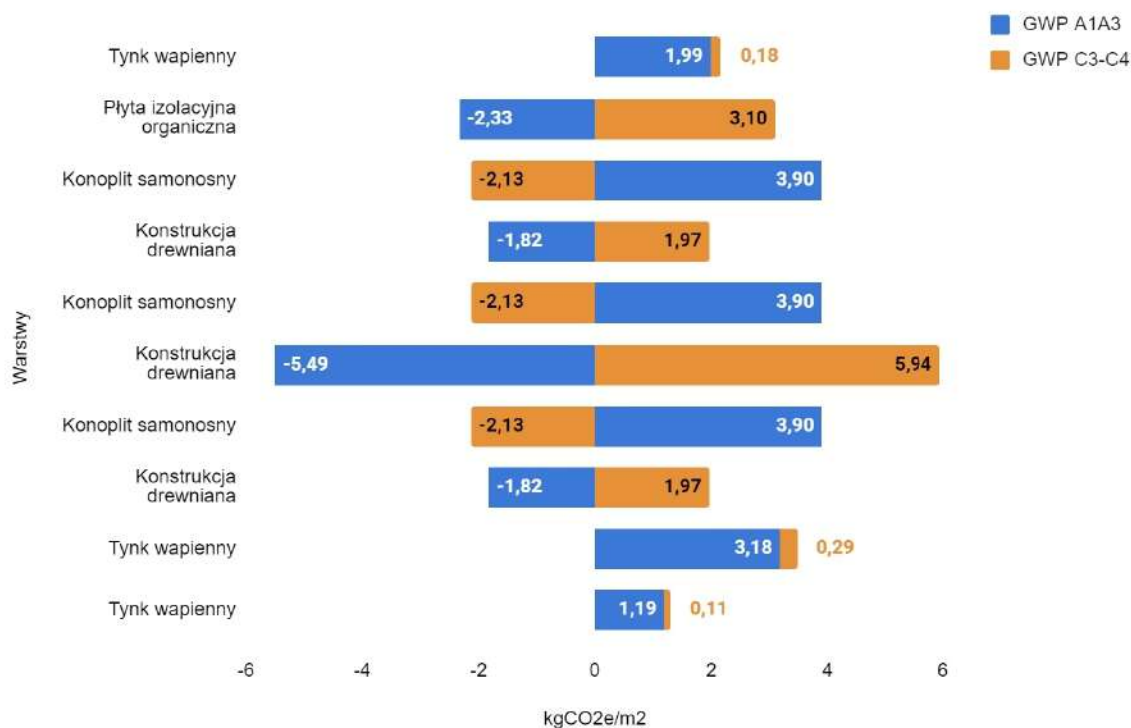
4. Ściana z konoplitu - U=0,2



Ślad węglowy warstw A1A3 vs. C3C4 [kgCO₂e/m²] (OEKO)



Ślad węglowy warstw A1A3 vs. C3C4 [kgCO₂e/m²] (OSBN)



Wynik na podstawie danych OEKOBAU.dat:

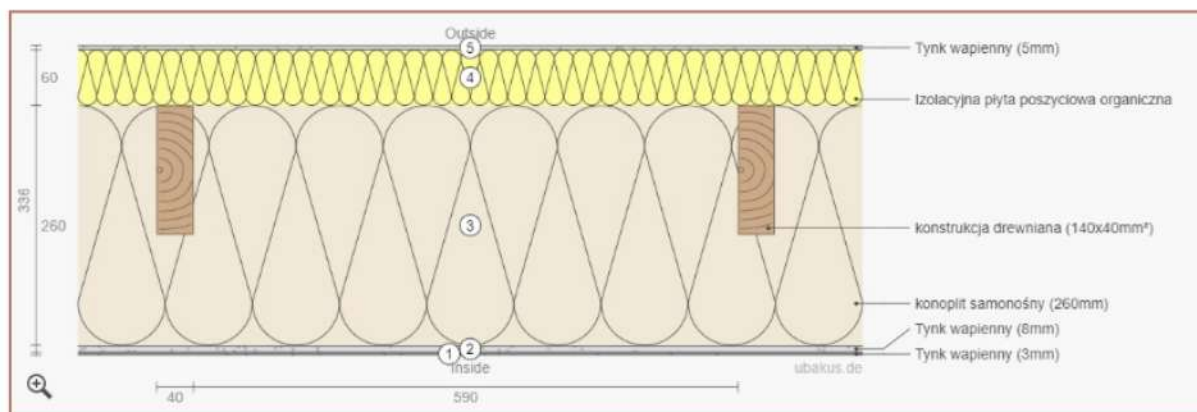
46,22 kgCO₂e/m²

Wynik na podstawie danych z OSBN:

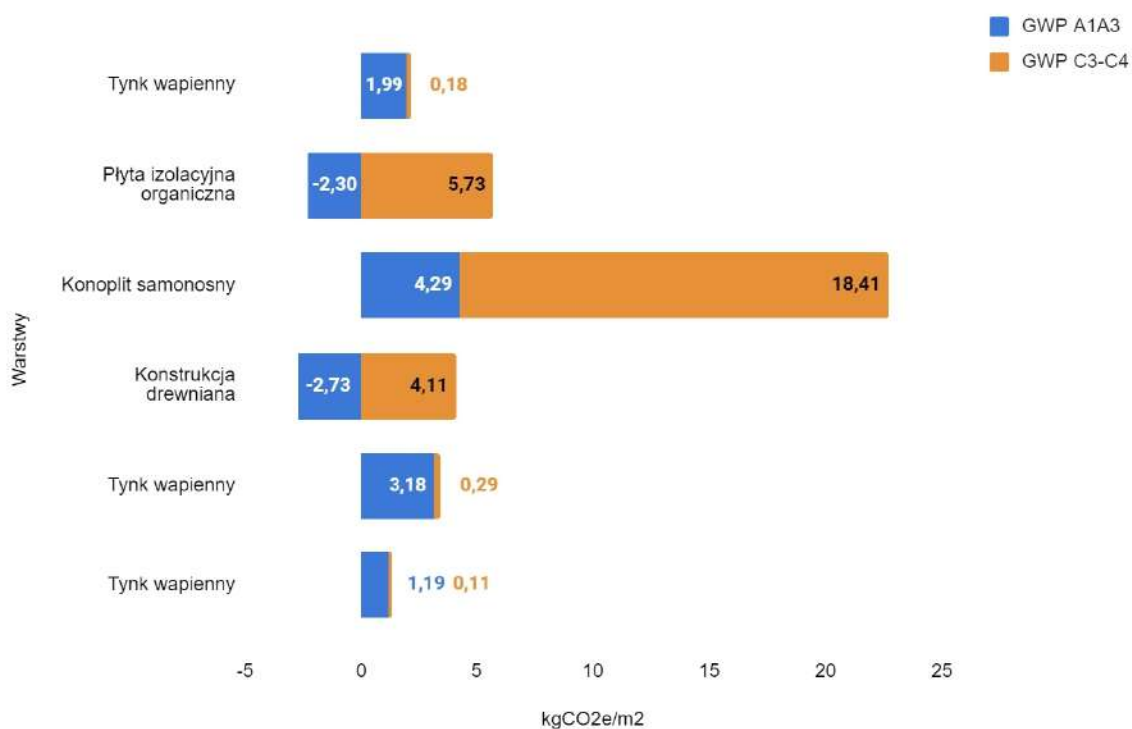
13,75 kgCO₂e/m²

Kluczowa różnica w wypadku ściany z konoplitu jest sposób kalkulacji konoplitu samonośnego. Finalny wynik jest ponad dwukrotnie niższy niż w oryginalnych obliczeniach bazujących na zewnętrznym EPD.

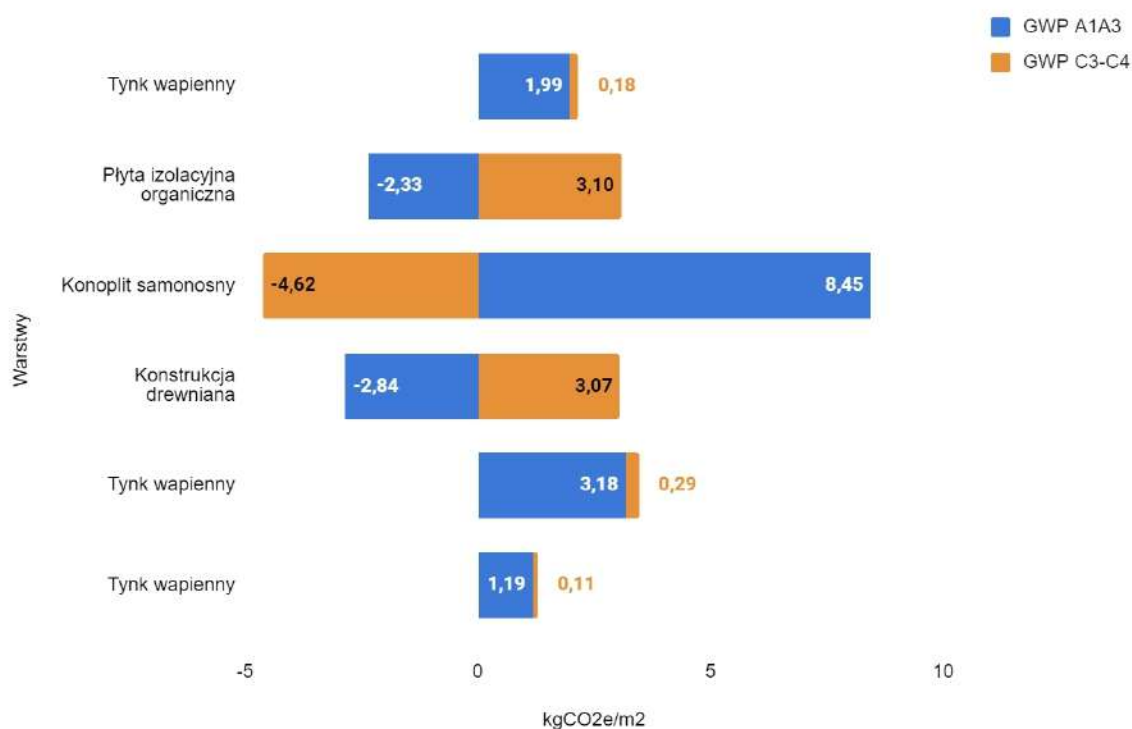
5. Ściana z konoplitu dwuwarstwowa - $U=0,2$



Ślad węglowy warstw A1A3 vs. C3C4 [kgCO₂e/m²] (OEKO)



Ślad węglowy warstw A1A3 vs. C3C4 [kgCO₂e/m²] (OSBN)



Wynik na podstawie danych OEKOBAU.dat:
34,44 kgCO₂e/m²

Wynik na podstawie danych z OSBN:
11,77 kgCO₂e/m²

Podobnie jak w wypadku poprzedniej ściany, kluczowa różnica w wypadku ściany z konoplitu jest sposób kalkulacji konoplitu samonośnego. Finalny wynik jest ponad trzykrotnie niższy niż w oryginalnych obliczeniach bazujących na zewnętrznym EPD.

Wnioski

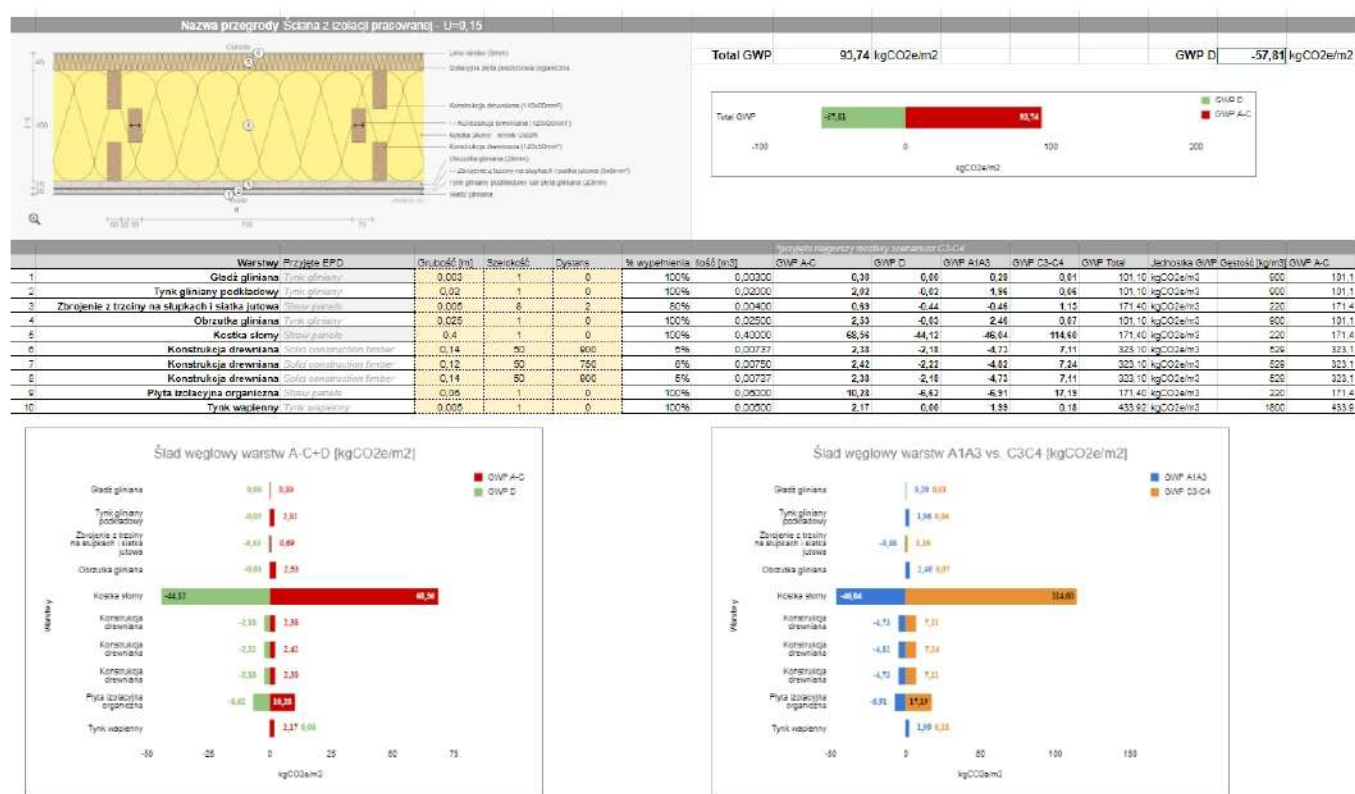
Analiza śladu węglowego różnych rodzajów ścian pokazuje, że wybór odpowiedniego materiału oraz sposób jego modelowania w bazach danych mają kluczowe znaczenie dla oceny wpływu środowiskowego budynku. Oto wnioski z przedstawionych danych:

- Różnice między bazami danych: Istnieją znaczące różnice w wynikach śladu węglowego między bazą danych OEKOBAU.dat a danymi z OSBN. Te rozbieżności mogą wynikać z różnic w metodologiach obliczeń, zakresie danych, czy też w sposobie reprezentacji materiałów. Dla ściany z izolacji prasowanej ($U=0,15$ i $U=0,20$) oraz ściany z konoplitu, wyniki z OEKOBAU są znacznie wyższe niż te z OSBN, co sugeruje konieczność uważnego doboru źródeł danych podczas analiz środowiskowych.
- Wpływ właściwej reprezentacji materiałów: Nieznalezienie odpowiednika kostki słomy w bazie danych OEKOBAU.dat i stosowanie jedynie zbliżonych materiałów wprowadziło znaczne różnice w wynikach, zwłaszcza w fazach C3-C4, które obejmują użytkowanie, konserwację i zastąpienie materiału. To pokazuje, jak istotne jest precyzyjne modelowanie właściwości fizycznych i środowiskowych materiałów w celu uzyskania wiarygodnych wyników.
- Znaczenie faz C3-C4 w ocenie cyklu życia: Użycie bardziej adekwatnych materiałów w finalnych analizach dla ścian z izolacji prasowanej oraz konoplitu przyczyniło się do znaczącego zmniejszenia wartości śladu węglowego w fazach użytkowania i końca życia produktu. To wskazuje na istotną rolę tych faz w ocenie trwałości i wpływu ekologicznego materiałów budowlanych.
- Potencjalne błędne wnioski wynikające z nieadekwatnych danych: Użycie nieprecyzyjnych lub niepełnych danych może prowadzić do błędnych wniosków dotyczących efektywności ekologicznej i trwałości materiałów, co podkreśla potrzebę dalszego rozwijania i ulepszania baz danych dotyczących materiałów budowlanych.

Podsumowując, staranne modelowanie materiałów i wybór odpowiednich baz danych są kluczowe dla dokładnej oceny wpływu środowiskowego budynków. Wyniki te wskazują również na konieczność bardziej zintegrowanego podejścia do analizy cyklu życia, uwzględniającego wszystkie fazy, od produkcji po koniec życia produktu.



Uproszczony kalkulator obliczania śladu węglowego przegród



Ilustracja: Przykładowa ściana w kalkulatorze

Kalkulator opracowany w środowisku Microsoft Excel jest narzędziem umożliwiającym użytkownikom głęboką analizę śladu węglowego różnych przegrody budowlanych. Dzięki dostępnym do pobrania plikom, użytkownicy mogą nie tylko przeglądać szczegółowe informacje dotyczące poszczególnych warstw tych przegrody, ale także sprawdzać wyniki swoich analiz. Co więcej, aplikacja oferuje elastyczność w zakresie modyfikacji grubości każdej z warstw, a także zmian w ich składzie, co pozwala na dostosowanie kalkulacji do specyficznych potrzeb i wymagań projektowych.

Program Excel, wykorzystując zaimplementowane funkcje, automatycznie generuje trzy rodzaje wykresów, co znacząco ułatwia interpretację danych i pomaga w podejmowaniu decyzji. Pierwszy wykres przedstawia całkowity wynik śladu węglowego dla analizowanej przegrody, dając użytkownikom szybki ogólny wpływ danego rozwiązania na środowisko. Drugi wykres rozkłada wyniki na poszczególne warstwy w kontekście całego cyklu życia budynku oraz korzyści, które mogą wystąpić poza tym cyklem, co pozwala na bardziej szczegółowe zrozumienie, gdzie i jak można zoptymalizować projekt. Trzeci wykres, prezentujący wyniki dla poszczególnych warstw na etapach początku i końca ich życia, dostarcza istotnych informacji na temat podziału śladu węglowego względem różnych materiałów oraz ich potencjalnego wpływu na środowisko po zakończeniu użytkowania.

Takie podejście do analizy śladu węglowego jest niezwykle przydatne w nowoczesnym projektowaniu zrównoważonym, umożliwiając projektantom i inżynierom podejmowanie świadomych wyborów materiałowych i konstrukcyjnych, które mają bezpośredni wpływ na ekologiczny odcisk budynku.

Opracowanie propozycji wsparcia (np. w formie dotacji, ulg itp.) dla różnych materiałów i ich zastosowań celem uzyskania konkurencyjnych, rynkowych rozwiązań.

System handlu uprawnieniami do emisji (ETS) opodatkowuje produkcję krajową na podstawie ilości emitowanych gazów cieplarnianych. W ten sposób zachęca do inwestowania w procesy o mniejszym wpływie na środowisko. Systemem tym objęte są wszystkie zakłady przemysłowe także sektora budowlanego m.in aluminium, stali, cegielni, cementu, wapna, wytwórców chemii budowlanej czy materiałów izolacyjnych przekraczających zapotrzebowanie na moc cieplną powyżej 20 MW. Do 2050 r. zakłady te mają zostać neutralne klimatycznie. Wraz ze wzrostem cen uprawnień do emisji, będą zatem rosły także ceny wyrobów budowlanych, opartych o przetwórstwo z wykorzystaniem paliw kopalnych. Pośrednia presja na producentów energochłonnych produktów nie stworzyła jednak bezpośrednich zachęt do przekierowania środków pozyskanych w ramach ETS na opracowanie i wdrożenie możliwych do zastosowania rozwiązań niewymagających energochłonnych procesów. Brak możliwości zmiany procesów wytwórczych wymagających ciepła, wpływa na poszukiwanie alternatyw neutralnych klimatycznie w postaci wykorzystania biomasy, biogazu co będzie prowadzić do wzrostu jej ceny i dostępności jako jedyne go dostępnego paliwa dla produkcji wysokotemperaturowej. Przy obecnej średniej rynkowej wycenie kosztów uprawnień do emisji na poziomie 350zł (80 Euro)/tCO₂eq, możemy wyliczyć jednostkowe obciążenia dla wyrobów budowlanych wymagających obróbki cieplnej.

Sektor budownictwa (w tym głównie operacyjny ślad węglowy budynków) , zgodnie z ocenami Unii Europejskiej, odpowiada za około jednej trzeciej emisji gazów cieplarnianych, Parlament Europejski i Rada przyjęły dyrektywę 2023/959 z dnia 10 maja 2023 r., która wprowadza system handlu uprawnieniami do emisji z użytkowania budynków od 2027r. Górny pułap wyceny określony został na poziomie 45 Euro/tCO₂eq . Środki z systemu ETS2 mają zasilić Społeczny Fundusz Klimatyczny, mający na celu zapewnienie specjalnego finansowania dla państw członkowskich. Ma wspierać najbardziej potrzebujące grupy społeczne, zwłaszcza gospodarstwa domowe dotknięte problemem niskiej wydajności energetycznej, zwanej także „ubóstwem energetycznym”.Polska otrzyma najwyższy odsetek wsparcia spośród wszystkich państw członkowskich (17,6 proc., co równa się około 20 mln euro w latach 2026–2032). Należy się jednak spodziewać iż środki te nie będą przeznaczone na wsparcie termomodernizacji, lecz na bezpośrednią pomoc w zakupie paliwa do celów grzewczych.

Propozycja

W ramach systemu dystrybucji środków ETS, należy wydzielić pulę uprawnień pozyskanych z rynku budownictwa i przeznaczyć środki na bezpośrednie wsparcie nowych rozwiązań neutralnych klimatycznie, nie opartych o energochłonne procesy. Pozwoli to wypracowanie bezpośrednich programów wsparcia dla nowych podmiotów, oraz opracuje system wsparcia dla przemysłu, który ze względu na rosnące koszty produkcji, będzie musiał przejść wewnętrzną reorganizację.

Należy także wspierać rozwiązania termomodernizacyjne zawierające węgiel biogeny, jako źródło czasowej lub trwałej akumulacji gazów cieplarnianych.



Propozycja mechanizmu wsparcia produktów o niskim śladzie węglowym

1. Wsparcie rolnictwa węglowego poprzez ekoschematy

Surowce naturalne, a przede wszystkim organiczne, podlegają już różnorodnym mechanizmom wsparcia unijnej produkcji rolnej. Wprowadzane przez politykę "Zielonego Ładu" ekoschematy dla produkcji rolnej, mają przede wszystkim zmniejszyć ślad węglowy emisji gruntowych i zwiększyć różnorodność biologiczną, retencję wody i pozostałe lokalne aspekty środowiskowe.

"Celem tego ekoschematu jest wsparcie praktyk rolniczych, które prowadzą do zwiększenia zasobów węgla w glebie i ograniczają jego uwalnianie do atmosfery, a także promują zrównoważony rozwój i efektywne zarządzanie zasobami naturalnymi (wodą, glebą i powietrzem).

Stawki płatności za realizację poszczególnych praktyk w ramach w 2024r. ekoschematu zależą od liczby punktów na hektar powierzchni obszaru zatwierdzonego do wsparcia i wynoszą, w zależności od praktyki:

- Ekstensywne użytkowanie trwałych użytków zielonych z obsadą zwierząt: 5 punktów; 524,45 zł/ha;
- Międzyplony ozime lub wsiewki śródplonowe: 5 punktów; 524,45 zł/ha;
- Opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia
 - – wariant podstawowy: 1 punkt; 104,89 zł/ha;
- Opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia
 - – wariant z wapnowaniem: 3 punkty; 314,67 zł/ha;
- Zróżnicowana struktura upraw: 3 punkty; 314,67 zł/ha;
- Wymieszanie obornika na gruntach ornych w terminie 12 godzin od jego aplikacji: 2 punkty; 209,78 zł/ha;
- Stosowanie nawozów naturalnych płynnych innymi metodami niż rozbryzgowo: 3 punkty; 314,67 zł/ha;
- Uproszczone systemy uprawy: 4 punkty; 419,56 zł/ha;
- Wymieszanie słomy z glebą: 2 punkty; 209,78 zł/ha.

Ekoschematy mają zastosowanie zarówno dla uprawy zbóż jak i konopii i pozwalają na uzyskanie od 524,45 do 2 622,25 zł/ha potencjalnego dodatkowego przychodu przy zachowaniu upraw. Dodatki te nie są bezpośrednio powiązane z weryfikacją rzeczywistego związania węgla w glebie i nie przekładają się na oficjalne wystawienie certyfikatów węglowych. Nie znaleziono także źródeł wyliczeń pośredniego wpływu zastosowania ekoschematów na ograniczenie śladu węglowego upraw. Można jedynie próbować szacować stopień dofinansowania rolnictwa węglowego i osiągnięcie całościowych rezultatów ilościowych redukcji śladu węglowego.

Przy założeniu maksymalnej możliwości akumulacji w glebie ok $2tCO_2eq/ha$ ³⁸ rocznie przy uproszczonej uprawie i stosowaniu poplonu jest wyceniana na 10 pkt, czyli około 500 zł/tCO₂eq. (bez kosztów dodatkowej pracy i zabiegów) Pozostałe zabiegi mają ograniczyć niekontrolowaną emisję z nawożenia upraw, lub dążą do korzystnego wprowadzania płodozmianu .

³⁸ <https://bibliotekanauki.pl/articles/13095667.pdf>

Wyliczenie na podstawie

https://ieep.eu/wp-content/uploads/2023/02/Environment-and-climate-assessment-of-Polands-CAP-Strategic-Plan_IEEP-2023.pdf

https://agriculture.ec.europa.eu/cap-my-country/cap-strategic-plans/poland_en#documents

https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/438301fe-ed55-484e-b865-8098a-3a182bb_pl?filename=pl-swd2020_389-other-swp_pl.pdf&prefLang=en

tu kwota przeznaczona na ekoschematy:

https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/146eb1a9-1899-409a-a380-7168f622fbbf_pl?filename=csp-annex-poland_pl.pdf

tu ilość ogrócenia w sekwestracji na polu:

<https://bibliotekanauki.pl/articles/13095667.pdf>

Przejście na uprawę bezorkową, lub z ograniczoną orką dla upraw pozwala na związanie dodatkowych 5-10 t/ha w perspektywie 25-75 lat³⁹. Warto zauważyć, iż potencjał akumulacji węgla w glebie z użytkowania trwałego łąk i pastwisk bezorkowo jest dużo wyższy niż uprawy rolnej, przy jednoczesnej możliwości pozyskania siana do celów hodowlanych i możliwości wypasu bydła.

System ten pomimo obecnych sprzeciwów związków rolniczych, wdrażanych na obszarze całej Unii Europejskiej daje podstawy do wsparcia zagospodarowania produktów rolniczych, przeznaczonych jako surowiec budowlany będący nowym zasobem akumulacji węgla biogenego.

Wdrożenie finansowania uprawy rolnej w ramach ekoschematów w Polsce było na marginalnym poziomie. Powiązanie mechanizmów wsparcia akumulacji węgla biogenego w produktach budowlanych jest stosunkowo nowym pomysłem, który nie został uwzględniony we wspólnotowej strategii dla rolnictwa.

Międzyplony przynoszą korzyści zarówno dla gleby, jak i dla dochodów rolników, ponieważ jeden hektar międzyplonów może w ramach programu węglowego przynieść nawet dodatkowo 360 zł, a kolejne 500 zł można pozyskać w ramach ekoschematów. Rolnictwo węglowe będzie stawać się coraz bardziej popularne, również ze względu na działania prośrodowiskowe Unii Europejskiej.

Propozycja wsparcia

Dofinansowanie produkcji rolnej uwzględniające wykorzystanie surowca dla wyrobów budowlanych może się opierać o istniejące instrumenty wsparcia. Rozliczenie z dotacji powinno się odbywać jednak na późniejszym etapie sprzedaży i zastosowania surowca w wyrobach budowlanych. Pozwoliłoby to

³⁹ posób uprawy gleby a zawartość węgla organicznego po zmianie użytkowania z łąkowego [za: Gonet i Markiewicz, 2007, na podstawie Poulton 1995]

obniżyć cenę surowca dla raczkujących manufaktur- wytwórców wyrobów z surowców organicznych i jednocześnie ustanowić trwałe relacje dostawców surowca o odpowiedniej gwarantowanej jakości. Potwierdzenie w stosowaniu obecnych ekoschematów, może być elementem analizy uwzględniającej zmniejszone pośrednie emisje z upraw węglowych.

Warto tym samym rozróżnić czasowe i trwałe związanie węgla biogenicznego w ramach produktów nadających się do kompostowania, składowania i materiałów o potencjale jako surowiec energetyczny, co może się już odbywać w opracowanych katach EPD i opracowaniu systemu certyfikacji i kontroli dostawców surowców.

2. Opracowanie systemu kształtowania wartości czasowych i trwałych magazynów węgla.

<https://bezpieczenstwozywnosci.wip.pl/bezpieczenstwo-zywnosci/unijne-ramy-certyfikacji-usuwania-dwutlenku-węgla-4244.html>

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/754585/EPRS_ATA\(2023\)754585_PL.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/754585/EPRS_ATA(2023)754585_PL.pdf)

“Proponowane rozporządzenie ustanawiające ramy certyfikacji stanowiłoby dobrowolne narzędzie do certyfikacji składowania biogenicznego i atmosferycznego dwutlenku węgla lub ograniczenia uwalniania dwutlenku węgla ze źródeł biogenicznych do atmosfery. Obejmowałoby ono trzy rodzaje działań związanych z usuwaniem dwutlenku węgla: (i) rolnictwo regeneratywne, które zwiększa wychwytywanie dwutlenku węgla w biogenicznym rezerwuarze węgla lub ogranicza uwalnianie dwutlenku węgla z biogenicznego rezerwuaru węgla, (ii) trwałe składowanie dwutlenku węgla, takie jak wychwytywanie dwutlenku węgla bezpośrednio z powietrza i jego składowanie (DACCS) lub produkcja bioenergii z wychwytywaniem i składowaniem dwutlenku węgla (BECCS) oraz (iii) trwałe składowanie dwutlenku węgla w produktach lub materiałach. W ramach tych stosowano by kryteria jakości, na podstawie których niezależna jednostka certyfikująca przeprowadzałaby audyt podmiotów w celu weryfikacji zgodności, zanim uznany przez Komisję system certyfikacji będzie mógł wydać unijne świadectwo usunięcia dwutlenku węgla”

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:52022PC0672>

Unijne certyfikaty węglowe a rolnictwo

Unijny system certyfikacji usuwania CO₂ miałby odnosić się do działań z zakresu:

magazynowania dwutlenku węgla w produktach trwałych, np. drewnopochodnych materiałach budowlanych i biowęgla;

przemysłowego usuwania dwutlenku węgla z atmosfery np. za pomocą technologii BECCS (bioenergia z wyłapywaniem i magazynowaniem węgla) czy DACCS (bezpośrednie wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla z powietrza); oraz rolnictwa węglowego.⁴⁰

Komisja Europejska zaproponowała wprowadzenie nowego celu, który zakłada pochłanianie netto

⁴⁰<https://www.farmer.pl/finanse/podatki-rachunkowosc/unijne-certyfikaty-weglowe-jest-wstepne-porozumienie-pe-i-rady,142096.html>

przez grunty ekwiwalentu CO₂ w wysokości -310 mln ton do 2030 r., jako część zmian w rozporządzeniu dotyczącym LULUCF. Aby osiągnąć ten cel, państwa członkowskie będą zobowiązane do podniesienia ambicji swoich krajowych strategii w zakresie użytkowania gruntów. Dodatkowo, proponowane zwiększenie funduszu innowacyjnego finansowanego z dochodów z EU ETS ma wspierać przedsiębiorstwa w inwestowaniu w czyste technologie, w tym te umożliwiające usuwanie dwutlenku węgla.

Do 2030 r. stosowanie metod rolnictwa węglowego powinno przyczynić się do osiągnięcia celu sektora LULUCF zakładającego pochłanianie netto wynoszące -310 Mt ekwiwalentu CO₂;

Warto zwrócić uwagę na definicje:

„usuwanie dwutlenku węgla” oznacza albo składowanie atmosferycznego lub biogenicznego dwutlenku węgla w geologicznych rezerwuarach węgla, biogenicznych rezerwuarach węgla, trwałych produktach lub materiałach oraz w środowisku morskim, albo zmniejszenie uwalniania dwutlenku węgla z biogenicznego rezerwuaru węgla do atmosfery;

„działanie związane z usuwaniem dwutlenku węgla” oznacza praktykę lub proces (lub praktyki lub procesy) realizowane przez podmiot, prowadzące do: trwałego składowania dwutlenku węgla, zwiększenia wychwytywania dwutlenku węgla w biogenicznym rezerwuarze węgla, zmniejszenia uwalniania dwutlenku węgla z biogenicznego rezerwuaru węgla do atmosfery lub składowania atmosferycznego lub biogenicznego dwutlenku węgla w trwałych produktach lub materiałach;

„biogeniczny rezerwuar węgla” oznacza biomasę nadziemną, biomasę podziemną, ściółkę, martwe drewno i węgiel organiczny w materii gleby, jak określono w części B lit. a)–e) załącznika I do rozporządzenia 2018/841;

Rezerwuary węgla, o których mowa w art. 5 ust. 4:

- biomasa nadziemna;
- biomasa podziemna;
- ściółka;
- martwe drewno;
- węgiel organiczny w materii gleby;
- produkty z pozyskanego drewna w kategoriach rozliczania gruntów obejmujących grunty zalesione i zarządzane grunty leśne.

Dla drewna ustalono także metodykę trwałości akumulacji węgla. Produkty wykorzystane w unieszkodliwianiu odpadów stałych lub celach energetycznych podlegają natychmiastowemu utlenianiu. Okresy połowicznego rozpadu węgla w produktach drewnianych wynoszą 2 lata dla papieru, 25 lat dla płyt drewnianych i 35 lat dla tarcicy.

Warto zauważyć iż węgiel biogeny w produktach rolnych może być uwzględniony ogólnie jako biomasa nadziemna. Zapomniano o możliwości wytwarzania trwałych produktów z biomasy roślinnej równej produktom drewnopochodnym, co powinno być uwzględnione dla czytelnej możliwości uwzględnienia rezerwuaru biogenego w produktach budowlanych. Podobne zasady dla biomasy rolniczej mogłyby dotyczyć zagospodarowania w hodowli zwierząt, czy uprawy (1-2 lata , wyrobów budowlanych (25 lat dla produktów ulegających spalaniu , 35 lat dla kompozytów).

Zakres uwzględniania akumulacji z węgla z produktów drewnianych uwzględniany jest na zasadach

ogólnych w metodyce LULOUF i akumulacja węgla jest wykazywana wraz z emisyjnością leśnictwa. Zatem wykazywanie potencjału magazynowania węgla w produktach budowlanych wymaga opracowania oddzielnych zasad w przypadku wyodrębnienia i uwzględnienia w ramach rolnictwa biogenego i leśnictwa, celem uniknięcia podwójnego wykazu korzyści.

Rekomendacje

1. Karty oceny środowiskowej produktów EPD - nie mogą być docelowym dokumentem kształtowania społecznej świadomości konsumentów - użytkowników, architektów, wykonawców stosujących wyroby budowlane.

- Zawierają zbyt dużo kategorii oceny parametrów w niezrozumiałych jednostkach i matematycznych formatach liczbowych, w większości nie podlegających dalszemu wykorzystaniu i ocenie środowiskowej
- Nie zawierają skali odniesienia i porównania do najczęściej stosowanych rozwiązań
- Zawierają różne jednostki odniesienia do kubatury, powierzchni, wagi nawet dla materiałów o podobnych właściwościach użytkowych - wymagają indywidualnych przeliczeń
- Zazwyczaj zawierają deklaratywne modelowe sposoby zagospodarowania wyrobów w końcowej fazie życia, oddalając w czasie jego zagospodarowanie, nie wiążąc producenta wyrobów na wskazanie kategorii zagospodarowania odpadów lub przejęcia odpowiedzialności za jego utylizację

Sporządzane są za jedynie częściowo jawnymi modelami obliczeniowymi w płatnych bazach danych środowiskowych "Ecoinvent", z brakiem możliwości ujawniania pełnych modeli, czy generowania wariantowych raportów porównawczych. Utrudnia to ich weryfikację i możliwości budowania modeli LCA opartych o tożsame uspołnione założenia.

2. Zalecane dla komunikacji społecznej jest wprowadzenie zunifikowanej oceny konsumenckiej produktów budowlanych zawierającej w uwspólnionej formie graficznej podstawowe dane dotyczące właściwości użytkowych wyrobów budowlanych; poszerzone o zunifikowane aspekty monitoringu śladu węglowego wyrobów i oceny parametrów gospodarki obiegu zamkniętego.

a. Ocena śladu węglowego wyrobów budowlanych powinna w sposób czytelny zawierać informacje o:

- I. Śladzie węglowym procesów produkcji A (1+4)
- II. Wkorzystaniu surowców będących magazynem dla węgla lub recyklingowych A
- III. Sposobie, kosztach środowiskowych jego utylizacji lub stosowanych na dzień dzisiejszy sposobach jego sortowania i powtórnego wykorzystania
- IV. Możliwości częściowej trwałej akumulacji węgla lub możliwości wykorzystania jako surowiec energetyczny. w fazie C i D
- V. Ilości energii i wody koniecznej do wykorzystania w procesach produkcji i przetwarzania, oraz docelowo źródła ich pochodzenia.

b. Parametry oceny gotowości do wykorzystania w ramach GOZ, powinny się opierać na obecnych możliwościach rozdziału materiału i relanego przetwarzania jako:

- I. zregenerowany produkt o ożsamej funkcji
- II. materiał kompostowy lub dodatek do produkcji rolniczej
- III. surowiec energetyczny

IV. surowiec dla innych produktów o niższym śladzie węglowym przygotowania od innych surowców

V. kruszywo budowlane, bezpieczne w wykorzystaniu w pracach gruntowych

c. Producenci domów i deweloperzy dla stosowanych technologii budowlanych - powinni informować końcowych użytkowników o śladzie węglowym stosowanych technologii i połączenia materiałów w postaci analizy przegród budowlanych i całego budynku na wzór metodycki sporządzania świadectw energetycznych budynków.

I. Powinny zostać opracowane publiczne narzędzia do uśrednionej oceny i możliwości porównania

3. Ocena biogenego potencjału wyrobów opartych o surowce organiczne powinna zawierać uśrednione podejście do analizy modelu produkcji rolniczej i leśnej surowców.

- a. uwzględniać czas odnowienia zasobu surowca w czasie
- b. zawierać zagrożenia związane z emisją gazów cieplarnianych z pola m.in. z nawozów azotowych, czy nawozów organicznych.
- c. rozróżnienia potencjału czasowej i trwałej akumulacji węgla biogenego
- d. określać realistycznie scenariusze zagospodarowania na końcu życia produktów

4. Wykorzystanie biopaliw i biomasy w produkcji wyrobów budowlanych i pozostałej energii OZE powinno być wykazywane w postaci nakładów energetycznych w wyrobach budowlanych i monitorowane równolegle ze śladem węglowym z paliw kopalnych.

- a. może to powodować specyficzny greenwashing, w którym to obecnie wysoce energetyczne materiały budowlane stają się neutralne klimatycznie, dzięki zastosowaniu biomasy do utleniania i późniejszym wiązaniu dwutlenku węgla w masie (cement, wapno).

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



IOŚ-PIB
Instytut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy



**DEKARBONIZACJA
PROCESÓW
BUDOWLANYCH**