



Instytut Gospodarki
Surowcami Mineralnymi
i Energią
Polskiej Akademii Nauk



Opracowanie LCA dla produktu firmy
F.H.P.U. "TEK-PAK" SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ SPÓŁKA KOMANDYTOWA
- pudełka kartonowego

Opracowanie zostało przygotowane w ramach projektu SPIN

Praca zrealizowana w Pracowni Badań Strategicznych IGSMiE PAN pod kierunkiem
dr hab. Joanny Kulczyckiej

Opracowanie:

Anna Henclik

Kraków, luty 2023

Spis treści

1.	Ocena cyklu życia – opis metody.....	3
2.	Opis organizacji i Portfolio Produktów – F.H.P.U. "TEK-PAK" SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ SPÓŁKA KOMANDYTOWA	5
3.	Cel i zakres analizy	9
3.1.	Założenia i wyłączenia ogólne do analizy	10
4.	Analiza zbioru wejść i wyjść (LCI)	11
4.1.	Założenia do wprowadzonych danych do programu obliczeniowego	12
5.	Analiza śladu środowiskowego i interpretacja wyników	12
5.1.	Charakteryzowane wyniki wskaźników kategorii oddziaływania	16
5.2.	Ważone wyniki wskaźników kategorii oddziaływania.....	17
6.	Analiza porównawcza dla innych pudełek kartonowych	23
7.	Podsumowanie	26

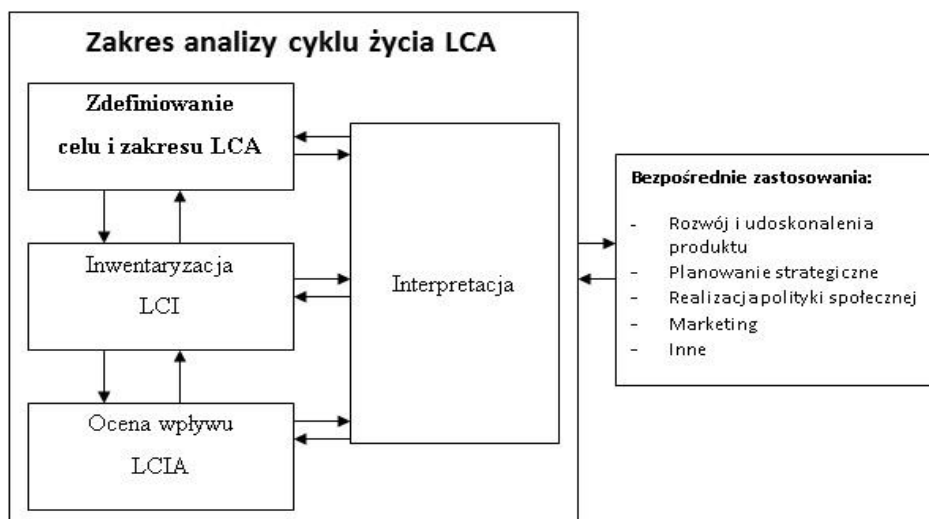
1. Ocena cyklu życia – opis metody

Wykorzystywanie metody oceny cyklu życia (LCA) jest rekomendowane w wielu oficjalnych dokumentach UE, ponieważ wpisuje się w najlepsze praktyki zarządzania środowiskowego.

Ocena cyklu życia według oficjalnej definicji opublikowanej przez Komisję Europejską to proces zbierania i oceny danych „wejściowych” (inputs) i „wyjściowych” (outputs) wyrobu, jak i oceny potencjalnego wpływu na środowisko w całym jego cyklu życia (produkcja, użytkowanie i utylizacja). Metoda LCA została opisana przez Międzynarodowy Komitet Normalizacyjny w normach z serii ISO 1404X - Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia. Obecnie obowiązujące normy to: PN-EN ISO 14040:2009 Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Zasady i struktura oraz PN-EN ISO 14044 Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Wymagania i wytyczne.

Na podstawie norm ISO wymaga się, aby analiza LCA prowadzona była następującymi etapami (rysunek 1.1):

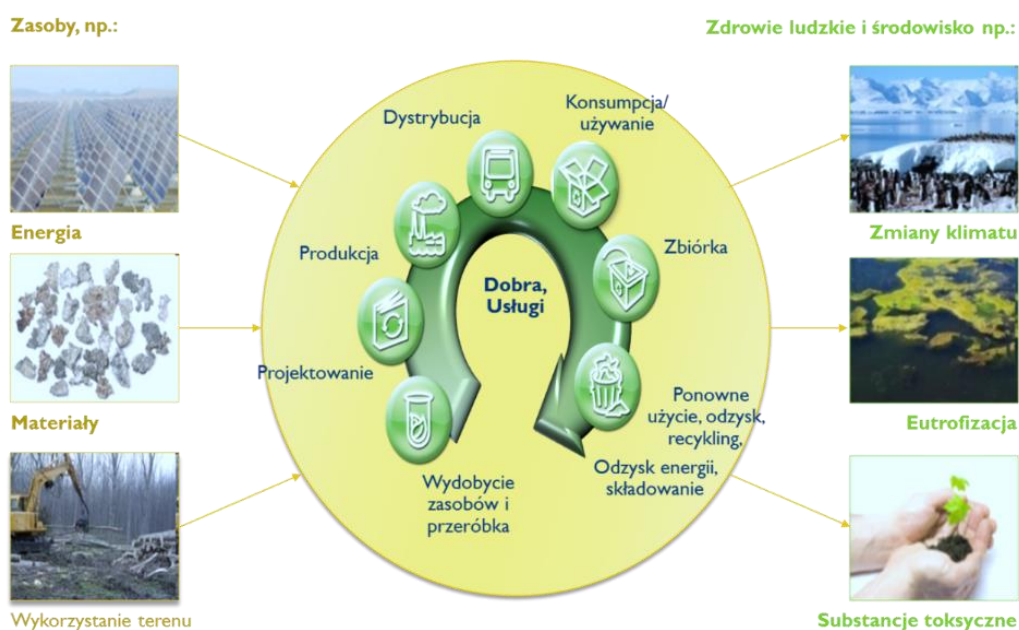
- a) Sprecyzowanie celu i zakresu, jednostki funkcjonalnej oraz granic analizowanego systemu. Jednostką funkcjonalną, dostarczającą płaszczyzny odniesienia dla analizy, może być wielkość fizyczna, pojedynczy produkt, grupa produktów, proces technologiczny, usługa lub cały system.
- b) Analiza zbioru wejść i wyjść (LCI) dotyczy inwentaryzacji oraz weryfikowania danych oraz granic systemu. Etap ten polega na kompleksowej ocenie analizowanego wyrobu, która powinna uwzględniać opis procesu technologicznego (istniejącego lub projektowanego), bilanse strumieni przepływów surowców, energii i materiałów pomocniczych oraz bilanse produkowanych i usuwanych (emitowanych) odpadów, jak również identyfikację potencjalnych źródeł ich powstawania.
- c) Ocena wpływu cyklu życia na środowisko (LCIA) wymaga przekształcania zebranych danych na wskaźniki kategorii wpływu, np. jak użycie energii elektrycznej wpływa na zmianę klimatu, mierzony w jednostce CO_{2eq}.
- d) Interpretację wyników.



Rysunek 1.1. Schemat etapów oceny cyklu życia LCA

Źródło: PN-EN ISO 14040:2009; Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Zasady i struktura, PKN, Warszawa 2009 r.

Jednym z podstawowych zadań LCA jest badanie w całym cyklu życia wyrobu potencjalnych wpływów na środowisko (rysunek 1.2). Wyrobem może być zarówno proces wytwórczy, produkt, system lub usługa.



Rysunek 1.2. Cykl życia produktu, procesu usługi oraz oddziaływania (bezpośrednie i pośrednie) analizowane w trakcie oceny środowiskowej

Opracowanie: Ł. Lelek, Pracownia Badań Strategicznych IGSMiE PAN

Metoda LCA wykorzystywana jest do oceny wpływu pojedynczych wyrobów na środowisko, a także oceny strategii w przedsiębiorstwach. Pozwala na zidentyfikowanie priorytetowych obszarów działania lub „hot-spotów” oraz określenie strategii mającej na celu zmniejszenie wpływu na środowisko. LCA znajduje również zastosowanie w jednostkach publicznych np. administracji centralnej i lokalnej, gdzie wykorzystuje się ją do oceny grupy produktów oraz całych działów gospodarki, jak i różnych rozwiązań strategicznych w regionach.

Dla podmiotów gospodarczych LCA wpisuje się w działania związane m.in. z certyfikacją produktów i deklaracjami środowiskowymi podmiotów oraz wdrażaniem EMAS¹. Deklaracje środowiskowe zgodnie z definicją to dobrowolne stwierdzenia producentów odzwierciedlające środowiskowy charakter produktu lub usługi. Mają one na celu wyróżniać produkty cechujące się ponadprzeciętną jakością środowiskową tj. wykazujące mniejszy wpływ na środowisko, w porównaniu do konkurencyjnych produktów rynkowych. Ponadto informacje deklarowane przez producentów mają służyć konsumentom, dając możliwość dokonywania świadomych, z punktu widzenia ochrony środowiska, wyborów.

2. Opis organizacji i Portfolio Produktów – F.H.P.U. "TEK-PAK" SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ SPÓŁKA KOMANDYTOWA²

Na rynku opakowań TEK-PAK jest obecny od 1994 r. Specjalizuje się w produkcji opakowań z tektury falistej. Produkuje opakowania oraz kartony tekturowe, opakowania z wysokojakościowym nadrukiem fleksograficznym w pełnym zakresie barw CMYK, opakowania kaszerowane, przekładki tekturowe, jak również wyposażenie opakowań, takie jak wkładki, kratownice, wypełniacze, czy obwoluty. Główny obszar działalności firmy to województwa: małopolskie, podkarpackie i świętokrzyskie. TEK-PAK posiada certyfikat ISO 9001:2008.

¹ System ek zarządzenia i audytu, <https://www.gov.pl/web/gdos/emas>

² <https://tek-pak.pl/>; informacje od TEK-PAK;

TEK-PAK do przetwórstwa papierniczego wykorzystuje maszyny, takie jak:

- dwa automaty sztancujące marki Bobst;
- dwa slotery;
- drukarka fleksograficzna marki Bobst;
- tygle sztancujące;
- składarko sklejkarka Curioni Lodi do klejenia liniowego;
- składarko sklejkarka do klejenia na gorąco;
- składarko sklejkarka Scheggia do klejenia wielopunktowego;
- półautomatyczna zszywarka.

Na swoim terenie ma trzy magazyny, z podziałem na magazyn surowców i magazyn produktów gotowych. Posiada również flotą samochodów ciężarowych.

Firma TEK-PAK dzięki wieloletnim inwestycjom w nowoczesny park działa niezależnie, bez podwykonawców, w oparciu o własne moce przerobowe. Działa zgodnie z przepisami i regulacjami, dba o środowisko przyrodnicze – blisko 70% produkcji opiera się na papierach makulaturowych a odpady powstające w procesie produkcyjnym trafiają do dalszego przetwarzania i podlegają recyklingowi.

Produkty wytwarzane w zakładzie to:

- opakowania klapowe - pudełka i kartony klapowe;



- opakowania fasonowe – tzw. wykrojnikowe – jako np. kartony transportowe;



- opakowania kaszerowane - estetyczne opakowania o wysokich walorach dekoracyjnych - do wysyłki różnego rodzaju ozdób, biżuterii, ale także kosmetyków i żywności;



- przekładki i kratownice - służą przede wszystkim zabezpieczeniu produktu w opakowaniu, zapobiegając jego uszkodzeniu w transporcie;



- opakowania e-commerce;



- opakowania niestandardowe – pod specjalne zamówienie klienta.

Wszystkie powyższe produkty mogą być produkowane w typowych (znormalizowanych), a także niestandardowych wielkościach; na produktach możliwe jest umieszczenie spersonalizowanego nadruku.

Proces produkcyjny jest inicjowany zamówieniem od klienta. Każde zamówienie jest traktowane indywidualnie i pod produkcję każdego opakowania są zamawiane dedykowane arkusze tektury, dopasowane formatem do rozkroju opakowania. Opakowania są wykonywane na różnych maszynach w zależności od konstrukcji, wymiaru

i tego, czy opakowanie jest z nadrukiem czy bez. W przypadku opakowań z nadrukiem proces rozpoczyna się od wykonania na arkuszu tektury nadruku w technologii fleksodruku (1-5 kolorów, ewentualnie lakier wodny). Farby używane w procesie są farbami wodnymi. W przypadku opakowań klapowych nadruk i wycinanie są wykonywane na jednej maszynie. W przypadku opakowań fasonowych nadruk jest pierwszym etapem. Opakowania klapowe z nadrukiem (lub bez) są wykonywane na maszynach typu sloter drukujący. Na tych samych maszynach są wykonywane opakowania fasonowe, dla których używane są wykrojniki rotacyjne. W przypadku opakowań fasonowych wykonywanych na wykrojnikach płaskich produkcja jest realizowana w dwóch operacjach, tj. druk i sztancowanie (czyli wycinanie) na dwóch różnych maszynach. Jeżeli konstrukcja opakowania tego wymaga dodatkową operacją jest klejenie realizowane na jednej z dwóch sklejek w zakładzie.

3. Cel i zakres analizy

Metoda oceny śladu środowiskowego w cyklu życia opiera się na danych ilościowych. Polega to na stworzeniu rejestru wszystkich ważnych strumieni materiałowych i energetycznych oraz przypisanie im (według obranego modelu) pewnego liczbowego wpływu na środowisko.

W przypadku wytwarzania opakowań tekturowych zebrano dane bilansowe w odniesieniu do 1 roku produkcji. Jako rok bazowy przyjęto 2022.

Po uzgodnieniu z zamawiającym, celem analizy jest określenie oddziaływania na środowisko produkcji 1 kg opakowań tekturowych. W pierwszym kroku przeprowadzono analizę uwzględniając etapy cyklu życia „od kołyski do bramy”, obejmując etapy od wydobycia i zakupu surowców, a kończąc na produkcji pudełek. Dane bilansowe zawierają uśredniony łańcuch dostaw.

Na podstawie otrzymanych danych przyporządkowano poszczególne materiały do procesów z bazy Ecoinvent (głównie). Najczęściej odnoszą się one do warunków europejskich, ale, co trzeba mieć na uwadze, nie są specyficzne dla tych dostarczanych na budowę, tylko przyjęte zbliżone lub uśrednione.

3.1. Założenia i wyłączenia ogólne do analizy

Do analizy przyjęto założenia:

- dane pochodzą z informacji otrzymanych z firmy TEK-PAK;
- dane inwentarzowe były dostępne w odniesieniu do rocznej produkcji;
- z niniejszej analizy wyłączono procesy związane z dojazdem pracowników oraz podróżami służbowymi oraz wyłączono także te związane z administracją;
- z uwagi na brak możliwości pozyskania szczegółowych danych od dostawców, część materiałów, jak np. farby i kleje została uwzględniona w analizie jako „chemikalia organiczne”;
- podczas analizy korzystano z baz danych ogólnoeuropejskich lub ogólnoświatowych (głównie Ecoinvent);
- zamodelowano tekturę, na podstawie informacji z TEK-PAK, przyjęto pochodzenie w 70% ze źródeł wtórnych i 30% ze źródeł pierwotnych;
- zamodelowano transport dla poszczególnych dostarczanych materiałów; dystans przyjęto na podstawie GoogleMaps z miejsca produkcji danego materiału do siedziby TEK-PAK.
- z analizy wyłączono wpływ związany z etapami obejmującymi produkcję maszyn i urządzeń z których korzystano podczas produkcji; nie uwzględniono również materiałów związanych z konserwacją maszyn;
- analizę wykonano z wykorzystaniem programu SimaPro 9.4.0.2 na licencji IGSMiE PAN;
- Dane dotyczące produkcji energii elektrycznej zostały zamodelowane na podstawie danych z bazy Ecoinvent jako średniej dla Polski: Electricity, medium voltage {PL} | market for | Cut-off, U;
- Transportu zakupywanych surowców: ładowność ciężarówki 7,5-16 t, norma EURO4.
- Jako metodę analizy użyto EF 3.0 v.1.03.

4. Analiza zbioru wejść i wyjść (LCI)

Obliczenia dla śladu środowiskowego wykonano dla 1 kg średniego pudełka produkowanego w 2022 r, na podstawie danych dostarczonych przez TEK-PAK. (tabele 4.1.- 4.3).

Tabela 4.1. Ilość zużytych rocznie do produkcji pudełek

Materiały do produkcji	Ilość	Jednostka	Dystans [km]
tektura, dostawca 1, Aquila Brzeg Sp. z o.o.	2500286,271	kg	310
tektura, dostawca 2, Progroup Board Sp. z o.o.	844899,423	kg	291
klej, BC-Chem Sp. z o.o.	3290	kg	110
farba, dostawca 1, Chespa Sp. z o.o.	7910	kg	250
farba, dostawca 2, Chemtex Sp. z o.o.	820	kg	100
folia strech, F.H. EUROPAK Maciej Kural	4392	kg	30
woda	431	m ³	
energia elektryczna	258	MWh	
węgiel kamienny (do ogrzewania)	4	Mg	
propan-butan do wózków widłowych	6655	kg	

Tabela 4.2. Ilość wytworzonych odpadów

Kod odpadu	Rodzaj	Ilość	Jednostka
150101	Opakowania z papieru i tektury	362,08	tony
170405	Żelazo i stal	21,05	tony

Tabela 4.3. Transport w TEK-PAK

Rodzaj pojazdu	Ładowność	Norma EURO	Rodzaj paliwa	Ilość zużytego paliwa [dm ³]
ciężarowy	do 3,5 tony	4	olej napędowy	876,73
ciężarowy	3,5 tony	4	olej napędowy	1914,87
ciężarowy	powyżej 3,5 tony	4	olej napędowy	19358,66
osobowy		4	benzyna 95	433,88

W zbiorze danych dotyczących transportu uwzględniono zużycie paliwa i emisje z jego spalania. W zamodelowanych procesach uwzględniono bezpośrednio emisje do powietrza substancji gazowych, cząstek stałych i metali ciężkich oraz emisje metali ciężkich do gleby i wody spowodowane ścieraniem się opon. Emisje cząstek stałych obejmują emisje spalin i ścierania opon.

4.1. Założenia do wprowadzonych danych do programu obliczeniowego

W tabeli 4.4. umieszczono procesy z bazy danych Ecoinvent i in., wraz z przypisanymi im wielkościami, które wykorzystano do niniejszej analizy.

Tabela 4.4. Procesy wykorzystane w ocenie śladu środowiskowego

Lp.	Nazwa procesu	Ilość	Jedn.
1	Containerboard, linerboard {RER} containerboard production, linerboard, kraftliner Cut-off, U		
2	Containerboard, linerboard {RER} containerboard production, linerboard, testliner Cut-off, U	3344823,61	kg
3	Chemical, organic {GLO} market for Cut-off, U	12020	kg
4	Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, U	4392	kg
5	Tap water {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U	431000	kg
6	Hard coal {Europe, without Russia and Turkey} market for hard coal Cut-off, U	4000	kg
7	Liquefied petroleum gas {Europe without Switzerland} market for liquefied petroleum gas Cut-off, U	1023507,64	kg
8	Electricity, low voltage, production PL, at grid/PL U	258	kWh
9	Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 4 {RER}	4978,98	km
10	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 {RER}	167806,44	tkm
11	Waste paperboard, unsorted {Europe without Switzerland} market for waste paperboard, unsorted Cut-off, U	362,08	ton
12	Scrap steel {Europe without Switzerland} market for scrap steel Cut-off, U	21,05	ton
13	Wastewater, average {Europe without Switzerland} market for wastewater, average Cut-off, U	431	m3

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych i bazy danych Ecoinvent

5. Analiza śladu środowiskowego i interpretacja wyników

Po sporządzeniu analizy zbioru wejść i wyjść (LCI) przeprowadza się ocenę oddziaływania śladu środowiskowego, aby obliczyć efektywność środowiskową produktu przy zastosowaniu wszystkich kategorii i modeli oddziaływania śladu środowiskowego wg wybranej metody. Ocena oddziaływania śladu środowiskowego obejmuje cztery etapy: klasyfikację, charakteryzowanie, normalizację i ważenie. Wyniki mogą być przedstawione jako wyniki scharakteryzowane, znormalizowane i ważone dla każdej kategorii oddziaływania śladu środowiskowego oraz jako pojedynczy wynik ogólny po etapie

ważenia. Klasyfikacja wymaga przypisania wejść i wyjść materiałów/energii wykazanych w analizie zbioru wejść i wyjść do odpowiednich kategorii oddziaływania śladu środowiskowego. Na przykład na etapie klasyfikacji wszelkie wejścia/wyjścia prowadzące do emisji gazów cieplarnianych przypisuje się do kategorii „zmiana klimatu”. W podobny sposób wejścia i wyjścia, których skutkiem jest emisja substancji zubożających warstwę ozonową przypisuje się do kategorii „zubożenie warstwy ozonowej”. W niektórych przypadkach wejście lub wyjście może przyczyniać się do więcej niż jednej kategorii oddziaływania śladu środowiskowego (na przykład chloro/fluorowęglowodory przyczyniają się zarówno do zmiany klimatu, jak i do zubożenia warstwy ozonowej). Charakteryzowanie odnosi się do obliczania wielkości wkładu każdego sklasyfikowanego wejścia i wyjścia w ich odpowiednie kategorie oddziaływania śladu środowiskowego oraz agregowania udziałów w ramach każdej kategorii. Proces ten przeprowadza się poprzez pomnożenie wartości z analizy zbioru wejść i wyjść przez odpowiednie współczynniki charakteryzowania dla każdej kategorii oddziaływania śladu środowiskowego. Normalizacja jest etapem polegającym na podzieleniu wyników oceny wpływu cyklu życia przez współczynniki normalizacji w celu obliczenia i porównania wielkości ich wkładu w kategorii oddziaływania śladu środowiskowego w stosunku do jednostki odniesienia. W efekcie otrzymuje się bezwymiarowe, znormalizowane wyniki. Odzwierciedlają one obciążenia przypisane produktowi względem jednostki odniesienia. W ramach metody EF współczynniki normalizacji wyrażone są w przeliczeniu na jednego mieszkańca w oparciu o wartość globalną. Ważenie jest pomocne w interpretacji i przedstawianiu wyników analizy. W ramach tego etapu znormalizowane wyniki mnoży się przez zbiór współczynników ważenia. Ważone wyniki różnych kategorii wpływu można następnie porównywać, aby ocenić ich względne znaczenie. Można również zagregować takie wyniki ze wszystkich kategorii oddziaływania cyklu życia, aby uzyskać pojedynczy wynik ogólny, wyrażony w punktach [Pt] .

Analizę wykonano metodą EF 3.0 z wykorzystaniem programu SimaPro wraz z zaimplementowanymi bazami danych – głównie Ecoinvent.

Metoda EF 3.0 jest metodą oceny wpływu przyjętą przez Komisję Europejską (KE). Uwzględnia ona współczynniki normalizacji i wagi opublikowane w listopadzie 2019 r.

przez KE³. W tabeli 5.1. przedstawiono rekomendowane modele charakteryzowania, przy użyciu których zaleca się, aby było dokonywane modelowanie wpływu w ramach poszczególnych kategorii oddziaływania. Wykaz zaprezentowany w tabeli 5.1 odpowiada zestawowi kategorii wpływu oraz modeli charakteryzowania metody EF 3.0.

Tabela 5.1. Kategorie oddziaływania śladu środowiskowego wraz ze wskaźnikami kategorii oraz modelami oceny oddziaływania śladu środowiskowego rekomendowane do stosowania na potrzeby badań śladu środowiskowego produktów i organizacji

Kategoria oddziaływania śladu środowiskowego		Model oceny oddziaływania śladu środowiskowego	Wskaźnik kategorii oddziaływania środowiskowego	Źródło
PL	EN			
Zmiana klimatu ogółem	Climate change	Model z Berna – współczynnik ocieplenia globalnego w perspektywie 100 lat	Tona ekwiwalentu dwutlenku węgla	IPCC 2013
Zubożenie warstwy ozonowej	Ozone depletion	Model projektowania produktów przemysłowych z uwzględnieniem środowiska (ang. <i>Environmental Design of Industrial Products, EDIP</i>), oparty na potencjałach niszczenia ozonu (ODP) w nieokreślonej perspektywie czasowej, opracowany przez Światową Organizację Meteorologiczną (WMO)	Kilogram ekwiwalentu CFC-11	WMO 2014 + zintegrowane dane
Promieniowanie jonizujące, zdrowia człowieka	Ionizing radiation HH	Model wpływu na zdrowie człowieka	Kilobekereel ekwiwalentu U ²³⁵ (emisja do powietrza)	Dreicer i in., 1995
Fotochemiczne powstawanie ozonu, zdrowie człowieka	Photochemical ozone formation	Model LOTOS-EUROS	Kilogram ekwiwalentu NMZO	Van Zelm i in., 2008, zgodnie z zastosowaniem w ReCiPe
Cząstki stałe	Particulate matter	Model PM	Zachorowalność	Fantke i in., 2016 w UNEP 2016

³ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>

Kategoria oddziaływania śladu środowiskowego		Model oceny oddziaływania śladu środowiskowego	Wskaźnik kategorii oddziaływania środowiskowego	Źródło
PL	EN			
Działanie toksyczne dla ludzi, inne niż rakotwórcze	Human toxicity, non-cancer	Model USEtox 2.1	Porównawcza jednostka toksyczności dotycząca ludzi (CTU _h)	Fantke i in. 2017), dostosowane zgodnie z Saouter i in., 2018
Działanie toksyczne dla ludzi -działanie rakotwórcze	Human toxicity, cancer	Model USEtox	Porównawcza jednostka toksyczności dotycząca ludzi (ang. comparative toxic unit for humans, CTU _h)	Fantke i in. 2017), dostosowane zgodnie z Saouter i in., 2018
Zakwaszenie	Acidification	Model skumulowanego przekroczenia (ang. Accumulated exceedance)	Ekwiwalent mol H ⁺	Seppälä i in., 2006, Posch i in., 2008
Eutrofizacja wodna - woda słodka	Freshwater eutrophication	Model EUTREND	Kilogram ekwiwalentu P	Struijs i in., 2009, zgodnie z zastosowaniem w ReCiPe
Eutrofizacja wodna - woda morska	Marine eutrophication	Model EUTREND	Kilogram ekwiwalentu N	Struijs i in., 2009, zgodnie z zastosowaniem w ReCiPe
Eutrofizacja lądowa	Terrestrial eutrophication	Model skumulowanego przekroczenia	Ekwiwalent mol N	Seppälä i in., 2006, Posch i in., 2008
Ekotoksyczność dla wody słodkiej	Freshwater ecotoxicity	Model USEtox 2.1	Porównawcza jednostka toksyczności dotycząca ekosystemów (ang. Comparative toxic unit for ecosystems, CTU _e)	Fantke i in. 2017), dostosowane zgodnie z Saouter i in., 2018
Użytkowanie gruntów	Land use	Wskaźnik jakości gleby na podstawie modelu LANCA	Wielkość bezwymiarowa (pt)	De Laurentiis et al. 2019 oraz na podstawie LANCA CF wersja 2.5 (Horn i Maier, 2018)

Kategoria oddziaływania śladu środowiskowego		Model oceny oddziaływania śladu środowiskowego	Wskaźnik kategorii oddziaływania środowiskowego	Źródło
PL	EN			
Wyczerpywanie zasobów - zasoby wodne	Water resource depletion	Model dostępnej wody pozostającej AWARE (Available WAter REmaining)	ekwiwalent ilości wody, jakiej pozbawiony został użytkownik, w m ³	Boulay i in., 2018; UNEP 2016
Wykorzystywanie zasobów, surowce kopalne	Resource use, fossils	Zubożenie zasobów abiotycznych – paliwa kopalne (ADP – surowce kopalne)	MJ	Van Oers i in., 2002, jak w metodzie CML 2002, v.4.8
Wyczerpywanie się zasobów - surowce mineralne	Resource use, minerals and metals	Zubożenie zasobów abiotycznych (końcowe zasoby ADP)	kg ekwiwalentu SB	Van Oers i in., 2002, jak w metodzie CML 2002, v.4.8

Źródło: Sprostowanie do zalecenia Komisji (UE) 2021/2279 z dnia 15 grudnia 2021 r. w sprawie stosowania metod oznaczania śladu środowiskowego do pomiaru efektywności środowiskowej w cyklu życia produktów i organizacji oraz informowania o niej (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 471 z dnia 30 grudnia 2021 r.). Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 144/2 z dnia 23 maja 2022 r., str. 29-30

Zestaw ten obejmuje 16 kategorii oddziaływania śladu środowiskowego, z których cztery: wyczerpywanie zasobów – zasoby wodne, wyczerpywanie zasobów – surowce mineralne i surowce kopalne, użytkowanie gruntów to kategorie, w których powstanie problemu środowiskowego wiąże się z pobraniem zasobu ze środowiska. Pozostałych jedenaście to kategorie emisyjne, w których uwolnienie związku do środowiska uruchamia mechanizm środowiskowy.

Oddziaływanie na środowisko w odniesieniu do jednostki funkcjonalnej (1 kg gotowego pudełka) przeliczono jako wskaźniki charakteryzowane, zgodnie z kategoriami wpływu zawartymi w tabeli 5.1 oraz jako skumulowany wskaźnik [Pt].

5.1.Charakteryzowane wyniki wskaźników kategorii oddziaływania

W tabeli 5.2 i na rysunku 5.1 przedstawiono wyniki po etapie charakteryzowania w 16 kategoriach wpływu dla pudełka produkowanego w TEK-PAK. Wyniki we wszystkich kategoriach wpływu wyskalowane są do 100% - nie wiadomo jednak czy jest to 100% małego czy dużego wpływu, widoczne są jedynie zależności procesów między sobą – w taki sposób przedstawia się graficznie wyniki po etapie charakteryzowania. Dane dla każdej kategorii są przedstawione w jednostce odniesienia – np. dla zmiany klimatu – w kg

ekwiwalentu CO₂. Ze względu na to, że część wartości jest bardzo małymi liczbami, wyniki w tabeli przedstawiono w postaci liczb „naukowych”, gdzie np. 1,1E+2 oznacza liczbę 1,1x10² czyli 110, a 7,01E-1 to 0,701.

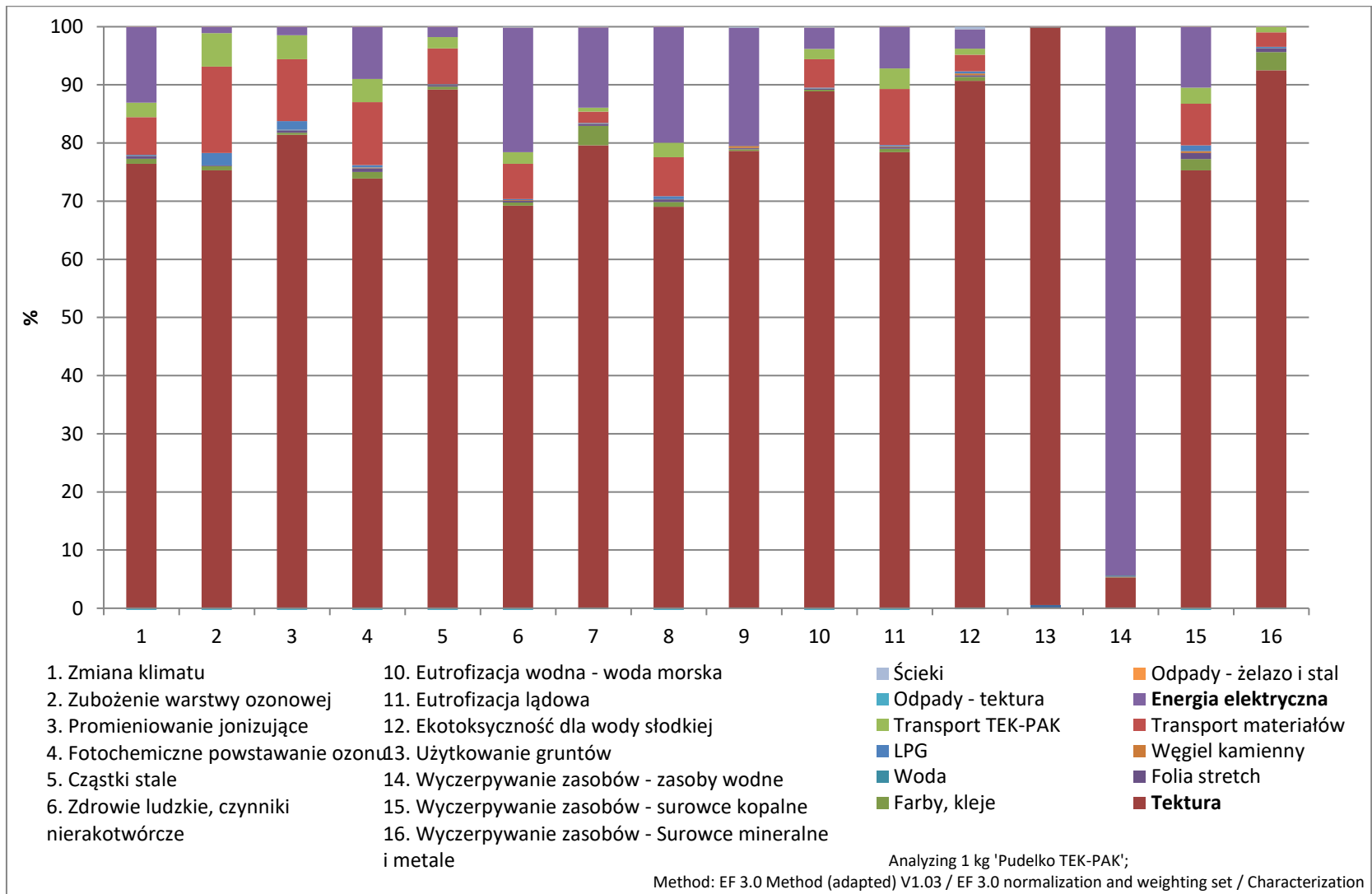
Z prezentowanych danych po etapie charakteryzowania (rys. 5.1) wynika, iż zależnie od kategorii wpływu albo dominujący wpływ na środowisko ma użycie podstawowego składnika pudełka jakim jest tektura falista oraz użycie energii elektrycznej. Widoczny jest też wpływ transportu materiałów do produkcji pudełek – od producenta do Zbylitowskiej Góry oraz transport własny TEK-PAK.

5.2. Ważone wyniki wskaźników kategorii oddziaływania

W tabeli 5.3 i na rysunku 5.2 przedstawiono wyniki po etapie ważenia w 16 kategoriach wpływu dla pudełka TEK-PAK. Wyniki we wszystkie kategoriach wpływu wyrażone są w jednostce μPt (mikro Pt, Pt – ang. *point*). Sumaryczny wynik dla produkcji 1 kg pudełka to 106,14 μPt . Na rysunku pogrubione zostały „wejścia” do systemu, których wpływ na środowisko podczas produkcji jest większy niż 1%. Są to: tektura (6,06E-5 Pt, 57,1%), energia elektryczna (3,82E-5 Pt, 36%), transport materiałów (4,48E-6 Pt, 4,2%), transport TEK-PAK (1,7E-6 Pt, 1,6%). W największym stopniu, produkcja pudełek w cyklu życia wpływa na kategorie: wyczerpywanie zasobów - zasoby wodne (31,3%), zmiana klimatu (22,4%), wykorzystywanie zasobów, surowce kopalne (14,2%) oraz cząstki stałe (9,0%). Wyniki po etapie ważenia można przedstawiać w podobnych histogramach jak dla etapu charakteryzowania, bądź w formacie „sieci procesów” (rys. 5.3). Grubość strzałek na wykresach jest proporcjonalna do wielkości oddziaływania poszczególnych komponentów. „sieci procesów” można przedstawiać również o odniesieniu dla każdej z analizowanych kategorii. Na rysunku 5.3 przedstawiono wpływ produkcji 1 kg pudełek w odniesieniu do jednego wskaźnika – jest to suma wszystkich kategorii. Można je sumować, dlatego że zostały znormalizowane, a w wyniku ważenia wyrażone są w jednej jednostce (Pt).

Tabela 5.2. Wyniki po etapie charakteryzowania dla pudełka TEK-PAK w odniesieniu do jednostki funkcjonalnej

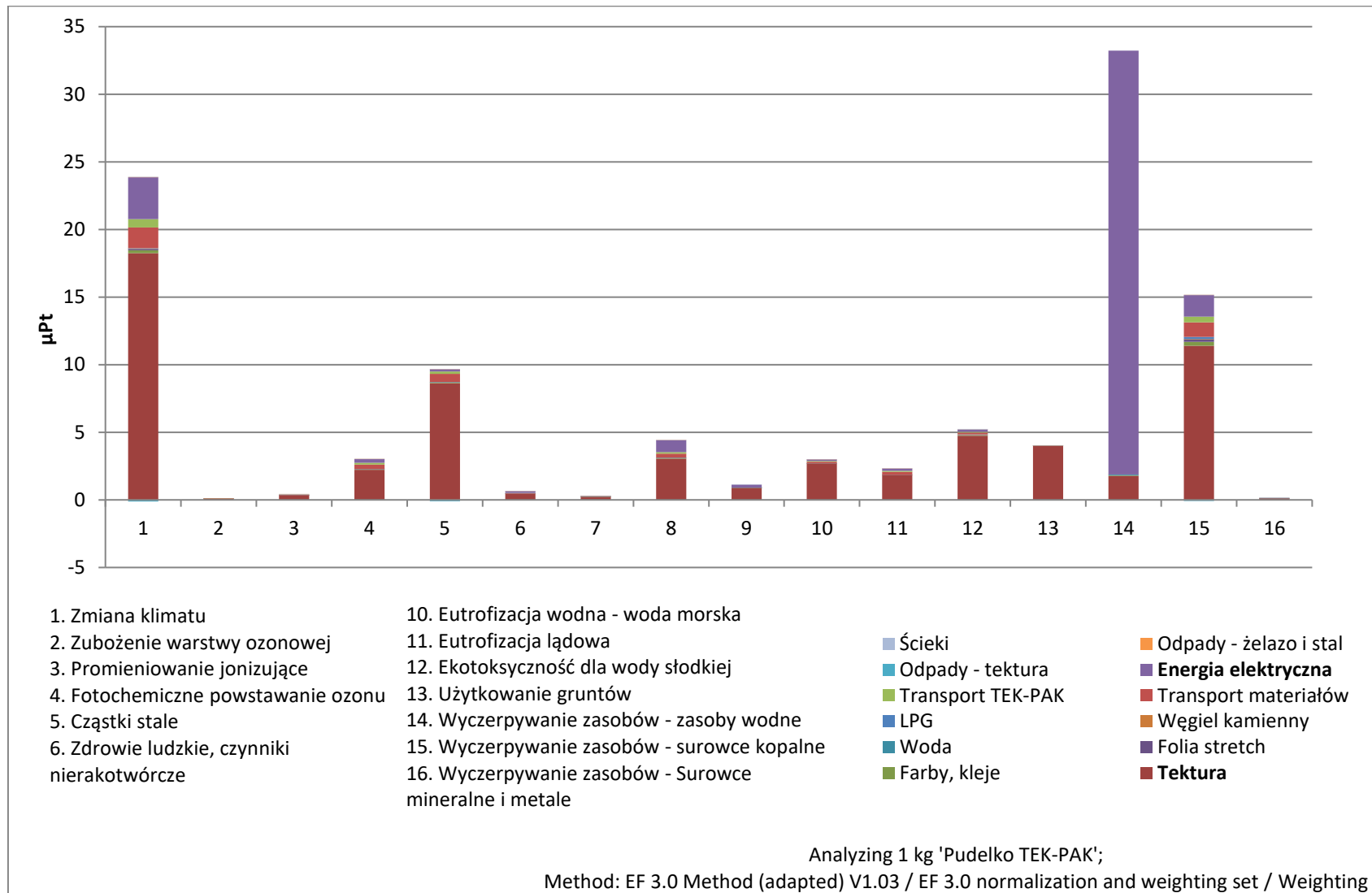
	Jednostka	Suma	Pudełko TEK-PAK	Tektura	Farby, kleje	Folia stretch	Woda	Węgiel kamienny	LPG	Transport materiałów	Transport TEK-PAK	Energia elektryczna	Odpady - tektura	Odpady - żelazo i stal	Ścieki
Zmiana klimatu	kg CO ₂ eq	9,13E-01	0,00E+00	7,01E-01	7,95E-03	4,24E-03	3,07E-05	4,72E-04	1,32E-03	5,96E-02	2,31E-02	1,20E-01	-4,58E-03	3,44E-05	2,48E-05
Zubożenie warstwy ozonowej	kg CFC11 eq	9,43E-08	0,00E+00	7,17E-08	7,13E-10	1,01E-10	2,05E-12	2,59E-11	2,04E-09	1,42E-08	5,46E-09	1,05E-09	-1,02E-09	7,47E-12	1,50E-12
Promieniowanie jonizujące	kBq U-235 eq	3,43E-02	0,00E+00	2,81E-02	1,27E-04	1,44E-04	5,30E-06	1,42E-05	5,27E-04	3,67E-03	1,42E-03	5,06E-04	-2,75E-04	2,13E-06	2,41E-06
Fotochemiczne powstawanie ozonu	kg NMVOC eq	2,51E-03	0,00E+00	1,89E-03	2,82E-05	1,66E-05	7,16E-08	2,82E-06	1,04E-05	2,77E-04	1,02E-04	2,30E-04	-4,25E-05	3,54E-07	1,47E-07
Cząstki stałe	disease inc.	6,36E-08	0,00E+00	5,73E-08	3,41E-10	1,48E-10	6,87E-13	1,58E-11	9,72E-11	3,95E-09	1,26E-09	1,13E-09	-6,16E-10	6,59E-12	2,76E-12
Zdrowie ludzkie, czynniki nierakotwórcze	CTUh	8,01E-09	0,00E+00	5,56E-09	4,34E-11	2,15E-11	3,27E-13	1,22E-11	1,25E-11	4,89E-10	1,61E-10	1,72E-09	-2,54E-11	3,66E-13	1,31E-11
Zdrowie ludzkie, czynniki rakotwórcze	CTUh	2,32E-10	0,00E+00	1,85E-10	7,77E-12	7,29E-13	8,81E-15	1,73E-13	2,91E-13	4,50E-12	1,63E-12	3,20E-11	-3,50E-13	5,27E-15	2,12E-13
Zakwaszenie	mol H+ eq	3,93E-03	0,00E+00	2,73E-03	3,28E-05	1,70E-05	1,80E-07	3,33E-06	1,85E-05	2,65E-04	9,88E-05	7,89E-04	-2,83E-05	2,82E-07	5,81E-07
Eutrofizacja wodna - woda słodka	kg P eq	6,53E-05	0,00E+00	5,14E-05	1,74E-07	1,30E-07	3,00E-09	2,15E-07	2,91E-09	3,05E-08	1,19E-08	1,32E-05	-3,31E-09	1,65E-10	1,33E-07
Eutrofizacja wodna - woda morska	kg N eq	1,97E-03	0,00E+00	1,76E-03	5,54E-06	3,18E-06	2,28E-08	9,54E-07	2,40E-06	9,67E-05	3,53E-05	7,26E-05	-1,15E-05	1,18E-07	2,89E-06
Eutrofizacja lądowa	mol N eq	1,09E-02	0,00E+00	8,65E-03	6,30E-05	3,45E-05	2,59E-07	1,13E-05	2,66E-05	1,06E-03	3,89E-04	7,90E-04	-1,26E-04	1,30E-06	1,71E-06
Ekotoksyczność dla wody słodkiej	CTUe	1,16E+01	0,00E+00	1,06E+01	8,05E-02	3,32E-02	2,94E-04	3,66E-02	3,97E-02	3,32E-01	1,24E-01	3,81E-01	-2,19E-02	2,32E-04	5,66E-02
Użytkowanie gruntów	Pt	4,14E+01	2,29E-01	4,11E+01	4,68E-03	1,11E-02	7,81E-05	2,49E-03	2,97E-04	2,36E-03	9,26E-04	4,62E-02	-2,04E-04	2,95E-04	3,91E-05
Wyczerpywanie zasobów - zasoby wodne	m ³ depriv.	4,47E+00	0,00E+00	2,37E-01	5,50E-03	3,39E-03	6,20E-03	1,92E-05	-2,97E-06	-1,41E-04	-5,43E-05	4,23E+00	-5,31E-06	-5,78E-07	-5,56E-03
Wyczerpywanie zasobów - surowce kopalne	MJ	1,18E+01	0,00E+00	8,91E+00	2,29E-01	1,22E-01	6,26E-04	3,62E-02	1,21E-01	8,45E-01	3,26E-01	1,24E+00	-6,27E-02	4,79E-04	2,85E-04
Wyczerpywanie zasobów - Surowce mineralne i metale	kg Sb eq	1,04E-07	0,00E+00	9,65E-08	3,30E-09	6,36E-10	1,42E-11	1,56E-11	2,48E-10	2,59E-09	1,01E-09	9,96E-12	-1,93E-10	1,59E-12	2,54E-12



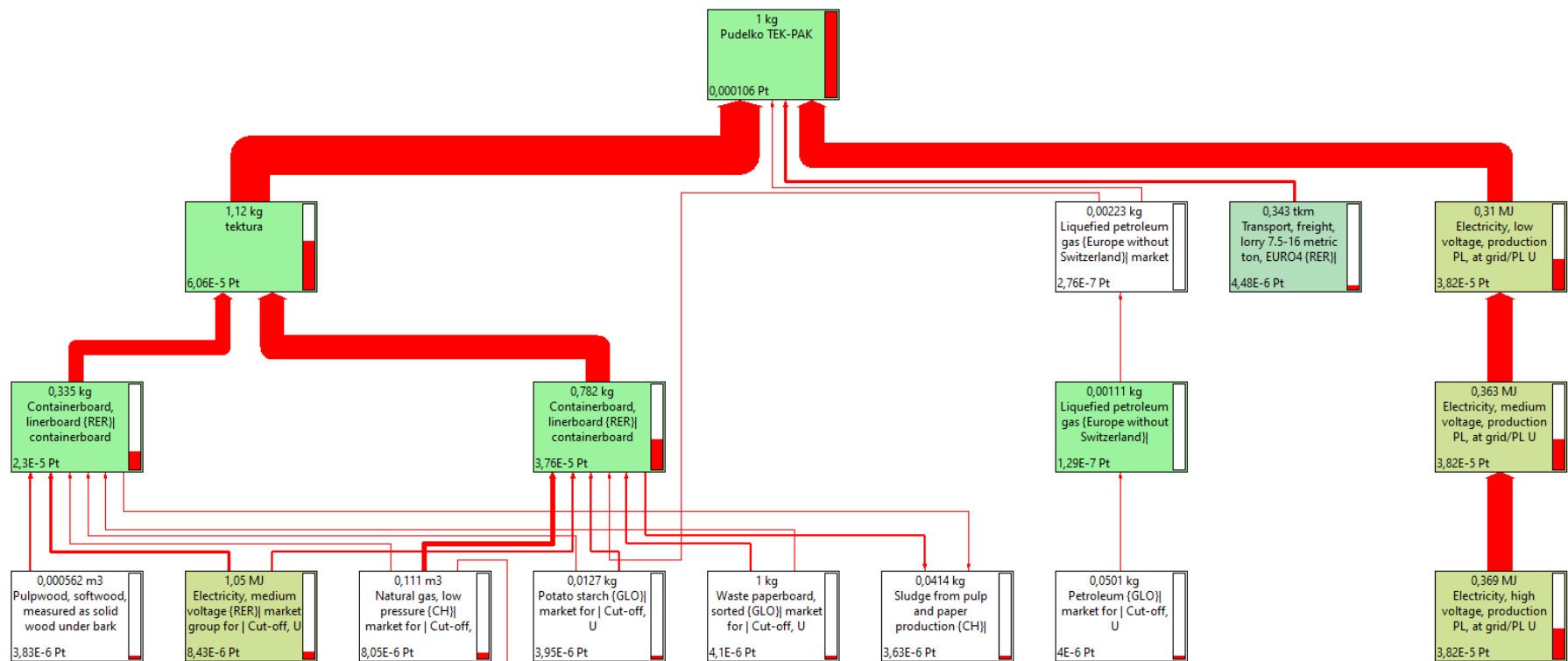
Rysunek 5.1. Wyniki po etapie charakteryzowania dla 1 kg pudełka TEK-PAK

Tabela 5.3. Wyniki po etapie ważenia dla pudełka TEK-PAK w odniesieniu do jednostki funkcjonalnej [μ Pt]

	Suma	Pudełko TEK-PAK	Tektura	Farby, kleje	Folia stretch	Woda	Węgiel kamienny	LPG	Transport materiałów	Transport TEK-PAK	Energia elektryczna	Odpady - tektura	Odpady - żelazo i stal	Ścieki
Zmiana klimatu	2,38E+01	0,00E+00	1,82E+01	2,07E-01	1,10E-01	8,00E-04	1,23E-02	3,44E-02	1,55E+00	6,00E-01	3,11E+00	-1,19E-01	8,95E-04	6,46E-04
Zubożenie warstwy ozonowej	1,11E-01	0,00E+00	8,44E-02	8,39E-04	1,19E-04	2,41E-06	3,04E-05	2,40E-03	1,66E-02	6,43E-03	1,23E-03	-1,21E-03	8,79E-06	1,76E-06
Promieniowanie jonizujące	4,07E-01	0,00E+00	3,34E-01	1,51E-03	1,70E-03	6,30E-05	1,69E-04	6,25E-03	4,36E-02	1,68E-02	6,01E-03	-3,26E-03	2,53E-05	2,86E-05
Fotchemiczne powstawanie ozonu	2,96E+00	0,00E+00	2,22E+00	3,32E-02	1,95E-02	8,43E-05	3,32E-03	1,23E-02	3,26E-01	1,20E-01	2,70E-01	-5,00E-02	4,17E-04	1,73E-04
Cząstki stałe	9,58E+00	0,00E+00	8,63E+00	5,13E-02	2,22E-02	1,03E-04	2,38E-03	1,46E-02	5,94E-01	1,90E-01	1,69E-01	-9,27E-02	9,92E-04	4,15E-04
Zdrowie ludzkie, czynniki nierakotwórcze	6,42E-01	0,00E+00	4,46E-01	3,47E-03	1,72E-03	2,62E-05	9,78E-04	1,00E-03	3,92E-02	1,29E-02	1,38E-01	-2,03E-03	2,94E-05	1,05E-03
Zdrowie ludzkie, czynniki rakotwórcze	2,92E-01	0,00E+00	2,33E-01	9,79E-03	9,19E-04	1,11E-05	2,18E-04	3,67E-04	5,68E-03	2,06E-03	4,04E-02	-4,41E-04	6,65E-06	2,68E-04
Zakwaszenie	4,39E+00	0,00E+00	3,05E+00	3,67E-02	1,90E-02	2,00E-04	3,72E-03	2,06E-02	2,96E-01	1,10E-01	8,81E-01	-3,16E-02	3,14E-04	6,48E-04
Eutrofizacja wodna - woda słodka	1,14E+00	0,00E+00	8,95E-01	3,03E-03	2,26E-03	5,23E-05	3,75E-03	5,07E-05	5,32E-04	2,07E-04	2,31E-01	-5,77E-05	2,88E-06	2,32E-03
Eutrofizacja wodna - woda morska	2,98E+00	0,00E+00	2,66E+00	8,38E-03	4,81E-03	3,45E-05	1,45E-03	3,64E-03	1,46E-01	5,35E-02	1,10E-01	-1,74E-02	1,79E-04	4,38E-03
Eutrofizacja lądowa	2,29E+00	0,00E+00	1,82E+00	1,32E-02	7,25E-03	5,43E-05	2,38E-03	5,58E-03	2,23E-01	8,17E-02	1,66E-01	-2,65E-02	2,72E-04	3,59E-04
Ekotoksyczność dla wody słodkiej	5,23E+00	0,00E+00	4,75E+00	3,62E-02	1,49E-02	1,32E-04	1,65E-02	1,79E-02	1,49E-01	5,58E-02	1,71E-01	-9,85E-03	1,04E-04	2,55E-02
Użytkowanie gruntów	4,01E+00	2,22E-02	3,98E+00	4,53E-04	1,08E-03	7,56E-06	2,42E-04	2,88E-05	2,29E-04	8,97E-05	4,48E-03	-1,98E-05	2,86E-05	3,79E-06
Wyczerpywanie zasobów - zasoby wodne	3,32E+01	0,00E+00	1,76E+00	4,08E-02	2,51E-02	4,60E-02	1,42E-04	-2,21E-05	-1,05E-03	-4,03E-04	3,14E+01	-3,94E-05	-4,29E-06	-4,12E-02
Wyczerpywanie zasobów - surowce kopalne	1,51E+01	0,00E+00	1,14E+01	2,93E-01	1,56E-01	8,01E-04	4,64E-02	1,55E-01	1,08E+00	4,17E-01	1,59E+00	-8,03E-02	6,12E-04	3,65E-04
Wyczerpywanie zasobów - Surowce mineralne i metale	1,23E-01	0,00E+00	1,14E-01	3,92E-03	7,54E-04	1,68E-05	1,85E-05	2,94E-04	3,07E-03	1,20E-03	1,18E-05	-2,29E-04	1,88E-06	3,02E-06



Rysunek 5.2. Wyniki po etapie ważenia dla 1 kg pudełka TEK-PAK



Rysunek 5.3. Sieć materiałów i procesów dla produkcji 1 kg pudełka

Źródło: SimaPro

Największy wpływ na ślad środowiskowy w niniejszej analizie ma ilość zużytej tektury oraz energii elektrycznej.

6. Analiza porównawcza dla innych pudełek kartonowych

W bazie danych Ecoinvent jest proces *Folding boxboard carton {RER}| folding boxboard carton production | Cut-off, U* oraz *Corrugated board box {RER}| production | Cut-off, U*. Pierwszy z procesów opisywany jest jako zagregowany proces, który obejmuje produkcję tektury na pudełka składane, transport tektury do miejsc konwersji i przekształcanie tektury (drukowanie, cięcie, bigowanie) w puste pudełka gotowe do dostawy. Zwykle jest wytwarzany przy użyciu głównie włókien pierwotnych, ale może zawierać niektóre włókna odzyskane. Drugi z procesów opisany jest jako produkcja tektury falistej z kilku specjalnie kondycjonowanych warstw papieru pochodzącego z recyklingu (ok. 74%) lub pierwotnego (ok. 26%), a następnie jest ona cięta na wymagane szerokości oraz zadrukowywana, nacinana, składana i sklejana na pudełko. tektury falistej w celu wyprodukowania pudełka z tektury falistej.

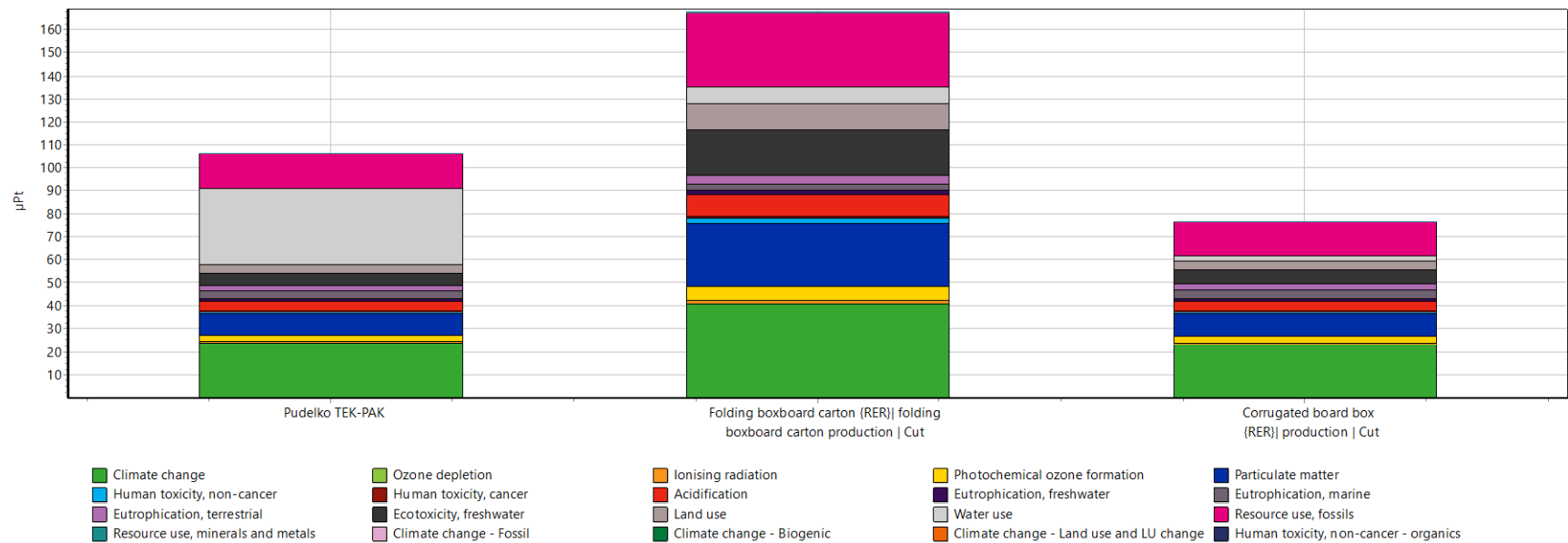
Wyniki porównawcze dla 1 kg pudełka przedstawiono na rysunku 6.1. i w tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Wyniki po etapie ważenia dla pudełka TEK-PAK w odniesieniu do jednostki funkcjonalnej [μ Pt]

	Pudełko TEK-PAK	Folding boxboard carton {RER} folding boxboard carton production	Corrugated board box {RER} production
Suma	106,1421	167,7189	76,46819
Zmiana klimatu	23,75251	40,81118	23,15906
Zubożenie warstwy ozonowej	0,110894	0,144361	0,117779
Promieniowanie jonizujące	0,406682	1,642671	0,442537
Fotochemiczne powstawanie ozonu	2,957837	5,552074	3,133246
Cząstki stałe	9,581073	27,68205	9,890388
Zdrowie ludzkie, czynniki nierakotwórcze	0,641973	1,925198	0,618624
Zdrowie ludzkie, czynniki rakotwórcze	0,291898	0,978064	0,292534
Zakwaszenie	4,387574	9,612455	4,395269
Eutrofizacja wodna - woda słodka	1,137705	1,957726	1,034106

	Pudełko TEK-PAK	Folding boxboard carton {RER} folding boxboard carton production	Corrugated board box {RER} production
Eutrofizacja wodna - woda morska	2,980225	2,636176	3,415308
Eutrofizacja lądowa	2,289959	3,77956	2,738195
Ekotoksyczność dla wody słodkiej	5,226299	19,82711	6,060252
Użytkowanie gruntów	4,00573	11,58018	3,799013
Wyczerpywanie zasobów - zasoby wodne	33,18603	7,009919	2,359662
Wyczerpywanie zasobów - surowce kopalne	15,06221	32,2642	14,86751
Wyczerpywanie zasobów - Surowce mineralne i metale	0,123492	0,316	0,144704

Wynik wpływu na jakość środowiska dla produkcja pudełek w TEK-PAK jest pomiędzy dwoma porównywanymi pudełkami. Wyniki dla pudełka TEK-PAK i *Corrugated board box {RER}| production* są zbliżone we wszystkich kategoriach wpływu poza kategorią *Wyczerpywanie zasobów - zasoby wodne*. Tak wysoki wynik nie jest jednak związany ze zużyciem wody w zakładzie produkcyjnym, a wynika ze struktury pozyskiwania energii elektrycznej w Polsce – część energii produkowana jest w elektrowniach wodnych.



Method: EF 3.0 Method (adapted) V1.03 / EF 3.0 normalization and weighting set / Single score / Excluding infrastructure processes / Excluding long-term emissions
 Comparing 1 kg 'Pudelko TEK-PAK', 1 kg 'Folding boxboard carton (RER) folding boxboard carton production | Cut-off, U' and 1 kg 'Corrugated board box (RER) production | Cut-off, U';

Rysunek 6.1. Analiza porównawcza dla produkcji 1 kg pudełka

Źródło: SimaPro

7. Podsumowanie

W ramach analizy określono aspekty oddziaływania na środowisko dla 1 kg pudełek produkowanych przez TEK-PAK. Analizę wykonano zgodnie z normami ISO 14040, ISO 14044 na podstawie danych firmy. Jest to analiza „od kołyski do bramy”. Obejmuje cykl życia analizowanych produktów od wydobycia surowców pierwotnych (tzw. od kołyski), transportu materiałów do firmy oraz wytwarzanie gotowych produktów.

W opracowaniu wykorzystano dane bilansowe z 2022 r. Dane te odniesiono do jednostki funkcjonalnej.

Po sporządzeniu analizy zbioru wejść i wyjść (LCI) przeprowadzono ocenę oddziaływania śladu środowiskowego, aby obliczyć efektywność środowiskową produktu przy zastosowaniu wszystkich kategorii i modeli oddziaływania śladu środowiskowego metody EF 3.0 v.1.03. z wykorzystaniem programu SimaPro Developer v. 9.4.0.2. Metoda EF 3.0 obejmuje 16 kategorii oddziaływania śladu środowiskowego, z których cztery: wyczerpywanie zasobów – zasoby wodne, wyczerpywanie zasobów – surowce mineralne i surowce kopalne, użytkowanie gruntów to kategorie, w których powstanie problemu środowiskowego wiąże się z pobraniem zasobu ze środowiska. Pozostałych jedenaście to kategorie emisyjne, w których uwolnienie związku do środowiska uruchamia mechanizm środowiskowy. Analizę wykonano dla 1 kg pudełek, a następnie porównano je z 2 innymi pudełkami, dla których dane znajdują się w bazie Ecoinvent. Wyniki przedstawiono po etapie charakteryzowania, ważenia oraz jako skumulowany wskaźnik. Wyniki analizy przedstawiono w postaci tabel, wykresów oraz dla lepszego zrozumienia przepływu materiałów – w postaci tzw. sieci materiałów i procesów.

Sumaryczny wynik dla produkcji 1 kg pudełka to 106,14 μ Pt. Dla produktów porównywalnych wynik to 167,72 μ Pt i 76,47 μ Pt. Wyniki dla pudełka TEK-PAK i *Corrugated board box {RER} production* są zbliżone we wszystkich kategoriach wpływu poza kategorią *Wyczerpywanie zasobów - zasoby wodne*. Tak wysoki wynik nie jest jednak związany ze zużyciem wody w zakładzie produkcyjnym, a wynika ze struktury pozyskiwania energii elektrycznej w Polsce – część energii produkowana jest w elektrowniach wodnych