

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Rozprawa

doktorska

Inżynieria mechaniczna
Nauki inżynierijno-techniczne

mgr

Jacek Nogacki

Zastosowanie metod redukcji emisji środowiskowych
w produkcji opakowań

Promotor

dr hab. inż. Zuzanna Żółek-Tryznowska, prof. uczelni

Promotor Pomocniczy

dr inż. Krzysztof Krystosiak

Warszawa 2025

„Jest wolą Stwórcy by związek człowieka z naturą był związkiem mądrego i szlachetnego gospodarza i opiekuna a nie nierozważnego eksploratora”.

Jan Paweł II

„Im więcej się uczę, tym bardziej uświadamiam sobie, jak mało wiem”.

Albert Einstein

Podziękowania

Rodzinie,

Pragnę z całego serca podziękować mojej Rodzinie za nieocenione wsparcie, wyrozumiałość, cierpliwość i wiarę we mnie przez cały czas trwania mojej pracy nad doktoratem. Bez Was ta praca nie byłaby możliwa. Dziękuję.

Promotorce, dr hab. inż. Zuzannie Żółek–Tryznowskiej prof. uczelni,

Serdecznie dziękuję Pani Profesor za nieocenione wsparcie merytoryczne, inspirujące rozmowy oraz życzliwe i wymagające przewodnictwo naukowe. Rozległa wiedza Pani Profesor, wnikliwe uwagi oraz zaangażowanie stanowiły dla mnie cenne źródło wskazówek i wzór rzetelności naukowej. Dzięki otwartości na dyskusję i konstruktywnej krytyce możliwe było zrealizowanie ambitnych celów badawczych tej pracy.

Promotorowi pomocniczemu, dr inż. Krzysztofowi Krystosiakowi,

Za cenne wsparcie merytoryczne, inspirujące dyskusje oraz życzliwość i zaufanie okazywane na wszystkich etapach pracy nad rozprawą doktorską. Głęboka wiedza, kultura akademicka i zaangażowanie Pana Doktora stworzyły atmosferę sprzyjającą rozwojowi naukowemu i osobistemu, za co wyrażam serdeczne podziękowania i szacunek.

Panu dipl. inż. Urbanowi Buschmannowi, CEO firmy Climate3,

Za nieocenione wsparcie w zakresie realizacji obliczeń badawczych, które miało istotny wpływ na przebieg i jakość mojej pracy doktorskiej. Zaangażowanie Pana inżyniera, ogromna wiedza inżynierska oraz gotowość do dzielenia się doświadczeniem stanowiły dla mnie cenne wsparcie na każdym etapie badań.

Firmie Chespa sp. z o.o.

Za umożliwienie mi realizacji pracy doktorskiej, wiarę we mnie i wsparcie w działaniach, w efekcie których napisano tę pracę.

Streszczenie

W ramach rozprawy doktorskiej pt. „Zastosowanie metod redukcji emisji środowiskowych w produkcji opakowań” badano wpływ innowacyjnego systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jako metody redukcji emisji środowiskowych w cyklu życia produktu na podstawie doświadczeń empirycznych, wieloletniej współpracy z właścicielami marek, oraz drukarniami w zakresie procesu przygotowania produkcji poligraficznej w branży opakowaniowej.

Badania poszerzono o aspekty wpływu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym na toksyczność środowiska naturalnego, a także o aspekty świadomego podejmowania decyzji podczas akceptacji plików reprograficznych na etapie oceny wydruku próbnego. W przebiegu badań przedmiotowej pracy uwzględniono porównanie metody wydruku próbnego na podłożu docelowym i procesu drukowania w produkcji poligraficznej przy zastosowaniu konwencjonalnego systemu wydruku próbnego. Ponadto przedstawiono metodę wydruku próbnego na podłożu docelowym jako rozwiązanie mające na celu pominięcie testów maszynowych w ramach wprowadzania nowego produktu na rynek oraz redukcję emisji środowiskowych.

W badaniach ujęto również obszary ekoprojektowania opakowań w kontekście redukcji ilości odpadów, śladu węglowego oraz ekotoksyczności, jako dopełnienie efektywności działania systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym w ramach wypełnienia wymagań zawartych w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2025/40 z dnia 19 grudnia 2024 r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych.

Przełanką do realizacji pracy doktorskiej była luka naukowa w przedmiotowym zakresie badawczym i, na próżno było szukać literatury oraz opracowań badawczych związanych z rozwojem systemów wydruków próbnych, które nie tylko będą wspierały procesy decyzyjne wśród właścicieli marek oraz precyzyjnie przedstawiały specyfikę procesu środowiska druku produkcji poligraficznej, ale również będą miały wpływ na ograniczenie emisji środowiskowych przez ograniczenie lub eliminację kosztownych, długotrwałych i energochłonnych testów maszynowych. Emisje przemysłowe odpowiadają za znaczącą część wprowadzania gazów cieplarnianych oraz dioksyn do środowiska przyrodniczego, dlatego niezbędnym jest skupienie się na ograniczeniu negatywnego wpływu przemysłu na środowisko

przyrodnicze. Pod uwagę wzięto również sam proces przygotowania opakowania, począwszy od procesu projektowania do druku z wykorzystaniem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym.

System wydruku próbnego na podłożu docelowym pozwala na ocenę wzoru graficznego w sposób przewidujący wszelkie aspekty techniczne związane z komercyjnym procesem drukowania projektu opakowania. W szczególności, gdy proces drukowania odbywać się będzie z udziałem podłoża mających znaczący wpływ na odbiór percepcyjny wzoru graficznego / opakowania, takich jak: folie z metaliczną warstwą barierową, folie aluminiowe, folie transparentne, tektury z metaliczną warstwą uszlachetniającą, papiery brązowe. Kluczowym elementem tematu badawczego jest aspekt ograniczenia emisji środowiskowych dzięki zastosowaniu w ocenie przygotowania produkcji poligraficznej innowacyjnego systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym. Natomiast połączenie systemu wydruku próbnego z ekoprojektowaniem opakowań wyznacza trend, w kierunku którego przemysł poligraficzny powinien podążać w najbliższych latach, aby spełnić założenia Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2025/40 z dnia 19 grudnia 2024 r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych.

Prace nad opracowaniem, testowaniem w warunkach laboratoryjnych, a następnie wdrożeniem przemysłowym systemu wydruków próbnych na podłożu docelowym rozpoczęły się w dziale Chespa Repro Studio¹ firmy Chespa sp. z .o.o. w roku 2019. Efektem kilkuletnich prac nad rozwojem technologii systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, oraz powzięciem współpracy z firmą Climate3² z Niemiec, w zakresie badania oraz obliczania śladu węglowego metodą cyklu życia produktu, stało się wdrożenie innowacyjnego systemu wydruku próbnego, który nie tylko przyczynia się do szybszej i wiernej oceny pracy reprograficznej przed jej procesem drukowania w drukarni, ale przede wszystkim do znaczącej redukcji emisji środowiskowych w procesie produkcji opakowań.

Firma Chespa była pierwszą firmą w Europie, która dostarczyła swoim klientom możliwość wiernej i rzetelnej oceny wzoru opakowania na etapie wydruku próbnego z

¹ <https://www.chespa.eu/crs/>

² <https://www.climate3.org/en-gb>

wykorzystaniem podłoży produkcyjnych, które następnie będą służyły do procesu drukowania przemysłowego projektu. System wydruku próbnego na podłożu docelowym jest systemem umożliwiającym jego kalibrację i certyfikację, dzięki czemu znalazł uznanie wśród licznych właścicieli marek oraz drukarni.

Słowa kluczowe: wydruk próbny, funkcje opakowań, ekoprojektowanie opakowań, emisje środowiskowe, ocena cyklu życia.

Abstract

As part of the PhD dissertation “*Application of Methods for Reducing Environmental Emissions in Packaging Production*,” this research investigated the impact of an innovative proofing system applied directly to the target substrate as a means of reducing environmental emissions throughout the product life cycle. The study was grounded in empirical evidence and extensive professional experience, drawing on long-term collaboration with brand owners and printing houses engaged in packaging production preparation.

The scope of the research was extended to encompass the environmental toxicity implications of the proofing system on the target substrate, as well as the role of informed decision-making during the acceptance of reprographic files at the test-print evaluation stage. A comparative analysis was conducted between proofing on the target substrate and conventional proofing systems used in industrial printing. Furthermore, proofing on the target substrate was presented as an alternative approach capable of eliminating the need for machine testing during the introduction of new products, thereby contributing to the reduction of environmental emissions.

The study also examined packaging eco-design in the context of waste minimization, carbon footprint reduction, and ecotoxicity, complementing the demonstrated effectiveness of proofing on the target substrate in fulfilling the objectives of Regulation (EU) 2025/40 of the European Parliament and of the Council of 19 December 2024 on packaging and packaging waste.

The rationale for undertaking this research stemmed from a clearly identified scientific gap. No previous studies were found that addressed the development of proofing systems capable of simultaneously supporting brand owners’ decision-making processes, accurately replicating the printing environment, and contributing to emission reductions through the elimination of costly, time-consuming, and energy-intensive machine trials. As industrial processes account for a substantial share of global greenhouse gas and dioxin emissions, it is essential to pursue innovations that mitigate the environmental impact of packaging production. Accordingly, this research also considered the entire packaging preparation workflow - from design to printing - utilizing proofing directly on the target substrate.

The proposed proofing system enables accurate evaluation of graphic designs while anticipating the full range of technical variables associated with commercial printing. This approach is particularly advantageous when working with substrates that significantly affect the visual appearance of the final packaging, such as metallic barrier foils, aluminium foils, transparent films, cardboard with metallic finishes, and brown paper. The central premise of this research is that the implementation of a proofing system on the target substrate can serve as an effective mechanism for emission reduction during the prepress stage. Integrating this approach with principles of packaging eco-design establishes a forward-looking direction for the printing industry to meet the objectives of Regulation (EU) 2025/40 on packaging and packaging waste.

Development, laboratory testing, and subsequent industrial implementation of the proofing system on the target substrate began in 2019 at the Chespa Repro Studio, a department of Chespa sp. z o.o. Several years of technological development, in collaboration with Climate3 (Germany), involving carbon footprint assessment and life cycle analysis, led to the successful implementation of the innovative system. This solution not only enables faster and more precise evaluation of reprographic work prior to printing but, more importantly, significantly decreases environmental emissions throughout the packaging production process.

Chespa became the first company in Europe to offer its clients the capability to accurately and reliably evaluate packaging designs at the proofing stage using the same substrates employed in industrial printing. The proofing system on the target substrate supports calibration and certification procedures and has been widely recognized by brand owners and printing houses for its contribution to quality assurance and sustainability in packaging production.

Keywords: proofing, packaging functions, eco-design of packaging, environmental emissions, life cycle assessment.

Spis treści

Spis treści	13
Wykaz pojęć.....	17
Wprowadzenie	21
Cel pracy	29
Stan wiedzy.....	31
Rozdział 1. Emisje środowiskowe i gospodarka odpadami branży opakowaniowej.....	33
1.1. Emisje naturalne.....	33
1.2. Emisje antropogeniczne	33
1.3. Gospodarka odpadami opakowaniowymi, kwoty recyklingu.....	36
Rozdział 2. Rodzaje i typy współczesnych systemów wydruków próbnych	43
2.1. Charakterystyka wydruku próbnego	43
2.2. Cyfrowy wydruk próbny	43
2.3. Wydruk próbny	47
2.4. Wydruk próbny na podłożu docelowym	53
2.5. Pomiar kontrolny i certyfikacja wydruku próbnego.....	58
Rozdział 3. Ślad węglowy w ocenie cyklu życia produktu	61
3.1. Charakterystyka śladu węglowego w cyklu życia produktu	61
3.2. Kategorie emisji w ocenie śladu węglowego.....	63
Rozdział 4. Ekoprojektowanie opakowań	67
4.1. Definicja opakowania ekologicznego	67
4.2. Gospodarka odpadami w obiegu zamkniętym.....	67
4.3. Podstawowe funkcje opakowań	69
4.3.1. Funkcja ochronna.....	69

4.3.2. Funkcja logistyczna	69
4.3.3. Funkcja informacyjna	69
4.3.4. Funkcja marketingowa	70
4.3.5. Funkcja ekologiczna	70
4.3.6. Funkcja użytkowa	70
4.3.7. Funkcja identyfikacyjna.....	71
4.4. Kierunki w ekoprojektowaniu opakowań	71
4.4.1. Redukcja masy, objętości, gramatury materiałów.....	71
4.4.2. Wybór materiałów przyjaznych dla środowiska	72
4.4.3. Optymalizacja cyklu życia opakowania i redukcja śladu węglowego.....	73
4.4.4. Ograniczenie lub eliminacja szkodliwych substancji w opakowaniach	73
4.4.5. Komunikacja z konsumentem	74
4.4.6. Droga do opakowania przyjaznego dla środowiska: opakowanie papierowe na mrożonki firmy Frosta AG.....	75
4.5. Rozporządzenie UE w zakresie opakowań i odpadów opakowaniowych z 19 grudnia 2024 r.	78
4.5.1. Opakowania podatne do recyklingu	79
4.5.2. Minimalna zawartość recyklatu w opakowaniach	81
4.5.3. Minimalizacja opakowań	82
Część eksperymentalna	83
Rozdział 5. Zakres i plan pracy.....	85
Rozdział 6. Analiza preferencji klientów dotyczących systemu wydruków próbnych na podłożu docelowym.....	89
6.1. Wyniki przeprowadzonej ankiety	91
Rozdział 7. Analiza środowiskowa systemów wydruków próbnych – podłoża papierowe	95

7.1. Metodyka wykonania obliczeń	98
7.1.1. Cel badania	98
7.1.2. Jednostka funkcjonalna.....	99
7.1.3. Jakość danych.....	99
7.1.4. Granice systemu	100
7.1.5. Metodyka oraz przegląd krytyczny	100
7.1.6. Alokacja	102
7.1.7. Ograniczenia.....	102
7.2. Modelowanie.....	102
7.2.1. Unieszkodliwienie odpadów	106
7.2.2. Podstawa modelowania oraz obliczenia danych	106
7.3. Wyniki badań.....	107
7.4. Badanie czułości.....	114
7.5. Omówienie wyników	114
7.6. Wnioski	115
Rozdział 8. Analiza środowiskowa systemu wydruków próbnych – testy przedprodukcyjne.	119
8.1. Streszczenie.....	119
8.2. Metodyka wykonania obliczeń	121
8.2.1. Cel badania	121
8.2.2. Jednostka funkcjonalna.....	121
8.2.3. Jakość danych.....	122
8.2.4. Granice systemu	122
8.2.5. Metodyka oraz przegląd krytyczny	124
8.2.6. Alokacja	125

8.2.7. Ograniczenia.....	125
8.3. Modelowanie.....	126
8.3.1. Proces przygotowania wydruku próbnego na podłożu docelowym	126
8.3.2. Proces przygotowania testu przedprodukcyjnego	127
8.3.3. Unieszkodliwienie odpadów	128
8.3.4. Podstawa modelowania oraz obliczenia danych	129
8.4. Wyniki	130
8.5. Badanie czułości.....	137
8.6. Omówienie wyników	138
8.7. Wnioski	142
Rozdział 9. Opakowania przyjazne środowisku.....	143
9.1. Opakowania przyjazne środowisku, przygotowane w ramach działalności opierającej się o aspekty zrównoważonego rozwoju firmy Chespa	146
9.1.1. Papierowe opakowanie na orzeszki arachidowe – DRUPA 2024	146
9.1.2. Celulozowe opakowanie na czekoladę – DRUPA 2024	155
9.1.3. Polipropylenowe opakowanie na czekoladę – Sympozjum Poligraficzne 2024....	163
Podsumowanie.....	171
Rozdział 10. Podsumowanie i wnioski.....	173
Bibliografia	196
Spis rysunków	219
Spis tabel	223

Wykaz pojęć

Adobe Illustrator – oprogramowanie do tworzenia obrazów wektorowych, ilustracji i rysunków [1]

Adobe Photoshop – oprogramowanie graficzne do retuszu i edycji zdjęć [2]

Agencja kreatywna – jest to agencja, biuro, specjaliści w obszarze marketingu, których zadaniem jest zmiana wizerunku marki [3]

Agencja reprograficzna – (ang. *reprohouse / print management agency*) - jednostka zajmująca się obróbką oraz przygotowaniem plików graficznych do procesu drukowania w różnych technikach procesu drukowania [4]

CRS³ (Chespa Repro Studio) - jednostka / dział będący w strukturach firmy Chespa sp. z o.o., zajmujący się przygotowaniem plików do druku oraz technologią poligraficzną [4]

deltaE (ΔE)⁴ – miara odległości między dwoma punktami barwy lub zakres tolerancji mierzonej próbki barwy względem referencji [5] [6]. Można wymienić cztery podstawowe rodzaje deltyE:

- a. deltaE 2000 – najnowsza formuła i zarazem najdokładniejsza, która uwzględnia percepcję ludzkiego oka [7]
- b. deltaE 76 – najstarsza formuła, wciąż powszechnie stosowana [8]
- c. deltaE 94 – następcą formuły deltyE 76
- d. deltaE CMC – często stosowana w poligrafii, szczególnie do zastosowań pomiarowych materiałów elastycznych, choć została stworzona z myślą o branży tekstylnej [7]

Dioksyny – trwałe zanieczyszczenia środowiska pochodzenia antropogenicznego, m.in. ze spalania odpadów [34] [35]

DTP (ang. *desktop publishing*) - proces, w którym grafik komputerowy przygotowuje plik do druku poprzez jego dostosowanie do wymagań drukarni [11]

Ekoprojektowanie – projektowanie m.in. opakowań z myślą o środowisku [12]

³ <https://www.chespa.eu/crs/>

⁴ <https://www.xrite.com/blog/tolerancing-part-3>

Ekotoksyczność – wpływ negatywnych dla środowiska substancji, związków albo emisji mogących spowodować straty w środowisku i wpłynąć na zdrowie lub życie organizmów lub ludzi [5] [6] [15] [16] [17]

Fleksografia – jedna z technologii procesu drukowania w przemyśle poligraficznym i charakteryzuje się zastosowaniem w procesie drukowania wypukłych form drukowych z użyciem ciekłych, średnio lepkich farb drukarskich oraz wałka rastrowego przenoszącego farbę na formę drukową [18]

FograCert – system pozwalający na certyfikację wydruku próbnego (ang. *hard proof*) do standardu profilu maszynowego w celu kontroli poprawności procesu drukowania [19]

GMG Proof Control – system firmy GMG Color, który umożliwia pomiar oraz kontrolę wydruku próbnego (ang. *hard proof*) w drodze jego certyfikacji [20]

ISO 12647-7:2016⁵ – jedna z norm poligraficznych, dotycząca technologii graficznej w postaci kontroli separacji technicznych oraz standaryzacji procesu drukowania wydruku próbnego [21]

Nadlewki, podlewki, odsunięcia – zabiegi techniczne mające na celu uniknięcie efektu rozpasowania się grafiki podczas procesu drukowania [22]

Nieprzeźroczystość (ang. *opacity*) – stopień krycia np. białej farby w druku [32] [33]

Oświetlenie 500 lux – jednostka w układzie SI, która obejmuje obszar, na którym rozprzestrzenia się strumień świetlny, a nie jest intensywność [25]

Pantone^{®6} – zbiór barw specjalnych, w formie listkowego wzornika fizycznego bądź w formie elektronicznej, służący do określenia koloru w m.in. poligrafii rynku opakowaniowego [26]

Papier typu kraftliner – papier wyprodukowany z włókien pierwotnych, często koloru brązowego, który służy do procesu produkcji opakowań mających bezpośredni kontakt z żywnością [27]. Dostępny jest również papier typu testliner, który w przeciwieństwie do papieru kraftliner, wytworzony został z makulatury [28]

PDF – (ang. *portable document format*) – najpopularniejszy format do zapisywania danych w tym plików graficznych w celu przygotowania grafiki do druku [29]

⁵ <https://www.iso.org/standard/66426.html>

⁶ <https://www.pantone.com/eu/en/>

Proces tworzenia próbnego wydruku / wydruk próbny (ang. *proofing / proof*) – system pozwalający na zaprezentowanie w formie certyfikowanej odbitki kontraktowej, grafiki przygotowanej przez agencję [30]

Produkcja poligraficzna – proces projektowo-technologiczny, który ma na celu realizację zlecenia wytworzenia produktu np. opakowania począwszy od zaprojektowania wzoru graficznego po realizację procesu drukowania w drukarni [31]

Profil ICC (ang. *International Color Consortium*) - format pliku zawierający dane maszynowe, pozwalający na konwersję grafiki między dwoma równymi profilami. Wykorzystuje się go w celu przygotowania plików do procesu drukowania [32]

Rękaw termokurczliwy (ang. *shrink sleeve*) – nośnik grafiki w formie rękawa termokurczliwego, który po aplikacji na obiekt taki jak butelka, np. PET poddawany jest procesowi obkurczania przy udziale gorącej, suchej pary wodnej w celu przybrania kształtu obiektu, na którym się znajduje [33]

Rozszerzona przestrzeń barw (ang. *expanded color gamut, ECG*), system C7⁷. Jest to element systemu procesu drukowania w rozszerzonej przestrzeni kolorystycznej. Wykorzystuje on do procesu drukowania obiektów powiększoną ilość kolorów, o maksymalnie 3 dodatkowe kanały [34] [35]

Studium przypadku (ang. *case study*) – proces dążenia do celu, opis drogi od początku procesu do osiągnięcia zamierzonych celów np. biznesowych, projektowych czy środowiskowych [36]

Substancja zanieczyszczająca (ang. *pollutant*) – substancje zanieczyszczające środowisko [37]

Tłoczenie (ang. *embossing*) – tłoczenie, jedna z metod uszlachetniania procesu drukowania [38]

Tłoczenie na gorąco (ang. *hot stamping*) – tłoczenie folią na gorąco, jedna z form uszlachetniania wyników procesu drukowania opakowań [39]

Tłoczenie na zimno (ang. *cold stamping*) – proces tłoczenia, foliowania na zimno [40] jedna z form uszlachetniania wyników procesu drukowania opakowań [39]

7

https://gmgcolor.com/support/help/opencolor/GMG_Text/OpenColor/Separation/OC_Separation_RGB-to-ECG.htm

Właściciel marki, zleceniodawca (ang. *brand owner*) – właściciel produktu, producenta opakowań [1] [2]

Zakres 3 (ang. *scope 3*⁸) – oznacza zakres badań i jest wymieniony w kontekście obliczeń oceny cyklu życia produktu (*Life Cycle Assessment, LCA*), odnosi się do granic i szczegółowości analizy [43]

Zmiana wzoru marki (ang. *rebranding lub re-design*) – proces polegający na odświeżeniu, zmianie lub przekształceniu produktu m.in. opakowania w celu uzyskania lepszych efektów sprzedażowych [44]

⁸ <https://industrialsustainabilitysolutions.com/scope-3-emissions-reporting-guide/>

Wprowadzenie

Drukowanie jest sztuką, a poligrafia to obszar, w którym każdy detal ma znaczenie. W dzisiejszym świecie, w którym wizualna prezentacja produktu lub towaru odgrywa wiodącą rolę, jakość druku staje się nieodłącznym elementem sukcesu w dziedzinie poligrafii. Jednakże, nawet najnowocześniejsze i najbardziej zaawansowane maszyny drukarskie nie zawsze gwarantują uzyskania perfekcyjnego wyniku na danym podłożu [45] [46]. Różnorodność podłoży drukowych sprawia, iż uzyskanie pożądanej kolorystyki opakowania wiąże się z koniecznością powzięcia kroków w kierunku implementacji precyzyjnego systemu zarządzania barwą [47]. Właśnie tutaj wchodzi w grę proces tworzenia wydruku próbnego, zwanego powszechnie proofingiem czyli procesu, który ma na celu zapewnienie, że każde opakowanie, każdy kolor i każdy detal są zgodne z oczekiwaniami i standardami jakości [48].

Wydruk próbny jest nieodzownym elementem systemu zarządzania jakością barwną w drukarniach branży poligraficznej, który stanowi system weryfikacji oraz potwierdzenia jakości druku przed produkcją właściwą [49]. Celem procesu tworzenia wydruku próbnego jest zaprezentowanie odbiorcy końcowego wyglądu jego produktu w druku [50]. Wydruk próbny stanowi formę upewnienia się, że projekt graficzny wygląda zgodnie z oczekiwaniami a kolory, kształty i inne elementy graficzne są dokładnie odzwierciedlone na fizycznym materiale, na którym zostanie wykonany ostateczny druk [51]

Najszerzej rozpowszechniony system produkcji wydruków próbnych na rynku poligraficznym opiera się na wykorzystaniu w celu przygotowania wydruku próbnego, dedykowanego papieru proofingowego [52]. Konwencjonalne systemy służące do produkcji wydruku próbnego, czyli takie, które opierają się na wykonywaniu wydruku próbnego przy zastosowaniu wyspecyfikowanego i certyfikowanego papieru, takiego jak system GMG Color, EFI Fiery [53] czy CGS ORIS [54] bazują na podstawowych papierach do procesu druku cyfrowego. Każdy z wymienionych dostawców oprogramowania ma w ofercie dedykowane papiery. W przypadku firmy GMG Color, której podłoża stosuje firma Chespa w celach przygotowania wydruku próbnego, w ofercie znajdują się papiery typu: matowego 250, połyskowego 250, z dodatkiem wybielaczy optycznych 150 (ang. *optical brightening agent*, OBA), studio newspaper 76, studio transparent 139 [55].

W przypadku systemów konwencjonalnego przygotowania wydruku próbnego można by powiedzieć, iż rynek nie oferuje więcej możliwości w powszechnym oraz ogólnodostępnym zakresie. Jeszcze do niedawna na rynku funkcjonował system pozwalający na wydruk projektu graficznego na podłożach dedykowanych, był to system pod nazwą Kodak Approval, który swoje początki miał w latach dziewięćdziesiątych dwudziestego wieku [56]. System pozwalał na wydruk projektu graficznego na jednym z kilku dedykowanych podłoży, m.in. na folii transparentnej, folii z metaliczną warstwą barierową czy też folii białej, dzięki czemu grafik komputerowy lub właściciel marki mogli ocenić przybliżony efekt projektowanej i zreprodukowanej grafiki na podłożu zbliżonym do podłoża produkcyjnego [57]. Twórca systemu, firma Kodak borykała się z poważnymi problemami finansowymi, które doprowadziły firmę do bankructwa, w efekcie czego system Kodak Approval przestał być oferowany oraz wspierany od roku 2013, tym samym system zniknął z rynku poligraficznego [58]. Na rynku poligraficznym pojawiła się luka, którą próbowano wypełnić. Poszukiwano systemu, który zastąpiłby rozwiązanie Kodak Approval. Dynamicznie zmieniający się rynek poligraficzny, który stawiał coraz większe wymagania dostarczanym materiałom poligraficznym oraz rozwijał się w kierunku wysokojakościowych wydruków oraz standaryzacji procesu produkcji poligraficznej, nie był skłonny dopuścić systemu, który byłby niezdatny do procesu certyfikacji oraz procesu kalibracji.

Prace nad wdrożeniem innowacyjnego, certyfikowanego i pozwalającego na kalibrację systemu przygotowania wydruku próbnego zapoczątkowano w firmie Chespa w roku 2016. Posiadany wówczas sprzęt oraz oprogramowanie niestety nie pozwalały na osiągnięcie wyznaczonego celu w postaci opracowania i komercjalizacji systemu przygotowania wydruku próbnego opartego na wykorzystaniu docelowych podłoży produkcyjnych. Poszukiwano sposobu, aby system był stabilny, pozwalający się skalibrować i certyfikować a efekt finalny w postaci wydruku próbnego był powtarzalny. Kolejne lata przynosiły negatywne rezultaty. Dopiero w roku 2019 doszło do przełomu, zmiany strategii, systemu sprzętu drukującego oraz oprogramowania sterującego barwą, w efekcie czego we wrześniu 2019 r. wyprodukowano w firmie Chespa pierwszy, certyfikowany i pozwalający się skalibrować wydruk próbny na podłożu docelowym, który spełniał wszelkie wymagania normy certyfikacji ISO 12647-7:2016 [21]. W kolejnych latach system był dopracowywany, udoskonalany oraz dodawano kolejne funkcje, m.in. możliwość zasymulowania wybiórczego lakieru matowego lub połyskowego. Możliwość

zadania lakieru matowego o ściśle sprecyzowanym stopniu zmatowienia w ramach pomiaru urządzeniem typu glossmeter BYK GmbH w geometrii pomiaru 60°. Pojawiła się możliwość symulacji uszlachetnień takich jak tłoczenie na zimno albo na gorąco, tłoczenie wypukłe lub perforowanie.

Procesy przemysłowe wpływają na stan zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego różnego rodzaju toksynami, które stanowią potencjalne zagrożenie dla zdrowia i życia organizmów lądowych oraz wodnych, a także są powodem zubożenia różnorodności biologicznej Ziemi. Potwierdzono, iż przeszło 1800 substancji chemicznych migruje z produktów, w tym z opakowań, które mają kontakt z żywnością, do produktów spożywczych. Wiele ze wskazanych substancji budzi poważne wątpliwości w kwestii ich wpływu na zdrowie ludzi. Jednym ze związków stanowiących poważne zagrożenie dla zdrowia ludzi jest bisfenol A (BPA⁹), który został zakazany do stosowania w przedmiotach, które mają kontakt z żywnością przeznaczoną do spożycia przez dzieci. Wciąż jednak oznacza się znaczące ilości tej substancji w żywności [59] [60]. Długotrwałe narażenie na oddziaływanie czynników chemicznych na organizm ludzki może powodować reakcje niekontrolowaną w formie replikacji lub wzrostu komórek somatycznych, które to przyczyniać się mogą do rozwoju chorób nowotworowych bądź mutacji genowych w organizmach żywych [61]. Lista substancji chemicznych znajdujących się w opakowaniach jest długa, lecz nie ma jednego zbioru wszystkich substancji, a dane na ten temat są rozproszone [62]. W związku z tym, obliczenia w ramach cyklu życia produktu pozwalają na określenie wpływu danego procesu, w tym wypadku systemów wydruków próbnych na emisję związków chemicznych do środowiska.

Jedną z substancji referencyjnych w badaniach oceny cyklu życia jest 1,4-dichlorobenzen (DCB¹⁰). W temperaturze pokojowej przyjmuje postać bezbarwną lub białą. Jest to substancja palna, w formie krystalicznej. Należy do substancji rozpuszczalnych, dobrze rozpuszcza się w wodzie i rozpuszczalnikach organicznych. W trakcie podgrzewania wytwarzany jest silnie toksyczny gaz – chlorowodór. Ekspozycja na tę substancję może

⁹ <https://www.eea.europa.eu/publications/peoples-exposure-to-bisphenol-a>

¹⁰ <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/1-4-dichlorobenzene>

przyczyniać się do rozwoju chorób nowotworowych bądź mutacji genowych w organizmach żywych [63] [64].

W 2022 r. postanowiono zrobić kolejny krok, podejmując próby wykorzystania systemu wydruków próbnych na podłożu docelowym, aby ograniczyć negatywny wpływ opakowań na środowisko, a w szczególności zredukować emisje środowiskowe. Emisje środowiskowe to zamierzone lub niezamierzone wprowadzanie do środowiska substancji lub energii pochodzących z działalności przemysłowej i pozaprzemysłowej człowieka, w szczególności w formie gazów, pyłów, ścieków, odpadów, hałasu, wibracji, promieniowania bądź ciepła, które mogą oddziaływać negatywnie na stan środowiska przyrodniczego lub zdrowie organizmów żywych, w tym ludzi. W ujęciu prawnym, zgodnie z ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627) [65], emisja oznacza bezpośrednie lub pośrednie wprowadzenie substancji lub energii z instalacji, urządzeń lub innych źródeł do powietrza, wody lub ziemi. Emisje te stanowią jedno z podstawowych ogniw presji antropogenicznej na środowisko i są przedmiotem systemowej kontroli oraz regulacji administracyjno–prawnych, w tym w ramach pozwoleń zintegrowanych, norm emisyjnych oraz monitoringu środowiskowego.

- Do głównych źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego zaliczyć należy procesy spalania paliw kopalnych, procesy przemysłowe, rolnictwo oraz gospodarstwa domowe. W ramach emisji zanieczyszczeń powietrza, głównymi substancjami oddziałującymi są dwutlenek węgla (CO₂), dwutlenek siarki (SO₂), pyły zawieszane (PM₁₀ i PM_{2,5}), lotne związki organiczne (LZO) oraz metan (CH₄) [66] [67] [68] [69].
- Głównymi źródłami emisji do wód powierzchniowych i podziemnych są emisje pochodzące ze źródeł, takich jak ścieki przemysłowe i komunalne, spływy rolnicze oraz odprowadzanie wód opadowych z terenów zurbanizowanych. Źródłami emisji są w tym wypadku substancje biogenne, takie jak azot (N) i fosfor (P), związki metali ciężkich, takie jak rtęć (Hg), ołów (Pb) czy kadm (Cd), substancje organiczne np. fenole oraz mikroorganizmy chorobotwórcze.
- W przypadku zanieczyszczeń środowiska glebowego, do głównych źródeł emisji zaliczyć należy produkcję oraz składowanie odpadów (przemysłowych,

komunalnych, niebezpiecznych), wyciek substancji niebezpiecznych (substancje ropopochodne, związki chemiczne), intensywne rolnictwo (nawozy mineralne, pestycydy) oraz przemysł wydobywczy (hałdy, osady poflotacyjne, popłuczyny pokopalniane). Źródłami emisji są w tym przypadku substancje, takie jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), metale ciężkie, sól drogowa (chlorki) czy też substancje ropopochodne [70] [71] [72] [73].

Jednocześnie rozpoczęto badania nad wpływem opisywanego systemu wydruków próbnych na podłożu docelowym na ograniczenie powstawania odpadów produkcyjnych, konsumpcji wody, energii elektrycznej oraz zasobów ludzkich podczas przygotowania produkcji poligraficznej. Bodźcem badanej metody podejścia do produkcji poligraficznej był przypadek jednego z klientów działu Chespa Repro Studio, który na krótko przed wprowadzeniem systemu wydruków próbnych na podłożu docelowym, oceniając wzór graficzny na konwencjonalnym wydruku próbnym wykonanym na papierze, nie był świadomy wpływu braku poddruku białą farbą na wygląd koloru specjalnego na transparentnej etykiecie. Projekt oraz omawiany element wzoru graficznego był na tyle istotny, iż klient zatrzymał proces akceptacji oraz zaordynował korektę plików. Gdyby wówczas system wydruku próbnego na podłożu docelowym został wdrożony (lecz akceptacja procesu drukowania odbywała się w lipcu 2019 roku, czyli na 2 miesiące przed zakończeniem prac związanych z implementacją systemu) to klient byłby w stanie ocenić wzór graficzny na transparentnej folii OPP (ang. *oriented polypropylene*) po oklejeniu na butelkę wypełnioną brązowym płynem typu mrożona herbata. System wydruku próbnego na podłożu docelowym stał się narzędziem mogącym znacząco obniżyć koszty produkcji poligraficznej na etapie przygotowania plików do procesu drukowania oraz podczas akceptacji procesu drukowania. W przypadku omawianego systemu porównujemy „jabłko” do „jabłka”¹¹, czyli posiadamy wydruk próbny na podłożu docelowym, identycznym z podłożem i jego właściwościami jakie posiada wydruk znajdujący się na przemysłowej maszynie drukującej.

W związku z dynamicznie rozwijającą się działalnością firmy Chespa w zakresie rozwiązań przyjaznych dla środowiska, bazując na systemie wydruku próbnego na podłożu

¹¹ <https://www.benq.eu/pl-pl/knowledge-center/knowledge/define-accurate-color.html>

docelowym, postanowiono stworzyć opakowania marketingowe, które w znaczący sposób przyczyniają się do poprawy kondycji środowiska naturalnego, wpływają na redukcję śladu węglowego oraz ograniczają produkcję odpadów oraz emisji środowiskowych. Działania te wpisują się w ramy Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2025/40 z dnia 19 grudnia 2024 r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych¹².

Rozprawa doktorska ma charakter teoretyczno – eksperymentalny i składa się z 10 rozdziałów, z czego 4 rozdziały stanowią część teoretyczną, natomiast 6 kolejnych części eksperymentalną oraz podsumowanie i wnioski.

W rozdziale pierwszym zatytułowanym „Emisje środowiskowe i gospodarka odpadami branży opakowaniowej” zajęto się scharakteryzowaniem emisji środowiskowych, ze szczególnym uwzględnieniem gazów cieplarnianych, takich jak dwutlenek węgla, para wodna, metan, podtlenek azotu, fluoropochodne węglowodorów, perfluoropochodne związki węgla oraz sześćfluorek siarki. Emisje gazów cieplarnianych rozpatrywano pod kątem naturalnych oraz antropogenicznych substancji zanieczyszczających. W ostatniej części rozdziału opisano gospodarkę odpadami w przemyśle opakowaniowym, ze szczególnym uwzględnieniem kwot recyklingu odpadów opakowaniowych na rynku polskim.

W drugim rozdziale „Rodzaje i typy współczesnych systemów wydruków próbnych” zajęto się opisaniem i scharakteryzowaniem dostępnych na rynku poligraficznym systemów wydruków próbnych. Podzielono systemy wydruków próbnych w zależności od nośnika – materiału na jakim zostały wykonane lub przy udziale jakich urządzeń dokonuje się oceny grafiki z wykorzystaniem opisywanej metody wydruków próbnych. W dalszej części rozdziału dokonano charakterystyki procesu kontroli oraz certyfikacji wydruków próbnych.

Rozdział trzeci zatytułowany „Ślad węglowy w ocenie cyklu życia produktu” to opis procesu obliczeniowego oraz narzędzi biorących udział w liczeniu śladu węglowego w zakresie cyklu życia produktu. Opisano zakresy badawcze oraz scharakteryzowano metodę oceny cyklu życia produktu.

¹² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX:32025R0040>

W rozdziale czwartym pod tytułem „Ekoprojektowanie opakowań”, opisano zasady ekoprojektowania opakowań, w tym definicję opakowania ekologicznego, zasady gospodarki w obiegu zamkniętym oraz szczegółowo omówiono funkcje opakowań. Ponadto w rozdziale opisane zostały kierunki w ekoprojektowaniu opakowań. Zwieńczenie rozdziału stanowi opis przykładu jednego z partnerów biznesowych firmy Chespa, jakim jest firma Frosta AG, w kierunku przygotowania opakowania przyjaznego dla środowiska.

W rozdziale piątym „Zakres i plan pracy” rozprawy, dokonano porównania dwóch systemów wydruku próbnego, na podłożu docelowym oraz na tradycyjnym papierze proofingowym, pod kątem ich wpływu środowiskowego i decyzji właścicieli marek. Badania miały charakter interdyscyplinarny, obejmując zagadnienia z zakresu poligrafii, inżynierii oraz nauk środowiskowych i toksykologii. Analizie poddano również preferencje klientów firmy Chespa w zakresie postrzegania efektywności i użyteczności badanych rozwiązań. Badania przeprowadzono na dwóch typowych podłożach opakowaniowych: papierze kraftliner i folii PE, co pozwoliło na ocenę różnic wynikających z ich właściwości fizykochemicznych.

W rozdziale szóstym zatytułowanym „Analiza preferencji klientów dotyczących systemu wydruków próbnych na podłożu docelowym”, rozpoczynającym część badawczą, opisano wyniki ankiety przeprowadzonej wśród klientów firmy Chespa, działu Chespa Repro Studio w zakresie przydatności innowacyjnego systemu wydruków próbnych na podłożu docelowym na proces podejmowania decyzji w związku z opracowywaną grafiką wzoru opakowań, zgodności wydruku próbnego do wydruku produkcyjnego oraz przydatności w pracy działu marketingu.

W rozdziale siódmym pod tytułem „Analiza środowiskowa systemów wydruków próbnych – podłoża papierowe”. W tym rozdziale opisano znaczenie wydruku próbnego na podłożu docelowym w procesie drukowania wzoru graficznego w porównaniu do konwencjonalnego wydruku próbnego bazującego na wydruku na papierze, ze szczególnym uwzględnieniem obliczania śladu węglowego w ramach cyklu życia produktu. Prowadzone badania wyjaśniają znaczenie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym w drodze do osiągnięcia znaczącej redukcji emisji środowiskowych w produkcji opakowań. Wyjaśniono również zalety oraz przewagę systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym nad systemem konwencjonalnym wydruku próbnego w procesie podejmowania decyzji marketingowych na etapie oceny reprograficznej wzoru graficznego

Rozdział ósmym o tytule „Analiza środowiskowa systemów wydruków próbnych – testy przedprodukcyjne” to opis korzyści płynących z wykorzystania systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jako metody mającej na celu redukcję lub eliminację czasochłonnych, kosztownych oraz obciążających środowisko naturalne testów maszynowych. System wydruku próbnego na podłożu docelowym stanowi nieocenioną pomoc dla agencji reprograficznej oraz właściciela marki w kwestii oceny, wyboru czy też doboru odpowiednich parametrów produkcji poligraficznej przy założeniu zmiany podłoża lub wzoru graficznego na etapie pracy z plikiem graficznym. W dalszej części rozdziału opisano znaczący wpływ systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym na redukcję emisji środowiskowych, ograniczenie produkcji odpadów oraz wpływ na ograniczenie toksyczności dla środowiska przyrodniczego.

W rozdziale dziewiątym, zatytułowanym „Opakowania przyjazne środowisku” opisano przykłady ekoprojektowania opakowań oraz drogi, jaką pokonano w kierunku wyprodukowania opakowania przyjaznego dla środowiska. W rozdziale opisano działania w zakresie realizacji projektów mających na celu spełnianie zasad ekoprojektowania opakowań. Stworzone opakowania służyły jako materiały marketingowe firmy Chespa podczas międzynarodowych targów DRUPA 2024 w Dusseldorfie w Niemczech oraz jako materiał marketingowy w 2024 r. podczas odbywającego się corocznie Sympozjum Poligraficznego firmy Chespa. W przypadku opisywanych opakowań dokonano obliczeń emisji środowiskowych dla poszczególnych komponentów opakowań, a także przedstawiono dane toksykologiczne mające wpływ na biosferę organizmów wodnych i lądowych.

W rozdziale dziesiątym, zatytułowanym „Podsumowanie i wnioski” opisano przebieg rozprawy doktorskiej od części wprowadzającej w tematykę opakowań, przez badania środowiskowe, skończywszy na opisie celów badawczych, pytań badawczych po opis hipotez głównych.

Cel pracy

Za główny cel badawczy niniejszej rozprawy przyjęto określenie znaczenia i wpływu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym w na redukcję emisji środowiskowych w ramach cyklu życia produktu oraz ograniczenie lub eliminację przedprodukcyjnych testów maszynowych, a także udział systemu w ekoprojektowaniu opakowań.

Sformułowano następujące cele szczegółowe:

C 1 Ocena systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jako efektywnego narzędzia do oceny projektu graficznego przed przystąpieniem do procesu przygotowania produkcji poligraficznej, w ramach redukcji emisji środowiskowych w zakresie cyklu życia produktu.

C 2 Wpływ systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym na ocenę skomplikowanych elementów grafiki projektu graficznego z wykorzystaniem nietypowych podłoży drukowych w ramach redukcji emisji środowiskowych, ograniczeniu powstawania odpadów poprodukcyjnych oraz zużycia zasobów przyrodniczych i ludzkich.

C 3 Aspekty ekoprojektowania opakowań z wykorzystaniem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jako metody redukcji powstawania odpadów z tworzyw sztucznych, emisji środowiskowych i działalność w kierunku zrównoważonego rozwoju w przemyśle poligraficznym.

Realizacja postawionych celów badawczych wymagała uzyskania odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

P 1 Jakie są podobieństwa i różnice konwencjonalnego systemu wydruku próbnego w porównaniu do systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym?

P 2 Jaki jest obecny stan wiedzy na temat obliczania emisji środowiskowych dla systemów wydruków próbnych i ich wpływ na proces produkcji opakowań?

P 3 Jakie są metody oceny oraz kontroli specyficznych elementów grafiki lub wpływ charakterystycznego podłoża drukowego na grafikę?

P 4 Jak wygląda sytuacja na rynku opakowaniowym pod kątem redukcji emisji środowiskowych oraz zmniejszania udziału tworzyw sztucznych w procesie projektowania, przygotowywania i wprowadzania do obrotu opakowań konsumenckich?

Główną hipotezą badawczą przedmiotowej rozprawy doktorskiej jest stwierdzenie, iż system wydruku próbnego na podłożu docelowym w znaczącym stopniu przyczynia się do redukcji emisji środowiskowych, a także ma znaczący wpływ na zmniejszenie ilości generowanych odpadów oraz zużycia zasobów środowiskowych w procesie produkcji i ekoprojektowaniu opakowań. Sformułowano również następujące hipotezy szczegółowe:

H 1 Zastosowanie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym przyczynia się do redukcji emisji środowiskowych, co pozwala na uzyskanie korzyści w wymiarze środowiskowych, społecznym i ekonomicznym.

H 2 System wydruku próbnego na podłożu docelowym może być z powodzeniem stosowany w celu oceny wzorów grafik w procesie zmiany wzoru marki, zmiany podłoża na bardziej wyrafinowane lub mające znaczący wpływ na odbiór wizualny kolorystyki wzoru, oraz redukcji emisji środowiskowych.

H 3 Proces ekoprojektowania opakowań z wykorzystaniem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jako forma redukcji emisji środowiskowych oraz dążenie do ograniczenia negatywnego wpływu opakowań konsumenckich na ekosystemy i biosferę.

Stan wiedzy

Rozdział 1. Emisje środowiskowe i gospodarka odpadami branży opakowaniowej

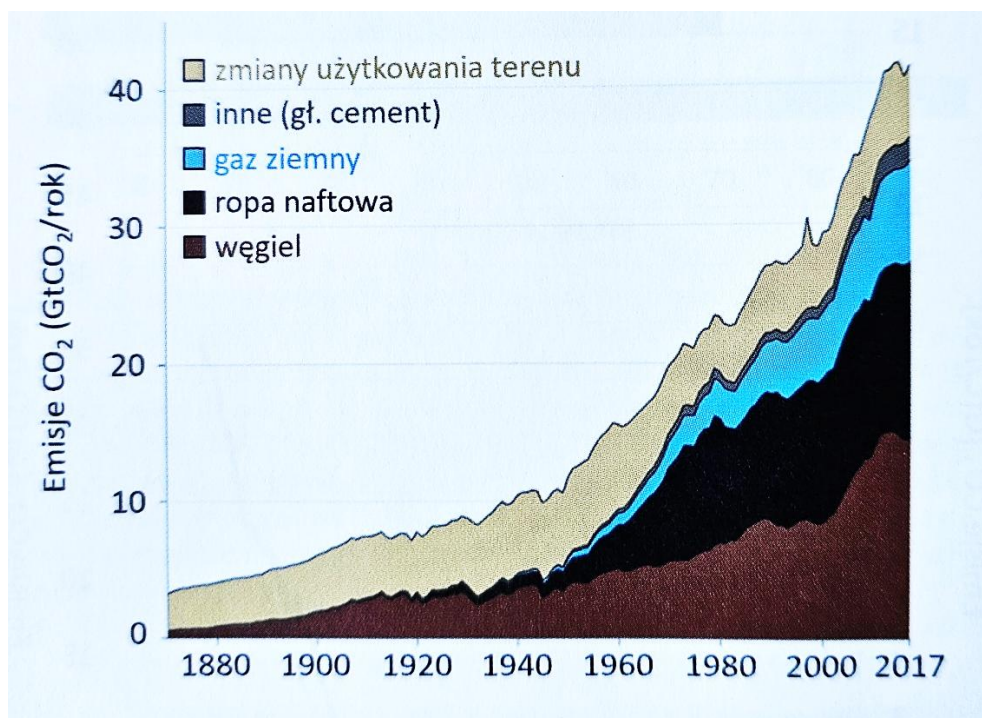
1.1. Emisje naturalne

Naukę zajmującą się badaniem zależności w środowisku naturalnym pomiędzy organizmami żywymi a środowiskiem, w sposób wzajemnego oddziaływania na siebie nazywa się ekologią [74]. Dziedzina zajmująca się badaniem szkodliwego wpływu substancji na organizmy żywe oraz środowisko nosi nazwę toksykologii [75]. Mówiąc o substancjach toksycznych, toksykantach lub truciznach, mamy na myśli takie substancje, które mają negatywny wpływ na środowisko naturalne [76]. Jednak, to nie sama trucizna, lecz jej dawka czyni tę truciznę szkodliwą (łac. *Dosis facit venenum*) [77] i, w niektórych przypadkach niewielkie dawki toksykantów mogą mieć pozytywny wpływ na organizmy żywe czy też środowisko naturalne [61]. Substancje toksyczne pochodzące ze źródeł naturalnych określane są jako trucizny bądź toksyny. Mogą być one wytwarzane przez organizmy żywe [78], lecz nie są dla nich samych toksyczne [79]. Spośród najczęściej spotykanych toksyn pochodzenia naturalnego można wymienić: metale ciężkie, pierwiastki promieniotwórcze, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, pyły, pary, trucizny roślinne oraz neurotoksyny [80].

1.2. Emisje antropogeniczne

Zanieczyszczenia środowiska wywołane przez człowieka, emitujące szkodliwe substancje noszą nazwę substancji toksycznych lub toksykantów [61]. Pewne substancje toksyczne mogą wchodzić w szlaki metaboliczne związków odżywczych organizmów żywych, co powoduje, że w łatwy i szybki sposób migrują w głąb organizmu, stanowiąc poważne zagrożenie dla tego organizmu [81]. Antropogeniczne zanieczyszczenia środowiska są poważnym problemem społecznym, nie tylko w skali lokalnej, lecz również w skali globalnej [82]. Wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia potrafią przemieszczać się swobodnie w środowisku naturalnym, powodując straty w ekosystemach oraz mogą powodować utratę życia lub zdrowia organizmów żywych [83]. Do częstych zanieczyszczeń zaliczyć możemy art. emisję lotnych związków organicznych, czyli wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych. Substancje te wpływają ograniczająco na liczebność gatunków w ekosystemie oraz zubożają bioróżnorodność [84]. Do najistotniejszych zanieczyszczeń powietrza, które mają znaczący,

negatywny wpływ na królestwo roślin i zwierząt (w tym ludzi) zalicza się; dwutlenek siarki (SO_2), tlenki azotu (Nox : NO , NO_2), dwutlenek węgla (CO_2) oraz ozon (O_3) [85]. Zanieczyszczenia możemy podzielić na dwie grupy, są to zanieczyszczenia magazynowe (ang. *stock pollutants*), czyli takie, które magazynowane są w środowisku naturalnym, np. nie biodegradowalne tworzywa sztuczne, syntetyczne chemikalia i metale ciężkie. Często te zanieczyszczenia nie są lub są w małym stopniu absorbowane ze środowiska. Problem pojawia się wówczas, gdy dochodzi do dużej koncentracji tych zanieczyszczeń w środowisku. Drugą grupą są zanieczyszczenia funduszowe (ang. *fund pollutants*), do których zaliczyć można dwutlenek węgla. Ten typ zanieczyszczeń ma pewne zdolności absorpcyjne w środowisku. Problem z tą grupą zanieczyszczeń pojawia się wówczas, gdy ich ilość przekracza zdolność absorpcyjną środowiska [86]. Ze względu na dynamicznie postępującą gospodarkę rolną, emisje przemysłowe oraz niskie emisje, zanieczyszczenia stają się poważnym, globalnym problemem [87].



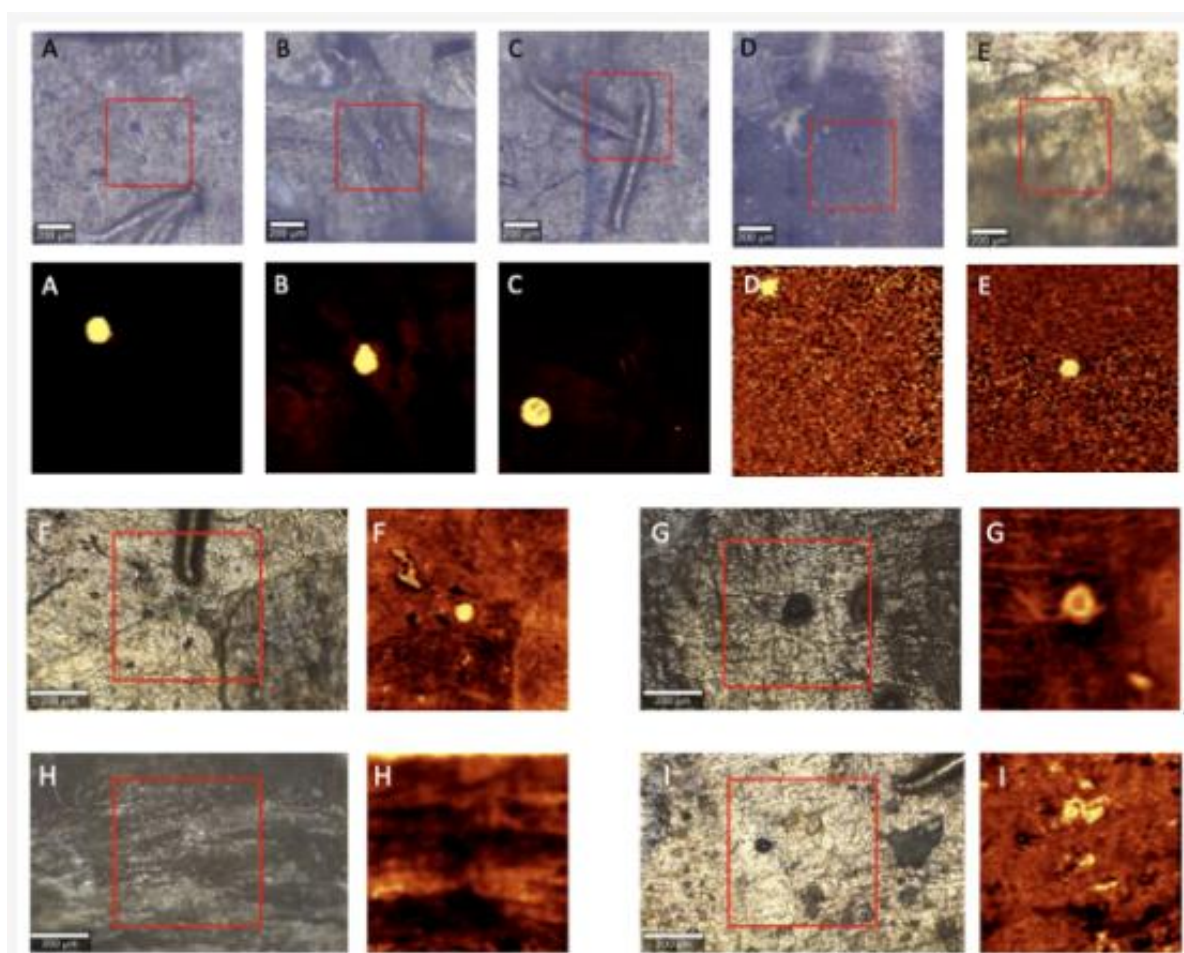
Rys. 1.1 Całkowite globalne antropogeniczne emisje CO_2 z podziałem na źródła

Źródło: [88].

Na rysunku 1.1 przedstawiono zmianę emisji dwutlenku węgla pochodzenia antropogenicznego, na przestrzeni ostatnich 137 lat. Z wykresu wynika, iż największym źródłem emisji CO_2 do środowiska stało się spalanie oraz przetwórstwo ropy naftowej [88]. Branża rynku

opakowań w dużej mierze wykorzystuje tworzywa sztuczne w celach opakowaniowych. Tworzywa sztuczne, takie jak folie opakowaniowe, wytwarzane są w głównej mierze z paliw kopalnych, takich jak ropa naftowa. Branża opakowaniowa wykorzystuje na cele produkcji opakowań światowe zasoby ropy naftowej na poziomie 4% [89].

Osobną grupą zanieczyszczeń staje się mikroplastik [90]. Zanieczyszczenia te są definiowane jako zagrożenie dla zdrowia i życia organizmów żywych, w tym ludzi. Jako mikroplastik określa się cząsteczki tworzyw sztucznych w przedziale od 5 mm do 1 nm [91]. Globalne badania próbek wody wodociągowej wykazały, że aż 83% analizowanych próbek zawierało cząsteczki mikroplastiku [92]. Mikroplastik oznaczany jest w tkankach organizmów żywych, takich jak dżdżownice [93] i ludzkich organach [94].



Rys. 1.2 Podsumowanie uzyskanych wyników zawartości mikroplastiku w tkankach pierścienic.

Źródło: [93].

Na rysunku 1.2 przedstawiono zdjęcia mikroskopowe o linii wzbudzenia 633 nm i obiektywie o powiększeniu 10×. Rozmiar mierzonych obszarów wynosi $500 \times 500 \mu\text{m}$, przy

gęstości próbkowania 5 µm. Kolor czerwony wskazuje lokalizację dokładnego skanu tkanek pobranych z organizmów pierścienic. Analizę obecności mikroplastiku w tkankach wykonano przy użyciu mikroskopii Ramanowskiej. Badanie potwierdziło obecność cząstek mikroplastiku we wszystkich badanych tkankach. Wyniki analizy świadczą o tym, że cząsteczki mikroplastiku mają zdolność do przechodzenia przez bariery tkankowe [93]. Cząsteczki mikroplastiku są szczególnie groźne dla organizmów żywych, ponieważ duże frakcje tworzyw sztucznych ulegają rozpadowi do frakcji mniejszych, zanieczyszczając środowisko naturalne. Unoszący się w powietrzu mikroplastik może przedostawać się w procesie oddychania tlenowego do wnętrza organizmów, w tym do organizmu ludzkiego [95]. Cząsteczki mikroplastiku i nanoplastiku krążą w łańcuchu pokarmowym, stanowiąc poważne zagrożenie dla organizmów [96].

1.3. Gospodarka odpadami opakowaniowymi, kwoty recyklingu.

Rynek poligraficzny objęty jest przepisami z zakresu gospodarowania odpadami, jak ma to miejsce w przypadku każdej innej branży produkcyjnej. Zdecydowaną większość unijnych aktów prawnych dotyczących gospodarowania odpadami stanowią dyrektywy. W grudniu 2024 r. zostało podpisane Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2025/40 z dnia 19 grudnia 2024 r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych, zmiany rozporządzenia (UE) 2019/1020 i Dyrektywy (UE) 2019/904 oraz uchylecia dyrektywy 94/62/WE. W rozporządzeniu określono zasady projektowania, recyklingu, przetwórstwa oraz gospodarowania odpadami opakowaniowymi na terenie Unii Europejskiej. Ponadto system gospodarowania odpadami tworzą przepisy takie jak:

Dyrektywa Rady 96/61/WE z dnia 24 września 1996 r. dotycząca zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli [97]. Dyrektywa ta została zaktualizowana Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych i emisji pochodzących z chowu zwierząt gospodarskich (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola) [98]. Wymagania obu dyrektyw zostały uwzględnione w prawodawstwie krajowym i zawarte zostały w Ustawie z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627 [65]. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy, określa cele i działania jakie państwa członkowskie powinny realizować w zakresie usuwania oraz odzysku odpadów. Do głównych celów dyrektywy należą

działania takie jak: postępowanie w kierunku ograniczenia w wytwarzaniu odpadów, promowanie działalności związanej z recyklingiem odpadów, promowanie działań z zakresu gospodarki w obiegu zamkniętym, monitoring odpadów od ich powstania do momentu usunięcia z rynku [99]. Jednym z kluczowych aktów prawnych w zakresie gospodarowania odpadami opakowaniowymi jest Ustawa z dnia 13 czerwca 2013 r. o gospodarce opakowaniami i odpadami opakowaniowymi [100].

Podstawowym aktem prawnym regulującym gospodarkę odpadami w Polsce jest ustawa o odpadach. W ustawie zawarte zostały definicje dotyczące odpadów:

odpady – „rozumie się przez to każdą substancję lub przedmiot, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do których pozbycia się jest obowiązany” [12]

odzysk – „rozumie się przez to jakikolwiek proces, którego głównym wynikiem jest to, aby odpady służyły użytecznemu zastosowaniu przez zastąpienie innych materiałów, które w przeciwnym przypadku zostałyby użyte do spełnienia danej funkcji, lub w wyniku którego odpady są przygotowywane do spełnienia takiej funkcji w danym zakładzie lub ogólnie w gospodarce” [12]

odzysk energii – „rozumie się przez to termiczne przekształcanie odpadów w celu odzyskania energii” [12]

odzysk materiałów – „rozumie się przez to każdy odzysk inny niż odzysk energii i ponowne przetwarzanie na materiały, które mogą zostać wykorzystane jako paliwa lub inne środki wytwarzania energii; odzysk materiałów obejmuje w szczególności przygotowanie do ponownego użycia, recykling i prace ziemne” [12]

ponowne użycie – „rozumie się przez to działanie polegające na wykorzystywaniu produktów lub części produktów niebędących odpadami ponownie do tego samego celu, do którego były przeznaczone” [12]

przetwarzanie – „rozumie się przez to procesy odzysku lub unieszkodliwiania, w tym przygotowanie poprzedzające odzysk lub unieszkodliwianie” [12]

recykling – „rozumie się przez to odzysk, w ramach którego odpady są ponownie przetwarzane na produkty, materiały lub substancje wykorzystywane w pierwotnym celu lub innych celach; obejmuje to ponowne przetwarzanie materiału organicznego (recykling

organiczny), ale nie obejmuje odzysku energii i ponownego przetwarzania na materiały, które mają być wykorzystane jako paliwa lub do prac ziemnych” [12]

spalarnia odpadów – „rozumie się przez to zakład lub jego część przeznaczone do termicznego przekształcania odpadów z odzyskiem lub bez odzysku wytwarzanej energii cieplnej, obejmujące instalacje i urządzenia służące do prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów wraz z oczyszczaniem gazów odlotowych i wprowadzaniem ich do powietrza, kontrolą, sterowaniem i monitorowaniem procesów oraz instalacjami związanymi z przyjmowaniem, wstępnym przetwarzaniem i magazynowaniem odpadów dostarczonych do termicznego przekształcania oraz instalacjami związanymi z magazynowaniem i przetwarzaniem substancji otrzymanych w wyniku spalania i oczyszczania gazów odlotowych; jeżeli współspalanie odpadów odbywa się w taki sposób, że głównym celem tej instalacji nie jest wytwarzanie energii ani wytwarzanie produktów materialnych, tylko termiczne przekształcenie odpadów, wówczas instalacja ta uważana jest za spalarnię odpadów” [12]

unieszkodliwianie odpadów – „rozumie się przez to proces niebędący odzyskiem, nawet jeżeli wtórnym skutkiem takiego procesu jest odzysk substancji lub energii” [12]

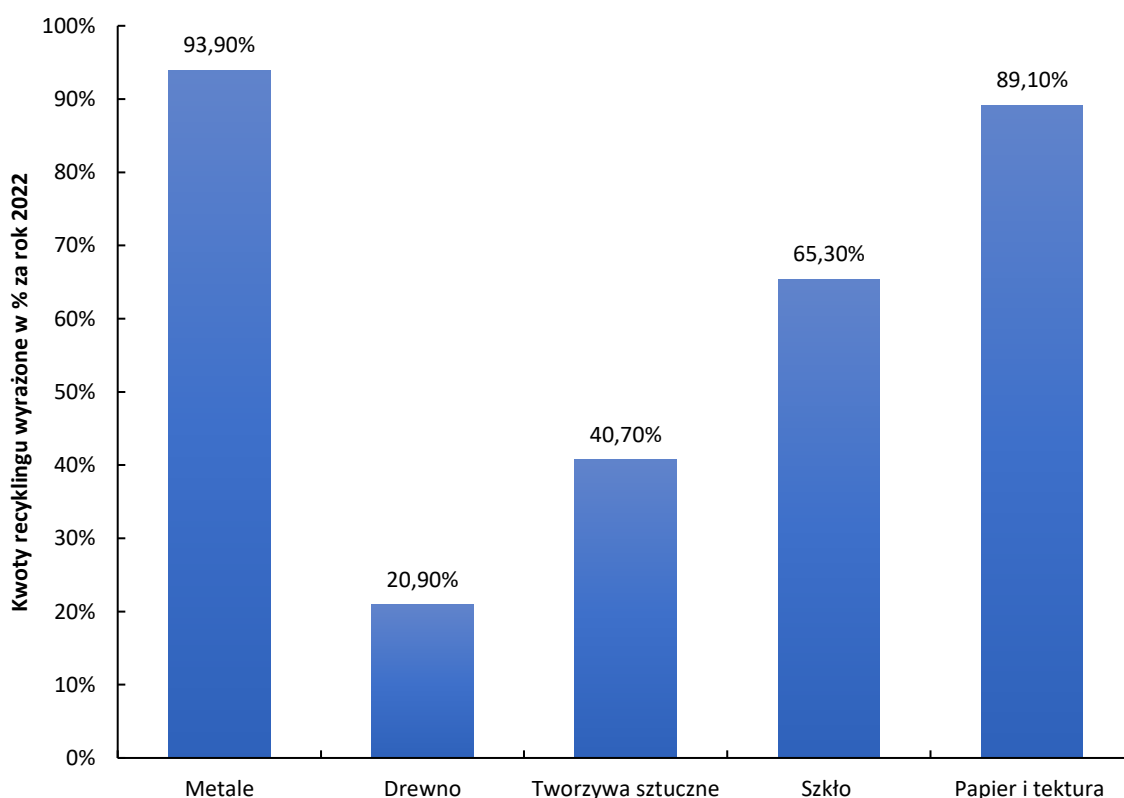
W niniejszej pracy skupiono się przede wszystkim na procesie ograniczenia ilości wytwarzanych odpadów produkcyjnych. Jeśli już odpady powstały, wówczas w procesie powinno być zaplanowane ponowne ich użycie, recykling, odzysk bądź unieszkodliwienie odpadów.

Wydruk próbny na podłożu docelowym umożliwi redukcję ilości odpadów, co za tym idzie, przejście na technologie niskoodpadowe bądź bezodpadowe. Technologia bezodpadowa skupia się na wyeliminowaniu wytwarzania odpadów oraz ich pełnym wykorzystaniu w dalszych procesach technologicznych [101].

Zarówno produkcja odpadów w krajach wspólnoty jak i recykling odpadów sukcesywnie rosną [102]. Na podstawie danych Eurostatu ocenić można, że proces wytwarzania odpadów jest większy od kwot recyklingu odpadów z tworzyw sztucznych [103]. Liderem w dziedzinie recyklingu i odzysku odpadów opakowaniowych w Unii Europejskiej są Włochy i Belgia [104]. W roku 2022 w Belgii poddawano recyklingowi 80% odpadów opakowaniowych, natomiast odzyskowi poddawano 99,1% odpadów opakowaniowych.

Polska uplasowała się powyżej połowy stawki kwot recyklingu wszystkich klas odpadów opakowaniowych, z poziomem 59,9% dla wskaźnika odzysku odpadów, natomiast w przypadku recyklingu odpadów wskaźnik był na poziomie 55,5%. Dane dla Polski pochodzą z 2019 r. Sprawa ma się jednak z gołą inaczej, jeśli chodzi o dane dotyczące kwot recyklingu dla odpadów opakowaniowych z tworzyw sztucznych. Średni wynik recyklingu odpadów dla Unii Europejskiej układał się na poziomie 40,7%. Najwyższy poziom recyklingu odpadów opakowaniowych z tworzyw sztucznych mają Włochy i jest to kwota 54,6%, natomiast Polska uzyskała wartość 31,5%, lecz w tym wypadku również dane pochodzą z 2019 r. [105].

Według danych dla Polski za rok 2022, poziom recyklingu odpadów opakowaniowych wyniósł 60,4%. Największą część stanowiły poddane recyklingowi odpady z tektury oraz papieru. Poziom recyklingu papieru i tektury w Polsce wynosi od 83,9 do 89,1% a rozrzut tych wartości jest uzależniony od zastosowanej metody.



Rys. 1.3 Poziom recyklingu odpadów w Polsce – wariant nr 1

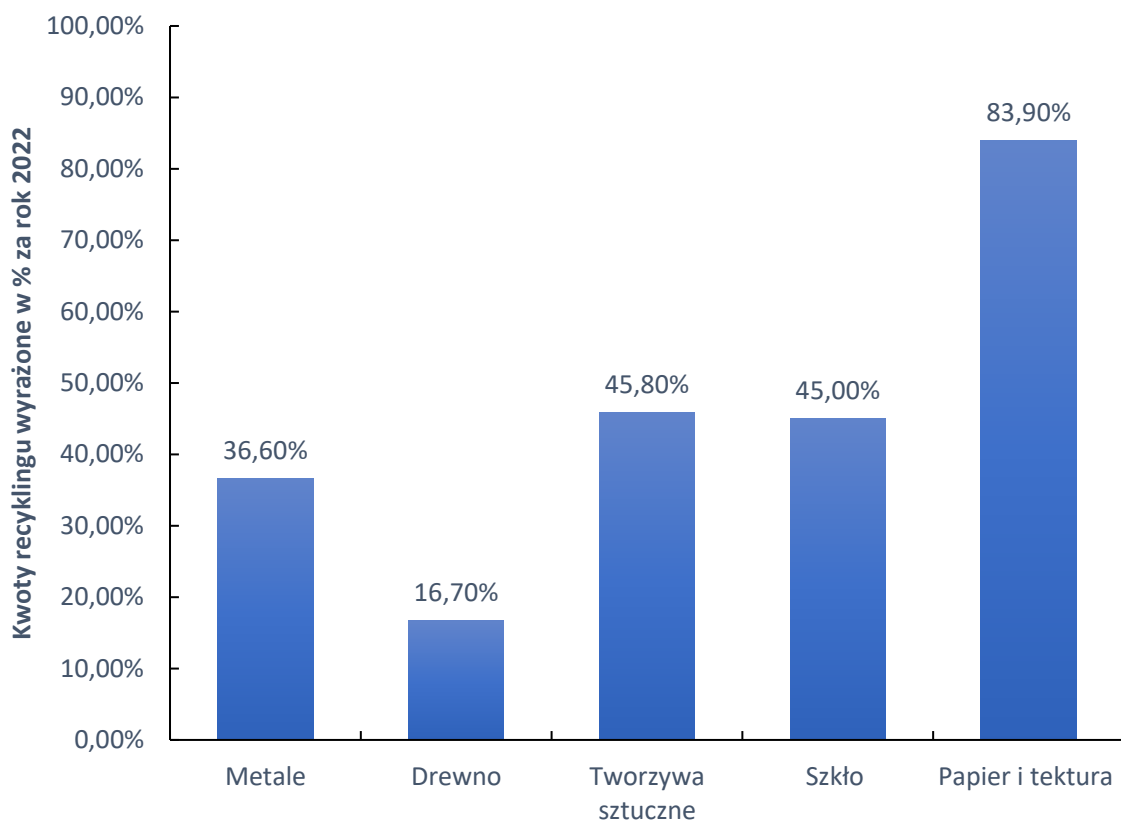
Źródło: wykonanie własne na podstawie [106].

W roku 2022 dokonano oceny stopnia podatności do procesu recyklingu odpadów w Polsce. Zastosowano dwie metody obliczania poziomu recyklingu. Pierwsza metoda dotyczy

danych pozyskanych bezpośrednio od podmiotów wprowadzających odpady na rynek, natomiast druga metoda bazowała na metodologii IOŚ – PIB [106].

Na rysunku 1.3 przedstawiono dane dotyczące kwot recyklingu odpadów opakowaniowych zadeklarowane przez podmioty wprowadzające odpady oraz podmioty samodzielne. W wyniku analizy danych oszacowano, iż kwoty recyklingu w roku 2022 układają się następująco dla poszczególnych grup odpadów:

- odpady z metalu – 93,90%
- odpady z papieru i tektury – 89,10%
- odpady szklane – 65,30%
- odpady z tworzyw sztucznych – 40,70%
- odpady z drewna – 20,90%



Rys. 1.4 Poziomy recykling odpadów w Polsce – wariant nr 2

Źródło: wykonanie własne na podstawie [107].

Na rysunku 1.4 przedstawiono dane dotyczące kwot recyklingu odpadów opakowaniowych obliczonych na podstawie metodologii IOŚ-PIB:

- odpady z metalu – 36,60%
- odpady z papieru i tektury – 83,90%
- odpady szklane – 45,00%
- odpady z tworzyw sztucznych – 45,80%
- odpady z drewna – 16,70%

Analizując obie metody, można wyciągnąć wniosek, że w przypadku metodologii IOŚ-PIB kwoty recyklingu większości grup odpadów opakowaniowych spadły w stosunku do zadeklarowanych kwot przez wprowadzających odpady. Niemniej jednak wartość recyklingu odpadów pochodzących z tworzyw sztucznych wzrosła o 5,1% [106].

W dniu 1 stycznia 2022 r. weszło w życie Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 19 grudnia 2021 r. w sprawie rocznych poziomów recyklingu odpadów opakowaniowych w poszczególnych latach do 2030 r¹³. [108]. W rozporządzeniu zawarto informacje określające roczne poziomy recyklingu odpadów opakowaniowych, które wprowadzający te odpady jest zobowiązany osiągnąć w poszczególnych latach do 2030 r., co przedstawiono w tabeli 1.1 [109].

Analizując dane dotyczące kwot recyklingu odpadów opakowaniowych dla Polski w roku 2022, można stwierdzić, że zarówno w przypadku wariantu nr 1 jak i wariantu nr 2 osiągnięto wymagane rozporządzeniem wielkości recyklingu odpadów opakowaniowych z tworzyw sztucznych. Niemniej jednak brak dostępnych danych z kolejnych lat znacząco utrudnia ocenę postępu rynku producentów opakowań w zakresie ich recyklingu. W roku 2025 minimalne procentowe wielkości recyklingu odpadów opakowaniowych z tworzyw sztucznych powinny układać się na poziomie 50%, czyli kolejno o 4,2% więcej niż w przypadku wariantu nr 2 i o 9,3% w przypadku wariantu nr 1.

¹³ Nie dotyczy opakowań bezpośrednich produktów leczniczych, o których mowa w przepisach ustawy z dnia 6 września 2001 r. – Prawo farmaceutyczne (Dz. U. z 2021 r. poz. 1977, z późn. zm.).

Tabela 1.1 Roczne obowiązkowe kwoty recyklingu odpadów opakowaniowych

Lp.	Odpady opakowaniowe według rodzaju	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
		[%]							
1	Razem ¹⁴	59	61	63	65	66	67	68	69
2	Tworzyw sztucznych	30	40	45	50	51	52	53	54
3	Aluminium	51	51	51	51	53	55	57	59
4	Metali żelaznych	55	60	65	70	72	74	76	78
5	Papieru i tektury	66	70	73	75	77	79	81	83
6	Szkła	62	64	67	70	71	72	73	74
7	Drewna	19	21	23	25	26	27	28	29
8	Wielomateriałowe	poziomy recyklingu określone w przepisach wydanych na podstawie art. 25 ust. 4 ustawy z dnia 13 czerwca 2013 r. o gospodarce opakowaniami i odpadami opakowaniowymi (Dz. U. z 2020 r. poz. 1114, z późn. Zm.)							
9	Środki niebezpieczne								
10	Pozostałe	-	-	-	-	-	-	-	-

Źródło: opracowanie własne na podstawie [108].

¹⁴ Dotyczy sumy wszystkich rodzajów opakowań wymienionych w lp. 2-7 i 10.

Rozdział 2. Rodzaje i typy współczesnych systemów wydruków próbnych

2.1. Charakterystyka wydruku próbnego

Wydruk próbny (ang. *proof*) jest to odbitka / wydruk wiernie symulujący przygotowaną przez operatora studia DTP grafikę komputerową na materiale referencyjnym. Wydruk próbny uznaje się za właściwy, gdy spełnia kryteria umożliwiające jego certyfikację [110]. Wydruk próbny musi stanowić materiał o najwyższej jakości [111], a jego certyfikacja odbywa się zgodnie z normą ISO 12647-7:2016 poprzez pomiar paska kontrolnego, który nadrukowany jest na wydruk próbny [112] [19]. Wydruk próbny stanowi nieodzowną część produkcji poligraficznej i jest jednym z najważniejszych elementów procesu drukowania w drukarni [113]. Certyfikacja wydruku próbnego odnosi się do pomiaru kolorów procesowych oraz kolorów specjalnych, np. Pantone [114].

2.2. Cyfrowy wydruk próbny

Jest to jedna z form przedstawiania klientowi i komunikowania się z nim w kwestii przygotowania grafiki do druku. Cyfrowy wydruk próbny najczęściej występuje w formacie PDF (ang. *portable document format*), który jest graficznym nośnikiem informacji o projekcie. Po otrzymaniu takiego pliku, klient może dokonać oceny merytorycznej przygotowanej pracy. Najczęściej używanym pojęciem cyfrowego wydruku próbnego wśród pracowników działów marketingu właścicieli marek jest określenie „*soft proofing*”, wówczas mowa jest o pliku PDF przesyłanym do oceny merytorycznej przez agencję reprograficzną. Bardzo często omyłkowo taki materiał traktowany jest przez właścicieli marek jako wydruk próbny i często podlega ocenie kolorystycznej przez osoby odpowiedzialne za akceptację projektu graficznego [115]. Aby móc dokonywać oceny kolorystyki na podstawie cyfrowego wydruku próbnego, niezbędnym jest zaopatrzenie się w sprzęt oraz oprogramowanie pozwalające na profesjonalną pracę z barwą. Do tego typu wyposażenia zalicza się monitor ekranowy posiadający możliwość kalibracji [116], monitory tego typu stanowią podstawowe wyposażenie grafików komputerowych zajmujących się przygotowaniem wzoru graficznego do procesu drukowania. Ponadto niezbędny jest też sprzęt pomiarowy, np. spektrofotometr, oraz program graficzny do zarządzania plikiem graficznym z możliwością wykorzystania

dedykowanego profilu kolorystycznego typu ICC¹⁵(ang. *International Color Consortium*), maszyny drukującej [117] [118]. Aby móc mówić o rzetelnym i powtarzalnym procesie oceny kolorystyki projektu za pomocą cyfrowego wydruku próbnego, niezbędnym jest zapewnienie operatorowi powtarzalnych i stabilnych warunków pracy, takich jak; odpowiednie oświetlenie, najlepiej ustandaryzowane z możliwością sterowania natężeniem światła wyrażonym w Lux-ach lub Candelach, ograniczonym oświetleniu bocznym oraz odpowiednim sąsiedztwem barw, np. koloru ścian, aby nie dochodziło do rozpraszania i zaburzania percepcji kolorystycznej ocenianej grafiki [119]. Tego typu system znajdzie swoje zastosowanie w przypadku agencji reprograficznych, agencji kreatywnych czy w studiach przygotowania plików graficznych do procesu drukowania (ang. *desk top publishing, DTP*) drukarń bądź przygotowalni form drukowych. Każdy z wymienionych podmiotów posiada niezbędny sprzęt, oprogramowanie oraz wiedzę w zakresie sposobu korzystania z posiadanego wyposażenia, aby uzyskać pożądaną efekt. Cyfrowy wydruk próbny w zdecydowanym stopniu przyczynia się do bardziej efektywnej pracy, pozwala na szybką i precyzyjną komunikację między wieloma podmiotami, mogącymi omawiać projekt w tym samym czasie. System pozwala zaoszczędzić dużą ilość czasu oraz zmniejsza nakłady finansowe, np. związane z koniecznością wydruku oraz wysyłki wydruku próbnego [120]. Jeśli właściciel marki nie posiada wymaganego sprzętu czy oprogramowania, a tym bardziej wiedzy technicznej w kwestii obsługi programów graficznych, wówczas cyfrowy wydruk próbny nie znajdzie zastosowania.

Od kilku lat dostępne są na rynku systemy pozwalające na wierne, rzetelne i profesjonalne wykorzystanie pliku graficznego w formacie PDF w celu pełnej oceny merytorycznej oraz kolorystycznej, projektowanej grafiki osobom niewyspecjalizowanym. Rozwiązania te, nie wymagają od operatora specjalistycznej wiedzy z zakresu obsługi oprogramowania graficznego typu Adobe Photoshop lub Adobe Illustrator. Do tego typu rozwiązań zaliczyć można dwa wiodące systemy cyfrowych wydruków próbnych. Pierwszym z nich jest oprogramowanie pod nazwą Spectraproof®, Niemieckiej firmy Lacunasolution, drugim jest oprogramowanie Remote Director, Amerykańskiej firmy ICS Color.

¹⁵ <https://www.benq.com/en-us/campaign/monitor-for-mac/articles/what-is-icc-profile-designer-should-care-about.html>

Spectraproof® jest oprogramowaniem, które wykorzystuje algorytmy matematyczne widma świetlnego w połączeniu z zarządzaniem kolorami w formacie plików ICC w celu uzyskania wiernej odbitki kontraktowej na ekranie skalibrowanego monitora ekranowego. W celu zapewnienia odpowiednich warunków, obserwator, poza wyposażeniem stanowiska pracy w odpowiednie oprogramowanie oraz monitor ekranowy, musi dokonywać oceny grafiki w towarzystwie ustandaryzowanego oświetlenia (Rys. 2.1). System w porównaniu ze standardowym cyfrowym wydrukiem próbnym, posiada możliwość symulacji efektów specjalnych, takich jak selektywne lakiery matowe lub połyskowe na powierzchni wydruku, laminację folią czy też ocenę podłoża, na jakim wydrukowano test maszynowy i odbywać się będzie proces drukowania ocenianej pracy [121].



Rys. 2.1 Przykładowe stanowisko pracy z oprogramowaniem Spectraproof®

Źródło: [101].

Remote Director jest oprogramowaniem o niemal identycznej zasadzie działania, jak wcześniej opisane oprogramowanie pod nazwą Spectraproof®. Oprogramowanie pozwala na ocenę cyfrowego wydruku próbnego z osadzonym profilem maszynowym oraz kolorami specjalnymi na ekranie skalibrowanego monitora graficznego (Rys. 2.2). Oprogramowanie pozwala na dynamiczne zarządzanie barwą, która według potrzeb klienta końcowego może zostać zmieniona w każdym czasie, a informacja o zmianie może zostać naniesiona w formie komentarza na ocenianym pliku graficznym. W przypadku oprogramowanie Remote Director, również niezbędnym wyposażeniem będzie monitor ekranowy z możliwością profesjonalnej kalibracji i komora świetlna, w której monitor powinien zostać umieszczony [122]. Komora świetlna powinna cechować się możliwością sterowania natężeniem oświetlenia ustandaryzowanego D50¹⁶ [123]. Zastosowanie oświetlenia D50 pozwala na zachowanie neutralnej barwy oświetlenia, która nie będzie ulegała odchyłce w kierunku cieplejszym – żółtym, lub zimniejszym – niebieskim [124].



Rys. 2.2 Przykładowe stanowisko pracy z oprogramowaniem Remote Director

Źródło: [122].

¹⁶ https://www.xrite.com/service-support/understanding_illuminants

Oba opisane systemy informatyczne zostały zaprojektowane z myślą o ocenie wydruków próbnych w formie cyfrowej. Wykorzystanie algorytmów umożliwiających pracę z plikami w formacie PDF, z możliwością osadzenia profilu kolorystycznego maszyny drukującej, tworzy narzędzie wspierające natychmiastową komunikację pomiędzy podmiotami uczestniczącymi w procesie produkcji. Takie rozwiązanie pozwala na eliminację niezgodności wynikających z subiektywnych umiejętności operatora oraz minimalizuje ryzyko błędów obserwacyjnych, gdyż przesyłany plik zawiera wszystkie niezbędne informacje do jego edycji i oceny przez właściciela marki.

Implementacja opisywanych systemów przyczynia się do istotnych oszczędności, wynikających zarówno z rezygnacji z fizycznego drukowania wydruków próbnych, jak i z ograniczenia kosztów logistycznych związanych z ich przesyłką. Najważniejszą korzyścią jest jednak znaczące skrócenie czasu realizacji procesu. Od momentu opublikowania cyfrowego wydruku próbnego przez grafika komputerowego do jego otrzymania przez właściciela marki lub drukarnię upływa zaledwie kilka minut, niezależnie od lokalizacji geograficznej uczestników procesu.

2.3. Wydruk próbny

System konwencjonalnego wydruku próbnego, który obecnie jest powszechnie stosowany, został opracowany w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku, w okresie intensywnych przemian technologicznych w Polsce [125] [126]. Od tamtego czasu system wydruku próbnego konwencjonalnego przeszedł liczne modyfikacje i ulepszenia, jednak podstawowa idea procesu drukowania na dedykowanych, białych papierach pozostaje niezmienna. System ten cechuje się niską ceną produkcji wydruku próbnego, prostą obsługą oprogramowania oraz drukarki, dużą szybkością działania oraz możliwością wiernego odwzorowania barw zastosowanych w projekcie

Proces przygotowania wydruku próbnego odbywa się na cyfrowej drukarce, która może być wyposażona w spektrofotometr, umożliwiający certyfikację wydruku próbnego tuż po jego wydrukowaniu.

Wydruk próbny to fizyczne odwzorowanie wzoru graficznego na dedykowanym papierze, wykonane przy użyciu drukarek umożliwiających jego kalibrację [127]. Wydruk

próbny wykonuje się po zakończeniu pracy grafika komputerowego, aby przedstawić go klientowi końcowemu do akceptacji merytorycznej i kolorystycznej wzoru graficznego [50].

Wydruk próbny służy ocenie zgodności przygotowanej grafiki przed procesem drukowania zlecenia komercyjnego [128]. Pliki graficzne nie powinny trafiać do drukarni ani do firmy wykonującej narzędzia drukarskie, jeśli wydruk próbny nie został wcześniej zaakceptowany. Tylko akceptacja klienta końcowego pozwala na dalsze etapy produkcji, takie jak przygotowanie montażu wzoru graficznego i narzędzi do procesu drukowania. Zazwyczaj wydruki próbne stanowią jednorazowe odbitki służące do ustawienia barw w procesie drukowania [129] [130].

Na rynku istnieje wiele systemów wydruków próbnych, lecz do najpopularniejszych należą: GMG Color¹⁷, EFI Fiery¹⁸ oraz CGS ORIS¹⁹. Najczęściej dostawcy oprogramowania posiadają w swojej ofercie podłoża papierowe, dedykowane do procesu druku cyfrowego. Papiery te stanowią wysokojakościowy materiał, który jest niezmienny pod kątem właściwości, składu i odcienia, a świadczy o tym certyfikacja FograCert²⁰ zgodna z normą ISO 12647-7 [131]. Pełna lista certyfikowanych podłoży przez Instytut Fogry, znajduje się na stronie internetowej Fogra Forschungsinstitut für Medientechnologien e.V. [132]. Najpopularniejszymi podłożami do wydruków próbnych są specjalistyczne papiery proofingowe o zróżnicowanym sposobie wykończenia: połyskliwy (ang. *glossy*), półmatowy (ang. *semi-matte*) oraz matowy (ang. *matt*) (Rys. 2.3). Papiery te mogą zawierać dodatki, takie jak wybielacze optyczne, wówczas mówi się o papierkach typu OBA czyli zawierających wybielacze optyczne (ang. *optical brightening agent*) lub mogą być ich pozbawione, wówczas mówi się o papierach NO-OBA [133].

¹⁷ <https://gmgcolor.com/>

¹⁸ <https://www.fiery.com/products/large-format/fiery-xf/>

¹⁹ <https://www.cgsoris.com/products/media/>

²⁰ <https://fogra.org/en/certification/certified-persons-companies-and-products>



Rys. 2.3 Rodzaje papierów proofingowych firmy GMG Color

Źródło: [50].

Nie tylko oprogramowanie oraz papier biorą udział w procesie przygotowania wydruków próbnych. Istotnym elementem tego procesu jest odpowiedni dobór maszyny drukującej, czyli drukarki cyfrowej. Nie każda drukarka spełnia odpowiednie wymagania dla urządzeń dedykowanych do wydruków próbnych, a świadczy o tym jej zakres odwzorowania przestrzeni barwnej, maszyny drukującej w drukarni. Przede wszystkim przestrzeń barwna drukarki do wydruków próbnych determinuje ilość kolorów, z jaką drukarka może pracować. Najlepszymi drukarkami są takie, które pracują w obszarze zwanym ECG (ang. *expanded color gamut*) czyli rozszerzonej przestrzeni barwnej, pozwalającej na maksymalne pokrycie przestrzeni barwnej komercyjnych maszyn drukarskich. Drukarka do wydruków próbnych musi się charakteryzować wysoką powtarzalnością druku, która weryfikowana jest za pomocą urządzeń pomiarowych. Drukarka musi być poddawana regularnym kalibracjom, które weryfikują poprawność jej pracy [134]. Wybór drukarki nie może być przypadkowy, najczęściej producent oprogramowania służącego do zarządzania barwą, publikuje listę drukarek wspieranych przez oprogramowanie systemu zarządzania barwą. Lista zawiera drukarki najwyższej klasy, które zostały zweryfikowane pod kątem jakości oraz stabilności procesu drukowania certyfikowanych wydruków próbnych, przykładowa drukarka służąca do wydruków próbnych przedstawiona została na rysunku 2.4 [135].



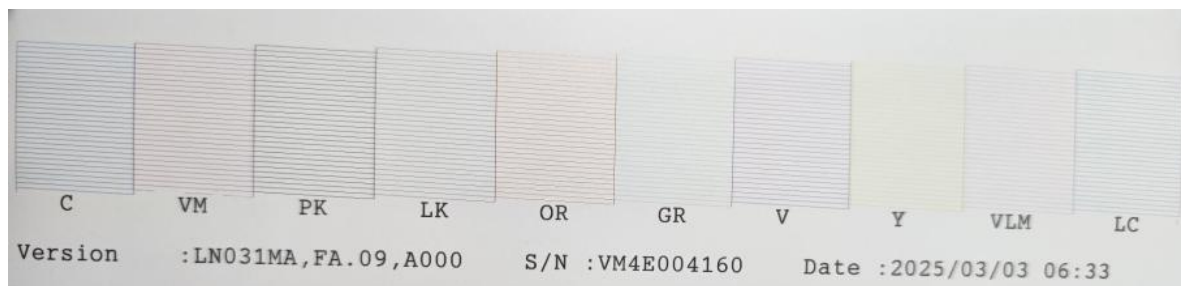
Rys. 2.4 Przykładowa drukarka cyfrowa służąca do wykonywania wydruków próbnych

Źródło: wykonanie własne.

Aby uzyskać pewność, iż wydruk próbny został wydrukowany prawidłowo, należy poczynić kilka kroków w kierunku odpowiedniej konserwacji oraz kalibracji maszyny drukującej. W przedmiotowej pracy mowa będzie o popularnych drukarkach cyfrowych firmy Epson, model SureColor SC-P7000 violet spectro. Aby drukarka cyfrowa mogła drukować poprawnie należy dbać o zachowanie sprawności i czystości głowicy drukującej, czyli jednego z najważniejszych elementów urządzenia. Drukarka powinna pracować w środowisku o stałej temperaturze oraz stałej wilgotności powietrza, która mieści się w przedziale 40–60%²¹, co zapewnia stabilne warunki pracy głowicy i utrzymuje odpowiednią wilgotność papieru w procesie druku. Pierwszym krokiem kontroli poprawności pracy maszyny jest wykonanie testu drożności dysz głowicy (ang. *nozzle check*), co przedstawia rysunek 2.5. Opcja ta może zostać ustawiona automatycznie i może być powtarzana w interwałach czasowych, lub może

²¹https://dpg.schillers.com/assets/pdf/download_for_epson_surecolor_p7000_printer_hardware.pdf?utm_source=chatgpt.com

dochodzić do druku pomiędzy zleceniami. Istnieje również możliwość ręcznego wywołania druku testu w celu kontroli poprawności pracy dysz atramentu głowicy drukującej. W tym celu należy wybrać z panelu sterującego drukarki opcję *Print Noozle Pattern*. Po wyborze funkcji druku testu, maszyna przystąpi do wydruku testu dla wszystkich kanałów głowic znajdujących się w maszynie [136].



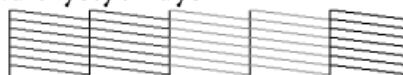
Rys. 2.5 Przykładowy wydruk testu drożności dysz głowicy Noozle Check z drukarki Epson SC-P7000, w widocznych ubytkami dysz w kanale VM (*Vivid Magenta*)

Źródło: wykonanie własne.

Gdy po wydrukowaniu testu drożności dysz głowicy, pojawią się ubytki w jednym z kanałów (Rys. 2.6), należy niezwłocznie wykonać automatyczne czyszczenie głowicy maszyny drukującej. Czynność tą wykonuje się, wybierając odpowiednią funkcję z panelu sterowania maszyny drukującej, bądź należy wybrać opcję czyszczenia dysz głowicy z poziomu oprogramowania [136]. Po zakończeniu procesu czyszczenia, który z reguły trwa kilkadziesiąt sekund, należy ponownie dokonać wydruku testu drożności dysz głowicy w celu kontroli powodzenia procesu czyszczenia głowicy maszyny drukującej. Gdy na wydruku testowym wszystkie dysze drukują się poprawnie, należy przystąpić do kolejnego etapu kontroli drukarki.

a)

Przykład czystych dysz



Na wzorze testu dysz nie występują przerwy.

b)

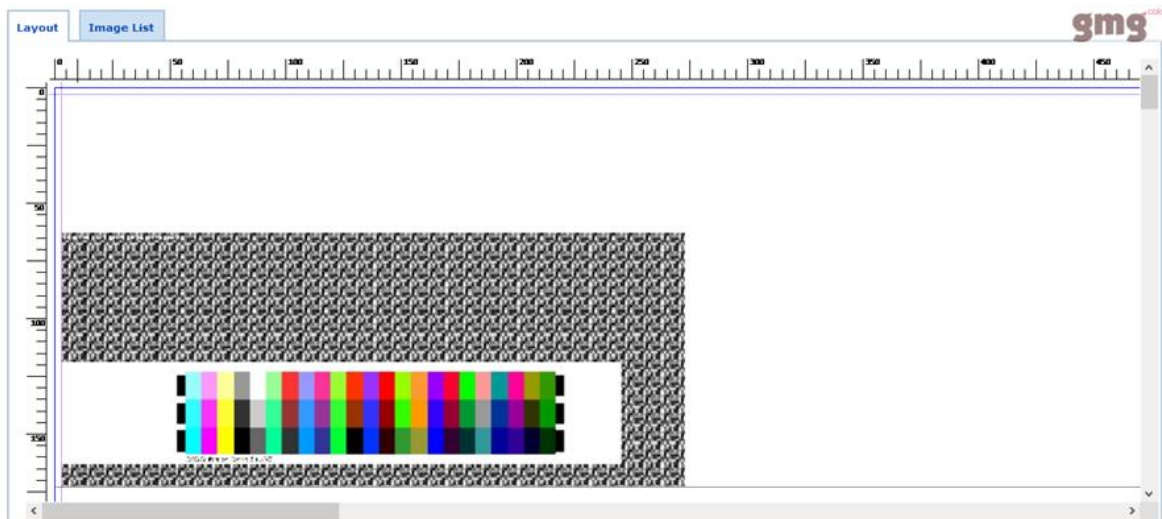
Przykład zatkanych dysz



Rys. 2.6 Test drożności dysz głowicy: a) kanały farbne drożne, b) kanały farbne niedrożne

Źródło: [136].

Kolejnym krokiem kontroli drukarki jest wykonanie testu kalibracyjnego (ang. *check calibration*), który polega na wydrukowaniu paska kontrolnego *GMG Calibration Control Strip V2* (Rys. 2.7) w celu oceny stanu kalibracji maszyny drukującej. W tym celu w oprogramowaniu sterującym drukarką, np. *GMG Color: Color Proof*, należy wybrać opcję *Check Calibration* [137].



Rys. 2.7 Okno procesu druku paska kontrolnego *GMG Calibration Control Strip V2*

Źródło: [137].

Jeśli po wydrukowaniu paska kontrolnego *GMG Calibration Control Strip V2* tolerancja wyrażona w parametrze ΔE przekracza wartość 1,0, wówczas należy wykonać proces powtórnej kalibracji maszyny przy użyciu opcji *Auto CaliWizard*, z poziomu oprogramowania. Po wyborze odpowiedniej opcji, system automatycznie dokona powtórnej kalibracji drukarki. Po zakończeniu procesu należy ponownie zweryfikować poziom kalibracji maszyny drukującej, drukując pasek kontrolny *GMG Calibration Control Strip V2*. Gdy wartość ΔE na pasku kontrolnym znajduje się poniżej wartości 1,0, (Rys. 2.8) wówczas można uznać, iż drukarka działa prawidłowo i można dokonać wydruku próbnego [137].



Rys. 2.8 Pasek kontrolny GMG Calibration Control Strip V2 z: a) nieprawidłową wartością deltyE, b) pasek kontrolny z prawidłową wartością deltyE

Źródło: wykonanie własne.

Ze względu na liczne aspekty utrzymania wysokiej jakości sprzętu służącego do procesu drukowania wydruków próbnych, ten rodzaj wydruków próbnych wymaga zdecydowanie większej wiedzy w obsłudze i konserwacji cyfrowej maszyny drukującej w porównaniu z systemem służącym do procesu oceny cyfrowych wydruków próbnych

2.4. Wydruk próbny na podłożu docelowym

System wydruku próbnego na podłożu docelowym został opracowany w firmie Chespa w roku 2019, w dziale Chespa Repro Studio (CRS), jako narzędzie do komunikacji wizualnej z właścicielami marek. W tym czasie na terenie Polski i Europy nie funkcjonował inny rodzaj w pełni mogący zostać poddany procesowi kalibracji system wydruków próbnych na podłożu docelowym, który można by wykorzystać w celu przygotowania wydruku próbnego, podłoża produkcyjnego, dostarczonego przez drukarnię lub właściciela marki. System wydruku próbnego na podłożu docelowym bazuje na procesie wydrukowania cyfrowego projektu graficznego na drukarce cyfrowej.

Dokładny opis procesu przygotowania wydruku próbnego na podłożu docelowym za pomocą oprogramowania do zarządzania barwą oraz cyfrowej drukarki do wydruku próbnego nie może zostać w tym miejscu umieszczony, jako że system jest tajemnicą firmową firmy Chespa sp. z o.o.



Rys. 2.9 Przykład wydruku próbnego na podłożu docelowym

Źródło: wykonanie własne.

System wydruku próbnego na podłożu docelowym dzięki opracowanej technologii druku oraz odpowiednim przetwarzaniu, kalibracji i pomiarom materiału produkcyjnego jest systemem w pełni poddającym się procesowi kalibracji. Wydruk próbny (Rys. 2.9), który jest efektem końcowym procesu drukowania cyfrowego uzyskuje certyfikację w drodze pomiaru paska kontrolnego UGRA/FOGRA²² z wykorzystaniem narzędzi pomiarowych, takich jak spektrofotometr oraz oprogramowanie pomiarowe typu GMG ProofControl. Popularny system druku wzoru graficznego na podłożu dedykowanym, jakim był system Kodak Approval²³, nie dawał możliwości kalibracji wydruków, które często w znacznym stopniu różniły się kolorystycznie od wydruku produkcyjnego w drukarni. Stworzony przez firmę Chespa system, pozwala na wykonanie wydruku próbnego przy użyciu produkcyjnych podłoży, na których odbywać się będzie proces drukowania w drukarni, bez względu na rodzaj zastosowanego materiału. Wydruki próbne wykonywane są przy zastosowaniu takich materiałów jak: folie z metaliczną warstwą barierową folie aluminiowe, folie transparentne (Rys. 2.10), folie białe, papiery powlekane oraz niepowlekane, w tym białe, kremowe, brązowe, z metaliczną warstwą uszlachetniająca, a także folie termokurczliwe [138].

²² <https://www.proof.de/pl/do-czego-sluzzy-ugra-fogra-media-wedge-3-0/>

²³ <https://proofing.de/lexicon/kodak-approval/>



Rys. 2.10 Prezentacja wydruku próbnego na podłożu docelowym: a) wydruk próbny konwencjonalny, b) wydruk próbny na podłożu docelowym

Źródło: [138].



Rys. 2.11 Porównanie obu metod wydruków próbnych

Źródło: [138].

Zdecydowaną zaletą systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jest możliwość zasymulowania efektów specjalnych, takich jak wybiórcze lakiery, uszlachetnienie takie jak tłoczenie na zimno lub tłoczenie na gorąco czy tłoczenie. Lecz zdecydowanie największe uznanie wśród właścicieli marek system zdobył dzięki możliwości zaprezentowania

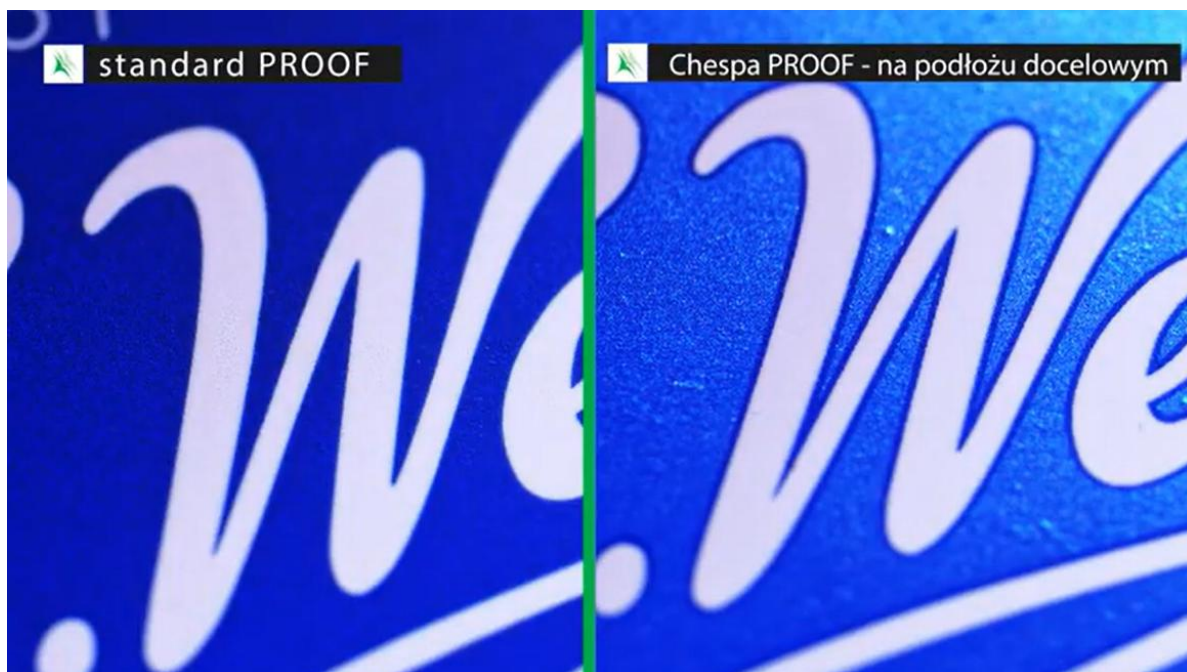
selektywnego położenia białej separacji (Rys. 2.11 i 2.12), co staje się kluczowe w przypadku prezentacji np. elementów niezawierających białej separacji pod elementami grafiki, które zostały nadrukowane bezpośrednio na podłożu z metaliczną warstwą barierową bądź na podłożu transparentne.



Rys. 2.12 Porównanie obu metod wydruków próbnych – widoczne paski w białej separacji

Źródło: [138].

Paski widoczne na powyższym rysunku, na wydruku próbnym na podłożu docelowym są wynikiem selektywnego procesu drukowania białej farby na podłożu z metaliczną warstwą barierową. Całość pokrywa kolor specjalny klienta, co w efekcie daje obraz cienkich pasków biegnących horyzontalnie przez frontową część opakowania. Efekt jest niemożliwy do uzyskania w standardowej technologii wydruku próbnego, ponieważ w tej technologii nie jest możliwe nadrukowanie białej farby na biały papier proofingowy.



Rys. 2.13 Porównanie obu metod wydruków próbnych – widoczne podlewki w białej separacji

Źródło: [138].

System wydruku próbnego na podłożu docelowym pozwala na ocenę wszystkich technicznych elementów przygotowania grafiki do druku, na etapie wydruku próbnego, co wcześniej było niemożliwe do osiągnięcia podczas korzystania z systemu wydruku próbnego konwencjonalnego. Pracownicy działów marketingu właścicieli marek, często zgłaszali swoje uwagi dotyczące takich elementów jak: nadlewki, podlewki czy odsunięcia (Rys. 2.13), które pojawiają się na wydruku produkcyjnym, a których dotychczas nie widziano na wydruku próbnym. Wszystkie wymienione elementy techniczne, stanowią wymogi drukarni w kwestii przygotowania plików do druku. Pomijanie stosowania zabiegów technicznych zgodnych z wymaganiami zawartymi w specyfikacjach przygotowania plików do druku może prowadzić do komplikacji oraz problemów jakościowych podczas druku komercyjnego [22] [57] [139]. Dzięki zastosowaniu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym uzyskano wiarygodną, fizyczną reprezentację projektowanego wzoru graficznego. Umożliwia to właścicielowi marki dokonanie oceny barwnej i funkcjonalnej projektu na wczesnym etapie procesu produkcyjnego, jeszcze przed rozpoczęciem właściwej produkcji w ramach procesu drukowania.

Przed wprowadzeniem w firmie Chespa do powszechnego zastosowania systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, nie istniała możliwość dokładnego, zgodnego

kolorystyczne przedstawienia właścicielowi marki, technicznych aspektów projektu graficznego, o których powyżej napisano. Dzięki zastosowaniu odpowiednich algorytmów, system wydruku próbnego na podłożu docelowym pozwala na zaprezentowanie stopnia nieprzeźroczystości białej farby, wyrażonej w wartości procentowej parametru nieprzeźroczystości na takim poziomie, który występuje w drukarni podczas procesu drukowania w procesie produkcyjnym. Jest to zaleta, która przewyższa tradycyjny system wydruku próbnego, w którym symulację podłoża uzyskuje się poprzez nadrukowanie na biały papier kolorów procesowych w takim pokryciu i odcieniu, aby nadruk symulował metaliczność podłoża, brązowy papier lub żółty odcień tworzywa sztucznego, np. polietylenu lub polipropylenu co przedstawiono na rysunku 2.14.



Rys. 2.14 Symulacja podłoża docelowego na wydruku próbnym konwencjonalnym

Źródło: wykonanie własne.

2.5. Pomiar kontrolny i certyfikacja wydruku próbnego

W celu weryfikacji poprawności wydruku próbnego niezbędnym będzie dodanie do layoutu grafiki paska kontrolnego. Najczęściej stosowanym paskiem kontrolnym jest *Ugra/Fogra Media Wedge V3.0*. Jest to pasek trzy rzędowy składający się łącznie z 72 pól, które pokrywają możliwie szeroką paletę barw kolorów procesowych, pierwszorzędowych, drugorzędowych, kilku powierzchni szarości oraz pomiaru podłoża, a także kilka innych połączeń kolorów [134].

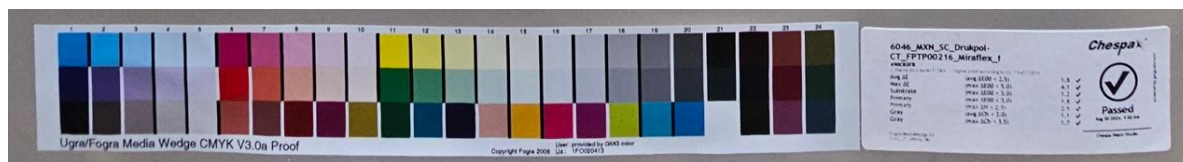


Rys. 2.15 Pasek kontrolny Fogra Media Wedge, automatycznego systemu kontrolnego.

Źródło: wykonanie własne.

Pomiar kontrolny oraz certyfikacja wydruku próbnego mogą odbywać się na dwa sposoby:

1. **Pomiar automatyczny** – dochodzi do niego wówczas, gdy drukarka cyfrowa wyposażona jest w urządzenie pomiarowe typu spektrofotometr, który połączony jest z drukarką. W tym wypadku po nadrukowaniu paska kontrolnego, drukarka dokonuje wstępnego suszenia nadruku farb w pasku kontrolnym, następnie wbudowany spektrofotometr dokonuje pomiaru w sposób automatyczny, a efektem końcowym procesu jest nadruk tabelki certyfikacyjnej obok paska kontrolnego, co przedstawiono na rysunku 2.15.
2. **Pomiar manualny** – z tego rodzaju pomiaru mamy do czynienia wówczas, gdy drukarka cyfrowa nie została wyposażona w zintegrowany spektrofotometr. W takim przypadku w layoucie pliku graficznego dodany zostaje pasek kontrolny Ugra/Fogra, a następnie drukuje się go wraz ze wzorem. Po wydrukowaniu pomiar musi zostać wykonany ręcznie za pomocą urządzenia pomiarowego, takiego jak spektrofotometr. Po wykonaniu pomiaru istnieje możliwość wygenerowania etykiety certyfikacyjnej, którą umieszcza się na wydruku próbnym, obok paska kontrolnego, co przedstawione zostało na rysunku 2.16.



Rys. 2.16 Pasek kontroli Ugra/Fogra Media Wedge CMYK V3, manualnego systemu kontrolnego z etykietą certyfikacyjną

Źródło: wykonanie własne.

Rozdział 3. Ślad węglowy w ocenie cyklu życia produktu

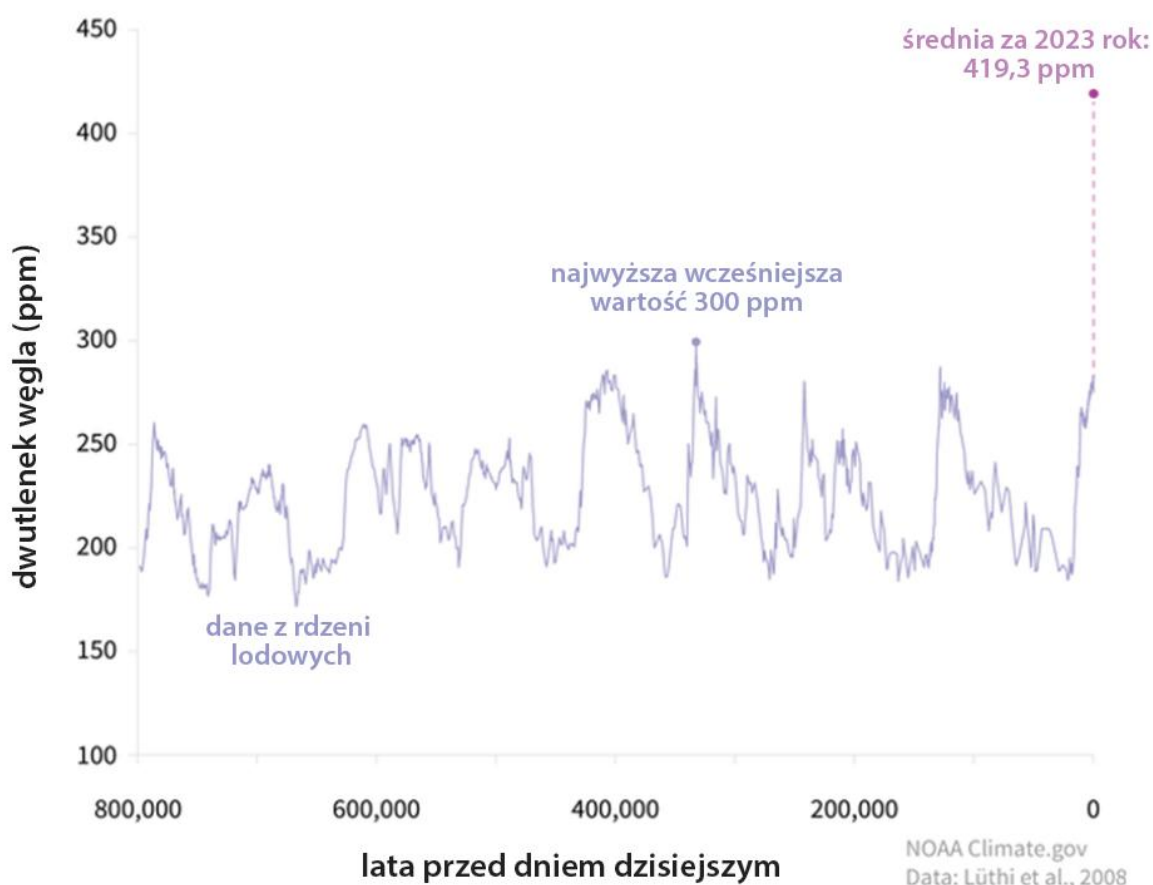
3.1. Charakterystyka śladu węglowego w cyklu życia produktu

O globalnym ociepleniu mówi się od wielu lat. Zmiany klimatyczne w czasach, gdy na Ziemi nie występowali ludzie, zachodziły w sposób naturalny i cykliczny. Do głównych czynników wpływających na procesy naturalnych zmian klimatu zaliczyć można: aktywność słońca, wybuchy wulkanów, cyrkulację oceaniczną oraz zmiany parametrów orbity ziemskiej [140] [141]. Zmiany klimatyczne występowały na Ziemi od początku jej istnienia i nie miały nic wspólnego z działalnością człowieka [142]. Coraz częściej w kontekście zmian klimatycznych słyszy się głosy o upolitycznianiu problemu ocieplania się klimatu, lub działaniom skierowanym na korzyść określonej grupy przedsiębiorstw [143].

W chwili gdy ludzie opanowali sztukę tworzenia skomplikowanych maszyn i urządzeń, a także zaczęto odchodzić od gospodarki manualnej na rzecz gospodarki zmechanizowanej, doszło do przełomu zwanego pierwszą rewolucją przemysłową, która miała miejsce w drugiej połowie XVIII wieku [144]. Zmiany klimatu mające podłoże w ekspansywnej działalności człowieka zaczęły przybierać na sile, stając jednym z kluczowych problemów współczesnego świata [145]. Dynamiczne zmiany klimatu pociągają za sobą nie tylko konsekwencje środowiskowe w postaci ocieplania się klimatu lecz również gospodarcze [146] [147].

Do głównych gazów cieplarnianych zaliczyć możemy np. dwutlenek węgla, metan oraz parę wodną. Jednak spośród wymienionych gazów, jedynie dwutlenek węgla wykazuje skokowy przyrost w środowisku naturalnym w minionych dekadach, co pokazują badania na stacjach pomiarowych [148]. Zwiększającą się zawartość dwutlenku węgla w środowisku (Rys. 3.1) ma swoje podłoże np. w procesie produkcji oraz spalania paliw kopalnych w tym ropy naftowej. W chwili obecnej stężenia dwutlenku węgla w przyrodzie przewyższają naturalną zdolność środowiska do absorpcji i neutralizacji dwutlenku węgla [149]. Jednocześnie węgiel jest niezbędnym składnikiem budulcowym organizmów żywych oraz bierze udział w przepływie materii między odbiornikami, a przepływ ten nazywany jest cyklem węglowym [150] [151]. Zmiany w cyklu węglowym wpływają negatywnie na planetę, powodując ocieplenie się klimatu, przyspieszenie wzrostu roślin i prowadzi do eutrofizacji zbiorników wodnych, a także

zaburza funkcjonowanie odbiorników cyklu węglowego [152] [153]. W celu zmniejszenia emisji dwutlenku węgla do środowiska, państwa wprowadziły kwoty emisji dwutlenku węgla [154].



Rys. 3.1 Stężenie dwutlenku węgla w atmosferze na przestrzeni ostatnich 800 000 lat

Źródło: [149].

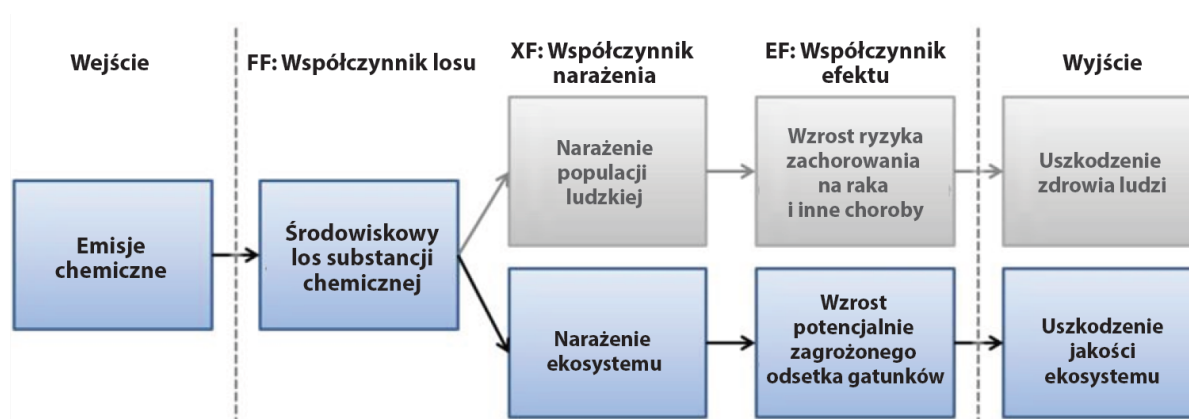
Ślad węglowy pozwala na pomiar emisji gazów cieplarnianych, a także bada ich wpływ na środowisko. Ślad węglowy oblicza się poprzez analizę współczynnika emisji dwutlenku węgla, najczęściej w drodze obliczania oceny cyklu życia [155]. Ślad węglowy oblicza się dla całego procesu, przedsiębiorstwa lub produktu, ale także można policzyć go dla człowieka lub usługi poprzez obliczenie całkowitej emisji gazów cieplarnianych. Ślad węglowy określa się jako ekwiwalent dwutlenku węgla na jednostkę funkcjonalną [156] [157].

Ocena cyklu życia jest to proces polegający na analizie wpływu produktu, usługi lub działalności człowieka na środowisko, od „kołyski”, czyli pozyskania surowca, aż po „grób”²⁴, czyli do czasu unieszkodliwienia powstałego w procesie odpadu. Oceny cyklu życia dokonuje

²⁴ <https://ecochain.com/blog/cradle-to-grave-in-lca/>

się, bazując na normach zarządzania środowiskowego: ISO 14040:2006 (*Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*), oraz ISO 14044:2006 (*Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*) [158] [159] [160] [161].

Ocena cyklu życia produktu pozwala na obliczenie ilości wyemitowanych substancji chemicznych w czasie cyklu życia produktu i ocenę ich wpływu na potencjalne skutki dla organizmów oraz całych ekosystemów [162] [163]. Wpływ toksyczności na ludzi oraz środowisko przedstawiono poniżej na schemacie (Rys. 3.2).



Rys. 3.2 Schemat przyczynowo-skutkowy wpływu toksyczności na zdrowie ludzi oraz ekosystemów
Źródło: [164].

3.2. Kategorie emisji w ocenie śladu węglowego

Zgodnie z wytycznymi GHG Protocol [165] emisje klasyfikuje się w trzech kategoriach:

- Scope 1 – emisje bezpośrednie;
- Scope 2 – emisje pośrednie z energii;
- Scope 3 – emisje pośrednie w łańcuchu wartości.

Klasyfikacja emisji według zakresów (ang. *Scope*) stanowi podstawę do identyfikacji źródeł emisji gazów cieplarnianych w organizacji oraz ich przyporządkowania do odpowiednich etapów cyklu życia produktu lub procesu. Umożliwia to zarówno kompleksową analizę wpływu przedsiębiorstwa na środowisko, jak i porównywalność wyników między różnymi podmiotami. Poniżej opisano szczegółowo znaczenie poszczególnych kategorii emisji w ocenie śladu węglowego.

Zakres (ang. *Scope*) 1

Są to bezpośrednie emisje gazów cieplarnianych będących własnością przedsiębiorstwa lub przez nie kontrolowanych. Do tej grupy zaliczają się emisje pochodzące ze spalania w kotłach, piecach, pojazdach. Zaliczamy tu również emisje pochodzące z procesów technologicznych [166].

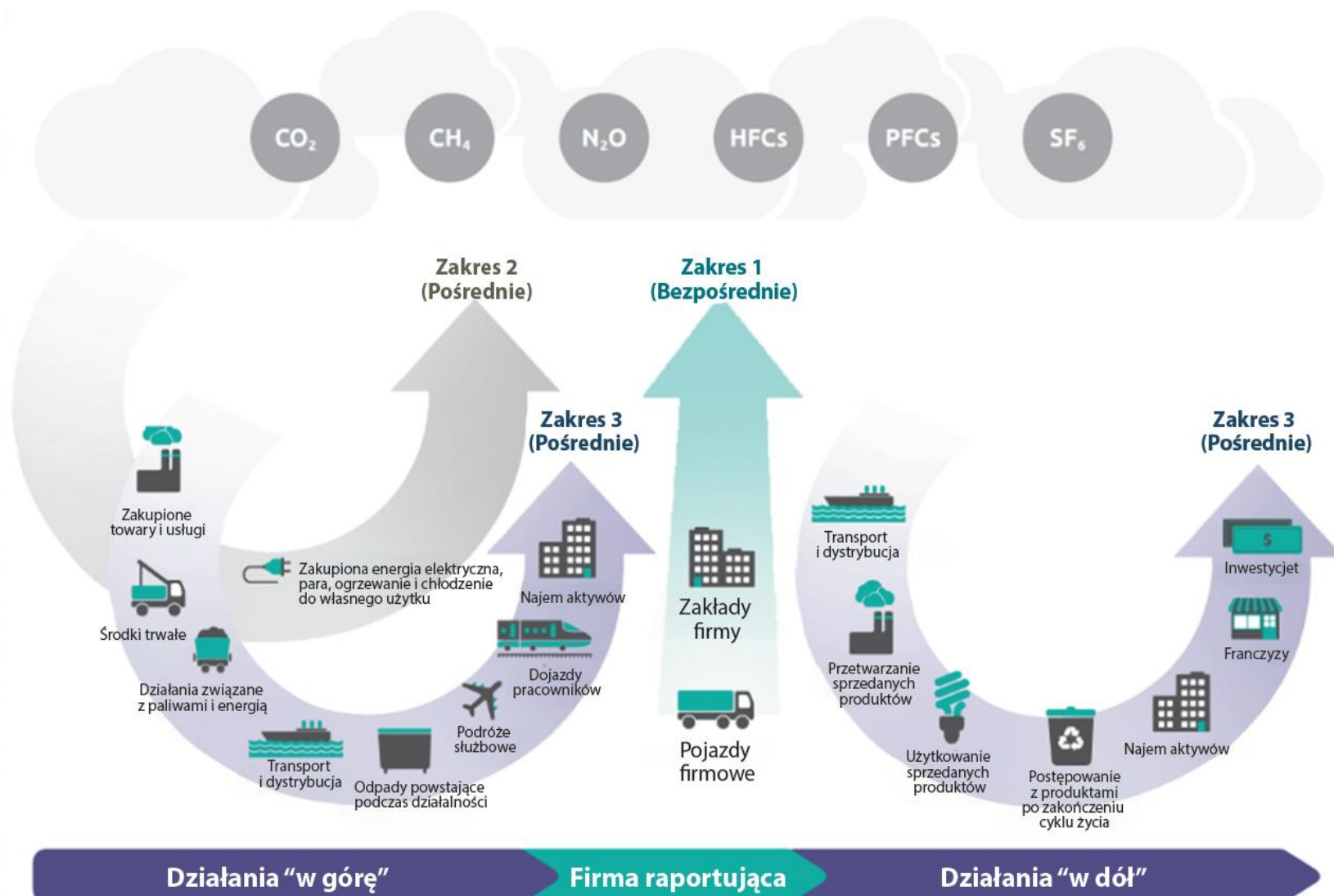
Zakres (ang. *Scope*) 2

Są to emisje pochodzące z procesu działania firmy i zalicza się do nich konsumpcja paliw wchodzących w proces ogrzewania, chłodzenia, wykorzystanie energii elektrycznej oraz pary przemysłowej, a emisje gazów cieplarnianych powstają w miejscu wytwarzania emitentów [167].

Zakres (ang. *Scope*) 3

Zalicza się do nich wszystkie pośrednie emisje oraz takie, które nie wchodzą do emisji z zakresu 2. W tym zakresie pod uwagę bierze się emisje z procesu produkcji oraz dostarczania produktów i usług. Ponadto zakres 3 obejmuje emisje pochodzące z użytkowania, unieszkodliwiania produktów i usług przedsiębiorstwa. W zakresie 3 zalicza się do emisji także transport towarów do odbiorców oraz podróże samochodami służbowymi w celu realizacji usługi [168].

Takie podejście jest zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju i stanowi punkt wyjścia do opracowania strategii dekarbonizacji, raportowania ESG oraz analizy cyklu życia produktu LCA (ang. *Life Cycle Assessment*). Na rysunku 3.3 przedstawiono graficzne zestawienie trzech zakresów emisji (*Scope 1*, *Scope 2* i *Scope 3*) wraz z przykładami źródeł ich powstawania w łańcuchu wartości przedsiębiorstwa. Ilustracja ta pozwala w sposób syntetyczny zobrazować różnice pomiędzy emisjami bezpośrednimi i pośrednimi oraz ich powiązanie z poszczególnymi etapami działalności organizacji [169].



Rys. 3.3 Zakresy obliczeniowe i emisje: zakres 1, zakres 2 i zakres 3

Źródło: [169]

Rozdział 4. Ekoprojektowanie opakowań

4.1. Definicja opakowania ekologicznego

Opakowanie ekologiczne, to takie opakowanie, które zostało zaprojektowane oraz wyprodukowane w sposób, by miało jak najmniejszy, negatywny wpływ na środowisko [170]. Począwszy od procesu projektowania opakowania w agencji kreatywnej, skupiając się na redukcji ilości i wielkości nadruku, poprzez odpowiedni dobór rodzaju i gramatury materiałów, a skończywszy na procesie druku, np. zastępując farby rozpuszczalnikowe bazujące na alkoholu, na farby wodorozcieńczalne, wyprodukowane z surowców odnawialnych [171] [172] [173]. Opakowania ekologiczne powinny składać się, o ile jest to możliwe i uzasadnione, z tworzyw pochodzących z recyklingu, a same opakowania powinny poddawać się z łatwością procesowi recyklingu [174].

4.2. Gospodarka odpadami w obiegu zamkniętym

Gospodarka obiegu zamkniętego (GOZ) polega na takim zarządzaniu produkcją, które przyczynia się do wyeliminowania powstania odpadów [175]. W procesach gospodarki obiegu zamkniętego, powstałe odpady podlegają wykorzystaniu w dalszych procesach produkcyjnych, np. w drodze recyklingu lub poprzez procesy kompostowania (Rys. 4.1). Działania w opisywanym segmencie procesów produkcyjnych polegają również na minimalizowaniu powstawania odpadów poprzez działania w sposób przemyślany oraz z poszanowaniem dobra środowiska naturalnego [176] [177] [178]. Przetwarzanie się przedsiębiorstwa na gospodarkę w obiegu zamkniętym przyczynia się do zwiększenia konkurencyjności przedsiębiorstwa poprzez dostęp do zasobów, możliwość wykorzystania posiadanych surowców, ograniczenie korzystania z zasobów pochodzących z rynku, chroniąc przedsiębiorstwo przed niedoborami zasobów na rynku. Nie tylko działania przedsiębiorstw na etapie procesów produkcyjnych pozwalają na redukcję oraz eliminację ilości odpadów i konsumpcji energii oraz zasobów [179] [180]. Postępowanie w kierunku przemyślanego i odpowiedniego projektowania urządzeń, produktów, usług oraz procesów produkcyjnych przyczyniają się do rozszerzenia oddziaływania produkcji na implementację systemu obiegu zamkniętego [181] [182]. Działanie w kierunku redukcji, a także eliminacji ilości odpadów nie polega wyłącznie na eliminacji samych odpadów np. z tworzyw sztucznych, tektury, szkła czy

metal, ale bazuje także na zagospodarowaniu odpadów organicznych. Odpady spożywcze mogą być z powodzeniem wykorzystane w procesach produkcji biogazu w biogazowniach, które mogą zapewnić dostęp do czystego i taniego źródła energii dla zakładu przemysłowego [183] [184]. Korzyści wynikające z przejścia na gospodarkę obiegu zamkniętego nie mają jedynie wymiaru ekonomicznego, ale również cechuje je wymiar środowiskowy, w postaci redukcji emisji gazów cieplarnianych. Ponadto system przyczyniać się może do poprawy kondycji zdrowia publicznego [185]. Pozytywnym trendem w kierunku przechodzenia na gospodarkę obiegu zamkniętego charakteryzują się kraje Unii Europejskiej, w których dostrzega się zalety z przejścia na system obiegu zamkniętego [181] [186].



Rys. 4.1 Model gospodarki obiegu zamkniętego

Źródło: [187].

4.3. Podstawowe funkcje opakowań

W zależności od tego jaką rolę ma do spełnienia opakowanie, jest ono projektowane w celu zapewnienia produktowi określonej właściwości, np. jakości lub świeżości [188]. Opakowanie może zawierać w sobie produkt jednostkowy i tym samym być tak zwanym opakowaniem jednostkowym, ale również może służyć jako opakowanie zbiorcze, które stanowi ochronę dla opakowań jednostkowych [189]. Podstawowe funkcje opakowań to: funkcja ochronna, funkcja logistyczna, funkcja informacyjna, funkcja marketingowa, funkcja ekologiczna, funkcja użytkowa i funkcja identyfikacyjna.

4.3.1. Funkcja ochronna

Opakowanie powinno chronić produkt znajdujący się wewnątrz przed warunkami zewnętrznymi, ale też powinno sprawiać, iż znajdujące się w opakowaniu substancje nie wydostaną się z jego wnętrza. Dzięki prawidłowemu zabezpieczeniu i ochronie produktu zachowuje się jego świeżość oraz właściwości [190].

4.3.2. Funkcja logistyczna

Zadaniem opakowania jest również ułatwienie jego transportu środkami lądowymi, morskimi oraz lotniczymi. Dzięki odpowiedniej konstrukcji opakowania, np. pozwalającego na efektywne składowanie, zapewniające wykorzystanie pełnego potencjału ładowności środka transportu, transport produktu staje się znacznie łatwiejszy i efektywniejszy ekonomicznie. Jedną z cech funkcji transportowych opakowania jest również zabezpieczenie produktu znajdującego się wewnątrz przed warunkami zewnętrznymi podczas transportu produktu, np. z fabryki do klienta [191].

4.3.3. Funkcja informacyjna

Opakowanie powinno spełniać nie tylko funkcje ściśle techniczne, związane z koniecznością ochrony produktu znajdującego się wewnątrz opakowania oraz pozwalać na jego efektywny transport, ale powinno również, a być może przede wszystkim spełniać funkcję informacyjną. Opakowanie jako nośnik informacji nie tylko pozwala na jasne i precyzyjne określenie zawartości opakowania, gramatury, wartości odżywczych czy przeznaczenia, ale przede wszystkim powinno zawierać ważne informacje z punktu widzenia jakości i bezpieczeństwa produktu, np. termin przydatności do spożycia, ilość i rodzaj alergenów.

Ponadto opakowanie pełni funkcję informacji prawnej, co oznacza, że na opakowaniu powinny zostać umieszczone wszelkie znakowania zgodne z wytycznymi przepisów krajowych oraz wspólnotowych [192].

4.3.4. Funkcja marketingowa

Opakowanie poza spełnieniem funkcji technicznych czy informacyjnych jest również reklamą samą w sobie oraz buduje wartość i pozycję marki na rynku. Opakowanie jest wizytówką produktu znajdującego się wewnątrz opakowania i nierzadko to właśnie opakowanie „sprzedaje” produkt. Dzięki zastosowaniu wszelkiego rodzaju uszlachetnień opakowanie staje się dla konsumenta atrakcyjniejsze, wzór graficzny właściciela marki uzyskuje wymiar marki luksusowej, dzięki czemu sprzedaż danego produktu wzrasta. Opakowanie może być też nośnikiem informacji, lecz są to informacje powiązane z działalnością marketingową właściciela marki, np. wszelkiego rodzaju konkursy, działania firmy z zakresu zrównoważonego rozwoju bądź działalności humanitarnej [193] [194] [195] [196].

4.3.5. Funkcja ekologiczna

Opakowania, które zostały wyprodukowane z surowców pochodzenia naturalnego, zawierające surowce odnawialne oraz mają mały, negatywny wpływ na środowisko, mogą być określane mianem opakowań ekologicznych. Funkcja ekologiczna opakowania odnosi się głównie do procesu wytwórczego, surowca, z którego opakowanie zostało wytworzone, ale również jego przeznaczenia. Do surowców ekologicznych opakowań zaliczyć można: podłoża biodegradowalne, kompostowalne, pochodzące z recyklingu czy w pełni poddające się recyklingowi. Funkcja ekologiczna opakowania odnosi się również do aspektów marketingowych, ponieważ opakowanie wytworzone z surowców naturalnych lub z recyklatu podnosi świadomość konsumentów, buduje wizerunek marki oraz przyczynia się do ochrony środowiska, np. poprzez redukcję emisji gazów cieplarnianych [197] [198] [199].

4.3.6. Funkcja użytkowa

Opakowanie powinno spełniać również wymogi ergonomii i estetyki, ale również powinno być praktyczne. Funkcja użytkowa opakowania opiera się na wszelkich aspektach, które przyczyniają się do ułatwienia obchodzenia się z opakowaniem przez konsumenta. Do funkcji użytkowych można liczyć również zdolność opakowania do łatwego pochwycenia, np.

butelka na wodę z wyprofilowanym wgłębieniem na dłoń, ułatwiających utrzymanie butelki w jednej dłoni, lub właściwości antypoślizgowe, czy ułatwiające skorzystanie z produktu znajdującego się wewnątrz, np. wszelkiego rodzaju perforacje bądź nakrętki ułatwiające odkręcanie przez osoby starsze [200] [201].

4.3.7. Funkcja identyfikacyjna

Konsument powinien z łatwością skojarzyć opakowanie z marką, nie powinno być co do tego wątpliwości, aby nie wprowadzać konsumenta w błąd. Funkcja identyfikacyjna ma również za zadanie łatwą i szybką weryfikację pochodzenia produktu, ale również jego przeznaczenie. Ważnym aspektem tejże funkcji jest również możliwość szybkiej identyfikacji możliwego zagrożenia dla zdrowia lub życia osób i zwierząt [202] [203] [204].

4.4. Kierunki w ekoprojektowaniu opakowań

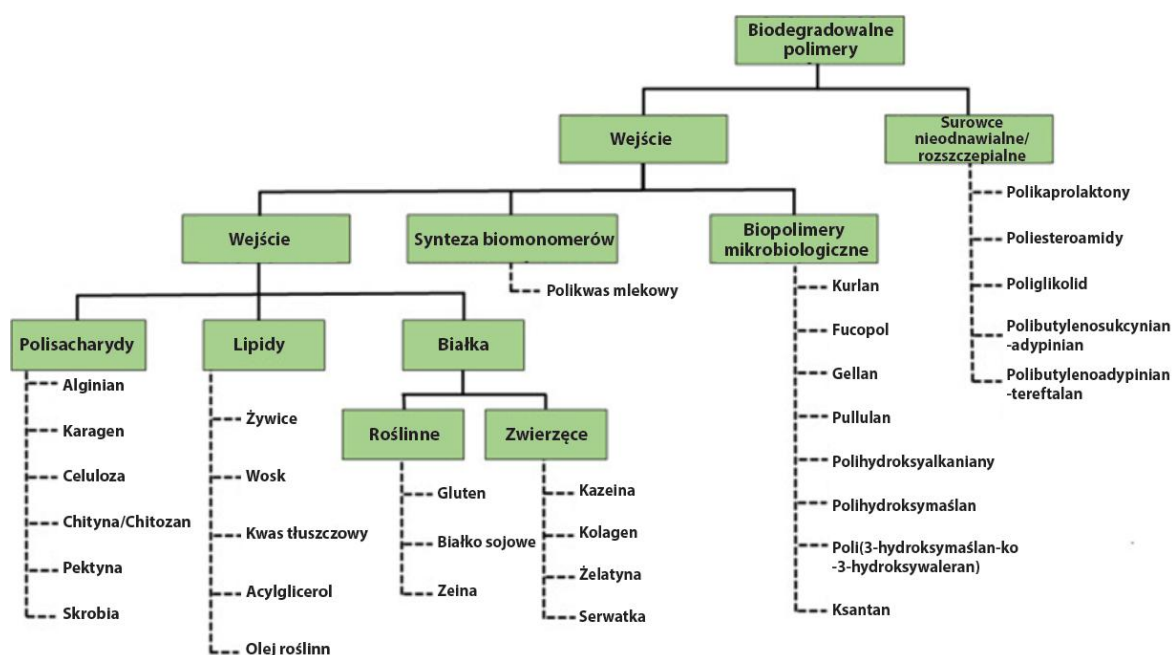
4.4.1. Redukcja masy, objętości, gramatury materiałów

Kluczowym dokumentem determinującym aspekty projektowania opakowań pod kątem ich oddziaływania na środowisko naturalne jest rozporządzenie PPWR (ang. *Packaging and Packaging Waste Regulation*)²⁵. Jednym z głównych aspektów redukcji ilości odpadów jest ich ograniczanie podczas produkcji opakowań. Przepisy rozporządzenia PPWR nakładają na producenta opakowań konieczność przemyślanej produkcji opakowań, w tym przechodzenie na opakowania wielokrotnego użycia, wielokrotnego napełniania, rezygnację z produkcji opakowań jednokrotnego użycia, redukcję objętości opakowań, aby opakowanie dostosowywać wyłącznie do wielkości produktu znajdującego się wewnątrz opakowania, czy też redukcji masy opakowania. Przez wymienione działania, producent opakowań przyczynia się bezpośrednio do zachowania zasobów surowcowych, redukcji konsumpcji tworzyw sztucznych, tym samym zmniejszeniu generowania ilości odpadów pochodzących z rynku opakowaniowego. Redukcja objętości oraz masy opakowania, pozwala na ograniczenie ilości spalanych paliw kopalnych w ramach transportu produktu z fabryki, w której produkt jest wytwarzany do miejsca jego sprzedaży lub dalszego przetwórstwa [205] [206] [207].

²⁵ <https://www.parp.gov.pl/component/content/article/85845:rozporzadzenie-opakowaniowe-ppwr-czyli-nowe-rozwiazania-w-zakresie-gospodarowania-odpadami>

4.4.2. Wybór materiałów przyjaznych dla środowiska

Pogłębiający się kryzys surowcowy, wymusza na producentach opakowań działania zmierzające w kierunku transformacji surowcowej. Zmiany wprowadzane są poprzez działania legislacyjne, lecz również za sprawą rosnącej świadomości konsumentów, ale również przełączanie się wielu branż na system gospodarki obiegu zamkniętego [162]. Od kilku lat obserwuje się tendencję do poszukiwania alternatywnych surowców opakowaniowych, ale również odchodzenie od struktur wielomateriałowych na rzecz struktur monomateriałowych. Do materiałów alternatywnych z całą pewnością zaliczyć można wszelkiego rodzaju tworzywa bazujące na biopolimerach, takie jak folia z dodatkiem PLA (kwas polimlekowy) [208], lub folia celulozowa [209]. Lecz oprócz wymienionych, najpopularniejszych biopolimerach, istnieje znacznie więcej biopochodnych polimerów, które mogą zostać wykorzystane w przemyśle opakowaniowym, co przedstawiono na rysunku 4.2.



Rys. 4.2 Podział biodegradowalnych polimerów

Źródło: [210].

Materiałem przyjaznym dla środowiska jest papier jako czyste i odnawialne źródło surowca, z którego wytwarzane jest podłoże do druku, co za tym idzie, opakowanie. Papier jednak jako surowiec opakowaniowy, sam w sobie posiada znikome właściwości barierowe, w związku z czym musi zostać powleczony powłokami, które zapewnią opakowaniu odpowiednią barierowość oraz odporność, np. przeciwko tlenowi, parze wodnej oraz tłuszczom [210]. Papier

wytworzony z celulozy jest surowcem niemal doskonałym, ze względu na łatwy i efektywny sposób jego recyklingu w drodze przetwórstwa papieru, biodegradacji jego włókiem w środowisku naturalnym lub w procesie kompostowania [211] [212].

4.4.3. Optymalizacja cyklu życia opakowania i redukcja śladu węglowego

Jednym z kluczowych aspektów ekoprojektowania opakowań jest takie podejście do wytwarzanych opakowań, aby proces miał jak najmniejszy, negatywny wpływ na środowisko naturalne, w tym ograniczanie emisji gazów cieplarnianych. Podstawowymi parametrami, które pozwalają kontrolować emisje środowiskowe przedsiębiorstwa, ale również produktu są kalkulacje śladu węglowego oraz ocena cyklu życia produktu [213] [214]. Dzięki systemom pozwalającym policzyć ślad węglowy opakowania czy produktu, można w łatwy i szybki sposób ocenić wpływ danego surowca na stopień degradacji środowiska. Surowce kopalne pozyskane w celu wytworzenia tworzyw sztucznych, które są surowcem do produkcji opakowań bazujących na poliolefinach będą charakteryzowały się innym, nie rzadko większym śladem węglowym w porównaniu do odpowiedników pochodzących z natury [215].

4.4.4. Ograniczenie lub eliminacja szkodliwych substancji w opakowaniach

Opakowanie jest produktem przemysłowego wytwarzania materiału służącego jako nośnik produktu. Zarówno opakowanie wytworzone z polimerów syntetycznych, jak i biopolimerów może stanowić zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia ludzkiego poprzez migrację związków chemicznych z opakowania do żywności [216]. Do jednych z najbardziej niebezpiecznych substancji oznaczanych w opakowaniach zaliczyć można substancje polifluoroalkilowe i perfluoroalkilowe (PFAS²⁶), natomiast w opakowaniach odnotowano ponad 60 różnych substancji chemicznych, które stanowią potencjalne zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego [217] [218]. Kolejną grupą związków potencjalnie niebezpiecznych są substancje, które dostają się do opakowania w sposób niezamierzony (ang. *non-intentionally added substances, NIAS*²⁷). Substancje mogą pojawić się w opakowaniu poprzez niezamierzone zanieczyszczenie procesu produkcyjnego, mogą pochodzić z samego materiału bazowego lub

²⁶ <https://www.epa.gov/pfas/pfas-explained>

²⁷ <https://foodpackagingforum.org/resources/background-articles/non-intentionally-added-substances-nias>

z procesu technologicznego. Można wymienić trzy źródła pochodzenia substancji NIAS w opakowaniach, są to: produkty uboczne, produkty rozpadu oraz zanieczyszczenia [219][220]. Kolejną grupą niebezpiecznych substancji oznaczanych w opakowaniach są węglowodory aromatyczne olejów mineralnych (MOAH²⁸). Wykazano doświadczalnie, iż węglowodory aromatyczne olejów mineralnych są w stanie migrować z opakowań papierowych do żywności, co stanowi poważne zagrożenie kancerogenne i genotoksyczne [221] [222]. Drugą grupą substancji są nasycone węglowodory olejów mineralnych (MOSH²⁹), lecz nie są one uważane za toksyczne, ze względu na niewielką częstotliwość występowania lipogranulomów [223]. W opakowaniach mogą znajdować się metale ciężkie, a ich źródłem jest sam materiał opakowaniowy. W procesach produkcji tworzyw sztucznych takich jak: polietylen (PE), polipropylen (PP), polistyren (PS), polichlorek winylu (PVC) oraz politereftalan etylenu (PET), stosuje się rozmaite katalizatory. Małe stężenia metali ciężkich mają swoje źródło w zastosowanych katalizatorach biorących udział w procesie produkcji tworzyw sztucznych. Natomiast zanieczyszczenia kadmem (Cd) lub ołowiem (Pb) pochodzą z procesu druku i związane są z pigmentami i stabilizatorami organicznymi [224].

Wszystkie wymienione wyżej substancje oraz związki są potencjalnie niebezpieczne lub toksyczne dla ludzi. Odpowiednie i przemyślane projektowanie, dobór i zastosowanie materiału opakowaniowego pozwolą na ograniczenie występowania zagrażających zdrowiu ludzkiemu substancji w opakowaniu, a co za tym idzie, w produkcji.

4.4.5. Komunikacja z konsumentem

Jednym z niezwykle istotnych aspektów transformacji opakowań jest odpowiednia komunikacja i edukacja konsumenta. To konsument jako ostateczny odbiorca treści opakowania, będzie determinował i kształtował rynek opakowań pod kątem doboru surowców, z których dane opakowanie zostanie wytworzone. Świadomy konsument wybierze taki produkt, który opakowany został w materiał, niestanowiący bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia czy życia ludzkiego. Ponadto obecnie panujący trend związany z działalnością obywateli na rzecz ochrony środowiska, z naciskiem na eliminację emisji gazów cieplarnianych,

²⁸ https://www.pfz.pl/nawosci/?id_news=6529&lang_id=1

²⁹ <https://bezpieczenstwozywnosci.wip.pl/aktualnosci/bezpieczenstwo-zywnosci-mosh-i-moah-4410.html>

przyczynia się do świadomych decyzji zakupowych konsumenta pod kątem wyboru takich produktów, które spełniają zasady zrównoważonego rozwoju. Coraz częściej właściciel marki umieszcza na opakowaniu informację tekstową bądź infografikę przekazującą treści związane z ochroną środowiska poprzez zastosowanie do wyprodukowania opakowania i/lub produktu substancji pochodzących ze źródeł odnawialnych, komponentów biodegradowalnych lub kompostowalnych. Tego typu działania są katalizatorem dla właścicieli marek, ale również agencji kreatywnych, do działania w kierunku przechodzenia na materiały opakowaniowe przyjazne dla środowiska [225] [226] [227] [228].

4.4.6. Droga do opakowania przyjaznego dla środowiska: opakowanie papierowe na mrożonki firmy Frosta AG

Firma Frosta AG stanowi doskonały przykład zarządzania przedsiębiorstwem w myśl zasad zrównoważonego rozwoju w trosce o środowisko. Historia działalności firmy Frosta w kierunku ekoprojektowania opakowań oraz redukcji ilości tworzyw sztucznych w wytwarzanych opakowaniach sięga roku 2015, kiedy to dział badawczo – rozwojowy (ang. *Research and Development, R&D*) pod przewodnictwem Urbana Buschmanna podjął kroki w kierunku wyeliminowania aluminiowych wyprasek na produkt pod nazwą „Ryba z pieca” i zastąpiono tę wypraskę papierową tacką. Zmianę tłumaczono wysoce energochłonnym procesem wytwarzania wyprasek z aluminium, oraz negatywnym wpływem na zdrowie konsumentów [229].

Przełom nastąpił w roku 2014, kiedy podjęto decyzję o rozpoczęciu procesu ekoprojektowania opakowań, czyli zmiany szaty graficznej opakowania w celu redukcji ilości farb na opakowaniu, ale również zmianie uległa struktura opakowania. Do roku 2014 wszystkie opakowania na mrożonki typu torebka, składały się z laminatu dwóch różniących się od siebie podłoży: BOPP transparentne jako zewnętrzna warstwa opakowania, na której odbywał się zadruk wzoru, oraz biały PE, który stanowił warstwę wewnętrzną opakowania. W przypadku wzorów znajdujących się na rynku do roku 2014, zadruk farbami graficznymi stanowił 100% powierzchni opakowania, ale również nasycenie kolorów było na wysokim poziomie. W latach 2014, 2015 zespół działu badawczo – rozwojowego (R&D), pod kierownictwem Urbana Buschmanna pracował nad zmianą struktury opakowania, na taką, która składać się będzie z mono materiału, ale jednocześnie podjęto działania marketingowe w kierunku zmiany designu

opakowania, na takie, które charakteryzować się będzie mniejszym zużyciem farb drukarskich. W efekcie prac zespołu badawczo – rozwojowego (R&D), w roku 2015 na rynku pojawiło się opakowanie zbudowane wyłącznie z mono materiału PE białego, dzięki czemu zredukowano ilość tworzywa sztucznego o 10%. Wprowadzono nowy wzór graficzny, który charakteryzował się znacząco mniejszym pokryciem procentowym farb drukarskich, co przedstawiono na rysunku 4.3. Wprowadzono jeszcze jedną, niezwykle istotną z punktu widzenia ochrony środowiska zmianę. Firma Frosta AG postanowiła przejść w druku opakowań z systemu farb rozpuszczalnikowych na system farb wodorozcieńczalnych [230].

Eko projektowanie



Rys. 4.3 Proces ekoprojektowania opakowań.

Źródło: Rozwój ekologicznych opakowań z perspektywy właściciela marki, Urban Buschmann
Climate3 Sustainability Consulting, 24 Symposium Poligraficzne, 19 maja 2022 roku.

W latach od 2015 do 2017 rozszerzano o kolejne produkty ideę opakowań mono materiałowych w firmie Frosta AG. Udoskonalano procesy oraz dokonywano kolejnych, już drobniejszych rebrandingów. Do kolejnego przełomu doszło w roku 2017, kiedy to Urban Buschmann ogłosił Zarządowi firmy Frosta AG, iż planuje wprowadzenie na rynek opakowania na mrożonki, zbudowanego w 100% z papieru. Opakowanie miało zostać wykonane z

materiału, który nie będzie zawierał w swoim składzie tworzywa sztucznego i, który nie będzie dopuszczał kontaktu tworzywa sztucznego z produktem spożywczym. W 2017 roku zostałem zaproszony do współpracy nad tym ambitnym projektem jako przedstawiciel działu technologicznego Chespy Repro Studio w firmie Chespa sp. z o.o. Firma Frosta wytypowała do współpracy przy tym projekcie firmę Chespa ze względu na jej wysoką wiedzę technologiczną w zakresie procesu druku, produkcji form drukowych oraz produkcji lakierów i farb drukowych. Projekt wydawał się niemożliwy do zrealizowania, był ambitny i niezwykle skomplikowany. Dzięki zastosowanym technologiom, wiedzy eksperckiej lidera projektu po stronie Chespy, autora dysertacji oraz współpracy ze spółkami: Chespa Klisze oraz Chespa Farby Graficzne, po 3 latach od rozpoczęcia projektu, pierwsza papierowa torebka na mrożonki znalazła się w regularnej sprzedaży. Opakowanie papierowe na mrożonki, składało się wyłącznie z papieru, jakim był mechanicznie gładzony, niepowlekany, niebielony brązowy typu kraftliner [231]. W strukturze opakowania zastosowano bariery dyspersyjne, które wykazywały wysoką odporność na parę wodną, tłuszcze oraz tlen. Strukturę podłoża stanowią dwie warstwy papieru, zewnętrzną, która jest zbliżona do struktury zwykłego worka na cement, oraz wewnętrzną, którą stanowi brązowy papier zbliżony właściwościami papieru do pieczenia. Obie powłoki zespolone zostały przy użyciu kleju na bazie skrobi [232]. Powłoka zewnętrzna, która została opracowana przez firmę Chespa, stanowiła doskonałą barierę przeciwko parze wodnej oraz tlenowi, ale także pozwalała na wymianę gazową między środowiskiem zewnętrznym a środowiskiem wewnętrznym opakowania, dzięki czemu produkt znajdujący się wewnątrz torebki zachowywał dłużej świeżość, w porównaniu do tego samego produktu znajdującego się w torebce wykonanej w tworzywa sztucznego, co przedstawiono na rysunku 4.4. Dzięki zastosowanym rozwiązaniom i eliminacji tworzyw sztucznych z opakowania, przy rocznej produkcji Frosta AG na poziomie 40 milionów opakowań, roczna redukcja tworzyw sztucznych wynosi 320 ton [230] [233] [234] [235]. Za swoje opakowanie firma Frosta AG została nagradzana w wielu konkursach branżowych na terenie Republiki Niemiec [236] [237].

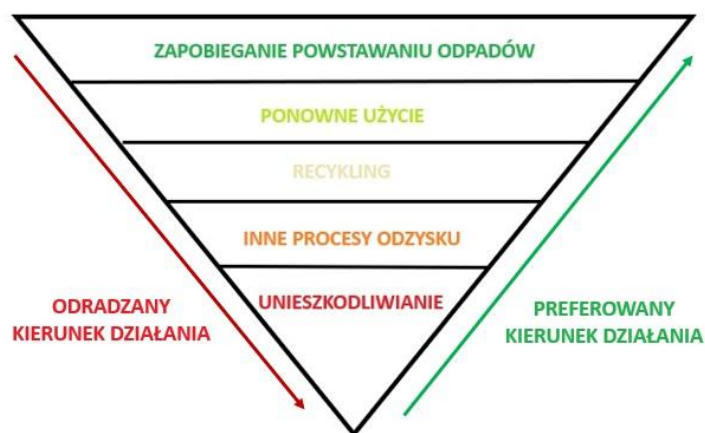
Eko projektowanie & zastąpienie plastiku



Rys. 4.4 Proces przejścia z opakowania mono materiałowego PE na opakowanie papierowe
Źródło: Rozwój ekologicznych opakowań z perspektywy właściciela marki, Urban Buschmann
Climate3 Sustainability Consulting, 24 Symposium Poligraficzne, 19 maja 2022 r.

4.5. Rozporządzenie UE w zakresie opakowań i odpadów opakowaniowych z 19 grudnia 2024 r.

Rozporządzenie ustanawia wymogi dotyczące cyklu życia opakowań, aby ograniczyć ich wpływ na środowisko na rynku UE. Odpady traktowane są jako źródło surowców, które można ponownie wykorzystać do produkcji tego samego produktu, lecz zawierającego dodatek surowca pochodzącego z recyklingu, bądź mogą służyć do produkcji innych przedmiotów, niż pierwotnie miało to miejsce. Najważniejszym celem rozporządzenia jest zapobieganie powstawaniu odpadów, następnie ponowne wykorzystanie odpadu, recykling, inne procesy odzysku, natomiast najmniej korzystnym i niepożądanym sposobem zagospodarowania odpadów jest ich unieszkodliwianie w drodze spalania lub poprzez składowanie na przyzmach [205]. Piramida ważności procesów postępowania z odpadami opakowaniowymi przedstawiono na rysunku 4.5.



Rys. 4.5 Piramida ważności procesów postępowania z odpadami opakowaniowymi

Źródło: wykonanie własne na podstawie [205].

4.5.1. Opakowania podatne do recyklingu

Przepisy rozporządzenia UE 2025/40 wskazują konieczność przydatności wszystkich opakowań do recyklingu (Tab. 4.1), co zapisane zostało w np. 6 ust. 1 rozporządzenia. Istnieją jednak pewne wyłączenia z zapisów obowiązku przydatności do procesu recyklingu, co zapisane zostało w np. 6 ust. 11. Opakowania, które nie zostały wyłączone z obowiązku recyklingu, będą musiały spełniać warunki przydatności do recyklingu, które określać będą kryteria przydatności surowców do procesu recyklingu. Uznaje się, że opakowanie jest podatne do recyklingu, jeśli spełnia określone warunki:

- a. Zostało zaprojektowane z myślą o recyklingu i wykonane z surowców, które w łatwy sposób będą podlegały procesom recyklingu, a jakość wytworzonego surowca wtórnego będzie porównywalna do materiału pierwotnego.
- b. Jeśli stanie się odpadem, podlega selektywnej zbiórce odpadów, następnie poddane zostanie procesowi sortowania z podziałem na konkretne rodzaje surowca, poddawane recyklingowi na dużą skalę.

Rozporządzenie określa klasy przydatności odpadów do recyklingu: A, B i C. Klasa A oznacza, iż wydajność recyklingu powinna być na poziomie co najmniej 95%. W przypadku klasy B, wydajność recyklingu powinna sięgać poziomu co najmniej 80%. Natomiast w przypadku klasy C, wydajność recyklingu powinna być na poziomie co najmniej 70%. Odpady, które uzyskają wartość poniżej 70% będą sklasyfikowane jako technicznie niezdadne do recyklingu [205]

Tabela 4.1 Tabela klas wydajności recyklingu

2030		2035			2038		
Klasa wydajności recyklingu	Projektowanie z myślą o recyklingu Ocena możliwości recyklingu na jednostkę, w drodze ważenia kryteriów	Klasa wydajności recyklingu (dla projektowania z myślą o recyklingu)	Projektowanie z myślą o recyklingu Ocena Możliwości recyklingu na jednostkę, w drodze ważenia kryteriów	Klasa wydajności recyklingu (do oceny recyklingu na dużą skalę)	Klasa wydajności recyklingu	Projektowanie z myślą o recyklingu Ocena możliwości recyklingu na jednostkę, w drodze ważenia kryteriów	Klasa wydajności recyklingu (do oceny recyklingu na dużą skalę)
Klasa A	co najmniej 95 %	Klasa A	co najmniej 95 %	Klasa A (recykling na dużą skalę)	Klasa A	co najmniej 95 %	Klasa A (recykling na dużą skalę)
Klasa B	co najmniej 80 %	Klasa B	co najmniej 80 %	Klasa B (recykling na dużą skalę)	Klasa B	co najmniej 80 %	Klasa B (recykling na dużą skalę)
Klasa C	co najmniej 70 %	Klasa C	co najmniej 70 %	Klasa C (recykling na dużą skalę)	Klasa C ZAKAZ WPROWADZANIA DO OBROTU	co najmniej 70 %	Klasa C (recykling na dużą skalę)
TECHNICZNIE NIEZDATNE DO RECYKLINGU	poniżej 70 %	TECHNICZNIE NIEZDATNE DO RECYKLINGU	poniżej 70 %	NIEPODDAWANE RECYKINGOWI NA DUŻĄ SKALĘ (poniżej progów określonych w art. 3 ust. 1 pkt 39)	TECHNICZNIE NIEZDATNE DO RECYKLINGU	poniżej 70 %	NIEPODDAWANE RECYKINGOWI NA DUŻĄ SKALĘ (poniżej progów określonych w art. 3 ust. 1 pkt 39)

Źródło: [205]

4.5.2. Minimalna zawartość recyklatu w opakowaniach

Rozporządzenie określa jaka ma być minimalna zawartość materiału pochodzącego z recyklingu, czyli recyklatu jako dodatku do tworzywa pierwotnego, z którego wytwarzane są opakowania. Każdy producent opakowań zostanie zobligowany do stosowania surowców pochodzących z recyklingu w masie materiału, z którego wykonane zostanie opakowanie. Surowiec pochodzący z recyklingu musi zostać wytworzony z odpadów po konsumpcyjnych, czyli takich, które zebrano z rynku w formie odpadu. Nie będzie uznawano się surowców pochodzących z recyklingu jako dodatków do opakowań, które pochodzą z procesu produkcyjnego jako odpad produkcyjny. W przypadku stosowania surowców pochodzących z recyklingu obowiązują pewne wyłączenia, które opisano w art. 1 pkt 23 dyrektywy 2001/83/WE, w zakresie opakowań produktów leczniczych stosowanych u ludzi [238]. Wyłączenia dotyczą również opakowań weterynaryjnych produktów leczniczych, zgodnie z (UE) 2019/6 [239].

Minimalna zawartość surowców pochodzących z recyklingu w każdego rodzaju opakowaniu od 2030 r. [205]:

- a) „30% w przypadku opakowań do kontaktu z produktami wrażliwymi wykonanych z politereftalanu etylenu jako głównego składnika, z wyjątkiem butelek jednorazowego użytku na napoje.”
- b) „10% w przypadku opakowań do kontaktu z produktami wrażliwymi wykonanych z materiałów z tworzyw sztucznych innych niż politereftalan etylenu, z wyjątkiem butelek jednorazowego użytku z tworzyw sztucznych na napoje.”
- c) „30% w przypadku butelek jednorazowego użytku z tworzyw sztucznych na napoje.”
- d) „35% w przypadku opakowań z tworzyw sztucznych innych niż te, o których mowa w punktach a), b) i c) niniejszego ustępu.”

Minimalna zawartość surowców pochodzących z recyklingu w każdego rodzaju opakowaniu od 01 stycznia 2040 r. [205]:

- a) „50% w przypadku opakowań do kontaktu z produktami wrażliwymi wykonanych z politereftalanu etylenu jako głównego składnika, z wyjątkiem butelek jednorazowego użytku na napoje.”

b) „25% w przypadku opakowań do kontaktu z produktami wrażliwymi wykonanych z materiałów z tworzyw sztucznych innych niż politereftalan etylenu, z wyjątkiem butelek jednorazowego użytku z tworzyw sztucznych na napoje.”

c) „65% w przypadku butelek jednorazowego użytku z tworzyw sztucznych na napoje.”

d) „65% w przypadku opakowań z tworzyw sztucznych innych niż te, o których mowa w punktach a), b) i c) niniejszego ustępu.”

Rozporządzenie przewiduje również odstępstwo od powyższych zasad w określonych przypadkach. Jeśli pojawi się problem z dostępnością danego surowca pochodzącego z recyklingu lub jego ceny będą wysokie, co spowoduje utrudnienie w procesie wykorzystania surowców pochodzących z recyklingu w celu spełnienia wymogów rozporządzenia, wówczas na wniosek osób fizycznych lub prawnych Komisja będzie uprawniona do podjęcia aktu delegowanego zgodnie z art. 64 w celu zmiany zapisów rozporządzenia [205].

4.5.3. Minimalizacja opakowań

Rozporządzenie ma na celu ograniczenie stosowania przewymiarowanych i sztucznie powiększonych opakowań, które mogą wprowadzać konsumentów w błąd, a jednocześnie przyczyniają się do nieefektywnego wykorzystania przestrzeni transportowej i magazynowej. Opakowania, które będą wprowadzane na rynek od roku 2030 będą musiały zostać zaprojektowane w taki sposób, aby do minimum ograniczyć ich masę oraz objętość. Jednocześnie opakowanie musi wciąż zapewniać produktowi ochronę oraz musi być funkcjonalne i dopasowane do kształtu produktu. Zakaz wprowadzania do obrotu będzie dotyczył tych opakowań, które nie będą spełniały kryteriów wydajności, określonych w załączniku IV rozporządzenia, a są to: procesy wytwarzania opakowań, logistyka, funkcjonalność, wymogi informacyjne, higiena i bezpieczeństwo, wymogi prawne oraz zawartość materiału pochodzącego z recyklingu, możliwość recyklingu i ponowne użycie [205].

Rozporządzenie przewiduje wyłączenia również w tym przypadku. Dotyczy to opakowań, które podlegają ochronie prawnej własności przemysłowej, zgodnie z rozporządzeniem Rady (WE) nr 6/2002, które określa wzory wspólnotowe [195], lub opakowanie zostało objęte systemem jakości, takim jak system jakości produktów rolnych i środków spożywczych [196].

Część eksperymentalna

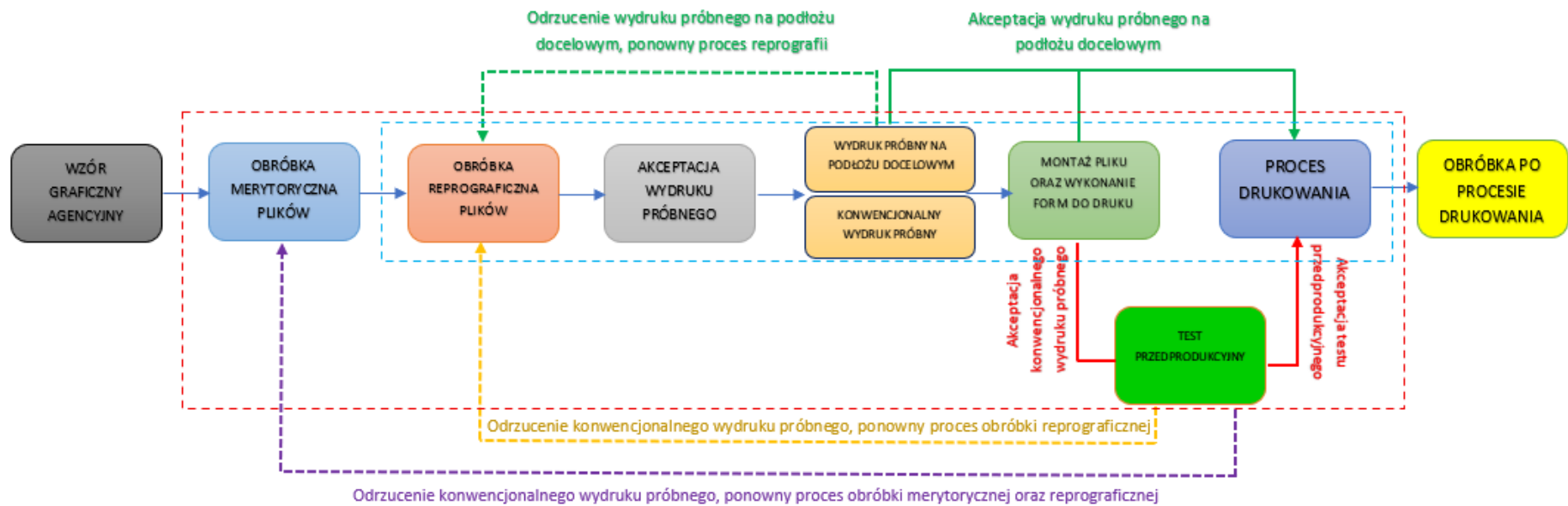
Rozdział 5. Zakres i plan pracy

W części empirycznej niniejszej rozprawy doktorskiej przeprowadzono szczegółowe badania porównawcze, których celem była ocena wpływu na środowisko i decyzje właścicieli marki dwóch alternatywnych systemów wydruku próbnego. Pierwszy dotyczył wydruku próbnego na podłożu docelowym, drugi dotyczył tradycyjnego wydruku próbnego realizowanego na dedykowanym białym papierze proofingowym. Szczególną uwagę zwrócono na ich oddziaływanie na środowisko naturalne. Analizie poddano zarówno aspekty związane z wpływem omawianych procesów na biosferę, jak i kwestie toksykologiczne odnoszące się do organizmów żywych oraz funkcjonowania ekosystemów wodnych i lądowych.

Przeprowadzone badania miały charakter interdyscyplinarny, obejmując zarówno zagadnienia z zakresu inżynierii mechanicznej w zakresie dyscypliny poligraficznej, jak i nauk środowiskowych oraz toksykologii. Badania te pozwoliły na identyfikację kluczowych różnic i zależności pomiędzy ocenianymi technologiami pod względem ich potencjalnego wpływu ekologicznego.

Uzupełnieniem przeprowadzonej analizy ilościowej była ocena preferencji klientów firmy Chespa. W tym celu zrealizowano anonimowe badanie preferencji, skierowane do grupy odbiorców korzystających z rozwiązania wydruku próbnego na podłożu docelowym. Wyniki tego badania, przedstawione i zinterpretowane w rozdziale szóstym, pozwoliły na uzupełnienie wyników środowiskowych o perspektywę praktyczną, obejmującą subiektywną ocenę efektywności oraz użyteczności badanych technologii z punktu widzenia klienta końcowego, czyli właściciela marki.

Eksperymenty badawcze zostały zrealizowane na dwóch typach podłoży powszechnie stosowanych w praktyce przemysłowej w sektorze opakowań: papierze typu kraftliner (szczegółowe wyniki zaprezentowano w rozdziale siódmym oraz folii z polietylenu (PE) (omówienie zawarto w rozdziale ósmym). Wybór tych podłoży wynikał z ich reprezentatywności dla typowych zastosowań opakowaniowych oraz ich odmiennych właściwości fizykochemicznych, mających wpływ na charakter i intensywność oddziaływania procesów drukarskich na środowisko.



Rys. 5.1 Schemat porównujący proces wydruku próbnego na podłożu docelowym oraz testów przedprodukcyjnych

Źródło: wykonanie własne.

Na rysunku 5.1 przedstawiono schemat porównujący proces przygotowania projektu graficznego od etapu przygotowania składu grafiki (ang. *artwork stage*) w ramach specyfikacji przygotowania pliku do procesu drukowania po proces reprografii, akceptacji wydruku próbnego lub przygotowania testu przedprodukcyjnego, do momentu komercyjnego procesu drukowania z udziałem właściciela marki. Niebieską przerywaną linią oznaczono obszar wpływu wydruku próbnego na podłożu docelowym na proces przygotowania projektu graficznego. Wzór graficzny w formie wydruku próbnego na podłożu docelowym oceniany jest przez właściciela marki. Dzięki wykorzystaniu podłoża produkcyjnego, możliwe jest przewidzenie na etapie wydruku próbnego, zachowania się wybranych elementów wzoru graficznego nadrukowanego bezpośrednio na podłoże, np. brązowy papier, w miejscu, w którym pozabawiono element grafiki białego poddruku. Ponadto dzięki możliwości wiernego zasymulowania białej barwy, wybiórczo nadrukowanej na podłoże, właściciel marki jest w stanie ocenić na etapie wydruku próbnego finalny wygląd wzoru graficznego tożsamy z próbką po procesie drukowania komercyjnego. Spoglądając na ramkę oznaczoną czerwoną przerywaną linią, zaobserwować można zakres działania alternatywnej, tradycyjnej metody testu przedprodukcyjnego. Pierwsza część obu zakresów pokrywa się ze sobą, obejmując prace przygotowania składu grafiki do etapu akceptacji wydruku próbnego przez właściciela marki. Po etapie akceptacji wydruku próbnego konwencjonalnego, w przypadku testu przedprodukcyjnego, przystępuje się do procesu produkcji narzędzi do procesu drukowania i planowanie produkcji poligraficznej. W przypadku tej metody testowania wzoru graficznego np. na brązowym papierze, konieczne jest uruchomienie pełnej produkcji poligraficznej.

Pełna produkcja poligraficzna obejmuje przygotowanie:

- wydruku próbnego konwencjonalnego,
- fleksograficznych farb wodorozcieńczalnych,
- wałków rastrowych do procesu drukowania,
- maszyny drukarskiej,
- komór raklowych wyposażonych w nowe noże raklowe,
- fleksograficznych płyt fotopolimerowych,
- wałków formowych wyposażonych w piankę kompensacyjną,

- środków chemicznych powierzchniowo czynnych służących do prac konserwacyjnych,
- procesu mycia wałków rastrowych, komór rakłowych oraz zespołów drukujących.

Następnie po procesie drukowania i osiągnięciu pożądaných przez właściciela marki rezultatów, niezbędnym będzie unieszkodliwienie odpadów po procesie testowania produkcji poligraficznej.

W odróżnieniu do etapu testowania laboratoryjnego procesu drukowania w ramach wykorzystania do tego celu wydruku próbnego na podłożu docelowym, w przypadku testu przedprodukcyjnego generowana jest znacząca ilość odpadów poprodukcyjnych, w postaci:

- folii pochodzącej z procesu produkcji testowej,
- pozostałości farb po procesie druku,
- fleksograficznych form do druku,
- wydruku próbnego konwencjonalnego,
- zanieczyszczonego czyściwa po procesie czyszczenia zabrudzonych form do druku oraz wałków rastrowych,
- zanieczyszczona woda po procesie mycia narzędzi służących do druku.

Wytworzone odpady w procesie druku testów przedprodukcyjnych mają znaczący wpływ na wzrost emisji środowiskowych oraz zwiększenie ilości generowanych odpadów.

Rozdział 6. Analiza preferencji klientów dotyczących systemu wydruków próbnych na podłożu docelowym

W ramach etapu badań wstępnych niniejszej rozprawy, przeprowadzono ankiety wśród klientów firmy Chespa sp. z o.o. Celem tych ankiet było uzyskanie wstępnych danych jakościowych i ilościowych dotyczących odbioru oraz oceny rozwiązania systemowego pod nazwą wydruk próbny na podłożu docelowym. Badanie miało na celu wstępną identyfikację obszarów funkcjonalnych, które w ocenie przedstawicieli właściciela marki wymagają optymalizacji, a także zgromadzenie opinii na temat efektywności wdrożenia danego rozwiązania z punktu widzenia jego praktycznych zastosowań.

Ankieta została przygotowana przy wykorzystaniu narzędzia Google Forms, co umożliwiło sprawne zebranie danych w formie cyfrowej oraz zapewniło odpowiedni poziom anonimowości respondentów. Dystrybucja formularza odbyła się drogą elektroniczną i objęła zarówno bezpośrednich klientów firmy Chespa, jak i podmioty będące użytkownikami końcowymi omawianego systemu, czyli drukarnie.

Kwestionariusz ankiety składał się z pytań zamkniętych, jednokrotnego oraz wielokrotnego wyboru, opracowanych w sposób umożliwiający ilościową analizę wyników. Szczegółowy wykaz pytań wraz z możliwymi wariantami odpowiedzi przedstawiono w poniższej tabeli 6.1.

Tabela 6.1 Pytania ankietowe

L.p.	Pytanie	Odpowiedzi / oceny
1	W jakiej wielkości przedsiębiorstwie pracujesz <i>What size company do you work for?</i>	Małe – do 25 osób / <i>Small – up to 25 employees</i> Średnie – do 250 osób / <i>Medium – up to 250 employees</i> Duże – powyżej 250 osób / <i>Large – above 250 employees</i>
2	Jaką branżę reprezentuje Twoje przedsiębiorstwo <i>What industry does your company represent?</i>	Firma produkcyjna branży FMCG / <i>FMCG industry</i> Firma produkcji opakowań (drukarnia) / <i>Packaging production company (printinghouse)</i> Sieć handlowa / <i>Commercial network</i> Inne / <i>Other</i>
3	W jakim stopniu jesteś zadowolona(y) ze współpracy z naszą firmą oraz korzystania z naszych usług	Zdecydowanie nie / <i>definitely not</i> Raczej nie / <i>rather not</i> Trudno powiedzieć / <i>hard to say</i>

	<i>To what extent are you satisfied with the cooperation with our company and the use of our services?</i>	Raczej tak / <i>probably yes</i> Zdecydowanie tak / <i>definitely yes</i>
4	Czy nasze usługi spełniają Twoje oczekiwania <i>Do our services meet your expectations?</i>	Zdecydowanie nie / <i>definitely not</i> Raczej nie / <i>rather not</i> Trudno powiedzieć / <i>hard to say</i> Raczej tak / <i>probably yes</i> Zdecydowanie tak / <i>definitely yes</i>
5	Jak oceniasz ogólną jakość obsługi <i>How do you evaluate general quality of cooperation?</i>	1 2 3 4 5
6	Jak oceniasz biuro obsługi klienta <i>How do you rate the customer service?</i>	1 2 3 4 5
7	Jak oceniasz wsparcie technologiczne <i>How do you rate technological support?</i>	1 2 3 4 5
8	Jak oceniasz nasze doświadczenie i know-how <i>How do you rate our experience and know-how?</i>	1 2 3 4 5
9	Jak oceniasz naszą innowacyjność <i>How do you rate our innovation?</i>	1 2 3 4 5
10	Na podstawie Twoich dotychczasowych doświadczeń z naszą firmą, oceń skali 0–10 jak chętnie polecił(a) byś nasz usługi <i>Based on your experience with our company, rate on a scale of 0 – 10 how willing you would be to recommend our services?</i>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
11	Czy korzystasz w swojej firmie z systemu proofingu na podłożu docelowym Chespy <i>Do you use the Chespa proofing system on the target substrate in your company?</i>	TAK / YES NIE / NO
12	Jak często korzystasz z systemu proofingu na podłożu docelowym Chespy <i>How often do you use the Chespa proofing on the target substrate?</i>	Nie korzystam / <i>I don't use it</i> Korzystam okazjonalnie / <i>I use it occasionally</i> Korzystam / <i>I use</i> Korzystam często / <i>I use it often</i> Korzystam bardzo często / <i>I use it very often</i>

13	Jak oceniasz stopień przydatności systemu proofingu na podłożu docelowym Chespy w ocenie projektu opakowania <i>How do you assess the usefulness of the proofing system on the Chespa target substrate in assessing the packaging design?</i>	Nie widzę korzyści / <i>I don't see the benefit</i> Niewielkie korzyści / <i>little benefit</i> Zauważalne korzyści / <i>noticeable benefits</i> Duże korzyści / <i>great benefits</i> Znacząca pomoc / <i>significant help</i>
14	Jak system proofingu na podłożu docelowym Chespy wpływa na proces podejmowania decyzji w przypadku druku na wymagającym podłożu, np.: metaliza, transparent, brązowy papier. <i>How the Chespa's proofing on the target substrate affects the decision-making process when printing on a demanding substrate i.e.; metallise film, transparent film, brown paper.</i>	Brak wpływu / <i>no influence</i> Niewielki wpływ / <i>little impact</i> Umiarkowany wpływ / <i>moderate impact</i> Duży wpływ / <i>hudge impact</i> Kluczowy wpływ / <i>key influence</i>
15	Jak oceniasz przydatność sytemu proofingu na podłożu docelowym Chespy w porównaniu do systemu proofingu konwencjonalnego na białym papierze <i>How do you assess the usefulness of the Chespa proofing system on the target substrate compared to the conventional proofing system on white paper?</i>	Nie widzę zalet / <i>I don't see any advantages</i> Niewielkie zalety / <i>slight advantages</i> Porównywalnie / <i>comparably</i> Duże korzyści / <i>great benefits</i> Kluczowy wpływ / <i>key influence</i>
16	Jakie zajmujesz stanowisko w strukturach organizacyjnych firmy, w której pracujesz <i>What position do you hold in the organizational structures of the company where you work?</i>	Marketing / <i>marketing</i> Rozwój opakowań / <i>R&D</i> Zakupy / <i>purchasing</i> Technologia / <i>technology</i> Manager średniego – wyższego szczebla / <i>middle-senior level manager</i> Inne / <i>other</i>
17	Czy korzystasz z realistycznego systemu mock-upów / makiet firmy Chespa <i>Do you using Chespa realistic mock-up system?</i>	Nie korzystam / <i>I don't use it</i> Korzystam okazjonalnie / <i>I use it occasionally</i> Korzystam / <i>I use</i> Korzystam często / <i>I use it often</i> Korzystam bardzo często / <i>I use it very often</i>
18	Jak oceniasz jakość wykonania oraz realizm mock-upów / makiet w zestawieniu z opakowaniem produkcyjnym oraz Twoimi oczekiwaniami <i>How do you rate the quality of workmanship and realism of the mock-ups compared to the production packaging and your expectations?</i>	Brak zdania / <i>no opinion</i> Przeciętne / <i>average</i> Zadowolające / <i>satisfying</i> Bardzo dobre / <i>very good</i> Nie do odróżnienia od produkcji / <i>Indistinguishable from production</i>
19	Uwagi dotyczące usług oraz produktów <i>Comments regarding services and products</i>	Komentarz / <i>comment</i>

Źródło: opracowanie własne

6.1. Wyniki przeprowadzonej ankiety

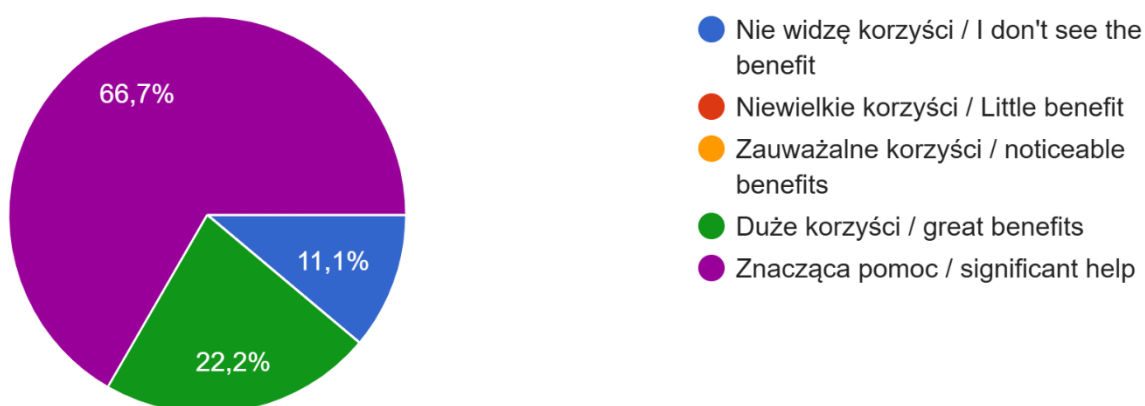
Ankiety wysłano do 9 firm klientów końcowych współpracujących z firmą Chespa, zebrano 9 ankiet, wyniki dotyczące systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym

przedstawiono na rysunkach 6.1 – 6.3. Na potrzeby przeprowadzenia ankiety, sformułowanie „wydruk próbny na podłożu docelowym lub wydruk próbny” zastąpiono słowem „proofing na podłożu docelowym lub proofing”. Zastosowanie zwrotu angielskiego jest podyktowane powszechnością stosowania takiej formy określenia wydruku próbnego przez właścicieli marek, a w szczególności te przedsiębiorstwa, które należą do przedstawicieli kapitału zagranicznego.

Ankietę otrzymało 9 firm współpracujących z firmą Chespa w zakresie wykorzystywania wydruków próbnych na podłożu docelowym, w celu realizacji projektów graficznych w procesie przygotowania plików do druku. Na pytania ankietowe odpowiedzi udzielał dział, do którego ankietę trafiła, lecz najczęściej był to dział marketingu, który odpowiada za proces tworzenia wzorów graficznych, oraz dział technologiczny i badawczo rozwojowy, który współtworzy zespół doradztwa technologicznego w zakresie konstrukcji, tworzenia oraz procesu drukowania wzoru graficznego opakowania. W związku z tym, odpowiedzi należy traktować jako sumę wniosków działu ankietowanej firmy, a nie jak jednostkową odpowiedź poszczególnego pracownika działu badanej firmy.

- Pytanie ankietowe:

„Jak oceniasz stopień przydatności systemu proofingu na podłożu docelowym Chespy w ocenie projektu opakowania”.



Rys. 6.1 Udział procentowy odpowiedzi na pytanie dotyczące przydatności systemu proofingu

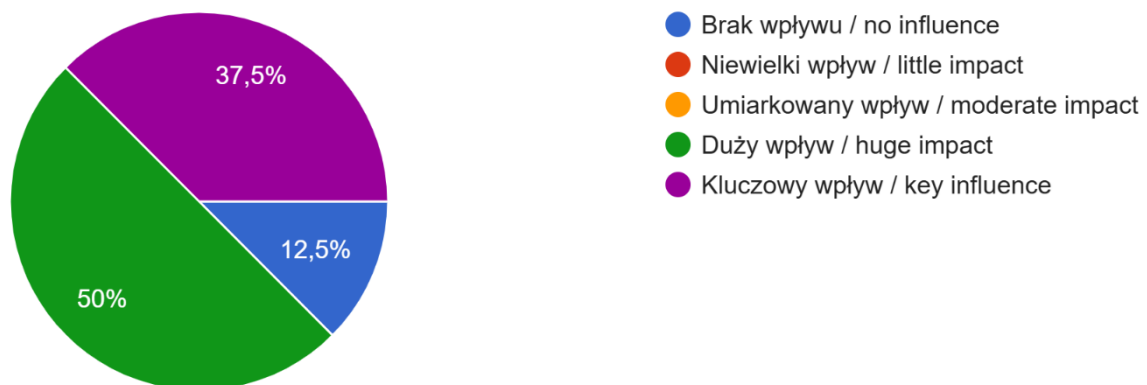
Źródło: badanie własne.

Z przedstawionych danych wynika (Rys. 6.1), że zdecydowana większość respondentów (88,9%) ocenia system wydruku próbnego na podłożu docelowym jako znaczącą lub bardzo

dużą pomoc w kwestii przydatności systemu w ocenie projektu opakowań. Tylko niewielki odsetek ankietowanych (11,1%) deklaruje brak korzyści w wykorzystaniu nowego systemu.

- Pytanie ankietowe:

„Jak system proofingu na podłożu docelowym Chespy wpływa na proces podejmowania decyzji w przypadku druku na wymagającym podłożu, np.: metaliza, transparent, brązowy papier”.



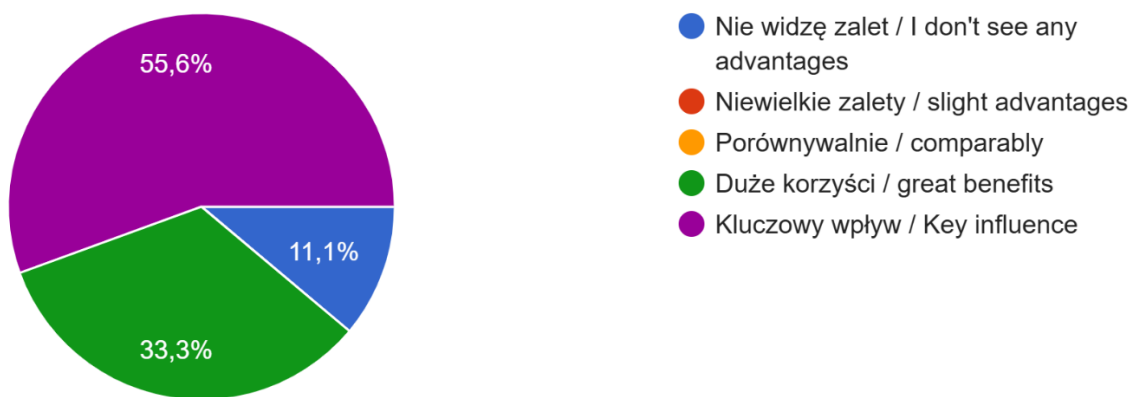
Rys. 6.2 Udział procentowy odpowiedzi dotyczący wpływ badanego systemu na proces decyzyjny

Źródło: badanie własne.

Z analizy odpowiedzi wynika, że większość respondentów (87,5%) oceniło system wydruku próbnego na podłożu docelowym jako kluczowy lub że ma bardzo duży wpływ na podejmowanie decyzji marketingowych lub technicznych w przypadku druku na trudnych podłożach (Rys. 6.2). Tylko niewielka część respondentów (12,5%) ocenia, że system wydruku próbnego na podłożu docelowym nie ma wpływu na podejmowanie decyzji w przypadku druku na wymagającym podłożu, jakim są folie metalizowane (metaliza), transparentne czy papiery brązowe.

- Pytanie ankietowe:

„Jak oceniasz przydatność systemu proofingu na podłożu docelowym Chespy w porównaniu do systemu proofingu konwencjonalnego na białym papierze?”.



Rys. 6.3 Udział procentowy odpowiedzi na pytanie dotyczące porównania badanych systemów

Źródło: badanie własne.

Z analizy odpowiedzi wynika, że większość respondentów (88,9%) ocenia większą przydatność systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym niż systemem konwencjonalnym wydruku próbnego (Rys. 6.3).

Z przeprowadzonych badań ankietowych wynika bardzo dobra ocena systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym wśród klientów końcowych firmy Chespa. Zgromadzone dane potwierdzają, że rozwiązanie to skutecznie odpowiada na potrzeby rynku w zakresie jakości oraz precyzji odwzorowania projektu graficznego na etapie procesu przygotowania wydruku próbnego, który poprzedza proces drukowania w drukarni. Aż 87,5% respondentów uznało system wydruku próbnego na podłożu docelowym za przydatne narzędzie wspierające codzienną pracę właściciela marki w zakresie oceny przygotowanej grafiki oraz dalszej pracy w drukarni w trakcie procesu drukowania, szczególnie w kontekście realizacji projektów o podwyższonym stopniu trudności. Wskazano, iż analizowany system odgrywa istotną rolę w procesie podejmowania decyzji dotyczących procesu drukowania na nietypowych podłożach, takich jak folie z metaliczną warstwą barierową, folie transparentne oraz papiery niepowlekane. Wyniki te jednoznacznie wskazują na znaczenie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jako narzędzia podnoszącego jakość i efektywność przygotowania produkcji poligraficznej, co może mieć bezpośrednie przełożenie na satysfakcję właścicieli marek oraz przewagę konkurencyjną przedsiębiorstw z branży opakowaniowej.

Rozdział 7. Analiza środowiskowa systemów wydruków próbnych – podłoża papierowe

Przedmiotem niniejszego badania było porównanie oddziaływania na środowisko dwóch odmiennych procesów przygotowania wydruku próbnego, wykorzystywanych w procesie akceptacji projektu graficznego opakowania.

W pierwszym procesie zastosowano konwencjonalne rozwiązanie polegające na cyfrowym przygotowaniu wydruku próbnego na białym papierze. Wydruk ten stanowił wzorzec kolorystyczny, do którego dopasowywany był projekt graficzny przygotowany do procesu drukowania w technologii konwencjonalnej, w tym wypadku jest to technologia druku fleksograficznego. Celem tego etapu było zapewnienie zgodności między wydrukiem próbnym a docelowym wyglądem opakowania po procesie drukowania.

Drugi analizowany proces, mimo pozornego podobieństwa, różnił się istotnie pod względem zastosowanego podłoża. Wydruk próbny wykonano również metodą cyfrową, bezpośrednio na materiale, z którego wykonane miało być finalne opakowanie. Proces ten w niniejszej pracy, określany jest mianem wydruku próbnego na podłożu docelowym, w którym zakłada się użycie rzeczywistego podłoża produkcyjnego w celu wykonania wydruku próbnego, co pozwala na uwzględnienie wszystkich właściwości fizycznych danego materiału, takich jak sztywność, stopień zmatowienia, przezroczystość, specyficzną strukturę taką jak wszelkiego rodzaju tłoczenia czy odcień podłoża.

Zastosowanie wydruku próbnego na podłożu docelowym ma szczególne znaczenie w przypadku opakowań, których materiał znacznie odbiega pod względem właściwości od standardowego papieru proofingowego. Dotyczy to również sytuacji, w których barwa zawartości opakowania (np. produktu spożywczego) może mieć wpływ na percepcję barwną opakowania, co zilustrowano na rysunku 2.11.

Osoba odpowiedzialna za akceptację projektu, zazwyczaj właściciela marki, dysponując wydrukiem próbnym wykonanym na podłożu docelowym, ma możliwość dokonania oceny zgodności projektu w sposób bardziej precyzyjny i intuicyjny. Dzięki temu możliwe jest

bezpośrednie porównanie efektu końcowego z wydrukiem próbnym („jabłko do jabłka”³⁰), uwzględniając nie tylko barwę dostosowaną do właściwości materiału, ale również inne efekty estetyczne i funkcjonalne, takie jak stopień zmatowienia, przezroczystość, metaliczność, efekty tłoczenia, foliowanie na zimno czy foliowanie na gorąco.

Wydruk próbny realizowany na podłożu docelowym umożliwia ponadto identyfikację potencjalnych zmian w wyglądzie opakowania, które mogłyby wystąpić w wyniku interakcji z zawartością opakowania przed rozpoczęciem produkcji w zakładzie właściciela marki. Tradycyjna technologia wydruku próbnego na białym papierze nie oferuje tych możliwości, co może stanowić utrudnienie właścicielowi marki w procesie decyzyjnym, zwłaszcza w sytuacji, gdy brak mu specjalistycznej wiedzy technicznej niezbędnej do rzetelnej oceny zgodności projektu z efektem druku maszynowego.

W ciągu ostatnich sześciu lat w firmie Chespa przeprowadzono kilkaset akceptacji procesu drukowania z zastosowaniem obu opisanych powyżej metod wydruku próbnego. Z obserwacji wynika, że mając do dyspozycji wydruk próbny na podłożu docelowym, czas akceptacji jest zdecydowanie krótszy, co oprócz wielu innych zalet ma bardzo korzystny wpływ na środowisko naturalne poprzez redukcję strumienia odpadów produkcyjnych, zminimalizowanie zużycia wody oraz energii elektrycznej, a także znacząco zmniejsza koszty wykorzystanych do produkcji surowców, a co najważniejsze pozwala na znaczącą redukcję śladu węglowego produktu.

W ramach przeprowadzonych badań dokonano porównania dwóch metod realizacji wydruku próbnego: innowacyjnej, opartej na bezpośrednim zastosowaniu podłoża docelowego oraz konwencjonalnej, wykorzystującej standardowe podłoża papierowe. Analiza koncentrowała się na ocenie czasu niezbędnego do przygotowania procesu drukowania w odniesieniu do specyfikacji właściciela marki, przy jednoczesnym uwzględnieniu obowiązujących norm regulujących przebieg procesów w technologii fleksograficznej.

Zakres opracowania uwzględnia całość nakładów w drukarni: zużycie papieru, energii, czyszczenie linii produkcyjnej, unieszkodliwianie resztek farbowych i popłuczyn po procesie

³⁰ <https://www.benq.eu/pl-pl/knowledge-center/knowledge/define-accurate-color.html>

mycia maszyny drukarskiej i unieszkodliwienie zużytego w procesie papieru. Ponieważ zastosowany papier jest papierem niebielonym i niegładzony oraz niepowlekanym, ważną rolę odgrywa przygotowanie do druku z wykorzystaniem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym. Dzięki zastosowaniu wydruku próbnego na podłożu docelowym, proces akceptacji procesu drukowania wymaga znacząco krótszego czasu na podjęcie decyzji przez właściciela marki. W trakcie akceptacji procesu drukowania właściciel marki porównuje efekty procesu drukowania do wydruku próbnego, który został wykonany na podłożu produkcyjnym, ze wszelkimi technicznymi aspektami procesu drukowania komercyjnego.

W zakresie przebiegu akceptacji wzoru graficznego w ramach procesu drukowania z wykorzystaniem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, zaobserwowano również znaczącą poprawę w zakresie bilansowania całego procesu produkcyjnego, w przypadku, którego zastosowano konwencjonalny system wydruku próbnego oparty na dedykowanym, białym papierze proofingowym. Wskazuje to na istotny wpływ przyjętej metody wydruku próbnego na stabilność i przewidywalność parametrów produkcyjnych, co może mieć bezpośrednie przełożenie na jakość końcowego produktu oraz efektywność operacyjną całego łańcucha technologicznego.

Dzięki zdobytemu doświadczeniu, wiedzę wykorzystuje się do wspierania alternatywnej, a zarazem efektywniejszej metody uzyskiwania pożądanej barwy podczas procesu drukowania w drukarni – pierwszej produkcji poligraficznej oraz rozwoju programu redukcji emisji środowiskowych w tym CO₂-eq³¹.

W przypadku oceny cyklu życia produktu często bierze się pod uwagę trzy aspekty toksyczności środowiskowej. Pierwszą jest ekotoksyczność lądowa, drugą ekotoksyczność morską a trzecią ekotoksyczność wód śródlądowych, czyli wody słodkiej. W przypadku ekotoksyczności lądowej największy wpływ na zanieczyszczenie środowiska mają emisje pestycydów wprowadzanych do gleb rolniczych w procesach aktywności rolniczej. Metale ciężkie oraz kwas siarkowy stanowią największe zanieczyszczenie w przypadku ekotoksyczności morskiej [241].

³¹https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent

7.1. Metodyka wykonania obliczeń

Podstawą niniejszych obliczeń bilansowania środowiskowego są międzynarodowe normy oceny cyklu życia (EN ISO 14040:2021 i EN ISO 14044:2021) oraz EN ISO 14067:2019 (śląd węglowy produktu) i PEF (śląd środowiskowy produktu). Obliczenia wykonano przy zastosowaniu kalkulatora Niemieckiej firmy Climate3. Dane dotyczące systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym oraz wydruku próbnego konwencjonalnego dostarczono z zasobów firmy Chespa i prowadzonych przez doktoranta testów systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym. Pozostałe dane pochodzą z systemu oraz baz danych Climate3. Szczegółowe dane dotyczące emisji środowiskowych pochodzą z bazy danych zewnętrznych GEMIS 5.1 [242]. Dane o poziomach recyklingu odpadów w Polsce zaczerpnięto ze źródeł Internetowych [243] [244]. Energię z procesu spalania odpadów zaczerpnięto z danych Hiezwerte, Beilicke, Bautechnischer Brandschutz [245]. Dane dotyczące wpływu aktywności człowieka na środowisko, pochodzące z gospodarki, przemysłu i działalności wytwórczej zostały zaczerpnięte z systemu ecoinvent v3.10 [246]. Szczegółowe dane pochodzące z bazy ecoinvent v3.10 zostały wykorzystane poprzez system Climate3 jako część algorytmu systemu. Informacje dotyczące procesu produkcji fleksograficznych form drukowych oraz ich składu chemicznego zaczerpnięto z literatury [247] [248] [249]. Szczegółowa receptura farby rozpuszczalnikowej, która została wykorzystana w systemie kalkulacji Climate3 została pozyskana z zasobów firmy Chespa Farby Graficzne. Dane szczegółowe dotyczące receptur farb są danymi niejawnymi firmy Chespa, w związku z czym nie jest możliwe podanie szczegółowego składu chemicznego farb. Energia elektryczna spożytkowana w celu procesu drukowania opakowania komercyjnego oraz wydatkowana w celu czyszczenia i konserwacji maszyny drukującej pochodzi z danych empirycznych zgromadzonych w bazie danych systemu Climate3.

7.1.1. Cel badania

Przedmiotem badania było określenie wielkości emisji gazów cieplarnianych, emisji związków toksycznych oraz odpadów, wytworzonych w czasie mierzonym od chwili rozpoczęcia procesu ustawiania barwy w drukarni podczas procesu drukowania do wydruku próbnego konwencjonalnego oraz porównaniu tego samego procesu do wydruku próbnego na podłożu docelowym, aż do chwili zatwierdzenia wyniku przez właściciela marki. W ramach

badania bilansowania środowiskowego posłużono się metodą oceny cyklu życia produktu (LCA), ponieważ jest to narzędzie umożliwiające kompleksową ocenę wpływu środowiskowego analizowanych technologii, co wspiera podejmowanie decyzji biznesowych, dotyczących ich wyboru i optymalizacji. Określa ono produkty, procesy oraz działania, które powinny zostać usprawnione w określonej kolejności priorytetów [250].

7.1.2. Jednostka funkcjonalna

W nawiązaniu do celów badania, jednostka funkcjonalna (JF) jest definiowana jako zakończenie procesu uzyskiwania pożądanej barwy wzoru graficznego podczas procesu drukowania komercyjnego w drukarni fleksograficznej. Wydruk próbny wykonany na papierze nie bielonym, brązowym typu kraftliner, mechanicznie gładzony o wymiarach: obwód wałka formowego 250 mm oraz szerokość użytku 495 mm.

7.1.3. Jakość danych

W kalkulacjach przyjęto zasadę, iż dane pochodzą ze źródeł pierwotnych.

Surowce użyte do przygotowania obu rodzajów wydruków próbnych pochodzą z danych pierwotnych firmy Chespa, natomiast emisje zanieczyszczeń po stronie drukarni pochodzą z zasobów firmy Climate3 i stanowią integralną część kalkulatora śladu węglowego opracowanego przez firmę Climate3.

Dane dotyczące systemów wydruku próbnego konwencjonalnego oraz wydruku próbnego na podłożu docelowym zostały pozyskane z firmy Chespa.

Poszczególne zbiory danych, na podstawie których obliczane są ekwiwalenty CO₂ dla materiałów, źródeł energii, magazynowania, transportu, recyklingu itp., znajdują się w centralnej bazie danych firmy Climate3 i są integralną częścią systemu kalkulacji śladu węglowego. Zapewnia to rzetelność danych oraz chroni przed potencjalną możliwością powstania rozbieżności w wartości danych. Ponadto, jeżeli dostępne są odpowiednie dane, bierze się również pod uwagę szczególne odniesienie geograficzne. Odniesienie technologiczne odpowiada aktualnemu stanowi wiedzy producenta lub innych dostawców surowców.

7.1.4. Granice systemu

Ślad węglowy produktu, służy do rejestracji wszystkich emisji gazów cieplarnianych, które występują w cyklu życia produktu, w tym przypadku dwóch różnych procesów drukowania wydruku próbnego. Istotnym jest porównanie obu systemów względem siebie, ponieważ wyniki cyklu życia produktu mogą różnić się od siebie w zależności od zastosowanych danych. Granice systemu uwzględniają proces akceptacji procesu drukowania komercyjnego opakowania od chwili porównania wydruku próbnego z efektem procesu drukowania na maszynie drukarskiej w technologii fleksograficznej, pierwszej próbki do momentu zaakceptowania pracy i zwolnienia projektu do procesu drukowania (Tabela 7.1).

Tabela 7.1 Granice systemowe procesu przygotowania wydruku przemysłowego z wykorzystaniem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym w porównaniu z systemem wydruku próbnego konwencjonalnego

Etap oceny cyklu	Zakres działania
Surowce / Opakowania	Surowce <ul style="list-style-type: none"> • Procesy produkcji; farby oraz papier • Opakowanie produktu • Produkcja form drukowych Opakowania (wtórne i trzeciorzędowe materiały opakowaniowe) <ul style="list-style-type: none"> • Produkcja • Przechowywanie • Transport • Opakowanie transportowe surowca opakowaniowego
Transport surowców	<ul style="list-style-type: none"> • Przechowywanie, składowanie, magazynowanie • Transport środkami lądowymi
Proces produkcyjny	<ul style="list-style-type: none"> • Proces drukowania • Czyszczenie i konserwacja maszyny drukującej • Unieszkodliwienie papieru oraz opakowania • Unieszkodliwienie resztek farbowych • Unieszkodliwienie form drukowych
Zakres współpracy z klientem końcowym	<ul style="list-style-type: none"> • Akceptacja projektu graficznego przed zadrukiem • Wyjazd klienta do drukarni w celu akceptacji zadruku

Źródło: wykonanie własne.

7.1.5. Metodyka oraz przegląd krytyczny

Proces bilansowania został oparty o wytyczne zawarte w normach EN ISO 14040:2021 – „Zasady i ramy” [251, s. 01] oraz EN ISO 14044:2021 – „Wymagania i wytyczne dotyczące oceny cyklu życia produktu (LCA)” [252]. Wymienione normy są dokumentami, na podstawie których system Climate3 dokonuje kalkulacji oraz opracowuje metodykę badań. W przypadku przedmiotowej pracy dokonano bilansowania w oparciu o wymienione normy, dlatego też nie

jest wymagany przegląd krytyczny badań. W oparciu o przyjęty cel oraz zakres niniejszego opracowania, szczególnie nacisk położono na analizę wpływu rozpatrywanych metod na nasilanie się efektu cieplarnianego.

W celu oceny środowiskowego oddziaływania obu systemów na emisję gazów cieplarnianych, zastosowano wskaźnik potencjału globalnego ocieplenia (ang. *Global Warming Potential, GWP*) dla horyzontu czasowego wynoszącego 100 lat. Wskaźnik ten jest niezwykle istotny, ze względu na wpływ gazów cieplarnianych na stopień pochłaniania energii oraz proces spowolnienia tempa emisji cieplnej z powierzchni planety w przestrzeń kosmiczną. Do gazów cieplarnianych o dużym potencjale wpływu na wzrost temperatury na planecie, zaliczyć można dwutlenek węgla (CO_2), który został wybrany jako gaz referencyjny, w metodach obliczania śladu węglowego produktu. Stało się tak, ponieważ dwutlenek węgla to gaz, który stanowi główne źródło emisji przemysłowych pochodzącej z procesów działalności człowieka i, choć jego wskaźnik GWP jest równy 1, to jego obecność w atmosferze utrzymywać się będzie przez tysiące lat. Obecność gazów takich jak metan (CH_4), tlenek azotu (N_2O), chlorfluorowęglowodory (CFC), wodorofluorowęglowodory (HFC) lub perfluorowęglowodory (PFC) utrzymywać się będą w środowisku przez dekadę. W przypadku metanu, okres trwałości środowiskowej wynosi około 100 lat, natomiast w przypadku tlenku azotu w skrajnych wypadkach okres ten szacowany jest od kilkuset lat do kilku tysięcy lat [153] [253]. W celu uproszczenia oceny emisji środowiskowych, skonsolidowano emisje gazów cieplarnianych w jeden wskaźnik jakim jest ekwiwalent CO_2 . Tym samym przyjęto kolejno dla:

- 1 kg dwutlenku węgla (CO_2) = ekwiwalent CO_2 wynosi 1 kg [254] [67].
- 1 kg metanu (CH_4) = ekwiwalent CO_2 wynosi 30 kg [67]
- 1 kg podtlenku azotu (N_2O) = ekwiwalent CO_2 wynosi 265 kg [67]

Obliczenia wykonano na podstawie doświadczeń empirycznych firmy Climate3, zgromadzonych w toku realizacji ponad 150 analiz śladu węglowego produktu (ang. *product carbon footprint, PCF*) oraz ocen cyklu życia (LCA). Dane wejściowe pochodziły z renomowanych baz danych: ecoinvent v3.10 oraz GEMIS 5.1. Bilansowanie środowiskowe wykonano na podstawie LCA. Nie dokonano przeglądu krytycznego wyników badań.

7.1.6. Alokacja

W niniejszym opracowaniu przyjęto ilościowe podejście do alokacji obciążeń środowiskowych w ramach analizy cyklu życia (ang. *Life Cycle Assessment, LCA*). W przypadku materiałów opakowaniowych zastosowano zasadę równoważnego podziału odpowiedzialności (50/50) między producenta a dostawcę. Taki wybór wynika z faktu, że proces recyklingu odpadów prowadzony jest przez dostawcę w otwartym systemie recyklingu, co utrudnia jednoznaczne przypisanie korzyści środowiskowych do konkretnego uczestnika łańcucha dostaw [255].

7.1.7. Ograniczenia

Procesy przygotowania do procesu drukowania opisane w tym kontekście obejmują specyficzny skład materiałów oraz przebieg określonego procesu, dla którego wyznaczono ślad węglowy. Z tego względu wyniki przeprowadzonych badań odnoszą się wyłącznie do konkretnych metod przygotowania akceptowalnego efektu procesu drukowania i nie mogą być traktowane jako ogólne wytyczne dotyczące całego procesu produkcji poligraficznej. W związku z powyższym, wyniki te nie są odpowiednie do określenia śladu węglowego innych produktów, powstających przy użyciu odmiennych struktur i technologii procesu drukowania, niż te opisane w niniejszym opracowaniu [256].

7.2. Modelowanie

Proces gromadzenia i przetwarzania danych musi być niezwykle precyzyjny. Dane gromadzi się w zakresie cyklu życia produktu, począwszy od surowców do produkcji opakowania bądź wydruku próbnego, aż po wytworzenie odpadu i jego unieszkodliwienie. Najlepiej obrazuje ten proces rysunek 7.1 schemat przepływu danych w cyklu życia produktu.



Rys. 7.1. Schemat przepływu danych w obliczeniach cyklu życia produktu

Źródło: [254].

W analizie cyklu życia uwzględniono następujące założenia, które mogły oddziaływać na uzyskane wyniki:

- Wykorzystane w procesie surowce: papier służący do procesu drukowania komercyjnego pracy i przygotowania wydruku próbnego na podłożu docelowym, farby drukarskie oraz substancje wykorzystywane w badanym procesie pochodzą z obszaru krajów Unii Europejskiej.
- Transport surowców odbywa się drogą lądową z wykorzystaniem samochodów ciężarowych.
- Komponenty farb drukarskich pochodzą z obszaru krajów Unii Europejskiej oraz spoza krajów członkowskich.
- Podróż właściciela marki do drukarni w ramach uczestnictwa w akceptacji procesu drukowania, została również uwzględniona, jednak na potrzeby badania zaliczono 50% emisji z podróży w przypadku wydruku próbnego na podłożu docelowym.

Charakterystyka papieru jako podłoża służącego do procesu drukowania oraz sposób i metody korekt maszynowych pochodzą z konkretnego projektu. Jest to torebka papierowa firmy FRoSTA AG, której projekt został zrealizowany w 2020 r. Kontynuacja tego projektu następowała w latach kolejnych oraz ulegała modyfikacjom, głównie poprzez zastosowanie różnego typu podłoży papierowych. Układ graficzny przedstawiono na rysunku 7.2, natomiast wydruk przemysłowy przedstawiono na rysunku 7.3.



Rys. 7.2. Układ graficzny badanej pracy

Źródło: [257].



Rys. 7.3 Wydruk przemysłowy badanego projektu

Źródło: wykonanie własne.

7.2.1. Unieszkodliwienie odpadów

Unieszkodliwianie odpadów wszystkich użytych w procesie przygotowania produkcji materiałów, odbywa się według ustandaryzowanego schematu. Podstawą są określone kwoty dla recyklingu papieru w Polsce określone na 80% [258]. Dane szczegółowe pobrano z systemu Knomena i stanowią integralną część systemu obliczeniowego Climate3.

Podstawą obliczeń jest uwzględnienie zysku z odzyskanego materiału, zgodnie z kwotami recyklingu, a także zysku energetycznego pochodzącego z procesu spalania z częściowym odzyskiem energii. Po stronie nakładów, niezbędne są wydatki związane z gromadzeniem i transportem odpadów, zapotrzebowaniem energetycznym w procesie recyklingu, oraz innymi nakładami, aż do momentu produkcji papieru w zakładzie papierniczym.

Ponadto ujemne emisje pochodzące z unieszkodliwienia odpadów w drodze ich spalania i składowania określonej części materiału produkcyjnego, również wykazywane zostały w niniejszym opracowaniu.

W przypadku systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, odpady podlegają wyłącznie procesowi spalania z częściowym odzyskiem energii elektrycznej. Ze względu na specyfikę wytwarzania wydruku próbnego, nie jest możliwe poddanie materiału procesowi recyklingu czy odzysku surowców.

7.2.2. Podstawa modelowania oraz obliczenia danych

Wykorzystane w poniższym zestawieniu dane pochodzą z następujących źródeł:

- Współczynniki oddziaływania na środowisko są przeliczane zgodnie z opracowania The Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2013 [67]. Wartości energii pochodzą z opracowania, Global Emission Model for Integrated Systems GEMIS 5.1 [242] [259]. Dane zostały pobrane i zaimplementowane w systemie Climate3 jako źródła branżowe w celu wykonania kalkulacji emisji środowiskowych oraz toksykologicznych przedmiotowej pracy (Tab. 7.2).

Tabela 7.2 Zestawienie źródeł emisji klimatycznych ze źródeł energii

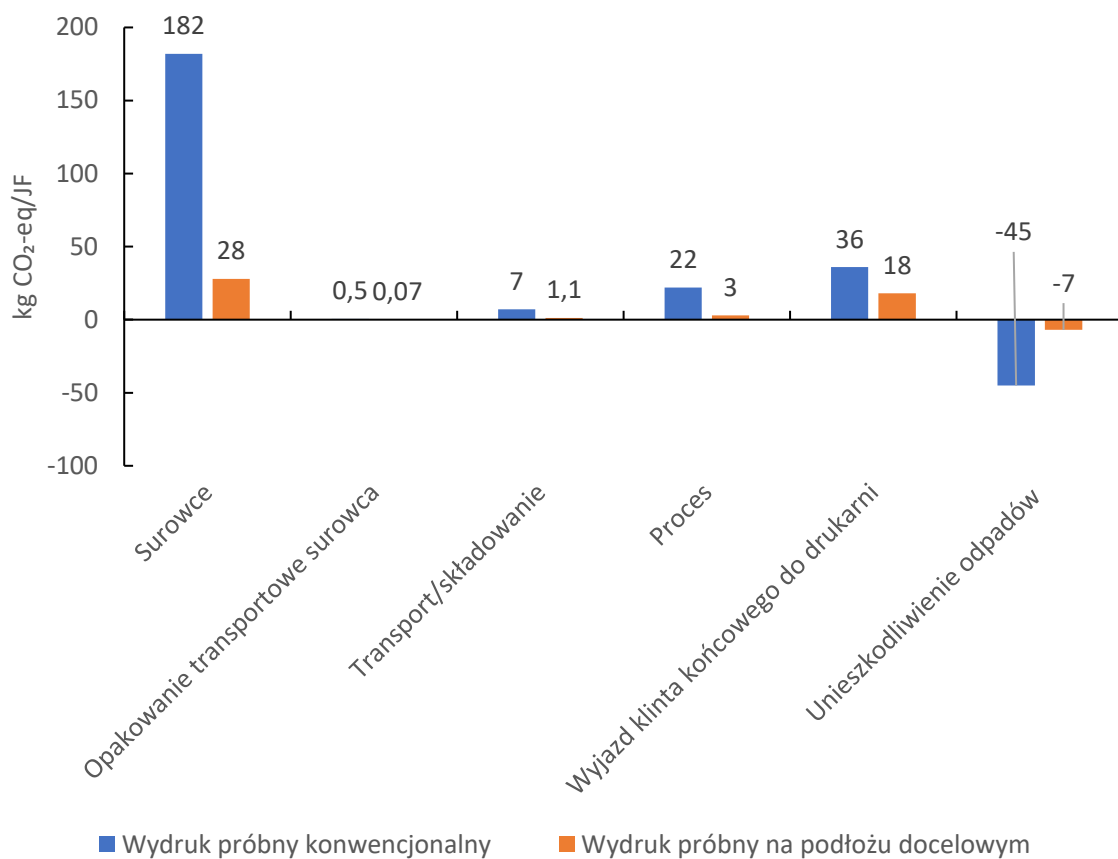
	kg CO ₂ -e/kWh	kg CO ₂ /kWh	kg CH ₄ /kWh	kg N ₂ O/kWh	kg PFC 4/kWh	kg PFC 116/kWh
Energia elektryczna dla Polski	7,80 x 10 ⁻¹	7,36 x 10 ⁻¹	1,14 x 10 ⁻³	3,67 x 10 ⁻⁵	4,22 x 10 ⁻⁹	5,38 x 10 ⁻¹⁰
Olej napędowy	3,04 x 10 ⁻¹	2,92 x 10 ⁻¹	1,24 x 10 ⁻⁴	3,10 x 10 ⁻⁵	1,22 x 10 ⁻⁹	1,54 x 10 ⁻¹⁰
Olej opałowy	2,34 x 10 ⁻¹	2,26 x 10 ⁻¹	2,30 x 10 ⁻⁴	4,79 x 10 ⁻⁶	8,55 x 10 ⁻¹⁰	1,09 x 10 ⁻¹⁰
Gaz ziemny	3,40 x 10 ⁻¹	3,36 x 10 ⁻¹	1,10 x 10 ⁻⁴	3,65 x 10 ⁻⁶	8,45 x 10 ⁻¹⁰	1,08 x 10 ⁻¹⁰

Źródło: dane z kalkulatora Climate3 — LCA [259]

- Pozostałe dane zostały zaczerpnięte z opracowania, ecoinvent 3.10 (*cut off model*). Przetwarzanie danych w strukturach wejścia/wyjścia odbywa się w systemie Climate3-LCA. Informacje techniczne oraz dane źródłowe przechowywane są z poszczególnego etapu procesu i potwierdzone literaturą źródłową.

7.3. Wyniki badań

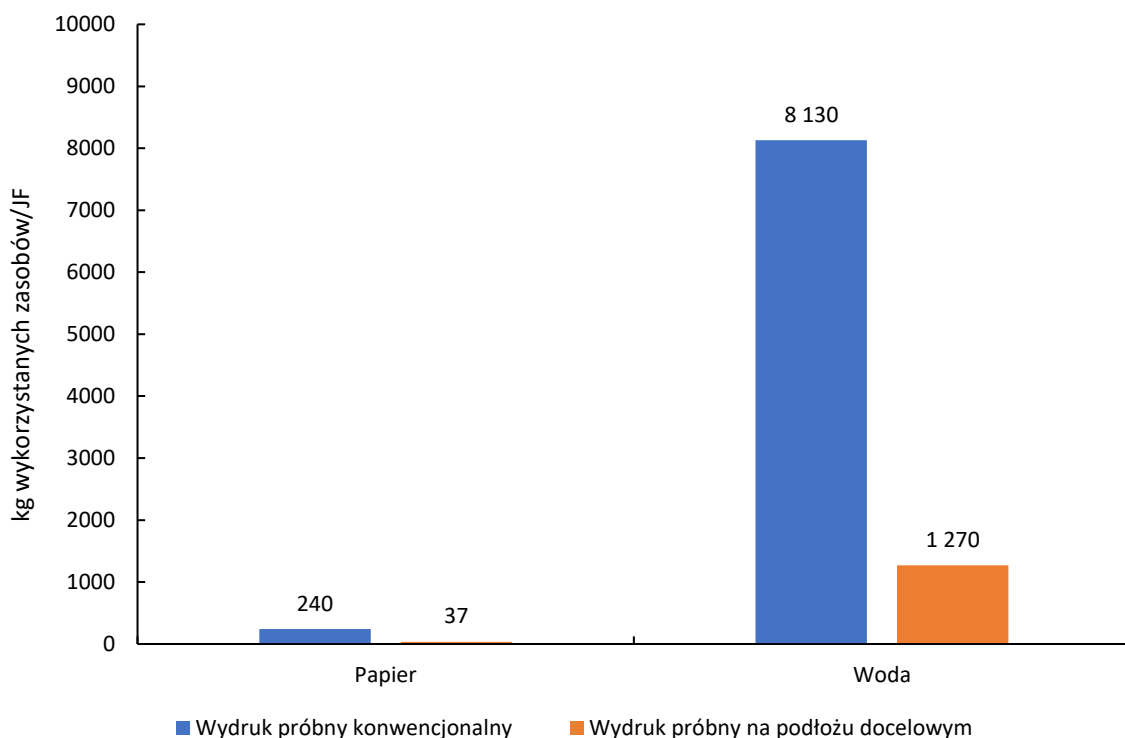
Suma emisji CO₂-eq w drodze przygotowania procesu drukowania według systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym osiąga wartość sześciokrotnie mniejszą w porównaniu z systemem wydruku próbnego konwencjonalnego (Rys. 7.4). Niewątpliwie największą zaletą systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jest konsumpcja surowców. Różnica między badanymi procesami wskazuje ponad sześciokrotnie niższe zapotrzebowanie na surowce dla systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym (28 kg CO₂-eq/JF) w porównaniu z systemem wydruku próbnego konwencjonalnego (182 kg CO₂-eq/JF).



Rys. 7.4 Zestawienie porównawcze wyników badań dla obu procesów

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

Przedmiotowe sumy wielkości strumienia zanieczyszczeń, są oceniane w pełnym łańcuchu przepływu produktu, zgodnie z zakresem badania, w każdym aspekcie procesu produkcji: prąd elektryczny, produkcja papieru lub farb itd.



Rys. 7.5 Analiza porównawcza zużycia wody oraz zapotrzebowania na papier w odniesieniu do obu systemów wydruków próbnych

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

Badanie LCA obu procesów (Rys. 7.5) potwierdza, iż system wydruku próbnego na podłożu docelowym wymaga użycia ponad sześciokrotnie mniejszej ilości papieru (37 kg/JF) w przebiegu akceptacji procesu drukowania z udziałem właściciela marki w porównaniu z konwencjonalnym systemem wydruku próbnego (240 kg/JF). System wydruku próbnego na podłożu docelowym charakteryzuje się również ponad sześciokrotnie niższym zapotrzebowaniem na wodę (8130 kg/JF) w porównaniu do procesu wydruku próbnego konwencjonalnego (1270 kg/JF).

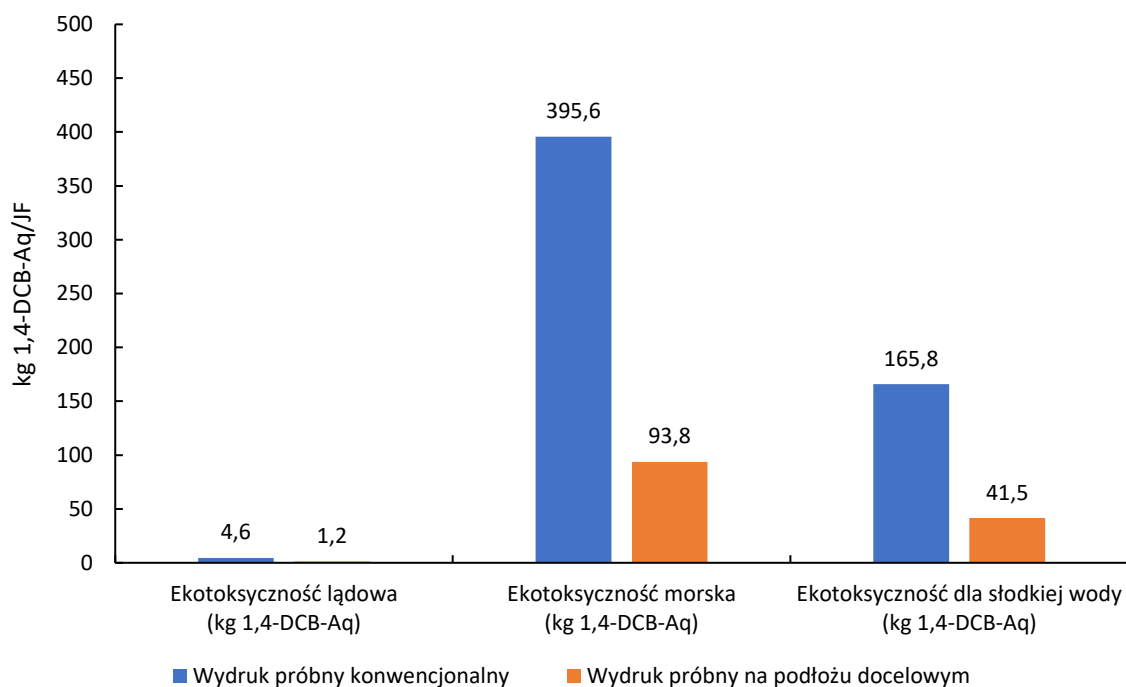
Poza jakże istotnymi aspektami emisji zanieczyszczeń pochodzących z procesów produkcyjnych oraz generowaniem odpadów poprodukcyjnych, należy wspomnieć o obszarze toksykologii środowiska przyrodniczego.

Jako podstawę referencyjną dla kalkulacji toksyczności systemów dla środowiska zastosowano substancję 1,4-dichlorobenzen (DCB³²).

³² <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/1-4-dichlorobenzene>

W odniesieniu do niniejszego badania, można stwierdzić, iż wpływ systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym na toksyczność wobec środowiska jest znacząco niższy w porównaniu z systemem wydruku próbnego konwencjonalnego. Dzięki zastosowanemu rozwiązaniu wydruku próbnego na podłożu docelowym, które pozwala na ocenę wzoru graficznego opakowania z zastosowaniem podłoża produkcyjnego, oceniający grafikę właściciel marki, posiada narzędzie pozwalające na znaczącą redukcję ilości korekt maszynowych, w związku z czym zmniejsza się ilość zużytych zasobów.

Z badania wynika, iż system wydruku próbnego na podłożu docelowym, w sposób szczególny wpływa na ograniczenie toksyczności morskiej (Rys. 7.6). Wielkość emisji wyrażonych w kilogramach 1,4-DCB-Aq, układa się na poziomie 93,8 kg 1,4-DCB-Aq, podczas gdy w przypadku systemu wydruku próbnego konwencjonalnego emisje wynoszą 395,6 kg 1,4-DCB-Aq. Różnica toksyczności na korzyść systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jest czterokrotnie niższa. W przypadku toksyczności lądowej różnice nie są już tak znaczące, lecz wciąż z korzyścią płynącą w kierunku systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym i charakteryzują się czterokrotnie niższą emisją. Dla systemu konwencjonalnego jest to wartość 4,6 kg 1,4-DCB-Aq, a dla systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jest to wartość 1,2 kg 1,4-DCB-Aq. Ponownie różnicę emisji zauważyć można w przypadku toksyczności dla wody słodkiej. W przypadku systemu konwencjonalnego wielkość emisji toksyczności wynosi 165,8 kg 1,4-DCB-Aq, natomiast dla systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym wartość ta układa się na poziomie 41,5 kg 1,4-DCB-Aq, co ponownie stanowi czterokrotnie niższą wartość dla systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym.



Rys. 7.6 Analiza porównawcza wpływu ekotoksyczności obu systemów na środowisko lądowe, morskie oraz wody słodkiej

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

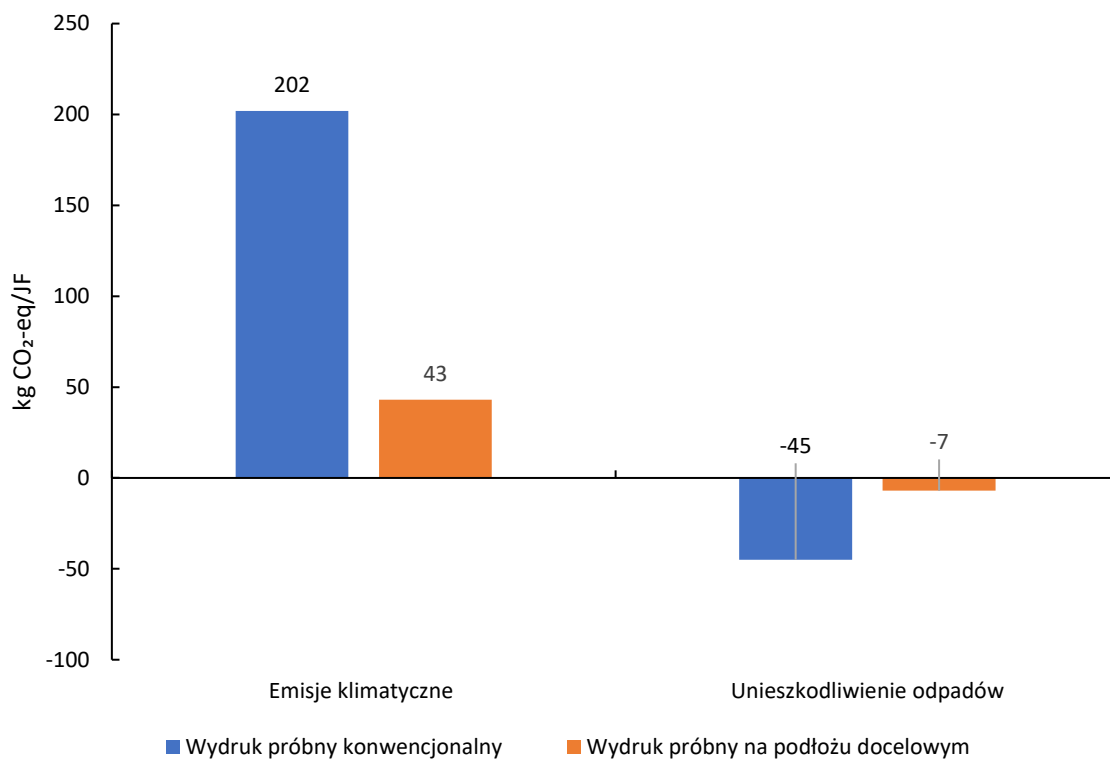
Przygotowanie do procesu drukowania wzoru graficznego, stosując metodę wydruku próbnego na podłożu docelowym, powoduje emisję CO₂-eq na poziomie 43 kg CO₂-eq/JF.

W celu oszacowania wpływu na środowisko systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, równolegle dokonano bilansowania tradycyjnego systemu wydruku próbnego, opartego na wykorzystaniu dedykowanego, białego papieru proofingowego, który powoduje emisję CO₂-eq na poziomie 202 kg CO₂-eq/JF.

Emisje klimatyczne w fazie przygotowania procesu drukowania przemysłowego z wykorzystaniem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, przyczynia się do zmniejszenia emisji CO₂-eq ponad czterokrotnie, w porównaniu z konwencjonalnym systemem wydruku próbnego, na co wskazuje analiza poniższego rysunku 7.7.

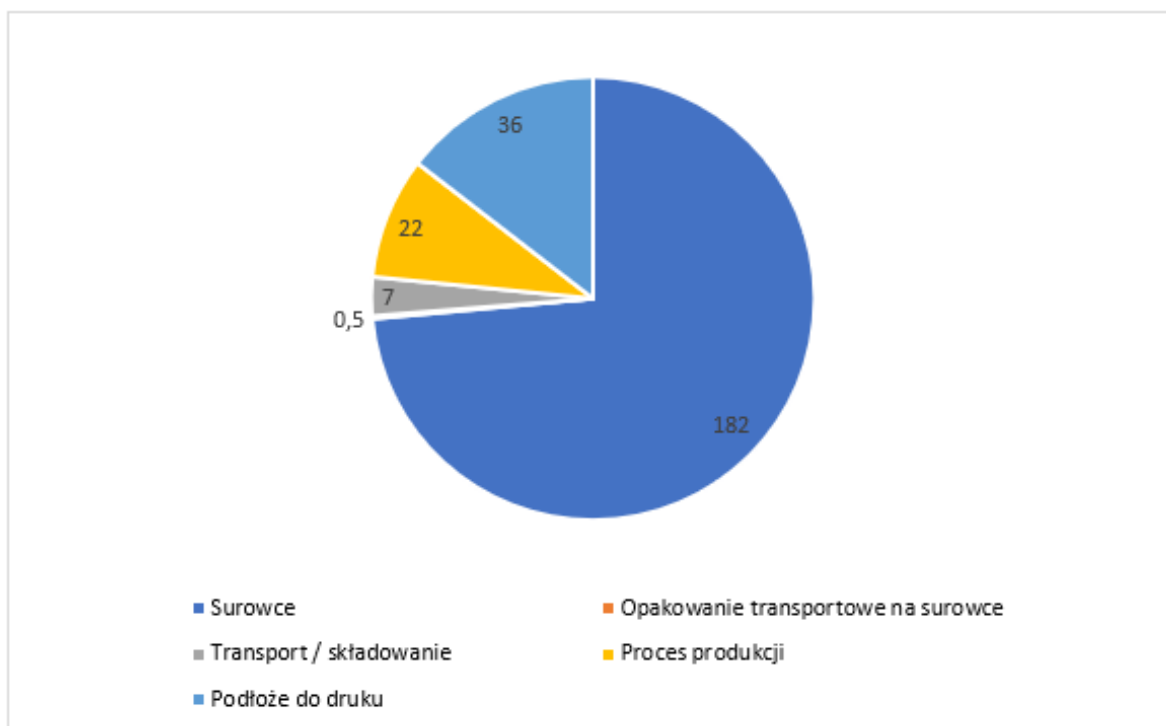
Suma emisji środowiskowych dla obu systemów wynosi:

- System wydruku próbnego konwencjonalnego: 202 kg CO₂-eq/JF
- System wydruku próbnego na podłożu docelowym: 43 kg CO₂-eq/JF



Rys. 7.7 Porównanie emisji klimatycznych oraz kredytów z recyklingu odpadów

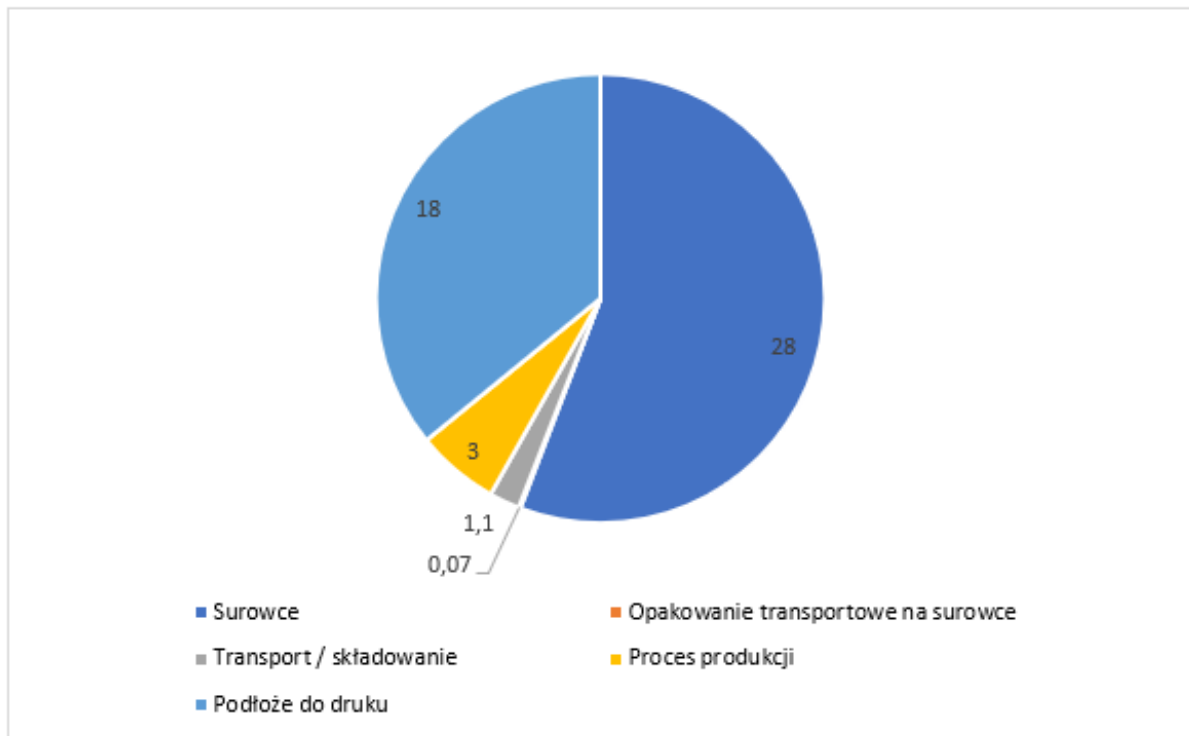
Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.



Rys. 7.8 Rozłożenie emisji środowiskowych z podziałem na obszary kalkulacji dla systemu wydruku próbnego konwencjonalnego (w kg CO₂-eq)

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

Z rysunku 7.8 wynika, że w przypadku konwencjonalnego systemu wydruku próbnego największy udział w emisjach środowiskowych ma zużycie surowców, które stanowi aż 182 kg CO₂-eq całkowitej sumy emisji. Dla porównania, w systemie wydruku próbnego na podłożu docelowym (Rys. 7.9) udział ten wynosi jedynie 28 kg CO₂-eq, czyli jest sześć i pół razy mniejszy niż w systemie konwencjonalnym.



Rys. 7.9 Rozłożenie emisji środowiskowych z podziałem na obszary kalkulacji dla systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym (w kg CO₂-eq)

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

Analiza wyników badań (tabela 7.3) wskazuje, że zarówno zużycie papieru 240 kg, jak i wody 8130 kg w konwencjonalnym systemie wydruku próbnego jest ponad sześciokrotnie wyższe w porównaniu z wydrukiem próbnym realizowanym na podłożu docelowym, dla którego zużycie wody wynosi 1270 kg, a zużycie papieru wynosi 37 kg.

Tabela 7.3 Stosunek różnicy zużycia papieru oraz wody przez badane systemy wydruków próbnych

Zasoby	Wydruk próbny konwencjonalny	Wydruk próbny na podłożu docelowym
Zużycie papieru (kg)	240	37
Zużycie wody (kg)	8 130	1 270

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

7.4. Badanie czułości

Wielkości emisji zanieczyszczeń w obu badanych metodach przygotowania produkcji poligraficznej, charakteryzują się dużymi różnicami wyników. Zmiana jednego z parametrów systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym lub systemu wydruku próbnego konwencjonalnego, nie spowoduje powstania znaczących różnic z punktu widzenia opracowania i założeń badawczych w odniesieniu do wielkości otrzymanych wyników.

7.5. Omówienie wyników

Wyniki przeprowadzonych badań dowodzą, że system wydruku próbnego na podłożu docelowym, poprzez usprawnienie jakim jest, wykorzystanie podłoża produkcyjnego w celu przygotowania wydruku próbnego oraz znaczące skrócenie czasu niezbędnego do uzyskania oczekiwanej przez klienta kolorystyki na maszynie drukarskiej, umożliwia ponad sześciokrotne ograniczenie zużycia kluczowych surowców, takich jak woda i materiały produkcyjne. Jednocześnie, zastosowanie tej technologii pozwala na około sześciokrotne zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, co jest szczególnie istotne w kontekście trwającego kryzysu energetycznego oraz rosnącej świadomości ekologicznej dotyczącej konieczności redukcji emisji zanieczyszczeń atmosferycznych.

W Polsce, a także w wybranych krajach europejskich, obserwuje się zjawisko narastającego deficytu słodkiej wody powierzchniowej [260] [261], co prowadzi do częstszego występowania susz hydrologicznych i glebowych [262]. W tym kontekście należy podkreślić, że system wydruku próbnego na podłożu docelowym charakteryzuje się znacząco mniejszym zapotrzebowaniem na wodę w porównaniu do tradycyjnych metod wydruku próbnego. Dzięki

jego wdrożeniu, możliwa jest realizacja strategii racjonalnego gospodarowania zasobami wodnymi, osiągając tym samym konkretne korzyści środowiskowe.

System wydruku próbnego na podłożu docelowym nie tylko pozwala na zmniejszenie zużycia zasobów w postaci wody, energii elektrycznej oraz papieru, ale przede wszystkim pozwala na znaczącą redukcję emisji gazów cieplarnianych, które są bezpośrednią przyczyną ocieplania się klimatu [263]. Według założeń Unii Europejskiej kluczowym jest zredukowanie emisji gazów cieplarnianych do roku 2030 o 55% z w porównaniu z poziomami z roku 1990 [264]. Natomiast Unia Europejska planuje osiągnięcie zerowej emisji klimatycznej netto do roku 2050. Aby osiągnąć neutralność klimatyczną musi dojść do zrównoważenia emisji środowiskowych wyrażonych w wartości CO₂ z ich absorpcją przez środowisko [265].

Aspekty globalnego ocieplenia są poważnym problemem współczesnego świata, który poprzez swoje działania przyczynia się do drastycznego wzrostu temperatury na planecie. System wydruku próbnego na podłożu docelowym stał się narzędziem nie tylko poligraficznym, pozwalającym na szybką ocenę i akceptację projektu podczas akceptacji zadruku, lecz też stanowi narzędzie w drodze redukcji śladu węglowego, który przyczynia się do wzrostu temperatury w odniesieniu lokalnym oraz globalnym.

Całościowa analiza wskazuje, iż holistyczne podejście procesów produkcji poligraficznej do ochrony środowiska, przejawiające się we wdrażaniu bardziej zrównoważonych i wydajnych rozwiązań technologicznych, takich jak system wydruku próbnego na podłożu docelowym, stanowi istotny krok w kierunku redukcji negatywnego wpływu działalności przemysłowej na środowisko. Dotyczy to zarówno ograniczenia zużycia wody, jak i zmniejszenia emisji zanieczyszczeń związanych z produkcją. Dodatkowo, redukcja zużycia papieru przekłada się bezpośrednio na poprawę stanu zasobów naturalnych.

7.6. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań empirycznych jednoznacznie wskazują na wiele korzyści wynikających z przyjętej przez firmę Chespa strategii rozwoju technologicznego i środowiskowego, której centralnym elementem jest wdrożenie innowacyjnego systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym. Zidentyfikowane efekty wskazują, że przyjęta przez przedsiębiorstwo ścieżka transformacji procesów produkcyjnych przyczynia się w sposób

mierzalny do redukcji negatywnego wpływu działalności przemysłowej na środowisko naturalne.

System wydruku próbnego na podłożu docelowym, jako zintegrowane rozwiązanie wspomagające proces przygotowania do procesu drukowania, odgrywa kluczową rolę w minimalizacji zużycia zasobów naturalnych, w tym przede wszystkim papieru, energii elektrycznej oraz wody, ale również minimalizuje zużycie farb drukarskich, lakierów, środków chemicznych służących myciu i konserwacji maszyn drukujących, co potwierdzają badania [266]. Dzięki wdrożeniu tego systemu, możliwe stało się znaczne ograniczenie ilości generowanych odpadów produkcyjnych, co w dalszej perspektywie przekłada się na redukcję emisji związanych z unieszkodliwieniem odpadów oraz transportem surowców wtórnych. Jednocześnie, system ten znacząco optymalizuje zużycie energii w cyklu przygotowania procesu drukowania, umożliwiając bardziej efektywne wykorzystanie zasobów energetycznych, a tym samym zmniejszenie śladu węglowego.

Warto również podkreślić aspekt organizacyjny i czasowy – zastosowanie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym pozwala na istotne skrócenie czasu realizacji projektów, poprzez wyeliminowanie potrzeby fizycznej obecności właściciela marki w zakładzie drukarskim w celu akceptacji wzoru. W rezultacie zwiększona została nie tylko efektywność pracy, lecz również zmniejszono zużycie energii i emisje związane z transportem i logistyką, co należy traktować jako kolejny element wpływający pozytywnie na bilans środowiskowy przedsięwzięcia.

Zintegrowane podejście do wdrażania rozwiązań technologicznych, opartych na zasadach zrównoważonego rozwoju, pozwala skutecznie łączyć cele gospodarcze z troską o przyszłość środowiska naturalnego. Dzięki wdrożeniu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, firma wyraźnie pozycjonuje się jako lider innowacyjnych praktyk w sektorze poligraficznym, wyznaczając kierunek transformacji ekologicznej dla całej branży. Zasluguje to na uznanie nie tylko w kontekście działalności gospodarczej, lecz również z perspektywy społecznej odpowiedzialności biznesu (ang. *Corporate Social Responsibility, CSR*³³), której jednym z filarów jest aktywna ochrona zasobów naturalnych [267].

³³ <https://www.parp.gov.pl/csr>

Dodatkowo, zastosowana w ramach analiz metodyka oceny obciążenia środowiskowego może stanowić podstawę dla dalszych badań w zakresie projektowania narzędzi wspierających podejmowanie decyzji w obszarze zrównoważonego rozwoju. Jej potencjał aplikacyjny dotyczy nie tylko branży poligraficznej, ale również innych sektorów przemysłowych, dla których istotne jest znalezienie równowagi pomiędzy efektywnością ekonomiczną a odpowiedzialnością ekologiczną zgodnych z koncepcją *lean manufacturing* [268].

W świetle powyższych ustaleń można stwierdzić, że działania w zakresie implementacji systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym stanowią przykład dobrych praktyk w obszarze innowacji środowiskowych i mogą być wzorem dla innych podmiotów przemysłowych dążących do zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko naturalne. Integracja rozwiązań technologicznych z priorytetami środowiskowymi i społecznymi pozostaje nie tylko wyzwaniem, lecz przede wszystkim koniecznością we współczesnym modelu prowadzenia działalności gospodarczej w warunkach zmieniającego się klimatu i wyczerpywania się zasobów naturalnych.

Rozdział 8. Analiza środowiskowa systemu wydruków próbnych – testy przedprodukcyjne

8.1. Streszczenie

W badaniu przedstawiono analizę potencjalnego, negatywnego wpływu procesu przygotowania produkcji poligraficznej na środowisko naturalne. Szczególną uwagę poświęcono etapowi testów przedprodukcyjnych, które wiążą się z intensywnym zużyciem surowców, energii oraz generowaniem odpadów. W odpowiedzi na współczesne wyzwania środowiskowe i rosnące znaczenie zrównoważonego rozwoju, przebadano alternatywne rozwiązanie technologiczne, jakim jest system wydruku próbnego na podłożu docelowym. Porównano wpływ obu metod na środowisko naturalne, wskazując potencjalne korzyści ekologiczne i ekonomiczne.

Współczesny przemysł poligraficzny, mimo postępującej cyfryzacji i automatyzacji, nadal wiąże się z istotnym zużyciem zasobów naturalnych oraz emisją zanieczyszczeń. Szczególnie newralgicznym etapem w kontekście wpływu na środowisko jest faza przygotowania procesu drukowania, w którym realizowane są w określonych przypadkach testy przedprodukcyjne. Ich celem jest weryfikacja jakości odwzorowania projektu graficznego oraz dopasowanie parametrów technologicznych do specyfikacji materiałowej.

Proces ten, choć niezbędny z punktu widzenia zapewnienia jakości produktu końcowego, wiąże się z koniecznością przygotowania pełnego zestawu narzędzi drukarskich, takich jak fleksograficzne formy fotopolimerowe do druku, odpowiednio dobrane farby, wykrojniki, a także proces drukowania bazujący na właściwym surowcu produkcyjnym. Testy wykonywane są z zachowaniem pełnego reżimu technologicznego, tożsamego z warunkami komercyjnego procesu drukowania, co skutkuje dużym zużyciem energii elektrycznej i wody, emisją gazów i pyłów oraz generowaniem znacznej ilości odpadów.

Negatywne oddziaływanie testów przedprodukcyjnych na środowisko naturalne nasila się szczególnie w przypadku złożonych projektów graficznych lub w sytuacjach, gdy zadrukowywany materiał charakteryzuje się specyficznymi właściwościami fizykochemicznymi, utrudniającymi proces drukowania lub akceptacji wzoru przez właściciela marki. Tego rodzaju

realizacje wymagają niejednokrotnie kilku cykli testowych, co proporcjonalnie zwiększa ilość zużywanych surowców i energii.

Zużyte materiały eksploatacyjne i próbki testowe, z uwagi na brak możliwości ponownego wykorzystania, kierowane są najczęściej do unieszkodliwienia termicznego z częściowym odzyskiem energii lub do procesów recyklingu. Należy jednak zaznaczyć, iż każdy taki proces niesie ze sobą dodatkowe obciążenie dla środowiska w postaci emisji związków chemicznych i zużycia energii. Co więcej, aspekty ekonomiczne związane z przygotowaniem prób, w tym koszt surowców, energii oraz pracy, stanowią istotną pozycję w ogólnym bilansie kosztów produkcyjnych.

W odpowiedzi na wcześniej omawiane wyzwania środowiskowe i ekonomiczne, opracowano nowoczesny system wydruku próbnego na podłożu docelowym.

Główną cechą tego rozwiązania jest przeniesienie procesu wydruku próbnego poza zasadniczy cykl produkcyjny. Dzięki zastosowaniu specjalistycznych urządzeń służących do wykonania wydruku próbnego na podłożu docelowym możliwe jest odwzorowanie rzeczywistego efektu końcowego na właściwym materiale bez konieczności angażowania linii produkcyjnej w celu przygotowania testowego procesu drukowania. Rozwiązanie to znacząco ogranicza zużycie surowców, energii, farb oraz emisję odpadów i zanieczyszczeń. Co więcej, wydruk próbny realizowany w tym modelu wykazuje wysoką powtarzalność i precyzję odwzorowania barw, co redukuje potrzebę wielokrotnego wykonywania testów.

Porównanie konwencjonalnych metod testów przedprodukcyjnych z wydrukiem próbnym na podłożu docelowym pozwala na dokonanie obiektywnej oceny ich wpływu na środowisko naturalne. W szczególności, analiza uwzględniająca wskaźniki zużycia energii, wody, emisji CO₂ oraz ilości generowanych odpadów wskazuje na wyraźną przewagę opisywanego systemu.

Ograniczenie liczby testów realizowanych na liniach produkcyjnych przekłada się na zmniejszenie zużycia materiałów eksploatacyjnych oraz redukcję kosztów operacyjnych. Dodatkowo, poprawa efektywności przygotowania produkcji wpływa pozytywnie na całkowity ślad środowiskowy przedsiębiorstwa, co wpisuje się w strategię zrównoważonego rozwoju oraz wymogi środowiskowe stawiane przez kontrahentów i instytucje regulacyjne.

8.2. Metodyka wykonania obliczeń

Podstawą bilansowania środowiskowego niniejszych obliczeń są międzynarodowe normy oceny cyklu życia (EN ISO 14040:2021 i EN ISO 14044:2021³⁴) oraz EN ISO 14067:2019³⁵ (śląd węglowy produktu) i ślad środowiskowy produktu (ang. *product environmental footprint, PEF*). Zasady kalkulacji są tożsame z zasadami, które przyjęto w obliczeniach badania opisywanego w rozdziale szóstym niniejszej pracy.

8.2.1. Cel badania

W niniejszym badaniu przeprowadzono szczegółową analizę porównawczą systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym względem testów przedprodukcyjnych. Celem analizy było określenie wpływu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym na środowisko naturalne w kontekście przygotowania materiałów poligraficznych do procesu drukowania fleksograficznego.

Zakres bilansowania klimatycznego obejmował następujące etapy:

- Produkcję materiałów do procesu drukowania.
- Wytwarzanie farb drukarskich oraz materiałów opakowaniowych, ich składowanie i transport.
- Realizację właściwego procesu drukowania.
- Dystrybucję wydruku próbnego do właściciela marki.

Na wszystkich etapach procesu uwzględniono również aspekty związane z recyklingiem wykorzystanych materiałów opakowaniowych.

8.2.2. Jednostka funkcjonalna

W kontekście założonych celów badawczych niniejszego badania, jednostka funkcjonalna (JF) została określona jako finalny etap procesu technicznego przygotowania wzoru, umożliwiający jego zwolnienie do procesu drukowania. Dla potrzeb obliczeniowych związanych z realizacją badania przyjęto, że materiałem bazowym wykorzystywanym do procesu drukowania jest jednowarstwowa powłoka folii białego polietylenu (PE), przy czym

³⁴ <https://gielda-odpadow.pl/strefa-wiedzy/norma-iso-14040-14044-ocena-cyklu-zycia-lca/>

³⁵ <https://www.dqsglobal.com/pl-pl/certyfikacja/weryfikacja-iso-14067>

zastosowano parametry techniczne w postaci obwodu wałka formowego wynoszącego 250 mm oraz szerokości rolki ustalonej na 495 mm.

8.2.3. Jakość danych

W kalkulacji przyjęto zasadę, iż dane pochodzą ze źródeł pierwotnych.

Surowce użyte do przygotowania wydruku próbnego na podłożu docelowym pochodzą z danych pierwotnych firmy Chespa, natomiast emisje zanieczyszczeń po stronie drukarni pochodzą z zasobów firmy Climate3 i stanowią integralną część kalkulatora śladu węglowego opracowanego przez firmę Climate3.

Poszczególne zbiory danych, na podstawie których obliczane są ekwiwalenty CO₂ dla materiałów, źródeł energii, magazynowania, transportu, recyklingu itp., znajdują się w centralnej bazie danych firmy Climate3 i są integralną częścią systemu kalkulacji śladu węglowego. Zapewnia to rzetelność danych oraz chroni przed potencjalną możliwością powstania rozbieżności w wartości danych. Ponadto, jeżeli dostępne są odpowiednie dane, bierze się również pod uwagę szczególne odniesienie geograficzne. Odniesienie technologiczne odpowiada aktualnemu stanowi wiedzy producenta lub innych dostawców.

8.2.4. Granice systemu

Ślad węglowy produktu, służy do rejestracji wszystkich emisji gazów cieplarnianych, które występują w procesie produkcyjnym badanego produktu jakim jest porównanie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym do testów przedprodukcyjnych. Istotnym jest porównanie obu systemów względem siebie, ponieważ wyniki cyklu życia produktu mogą być różne w zależności od zastosowanych danych. Granice systemu uwzględniają proces testu nowego wzoru opakowania lub elementów skomplikowanych od chwili rozpoczęcia oceny grafiki do momentu zaakceptowania pracy na poziomie zadowalającym dla właściciela marki.

Porównując dane opisujące granice systemowe dla testów przedprodukcyjnych (Tabela 8.1), z granicami systemowymi dla wydruku próbnego na podłożu docelowym (Tabela 8.2) można wyciągnąć wniosek, iż dzięki zastosowaniu wydruku próbnego na podłożu docelowym testowanie skomplikowanych elementów grafiki lub nowego wzoru graficznego opakowania odbywać się może na etapie wydruku próbnego, bez konieczności podróży

właściciela marki na testowy proces drukowania do drukarni. Tę informację znaleźć można w etapie „zakres współpracy z klientem końcowym”.

Tabela 8.1 Granice systemowe testów przedprodukcyjnych

Etap oceny cyklu	Zakres działania
Surowce / Opakowania	Surowce <ul style="list-style-type: none"> • Procesy produkcji; farby oraz folia PE biała • Opakowanie produktu • Produkcja form drukowych
	Opakowania (wtórne i trzeciorzędowe materiały opakowaniowe) <ul style="list-style-type: none"> • Produkcja • Przechowywanie • Transport • Opakowanie transportowe surowca opakowaniowego
Transport surowców	<ul style="list-style-type: none"> • Przechowywanie, składowanie, magazynowanie • Transport środkami lądowymi
Proces produkcyjny	<ul style="list-style-type: none"> • Przygotowanie pliku graficznego (DTP) • Proces drukowania • Czyszczenie i konserwacja maszyny drukującej • Recykling surowca PE białego • Unieszkodliwienie resztek farbowych • Odzysk rozpuszczalników • Unieszkodliwienie form drukowych
Zakres współpracy z klientem końcowym	<ul style="list-style-type: none"> • Akceptacja projektu graficznego przed zadrukiem • Wyjazd klienta do drukarni w celu akceptacji zadruku

Źródło: wykonanie własne

Tabela 8.2 Granice systemowe wydruku próbnego na podłożu docelowym

Etap oceny cyklu	Zakres działania
Surowce / Opakowania	Surowce <ul style="list-style-type: none"> • Procesy produkcji; farby oraz folia PE biała • Opakowanie produktu
	Opakowania (wtórne i trzeciorzędowe materiały opakowaniowe) <ul style="list-style-type: none"> • Produkcja • Przechowywanie • Transport • Opakowanie transportowe surowca opakowaniowego
Transport surowców	<ul style="list-style-type: none"> • Przechowywanie, składowanie, magazynowanie • Transport środkami lądowymi
Proces produkcyjny	<ul style="list-style-type: none"> • Przygotowanie pliku graficznego (DTP) • Proces drukowania • Unieszkodliwienie odpadów w drodze spalania • Unieszkodliwienie resztek farbowych z układu maszyny drukującej
Zakres współpracy z klientem końcowym	<ul style="list-style-type: none"> • Akceptacja projektu graficznego przed zadrukiem

Źródło: wykonanie własne.

Oznacza to, iż dzięki wykorzystaniu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, nie jest konieczne przygotowanie testów przedprodukcyjnych, które stanowią wyzwanie dla produkcji poligraficznej pod kątem unieszkodliwiania odpadów oraz konsumpcji

zasobów, ale także pozwala na eliminację udziału właściciela marki w procesie drukowania testu przedprodukcyjnego, ponieważ proces testowania odbywa się na etapie wydruku próbnego.

W przypadku testu przedprodukcyjnego oszacowano, na podstawie badanego wzoru, konieczność podróży właściciela marki z miejsca pracy do drukarni. Odległość ta to 200 km z biura do drukarni oraz 200 km z drukarni do biura w drodze powrotnej. Dla opisanej wielkości oraz średniego spalania ropy naftowej (ON) na poziomie 6 l/100 km obliczono emisję klimatyczną dla badanego testu na 72,32 kg CO₂-eq. Natomiast w przypadku wydruku próbnego na podłożu docelowym wymagana jest jedynie wysyłka wydruku próbnego na podłożu docelowym w celu jego zatwierdzenia.

Dla rzetelnego określenia emisji środowiskowych, przyjęto, iż właściciel marki w procesie drukowania testowego może potencjalnie wprowadzić korekty barwne wzoru, co nazwano trzema pętlami. Dla dostawy trzech wydruków próbnych na podłożu docelowym, przy wykorzystaniu usługi kurierskiej, można przyjąć sumaryczną emisję środowiskową na poziomie 0,83 kg CO₂-eq. Posiadając powyższe dane można stwierdzić, iż dzięki zastosowaniu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, wyłącznie w zakresie uczestnictwa właściciela marki w procesie drukowania testowego powiązany z testem przedprodukcyjnym w porównaniu do systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, emisje zanieczyszczeń są o osiemdziesiąt trzy razy niższe na korzyść systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym.

8.2.5. Metodyka oraz przegląd krytyczny

Bilansowanie środowiskowe przeprowadzono zgodnie z wytycznymi zawartymi w normach EN ISO 14040:2021 („Zasady i struktura”) [251] oraz EN ISO 14044:2021 („Wymagania i wytyczne”) [252], które stanowią podstawę metodyki oceny cyklu życia (ang. *Life Cycle Assessment, LCA*). W ramach przyjętego celu oraz zakresu opracowania, szczególny nacisk położono na analizę wpływu badanych metod na nasilenie efektu cieplarnianego.

Do oceny oddziaływań środowiskowych zastosowano wskaźnik potencjału globalnego ocieplenia (ang. *Global Warming Potential, GWP*) [253], przyjmując horyzont czasowy wynoszący 100 lat, zgodnie z rekomendacjami standardów LCA [269].

Analizę oparto na danych empirycznych zgromadzonych przez system Climate3-LCA z ponad 150 przeprowadzonych studiów typu PCF (ang. *Product Carbon Footprint*) oraz LCA, przy wykorzystaniu baz danych ecoinvent w wersji 3.10 oraz Gemis 5.1. Ze względu na zastosowanie bilansowania na podstawie danych pochodzących z wyżej wymienionych norm, nie jest wymagany przegląd krytyczny.

8.2.6. Alokacja

W niniejszym opracowaniu przyjęto alokację opartą na kryterium ilościowym. W odniesieniu do unieszkodliwiania materiałów opakowaniowych zastosowano zasadę równomiernego podziału odpowiedzialności (50/50), co uzasadnia prowadzenie procesu recyklingu przez dostawcę w systemie otwartego obiegu.

Emisje generowane podczas transportu i składowania materiałów zostały przypisane proporcjonalnie, z uwzględnieniem stopnia załadunku palety. W dalszych etapach obliczeniowych uwzględniono masę przypisaną do pełnej objętości jednej jednostki ładunkowej.

W analizowanym przypadku za parametr odniesienia przyjęto objętość jednostki ładunkowej, tj. palety. Dla przykładu, standardowy samochód logistyczny dysponuje przestrzenią ładunkową odpowiadającą 33 miejscom paletowym. Każda z tych palet może mieć jednak różną masę – od około 200 kg do nawet 800 kg [270]. Oznacza to, że liczba palet pozostaje stała (33 jednostki), natomiast ich masa całkowita może się znacząco różnić. W konsekwencji, zużycie paliwa przez pojazd wzrasta proporcjonalnie do masy przewożonego ładunku, co oznacza, że przy pełnym załadunku paletami o masie 800 kg, spalanie będzie istotnie większe niż w przypadku ładunku o mniejszej masie jednostkowej.

8.2.7. Ograniczenia

Procesy przygotowania do procesu drukowania omawiane w niniejszym badaniu charakteryzują się specyficznymi składnikami materiałowymi oraz są realizowane w określonym ciągu technologicznym, dla którego oszacowano wartość śladu węglowego CO₂-eq. W związku z tym, wyniki przedstawionych badań odnoszą się wyłącznie do wskazanych metod przygotowania do druku i nie mogą być traktowane jako uniwersalne zasady, które odnoszą się do całokształtu procesu produkcji poligraficznej. Z tego względu, uzyskane wyniki

nie powinny być stosowane do szacowania śladu węglowego produktów w kontekście innych struktur i technologii druku niż te, które zostały opisane w niniejszym badaniu.

8.3. Modelowanie

W analizie cyklu życia uwzględniono następujące założenia, które mogły oddziaływać na uzyskane wyniki:

- Tworzywa sztuczne oraz substancje wykorzystywane w analizowanym procesie pochodzą z krajów Unii Europejskiej.
- Transport surowców realizowany jest za pomocą pojazdów ciężarowych.
- Komponenty farb drukarskich pozyskiwane są zarówno z państw członkowskich Unii Europejskiej, jak i spoza jej obszaru.
- Przygotowanie projektu graficznego do procesu drukowania testowego oraz wydruku próbnego na podłożu docelowym opiera się na komputerowej obróbce pliku graficznego za pomocą odpowiedniego oprogramowania graficznego.
- W obu analizowanych procesach czas przeznaczony na przygotowanie plików wynosi trzy godziny robocze.

8.3.1. Proces przygotowania wydruku próbnego na podłożu docelowym

System wydruku próbnego na podłożu docelowym został zaprezentowany i wdrożony do powszechnego użytku w firmie Chespa w drugiej połowie 2019 r. Efektywność tego systemu została udokumentowana zarówno na drodze badań laboratoryjnych, jak i testów przeprowadzonych w ramach wewnętrznych procedur firmy, a także potwierdzona praktycznym zastosowaniem w regularnym procesie produkcyjnym. Wydruk próbny na podłożu docelowym okazał się szczególnie skuteczny w przypadku trudnych w procesie drukowania motywów oraz materiałów wymagających specyficznych właściwości, takich jak folie z metaliczną warstwą barierową, aluminium, brązowy papier typu kraftliner, tektura lita z metaliczną warstwą uszlachetniającą, a także materiały transparentne, gdzie stosuje się wybiórczą aplikacją białej farby.

Należy jednak zauważyć, że istnieją pewne ograniczenia związane z zastosowaniem systemu, szczególnie w przypadku bardzo skomplikowanych wzorów. W takich sytuacjach, mimo wątpliwości co do efektywności, konieczne staje się przeprowadzenie co najmniej

jednego testu przedprodukcyjnego. W przypadku nowych wzorów graficznych lub wymiany szaty graficznej marki, liczba wymaganych testów przedprodukcyjnych została określona na jeden test przedprodukcyjny co dwadzieścia wzorów graficznych. Na podstawie danych empirycznych firmy Chespa ustalono, że średnia liczba nowych projektów graficznych wymiany szaty graficznej marki wynosi dwadzieścia wzorów, co sprawia, że proces przedprodukcyjny uwzględnia jeden test na każde dwadzieścia wzorów. W związku z tym, całość nakładu testu przedprodukcyjnego jest wliczana do obliczeń związanych z danym procesem produkcyjnym.

Przygotowanie wydruku próbnego odbywa się na cyfrowej maszynie drukującej, która wyposażona jest w strefowy blat grzewczy, umożliwiający szybsze odparowanie rozpuszczalnika z powierzchni zadrukowanego materiału. W opracowaniu uwzględniono zużycie energii elektrycznej na każdym etapie produkcji wydruku próbnego. Gotowe wydruki próbne są następnie pakowane i wysyłane do właściciela marki za pośrednictwem firmy kurierskiej. W analizie uwzględniono również obciążenie środowiskowe związane z etapem przygotowania wydruku próbnego do wysyłki oraz usługę kurierską.

8.3.2. Proces przygotowania testu przedprodukcyjnego

W trakcie prowadzenia obliczeń związanych z przygotowaniem testu przedprodukcyjnego, założono konieczność przeprowadzenia co najmniej dwóch testów w drukarni. Testy te mają szczególne znaczenie w przypadku nowych, skomplikowanych projektów graficznych lub projektów wymiany szaty graficznej projektów. Celem testów przedprodukcyjnych jest identyfikacja potencjalnych problemów związanych z jakością procesu drukowania, co pozwala na optymalizację procesu przed rozpoczęciem regularnej produkcji. Po ich zakończeniu, pliki są uznawane za gotowe do procesu drukowania i przekazywane do drukarni. W niniejszym badaniu szczegółowo rozliczono wydatki surowcowe związane z opisanymi procesami.

Do przeprowadzonych badań wybrano folię polietylenową (PE) białą o gramaturze 40 g/m² i szerokości 1 m. W tej szerokości mieszczą się dwa powtórzenia wzoru graficznego o szerokości 495 mm po szerokości, co daje sumarycznie 990 mm, natomiast dziesięć milimetrów niezadrukowane stanowi naddatek, który w przypadku projektu komercyjnego będzie podlegał usunięciu w procesie konfekcjonowania. Ilość materiału została dobrana w sposób, który zapewnia osiągnięcie pożądaných rezultatów. W przypadku folii polietylenowej (PE), obliczona

została pełna ścieżka produkcji, obejmująca zarówno wytwarzanie granulatu, jak i proces ekstruzji folii.

Ogólna receptura farb rozpuszczalnikowych została dostarczona przez producenta farb drukarskich, w tym informacje o pigmentach, rozpuszczalnikach oraz dodatkach do spoiw. Szczegółowa receptura farby stanowi integralną część kalkulatora firmy Climate3 – LCA. Farbę z systemu mieszalnego dozowaną do metalowych wiader transportuje się na drewnianych paletach za pomocą samochodów ciężarowych.

Skład chemiczny fleksograficznych form fotopolimerowych wykorzystywanych w badaniach, przyjęto na podstawie danych zawartych w literaturze przedmiotu [247] [248] [249].

W analizie uwzględniono odległość transportu surowców, wynoszącą 300 km od producenta do drukarni oraz czas przechowywania magazynowego materiałów w warunkach temperatury pokojowej, który wynosi 8 dni.

W opracowaniu uwzględniono również emisje związane z procesem produkcji drukarskiej. Do najistotniejszych źródeł emisji zalicza się: surowce wykorzystywane procesie drukowania, zużycie energii elektrycznej oraz konsumpcję farb drukarskich, wraz z procesem ich suszenia. Ponadto, obliczono odzysk rozpuszczalnika w procesie destylacji oraz emisje wynikające z procesu spalania resztek oparów, uwzględniając teoretyczną wartość opałową rozpuszczalnika.

W przypadku testów przedprodukcyjnych, ocena wyników procesu drukowania próbnego dokonywana jest osobiście przez właściciela marki lub jego przedstawiciela w drukarni. W ramach przeprowadzonego badania przyjęto, że właściciel marki odbywa podróż służbową z siedziby firmy do drukarni, przy czym odległość między tymi miejscami oszacowano sumarycznie na 200 km. W analizowanym scenariuszu nie uwzględniono udziału przedstawicieli agencji kreatywnej ani studia reprograficznego w etapie druku próbnego.

8.3.3. Unieszkodliwienie odpadów

Proces unieszkodliwiania odpadów powstających w trakcie przygotowania materiałów produkcyjnych realizowany jest zgodnie z ustalonymi normami i schematami operacyjnymi. W Polsce główne metody gospodarowania odpadami obejmują recykling tworzyw sztucznych (21,2%), częściowy odzysk energii (35,2%) oraz składowanie odpadów (43,6%) [271]. Dane

literaturowe w kwestii recyklingu odpadów z tworzyw sztucznych są nieściśle. Kwoty recyklingu podawane są w przedziałach od 30 do nawet 10% [272]. Według Parlamentu Europejskiego według, którego podzielono recykling Unii Europejskiej na poszczególne kraje członkowskie wskazuje, iż dla Polski kwota recyklingu nieznacznie przekracza 10% [103].

Analiza efektywności tych metod opiera się głównie na obliczeniach związanych z odzyskiem materiałów, które podlegają recyklingowi, oraz na korzyściach energetycznych wynikających z procesu spalania odpadów produkcyjnych. W kontekście kosztów, uwzględniane są wydatki związane z transportem i gromadzeniem odpadów, zapotrzebowaniem na energię w procesie recyklingu oraz innymi wydatkami, aż do uzyskania granulatu i nowej folii.

Ponadto, w niniejszym badaniu uwzględniono wpływ emisji gazów cieplarnianych wynikających ze spalania oraz składowania określonej części odpadów produkcyjnych, które mają charakter negatywny, jednak także są monitorowane w ramach procesu.

W przypadku stosowania systemu wydruku próbnego na docelowych podłożach, produkty uboczne procesu wytwarzania wydruku próbnego są unieszkodliwiane w wyniku procesu spalania z częściowym odzyskiem energii.

8.3.4. Podstawa modelowania oraz obliczenia danych

Wykorzystane w poniższym zestawieniu dane pochodzą z określonych źródeł. Współczynniki oddziaływania na środowisko są przeliczane zgodnie z opracowania: *the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC³⁶) 2013 [67]. Wartości energii pochodzą z opracowania: *Global Emission Model for Integrated Systems* GEMIS 5.1 [242] [259]. Dane zostały pobrane i zaimplementowane w systemie Climate3 jako źródła branżowe w celu wykonania kalkulacji emisji środowiskowych oraz toksykologicznych przedmiotowej pracy (Tabela 8.3).

³⁶ <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Tabela 8.3 Zestawienie źródeł emisji klimatycznych ze źródeł energii

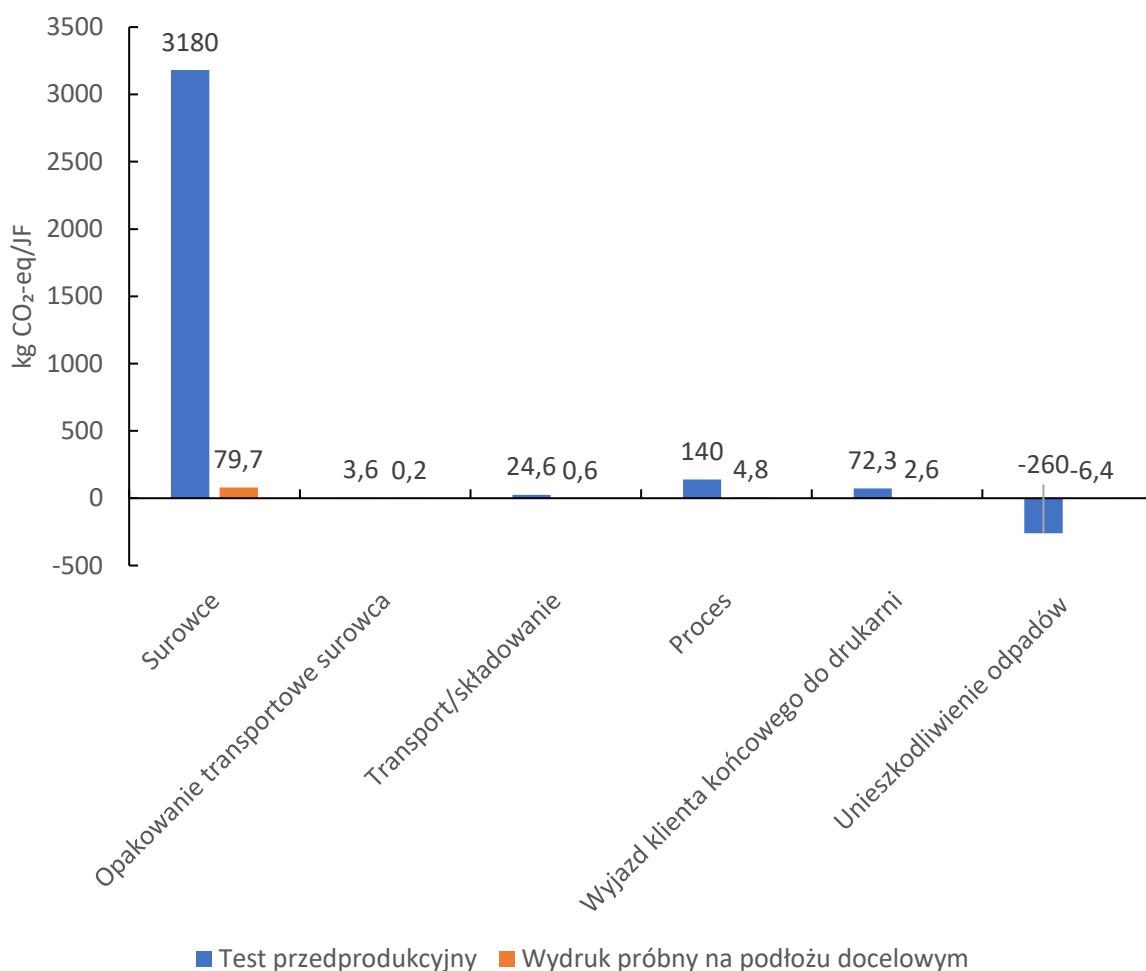
	kg CO ₂ -e/kWh	kg CO ₂ /kWh	kg CH ₄ /kWh	kg N ₂ O/kWh	kg PFC 4/kWh	kg PFC 116/kWh
Energia elektryczna dla Polski	7,80 x 10 ⁻¹	7,36 x 10 ⁻¹	1,14 x 10 ⁻³	3,67 x 10 ⁻⁵	4,22 x 10 ⁻⁹	5,38 x 10 ⁻¹⁰
Olej napędowy	3,04 x 10 ⁻¹	2,92 x 10 ⁻¹	1,24 x 10 ⁻⁴	3,10 x 10 ⁻⁵	1,22 x 10 ⁻⁹	1,54 x 10 ⁻¹⁰
Olej opałowy	2,34 x 10 ⁻¹	2,26 x 10 ⁻¹	2,30 x 10 ⁻⁴	4,79 x 10 ⁻⁶	8,55 x 10 ⁻¹⁰	1,09 x 10 ⁻¹⁰
Gaz ziemny	3,40 x 10 ⁻¹	3,36 x 10 ⁻¹	1,10 x 10 ⁻⁴	3,65 x 10 ⁻⁶	8,45 x 10 ⁻¹⁰	1,08 x 10 ⁻¹⁰

Źródło: dane z kalkulatora Climate3-LCA [259]

Pozostałe dane zostały zaczerpnięte z opracowania: ecoinvent 3.10 (*cut off model*). Przetwarzanie danych w strukturach wejścia/wyjścia odbywa się w systemie Climate3-LCA. Informacje techniczne oraz dane źródłowe przechowywane są z każdego etapu procesu i potwierdzone literaturą źródłową.

8.4. Wyniki

Wyniki badań dotyczące emisji pochodzących z przygotowania grafiki metodą wydruku próbnego na podłożu docelowym w porównaniu do testów przedprodukcyjnych przedstawiono na rysunku 8.1. Analizując wyniki można stwierdzić, iż metoda wydruku próbnego na podłożu docelowym pozwala na redukcję zużycia surowców służących do produkcji o niemal czterdzieści razy w porównaniu do metody testów przedprodukcyjnych. Zużycie polietylenu (PE) białego w celu wykonania wydruku próbnego na podłożu docelowym generuje 79,7 kg CO₂-eq, podczas gdy metoda polegająca na przygotowaniu testów przedprodukcyjnych wymaga zużycia surowca, w takiej ilości, która w przeliczeniu na ekwiwalent emisji wygeneruje 3180 kg CO₂-eq.



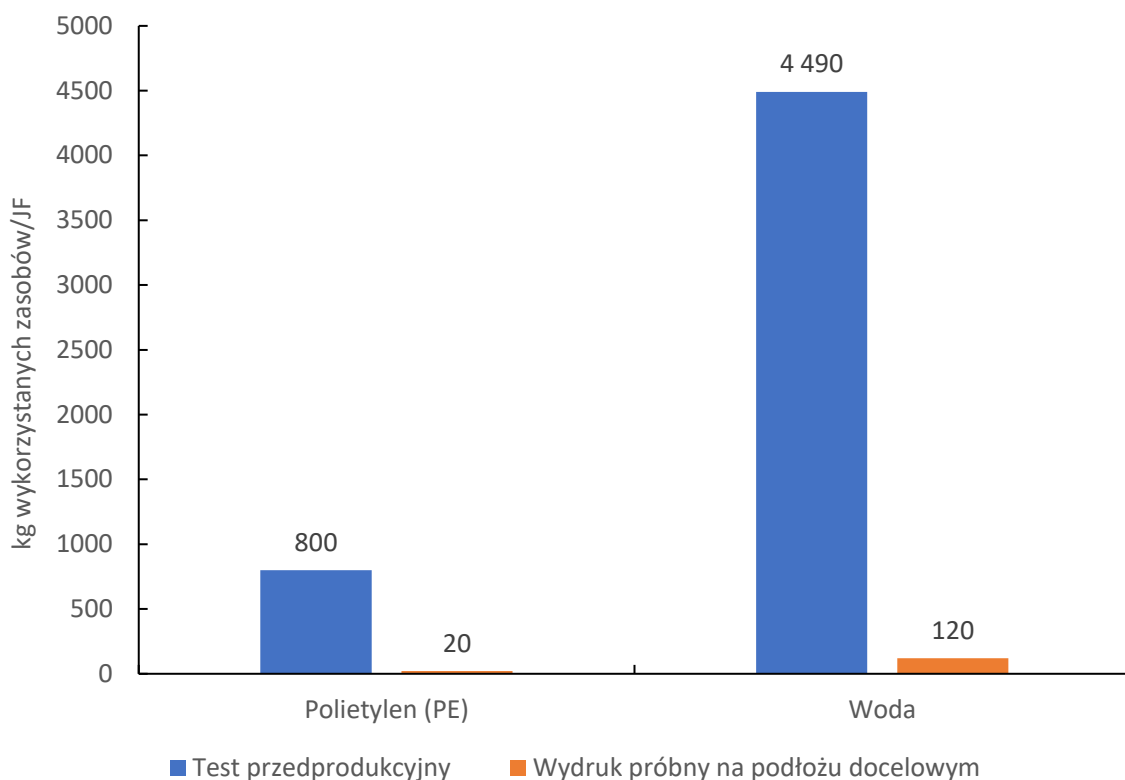
Rys. 8.1 Zestawienie porównawcze obliczonych ekwiwalentów emisji dla testu przedprodukcyjnego oraz systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

Należy również wspomnieć, iż sam proces przygotowania prób w przypadku obu metod znacząco różni się od siebie pod względem emisji środowiskowych. W przypadku testów przedprodukcyjnych procesy generują o dwadzieścia dziewięć razy większe emisje w porównaniu do systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym. W ramach procesów pod uwagę wzięto: konsumpcję energii elektrycznej na procesy produkcji oraz mycia i konserwacji maszyn, zużyte farby do druku oraz odzysk rozpuszczalnika w przypadku testów przedprodukcyjnych. Dla systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym emisje środowiskowe osiągają wartość 4,8 kg CO₂-eq, natomiast w przypadku testów przedprodukcyjnych wartość ta osiąga kwotę 140 kg CO₂-eq.

W procesie przygotowania wzoru graficznego przy użyciu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym (800 kg/JF zużycia PE i 4490 kg/JF zużycia wody), emisja CO₂-eq jest o

czterdzieści razy mniejsza niż w przypadku testów przedprodukcyjnych (20 kg/JF zużycia PE i 120 kg/JF zużycia wody). Jedną z kluczowych zalet systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jest o czterdzieści razy mniejsze zużycie tworzywa sztucznego (Rys. 8.2), jakim jest polietylen (PE).

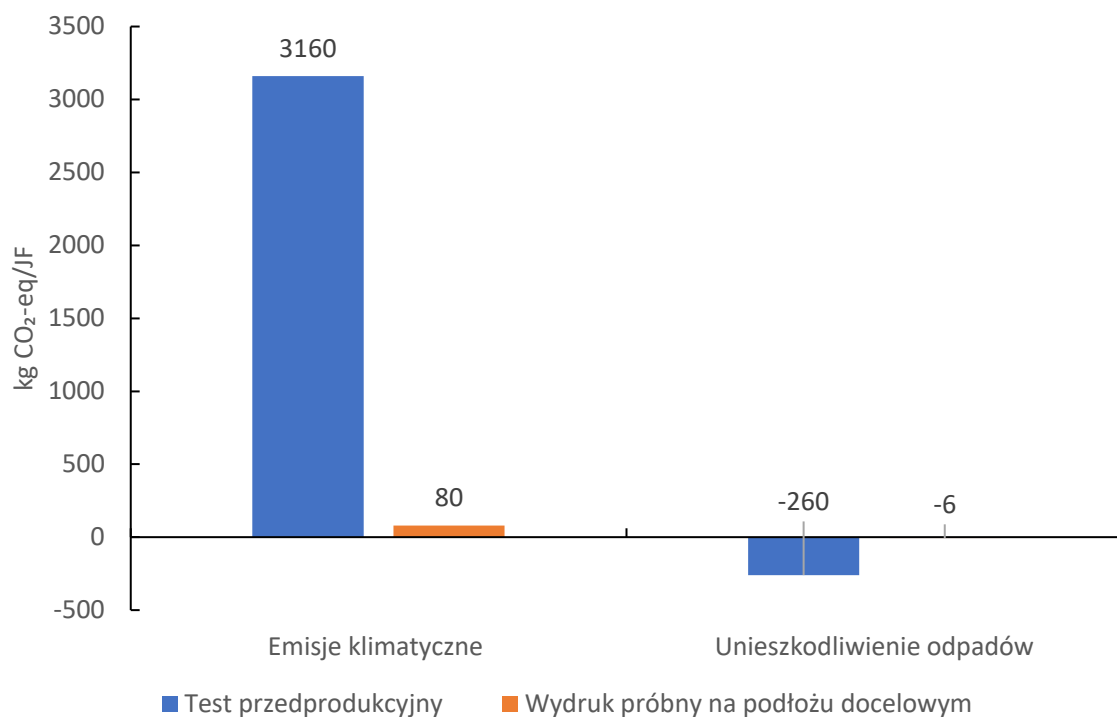


Rys. 8.2 Analiza porównawcza zużycia wody oraz zapotrzebowania na tworzywo sztuczne polietylen (PE) w odniesieniu do obu systemów testowania

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

W wyniku zastosowania wydruku próbnego na podłożu docelowym, całkowita emisja gazów cieplarnianych wyniosła 80 kg CO₂-eq na jednostkę funkcjonalną. W porównaniu do testu przedprodukcyjnego jest to wartość o niemal czterdzieści razy niższa, ponieważ emisje gazów cieplarnianych w tym przypadku wynoszą 3160 kg CO₂-eq. Szczegółowy rozkład emisji przypisanych poszczególnym etapom procesu został przedstawiony na rysunku 8.3. Na tymże rysunku zaprezentowano kwoty unieszkodliwiania odpadów. Dla testu produkcyjnego unieszkodliwienie odpadów sięga -260 kg CO₂-eq, podczas gdy dla systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym wielkość ta jest przeszło sześć razy niższa i wynosi -6 kg CO₂-eq.

Przeprowadzona analiza dostarcza wartościowych danych umożliwiających ocenę środowiskową alternatywnych metod przygotowania materiałów poligraficznych, wspierając tym samym decyzje projektowe w obszarze zrównoważonego rozwoju w sektorze opakowań.

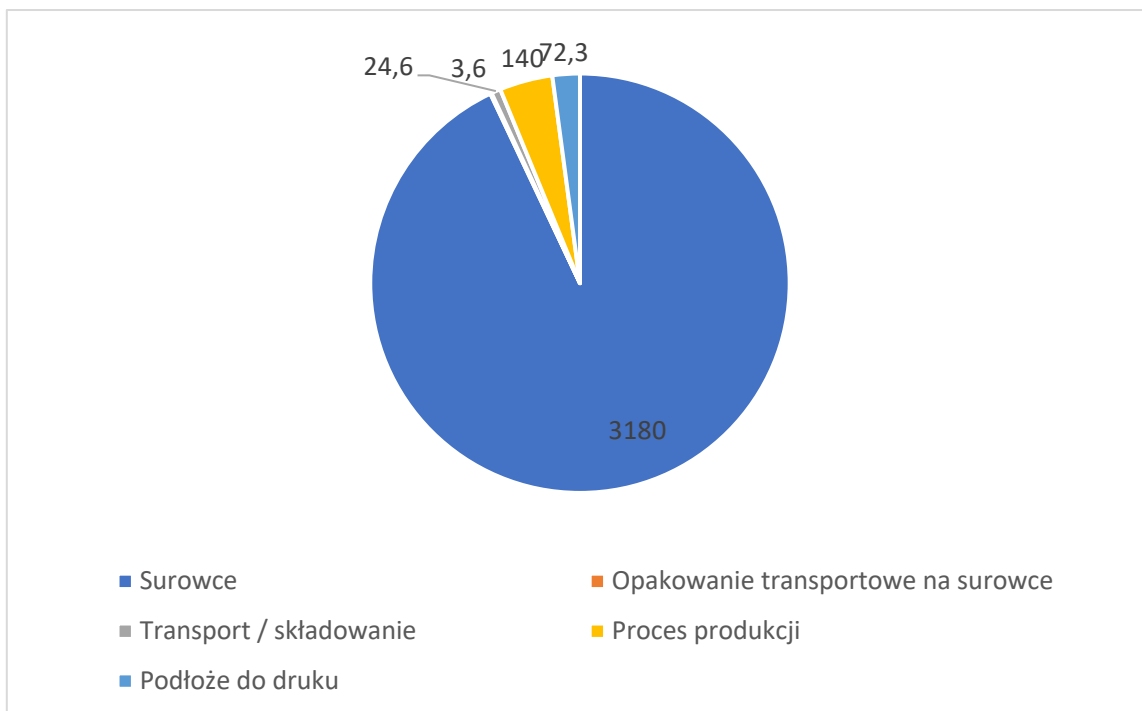


Rys. 8.3 Porównanie emisji klimatycznych oraz kredytów z recyklingu odpadów

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

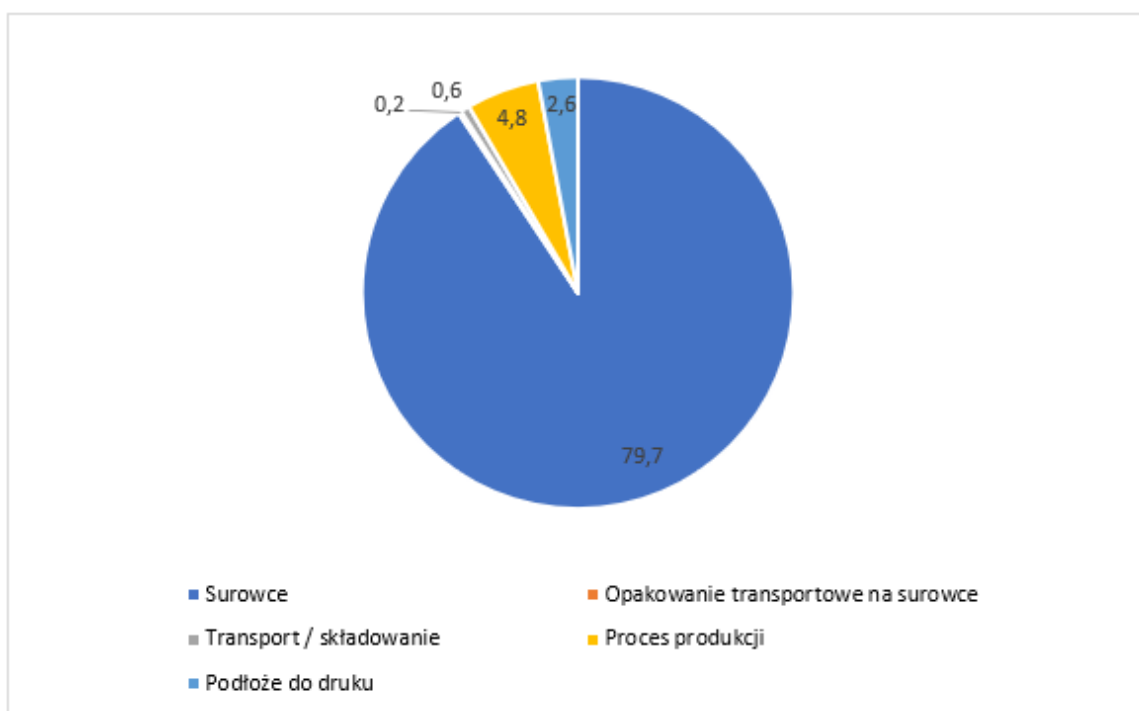
W celu oszacowania wpływu na środowisko systemu wydruku próbnego na podłożach docelowych, równoległe dokonano bilansowania testu przedprodukcyjnego.

Z rysunku 8.4 wynika, że w przypadku testu przedprodukcyjnego największy udział w emisjach środowiskowych ma zużycie surowców, które stanowi aż 3180 kg CO₂-eq całkowitej sumy emisji. Dla porównania, w systemie wydruku próbnego na podłożu docelowym (Rys. 8.5) udział ten wynosi jedynie 79,7 kg CO₂-eq, czyli jest o czterdzieści razy mniejszy niż w systemie konwencjonalnym.



Rys. 8.4 Rozłożenie emisji środowiskowych z podziałem na obszary procesu dla testu przedprodukcyjnego (w kg CO₂-eq)

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.



Rys. 8.5 Rozłożenie emisji środowiskowych z podziałem na obszary procesu dla systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym (w kg CO₂-eq)

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3

Emisje klimatyczne w fazie przygotowania druku przemysłowego z wykorzystaniem systemu wydruku próbnego na podłożach docelowych zmniejszają emisję CO₂-eq czterdziestokrotnie w porównaniu z konwencjonalnym testem przedprodukcyjnym. Test przedprodukcyjny określono jako druk nakładowy projektu na podłożu docelowym. Wielkość nakładu określono jako 10 000 metrów bieżących wstęgi materiału, jakim jest polietylen (PE) biały o gramaturze 40 g/m² oraz szerokości 495 mm i obwodzie wałka formowego 250 mm. Taka ilość surowca daje 400 kg materiału, lecz w celu rzetelnego przeprowadzenia badania niezbędnym było powtórzenie testu, co sumarycznie przyczyniło się do osiągnięcia zużycia surowca na poziomie 800 kg polietylenu (PE) białego. Dla systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, wykorzystano identyczny surowiec w celu wykonania wydruku próbnego. W celach badawczych zastosowano trzy powtórzenia wydruku próbnego, w formie pętli poprawkowych. Format wydruku próbnego określono na 0,60 m² x 0329 m² x 30 g/m². Dla podanej ilości surowca uzyskano wartość zużytego surowca na 0,034 g. Ponadto po procesie doboru barw wzoru oraz przetestowaniu elementów trudnych do przewidzenia, uwzględniono w badaniu konieczność dopracowania projektu na maszynie drukarskiej, a ilość surowca na dopasowanie parametrów określono na 20 kg. Sumaryczna konsumpcja surowca dla systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym wyniosła 20,034 kg. W celu wierniejszego zobrazowania skali emisji obliczono ekwiwalent dwutlenku węgla dla obu technologii. Wielkość emisji zanieczyszczeń dla testu przedprodukcyjnego osiągnęła wartość 2964 kg CO₂-eq wyłącznie dla surowca jakim jest biały polietylen (PE). Natomiast kwota emisji zanieczyszczeń dla wydruku próbnego na podłożu docelowym osiągnęła wielkość 20,034 kg CO₂-eq wyłącznie dla surowca jakim jest biały PE. Zużycie wody w przypadku testu przedprodukcyjnego wynosi 4490 kg, natomiast zużycie wody w przypadku wydruku próbnego na podłożu docelowym wynosi 120 kg. Rozkład wagowy emisji z podziałem na komponenty procesu dla wydruku próbnego na podłożu docelowym oraz komponenty dla testu przedprodukcyjnego przedstawia tabela 8.4.

Tabela 8.4 Zużycie tworzywa sztucznego oraz wody w badanych metodach

Zasoby	Wydruk próbny konwencjonalny	Wydruk próbny na podłożu docelowym
Surowiec PE biały (kg)	800	20
Zużycie wody (kg)	4 490	120

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3

Z powyższego wykresu wynika, iż zużycie wody w przypadku systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jest o ponad trzydzieści siedem razy mniejsza w stosunku do konsumpcji wody przy zastosowaniu testu przedprodukcyjnego.

W kontekście innych wyzwań środowiskowych współczesnego świata, niniejsze badanie zwraca również uwagę na problem zanieczyszczeń mórz i oceanów odpadami, szczególnie z tworzyw sztucznych. Do roku 2050 w morzach odpady z tworzyw sztucznych będą stanowiły przewagę nad ichtiofauną [273], rosnące trudności związane z dostępem do wody w tym wody pitnej [274] [275] oraz powszechne skażenie środowiska plastikiem i mikroplastikiem, który stał się składową pożywienia organizmów wodnych [276]. W kontekście niedoborów wody pitnej na świecie: system wydruku próbnego na podłożu docelowym wykazuje w badanym przypadku, zapotrzebowanie na wodę na poziomie 120 kg wykorzystanych zasobów na jednostkę funkcjonalną, w porównaniu do 4490 kg wykorzystanych zasobów na jednostkę funkcjonalną w przypadku testów przedprodukcyjnych. Metoda wydruku próbnego na podłożu docelowym pozwala zredukować konsumpcję wody o przeszło trzydzieści siedem razy w porównaniu do testów przedprodukcyjnych.

Analiza sumy zanieczyszczeń uwzględnia pełny cykl produkcji, biorąc pod uwagę wszystkie etapy procesu, takie jak zużycie energii elektrycznej, produkcję tworzyw sztucznych czy farb, zgodnie z zakresem badania.

8.5. Badanie czułości

Wielkość emisji zanieczyszczeń różni się znacząco w zależności od wybranej metody przygotowania procesu drukowania. Modyfikacja pojedynczego parametru w systemie wydruku próbnego na podłożu docelowym lub w przypadku testów przedprodukcyjnych nie doprowadzi do istotnych zmian w uzyskanych wynikach, jeśli weźmiemy pod uwagę założenia badawcze i cel analizy.

Pomimo tego, w przeprowadzonym opracowaniu podjęto próbę oceny wpływu poziomu recyklingu polietylenu (PE) na uzyskane rezultaty dla obu metod. W przypadku wykorzystania metody testu przedprodukcyjnego, kluczowym czynnikiem oddziałującym na emisje gazów cieplarnianych oraz odpadów jest rodzaj zastosowanego materiału tworzywa sztucznego, jakim jest polietylen (PE). Ze względu na stosunkowo niski poziom recyklingu polietylenu (PE) w Polsce, wynoszący w zależności od źródła od 10 do 30% [103] [237] [238], korzyści klimatyczne wynikające z jego unieszkodliwiania są znikome.

Jeśli hipotetycznie zakładając, współczynnik recykling polietylenu wzrośnie do 90%, przy założeniu, że pozostała część odpadów ulega spalaniu bez wcześniejszego składowania, spowoduje to zmniejszenie emisji z około -260 do -1040 kg CO₂-eq. Przekłada się to na redukcję emisji w przypadku testów przedprodukcyjnych o około 30%. W odniesieniu do systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, zysk w emisji CO₂-eq wzrośnie z -6 kg do około -27 kg na jednostkę funkcjonalną, co przedstawiono na rysunku 8.6.

Nawet przy założeniu wzrostu poziomu recyklingu polietylenu (PE) z obecnych wartości do 90%, system wydruku próbnego na podłożu docelowym wciąż wykazuje około trzydziestoosmiokrotnie niższą emisję w porównaniu z testem przedprodukcyjnym.



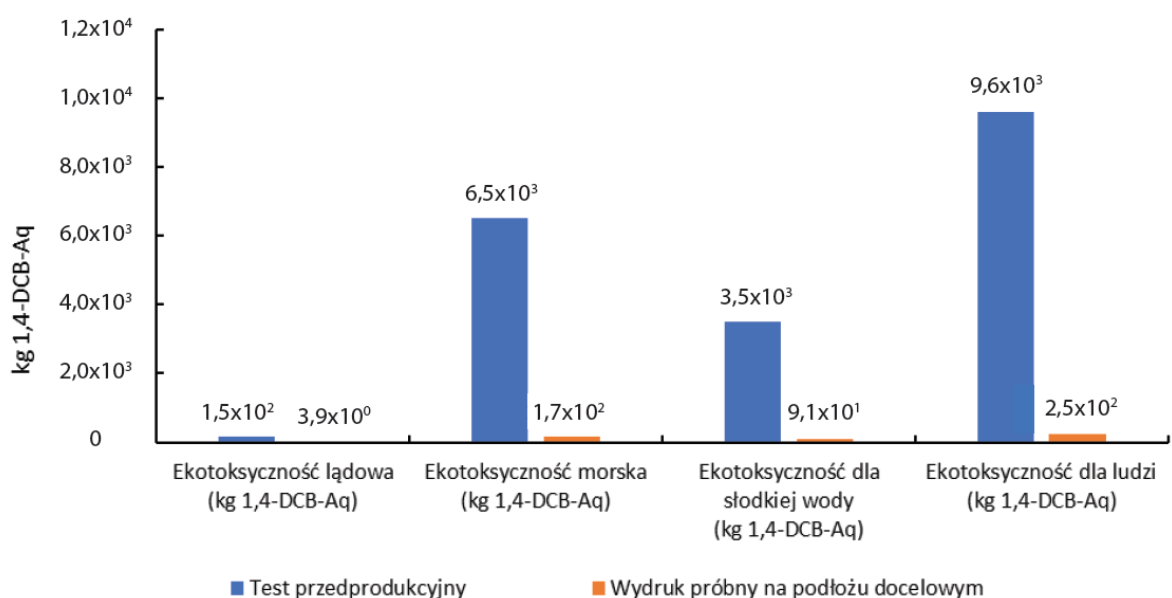
Rys. 8.6 Wzrost poziomu efektywności recyklingu polietylenu (PE) do 90%

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

8.6. Omówienie wyników

W procesie badawczym na podstawie przeprowadzonych analiz wykazano, że największą korzyścią klimatyczną wynikającą z zastosowania systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jest ograniczenie zużycia surowców. Zużycie tworzywa sztucznego w celu przygotowania wydruku próbnego na podłożu docelowym wynosi 0,034 kg polietylenu (PE) oraz 500 m² polietylenu (PE) na ustawienie produkcji podczas procesu drukowania. Ilość polietylenu określono jako trzy pętle poprawkowe przygotowania wydruku próbnego na podłożu docelowym, jako korekty zgłaszane przez właściciela marki. Emisje środowiskowe związane z zastosowaniem systemu wydruku próbnego wynoszą 47,19 kg CO₂-eq. Dla porównania, test przedprodukcyjny charakteryzuje się wysokim zapotrzebowaniem na materiały produkcyjne jakim jest tworzywo sztuczne, zwłaszcza na folię polietylenową (PE) i wynosi 800 kg. Wielkość ta dotyczy dwóch procesów drukowania testowego, każdy o nakładzie 10 000 m bieżących wstęgi polietylenu (PE) o gramaturze 40g/m². Emisje środowiskowe w tym przypadku wynoszą 2964 kg CO₂-eq. W celu przeprowadzenia rzetelnych testów przedprodukcyjnych mających na celu określenie realnych warunków produkcyjnych oraz

ewentualnych zagrożeń wynikających z trudności związanych z procesem projektowania graficznego a co za tym idzie przygotowania pliku reprograficznego lub rodzaju podłoża drukarskiego, konieczne jest wykonanie procesu drukowania na minimum 10 000 m bieżących folii, z zachowaniem pełnych parametrów komercyjnego procesu drukowania oraz technologicznych standardów procesu produkcyjnego, identycznych jak w przypadku produkcji komercyjnej. System wydruku próbnego na podłożu docelowym, dzięki znacznie mniejszemu zapotrzebowaniu na tworzywa sztuczne, znacząco ogranicza emisję mikroplastiku do środowiska oraz przyczynia się do obniżenia toksykologicznego wpływu na środowisko produkcji poligraficznej. Szczególnie istotnym aspektem jest różnica w przypadku toksyczności dla człowieka. W przypadku systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, wykazuje on niemal czterdziestokrotnie mniejszą toksyczność ($2,5 \times 10^2$ kg 1,4-DCB-Aq) w porównaniu do testów przedprodukcyjnych ($9,6 \times 10^3$ kg 1,4-DCB-Aq). Bardzo podobny efekt obserwować można w przypadku ekotoksyczności dla wody słodkiej, w przypadku której różnicę wpływu notujemy na poziomie sięgającym niemal czterdziestokrotnie na korzyść systemu wydruku próbnego ($9,1 \times 10^1$ kg 1,4-DCB-Aq) w porównaniu do testu przedprodukcyjnego ($3,5 \times 10^3$ kg 1,4-DCB-Aq). W kolejnych przypadkach sytuacja jest analogiczna, co przedstawiono na rysunku 8.7.

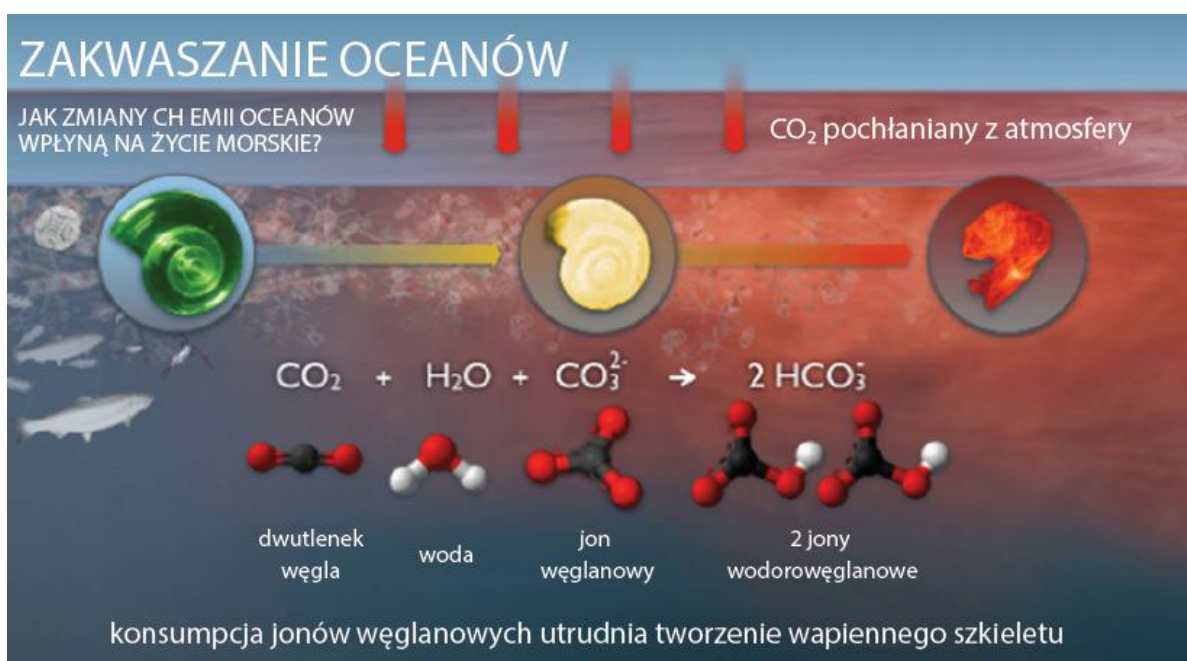


Dane dla ekotoksyczności morskiej podzielone przez 1000

Rys. 8.7 Analiza porównawcza wpływu ekotoksyczności obu systemów

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

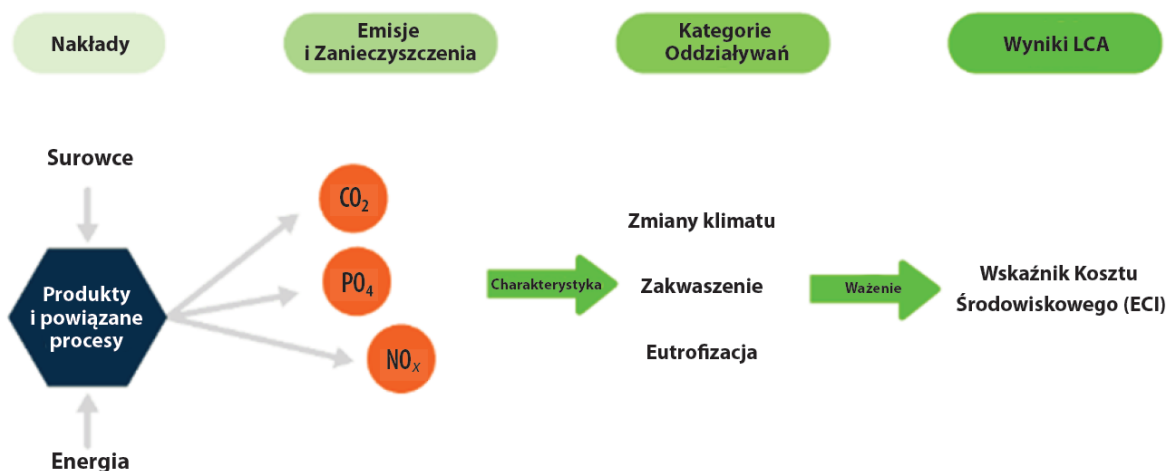
Jednym z istotnych elementów ochrony zasobów przyrodniczych jest zapobieganie zakwaszaniu oraz eutrofizacji wód (Rys. 8.8). Zakwaszanie wód w tym postępujące zakwaszanie mórz poprzez absorpcję zawartego w powietrzu dwutlenku węgla (CO_2) prowadzi do zwiększenia stężenia jonów wodorowych przez co dochodzi do zmniejszenia stężenia jonów węglanowych, które stanowią podstawowy budulec muszli, takich organizmów jak małże, ślimaki, ale także obniża budowę struktur takich organizmów jak koralowce czy jeżowce [277] [278] (Rys. 8.8). Ponadto drugim związkiem silnie toksycznym w środowisku wodnym jest dwutlenek siarki (SO_2), który przekształcany jest po połączeniu z wodą w kwas siarkowy (H_2SO_4). Dlatego też jako ekwiwalent przy obliczeniach cyklu życia produktu stosuje się parametr SO_2 [279].



Rys. 8.8 Wpływ zwiększonego stężenia CO_2 , na proces rozpuszczania skorupy ślimaków morskich

Źródło: [278].

Emisja środowiskowa powodowana przez system wydruku próbnego na podłożu docelowym w zakresie zjawiska zakwaszania wód wynosi 0,28 kg SO_2 -eq i jest o ponad trzydzieści siedem razy mniejsza w porównaniu do emisji w metodzie testów przedprodukcyjnych, dla których wynosi 10,51 kg SO_2 -eq.



Rys. 8.9 Schemat emisji powodujących dany wpływ na środowisko

Źródło: [280].

Kolejnym aspektem, na który warto zwrócić uwagę jest proces eutrofizacji wód, który powoduje niekontrolowany zakwit glonów oraz pojawianie się martwych stref w środowisku wodnym, co przyczynia się do wymierania organizmów wodnych, przede wszystkim ryb [281]. Jednocześnie ponadnormatywna zawartość substancji odżywczych przyczynia się również do nasilonego wzrostu roślin wodnych, które mogą wpłynąć na ograniczenie zawartości tlenu w wodzie [282]. Do głównych sprawców powodujących procesy eutrofizacyjne zaliczyć można związki fosforu (P) oraz azotu (N) [283]. Na potrzeby badania obliczono wpływ obu systemów na procesy eutrofizacji wód (Rys. 8.9). System wydruku próbnego na podłożu docelowym wykazał znacząco mniejsze oddziaływanie na procesy eutrofizacyjne a mianowicie o czterdzieści razy w porównaniu do testu przedprodukcyjnego. W pierwszym przypadku wartość wynosiła 1,00 kg PO₄-eq, natomiast w drugim przypadku wielkość ta wyniosła 39,44 kg PO₄-eq.

W Polsce, a także w wybranych krajach europejskich, obserwuje się zjawisko narastającego deficytu słodkiej wody powierzchniowej [260] [261], co prowadzi do częstszego występowania susz hydrologicznych i glebowych [262]. W tym kontekście należy podkreślić, że system wydruku próbnego na podłożu docelowym charakteryzuje się znacząco mniejszym zapotrzebowaniem na wodę, który wynosi 120 kg wykorzystanych zasobów / JF w porównaniu do metody opartej na testach przedprodukcyjnych, który wynosi 4490 kg wykorzystanych zasobów / JF. Dzięki wdrożeniu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, możliwa jest realizacja strategii racjonalnego gospodarowania zasobami wodnymi, osiągając tym samym konkretne korzyści środowiskowe. Z przeprowadzonej analizy wynika, że rozwój

technologii procesu drukowania w firmie Chespa stanowi istotny krok w kierunku redukcji negatywnego wpływu działalności przemysłowej na środowisko, w szczególności w kontekście zmian klimatycznych oraz gospodarowania wodą. Radykalne ograniczenie zużycia tworzyw sztucznych przekłada się na zauważalną poprawę stanu środowiska naturalnego.

8.7. Wnioski

Na podstawie wyników przeprowadzonych analiz jednoznacznie widać istotne korzyści środowiskowe płynące z wdrożenia systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym w zakresie testowania skomplikowanych elementów graficznych lub w przypadku prowadzenia procesu wymiany wzorów graficznych przez właściciela marki. Szczególny nacisk w przypadku systemu wydruku próbnego położono na minimalizację ilości odpadów z tworzyw sztucznych oraz redukcję zużycia energii elektrycznej i wody.

Zastosowanie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym przyczynia się do skrócenia czasu realizacji projektu graficznego od momentu przygotowania pliku reprograficznego do momentu rozpoczęcia procesu drukowania po stronie wykonawcy, jak również drastycznie zmniejsza konieczność poddawania nowych wzorów testom przedprodukcyjnym. Zintegrowane podejście do zarządzania procesem przygotowania do procesu drukowania przynosi korzyści nie tylko środowiskowe, ale także ekonomiczne.

Zastosowana metoda bilansowania środowiskowego może również stanowić wartościowe narzędzie metodologiczne dla przyszłych badań nad projektami z zakresu zrównoważonego rozwoju w branżach przemysłu poligraficznego.

System wydruku próbnego na podłożu docelowym przyczynia się w dużym stopniu do redukcji zanieczyszczeń środowiska naturalnego poprzez ograniczenie emisji gazów cieplarnianych oraz generowanych odpadów, czego dowodem są przeprowadzone badania emisji środowiskowych. Ponadto dzięki znacznemu ograniczeniu użytych w procesie przygotowania wydruku próbnego nakładów energetycznych, zasobów pierwotnych oraz ludzkich, metoda ta staje się pionierską w procesach poligraficznych.

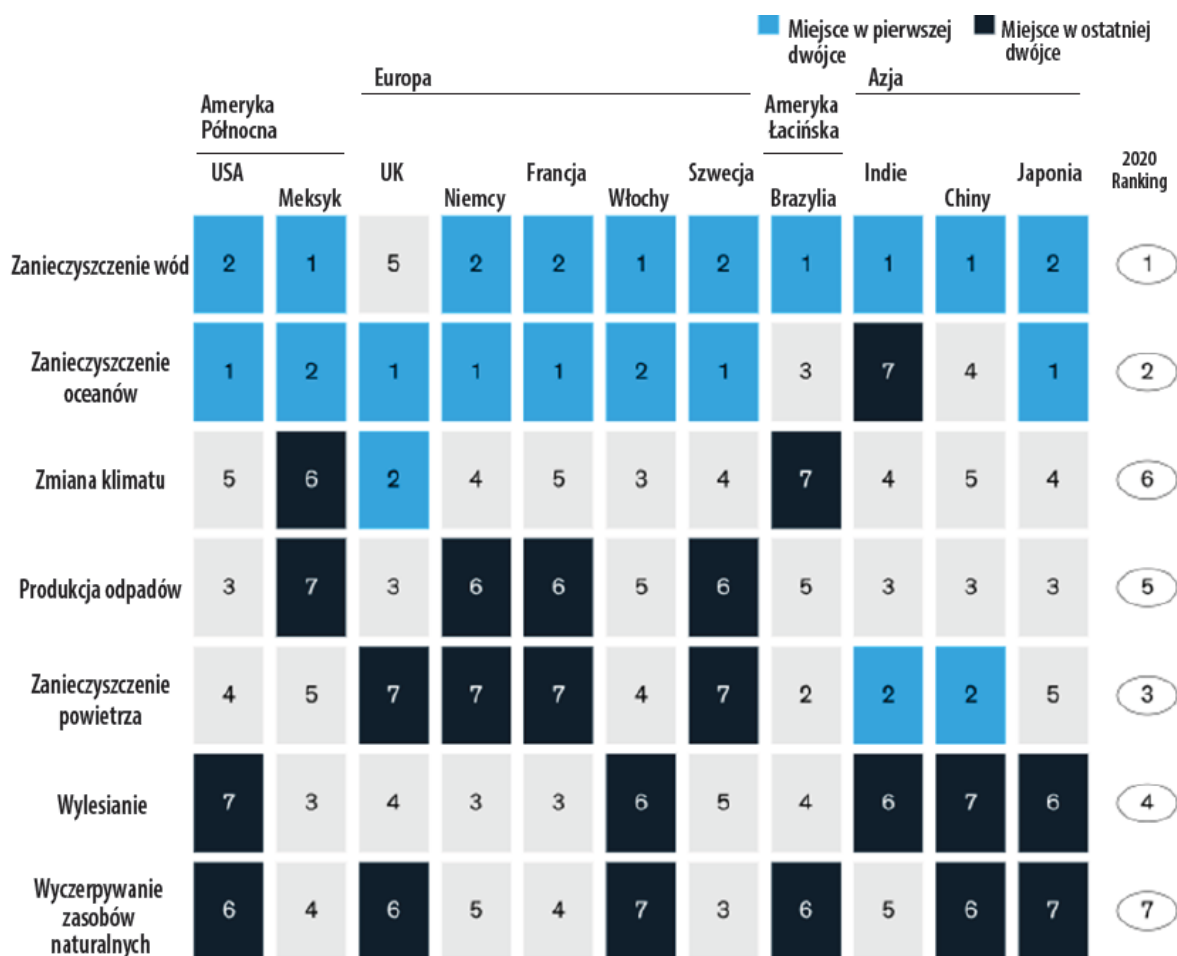
Dzięki zastosowaniu podłoża produkcyjnego oraz wszelkich parametrów będących cechami charakterystycznymi dla komercyjnego procesu drukowania, właściciel marki ma możliwość oceny efektu procesu drukowania na etapie wydruku próbnego.

Rozdział 9. Opakowania przyjazne środowisku

Współczesny rynek oferuje liczne przykłady opakowań określanych jako przyjazne środowisku. Należy jednak zauważyć, że część z nich stanowi przejaw tzw. pozornych działań proekologicznych, znanych pod angielskim terminem *greenwashing* [267]. Zjawisko to polega na celowym wprowadzaniu konsumentów w błąd, poprzez nieujawnianie pełnych informacji o składzie materiałowym lub strukturze opakowania, bądź też ich świadome zatajanie. Praktyki te odnoszą się przede wszystkim do błędnego sugerowania, że dane opakowanie ma pozytywny wpływ na środowisko naturalne, podczas gdy w rzeczywistości nie spełnia ono obiektywnych kryteriów zrównoważonego rozwoju [268].

Za opakowania przyjazne środowisku uznaje się takie, które spełniają określone wymagania, m.in. są łatwe do recyklingu, zostały wyprodukowane z surowców odnawialnych bądź z minimalnym udziałem zasobów pierwotnych. Ich podstawowym celem jest redukcja ilości tworzyw sztucznych w obiegu oraz ograniczenie generowanych odpadów opakowaniowych [269]. Dobór materiału opakowaniowego powinien być każdorazowo precyzyjnie dostosowany do specyfiki produktu, który ma zostać w nim umieszczony. Opakowanie pełni bowiem kluczowe funkcje: zabezpiecza produkt przed szkodliwym oddziaływaniem czynników zewnętrznych, wspiera zachowanie jego świeżości oraz ogranicza ryzyko mikrobiologicznego skażenia [270].

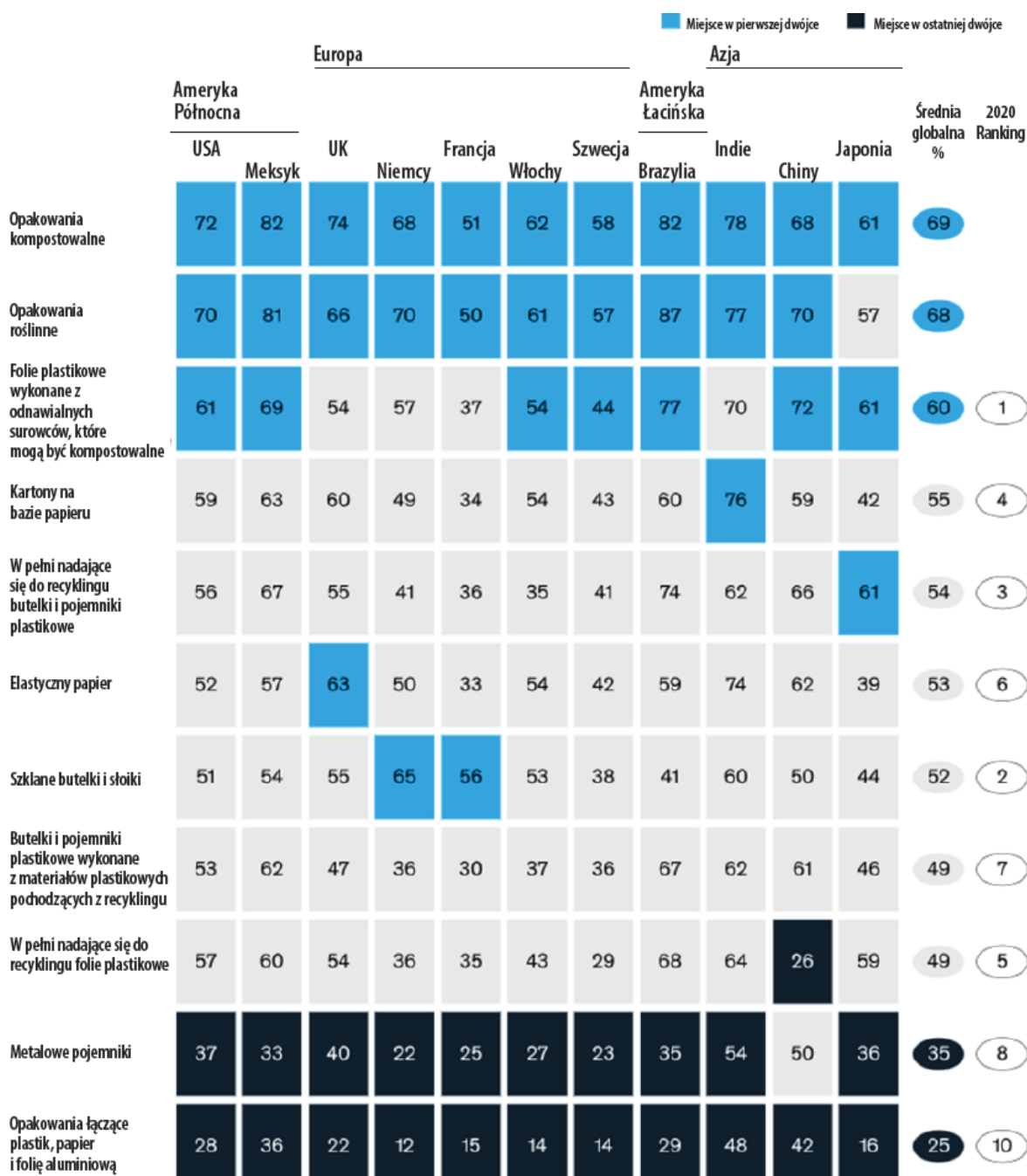
Rosnące znaczenie trendów prośrodowiskowych wpływa również na postawy konsumentów i ich decyzje zakupowe. Badania przeprowadzone przez firmę doradczą McKinsey & Company w 2020 roku wykazały, że aż 75% przedstawicieli pokolenia osób urodzonych w latach 1980–95 [271] zwanych potocznie pokoleniem milenialsów, deklaruje uwzględnianie aspektów związanych ze zrównoważonym rozwojem przy wyborze kupowanych przez siebie produktów [272] (Rys. 9.1).



Rys. 9.1 Poziom obaw dotyczących wpływu na środowisko w państwach deklarujących skrajnie lub bardzo wysokie zaniepokojenie tym problemem

Źródło: [284].

Według McKinsey & Company, konsumenci są skłonni zapłacić więcej za produkt, jeśli jego opakowanie jest bardziej przyjazne dla środowiska. Co jest zaskakujące, to konsumenci krajów rozwijających się, takich jak Brazylia, Meksyk czy Indie są skłonni dopłacać do opakowań przyjaznych dla środowiska. Badania przeprowadzone przez McKinsey & Company wykazały, iż dla krajów rozwiniętych najważniejszymi aspektami zanieczyszczeń środowiska są odpady znajdujące się w oceanach. Dla krajów rozwijających się najbardziej liczą się aspekty zanieczyszczeń powietrza i wody [284].



Rys. 9.2 Preferencje krajów do zrównoważonych surowców opakowań

Źródło: [284].

Preferencje konsumentów dotyczące surowców ekologicznych są trudne do jednoznacznego określenia. Jak się okazuje, w zależności od kraju, preferencje ulegają zmianie (Rys. 9.2). W wielu krajach preferowane są opakowania kompostowalne i wytwarzane z produktów roślinnych, takich jak trzcina cukrowa lub skrobia kukurydziana. Natomiast w Japonii do opakowań przyjaznych środowisku zalicza się materiały pochodzące z recyklingu lub w pełni poddające się procesom recyklingu. Wysoko w rankingu, w skali globalnej

uplastowały się opakowania wykonane z materiałów odnawialnych lub kompostowalnych. Natomiast w Wielkiej Brytanii i Indiach dużą rolę odgrywają opakowania wytworzone na bazie papieru [284].

9.1. Opakowania przyjazne środowisku, przygotowane w ramach działalności opierającej się o aspekty zrównoważonego rozwoju firmy Chespa

Koncepcja, projekty i wykonanie opakowań zostało zrealizowane w firmie Chespa Group w ramach prezentacji rozwiązań opakowań przyjaznych dla środowiska. Jako lider projektu prowadziłem prace związane z doбором podłoży do druku, procesem drukowania testów maszynowych, testów powłok dyspersyjnych aplikowanych na wewnętrzną stronę opakowania papierowego, testy pakowania oraz zgrzewania opakowania u producenta bakalii oraz czekolady, po końcowy proces drukowania wzoru graficznego zaprojektowanych opakowań. Opakowania zostały wyprodukowane we współpracy z drukarnią SILBO Sp. z o.o.³⁷ oraz japońskim producentem fleksograficznych form fotopolimerowych firmą Asahi Kasei³⁸, natomiast dostawcą oprogramowania do obróbki form drukowych oraz ich wyprocesowania była firma ESKO³⁹.

9.1.1. Papierowe opakowanie na orzeszki arachidowe – DRUPA 2024

W ramach promocji firmy Chespa zaprojektowano i wydrukowano opakowanie w pełni papierowe na orzeszki ziemne (Rys. 9.3), które można szybko i łatwo poddać recyklingowi w drodze przetwórstwa surowca papierowego w papierni. Przygotowanie takiego opakowania związane było z udziałem w targach poligraficznych i opakowań DRUPA⁴⁰ 2024, w Dusseldorfie w Niemczech.

³⁷ <https://silbo.pl/>

³⁸ <https://asahi-photoproducts.com/>

³⁹

https://www.esko.com/en?utm_source=ppc&gad_source=1&gad_campaignid=21143755587&gbraid=0AAAAACHTm6DYxDm8oBBmdMENXalHEZoe-&gclid=Cj0KCOjws4fEBhD-ARIsACC3d2_stx-AzC3DLnAVnDpZx8Z1J3g3e0QAJ2t7TD3v9jnxDgRA-faXicaAklaEALw_wcB

⁴⁰ <https://www.drupa.com/>

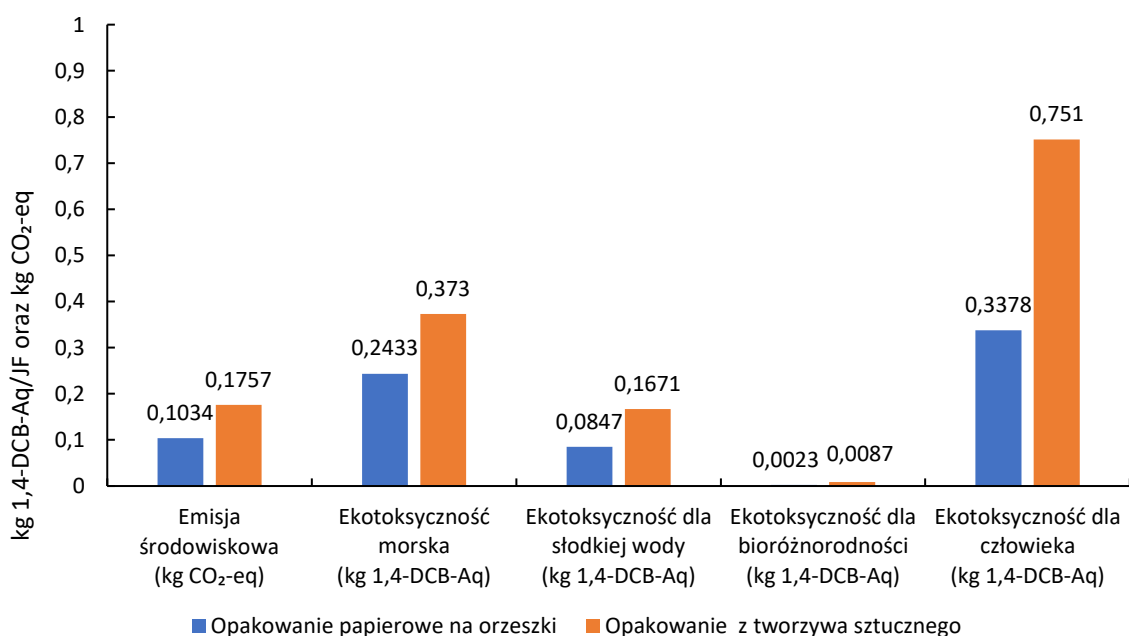


Rys. 9.3 Zaprojektowana grafika opakowania papierowego na orzeszki

Źródło: [257].

W ramach projektu przygotowano opakowanie z: niepowleczonego, białego papieru firmy Mondi, typ Advantage Protect White 80 g, powłoki dyspersyjne zapewniające barierę przeciwko tlenowi (ang. *Oxygen Transmission Rate, OTR*), tłuszczom oraz parze wodnej (ang. *Water Vapour Transmission Rate, WVTR*) oraz farbom wodorocieńczalnym pochodzącym z serii FLEXIEco, czyli wykonanych przy użyciu materiałów pochodzących z surowców odnawialnych. Ponadto proces drukowania materiału odbył się przy zastosowaniu certyfikowanych, neutralnych pod względem emisji dwutlenku węgla fleksograficznych form fotopolimerowych

AWP™ [285]. Dla badanego produktu osiągnięto cel jakim było zredukowanie śladu węglowego opakowania (Rys. 9.4). W przypadku dwutlenku węgla (CO₂) można mówić o redukcji gazu cieplarnianego na poziomie 41% w porównaniu do opakowania wykonanego z tradycyjnego surowca jakim jest wielomateriałowe tworzywo sztuczne, redukcja z 0,1757 kg CO₂-eq w stosunku do 0,1034 kg CO₂-eq. Układem odniesienia bilansowania środowiskowego było opakowanie będące laminatem dwóch warstw tworzywa sztucznego: polipropylenu (BOPP) transparentnego oraz polipropylenu (BOPP) z metaliczną warstwą barierową, poddanemu procesowi drukowania w technologii fleksograficznej, farbami rozpuszczalnikowymi, przy zastosowaniu konwencjonalnej technologii naświetlania i mycia form fleksograficznych form fotopolimerowych.



Dane dla ekotoksyczności morskiej podzielone przez 1000

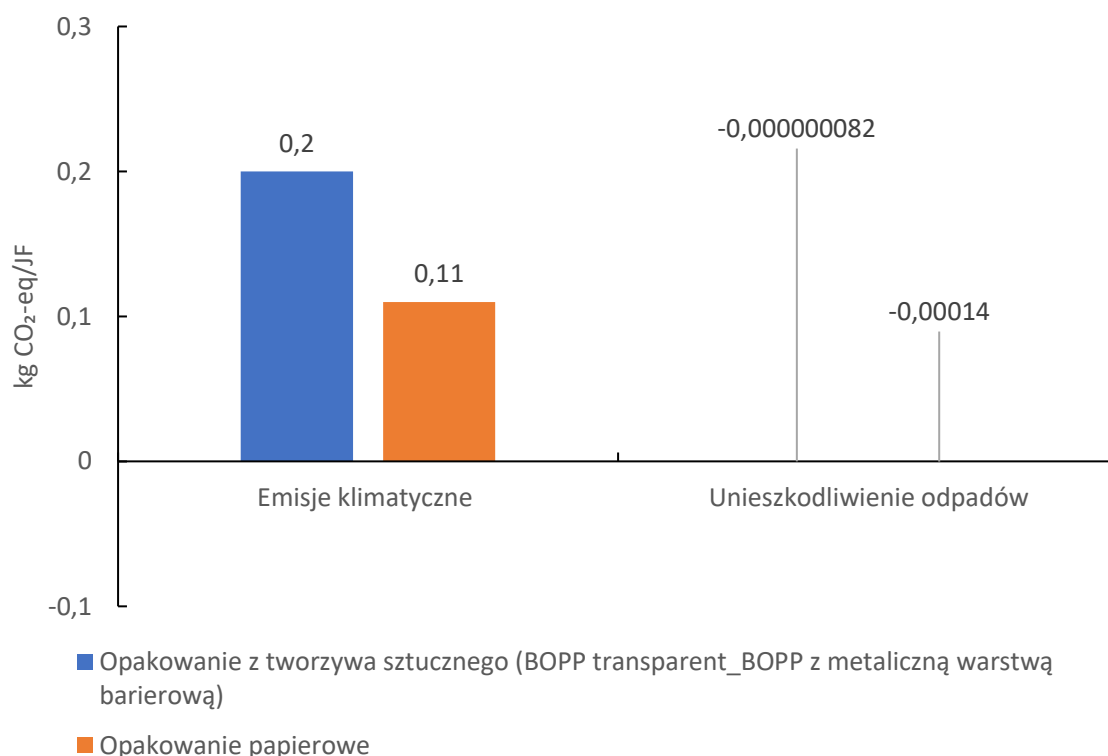
Rys. 9.4 Analiza porównawcza wpływu ekotoksyczności i emisji środowiskowych opisywanych opakowań

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

Sporządzono bilansowanie w kierunku wpływu opakowania na emisje środowiskowe, lecz również zużycie zasobów pierwotnych. Posiadając dane empiryczne, można potwierdzić, że opakowanie papierowe na orzeszki ziemne (0,3378 kg 1,4-DCB-Aq), w porównaniu do opakowania przygotowywanego dotychczas z tworzywa sztucznego (0,751 kg 1,4-DCB-Aq), charakteryzuje się niższym wskaźnikiem toksyczności dla ludzi sięgającym 55%. Wpływ

toksyczności na środowisko morskie został zmniejszony o niemal 35%, natomiast ekotoksyczność dla wód słodkich o 49%.

Opakowania papierowe są jednymi z najbardziej przyjaznych dla środowiska [286] [287], ich biodegradowalność jest na wysokim poziomie [288], a w procesach rozkładu biologicznego m.in. papier (celuloza, jako cukier i doskonałe źródło pokarmu [289]) dostarcza środowisku naturalnemu składników odżywczych takich, jak węgiel [290] [291], niemniej jednak krótkotrwałe, lecz intensywne nawożenie celulozą może przynieść skutek odwrotny [292]. Ponadto opakowania papierowe są odpowiedzią na stale rosnące zanieczyszczenie wód śródlądowych, morskich i oceanicznych plastikiem oraz mikroplastikiem. Szacuje się, że każdego roku do wód oceanicznych trafia 12 milionów ton plastiku, natomiast tworzywa te podczas rozpadu przekształcają się w mikroplastik, który unosi się na powierzchni wody i stanowi bezpośrednie zagrożenie dla życia organizmów wodnych. Wielkość zanieczyszczenia mikroplastikiem szacuje się na 358 bilionów cząstek, natomiast pod powierzchnią wody znajduje się wielokrotnie więcej cząstek mikroplastiku [293].

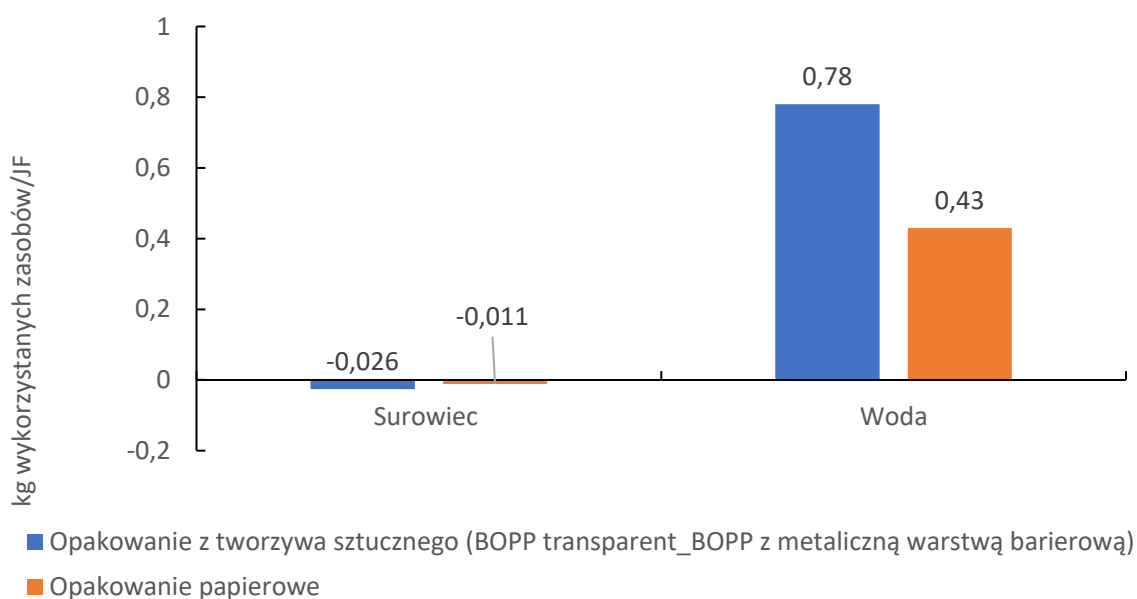


Rys. 9.5 Wzrost poziomu efektywności recyklingu polipropylenu (BOPP kontra papier) oraz emisje klimatyczne

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

Z powyższego rysunku 9.5 można wyciągnąć wniosek, iż opakowanie papierowe na orzeszki charakteryzuje się niższą emisją klimatyczną (0,11 kg CO₂-eq), o 45%, w porównaniu do opakowania tworzywa sztucznego (0,20 kg CO₂-eq). Natomiast ze względu na zastosowany surowiec papierowy i wysokie kwoty odzysku odpadów papierowych w Polsce, sięgające 50% [294] opakowanie wykonane z papieru staje się doskonałą alternatywą dla opakowań wykonanych z tworzywa sztucznego. Natomiast w przypadku unieszkodliwiania odpadów, wartości emisji środowiskowych dla opakowania papierowego są wyższe, ponieważ kwoty recyklingu odpadów papierowych są większe niż kwoty recyklingu tworzyw sztucznych, z czego wynika wyższy wynik w tym zakresie.

Szczególnie istotną kwestią jest zapotrzebowanie na wodę (Rys. 9.6) w ramach produkcji opakowania papierowego w porównaniu do opakowania konwencjonalnego. Zapotrzebowanie na wodę spada o 45% w przypadku opakowania papierowego (0,43 kg), w porównaniu do opakowania z tworzywa sztucznego (0,78 kg), będącego laminatem dwóch warstw polipropylenu (BOPP)



Rys. 9.6 Analiza porównawcza konsumpcji wody oraz zapotrzebowania na surowce w odniesieniu do obu badanych opakowań

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

Opakowanie papierowe na orzeszki podczas procesu drukowania zostało zadrukowane farbami fleksograficznymi, wodorozcieńczalnymi firmy Chespa, serii FLEXIEco (Rys. 9.7). Jest to

seria farb, która w swoim składzie zawiera surowce odnawialne. W przypadku badanego opakowania udział surowców odnawialnych osiągnął 35%. Farby zostały zabezpieczone lakierem nawierzchniowym firmy Chespa, serii FLEXILack FX Barrier, który wykazuje odporność przeciwko parze wodnej (ang. *Water Vapor Transmission Rate, WVTR*) oraz tłuszczom i tlenowi (ang. *Oxygen Transmission Rate, OTR*). Druk odbywał się przy wykorzystaniu fleksograficznych form fotopolimerowych do druku Japońskiej firmy Asahi Kasei, serii AWP™, które mają certyfikat Carbon Trust⁴¹ oraz technologię Solvent Zero⁴² [295] [296] [297]. Proces drukowania odbywał się w drukarni SILBO w miejscowości Żory, w województwie Śląskim w południowej części Polski. Efektem procesu drukowania jest opakowanie przedstawione na rysunku 9.7.



Rys. 9.7 Efekt procesu drukowania w ramach akceptacji projektu opakowania orzeszków na papierze

Źródło: wykonanie własne.

Dzięki zastosowaniu zaawansowanych rozwiązań technologicznych (Tabela 9.1), takich jak odpowiednio dobrane do podłoża papierowego fotopolimerowe formy fleksograficzne, celowo przygotowane farby wodne oraz precyzyjnie dobrane parametry procesu drukowania, a także zastosowaniu nowoczesnej technologii płaskiego punktu rastrowego (ang. *Flat top dot*), uzyskano istotne korzyści środowiskowe. Wśród nich należy wymienić ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, redukcję zużycia surowców oraz zmniejszenie toksyczności wobec środowiska morskiego, wód słodkich, bioróżnorodności i zdrowia człowieka. Dodatkowo,

⁴¹ <https://www.carbontrust.com/en-eu/what-we-do/product-carbon-footprint-labelling/carbon-neutral-verification>

⁴² https://www.asahi-kasei.com/asahikasei-brands/stories/photoproducts_awp.html

dzięki doświadczeniu i wiedzy technicznej operatora procesu, osiągnięto wysoką jakość krycia farbami wodnymi na trudnym w obróbce podłożu, jakim jest niepowlekany, bielony papier.

Tabela 9.1 Zestawienie ustawień produkcyjnych podczas procesu drukowania projektu graficznego

Warstwa i kolejność procesu drukowania	Liniatura wałka rastrowego	Transfer wałka rastrowego	Liniatura formy drukowej	Technologia produkcji form polimerowych
FlexiEco White	160 lpc	12,0 cm ³ /m ²	pole pełne / apla	LED XPS Crystal ESKO
FlexiEco Magenta	300 lpc	7,5 cm ³ /m ² ipro	128 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiEco Yellow	400 lpc	4,7 cm ³ /m ²	128 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiEco Black	300 lpc	6,5 cm ³ /m ²	128 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiEco P.7506 C	400 lpc	4,0 cm ³ /m ² ipro	128 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiEco P.300 C	200 lpc	9,5 cm ³ /m ²	128 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiEco P.355 C	160 lpc	12,0 cm ³ /m ²	128 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiEco P.7546 C	200 lpc	9,5 cm ³ /m ²	128 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiEco P.2300 C	200 lpc	9,0 cm ³ /m ²	128 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiLack FX Barrier	280 lpc	7,5 cm ³ /m ²	pole pełne / apla	LED XPS Crystal ESKO

Źródło: wykonanie własne na podstawie przeprowadzonego zadruku w drukarni.

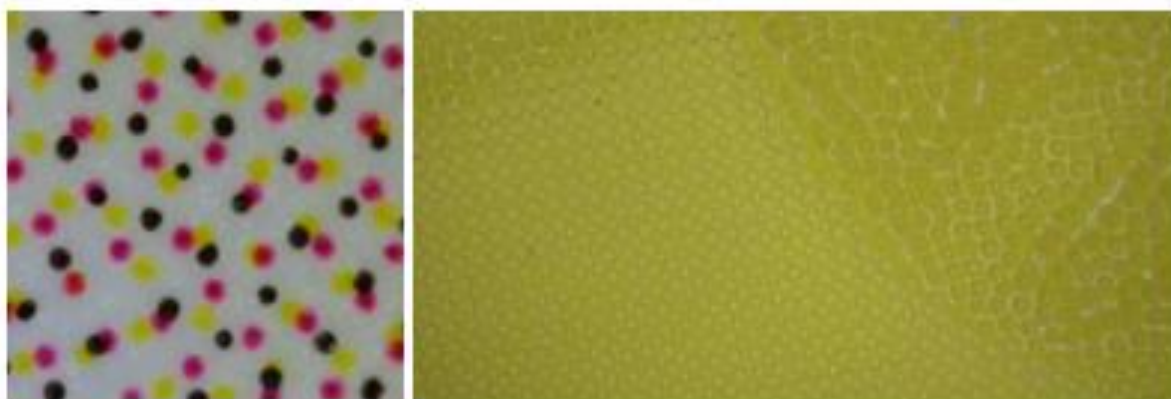


Rys. 9.8 Porównanie technologii fleksograficznych form fotopolimerowych, farb oraz technologii procesu drukowania na białym, niepowlekanym papierze

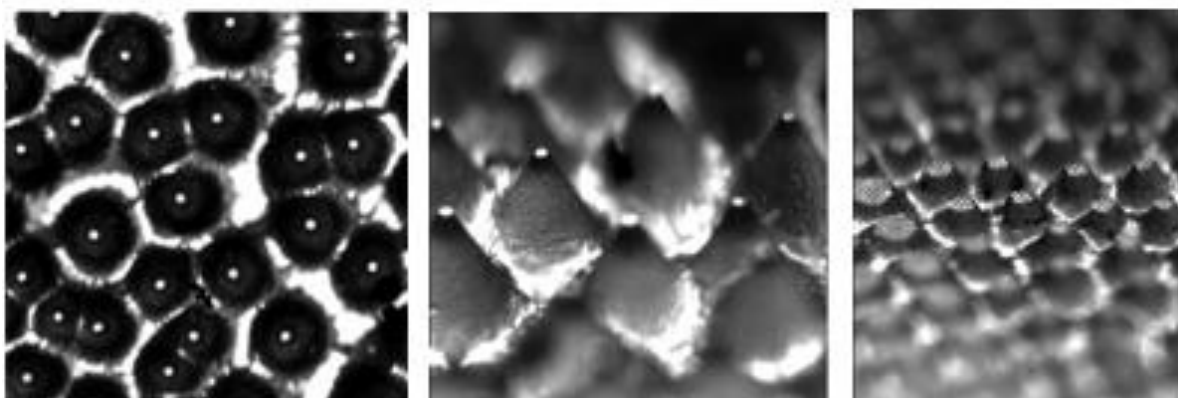
Źródło: wykonanie własne.

Działania prośrodowiskowe w poligrafii, to nie tylko zmiana podłoża na bardziej przyjazne środowisku, lecz również są to takie działania, które opierają się na przygotowaniu produkcji poligraficznej w sposób, który zapewni wysoką jakość efektu procesu drukowania. W przypadku procesu drukowania trudnego podłoża, jaki jest niepowleczony bielony papier, najodpowiedniejszą technologią procesu drukowania jest technologia fleksograficzna. W przypadku wskazanych na rysunku 9.8. projektów określono, iż połączenie technologii form drukowych oraz farb drukowych, efekty procesu drukowania mogą być imponujące, zarówno w polach pełnych, 100%, jak i w polach rastrowanych. Dzięki tego typu zabiegom, właściciel marki jest skłonny zaakceptować efekty procesu drukowania podczas pierwszej wizyty w drukarni. W przypadku pozostałych projektów, wymagane były dodatkowe testy oraz korekty maszynowe. Dane bazują na pracy zawodowej autora, a zdjęcia pochodzą w projektów realizowanych przez autora w drukarniach na terenie trzech państw Unii Europejskiej.

Punkty rastrowe w światłach i półtonach na wydruku i płycie po zadruku



Punkty rastrowe w światłach i półtonach na płycie przed zadrukiem



Rys. 9.9 Wygląd punktów rastrowych oraz formy drukowej po procesie drukowania (zdjęcia u góry) oraz zdjęcia mikroskopowe punktów rastrowych po procesie drukowania na formie drukowej AWP™

Źródło: wykonanie własne.

Ostatni, ale równie istotny aspekt środowiskowy zastosowanych form drukowych, opiera się na ich specyficznym składzie fizyko – chemicznym, który umożliwia utrzymanie form fleksograficznych AWP™⁴³ w czystości w trakcie procesu drukowania (Rys. 9.9). Według zapewnień producenta forma drukowa pozostaje czysta znacznie dłużej w odniesieniu do form konkurencji [298]. Tego typu rozwiązania znacząco przyczyniają się do redukcji zużycia zasobów, takich jak woda, energia elektryczna czy detergenty, ale również znacząco ograniczają emisje środowiskowe.

⁴³ <https://asahi-photoproducts.com/product/asahi-water-washable-plates/>

Natomiast dzięki zastosowaniu powłok dyspersyjnych, które charakteryzują się wysokim powinowactwem do wody, proces recyklingu odpadu jakim będzie opakowanie po orzeszkach, będzie przebiegał skutecznie i w strumieniu odpadów papierniczych.

9.1.2. Celulozowe opakowanie na czekoladę – DRUPA 2024

W badaniu przedstawiono analizę środowiskową nowoczesnego, celulozowego opakowania na bazie surowców kompostowalnych. Zbadano wpływ zastosowanych materiałów oraz technologii procesu drukowania farbami wodnymi na ślad węglowy i toksykologiczny produktu w odniesieniu do efektów procesu drukowania farbami rozpuszczalnikowymi w odniesieniu do opakowań konwencjonalnych. Na podstawie wyników widać istotne korzyści środowiskowe, szczególnie w kontekście redukcji emisji CO₂ oraz zmniejszenia oddziaływania toksycznego na środowisko wodne i organizmy żywe.

W obliczu rosnących wymagań w zakresie zrównoważonego rozwoju i gospodarki o obiegu zamkniętym, przemysł opakowaniowy zmierza ku innowacjom ograniczającym negatywny wpływ na środowisko. Opakowania kompostowalne, w szczególności oparte na celulozie, stanowią atrakcyjną alternatywę dla tworzyw sztucznych pochodzenia petrochemicznego. W niniejszym badaniu poddano pod analizę wpływ środowiskowy procesu drukowania farbami wodnymi na opakowaniu celulozowym z certyfikowanych, kompostowalnych surowców oraz przyjazne środowisku technologie wykorzystywane w procesie drukowania.

Analizowane opakowanie zostało wykonane z folii celulozowej o właściwościach termozgrzewalnych, pozyskanej z surowców odnawialnych. Materiał charakteryzuje się wysoką barierowością wobec wilgoci, gazów i aromatów oraz odpornością na działanie tłuszczów. W projekcie wykorzystano podłoże firmy Futamura, serii NatureFlex™NM⁴⁴ o gramaturze 60 µm i właściwościach biodegradowalnych [299]. Podłoże ma certyfikat potwierdzający zgodność z normą NF T 51-800⁴⁵ (11-2015) „Plastics – Specification for plastic suitable for home composting” [300]. Celulozowa folia NatureFlex™NM została opatrzona oświadczeniem firmy o numerze FUT-PrdMgt-POS-P-0010, zaświadczającym o przydatności surowca w procesie

⁴⁴ <https://www.futamuragroup.com/en/divisions/cellulose-films/products/natureflex/metallised/>

⁴⁵ <https://www.dinmedia.de/en/standard/nf-t51-800/245551287>

kompostowania [301] oraz ma certyfikat „OK COMPOST HOME” o numerze TA8021601775 wydanym przez TUV Austria [302]. Proces drukowania przebiegł przy wykorzystaniu farb wodorozcieńczalnych mających certyfikat kompostowalności wydany przez instytucję TUV Austria „OK COMPOST HOME” oraz OK COMPOST INDUSTRIAL” [303], z zastosowaniem fotopolimerowych form fleksograficznych wyprodukowanych w technologii wodowymywalnej i certyfikowanych jako neutralne węglowo (ang. *carbon neutral*) [295] [296] [297]. Narzędzia do procesu drukowania zostały dostarczone przez firmę Asahi Kasei.

Zastosowanie materiałów i technologii druku przyjaznych dla środowiska umożliwiło redukcję śladu węglowego nadruku opakowania o 12% w porównaniu do opakowań drukowanych farbami rozpuszczalnikowymi. Dodatkowo przeprowadzono badania toksykologiczne w kontekście wpływu na człowieka i środowisko. Wykazano, że analizowany efekt procesu drukowania opakowania cechuje się o 11% niższym wpływem toksyczności na człowieka, o 93% redukcją oddziaływania ekotoksycznego, o 25% redukcją toksyczności wobec środowiska morskiego oraz 45% redukcją toksyczności wobec wód słodkich.

Celulozowe opakowanie kompostowalne wykazuje istotną przewagę środowiskową nad opakowaniem z tworzywa sztucznego, zarówno pod względem redukcji śladu węglowego, jak i niższej toksyczności środowiskowej. Dzięki możliwości kompostowania opakowania w warunkach przemysłowych i domowych, technologia ta otwiera nowe perspektywy gospodarowania odpadami, szczególnie w regionach i państwach, gdzie infrastruktura recyklingu jest słabo rozwinięta. W kontekście globalnym, rozwiązania tego typu mogą mieć szczególne znaczenie w krajach rozwijających się, w tym w państwach afrykańskich, gdzie poziom recyklingu odpadów wynosi zaledwie 4%, podczas gdy średnia dla krajów Unii Europejskiej sięga 62,5% dla odpadów opakowaniowych [304]. Poza odpadami opakowaniowymi sytuacja gospodarowania odpadów w Afryce jest bardzo zła. Do państw szczególnie dotkniętych brakiem selektywnej zbiórki odpadów, procesami recyklingu i odpowiedniego zagospodarowania odpadami należy Ghana, w której znajduje się dzielnica Akra nazywana przez mieszkańców „*Toxic City*” [305].

Wybór opakowania na bazie folii celulozowej został głęboko przemyślany. Firma Chespa ma zakład produkcyjny w mieście Akra, które położone jest w Ghanie. W trosce o środowisko naturalne, chęć ograniczenia emisji środowiskowych i ilości odpadów trafiających

do oceanów, wybór padł na folię wyprodukowaną z celulozy. Ponadto produkt, który znajduje się w opakowaniu, to czekolada, do produkcji której kakao również pochodzi z Ghany. Kompostowanie może zostać uznane za odpowiedni środek gospodarki odpadami, gdy nie istnieje możliwość innego, lepszego sposobu zagospodarowania odpadów, takich jak recykling czy odzysk.



Rys. 9.10 Zaprojektowana grafika opakowania celulozowego na czekoladę

Źródło: [257].

Proces drukowania opakowania odbył się w drukarni SILBO w miejscowości Żory w województwie Śląskim w południowej części Polski. Opakowanie przeszło proces drukowania

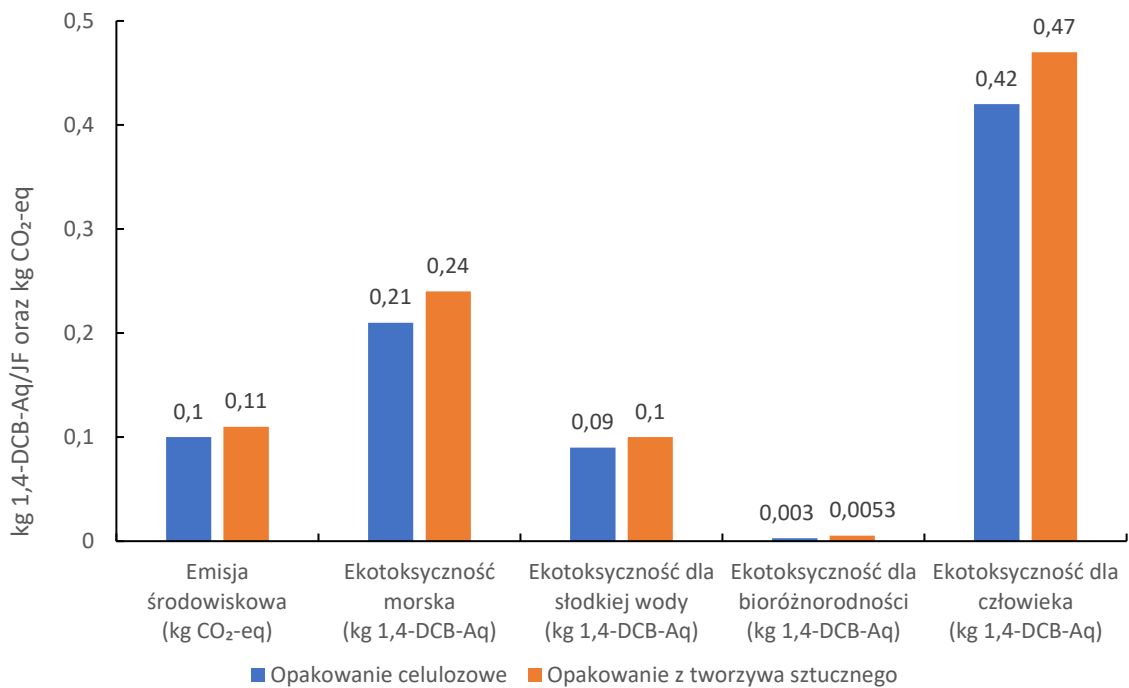
zgodnie z założeniami procesu drukowania fleksograficznego (Rys. 9.10). Proces drukowania odbywał się w formie powierzchniowego procesu, farby po procesie drukowania zostały zabezpieczone lakierem w celu podniesienia odporności na ścieranie i zarysowania. Po procesie drukowania partii testowej, opakowanie zostało poddane testom na maszynach pakujących u dostawcy czekolady (Rys. 9.11). Czekoladę do zapakowania dostarczyła firma mająca zakład produkcyjny na terenie Polski. Partner biznesowy nie wyraził zgody na ujawnienie marki czekolady, którą pakowano.



Rys. 9.11 Uformowane opakowanie typu torebka na czekoladę w folii celulozowej

Źródło: wykonanie własne.

Na podstawie przeprowadzonych badań toksyczności stwierdzono, że efekty procesu drukowania wykonane farbami wodorozcieńczalnymi charakteryzują się nieznacznie (0,42 kg 1,4-DCB-Aq), lecz konsekwentnie korzystniejszymi wynikami w porównaniu z efektami procesu drukowania wykonanymi przy użyciu farb rozpuszczalnikowych (0,47 kg 1,4-DCB-Aq) w przypadku ekotoksyczności dla człowieka. W przypadku ekotoksyczności dla bioróżnorodności sytuacja wygląda podobnie. W przypadku opakowania wykonanego z celulozy wskaźnik toksyczności jest niższy (0,0030 kg 1,4-DCB-Aq) niż w przypadku opakowania wykonanego z tworzywa sztucznego (0,0053 kg 1,4-DCB-Aq). Opakowanie wykonane z celulozy wykazuje niemal identyczną wartość emisji środowiskowej (0,10 kg CO₂-eq) w porównaniu do opakowania wykonanego z tworzywa sztucznego (0,11 kg CO₂-eq), co przedstawiono na rysunku 9.12.

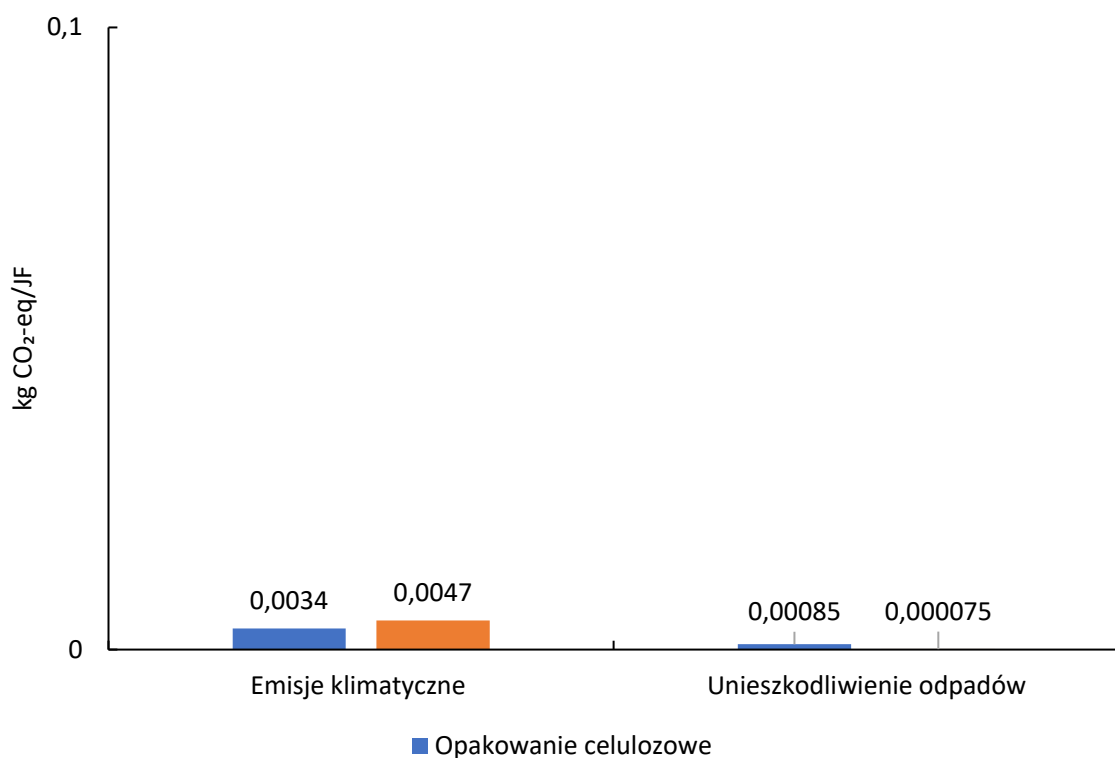


Dane dla ekotoksyczności morskiej podzielone przez 1000

Rys. 9.12 Analiza porównawcza wpływu ekotoksyczności i emisji środowiskowych opisywanych opakowań

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

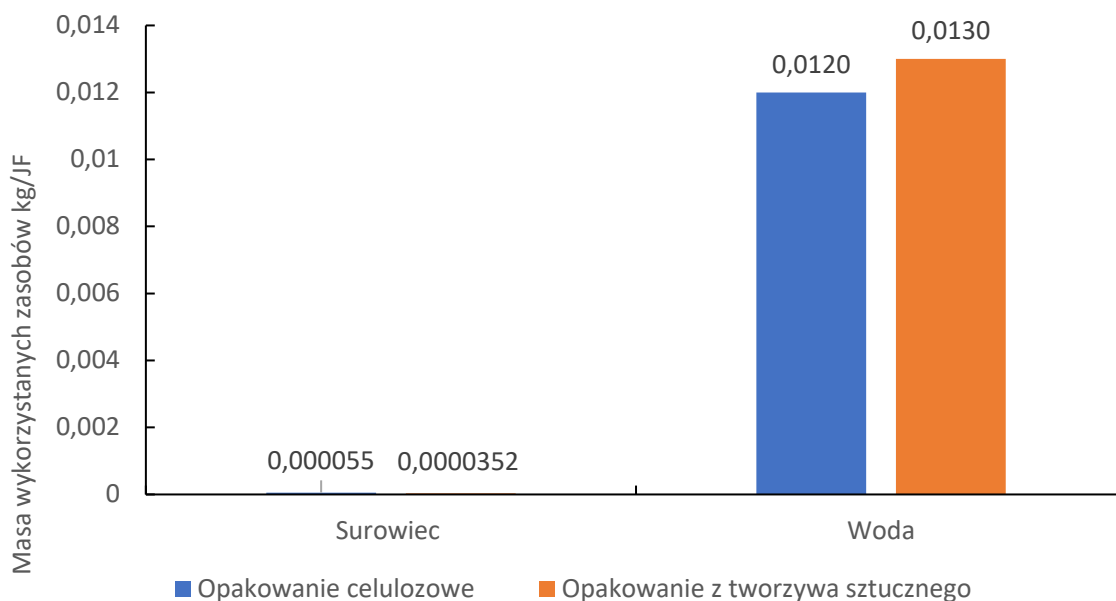
Emisje klimatyczne dla procesu drukowania farbami wodorozcieńczalnymi (0,0034 kg CO₂-eq) cechuje się 28% różnicą na korzyść tego systemu farbowego w porównaniu z nadrukiem farbami rozpuszczalnikowymi (0,0047 kg CO₂-eq). W przypadku procesu unieszkodliwiania odpadów, również zaobserwować można korzyść ze stosowania systemu farb wodorozcieńczalnych, co przedstawiono na rysunku 9.13.



Rys. 9.13 Emisje klimatyczne oraz wielkość unieszkodliwienia odpadów

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

W analizie zużycia surowców w procesie drukowania, w którym zastosowano farby wodne oraz farby rozpuszczalnikowe, stwierdzono, że poziom konsumpcji farby oraz zapotrzebowania na wodę w procesie drukowania pozostaje na zbliżonym poziomie dla obu badanych systemów (Rys. 9.14). W przypadku opakowania celulozowego zapotrzebowanie na wodę wynosi 0,0120 kg/JF, natomiast w przypadku opakowania wykonanego z tworzywa sztucznego zapotrzebowanie na wodę wynosi 0,0130 kg/JF. Zarówno w przypadku farb wodnych, jak i rozpuszczalnikowych, stosowane są porównywalne ilości farby o podobnej koncentracji pigmentu oraz rozpuszczalnika, którym odpowiednio jest woda lub alkohol.

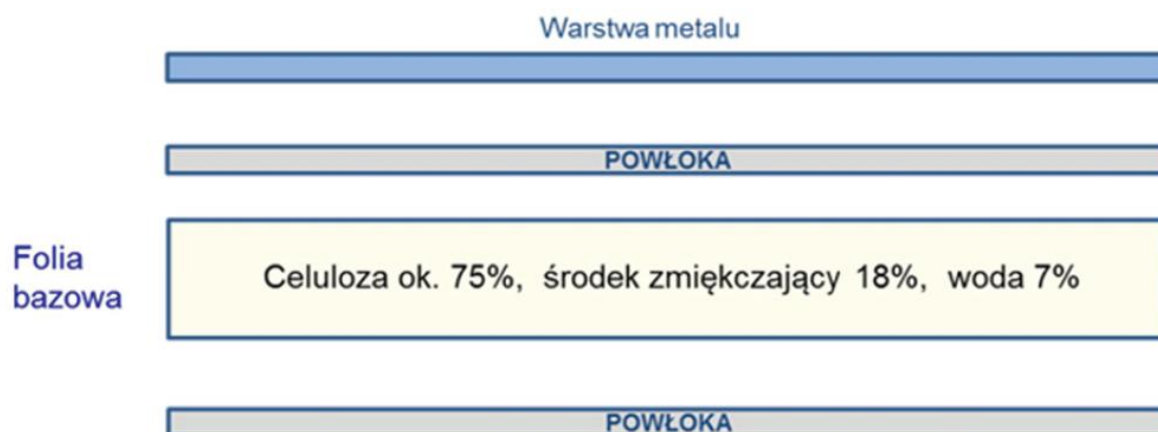


Rys. 9.14 Analiza porównawcza konsumpcji wody oraz zapotrzebowania na surowce w odniesieniu do obu badanych opakowań

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

Również zużycie wody w procesach pomocniczych, takich jak mycie maszyny drukującej, zespołów drukujących oraz narzędzi użytych do procesu drukowania, pozostaje na porównywalnym poziomie. Niewielkie różnice mogą wynikać z odmiennych właściwości technologicznych farb, w szczególności biorąc pod uwagę szybkość ich wysychania na formach drukowych. Farby rozpuszczalnikowe, charakteryzujące się szybszym czasem schnięcia, mogą wymagać częstszych przerw technologicznych na czyszczenie zespołów drukujących, co w konsekwencji może prowadzić do nieznacznie zwiększonego zużycia zarówno farby, jak i środków czyszczących.

Opakowanie wykonane z celulozy metalizowanej stanowi doskonałe rozwiązanie w charakterze pośrednim procesu zagospodarowania odpadów. Folia wykonana na bazie celulozy (Rys. 9.15) ulega biodegradacji oraz kompostowaniu w ściśle określonym czasie w towarzystwie odpowiednich warunków glebowych, takich jak wilgotność, obecność mikroorganizmów mezofilnych oraz termofilnych i temperatura [306] [307].



Rys. 9.15 Struktura folii celulozowej, metalizowanej metaliczną warstwą barierową
Źródło: [308].

Tabela 9.2 Zestawienie ustawień produkcyjnych podczas procesu drukowania projektu graficznego

Warstwa i kolejność procesu drukowania	Liniatura wałka rastrowego	Transfer wałka rastrowego	Liniatura formy drukowej	Technologia produkcji form polimerowych
FlexiBio White	160 lpc	12,0 cm ³ /m ²	solid	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio Black	400 lpc	4,0 cm ³ /m ² ipro	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio Magenta	400 lpc	4,7 cm ³ /m ²	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio Yellow	400 lpc	4,7 cm ³ /m ²	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio P.144 C	300 lpc	7,5 cm ³ /m ² ipro	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio P.355C	160 lpc	12,5 cm ³ /m ²	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio P.300 C	200 lpc	9,5 cm ³ /m ²	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio P.7546 C	200 lpc	9,5 cm ³ /m ²	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio P.2300 C	200 lpc	9,0 cm ³ /m ²	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio Lack	280 lpc	7,5 cm ³ /m ²	pole pełne / apla	LED XPS Crystal ESKO

Źródło: wykonanie własne na podstawie przeprowadzonego zadruku w drukarni.

Dzięki zastosowaniu zaawansowanych rozwiązań technologicznych (Tabela 9.2), takich jak odpowiednio dobrane do podłoża celulozowego fotopolimerowe formy fleksograficzne, celowo przygotowane farby wodne oraz precyzyjnie dobrane parametry procesu drukowania, a także zastosowaniu nowoczesnej technologii płaskiego punktu rastrowego (ang. *flat top dot*), uzyskano korzyści środowiskowe oraz zapewniono prawidłowy proces drukowania z zachowaniem wysokiej jakości efektów procesu w postaci opakowania na czekoladę.

Mimo tego, że w świetle przepisów rozporządzenia w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych, najwyższym poziomem zagospodarowania odpadów jest ich recykling oraz odzysk [206], to proces kompostowania również stanowi formę biologicznego zagospodarowania odpadów. Podczas procesu kompostowania celulozy, wytwarzana jest w przyrodzie kompostowej podwyższona temperatura, która reguluje oraz przyspiesza proces kompostowania. Ze względu na to, że celuloza rozkłada się w glebie do postaci gazowej czyli dwutlenku węgla (CO₂) oraz wody, to nie stanowi istotnej bazy pokarmowej dla mikroorganizmów glebowych, dlatego też uznaje się ją za mało wydajną metodę unieszkodliwiania odpadów [309]. Niemniej jednak, jak już wcześniej wspomniano, opakowanie to powstało w ramach walki z zanieczyszczeniem odpadami tworzyw sztucznych, mórz i oceanów, ze szczególnym uwzględnieniem krajów Afrykańskich, gdzie kwoty recyklingu są kilkukrotnie niższe w porównaniu do sytuacji w Europie.

9.1.3. Polipropylenowe opakowanie na czekoladę – Sympozjum Poligraficzne 2024

Opakowanie stworzone zostało na corocznie organizowane przez firmę Chespa Sympozjum Poligraficznego⁴⁶, w celu zaprezentowania klientom firmy Chespa, drogi do opakowań zrównoważonych w ramach wypełnienia zasad zawartych w rozporządzeniu PPWR (Rys. 9.16).

W ramach realizacji drugiej wersji opakowania czekolady zastosowano wodne farby drukowe z serii FlexiBIO oraz wodowymywalne formy fleksograficzne wykonane z fotopolimerowych płyt AWP™ firmy Asahi Kasei. Modyfikacja projektu, polegająca na przejściu od uproszczonej wersji opakowania celulozowego z ograniczoną liczbą kolorów do wariantu wielokolorowego, miała na celu ukazanie pełnego potencjału fleksograficznej technologii

⁴⁶ <https://www.chespa.eu/sympozjum-2024/>

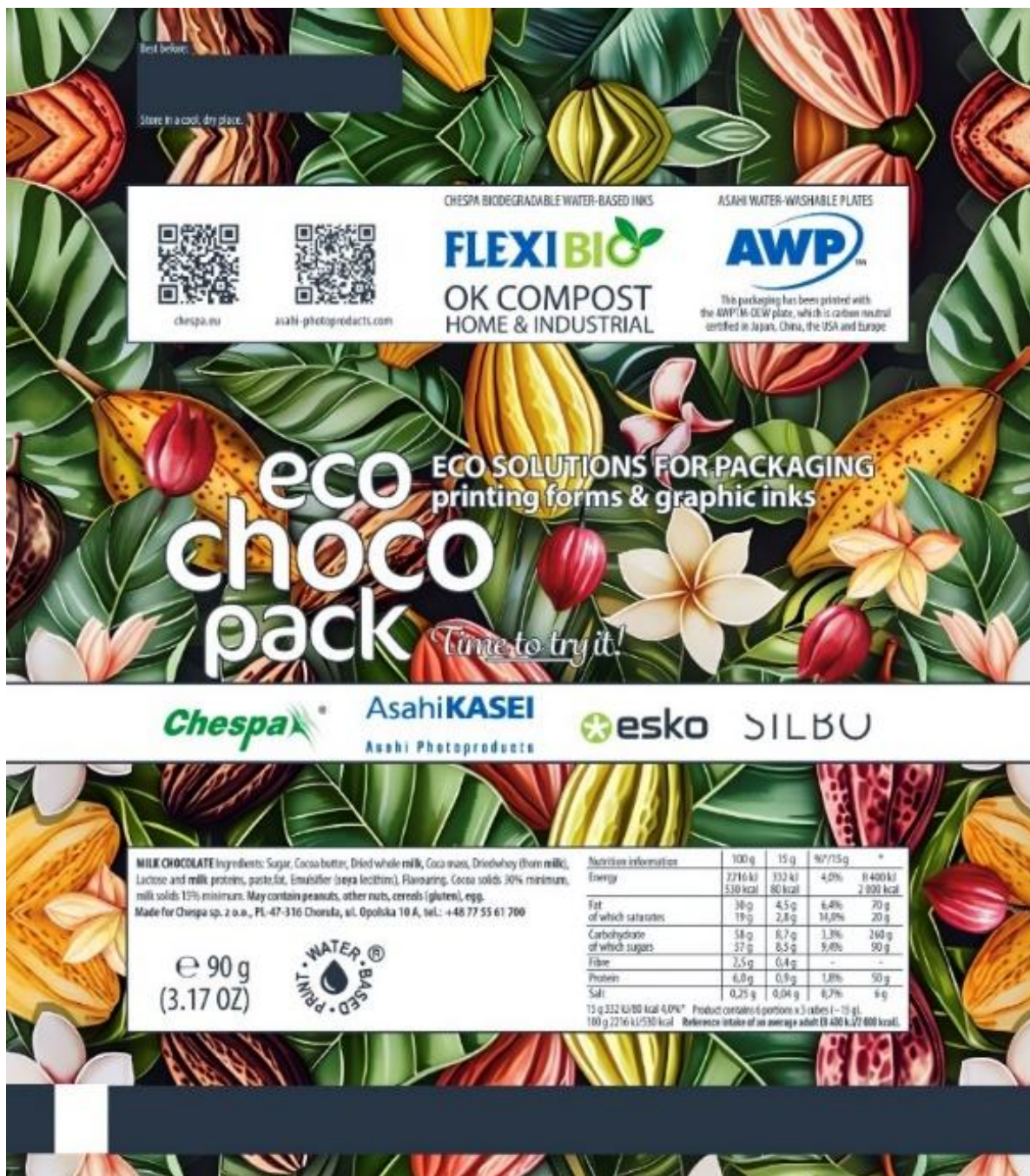
wodnego procesu drukowania. Zastosowanie zarówno nowoczesnych farb wodnych, jak i zaawansowanych form drukowych umożliwiło kompleksową prezentację możliwości tej technologii w kontekście jakości reprodukcji poligraficznej oraz aspektów środowiskowych.

Wyniki wskazują, że przy odpowiednim doborze komponentów, druk fleksograficzny na bazie wody może stanowić konkurencyjną alternatywę dla procesu drukowania rotograviurowego, zarówno pod względem jakości odwzorowania detali, jak i nasycenia kolorystycznego. Kluczowym elementem osiągnięcia wysokiej jakości reprodukcji barwnej był efektywny transfer farby zapewniany przez fleksograficzne płyty AWP™, w połączeniu z wysoką pigmentacją farb FlexiBIO.

Ponadto, zastosowanie podłoża do procesu drukowania o niższej gramaturze w porównaniu do referencyjnego, opakowania z tworzywa sztucznego, pozwoliło na redukcję masy surowca o 40%. Przełożyło się to na obniżenie emisji dwutlenku węgla (CO₂) o 10%, co wpisuje się w aktualne cele zrównoważonego rozwoju stawiane przez branżę opakowaniową. Technologia ta może zatem odpowiadać na rosnące oczekiwania właścicieli marek w zakresie redukcji śladu węglowego przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości wizualnej opakowania.

Opakowanie wykonane z polipropylenu (BOPP) perlitego o gramaturze 35 µm stanowi odpowiedź na założenia przepisów Unijnych nakładającą na producentów opakowań konieczność redukcji między innymi masy opakowania w celu ochrony zasobów pierwotnych. W przypadku opakowania przygotowanego na Sympozjum Poligraficzne firmy Chespa, osiągnięto redukcję ilości tworzywa sztucznego znajdującego się w opakowaniu o 40%. Opakowaniem referencyjnym była torebka składająca się z laminatu dwóch warstw folii: polipropylenowej (BOPP) transparentnej o gramaturze 26 µm z folią polipropylenową (BOPP) z metaliczną warstwą barierową o gramaturze 30 µm. Sumaryczna grubość laminatu w przypadku opakowania tradycyjnego wynosiła 56 µm, podczas gdy grubość folii wykonanej w jednej warstwy materiału badanego projektu wyniósł 35 µm. Dzięki usunięciu warstwy polipropylenu z metaliczną warstwą barierową z opakowania, stało się ono znacznie przyjaźniejsze dla procesu recyklingu odpadów opakowaniowych z tworzyw sztucznych. Metaliczna warstwa barierowa zawarta w opakowaniu często zaburza, a czasami wręcz uniemożliwia proces recyklingu odpadów, choć w pewnych okolicznościach jest on możliwy,

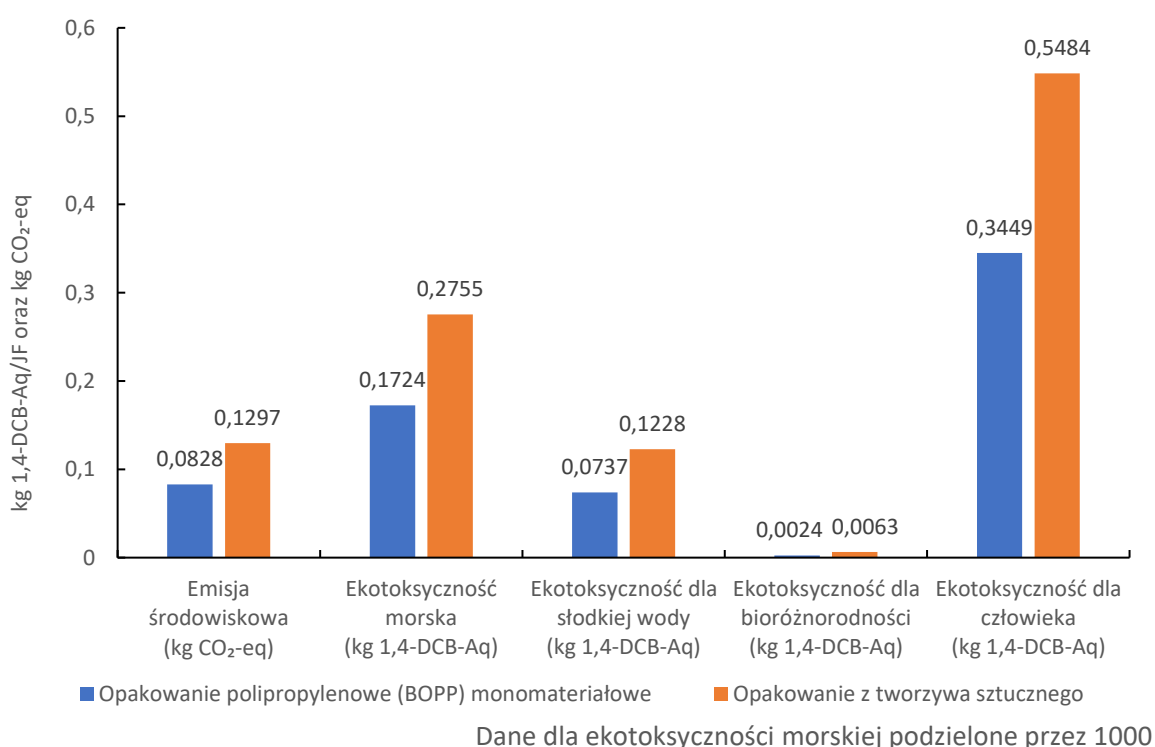
lecz bardzo skomplikowany i kosztowny [310]. Twierdzi się wręcz, iż folie zawierające metaliczną warstwę barierową ze względu na swoją skomplikowaną i złożoną strukturę nie nadają się do procesu odzysku oraz recyklingu powstałego odpadu, a jedynym sposobem ich unieszkodliwienia jest składowanie na składowiskach odpadów bądź spalanie z częściowym odzyskiem energii [311] lub zastosowanie jako dodatki do różnych aplikacji w przemyśle budowlanym [312].



Rys. 9.16 Grafika opakowania polipropylenowego (BOPP) białego

Źródło: [257].

Wśród producentów słodczy, chętnie wykorzystywana jest folia z metaliczną warstwą barierową, która jak zauważono nie podlega procesowi recyklingu. Dlatego też stworzono opakowanie z jednej warstwy materiału polipropylenowego (BOPP), które w pełni podlega procesom recyklingu [313]. Dzięki zastosowaniu w procesie drukowania opakowania farb wodorozcieńczalnych oraz wodowymywalnych form drukujących uzyskano opakowanie w pełni zrównoważone, które pozwala na obniżenie emisji środowiskowych, zmniejsza toksyczność dla środowiska przyrodniczego oraz przyczynia się do zachowania i redukcji zużycia surowców pierwotnych w produkcji poligraficznej.



Rys. 9.17 Analiza porównawcza wpływu ekotoksyczności i emisji środowiskowych opisywanych opakowań

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

Opakowanie wykonane z jednej warstwy materiału w porównaniu z opakowaniem z tworzywa sztucznego, laminowanym (0,1297 kg 1,4-DCB-Aq/JF) wykazuje redukcję emisji środowiskowych o 37% (0,0828 kg 1,4-DCB-Aq/JF). W przypadku ekotoksyczności dla ludzi, redukcja wskaźnika toksykologicznego sięga 37% (redukcja z 0,5484 kg 1,4-DCB-Aq/JF do 0,3449 kg 1,4-DCB-Aq/JF). Dzięki usunięciu z opakowania folii z metaliczną warstwą barierową oraz kleju do laminacji, najczęściej rozpuszczalnikowego, który łączy ze sobą dwie warstwy folii,

a który to zawiera w swoim składzie aminy aromatyczne, akryle, poliuretan (PU) [314] [315] lub octan winylu [316], pozwala na redukcję ekotoksyczności w ramach bioróżnorodności na poziomie 62% (redukcja z 0,0063 kg 1,4-DCB-Aq/JF do 0,0024 kg 1,4-DCB-Aq/JF), co przedstawiono na rysunku 9.17.

Dzięki zastosowaniu zaawansowanych rozwiązań technologicznych (Tabela 9.3), takich jak odpowiednio dobrane do podłoża wykonane z jednej warstwy materiału fotopolimerowe formy fleksograficzne, celowo przygotowane farby wodne oraz precyzyjnie dobrane parametry procesu drukowania, a także zastosowaniu nowoczesnej technologii płaskiego punktu rastrowego (ang. *flat top dot*), uzyskano korzyści środowiskowe oraz zapewniono prawidłowy proces drukowania z zachowaniem wysokiej jakości efektów procesu w postaci opakowania na czekoladę.

Tabela 9.3 Zestawienie ustawień produkcyjnych podczas procesu drukowania projektu graficznego

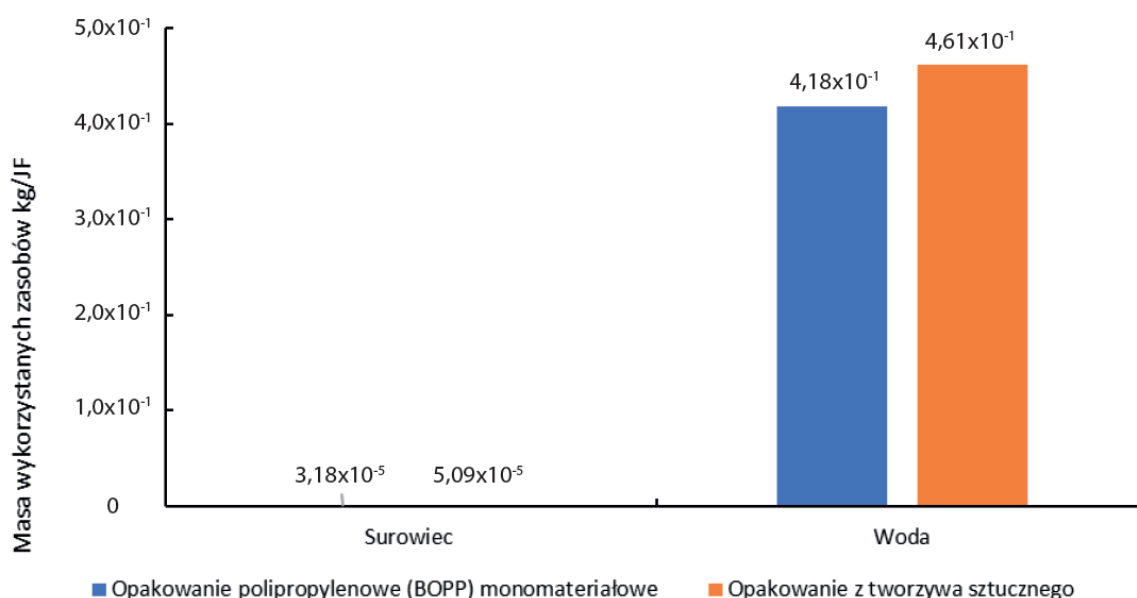
Warstwa i kolejność procesu drukowania	Liniatura wałka rastrowego	Transfer wałka rastrowego	Liniatura formy drukowej	Technologia produkcji form polimerowych
FlexiBio Black	400 lpc	4,0 cm ³ /m ² ipro	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio Cyan	400 lpc	4,7 cm ³ /m ²	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio Magenta	400 lpc	4,7 cm ³ /m ²	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio Yellow	400 lpc	4,7 cm ³ /m ²	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio P.355C	160 lpc	12,0 cm ³ /m ²	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio P.300 C	200 lpc	9,5 cm ³ /m ²	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio P.7546 C	200 lpc	9,5 cm ³ /m ²	140 lpi	LED XPS Crystal ESKO
FlexiBio Lack	280 lpc	7,5 cm ³ /m ²	pole pełne / apla	LED XPS Crystal ESKO

Źródło: wykonanie własne na podstawie przeprowadzonego zadruku w drukarni.

W przypadku projektu opakowania wykonanego z jednej warstwy materiału, do procesu drukowania podłoża, zastosowano taki sam układ oraz serię farbową, taki sam zestaw wałków

rastrowych o identycznej liniaturze oraz pojemności kałamarzy, a także o takiej samej liniaturze rastra fleksograficznej płyty fotopolimerowej, jaki opracowano przy procesie drukowania folii celulozowej z metaliczną warstwą barierową.

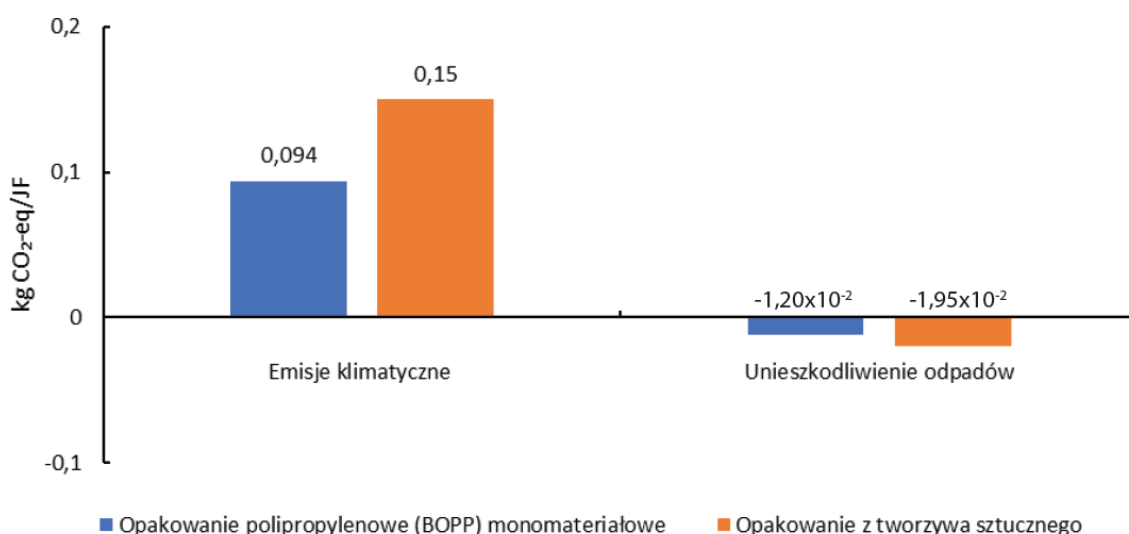
Z badania wynika, iż dla opakowania konwencjonalnego pobór wody jest o ponad 9% większy ($4,61 \times 10^{-1}$) w porównaniu do opakowania wykonanego z jednej warstwy materiału ($4,18 \times 10^{-1}$). Analogiczna sytuacja ma miejsce w odniesieniu do zużycia surowca wykorzystywanego w procesie drukowania. W przypadku opakowania wykonanego z laminatu tworzyw sztucznych zapotrzebowanie na surowiec wzrasta o ponad 38% ($5,09 \times 10^{-5}$) w porównaniu do opakowania wykonanego z jednej warstwy materiału ($3,18 \times 10^{-5}$) (Rys. 9.18).



Rys. 9.18 Analiza porównawcza konsumpcji wody oraz zapotrzebowania na surowce w odniesieniu do obu badanych opakowań

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.

Na rysunku 9.19 przedstawiono dane dotyczące emisji środowiskowych oraz unieszkodliwienia odpadów wykonanego opakowania. W przypadku opakowania monomateriałowego emisje klimatyczną są o niemal dwa razy niższe ($0,094 \text{ kg CO}_2\text{-eq/JF}$) w porównaniu do opakowania z tworzywa sztucznego wielomateriałowego składającego się z laminatu dwóch warstw materiału ($0,15 \text{ kg CO}_2\text{-eq/JF}$). W przypadku unieszkodliwienia odpadów nieco wyższa wartość jest w przypadku opakowania składającego się z laminatu ($-1,95 \times 10^{-2}$) w porównaniu do opakowania monomateriałowego ($-1,20 \times 10^{-2}$)



Rys. 9.19 Emisje klimatyczne oraz wielkość unieszkodliwienia odpadów

Źródło: wykonanie własne, na podstawie kalkulacji systemu Climate3.



Rys. 9.20 Zgodność kolorystyczna wydruku próbnego (po lewej stronie) do efektów procesu drukowania (po prawej stronie)

Źródło: wykonanie własne.

W przypadku opisywanych projektów zastosowanie wydruku próbnego na podłożu docelowym pozwoliło na proces testowania efektów obróbki grafiki na poziomie przygotowania laboratoryjnego, bez konieczności wykonywania testów przedprodukcyjnych. System wydruku próbnego na podłożu docelowym stanowi wsparcie w procesie przygotowania procesu drukowania (Rys. 9.20), dzięki możliwości zaprezentowania wzoru graficznego na surowcu użytym do produkcji komercyjnej.

Podsumowanie

Rozdział 10. Podsumowanie i wnioski

Z przeglądu literatury naukowej, specjalistycznej oraz branżowej można wyciągnąć wnioski, iż tematyka wpływu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym na ograniczenie emisji środowiskowych oraz aspekty zrównoważonego rozwoju nie istnieje. W tej materii spotkać się można z luką literaturową i badawczą, a w szczególności w przypadku systemów innych niż tradycyjne systemy wydruku próbnego. Ze względu na bardzo ograniczoną literaturę w zakresie systemów wydruków próbnych oraz brak literatury opisującej systemy wydruków próbnych z wykorzystaniem podłoża docelowego oraz wpływu tychże systemów na aspekty środowiskowe. Autor dysertacji postanowił przeprowadzić badania, których efektem jest niniejsza praca.

W rozprawie doktorskiej podjęto próbę określenia przydatności innowacyjnego systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym na redukcję emisji środowiskowych, masę odpadów produkcyjnych oraz konsumpcję zasobów, w tym: wody, energii elektrycznej, surowców do procesu drukowania, farb drukarskich oraz środków myjących. W toku prowadzonych badań określono wpływ technologii wydruku próbnego na aspekt próśrodowiskowy, ze szczególnym uwzględnieniem ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, które stanowią potencjalnie duże zagrożenie dla bytowania organizmów żywych na Ziemi. Badania przeprowadzono na dwóch zestawach danych.

Pierwszy zestaw danych, który został poddany pod badania, opierał się na wykazaniu użyteczności systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym w ramach zastosowania tegoż systemu do oceny zreprodukowanych plików graficznych wzoru opakowania właściciela marki, który ostatecznie wydrukowany został na brązowym papierze typu kraftliner, niepowleczonym, mechanicznie gładzonym, w technologii fleksograficznej. Oceniano czy system wydruku próbnego na podłożu docelowym może w pełni zastąpić konwencjonalny system wydruku próbnego, który opiera się na białym papierze, który jest systemem wiodącym na rynku poligraficznym. Wartość dodana, która płynie ze stosowania innowacyjnego systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jest niezaprzeczalna, czego dowodzi niniejsze badanie. Dla właściciela marki niezwykle istotnym aspektem prezentacji wyników pracy reprograficznej jest odpowiednie, maksymalnie realne w odniesieniu do warunków

produkcyjnych, zaprezentowanie wyników pracy z wykorzystaniem podłoża produkcyjnego z pełnym jego wpływem na odbiór produktu, ale również wpływem podłoża na efekt barwny wzoru, w szczególności zdjęć oraz kolorów specjalnych na przykład Pantone®. System wydruku próbnego na podłożu docelowym spełnia wszelkie wymagania właściciela marki w aspekcie realnego przedstawienia końcowego wyglądu opracowanej grafiki, który będzie uwzględniał charakterystykę wybranego podłoża do procesu drukowania, niezależnie od tego, jakie to będzie podłoże. Do chwili opracowania systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym przez autora niniejszej rozprawy doktorskiej, żaden z partnerów biznesowych firmy Chespa, w której to rozwiązanie zostało opracowane, nie miał możliwości oceny swojej grafiki na etapie wydruku próbnego z wykorzystaniem podłoża docelowych. Mówiąc o wydruku próbnym, ma się na myśli system, który jest odpowiednio skalibrowany oraz poddany procesowi certyfikacji, aby spełniał wszelkie założenia norm ISO dla systemów cyfrowego wydruku próbnego.

Drugi zestaw danych, który został poddany pod badania, opierał się na wykazaniu, iż system wydruku próbnego na podłożu docelowym może zastąpić w określonych warunkach, stosowanie testów przedprodukcyjnych, które są niezbędne w celu przetestowania skomplikowanych elementów graficznych, ze szczególnym wskazaniem na projekty przygotowywane w ramach odświeżenia marki (ang. *rebranding*) bądź w sytuacjach, w których właściciel marki zmienia podłoże do procesu drukowania, np. z laminatu materiału polipropylenu (BOPP) transparentnego z polipropylenem (BOPP) białym na materiał składający się z polipropylenu (BOPP) transparentnego z wykończeniem matowym z polipropylenem (BOPP) z metaliczną warstwą barierową. W przypadku konwencjonalnego systemu wydruku próbnego nie istnieje możliwość pozwalająca na symulację efektów lakieru matowego o zdefiniowanym stopniu zmatowienia powłoki, ale przede wszystkim nie ma możliwości do zaprezentowania efektów metaliczności elementów grafiki, szczególnie takich, które podczas prac związanych z odświeżeniem marki zostały pozbawione poddruku białą farbą w sposób selektywny, w celu uzyskania pożądaných przez klienta efektów.

W ramach ekoprojektowania opakowań podjęto próbę przedstawienia trzech różniących się od siebie strukturą oraz surowcami opakowań, które w myśl zapisów rozporządzenia o opakowaniach i odpadach opakowaniowych, powinny w pełni nadawać się do recyklingu. Autor dysertacji jako lider prowadzonych projektów, wybrał w procesie selekcji

podłoża takie jak: biały, niepowleczony papier typu kraftliner, folię celulozową z metaliczną warstwą barierową oraz folię wykonaną z jednej warstwy materiału polipropylenową (BOPP) białą. Każde ze wskazanych podłoży wykazuje inne właściwości fizyczne oraz przeznaczone jest do selektywnej zbiórki odpadów w odrębnym ich strumieniu. Zastosowane surowce oraz rozwiązania w opisywanych opakowaniach, spełniają zasady zrównoważonego rozwoju w rynku poligraficznym. Dzięki bilansowaniu środowiskowemu uzyskano dane o wpływie opakowań na środowisko naturalne w porównaniu z opakowaniami referencyjnymi, wyprodukowanymi w technologiach konwencjonalnych.

W rozprawie doktorskiej przyjęto następujący cel główny badania:

Za główny cel badawczy niniejszej rozprawy przyjęto określenie znaczenia i wpływu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym w na redukcję emisji środowiskowych w ramach cyklu życia produktu oraz ograniczenie lub eliminację przedprodukcyjnych testów maszynowych, a także udział systemu w ekoprojektowaniu opakowań.

Na podstawie przeprowadzonych badań udowodniono, że innowacyjny system wydruku próbnego na podłożu docelowym wpływa na procesy decyzyjne właściciela marki w sposób umożliwiający podejmowanie decyzji w oparciu o wykorzystanie surowca produkcyjnego, w ramach wdrażania projektu odświeżania marki opakowania, poprzez jego ocenę na etapie wydruku próbnego, który prezentuje wszelkie aspekty komercyjnego procesu drukowania. System wydruku próbnego na podłożu docelowym osiągnął znaczący wpływ na redukcję ilości odpadów produkcyjnych w ramach testów przedprodukcyjnych oraz doboru barwy podczas akceptacji procesu drukowania przez właściciela marki w drukarni. Dzięki zastosowanej technologii wydruku próbnego emisje środowiskowe ulegną znaczącemu obniżeniu w ramach bilansowania środowiskowego, bazującego na systemie LCA (ang. *Life Cycle Assessment*). W związku z redukcją emisji środowiskowych oraz ograniczeniem wytwarzania odpadów produkcyjnych opisywany system w dużym stopniu wpływa na ograniczenie emisji związków toksycznych do środowiska

W ramach celów szczegółowych dokonano następujących ocen:

C 1. *Ocena systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jako efektywne narzędzie do oceny projektu graficznego przed przystąpieniem do procesu przygotowania produkcji poligraficznej, w ramach redukcji emisji środowiskowych w zakresie cyklu życia produktu.*

System wydruku próbnego na podłożu docelowym został stworzony przez autora dysertacji na potrzeby współpracy z działami marketingu właścicieli marek, którzy poszukiwali możliwości oceny projektowanego przez siebie wzoru grafiki, na materiale do procesu drukowania komercyjnego. W przypadku określonej grupy podłoży, które charakteryzują się szczególnie skomplikowaną strukturą, system wydruku próbnego na podłożu docelowym stał się niezastąpiony w procesie decyzyjnym oraz oceny wzoru graficznego przed przystąpieniem do procesu drukowania. W przedmiotowej pracy opisano porównanie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym do systemu wydruku próbnego, który wykorzystuje standardowy, biały papier proofingowy, posiadający określone wykończenie powierzchni. W rozdziale siódmym przeprowadzono bilansowanie środowiskowe w ramach porównania systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym w porównaniu do wydruku próbnego konwencjonalnego. Surowcem do produkcji poligraficznej był brązowy papier typu kraftliner, niepowleczone, mechanicznie gładzone. Ze względu na to, że tego typu papiery stanowią poważne ograniczenie jakościowe w przypadku projektowania wzoru graficznego, pojawiło się ryzyko niepoprawnej komunikacji między właścicielem marki a działem reprograficznym firmy Chespa. W roku 2019, w którym to system został opracowany oraz wdrożony do zastosowania komercyjnego, borykano się z poważnymi ograniczeniami komunikacyjnymi między partnerami biznesowymi na linii właściciel marki a studio reprograficzne. Ograniczenie w komunikacji wynikało ze specyfiki pracy działów marketingu właściciela marki, w których pracują doskonali specjaliści z zakresu budowy wartości i wizerunku marki, oraz specjalizujących się w tworzeniu strategii produktu i wyznaczają trendy w opakowaniach, lecz nie posiadają wiedzy specjalistycznej z zakresu szeroko pojętej technologii poligraficznej. Przed wprowadzeniem innowacyjnego systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym wszelkie skomplikowane elementy projektu graficznego symulowane były przy użyciu wydruku próbnego konwencjonalnego, niezależnie od zastosowanego w produkcji podłoża. Pojawiające się problemy związane z oceną elementów graficznych, takich jak zdjęcia w

otoczeniu mocno kontrastujących obiektów, takich jak brązowe tło wynikające z zastosowania papieru brązowego typu kraftliner, powodowało postawanie coraz to liczniejszych utrudnień w ocenie, akceptacji i podejmowaniu decyzji o wyborze kierunku działania z obróbką graficzną wzoru.

Po wdrożeniu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym komunikacja między działem Chespa Repro Studio, a działami marketingu właścicieli marek osiągnęła znacząco wyższy poziom wspólnego zrozumienia. Od chwili wprowadzenia systemu, przedstawiciel działu marketingu, który zarządzał portfelem projektów, mógł w sposób jasny określić zakres oraz granicę dla budowania komunikacji wizualnej marki. Od tej chwili pojawiła się możliwość faktycznej oceny takich elementów grafiki, jak separacja barwy białej o określonym parametrze nieprzezroczystości warstwy farby. Parametr ten jest niezwykle istotny, szczególnie jeśli proces drukowania odbywa się na folii aluminiowej lub folii z metaliczną warstwą barierową, przy zastosowaniu farb o niskim współczynniku nieprzezroczystości białej warstwy farby. Szczególną wartością dodaną stała się możliwość oceny grafiki, w której właściciel marki uwzględnił elementy grafiki, które nie zostały poddrukowane białą farbą, a podłożem jest folia z metaliczną warstwą barierową bądź folia transparentna, lecz następnie efekt procesu drukowania zostanie oklejony na opakowanie z ciemną zawartością, która znacząco wpłynie na odbiór wizualny grafiki na etykiecie. Doskonałym źródłem przykładów opisanych w niniejszej rozprawie jest materiał video, stworzony przez firmę Chespa w ramach promocji innowacyjnego systemu wydruku próbnego: <https://www.chespa.eu/system-proofingu-na-podlozu-docelowym/>. Dzięki możliwościom jakie daje system wydruku próbnego na podłożu docelowym, nie tylko specjalista posiadający wiedzę techniczną i doświadczenie z zakresu technologii poligraficznych, lecz również osoba niezwiązana bezpośrednio z poligrafią może ocenić projekt graficzny, który na wydruku próbnym będzie zaprezentowany w sposób, w jaki następnie zostanie wyprodukowany komercyjnie, w drukarni. Dzięki możliwościom jakie daje właścicielowi marki system wydruku próbnego na podłożu docelowym, ocena wzoru graficznego staje się znacznie łatwiejsza, jeszcze na długo przed rozpoczęciem procesu drukowania. Właściciel marki, mogąc ocenić wzór graficzny na długo przed wyprodukowaniem fleksograficznych płyt fotopolimerowych, farb fleksograficznych oraz rozpoczęciu przygotowań procesu drukowania, jest w stanie zapobiec procesowi drukowania wzoru, który nie spełniałby oczekiwań wizualnych działu marketingu. Działania te, przyczyniają się bezpośrednio do

znaczącego ograniczenia emisji środowiskowych oraz odpadów poprodukcyjnych. System wydruku próbnego, pozwalając na ocenę efektu drukowania na etapie wydruku próbnego zapobiega negatywnemu wpływowi produkcji poligraficznej na środowisko naturalne.

Dzięki możliwości oceny wyglądu opakowania na etapie wydruku próbnego odkryto, iż system wpływa na ograniczenie ilości odpadów produkcyjnych, przyspiesza procesy decyzyjne, ogranicza emisje środowiskowe a co za tym idzie w znaczący sposób redukuje ślad węglowy produktu w ramach bilansowania środowiskowego. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że brak możliwości zwizualizowania finalnego wyglądu opakowania w ocenie klienta końcowego utrudnia właściwą ocenę takich aspektów, jak wygląd zalewki między separacją białą a separacją zbudowaną z koloru specjalnego, zastosowanie obrysów wokół elementów grafiki w formie wybrań, czy zaprezentowanie transparentności na wydruku próbnym, przyczyniał się przed wprowadzeniem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, do licznych nieporozumień podczas akceptacji w trakcie procesu drukowania w drukarni. Decyzje podejmowane na etapie procesu drukowania projektów, przy braku wizualizacji co do zastosowanych zabiegów technicznych, przyczyniały się do wielu nieporozumień na linii właściciel marki a studio reprograficzne. Kierując się chęcią poprawy elementów grafiki, które na wydruku próbnym papierowym były niemożliwe do zasymulowania, powodowały znaczące straty produkcyjne, generowane w trakcie ustawiania pracy w procesie drukowania w drukarni. Nierzadko generowany był odpad przekraczający nakład zamówienia. Tego typu działania powodowały znaczące straty materiałowe oraz marnowanie takich zasobów jak woda i energia elektryczna, ale też generowały odpady, i przyczyniały się do znaczącego wzrostu emisji środowiskowych. System wydruku próbnego na podłożu docelowym stał się narzędziem, które pozwoliło na rzeczywistą ocenę aspektów technicznych, uszlachetnień w procesie drukowania oraz odbioru opakowania z wykorzystaniem podłoża produkcyjnego, które pozyskiwane było z drukarni w celu stworzenia wydruku próbnego

C 2. Wpływ systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym na ocenę skomplikowanych elementów grafiki projektu graficznego z wykorzystaniem nietypowych podłoży drukowych w ramach redukcji emisji środowiskowych, ograniczeniu powstawania odpadów poprodukcyjnych oraz zużycia zasobów przyrodniczych i ludzkich.

System wydruku próbnego na podłożu docelowym rozwijany jest przez autora dysertacji od 2019 roku, w celu usprawnienia i poprawy jakości współpracy z klientami końcowymi. Osiągnięte rezultaty i poziom rozwoju systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym są efektem wieloletniej pracy nad udoskonalaniem i rozwojem systemu w celu zapewnienia obu stronom biznesowym narzędzia pozwalającego nie tylko na szybką i rzetelną ocenę grafiki na podłożu produkcyjnym, ale również pozwala na zredukowanie negatywnego wpływu na środowisko naturalne w branży poligraficznej. Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań poparte są wieloletnimi analizami procesu wykorzystującego wydruki próbne na podłożu docelowym w porównaniu do procesu wykorzystującego wydruki próbne konwencjonalne w drodze procesu drukowania i akceptacji efektów procesu drukowania przez właściciela marki.

System wydruku próbnego na podłożu docelowym znajduje swoje zastosowanie szczególnie w przypadku trudnych i wymagających podłoży wykorzystywanych w procesie drukowania, które stanowią barierę odwzorowania barwy, elementów technicznych czy też efektów specjalnych, takich jak wszelkiego rodzaju uszlachetnienia w przypadku wydruku próbnego konwencjonalnego. Należy jednak nadmienić, iż system wydruku próbnego konwencjonalnego znajduje powszechne zastosowanie w poligrafii i jest szeroko stosowany we wszystkich aspektach przygotowania produkcji poligraficznej. Szczególnie przydatny jest wówczas, gdy dochodzi do wymiany informacji między podmiotami o podobnym poziomie wiedzy technologicznej, to jest między drukarnią a agencją reprograficzną bądź przygotowalnią narzędzi do procesu drukowania. Specjaliści posiadający szeroką wiedzę i doświadczenie w zakresie materiałoznawstwa, procesów produkcyjnych w poligrafii oraz efektów specjalnych, potrafią ocenić aspekty techniczne na podstawie wydruku próbnego konwencjonalnego. System wydruku próbnego na podłożu docelowym znajduje w szczególności zastosowanie w przypadku komunikacji między podmiotami niewykwalifikowanymi, ale również podmiotami wykwalifikowanymi w branży poligraficznej. Do podmiotów niewykwalifikowanych zaliczyć należy przedstawicieli działów marketingu, tworzących koncepcję opakowania lub kadrę zarządzającą średniego i wyższego szczebla właścicieli marek, których zadaniem jest akceptacja koncepcji wzoru graficznego opakowania oraz ocena efektów pracy agencyjnej. Najczęściej osoby te nie posiadają głębokiej wiedzy technologicznej z zakresu reprografii, technologii procesów drukowania, zarządzania barwą, czy profilowania. W odpowiedzi na

potrzeby tej grupy odbiorców opracowano system wydruku próbnego na podłożu docelowym umożliwiającą wykonywanie prób procesu drukowania na docelowym podłożu produkcyjnym.

Osoby nieposiadające specjalistycznej wiedzy z zakresu technologii poligraficznej mogą napotykać istotne trudności w ocenie charakterystyki wybranych elementów graficznych, szczególnie w kontekście przewidywanego efektu końcowego w przypadku zastosowania różnych rodzajów uszlachetnień, takich jak lakierowanie matowe i błyszczące. Problematyczna okazuje się również ocena wizualna oraz wyobrażenie sobie wyglądu elementów graficznych nadrukowanych bezpośrednio na podłożu metalicznym lub wyposażonych w biały poddruk. Złożoność tych zagadnień wynika z interakcji pomiędzy technologią procesu drukowania a właściwościami podłoża oraz specyfiką użytych metod uszlachetniających.

Jednym z bardziej wymagających podłoży w kontekście procesu druku, zarządzania barwą oraz wydruku próbnego są puszki do napojów. Wynika to przede wszystkim ze specyfiki technologii procesu druku, jaką stanowi technologia offsetu bezwodnego (ang. *dry offset*), w której farby nanoszone są w systemie mokro na mokro, a proces utrwalania odbywa się bezpośrednio na powierzchni puszki, najczęściej wykonanej z aluminium. Ograniczenia technologiczne, takie jak maksymalna dopuszczalna sumaryczna ilość farby nałożona na dany obszar elementu grafiki (ang. *maximum ink limit*), brak możliwości stosowania klasycznego rastra amplitudowego (AM) oraz charakterystyka podłoża (z metaliczną warstwą barierową, niechłonnego), powodują, że konwencjonalne systemy wydruku próbnego, oparte zazwyczaj na podłożach symulacyjnych lub papierowych, nie pozwalają na wiarygodne odwzorowanie efektu końcowego procesu druku.

Alternatywę stanowi wykonanie wydruku próbnego na docelowym podłożu, tj. na puszcze aluminiowej, z wykorzystaniem specjalistycznych systemów wydruku próbnego dostosowanych do warunków produkcji opakowań z metalu. Takie rozwiązanie pozwala na przygotowanie wydruku próbnego, który nie tylko umożliwia ocenę zgodności kolorystycznej i jakościowej z projektem graficznym, ale również stanowi podstawę do precyzyjnego recepturowania farb oraz ustawień maszyny drukującej w warunkach produkcji przemysłowej.

Warto zaznaczyć, że alternatywą dla systemów wydruku próbnego może być również proces druku testowego na maszynie laboratoryjnej, potocznie zwanej cylinder proofem,

jednak jego realizacja wiąże się z wysokimi kosztami oraz znacznym nakładem czasu, co czyni to rozwiązanie mało efektywnym w warunkach komercyjnych.

Dzięki szerokiemu zastosowaniu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym do wybranej grupy podłoży, które stanowią wyzwanie w ramach oceny wzoru graficznego przez właściciela marki, w szybki i łatwy sposób można ocenić wszelkie aspekty techniczne przyszłego opakowania, na długo przed ustawieniem produkcji testowej lub komercyjnej. W trakcie 6 lat pracy nad rozwojem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym spotkano się z niezliczoną ilością przykładów zróżnicowanego zastosowania systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym. Zarówno właściciele marki, jak i coraz częściej drukarnie, skłaniają się do korzystania z systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, aby w pełni zaprezentować swojemu klientowi efekt finalny opakowania przed jego wyprodukowaniem.

W przypadku drukarni, system znajduje coraz szersze zastosowanie, ponieważ dzięki możliwości przygotowania certyfikowanego wydruku próbnego z wykorzystaniem podłoży docelowych, właściciel marki jest w stanie zwizualizować sobie efekt finalny opakowania na długo przed uruchomieniem produkcji komercyjnej. Nierzadko drukarnie wspomagają się systemem wydruku próbnego na podłożu docelowym, szczególnie w przypadku bardzo wymagających klientów, którzy oczekują pełnej zgodności wydruku próbnego do produkowanego opakowania.

W praktyce przemysłowej właściciele marek niejednokrotnie wykorzystują wydruki próbne na podłożu docelowym do celów zbliżonej symulacji efektu końcowego, jaki ma zostać osiągnięty po wdrożeniu właściwego procesu druku komercyjnego. W określonych przypadkach wydruki próbne służą nie tylko do oceny wrażeń wizualnych związanych z kolorystyką opakowania, lecz również do weryfikacji zgodności układu graficznego z siatką wykrojnika oraz dopasowania do finalnej formy opakowania, takiej jak tacka czy wypraska. Takie działania umożliwiają kontrolę poprawności przygotowania dokumentacji technicznej, w tym rysunków konstrukcyjnych, przez wewnętrzne działy rozwoju opakowań u zleceniodawcy.

Istnieją również dodatkowe aspekty systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, nieuwzględnione w niniejszym badaniu, lecz istotne z perspektywy praktycznej, stanowią istotną wartość dodaną dla właścicieli marek, agencji kreatywnych oraz drukarni. Do

najważniejszych z nich należy możliwość symulacji wybranych efektów uszlachetnień już na etapie wydruku próbnego. W szczególności dotyczy to takich technik, jak: wybiórcze lakierowanie lakierem matowym lub błyszczącym, symulacja uszlachetnień z wykorzystaniem złocenia na zimno (ang. *cold stamping*) i na gorąco (ang. *hot stamping*), odwzorowanie efektu farb specjalnych (np. złotych lub srebrnych), a także symulacja tłoczenia (ang. *embossing*).

Dzięki możliwości zaprezentowania tych efektów w ramach wydruku próbnego na podłożu docelowym, proces projektowania opakowań może zostać znacząco zoptymalizowany. W wielu przypadkach etap wydruku próbnego pozwala na rezygnację z czasochłonnych i kosztownych testów przedprodukcyjnych, co wpływa na skrócenie czasu wdrożenia oraz obniżenie kosztów całego cyklu projektowo-produkcyjnego.

C 3. Aspekty ekoprojektowania opakowań z wykorzystaniem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jako metody redukcji powstawania odpadów z tworzyw sztucznych, emisji środowiskowych i działalność w kierunku zrównoważonego rozwoju w przemyśle poligraficznym.

Ekoprojektowanie opakowań stanowi jeden z kluczowych elementów współczesnego podejścia zarówno rynku poligraficznego, jak i regulacji prawnych dotyczących zarządzania opakowaniami oraz odpadami opakowaniowymi. W dniu 16 kwietnia 2025 roku został przyjęty i opublikowany pierwszy plan roboczy odnoszący się do rozporządzenia ESPR (ang. *ecodesign for sustainable product regulation*) i etykietowania energetycznego [317].

Wydruk próbny na podłożu docelowym aktywnie uczestniczy i wpływa na podejmowanie decyzji projektowych oraz strategicznych wśród właścicieli marek. Dzięki możliwości zaprezentowania projektu odświeżenia wizerunku marki danego opakowania, z wykorzystaniem wielu różnych podłoży, bez konieczności prowadzenia długich, kosztownych oraz wysokoemisyjnych testów produkcyjnych, system wydruku próbnego na podłożu docelowym daje niemal nieograniczone możliwości w procesach testowania rozwiązań zrównoważonych. Przykładem tego typu działań są projekty realizowane w okresie minionych 12 miesięcy przez autora rozprawy, we współpracy z partnerami biznesowymi. Poprzez możliwość zastąpienia na etapie wydruku próbnego, podłoża konwencjonalnego, na przykład laminatu folii polipropylenowej (BOPP) matowej z folią polipropylenową (BOPP) z metaliczną warstwą barierową, na podłoża zrównoważone, takie jak papier, które poddają się w łatwy

sposób procesowi recyklingu, testowanie może ograniczyć się do etapu przygotowania nawet 1 sztuki wydruku próbnego na podłożu docelowym. Rok 2024 stanowił początek procesu zmiany podejścia właścicieli marek do opakowań jako odpadów, które powinny podlegać łatwemu procesowi recyklingu, w myśl rozporządzenia o opakowaniach i odpadach opakowaniowych.

System wydruku próbnego na podłożu docelowym odegrał znaczącą rolę w aspekcie procesu przygotowania opakowania papierowego na mrożonki firmy Frosta AG. Dzięki możliwościom, jakie niósł ze sobą system wydruku próbnego na podłożu docelowym, właściciel marki był w stanie ocenić efekt projektowania graficznego na etapie wydruku próbnego. Dzięki zastosowaniu podłoża docelowego, które wykazywało właściwości termozgrzewalne, pojawiła się możliwość uformowania oraz zgrzania wydruku próbnego w torebkę. Tego typu materiały wykorzystywane były w celach marketingowych oraz badawczych, w ramach testów konsumenckich oraz testów na półce (ang. *shelf testów*).

Działania w zakresie zrównoważonego rozwoju w poligrafii powinny nie tylko nakładać na producentów opakowań obowiązki zmian idące w kierunku redukcji masy, wielkości i objętości opakowań, ale także racjonalne procesy przechodzenia z opakowań konwencjonalnych w kierunku opakowań zrównoważonych, czyli takich, które łatwo ulegają procesowi odzysku bądź recyklingu. Narzędziem wspierającym takie działania jest system wydruku próbnego na podłożu docelowym, który umożliwia odpowiedni dobór podłoża do procesu drukowania względem grafiki oraz przeznaczenia produktu, ale także aktywnie wspiera działania związane z ochroną środowiska naturalnego poprzez redukcję emisji środowiskowych oraz redukcji strumienia odpadów produkcyjnych, związanych z procesem drukowania testowego.

W toku badań osiągnięty został cel główny pracy oraz cele szczegółowe, jakim było określenie wpływu wydruku próbnego na podłożu docelowym na ograniczenie emisji środowiskowych, w tym ograniczenie ilości odpadów oraz jako narzędzie zastępujące testy przedprodukcyjne, a także metoda wspomagająca ekoprojektowanie opakowań.

Na postawione pytania badawcze, uzyskano następujące odpowiedzi:

P 1. *Jakie są podobieństwa i różnice konwencjonalnego systemu wydruku próbnego w porównaniu do systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym?*

Porównanie parametrów maszyn drukujących w ramach systemu wydruków próbnych na podłożu docelowym oraz systemu wydruków próbnych konwencjonalnych przedstawiono w tabeli 10.1.

Tabela 10.1 Porównanie badanych systemów wydruków próbnych (opisanych w rozdziale 2)

Proces	Konwencjonalny system wydruku próbnego	Wydruk próbny na podłożu docelowym
Technologia procesu drukowania	Druk cyfrowy w oparciu o drukarki pracujące w zakresie rozszerzonej przestrzeni kolorystycznej (ECG)	Druk cyfrowy w oparciu o drukarki pracujące w zakresie rozszerzonej przestrzeni kolorystycznej (ECG)
Oprogramowanie do zarządzania barwą	Powszechnie dostępne oprogramowanie sterujące barwą w procesie cyfrowego wykonywania wydruku próbnego	Powszechnie dostępne oprogramowanie sterujące barwą w procesie cyfrowego wykonywania wydruku próbnego
Minimalna wielkość kropli atramentu	ok. 3 pikolitra	ok. 4 pikolitra
Konfiguracja dysz	360 dysz	360 dysz
Zużycie energii elektrycznej	65 W	650 W
Podłoża do druku	Papier	Papier, tektura, tworzywo sztuczne
Rodzaj wydruku próbnego	Na papierze	Na papierze, na tworzywie sztucznym
Częstotliwość wykonywania / kontroli kalibracji	Do 2-3 dni	Do 12 miesięcy
Poziom trudności obsługi	Niska	Wysoka

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na objęcie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym tajemnicą firmową firmy Chespa, co za tym idzie, zakazem publikacji danych wrażliwych, nie zachodzi

możliwość szczegółowego scharakteryzowania pracy oraz przygotowania wydruku próbnego w tejże technologii.

P 2. *Jaki jest obecny stan wiedzy na temat obliczania emisji środowiskowych dla systemów wydruków próbnych i ich wpływ na proces produkcji opakowań?*

W aspekcie badań z zakresu bilansowania środowiskowego w ramach cyklu życia produktu oraz śladu węglowego, według metodologii LCA (ang. *Life Cycle Assessment*) bazującej na normach ISO 14044 oraz ISO 14040, stwierdzono wystąpienie luki badawczej przemysłu poligraficznego w tym zakresie.

Nie natrafiono na publikacje naukowe, popularno-naukowe czy branżowe z zakresu poligrafii lub ochrony środowiska, które traktowałyby o badaniach systemów wydruków próbnych pod kątem ich wpływu na redukcję śladu węglowego, emisji środowiskowych czy ograniczenia strumienia odpadów w procesie produkcji poligraficznej. Stwierdzono lukę badawczą w zakresie systemów wydruków próbnych, które jak dotąd nie były przedmiotem badań naukowych w zakresie poligrafii lub ochrony środowiska. W literaturze niemal nie występują informacje o systemach innych niż powszechnie stosowane, jak wydruk próbny wykorzystujący dedykowane, certyfikowane podłoża papierowe. Jediną publikacją, na którą natrafiono, a która to opisuje system wydruku próbnego na podłożach dedykowanych (podłoża dedykowane to podłoża o określonych właściwościach, nie są to podłoża produkcyjne) jest książka pod tytułem „Poligrafia – sztuka, techniki, technologie” jako praca zbiorowa, wydawnictwa Centralnego Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Poligraficznego, wydana w 2021 roku. W wyżej wymienionej książce w rozdziale 3.7.1. opisano system „proofingu” noszącego nazwę Kodak Approval, który został wprowadzony na rynek w latach dziewięćdziesiątych XX wieku. Producent, do którego należała technologia oraz media dedykowane, produkowane dla tegoż systemu ogłosił, iż od 01.04.2019 r. kończy obsługę systemu Kodak Approval [318]. Niemniej jednak system Kodak Approval nie dotyczył przedmiotu badań w zakresie, którego dotyczy niniejsza dysertacja.

P 3. *Jakie są metody oceny oraz kontroli specyficznych elementów grafiki lub wpływ charakterystycznego podłoża w procesie drukowania na grafikę?*

Przed opracowaniem przez autora dysertacji systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym w firmie Chespa, jedyną metodą oceny oraz kontroli specyficznych elementów grafiki takich jak zalewki, wybiórcze elementy grafiki w białej separacji lub pokrycie części grafiki wybiórczym lakierem matowym lub błyszczącym albo wpływ charakterystycznego podłoża drukowego na grafikę, można było zrealizować poprzez przygotowanie testów produkcyjnych w drukarniach. Rozwiązanie to stosowano powszechnie, w tym także w niniejszej dysertacji, ponieważ stanowiło ono jedyną rzetelną metodę oceny reprodukowanej grafiki pod względem zgodności kolorystycznej na podłożu produkcyjnym. Aspekty techniczne opisano w podrozdziale 2.4.

Należy wspomnieć, iż proces drukowania cyfrowego na podłożach z tworzyw sztucznych nie jest niczym nowym, ponieważ od wielu lat z powodzeniem funkcjonuje możliwość wykorzystania w procesie drukowania dowolnego podłoża, również docelowego przez drukarki cyfrowe, szczególnie te, które pracują w systemach utrwalania farb w technologii nadfioletowej (UV). Niemniej jednak największą zaletą systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym opracowanym przez autora rozprawy, jest możliwość wykonywania wysokiej jakości, certyfikowanych wydruków próbnych, potwierdzonych raportem systemu pomiarowego zgodnego z normą ISO 12647-7:2016. Ponadto w badanym systemie jest możliwość tworzenia dowolnych laminatów podłoży, uwzględniania stopnia przezroczystości białej farby (ang. *opacity*) oraz stopnia połysku lakieru (pomiar za pomocą urządzenia typu multi-angle glossmeter 20/60/85 angle, TypeC BYK [319]).

Poza testami maszynowymi, które są czasochłonne, kosztochłonne, generują znaczącą ilość odpadów, powodują większe zużycie wody, energii elektrycznej oraz zasobów pierwotnych, istnieje alternatywa w postaci systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym.

Należy nadmienić, iż w chwili opracowania i wprowadzenia innowacyjnego systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym, we wrześniu 2019 r., był to pierwszy i jedyny tego typu system wprowadzony do powszechnej sprzedaży właścicielom marki. Dane o braku podobnych systemów wydruków próbnych zaczerpnięto z informacji przekazywanych autorowi przez właścicieli marek oraz drukarni.

P 4. *Jak wygląda sytuacja na rynku opakowaniowym pod kątem redukcji emisji środowiskowych oraz zmniejszenia udziału tworzyw sztucznych w procesie projektowania, przygotowywania i wprowadzania do obrotu opakowań konsumenckich?*

Do roku 2024, a konkretnie do chwili podpisania przez Parlament Europejski dokumentów rozporządzenia UE 2025/40 z dnia 19 grudnia 2024 r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych, działania producentów opakowań w kierunku zrównoważonego rozwoju nie były spektakularne i opierały się w głównej mierze na badaniach trendów opakowaniowych na rynku. Kierowano się również potrzebami i gustami młodych pokoleń konsumentów, dla których zrównoważony rozwój oraz ochrona środowiska mają znaczenie.

Trend zmiany konwencjonalnych typów opakowań, czyli takich, które wytworzono z surowców, które trudno lub wcale nie ulegają procesowi recyklingu, na opakowania łatwo poddające się procesom recyklingu można obserwować od kilku lat. Dotychczas był to trend niszowy, bazujący najczęściej na pojedynczych produktach, projektach sezonowych bądź też projektach specjalnych, na przykład serii organicznej. Stosowanie podłoży przyjaznych dla środowiska, ale również w dużej mierze pozwalających na znaczące obniżenie śladu węglowego produktu, nigdy nie było popularne, przede wszystkim ze względu na wysoką cenę surowca, na przykład folii celulozowej, folii PLA (kwas polimlekowy) czy papieru. Poza aspektami finansowymi należy zwrócić uwagę na aspekt technologiczny. Procesy produkcji opakowań, który przez długie lata oparty był na wykorzystaniu poliolefin, musi zostać dostosowany do nowych podłoży, nierzadko znacznie trudniejszych w procesie drukowania oraz w przemysłowym przetwarzaniu produktu w opakowanie. Często aspekt skomplikowanych technologicznie procesów, skutecznie zniechęcała właścicieli marek do inwestowania w nowe, bardziej zrównoważone surowce. Niestety jak już wspomniano, często barierą nie do przejścia, była cena surowca przyjaznego dla środowiska.

Wzmoczoną aktywność wśród właścicieli marek odnotowano w chwili, gdy pojawiła się informacja o planach przekształcenia Dyrektywy PPWR (ang. *Packaging and Packaging Waste Regulation*) w rozporządzenie. Z dniem podpisania rozporządzenia przez Parlament Europejski i nadanie jej numeru UE 2025/40, państwa członkowskie mają 18 miesięcy na wdrożenie systemów pozwalających na spełnienie wymogów zawartych w rozporządzeniu. Natomiast producenci opakowań mają ściśle określone ramy czasowe, które wprowadzają obowiązek

spełnienia wymogów w kwestiach zmian struktury opakowań z takich, które trudno lub wcale nie podlegają procesowi recyklingu, na takie, które łatwo podlegają procesowi recyklingu.

W ostatnim czasie obserwuje się intensyfikację działań na rzecz zrównoważonego rozwoju, ograniczenia ilości odpadów opakowaniowych, redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz zmniejszenia obecności plastiku i mikroplastiku w środowisku. W odpowiedzi na rosnące wymagania regulacyjne oraz oczekiwania konsumentów, właściciele marek podejmują wiele inicjatyw ukierunkowanych na zwiększenie proekologicznego charakteru opakowań. Do najczęściej wdrażanych rozwiązań należą: eliminacja folii z metaliczną warstwą barierową, zastępowanie struktur wielomateriałowych laminatami monomateriałowymi, redukcja gramatury opakowań (proces tzw. pocieniania folii), a także stosowanie alternatywnych materiałów, takich jak papier lub w określonych przypadkach folii kompostowalnych.

Trend zmiany opakowań na bardziej zrównoważone, będzie trwał. Producenci opakowań coraz częściej wykorzystują surowce pochodzące z recyklingu, dzięki czemu osiągają niższy stopień wykorzystania w produkcji opakowań surowców pierwotnych.

W toku prowadzonych badań oraz realizacji pracy doktorskiej, uzyskano odpowiedzi na wszystkie postawione pytania badawcze. Badania w zakresie bilansowania środowiskowego pozwoliły na usystematyzowanie wiedzy oraz kierunków działania w zakresie opakowań i technologii zrównoważonych w procesie produkcji poligraficznej.

Na podstawie badań nad systemem wydruku próbnego na podłożu docelowym, opisanych w niniejszej rozprawie, sformułowane wnioski wskazują, że ze względu na istniejącą lukę badawczą i literaturową w zakresie wpływu tego systemu na redukcję śladu węglowego, ograniczenie ilości odpadów oraz oddziaływanie na środowisko naturalne, zagadnienie to ma charakter złożony i wymaga kompleksowego podejścia.

W hipotezie głównej założono, iż badany system wpływa korzystnie na produkcję poligraficzną w zakresie zrównoważonego rozwoju, ochrony zasobów produkcyjnych, redukcji śladu węglowego oraz sprawia, iż procesy poligraficzne mogą zostać ograniczone do etapu badań laboratoryjnych, w rozumieniu przygotowania testów w ramach systemu wydruku próbnego. W efekcie prowadzonych badań i analiz, można stwierdzić, iż system wydruku

próbne na podłożu docelowym istotnie spełnia wszystkie założenia hipotezy postawione w niniejszej rozprawie.

Poza hipotezą główną, postawiono następujące hipotezy szczegółowe:

H 1. Zastosowanie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym przyczynia się do redukcji śladu węglowego oraz emisji zanieczyszczeń, co umożliwi osiągnięcie korzyści w wymiarze środowiskowym, społecznym i ekonomicznym.

Istotnie system wydruku próbnego na podłożu docelowym spełnia założenia postawionej hipotezy szczegółowej, co udowodniono w badaniach przeprowadzonych przez autora rozprawy, a następnie opisano w rozdziale 7 dotyczącym porównania systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym względem wydruku próbnego konwencjonalnego. Zastosowanie opisywanego systemu w produkcji poligraficznej, na każdym etapie przygotowania grafiki do procesu drukowania, pozwala na redukcję śladu węglowego oraz zmniejsza emisję środowiskową i ilość generowanych odpadów. W rozdziale 7 zaprezentowano dane, z których wynika, iż system wydruku próbnego na podłożu docelowym w porównaniu z wydrukiem próbnym konwencjonalnym przyczynia się do redukcji emisji klimatycznych o 78%. W przypadku systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym zużycie papieru zmalało o 85%, natomiast zapotrzebowanie na wodę obniżyło się o 84%. Znaczącą redukcję na korzyść systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym zanotowano w przypadku redukcji zapotrzebowania na surowce, aż o 84%. W skład badanych surowców wchodzi: farby użyte do procesu drukowania, papier użyty do przygotowania wydruku próbnego oraz formy drukowe, które służyły do ustawiania kolorystyki podczas procesu drukowania w ramach akceptacji wzoru graficznego z udziałem klienta końcowego. W przypadku realizacji założeń procesu poligraficznego, który obejmował: zużycie energii elektrycznej przez maszynę drukującą w celu ustawienia kolorystyki podczas produkcji poligraficznej, energię w celu wyprodukowania farb niezbędnych w procesie ustawiania kolorystyki oraz czyszczenie i konserwacja maszyny drukującej po procesie ustawiania kolorystyki, osiągnięto redukcję w tym obszarze o 86% na korzyść systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym. Ponadto określono toksyczność obu procesów na środowisko naturalne.

W przypadku systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym uzyskano redukcję toksyczności wyrażonej w kilogramach 1,4-DCB-Aq dla środowiska życia organizmów lądowych

o 74%. Dla środowiska życia morskiego ekotoksyczność spadła o 76%, natomiast w przypadku toksyczności dla wody słodkiej stwierdzono redukcję wskaźnika o 75%. Tym samym można stwierdzić, iż system wydruku próbnego na podłożu docelowym wykazuje wielowymiarowość w zakresie redukcji negatywnego wpływu na środowisko w procesie produkcji poligraficznej.

Założenie **hipotezy 1** zostało potwierdzone w drodze badań nad systemami wydruków próbnych. Jednoznacznie można określić system wydruku próbnego na podłożu docelowym jako znacznie bardziej przyjazny dla środowiska, zasobów naturalnych oraz ekonomii. Korzyści, o których mowa w założeniu hipotezy można opisać następująco:

- **Środowiskowe** – dzięki redukcji emisji środowiskowych, w tym: surowców, opakowania transportowego produktu, procesu produkcyjnego, udziału właściciela marki w akceptacji procesu drukowania oraz unieszkodliwienia odpadów, opisywany system przyczynia się do poprawy jakości środowiska naturalnego. Dzięki redukcji ilości odpadów oraz emisji klimatycznych system w znacznym stopniu przyczynia się do redukcji efektu toksycznego wpływu na środowiska morskie, wody słodkiej oraz lądowe.
- **Społeczne** – redukcja ilości odpadów, wpływa korzystnie na gospodarkę odpadami, spełniając założenia gospodarki niskoodpadowej. Redukcja gazów cieplarnianych wpływa na poprawę jakości powietrza, ale również zmniejsza ślad węglowy, w wyniku czego ogranicza efekt cieplarniany, który ma bezpośredni wpływ na życie oraz funkcjonowanie społeczeństwa.
- **Ekonomiczne** – rosnąca temperatura planety, która ściśle jest powiązana z ocieplaniem się klimatu, wpływa nie tylko na środowisko przyrodnicze, lecz również na warunki ekonomiczne. Mniejsze opady atmosferyczne, występowanie lokalnych susz glebowych oraz hydrologicznych czy nagłe i katastrofalne ulewne deszcze, wpływają negatywnie na człowieka i gospodarkę, niszcząc zakłady produkcyjne, pola uprawne oraz infrastrukturę. Ponadto w wymiarze ekonomicznym system wydruku próbnego na podłożu docelowym pozwala znacząco zredukować ilość odpadów wygenerowanych podczas produkcji poligraficznej, co wpływa na oszczędności surowcowe oraz finansowe przedsiębiorstwa. Możliwość ustawienia kolorystyki zgodnie ze wzorcem, który w pełni odzwierciedla warunki produkcyjne, przede wszystkim podłoże

uczestniczące w procesie drukowania, pozwala przypuszczać, że efekt druku będzie identyczny z zaakceptowanym wydrukiem próbnym, dzięki czemu oczekiwania właściciela marki pokryją się z produktem uzyskiwanym na skalę przemysłową.

H 2. System wydruku próbnego na podłożu docelowym może być z powodzeniem stosowany w celu oceny wzorów grafik odświeżanych marek, zmiany podłoża na bardziej wyrafinowane lub mające znaczący wpływ na odbiór wizualny kolorystyki wzoru oraz redukcję emisji środowiskowych.

Wyniki badań przeprowadzonych przez autora niniejszej rozprawy potwierdzają trafność postawionej hipotezy szczegółowej, dotyczącej wpływu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jako narzędzie służące usprawnieniu procesu wdrażania nowych wzorów w ramach odświeżenia lub zmiany wizerunku marki, oraz eliminacji lub ograniczeniu testów przedprodukcyjnych. Analiza danych, zawarta w 6, obejmująca porównanie badanego systemu z testem przedprodukcyjnym, jednoznacznie wskazuje na przewagę innowacyjnego rozwiązania wydruku próbnego zarówno pod względem środowiskowym, jak i efektywnościowym.

Zastosowanie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym w procesach produkcji poligraficznej, na etapie przygotowania nowej grafiki do procesu drukowania (rebrandingu opakowania), umożliwi istotną redukcję śladu węglowego oraz ograniczenie na podstawie emisji zanieczyszczeń i ilości generowanych odpadów. W trakcie wykonywania kalkulacji, badania empirycznych wykazano, że w porównaniu z tradycyjnymi metodami testowania nowych elementów graficznych, podłoży lub wzorów graficznych, innowacyjny system pozwala na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o 97%.

Dodatkowo, wprowadzenie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym przyczyniło się do znacznego zmniejszenia zużycia zasobów naturalnych: zużycie tworzywa, jakim jest polietylen (PE) biały w przypadku badanego zakresu oddziaływania uległo redukcji o 98%, zapotrzebowanie na wodę zmalało o 97%, a zużycie surowców, takich jak farby drukarskie, folia polietylenowa (PE) biała w celu wykonania wydruku próbnego czy formy drukowe zmniejszyły się również o 97%.

Znaczące korzyści ekologiczne odnotowano również w obszarze zużycia energii elektrycznej, wykorzystywanej zarówno przez maszyny drukujące podczas ustawienia kolorystyki, jak i w procesie produkcji farb oraz konserwacji sprzętu poligraficznego. Łączna redukcja emisji w tej kategorii wyniosła 97% na korzyść systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym.

Równie istotne okazały się różnice w poziomie toksyczności procesów. Analiza wykazała, że system wydruku próbnego na podłożu docelowym przyczynia się do zmniejszenia wpływu toksycznego, wyrażonego w kilogramach 1,4-DCB-Aq na organizmy lądowe, środowisko morskie, wodę słodką oraz na człowieka o 97%.

Przeprowadzone badania wykazują, że wdrożenie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym przynosi wieloaspektowe korzyści w zakresie minimalizacji negatywnego wpływu procesów poligraficznych na środowisko naturalne. Tym samym potwierdzono, iż rozwiązanie to może stanowić istotny element zrównoważonej produkcji w branży poligraficznej.

System wydruku próbnego na podłożu docelowym w istocie spełnia założenia hipotezy szczegółowej jako narzędzie służące celom oceny wzorów odświeżenia lub zmiany marki, w szczególności takich, które zostały zaprojektowane na innym niż pierwotne podłoża. System posiada szczególne zastosowanie wówczas, gdy analizie podlegają elementy wyjątkowo trudne do oceny przy zastosowaniu tradycyjnego systemu wydruku próbnego. Do elementów takich zaliczyć można: podłoża z metaliczną warstwą barierową, brązowe papiery czy też podłoża transparentne, ze szczególnym uwzględnieniem wybrania w separacji białej barwy, co opisano szczegółowo w podrozdziale 2.4.

H 3. *Proces ekoprojektowania opakowań z wykorzystaniem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jako forma redukcji emisji środowiskowych oraz dążenie do ograniczenia negatywnego wpływu opakowań konsumenckich na ekosystemy i biosferę.*

System wydruku próbnego na podłożu docelowym znajduje również zastosowanie w dziedzinie ekoprojektowania opakowań. Dzięki możliwości symulacji na etapie wydruku próbnego, charakterystyki podłoża oraz efekty jakich można oczekiwać po zmianie podłoża w ramach wzoru graficznego, w znaczącym stopniu przyczynia się on do szybszego i bardziej

przewidywalnego wyboru kierunku procesu odświeżenia lub zmiany marki, co zaprezentowano w podrozdziałach 2.4. i 4.4.6.

System został przetestowany we współpracy z właścicielami marek, którzy stanowią grupę partnerów biznesowych firmy Chespa, w której zatrudniony jest autor rozprawy. Procesem testowania objęte zostały podłoża takie jak: brązowy papier typu kraftliner, folia polipropylenowa (BOPP) transparentna oraz laminat dwóch folii polipropylenowych (BOPP): transparentnej matowej oraz z metaliczną warstwą barierową. Opis szczegółowy efektów:

- **Brązowy papier typu kraftliner** – testowanie polegało na zaprezentowaniu odświeżanego wzoru graficznego na nowym podłożu. Zmiana polegała na przejściu z monomateriału polietylenowego (PE) białego na papier brązowy, przy jednoczesnym zmniejszeniu pokrycia procentowego farb drukarskich i zmniejszeniu ilości farb na podłożu produkcyjnym. W projekcie usunięto tło, które pierwotnie stanowiło pełne pokrycie powierzchni papieru farbami. W celu wyeksponowania brązowego papieru oraz zmniejszeniu zużycia farb drukarskich, usunięto farby z tła projektu, pozostawiając tło w kolorze podłoża, aby nadać opakowaniu charakteru naturalności i efektu przyjaznego dla środowiska. W opisywanym przypadku, przy zastosowaniu silnie kryjącej farby białej, która pozwoliła na wzmocnienie efektu nasycenia barw produktu, znajdującego się pośrodku brązowego tła, stanowiącego papier, właściciel marki miał trudność z oceną kolorystyki przy wykorzystaniu konwencjonalnego systemu wydruku próbnego. Właściciel marki planował odrzucenie przygotowanych plików reprograficznych. W chwili zmiany systemu wydruku próbnego, co stanowiło jedyną zmianę w procesie, właściciel marki otrzymał wydruk próbny na podłożu docelowym, który wiernie symulował efekt procesu drukowania, ponieważ zawierał podłoże docelowe. Po otrzymaniu przez właściciela marki wydruku próbnego na podłożu docelowym, wydruk próbny został zaakceptowany natychmiast. Dzięki systemowi wydruku próbnego na podłożu docelowym, właściciel marki był w stanie ocenić grafikę przygotowaną na podłożu docelowym, bez konieczności uruchamiania maszyny drukarskiej w celu przygotowania testów przedprodukcyjnych.
- **Folia polipropylenowa (BOPP) transparentna** – w przypadku folii transparentnych doświadczenia badawcze autora publikacji opierały się na projekcie etykiety na napój,

który zrealizowany został we współpracy z jednym z właścicieli marek produkujących wodę źródlaną oraz napoje na bazie wody źródlanej. Grafika została przygotowana przy zastosowaniu selektywnej farby białej. Na części frontowej etykiety zastosowano barwę specjalną w odcieniu zbliżonym do płynu, który znajdował się wewnątrz butelki, na którą następnie etykieta miała zostać oklejona. Przy użyciu systemu wydruku próbnego konwencjonalnego, nie istniała możliwość przedstawienia efektów przeźroczystości, wybiórczego efektu białej separacji czy też zastosowania nadrukowanego koloru specjalnego bez poddrukowania tegoż koloru białą farbą. Efekt, jaki uzyskuje się na wydruku próbnym konwencjonalnym jest nie do odzwierciedlenia podczas aplikacji etykiety na opakowanie, szczególnie takie, wewnątrz którego znajduje się produkt ciemny, który może mieć wpływ na odbiór kolorystyki projektu graficznego, co miało miejsce w opisywanym przykładzie. Efekt procesu oraz rezultaty pracy opisano w podrozdziale 2.4. Przy zastosowaniu wydruku próbnego na podłożu docelowym właściciel marki był w stanie ocenić rzeczywisty wygląd i efekty kolorystyczne na długo przed uruchomieniem produkcji poligraficznej.

- **Laminat folii transparentnej matowej oraz z metaliczną warstwą barierową polipropylenową (BOPP)** – przykład tego działania opisany został w podrozdziale 2.4. Dzięki zastosowaniu wydruku próbnego na podłożu docelowym właściciel marki mógł w łatwy i szybki sposób ocenić efekty przygotowania wzoru graficznego, w którym znajdowały się liczne wybrania w białej separacji, które powodowały bezpośredni nadruk koloru na podłoże z metaliczną warstwą barierową, aby uzyskać efekt metaliczności danego koloru. Zastosowano również zabieg estetyczny w postaci wybiórczego przygotowania ornamentów pasków na frontowej części wzoru graficznego w celu uatrakcyjnienia wzoru grafiki. Pierwsze próbki zostały przygotowane przy zastosowaniu wydruku próbnego konwencjonalnego oraz wydruku próbnego na podłożu docelowym, co widoczne jest na rysunkach 2.13 oraz 2.14. Widoczne są różnice wynikające z zastosowania podłoża metalicznego z warstwą barierową w przypadku systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym. Wszelkie elementy graficzne, w których efekty tworzone są dzięki odpowiedniemu przygotowaniu białej separacji, są widoczne na wydruku próbnym na podłożu docelowym, ponieważ w tym systemie wykorzystuje się farbę białą w procesie drukowania, podczas gdy w przypadku systemu

wydruku próbnego konwencjonalnego, efekt jest niewidoczny i może istotnie wprowadzać właściciela marki w błąd. Dzięki wykorzystaniu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym można w dużym stopniu uniknąć nieporozumień, zaskoczenia i rozczarowania stron podczas produkcji poligraficznej w drukarni. Dzięki wartościom dodanym opisywanego systemu, można uniknąć wielu nieporozumień oraz strat materiałowych i procesowych podczas akceptacji zadruku pracy komercyjnej.

W toku procesu badawczego i bazując na doświadczeniach empirycznych autora publikacji, można stwierdzić, iż założenia hipotezy szczegółowej wykazują znamiona spełnienia w procesie produkcji poligraficznej.

Rezultaty przeprowadzonej weryfikacji hipotez badawczych 1, 2 oraz 3 umożliwiają sformułowanie wniosku, iż opracowany przez autora dysertacji system wydruku próbnego na docelowym podłożu docelowym spełnia kryteria innowacyjności w kontekście współczesnych procesów produkcji poligraficznej.

Zastosowanie opracowanego systemu umożliwia nie tylko usprawnienie procedur związanych z przygotowaniem materiałów graficznych na etapie reprograficznego przygotowania plików do procesu drukowania, lecz również znacząco poprawia efektywność oraz przewidywalność komunikacji pomiędzy studiem graficznym a właścicielem marki.

Dzięki temu możliwe jest wcześniejsze, precyzyjne odwzorowanie ostatecznego efektu drukarskiego w postaci wydruku próbnego wykonanego na tym samym podłożu, które zostanie wykorzystane w docelowym procesie drukowania.

System ten przyczynia się do zwiększenia efektywności całego cyklu produkcyjnego, umożliwia skrócenie czasu realizacji zleceń, zmniejszenie liczby błędów wynikających z błędnej interpretacji efektu końcowego przez właściciela marki, a także wpływa na minimalizację strat materiałowych. Ostatecznie, wydruk próbny na podłożu docelowym stanowi wiarygodną i mierzalną referencję dla procesu drukowania, co ma istotne znaczenie zarówno z perspektywy jakościowej, jak i ekonomicznej.

Bibliografia

- [1] „What is Adobe Illustrator”. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.agitraining.com/adobe/illustrator/classes/what-is-adobe-illustrator?srsId=AfmBOorb5j3BmvWHus34DBb9HXWWUdZ2Eg9vR-CQeSN4hXZBgn183b1d>
- [2] „What is Photoshop”. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: https://www.agitraining.com/adobe/photoshop/classes/what-is-photoshop?srsId=AfmBOoqnF5E5sojofG2C9O5_8ZRS6mlhswjFQqs2B063uBRx-HCOJRJI
- [3] Mb.-M. Experts, „Agencja kreatywna: czym tak naprawdę się dziś zajmuje? | MBridge Warszawa”, MBridge - Marketing Experts. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.mbridge.pl/blog/agencja-kreatywna-czym-tak-naprawde-sie-dzis-zajmuje/>
- [4] „Chespa Repro Studio”, Chespa - printing inks, clichés, cutting dies. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.chespa.eu/crs/>
- [5] M. Betz, „Delta-E | Lexikon | proof.de”. Dostęp: 6 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.proof.de/lexikon/delta-e/>
- [6] „(PDF) Color difference Delta E - A survey”, *ResearchGate*, paź. 2024, Dostęp: 6 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: https://www.researchgate.net/publication/236023905_Color_difference_Delta_E_-_A_survey
- [7] „Tolerancje część 3: Przestrzeń barw vs. tolerancja barw CieLab”, X-Rite. Dostęp: 6 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.xrite.com/pl-pl/blog/tolerancing-part-3>
- [8] The4, „What is Delta E ? Key Indicators of Color Accuracy”, Arzopa. Dostęp: 6 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.arzopa.com/blogs/guide/what-is-delta-e>
- [9] W. Żukiewicz-Sobczak, J. Chmielewska-Badora, E. Krasowska, A. Wojtyła, i J. Piątek, „Wpływ dioksyn na środowisko i organizm człowieka”, *Med. Ogólna Nauki O Zdrowiu*, 2012.
- [10] „Dioxins”. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>
- [11] „Jak wygląda praca grafika DTP | Drukarnia CYFROWO.COM.PL”. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://cyfrowo.com.pl/blog/jak-wyglada-praca-grafika-dtp>
- [12] „Internetowa baza tekstów prawnych OpenLEX”, OpenLEX. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzienniki-UE/undefined>
- [13] „ekotoksykologia”. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.environet.eu/tox/eko.htm>
- [14] Y. Tang, Y. Liu, Y. Jin, W. Zhang, G. Liu, i Y. Chen, „Effects of methoxychlor on broiler gut microbiota and liver and its residue accumulation risk to human health”, *Toxicology*, t. 514, s. 154105, cze. 2025, doi: 10.1016/j.tox.2025.154105.

- [15] K. Jochum *i in.*, „NAM-based analysis of contaminant short-term organ toxicity in HepaRG and RPTEC/TERT1 cells”, *Toxicology*, t. 514, s. 154104, cze. 2025, doi: 10.1016/j.tox.2025.154104.
- [16] S. Seifert *i in.*, „Using new approach methodologies for the identification of a sensitizing co-formulant in a plant protection product”, *Toxicology*, t. 514, s. 154100, cze. 2025, doi: 10.1016/j.tox.2025.154100.
- [17] J. I. Oladosu i J. A. Flaws, „The impact of neonicotinoid pesticides on reproductive health”, *Toxicol. Sci.*, t. 203, nr 2, s. 131–146, luty 2025, doi: 10.1093/toxsci/kfae138.
- [18] K. Skrobot, „O fleksografii”, Polska Izba Fleksografów. Dostęp: 24 czerwiec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://flekso.pl/o-fleksografii/>
- [19] „Contract Proof Creation (CPC)”. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://fogra.org/en/certification/prepress-technology/contract-proof-creation>
- [20] <https://www.gmgcolor.com>, „GMG ProofControl”, GMG Color. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://gmgcolor.com/products/proofcontrol>
- [21] „ISO 12647-7:2016”, ISO. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.iso.org/standard/66426.html>
- [22] Q. COSTER, „Trapping and overprinting”. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.elicla.be/blog/02>
- [23] „Emco Press - Houston, TX: Print Tips: 5 Opacity Tips You Should Know”. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://emcopress.com/resources/the-ideas-collection/5-opacity-tips-you-should-know>
- [24] R. Tomerlin, D. Valdec, M. Tomiša, i D. Vusić, „The Impact of Underlying Opaque White Coating Parameters on Flexographic Print Quality”, *Appl. Sci.*, t. 13, nr 15, Art. nr 15, sty. 2023, doi: 10.3390/app13158575.
- [25] „Lux – co to jest natężenie światła? | ardant.pl”. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: https://ardant.pl/blog/lux-co-to-jest-natezenie-swiatla/?srsltid=AfmBOopUK10n0Iz203ebTP_HqCU9wFAxS8SP7ZBKTC8jdGqwatcN6oKM
- [26] Pantone, „Pantone Graphics: Inspiring Color Solutions for Design & Creativity”, Pantone. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.pantone.com/eu/en/graphics>
- [27] M. Wujda, „Ekologiczny papier Kraftliner - o licznych zastosowaniach podłoża kraftowego”, Blog Chroma. Dostęp: 24 czerwiec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.chroma.pl/pl/blog/ekologiczny-papier-kraftliner-o-licznych-zastosowaniach-podloza-kraftowego/>
- [28] kenmix, „Papier Testliner - czym jest i jakie ma zastosowanie?”, Kenmix. Dostęp: 24 czerwiec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://kenmix.com.pl/papier-testliner-czym-jest-i-jakie-ma-zastosowanie/>
- [29] „What is a PDF? Portable Document Format | Adobe Acrobat”. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.adobe.com/acrobat/about-adobe-pdf.html>

- [30] „Co to jest Proof? Sprawdź definicję Proof!” Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://grafton.com.pl/slownik/co-to-jest-proof>
- [31] „Zaopatrzenie drukarni – akcesoria do procesu poligraficznego”, Unitek Blog. Dostęp: 24 czerwiec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.unitek.com.pl/blog/blog/pridukcja-poligraficzna-etapy-garsc-niezbednych-informacji/>
- [32] „ICC (International Color Consortium) profiles | Adobe Dynamic Media Classic”. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://experienceleague.adobe.com/en/docs/dynamic-media-classic/using/support-files/icc-profiles>
- [33] admin-bluelabel, „What is a Shrink Sleeve Label?”, Blue Label Packaging. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.bluelabelpackaging.com/blog/what-is-a-shrink-sleeve-label/>
- [34] L. Steuer, „The Benefits of Expanded Gamut Printing: Savings, Stability, Fast Turnaround”, Flexographic Technical Association. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.flexography.org/industry-news/benefits-expanded-gamut-eg-printing-savings-stability-fast-turnaround/>
- [35] „Evaluation of Expanded Gamut Printing in Flexography, Kai Lankinen, Tampere University, 2021.pdf”.
- [36] SEOgroup, „Case study - co to jest i jak napisać? - przykłady | SEOgroup can do”. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.seogroup.pl/case-study-czym-jest/>
- [37] „Pollution”. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://education.nationalgeographic.org/resource/pollution>
- [38] „Tłoczenie - Lotos Poligrafia”. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://lotos-poligrafia.com/slowniczek-pojec/tloczenie/>
- [39] „Cold stamping a Hot stamping - Czym różnią się te dwie techniki druku?”, <https://medianews.com.pl/>. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://medianews.com.pl/technologie/cold-stamping-a-hot-stamping-czym-roznia-sie-te-dwie-techniki-druku/>
- [40] „Tłoczenie na zimno – przegląd | Tematy ScienceDirect”. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/cold-stamping>
- [41] „brand owner - Tłumaczenie na polski – słownik Linguee”, Linguee.pl. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.linguee.pl/angielski-polski/t%C5%82umaczenie/brand+owner.html>
- [42] „Brand Owner”. [Online]. Dostępne na: https://www.larksuite.com/en_us/topics/food-and-beverage-glossary/brand-owner
- [43] „Life Cycle Assessment (LCA) explained”, PRé Sustainability. Dostęp: 24 czerwiec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://pre-sustainability.com/articles/life-cycle-assessment-lca-basics/>

- [44] „Jak przeprowadzić re-design opakowania?”, POLITECH - opakowania perfumeryjne i kosmetyczne. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://politech.pl/blog/jak-przeprowadzic-re-design-opakowania/>
- [45] „(PDF) The application of information technologies for color reproduction and technical system management in printing art production”, *ResearchGate*, paź. 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202021002001.
- [46] „(PDF) Reality Check: What to expect when buying different print products for a campaign. – Brand Color reproduction across print substrates and technologies.”, w *ResearchGate*, Dostęp: 13 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: https://www.researchgate.net/publication/326736436_Reality_Check_What_to_expect_when_buying_different_print_products_for_a_campaign_-_Brand_Color_reproduction_across_print_substrates_and_technologies
- [47] M. Giesel i K. R. Gegenfurtner, „Color appearance of real objects varying in material, hue, and shape”, *J. Vis.*, t. 10, nr 9, s. 10, wrz. 2010, doi: 10.1167/10.9.10.
- [48] „Zrób próbny wydruk, czyli kilka słów o proofingu”, *Printologia – wszystko o druku, pracy w drukarni i poligrafii*. Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <http://printologia.pl/zrob-probny-wydruk-czyli-slow-o-proofingu/>
- [49] A. Strojwąg, „Proof - co to jest i komu to potrzebne?”, Cztery Asy sp. z o. o. Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://czteryasy.pl/proof-co-to-jest-i-komu-to-potrzebne/>
- [50] „What’s Hard Proof | Hard Proof VS Normal Printing”, *QinPrinting*. Dostęp: 17 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.qinprinting.com/hard-proof/>
- [51] J. Nogacki, U. Buschmann, K. Krystosiak, i Z. Żółek-Tryznowska, „Life Cycle Assessment of Proofing Test Production on Printing Surfaces with Use of Carbon Footprint Methodology”, *Appl. Sci.*, t. 15, nr 3, Art. nr 3, sty. 2025, doi: 10.3390/app15031136.
- [52] <https://www.gmgcolor.com>, „GMG ColorProof”, GMG Color. Dostęp: 13 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://gmgcolor.com/products/colorproof>
- [53] M. Betz, „EFI | Proofing.de”. Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://proofing.de/lexicon/efi/>
- [54] „Best in Class Proofing System and Packaging Media”, *CGS ORIS | AMERICAS*. Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.cgsoris.com/products/media/>
- [55] <https://www.gmgcolor.com>, „GMG ProofMedia”, GMG Color. Dostęp: 13 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://gmgcolor.com/products/proofmedia>
- [56] M. Betz, „Kodak Approval | Proofing.de”. Dostęp: 13 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://proofing.de/lexicon/kodak-approval/>
- [57] Konrad Blachowski, Grażyna Czech, Tomasz Dąbrowa, Henryk Godlewski, Jacek Hamerliński, Stefan Jakucewicz, Bernard Józwiak, Jan Kowalczyk, Leszek Markowski, Stanisław Stachowicz, Barbara Stankiewicz, Przemysław Śleboda, Andrzej Tomaszewski, *Poligrafia – sztuka, techniki, technologie*. Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Poligraficznego, 2021.

- [58] Reuters, „Court Gives Kodak Approval to Leave Bankruptcy”, *The New York Times*, 21 sierpień 2013. Dostęp: 13 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.nytimes.com/2013/08/21/business/court-gives-kodak-approval-to-leave-bankruptcy.html>
- [59] B. Geueke *i in.*, „Evidence for widespread human exposure to food contact chemicals”, *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, s. 1–12, wrz. 2024, doi: 10.1038/s41370-024-00718-2.
- [60] T. N. Initiative Senior Director, Safer Chemicals, „Toxic chemicals can enter food through packaging. We made a list. - EDF Health”. Dostęp: 9 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://blogs.edf.org/health/2019/03/26/toxic-chemicals-food-packaging-list/>
- [61] Stanley E. Manahan, *Toksykologia środowiska, aspekty chemiczne i biochemiczne.*, I. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2012.
- [62] K. J. Groh *i in.*, „Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards”, *Sci. Total Environ.*, t. 651, s. 3253–3268, luty 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.015.
- [63] „1,4 Dichlorobenzene | Medical Management Guidelines | Toxic Substance Portal | ATSDR”. Dostęp: 9 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/MMG/MMGDetails.aspx?mmgid=1206&toxid=126>
- [64] „Dichlorobenzene - an overview | ScienceDirect Topics”. Dostęp: 9 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/dichlorobenzene>
- [65] „Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska.” Dostęp: 21 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20010620627>
- [66] O. US EPA, „Sources of Greenhouse Gas Emissions”. Dostęp: 13 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- [67] „AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis — IPCC”. Dostęp: 9 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- [68] H. Ritchie, P. Rosado, i M. Roser, „CO₂ and Greenhouse Gas Emissions”, *Our World Data*, grudz. 2023, Dostęp: 4 lipiec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
- [69] U. Nations, „Causes and Effects of Climate Change”, United Nations. Dostęp: 4 lipiec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
- [70] „Environmental Effects of Emissions”. Dostęp: 4 lipiec 2025. [Online]. Dostępne na: https://dieselnet.com/tech/emissions_effects_environment.php
- [71] „Emissions of greenhouse gases and air pollutants - Environment - Eurostat”. Dostęp: 4 lipiec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/environment/information-data/emissions-greenhouse-gases-air-pollutants>

- [72] T. Münzel, O. Hahad, A. Daiber, i P. J. Landrigan, „Soil and water pollution and human health: what should cardiologists worry about?”, *Cardiovasc. Res.*, t. 119, nr 2, s. 440–449, cze. 2022, doi: 10.1093/cvr/cvac082.
- [73] „Soil pollution and ecosystems”, European Environment Agency. Dostęp: 4 lipiec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.eea.europa.eu/publications/zero-pollution/ecosystems/soil-pollution>
- [74] Stanisław Wiąckowski, *Ekologia ogólna*, I. Bydgoszcz-Kielce: Oficyna Wydawnicza BRANTA, 2008.
- [75] Y. S. B.Pharm, „What is Toxicology?”, News-Medical. Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.news-medical.net/health/What-is-Toxicology.aspx>
- [76] „Toxic Substance - an overview | ScienceDirect Topics”. Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/toxic-substance>
- [77] A. Nadlewska *i in.*, „Poisons – definition, types, mechanism of action”, *Postępy Nauk Med.*, wrz. 2010, Dostęp: 20 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.czytelniamedyczna.pl/3456,trucziny-definicja-rodzaje-mechanizm-dziaania.html>
- [78] H. C. B. Hansen, K. Hilscherova, i T. D. Bucheli, „Natural toxins: environmental contaminants calling for attention”, *Environ. Sci. Eur.*, t. 33, nr 1, s. 112, wrz. 2021, doi: 10.1186/s12302-021-00543-6.
- [79] „Natural toxins in food”. Dostęp: 20 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/natural-toxins-in-food>
- [80] A. R. Nwaji *i in.*, „Natural toxins and One Health: a review”, *Sci. One Health*, t. 1, s. 100013, lis. 2022, doi: 10.1016/j.soh.2023.100013.
- [81] A. Biłyk i G. Nowak-Piechota, „Zanieczyszczenie środowiska związkami powodującymi zakłócenie funkcji endokrynologicznych organizmu”, *Ochr. Śr.*, t. R. 26, nr 3, s. 24–35, 2004.
- [82] S. M. Rhind, „Anthropogenic pollutants: a threat to ecosystem sustainability?”, *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, t. 364, nr 1534, s. 3391–3401, lis. 2009, doi: 10.1098/rstb.2009.0122.
- [83] Ngozi H. Arihilam, E. C. Arihilam, „Impact and control of anthropogenic pollution on the ecosystem – A review”. [Online]. Dostępne na: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://web.archive.org/web/20200211134031id_/https://integrityresjournals.org/journal/JBBD/article-full-text-pdf/FA96D58A2
- [84] S. K. Maiti i A. Chowdhury, „Effects of Anthropogenic Pollution on Mangrove Biodiversity: A Review”, *J. Environ. Prot.*, t. 4, nr 12, Art. nr 12, grudz. 2013, doi: 10.4236/jep.2013.412163.
- [85] A. Kumar, *Air Quality*. BoD – Books on Demand, 2010.
- [86] Chaudhry FN, „Factors Affecting Water Pollution: A Review”, *J. Ecosyst. Ecography*, 2017, doi: 10.4172/2157-7625.1000225.
- [87] R. S. S. Reddy P.B., „Assessment of Aquatic Pollution Using Histopathology in Fish as a Protocol”, *Int. Res. J. Environ. Sci.*, t. Vol. 2(8), 79-82, 2013.

- [88] M. Popkiewicz, A. Kardaś, i S. Malinowski, *Nauka o klimacie*, III. Katowice-Warszawa: Wydawnictwo Sonia Draga, Wydawnictwo Nieoczywiste - imprint GAB Media, 2023.
- [89] A. Emblem i H. Emblem, *Technika opakowań*, I. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2014.
- [90] H. Ma, L. Chao, H. Wan, i Q. Zhu, „Microplastic Pollution in Water Systems: Characteristics and Control Methods”, *Diversity*, t. 16, nr 1, Art. nr 1, sty. 2024, doi: 10.3390/d16010070.
- [91] O. US EPA, „Microplastics Research”. Dostęp: 20 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.epa.gov/water-research/microplastics-research>
- [92] S. Chandra i K. B. Walsh, „Microplastics in water: Occurrence, fate and removal”, *J. Contam. Hydrol.*, t. 264, s. 104360, maj 2024, doi: 10.1016/j.jconhyd.2024.104360.
- [93] M. Klimasz i A. Grobelak, „Accumulation of Spherical Microplastics in Earthworms Tissues-Mapping Using Raman Microscopy”, *Appl. Sci.*, t. 14, nr 22, Art. nr 22, sty. 2024, doi: 10.3390/app142210117.
- [94] A. J. Nihart *i in.*, „Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains”, *Nat. Med.*, t. 31, nr 4, s. 1114–1119, kwi. 2025, doi: 10.1038/s41591-024-03453-1.
- [95] A. Bhowmik, G. Saha, i S. C. Saha, „Microplastics in Animals: The Silent Invasion”, *Pollutants*, t. 4, nr 4, Art. nr 4, grudz. 2024, doi: 10.3390/pollutants4040033.
- [96] N. Bashirova *i in.*, „Magnetic Resonance Imaging-Based Monitoring of the Accumulation of Polyethylene Terephthalate Nanoplastics”, *Molecules*, t. 29, nr 18, Art. nr 18, sty. 2024, doi: 10.3390/molecules29184380.
- [97] *Dyrektywa Rady 96/61/WE z dnia 24 września 1996 r. dotycząca zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli*, t. 15, 003. 1996. Dostęp: 21 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <http://data.europa.eu/eli/dir/1996/61/oj/pol>
- [98] *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola) (przekształcenie) (Tekst mający znaczenie dla EOG)*, t. 334. 2010. Dostęp: 21 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj/pol>
- [99] *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy (Tekst mający znaczenie dla EOG)*, t. 312. 2008. Dostęp: 21 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj/pol>
- [100] B. Stankiewicz i I. Kwiatkowska, *Gospodarka odpadami w zakładach poligraficznych*. Warszawa: Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Poligraficznego, 2019.
- [101] C. Rosik - Dulewska, *Podstawy gospodarki odpadami*, IV. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
- [102] J. Paszynski, „Recykling w UE - Polska na tle pozostałych państw członkowskich”, eckoekonomia.pl. Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://eckoekonomia.pl/2024/10/18/recykling-w-ue-polska-na-tle-pozostalych-panstw-czlonkowskich/>

- [103] „Recykling odpadów z tworzyw sztucznych w UE: fakty i liczby”, Tematy | Parlament Europejski. Dostęp: 21 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.europarl.europa.eu/topics/pl/article/20181212STO21610/recykling-opadow-z-tworzyw-sztucznych-w-ue-fakty-i-liczby>
- [104] „Kto w Europie recyklinguje najwięcej? Włochy i Belgia najlepsze, Polska poniżej średniej - ŚwiatOZE.pl”. Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://swiatoze.pl/kto-w-europie-recyklinguje-najwiecej-wlochy-i-belgia-najlepsze-polska-ponizej-sredniej/>
- [105] „65,4% recyklingu odpadów opakowaniowych w UE w 2022 r. Najnowsze dane z Polski są z roku 2019”, Teraz-Środowisko. Dostęp: 21 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/65-procent-recyklingu-opadow-opakowaniowych-80-procent-odzysku-ue-dane-eurostat-15846.html>
- [106] „60,4% odpadów opakowaniowych poddano recyklingowi w 2022 r.” Dostęp: 21 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://interzero.pl/blog/poziom-recyklingu-opadow-opakowaniowych-w-2022-r-wyniosl-60/>
- [107] A. Breś, „60,4% odpadów opakowaniowych poddano recyklingowi w 2022 r.”, Interzero Polska. Dostęp: 18 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://interzero.pl/blog/poziom-recyklingu-opadow-opakowaniowych-w-2022-r-wyniosl-60/>
- [108] „Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 19 grudnia 2021 r. w sprawie rocznych poziomów recyklingu odpadów opakowaniowych w poszczególnych latach do 2030 r.” Dostęp: 21 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20210002375>
- [109] „Roczne poziomy odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych do 2030”. Dostęp: 21 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://portalochronysrodowiska.pl/odpady-i-bdo/roczne-poziomy-odzysku-i-recyklingu-opadow-opakowaniowych-do-2030-roku-ustalone-686.html>
- [110] „Zakład poligraficzny MOŚ&ŁUCZAK_PODSTAWOWE DEFINICJE.pdf”.
- [111] „‘Proofing’ Approval Can be More Difficult than it Needs to be?”, Colour Graphics Services. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.colourgraphicservices.com/blog/proofing-approval-can-be-more-difficult-than-it-needs-to-be>
- [112] „What is a Contract Proof? Softproof? Validation Print?” [Online]. Dostępne na: <https://proofing.de/what-is-a-contract-proof-softproof-validation-print/>
- [113] L. Steuer, „The Contract Proof: Simulating Color Rendition & Minimum Printable Dot”, Flexographic Technical Association. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.flexography.org/industry-news/contract-proof-simulating-color-rendition-minimum-printable-dot/>
- [114] „Contract proof”. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.janoschka.com/news-media/prepress-wiki/term/contract-proof/>
- [115] „What is a soft proof?”, Totem - Printing House. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.totem.com.pl/en/blog/whats-the-deal-with-this-soft-proof/>

- [116] „11. Soft proofing for print simulation - EIZO”. Dostęp: 16 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://eizovisualsolutions.com/knowledge/monitor-expertise/colour-management-for-photographers/11-soft-proofing-for-print-simulation/>
- [117] PermaJet, „Soft-proofing: a practical guide | Blog”, PermaJet. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.permajet.com/blog/soft-proofing-a-practical-guide/>
- [118] „Soft Proofing: Matching On-Screen Photos with Prints”. Dostęp: 16 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/soft-proofing.htm>
- [119] „What is Soft Proofing and Why You Need It”, BenQ. Dostęp: 15 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.benq.com/en-us/knowledge-center/knowledge/what-is-soft-proofing-and-why-you-need-it.html>
- [120] BrianW, „What you need to know about soft proofing”, GTI Graphic Technology Inc. Dostęp: 16 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.gtilite.com/2019/11/what-you-need-to-know-about-soft-proofing/>
- [121] „Spectraproof = Softproofing – [LACUNASOLUTIONS]”. Dostęp: 16 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://lacunasolutions.com/en/spectraproof/>
- [122] „Remote Director – ICS Color”. Dostęp: 17 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://icscolor.com/remote-director/>
- [123] „Tech Specs – ICS Color”. Dostęp: 17 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://icscolor.com/technical-specs/>
- [124] Adam Zausznica, *Nauka o barwie*. w Wydanie II. Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN, 2013.
- [125] H. Kipphan, *Handbook of Print Media*. Springer, 2001. [Online]. Dostępne na: https://www.academia.edu/8722974/Handbook_Of_Print_media
- [126] „Rozwój druku w Polsce po II wojnie światowej - Artelis”. Dostęp: 9 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://artelis.pl/artykuly/81815/rozwoj-druku-w-polsce-po-ii-wojnie-swiatowej>
- [127] „Soft-Proofing - EyeC”. Dostęp: 18 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.eyec.com/pl/wiki/miekkie-uszczelnienie/>
- [128] „Soft Proof, Hard Proof, and Press Test Proof”. Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://footeprinting.com/soft-proof-hard-proof-and-press-test-proof>
- [129] Bruce Fraster, Chris Murphy, Fred Bunting, *Profesjonalne zarządzanie barwą*, Wydanie II. HELION, 2012.
- [130] „Printing Proofs: Soft Proofs vs Hard Proofs”, Color Vision Printing. Dostęp: 17 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.colorvisionprinting.com/blog/printing-proofs-soft-proofs-vs-hard-proofs>
- [131] „Proof substrate (and paper) certification”. Dostęp: 17 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://fogra.org/en/certification/materials-environment/proofsubstrate>
- [132] „Proofing Substrate - partner list”. Dostęp: 17 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://fogra.org/en/certification/certified-persons-companies-and-products/proofing-substrate>

- [133] B. Print, „Soft and Hard Proofs: What is the Difference?”, Beyond Print. Dostęp: 17 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://beyondprint.co.uk/2022/01/05/soft-hard-proofs-differences/>
- [134] „Proof – czyli zanim oddasz pracę do druku | LETRABIT”. Dostęp: 17 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.letrabit.pl/proof-czyli-zanim-oddasz-prace-do-druku/>
- [135] „GMG Supported Profiling”. [Online]. Dostępne na: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gmgcolor.com/fileadmin/Products/PDF_Infomaterial/GMG-Supported-Equipment-Proofing-Profiling-EN.pdf
- [136] „Epson_Przewodnik Użytkowania_SC-P7000 series_CMP0044-01 PL.pdf”.
- [137] G. GmbH i C. Kg, „GMG ColorProof User Manual”, [Online]. Dostępne na: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sdl.webservice.gmgcolor.com/Helpcenter/en/colorproof/GMG-ColorProof_Manual_en.pdf
- [138] „System Proofingu na podłożu docelowym”, Chespa - printing inks, clichés, cutting dies. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.chespa.eu/system-proofingu-na-podlozu-docelowym/>
- [139] „EHS: Illustration Guidelines - Prepress Guidelines: Trapping”. Dostęp: 19 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: https://www3.us.elsevierhealth.com/HHS/artspecs/prepress4.html?srsltid=AfmBOorBA9orv5eDlpJ5_hjHJubUowFHtKkZ48GaCv1t7eMVeSj6elyt
- [140] K. Markowicz, „STACJA BADAWCZA”. Dostęp: 22 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.igf.fuw.edu.pl/~kmark/stacja/climatenatural.php>
- [141] S. Uhlig, *Klimatyczne oszustwo*, 1. wyd. Fundacja Ordo Medicus, 2024.
- [142] S. E. Koonin, *Kryzys klimatyczny?*, 1. wyd. Warszawa: Poltex Sp. z o.o. wydawnictwoprześwity.pl, 2023.
- [143] P. Kowalczyk, *Zmiany klimatu*, 1. wyd. Warszawa: 3S Media Sp. z o.o. & Fundacja Najwyższy Czas, 2025.
- [144] Zintegrowana Platforma Edukacyjna Ministerstwa Edukacji Narodowej, „Rozwój przemysłu i jego zmiany”. [Online]. Dostępne na: <https://zpe.gov.pl/a/przeczytaj/Dplgz3Efy>
- [145] B. He, R. Liu, i T. Li, „Integrated carbon footprint with cutting parameters for production scheduling”, *J. Clean. Prod.*, t. 412, s. 137307, sie. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137307.
- [146] „Ślad węglowy produktu | Bureau Veritas”. Dostęp: 22 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.bureauveritas.pl/needs/slady-weglowy-produktu>
- [147] W. Ge *i in.*, „Data-driven carbon emission accounting for manufacturing systems based on meta-carbon-emission block”, *J. Manuf. Syst.*, t. 74, s. 141–156, cze. 2024, doi: 10.1016/j.jmsy.2024.03.003.
- [148] G. W. Team, „Trends in CO2 - NOAA Global Monitoring Laboratory”. Dostęp: 22 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/index.html>

- [149] „Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide | NOAA Climate.gov”. Dostęp: 22 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- [150] „2.18: Carbon - The Chemical Basis for Life”, Biology LibreTexts. Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/General_Biology_\(Boundless\)/02%3A_The_Chemical_Foundation_of_Life/2.18%3A_Carbon_-_The_Chemical_Basis_for_Life](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/General_Biology_(Boundless)/02%3A_The_Chemical_Foundation_of_Life/2.18%3A_Carbon_-_The_Chemical_Basis_for_Life)
- [151] „Carbon: God’s Building Blocks for Life”, Answers in Genesis. Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://answersingenesis.org/chemistry/carbon-gods-building-blocks-for-life/>
- [152] „The Carbon Cycle”. Dostęp: 22 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle>
- [153] O. US EPA, „Understanding Global Warming Potentials”. Dostęp: 22 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- [154] J. Carl i D. Fedor, „Tracking global carbon revenues: A survey of carbon taxes versus cap-and-trade in the real world”, *Energy Policy*, t. 96, s. 50–77, wrz. 2016, doi: 10.1016/j.enpol.2016.05.023.
- [155] B. He, Q. Pan, i Z. Deng, „Product carbon footprint for product life cycle under uncertainty”, *J. Clean. Prod.*, t. 187, s. 459–472, cze. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.246.
- [156] „Ślad węglowy | Polski Rynek Węgla - Agencja Rozwoju Przemysłu S.A.” Dostęp: 22 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://polskirynekwegla.pl/goz-slad-weglowy>
- [157] M. Czepkiewicz, „Co to jest ślad węglowy i jak można go zmniejszać w życiu codziennym i uniwersyteckim”. [Online]. Dostępne na: <chrome-extension://efaidnbmninnkcbpcjpcglclefindmkaj/https://www.biol.uw.edu.pl/wp-content/uploads/sites/19/2021/05/Co-to-jest-s%CC%81ad-we%CC%A8glowy-i-jak-moz%CC%87na-go-zmniejszac%CC%81-w-z%CC%87yciu-codziennym-i-uniwersyteckim.pdf>
- [158] M. A. Curran, „Life Cycle Assessment: a review of the methodology and its application to sustainability”, *Curr. Opin. Chem. Eng.*, t. 2, nr 3, s. 273–277, sie. 2013, doi: 10.1016/j.coche.2013.02.002.
- [159] G. Pardo i J. Zufá, „Life cycle assessment of food-preservation technologies”, *J. Clean. Prod.*, t. 28, s. 198–207, cze. 2012, doi: 10.1016/j.jclepro.2011.10.016.
- [160] L. Čuček, J. J. Klemeš, i Z. Kravanja, „A Review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability”, *J. Clean. Prod.*, t. 34, s. 9–20, paź. 2012, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.02.036.
- [161] „European Platform on LCA | EPLCA”. Dostęp: 22 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ilcd.html>

- [162] S. Haye, V. I. Slaveykova, i J. Payet, „Terrestrial ecotoxicity and effect factors of metals in life cycle assessment (LCA)”, *Chemosphere*, t. 68, nr 8, s. 1489–1496, lip. 2007, doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.03.019.
- [163] P. Hou, O. Jolliet, J. Zhu, i M. Xu, „Estimate ecotoxicity characterization factors for chemicals in life cycle assessment using machine learning models”, *Environ. Int.*, t. 135, s. 105393, luty 2020, doi: 10.1016/j.envint.2019.105393.
- [164] „LCI - Terrestrial Ecotoxicity”. Dostęp: 9 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: https://www.lc-impact.eu/EQterrestrial_ecotoxicity.html
- [165] „Corporate Value Chain (Scope 3) Standard | GHG Protocol”. Dostęp: 24 wrzesień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://ghgprotocol.org/corporate-value-chain-scope-3-standard>
- [166] „Carbon Footprint - Life Cycle Initiative”. Dostęp: 22 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/life-cycle-approaches/carbon-footprint/>
- [167] „Scope 1, 2, and 3 Emissions Explained | CarbonNeutral”, Carbon Neutral. Dostęp: 22 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.carbonneutral.com/news/scope-1-2-3-emissions-explained>
- [168] „Understanding Scope 3 Emissions: A Comprehensive Guide”. Dostęp: 22 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.arbor.eco/blog/what-are-scope-3-emissions-carbon-101>
- [169] O. US EPA, „Scope 1 and Scope 2 Inventory Guidance”. Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.epa.gov/climateleadership/scope-1-and-scope-2-inventory-guidance>
- [170] „What is sustainable packaging?” Dostęp: 20 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.gwp.co.uk/guides/what-is-sustainable-packaging/>
- [171] redakcja-naturalnypunktwidzenia-pl, „Co to są opakowania ekologiczne?” Dostęp: 23 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://naturalnypunktwidzenia.pl/co-to-sa-opakowania-ekologiczne/>
- [172] „Opakowania ekologiczne, czyli jakie? | ekoetos.pl”. Dostęp: 23 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://ekoetos.pl/opakowania-ekologiczne-czyli-jakie/>
- [173] N. Koenig-Lewis, A. Palmer, J. Dermody, i A. Urbye, „Consumers’ evaluations of ecological packaging – Rational and emotional approaches”, *J. Environ. Psychol.*, t. 37, s. 94–105, mar. 2014, doi: 10.1016/j.jenvp.2013.11.009.
- [174] A. T. Nguyen, L. Parker, L. Brennan, i S. Lockrey, „A consumer definition of eco-friendly packaging”, *J. Clean. Prod.*, t. 252, s. 119792, kwi. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119792.
- [175] E. H. Arruda, R. A. P. B. Melatto, W. Levy, i D. de M. Conti, „Circular economy: A brief literature review (2015–2020)”, *Sustain. Oper. Comput.*, t. 2, s. 79–86, sty. 2021, doi: 10.1016/j.susoc.2021.05.001.
- [176] „Circular economy introduction”. Dostęp: 25 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>

- [177] „Circular economy: definition, importance and benefits”, Topics | European Parliament. Dostęp: 25 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>
- [178] H. Martin, D. Chebrolu, A. Chadee, i T. Brooks, „Too good to waste: Examining circular economy opportunities, barriers, and indicators for sustainable construction and demolition waste management”, *Sustain. Prod. Consum.*, t. 48, s. 460–480, lip. 2024, doi: 10.1016/j.spc.2024.05.026.
- [179] A. Di Vaio, S. Hasan, R. Palladino, i R. Hassan, „The transition towards circular economy and waste within accounting and accountability models: a systematic literature review and conceptual framework”, *Environ. Dev. Sustain.*, t. 25, nr 1, s. 734–810, sty. 2023, doi: 10.1007/s10668-021-02078-5.
- [180] D. Czarnecka-Komorowska i K. Wiszumirska, „Sustainability design of plastic packaging for the Circular Economy”, *Polimery*, t. 65, nr 01, s. 8–17, sty. 2020, doi: 10.14314/polimery.2020.1.2.
- [181] „4 charts to show why adopting a circular economy matters”, World Economic Forum. Dostęp: 25 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.weforum.org/stories/2024/04/circular-economy-waste-management-unep/>
- [182] S. Zavos i O. Pyyhtinen, „The limits of waste as a resource: a critique and a proposition towards a new scalar imagination for the circular economy model”, *Camb. J. Reg. Econ. Soc.*, t. 17, nr 3, s. 683–697, lis. 2024, doi: 10.1093/cjres/rsae013.
- [183] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy*. 2015. Dostęp: 25 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52015DC0614>
- [184] H. Elroi, G. Zbigniew, W.-C. Agnieszka, i S. Piotr, „Enhancing waste resource efficiency: circular economy for sustainability and energy conversion”, *Front. Environ. Sci.*, t. 11, lis. 2023, doi: 10.3389/fenvs.2023.1303792.
- [185] R. Y. Chenavaz i S. Dimitrov, „From waste to wealth: Policies to promote the circular economy”, *J. Clean. Prod.*, t. 443, s. 141086, mar. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141086.
- [186] „Europe’s circular economy in facts and figures”. Dostęp: 25 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/europes-circular-economy-in-facts>
- [187] „Circular economy: definition, importance and benefits”. [Online]. Dostępne na: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>
- [188] B. Sykut, K. Kowalik, i P. Drozdziel, „Współczesne opakowania dla przemysłu żywnościowego”, *Nauki Inż. Technol.*, nr 3(10), 2013, Dostęp: 28 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://bibliotekanauki.pl/articles/5475>

- [189] M. Kaźmierczak, „INNOWACYJNE OPAKOWANIA JAKO INTELIGENTNE ROZWIĄZANIA NA PRZYKŁADZIE BRANŻY SPOŻYWCZEJ”, *Zeszyty Naukowe ASzWoj nr 2(107)*, 2017.
- [190] „Functions of packaging – Transport Informations Service”. Dostęp: 28 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: https://www.tis-gdv.de/tis_e/verpack/funktion/funktion-htm/
- [191] A. Bieniek, „ROLA OPAKOWAŃ TRANSPORTOWYCH W ŁAŃCUCHU LOGISTYCZNYM”, 2019.
- [192] P. Cyrek, „OPAKOWANIE JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O PRODUKTACH ŻYWNOŚCIOWYCH”, *Zesz. Nauk. Uniw. Szczec.*, 2015, doi: 10.18276/pzfm.2015.39-01.
- [193] K. Gościańska, „Rola opakowań w marketingu”, *Marketer+* przewodnik po marketingu. Dostęp: 28 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://marketerplus.pl/rola-opakowan-marketingu/>
- [194] michał, „Opakowanie w marketingu - jaką pełni rolę?”, *Mer Plus*. Dostęp: 28 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://merplus.pl/ladne-opakowanie-to-w-marketingu-podstawa/>
- [195] T. Nowogródzka, K. Pieniak-Lendzion, i W. Nysz, „Wzrost znaczenia opakowań w procesie komunikacji rynkowej przedsiębiorstw”, *Zesz. Nauk. Uniw. Przyr.-Humanist. W SIEDLCACH*, 2014.
- [196] A. Baraniecka, „Marketingowe i logistyczne funkcje opakowań”, *Pr. Nauk. Akad. Ekon. We Wrocławiu*, t. 21, nr nr 936 *Aspekty makro-i mikroekonomiczne*, s. 46–53, 2002.
- [197] pg_brand, „Rodzaje i funkcja ekologiczna opakowania: odkryj zalety opakowań ekologicznych!”, *Agencja brandingowa PG Brand Reforming Company* Warszawie. Dostęp: 28 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://pg-branding.pl/blog/rodzaje-i-funkcja-ekologiczna-opakowania-odkryj-zalety-opakowan-ekologicznych/>
- [198] S. P. na bazie IdoSell (www.idosell.com/shop), „Opakowania ekologiczne – biodegradowalni przyjaciele gastronomii, domu i środowiska naturalnego!”, *Slow Pack®*. Dostęp: 28 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://slowpack.pl/Opakowania-ekologiczne-biodegradowalni-przyjaciele-gastronomii-domu-i-srodowiska-naturalnego-blog-pol-1645191711.html>
- [199] S. Ćwikłowska i V. Hudz, „Ekologizacyjne opakowania jako zgodna ze środowiskiem alternatywa”, *Econ. Organ. Logist.*, nr 8 (4), 2023, doi: 10.22630/EIOL.2023.8.4.26.
- [200] J. Królczyk, D. Matuszek, i K. Bednorz, „ATRAKCYJNOŚĆ I FUNKCJONALNOŚĆ UŻYTKOWA OPAKOWAŃ A ZACHOWANIA KONSUMENTÓW”, *POSTĘPY Tech. PRZETWÓRSTWA Spoż.*, 2015.
- [201] bartek, „Rodzaje opakowań i ich funkcje w logistyce”, *3LP*. Dostęp: 28 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://3lp.eu/rodzaje-opakowan-i-ich-funkcje-w-logistyce/>
- [202] N. Grzybowska, „Opakowania w marketingu”, *Flexi-Pack*. Dostęp: 28 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://flexipack.pl/opakowania-w-marketingu-jak-wykorzystac-je-do-promocji-produktu/>
- [203] „Jaka jest funkcja etykiety? etyfol.pl - producent i drukarnia etykiet”. Dostęp: 28 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://etyfol.pl/funkcja-etykiety.html>

- [204] O. eu-działa na oprogramowaniu sklepów internetowych Sky-Shop.pl, „Etykiety - kluczowy element identyfikacji produktów i opakowań”. Dostęp: 28 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <https://opakowania24.eu/blog/etykiety-kluczowy-element-identyfikacji-produktow-i-opakowan>
- [205] *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2025/40 z dnia 19 grudnia 2024 r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych, zmiany rozporządzenia (UE) 2019/1020 i dyrektywy (UE) 2019/904 oraz uchylecia dyrektywy 94/62/WE (Tekst mający znaczenie dla EOG)*. 2024. Dostęp: 12 marzec 2025. [Online]. Dostępne na: <http://data.europa.eu/eli/reg/2025/40/oj/pol>
- [206] „Rozporządzenie w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych (PPWR)”, Rozporządzenie w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych (PPWR) | UPM Raflatac. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.upmraflatac.com/pl/opakowania-przyjazne-srodowisku/ppwr/>
- [207] A. B. studio@alfabravo.pl, „Branża opakowaniowa w 2025 roku – kluczowe wyzwania i kierunki zmian - ZielonaGospodarka.pl”, Zielona gospodarka - polski ekoportal informacyjny. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://zielonagospodarka.pl/branza-opakowaniowa-w-2025-roku-kluczowe-wyzwania-i-kierunki-zmian-19198>
- [208] T. A. Swetha *in.*, „A comprehensive review on polylactic acid (PLA) – Synthesis, processing and application in food packaging”, *Int. J. Biol. Macromol.*, t. 234, s. 123715, kwi. 2023, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.123715.
- [209] „Cellulose-Based Films for Food Packaging Applications: Review of Preparation, Properties, and Prospects”, *J. Renew. Mater.*, t. 11, nr 8, s. 3203–3225, cze. 2023, doi: 10.32604/jrm.2023.027613.
- [210] M. Mujtaba, J. Lipponen, M. Ojanen, S. Puttonen, i H. Vaittinen, „Trends and challenges in the development of bio-based barrier coating materials for paper/cardboard food packaging; a review”, *Sci. Total Environ.*, t. 851, s. 158328, grudz. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158328.
- [211] L. Abenghal, J. Bley, B. Tolnai, G. Njamen, i B. Chabot, „Development of a new sustainable packaging paper based on cellulose filaments and refined kraft pulp”, *Future Foods*, t. 11, s. 100540, cze. 2025, doi: 10.1016/j.fufo.2025.100540.
- [212] „Why is kraft paper packaging considered the packaging solution for the future?” Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://greenpackaging.vn/en/why-is-kraft-paper-packaging-considered-the-packaging-solution-for-the-future.html>
- [213] „Packaging Life Cycle Analysis: What It Tells Us, What It Doesn't, And How We Use Them”, EcoEnclose. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.ecoenclose.com/blog/packaging-life-cycle-analysis/>
- [214] A. Bher i R. Auras, „Life cycle assessment of packaging systems: A meta-analysis to evaluate the root of consistencies and discrepancies”, *J. Clean. Prod.*, t. 476, s. 143785, paź. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.143785.
- [215] „Understanding the life cycle of packaging | Verive”. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://verive.eu/understanding-the-life-cycle-of-packaging/>

- [216] A. Ramírez Carnero, A. Lestido-Cardama, P. Vazquez Loureiro, L. Barbosa-Pereira, A. Rodríguez Bernaldo de Quirós, i R. Sendón, „Presence of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Food Contact Materials (FCM) and Its Migration to Food”, *Foods*, t. 10, nr 7, Art. nr 7, lip. 2021, doi: 10.3390/foods10071443.
- [217] K. Bourzac, „61 Unexpected ‘Forever Chemicals’ Found in Food Packaging”, *Scientific American*. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.scientificamerican.com/article/61-unexpected-pfas-forever-chemicals-found-in-food-packaging/>
- [218] T. Perkins, „Toxic PFAS chemicals used in packaging can end up in food, study finds”, *The Guardian*, 17 kwiecień 2023. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.theguardian.com/environment/2023/apr/17/pfas-forever-chemicals-food-containers-study>
- [219] „Non-intentionally added substances (NIAS) | Food Packaging Forum”. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://foodpackagingforum.org/resources/background-articles/non-intentionally-added-substances-nias>
- [220] K. Tumu, K. Vorst, i G. Curtzwiler, „Understanding intentionally and non-intentionally added substances and associated threshold of toxicological concern in post-consumer polyolefin for use as food packaging materials”, *Heliyon*, t. 10, nr 1, s. e23620, sty. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e23620.
- [221] „Toxic effects of MOSH exposure | Food Packaging Forum”. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://foodpackagingforum.org/news/toxic-effects-of-mosh-exposure>
- [222] Magda, „Mineral oils - what do we know about the limits for the mineral oils in the EU?”, J.S. Hamilton. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://hamilton.com.pl/en/mineral-oils-what-do-we-know-about-the-limits-for-the-mineral-oils-in-the-eu/>
- [223] J. Jaén, C. Domeño, S. Úbeda, M. Aznar, i C. Nerín, „Migration of mineral oil aromatic hydrocarbons (MOAH) from cardboard containers to dry food and prediction tool”, *Food Control*, t. 138, s. 109016, sie. 2022, doi: 10.1016/j.foodcont.2022.109016.
- [224] „(PDF) Heavy metals in food packagings - The state of the art”, w *ResearchGate*, lis. 2024. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: https://www.researchgate.net/publication/275348955_Heavy_metals_in_food_packagings_-_The_state_of_the_art
- [225] pt, „Opakowania spożywcze a trendy konsumenckie - jakie opakowania są popularne wśród konsumentów?”, Intropak. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://intropak.pl/opakowania-spozywcze-a-trendy-konsumenckie-jakie-opakowania-sa-popularne-wsrod-konsumentow/>
- [226] August, „Ekologiczne opakowania świadomy wybór dla środowiska | Gruzar”, Wywóz Gruzów Warszawa Gruzar. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.gruzar.pl/ekologiczne-opakowania-swiadome-wybory-dla-czystszego-srodowiska/>

- [227] „Nawet w trudnych czasach klienci coraz chętniej wybierają ekologiczne opakowania”. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.smurfitkappa.com/pl/newsroom/2022/consumer-appetite-for-sustainable-packaging-grows-despite-turbulent-year>
- [228] Natalia, „Ekologiczne opakowania - obowiązek czy przewaga konkurencyjna? - WorldFood Poland”, WorldFood. Dostęp: 1 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.worldfood.pl/ekologiczne-opakowania-i-redukcja-plastiku-obowiazek-czy-przewaga-konkurencyjna/>
- [229] „Opakowania”, FRoSTA.pl. Dostęp: 2 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.frosta.pl/zrownowazony-rozwoj/opakowania/>
- [230] U. Buschmann, „Rozwój ekologicznych opakowań z perspektywy właściciela marki”, zaprezentowano na Sympozjum Poligraficzne, Prószków, woj. Opolskie, Polska, maj 2022.
- [231] „Papier erobert weiter Marktanteile - Beispiel Frosta”. Dostęp: 2 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://bp-consultants.de/papier-erobert-marktanteile-beispiel-frosta/>
- [232] „Frosta verpackt Tiefkühlkost künftig in Papier statt in Plastik - WELT”, DIE WELT. Dostęp: 2 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.welt.de/wirtschaft/article203227474/Frosta-verpackt-Tiefkuehlkost-kuenftig-in-Papier-statt-in-Plastik.html>
- [233] F. von FRoSTA (CEO), „FRoSTA stellt um auf Papier”, FRoSTA.de. Dostęp: 2 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.frosta.de/blog/nachhaltigkeit/frosta-stellt-um-auf-papier/>
- [234] „Nachhaltige Verpackung”, FRoSTA.at. Dostęp: 2 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.frosta.at/nachhaltigkeit/nachhaltige-verpackung/>
- [235] „Papierbeutel für Tiefkühltruhe”, MILK. Dostęp: 2 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.milk-food.de/material-lab/material/papierbeutel-fuer-tiefkuehltruhe/>
- [236] „Frosta”, Deutscher Nachhaltigkeitspreis. Dostęp: 2 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.nachhaltigkeitspreis.de/verpackung/preistraeger-verpackung/2020/finalisten/frosta>
- [237] „Sonderpreis Verpackung für Papierbeutel von Frosta - packaging journal”. Dostęp: 2 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://packaging-journal.de/drei-verpackungsloesungen-im-finale-des-deutschen-nachhaltigkeitspreises/>
- [238] *Dyrektywa 2001/83/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 listopada 2001 r. w sprawie wspólnotowego kodeksu odnoszącego się do produktów leczniczych stosowanych u ludzi*, t. 13, 027. 2001. Dostęp: 5 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <http://data.europa.eu/eli/dir/2001/83/oj/pol>
- [239] *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/6 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie weterynaryjnych produktów leczniczych i uchylające dyrektywę 2001/82/WE (Tekst mający znaczenie dla EOG)*, t. 004. 2018. Dostęp: 5 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/6/oj/pol>

- [240] Rozporządzenie Rady (WE) NR 6/2002 z dnia 12 grudnia 2001 r. w sprawie wzorów wspólnotowych, t. 13, 027. 2001. Dostęp: 5 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <http://data.europa.eu/eli/reg/2002/6/oj/pol>
- [241] „Terrestrial Ecotoxicity - an overview | ScienceDirect Topics”. Dostęp: 9 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/terrestrial-ecotoxicity>
- [242] „GEMIS download”, IINAS. Dostęp: 8 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://iinas.org/downloads/gemis-downloads/>
- [243] K. pisze, „Smutna prawda o recyklingu plastiku - ŚwiatOZE.pl”. Dostęp: 8 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://swiatoze.pl/smutna-prawda-o-recyklingu-plastiku/>
- [244] weronikawertelecka, „Najnowszy raport potwierdza znaczący postęp w zakresie cyrkularności systemu tworzyw sztucznych, jednak wyzwania wciąż pozostają”, Plastics Europe PL. Dostęp: 8 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://plasticseurope.org/pl/2024/03/19/najnowszy-raport-potwierdza-znaczący-postęp-w-zakresie-cyrkularności-systemu-tworzyw-sztucznych-jednak-wyzwania-wciąż-pozostają/>
- [245] „DSTV”. Dostęp: 8 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://dstv.deutscherstahlbau.de/>
- [246] „ecoinvent v3.10”, ecoinvent. Dostęp: 8 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://ecoinvent.org/ecoinvent-v3-10/>
- [247] „Photopolymer - an overview | ScienceDirect Topics”. Dostęp: 8 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/photopolymer>
- [248] R. L. Pohl, „Photopolymer compositions for printing plates”, US4442302A, 10 kwiecień 1984 Dostęp: 8 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://patents.google.com/patent/US4442302A/en>
- [249] L. Nelson, „Tack-free photopolymer printing plate”, US5733948A, 31 marzec 1998 Dostęp: 8 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://patents.google.com/patent/US5733948A/en?q=US5733948A>
- [250] M. Michałowska, „Instrumenty zarządzania środowiskowego w przedsiębiorstwach”, Zesz. Nauk. Wydz. Zarządzania GWSH Nr 162021 81-102, 2021, doi: 10.53259/2021.16.12.
- [251] A. Standards, „ÖNORM EN ISO 14040:2021 03 01”, Austrian Standards. Dostęp: 8 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.austrian-standards.at/en/shop/onorm-en-iso-14040-2021-03-01~p2568492>
- [252] A. Standards, „ÖNORM EN ISO 14044:2021 03 01”, Austrian Standards. Dostęp: 8 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.austrian-standards.at/en/shop/onorm-en-iso-14044-2021-03-01~p2568309>
- [253] „Global Warming Potential - an overview | ScienceDirect Topics”. Dostęp: 8 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/global-warming-potential>

- [254] Z. Quist, „Life Cycle Assessment (LCA) - Complete Beginner's Guide”, Ecochain LCA Software. Dostęp: 8 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://ecochain.com/blog/life-cycle-assessment-lca-guide/>
- [255] A. Śliwińska, „Stan wiedzy na temat alokacji w LCA oraz propozycje zmian w normie ISO 14044”, *Inż. Ochr. Śr.* 2017 201 97119, 2017, doi: 10.17512/ios.2017.1.8.
- [256] Grzesik Katarzyna, „Wprowadzenie do oceny cyklu życia (LCA)– nowej techniki w ochronie środowiska.”, *Inż. Śr.*, t. 11, 2006, [Online]. Dostępne na: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-AGH5-0007-0240/c/Grzesik.pdf>
- [257] „WebCenter Web Viewer”. Dostęp: 9 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: https://cdc.chespa.eu/pl/webviewer.jsp?username=Nogacki%2C+Jacek+%28JNOGACKI%29&returnurl=https%3A%2F%2Fcdc.chespa.eu%2Fpl%2Fprojdetailsdocs.jsp%3FprojectID%3D00002_0000291232%26curFolderID%3D00002_0001041282%26curPage%3D1%26menu_file%3Dsearchresults
- [258] „Recycling rates for packaging waste - knoema.com”, Knoema. Dostęp: 9 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://knoema.de//ten00063-20210208/recycling-rates-for-packaging-waste?geo=1000260-poland>
- [259] „Global Emission Model for Integrated Systems (GEMIS) | GHG Protocol”. Dostęp: 9 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/GEMIS>
- [260] „Zużycie wody w Europie — Ilość i jakość w obliczu dużych wyzwań”, Dostęp: 10 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.eea.europa.eu/pl/sygna142y/sygnaly-2018/artykuly/zuzycie-wody-w-europie-2014>
- [261] „Rosnący niedobór słodkiej wody. W jaki sposób branża będzie musiała reagować na rosnące wyzwania w zakresie gospodarki ściekowej w przyszłości.”, H2O GmbH. Dostęp: 10 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.h2o-de.com/pl/blog/rosnacy-niedobor-slodkiej-wody-w-jaki-sposob-branza-bedzie-musiala-reagowac-na-rosnace-wyzwania-w-zakresie-gospodarki-sciekowej-w-przyszlosci>
- [262] M. Popkiewicz, „Coraz częstsze susze w Polsce – konsekwencja zmiany klimatu i działań anty-adaptacyjnych”, *Nauka o klimacie | naukaoklimacie.pl*. Dostęp: 10 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/coraz-czestsze-susze-w-polsce-konsekwencja-zmiany-klimatu-i-dzialan-anty-adaptacyjnych-417>
- [263] „Zmiana klimatu: gazy cieplarniane powodujące globalne ocieplenie”, *Tematy | Parlament Europejski*. Dostęp: 10 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.europarl.europa.eu/topics/pl/article/20230316STO77629/zmiana-klimatu-gazy-cieplarniane-powodujace-globalne-ocieplenie>
- [264] A. Myczkowska-Utrata, „Co to jest net zero, czyli zerowa emisja netto?”, *ESGinfo.pl*. Dostęp: 10 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.esginfo.pl/co-to-jest-net-zero-czyli-zerowa-emisja-netto/>
- [265] J. D. Guillot, „Czym jest neutralność emisyjna i jak możemy ją osiągnąć do 2050 r.?”, *Dyrekcja Generalna ds. Komunikacji Parlamentu Europejskiego*, nr 20190926STO62270, 2019.

- [266] C. Aydemir i S. A. Özsoy, „Environmental impact of printing inks and printing process”, *J. Graph. Eng. Des.*, t. 11, nr 2, Art. nr 2, grudz. 2020, doi: 10.24867/JGED-2020-2-011.
- [267] K. Dubois, „Chespa Receives 2024 FTA Sustainability Excellence Award”, Flexographic Technical Association. Dostęp: 10 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.flexography.org/industry-news/chespa-receives-2024-fta-sustainability-excellence-award/>
- [268] United States Environmental Protection Agency, „Lean Manufacturing and the Environment: Research on Advanced Manufacturing Systems and the Environment and Recommendations for Leveraging Better Environmental Performance”, 2003.
- [269] „Impact Assessment”. Dostęp: 12 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://support.ecoinvent.org/impact-assessment>
- [270] „Rozmieszczenie palet na naczepie – jak zrobić to prawidłowo?”, TIMOCOM. Dostęp: 14 październik 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.timocom.pl/blog/rozmieszczenie-palet-na-naczepie-jak-zrobi%C4%87-to-prawid%C5%82owo-676662>
- [271] „Recykling nawet 15,6 razy większy przy zbiórce selektywnej. Dane z Europy i Polski o tworzywach sztucznych”, Teraz-Środowisko. Dostęp: 12 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/recykling-w-polsce-i-europie-wiekszy-przy-zbiorce-selektywnej-14847.html>
- [272] A. B. studio@alfabravo.pl, „Poziom realnego recyklingu tworzyw w Polsce nie przekracza 10 proc. - ZielonaGospodarka.pl”, Zielona gospodarka - polski ekoportal informacyjny. Dostęp: 12 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://zielonagospodarka.pl/poziom-realnego-recyklingu-tworzyw-w-polsce-nie-przekracza-10-proc-10524>
- [273] „Ocean Plastics Pollution”. Dostęp: 12 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: https://www.biologicaldiversity.org/campaigns/ocean_plastics/
- [274] „Water Scarcity | Threats | WWF”, World Wildlife Fund. Dostęp: 12 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity>
- [275] O. Lai, „Water Shortage: Causes and Effects”, Earth.Org. Dostęp: 12 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://earth.org/causes-and-effects-of-water-shortage/>
- [276] „Ocean plastic pollution an overview: data and statistics”. Dostęp: 12 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://oceanliteracy.unesco.org/plastic-pollution-ocean/>
- [277] N. O. and A. A. US Department of Commerce, „What is Ocean Acidification?” Dostęp: 13 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/acidification.html>
- [278] „Ocean acidification | National Oceanic and Atmospheric Administration”. Dostęp: 13 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>
- [279] V. Goel *i in.*, „Acidification potential estimation for small hydropower using LCA methodology in India”, *Sci. Rep.*, t. 15, nr 1, s. 5768, luty 2025, doi: 10.1038/s41598-024-82397-5.

- [280] L. Hillege, „Environmental Cost Indicator (ECI) - Overview”, Ecochain LCA Software. Dostęp: 13 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://ecochain.com/blog/environmental-cost-indicator-eci/>
- [281] N. O. and A. A. US Department of Commerce, „What is eutrophication?” Dostęp: 13 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/eutrophication.html>
- [282] „Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems | Learn Science at Scitable”. Dostęp: 13 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/eutrophication-causes-consequences-and-controls-in-aquatic-102364466/>
- [283] J. Skrzypski, *Ekologia. Jej związki z różnymi dziedzinami wiedzy.*, 2. wyd. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 1997.
- [284] „Sustainability in packaging 2023 | McKinsey”. Dostęp: 14 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.mckinsey.com/industries/packaging-and-paper/our-insights/sustainability-in-packaging-2023-inside-the-minds-of-global-consumers>
- [285] „Asahi Water-Washable Plates”, Asahi Photoproducts. Dostęp: 16 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://asahi-photoproducts.com/product/asahi-water-washable-plates/>
- [286] „Które opakowania są najmniej uciążliwe dla środowiska?” Dostęp: 16 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://packon.pl/aktualnosci/jakie-opakowania-sa-najmniej-uciazliwe-dla-srodowiska>
- [287] „(PDF) Sustainable Paper-Based Packaging: A Consumer’s Perspective”, *ResearchGate*, grudz. 2024, doi: 10.3390/foods10051035.
- [288] „(PDF) Improving Recycled Paper Materials through the Incorporation of Hemp, Wood Virgin Cellulose Fibers, and Nanofibers”, *ResearchGate*, kwi. 2025, doi: 10.3390/fib11120101.
- [289] Z. Shi, Y. Zhang, G. O. Phillips, i G. Yang, „Utilization of bacterial cellulose in food”, *Food Hydrocoll.*, t. 35, s. 539–545, mar. 2014, doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.07.012.
- [290] D. S. Fraser, K. O’Halloran, i M. R. van den Heuvel, „Toxicity of pulp and paper solid organic waste constituents to soil organisms”, *Chemosphere*, t. 74, nr 5, s. 660–668, luty 2009, doi: 10.1016/j.chemosphere.2008.10.065.
- [291] M. Kowalczyk, „Rozmnażanie dżdżownic: Skuteczne metody hodowli i rozmnażania dżdżownic.” [Online]. Dostępne na: <https://maszyno.pl/rozmnazanie-dzdzownic-skuteczne-metody-hodowli-i-rozmnazania-dzdzownic>
- [292] G. Ye *i in.*, „Short-term cellulose addition decreases microbial diversity and network complexity in an Ultisol following 32-year fertilization”, *Agric. Ecosyst. Environ.*, t. 325, s. 107744, luty 2022, doi: 10.1016/j.agee.2021.107744.
- [293] C. Asher, „Microplastics pose risk to ocean plankton, climate, other key Earth systems”, *Mongabay Environmental News*. Dostęp: 16 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://news.mongabay.com/2023/10/microplastics-pose-risk-to-ocean-plankton-climate-other-key-earth-systems/>

- [294] A. strony BOŚ, „Recykling makulatury”. Dostęp: 16 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.bosbank.pl/EKO/tresci-ekologiczne/recykling-makulatury>
- [295] admin, „Asahi Photoproducts Achieves Carbon Neutral Certification for AWP™-DEW CleanPrint Flexo Plates”, Asahi Photoproducts. Dostęp: 16 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://asahi-photoproducts.com/asahi-photoproducts-achieves-carbon-neutral-certification-for-awp-dew-cleanprint-flexo-plates/>
- [296] admin, „The Road Towards Solvent ZERO”, Asahi Photoproducts. Dostęp: 16 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://asahi-photoproducts.com/the-road-towards-solvent-zero/>
- [297] „The Road to Solvent ZERO | Tomorrow’s Stories | Creating for Tomorrow | Asahi Kasei”. Dostęp: 16 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: https://www.asahi-kasei.com/asahikasei-brands/stories/photoproducts_awp.html
- [298] „AWPTM-CleanFlat Water-washable FlatTop plate.pdf”.
- [299] „Biodegradable Products Institute Products”. Dostęp: 17 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://products.bpiworld.org/>
- [300] „CS-REAL_HOME_compostable_products.pdf”.
- [301] L. Cowton, „NatureFlex™ Metallised Films Statement on Compostability”. Futamura Chemical Company, 2018.
- [302] Dewolfs, „Certificate for awarding and use of the OK COMPOST HOME conformity mark”. TUV Austria Cert GmbH, 2021.
- [303] „Technical Data Sheet of FlexiBio ink series Chespa Company”. Chespa Company.
- [304] „Afryka stawia na spalarnie śmieci | trendywenergetyce.pl”. Dostęp: 17 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://trendywenergetyce.pl/afryka-stawia-na-spalarnie-smieci>
- [305] „Globalny łańcuch śmieci”. Dostęp: 17 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://instytutprawobywatelskich.pl/globalny-lancuch-smieci/>
- [306] Pilarski Krzysztof i A. Pilarska, „PARAMETRY PROCESU KOMPOSTOWANIA”, *Tech. Rol. Ograd. ĆENA*, 2009, [Online]. Dostępne na: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://tech-rol.eu/images/Archiwum_X/2019/04/KPAP1_2009.pdf
- [307] I. Leppänen, M. Vikman, A. Harlin, i H. Orelma, „Enzymatic Degradation and Pilot-Scale Composting of Cellulose-Based Films with Different Chemical Structures”, *J. Polym. Environ.*, t. 28, nr 2, s. 458–470, luty 2020, doi: 10.1007/s10924-019-01621-w.
- [308] A. Kornacki, „Biodegradowalne folie celulozowe celofan i NatureFlex przykładem realizacji zasad Gospodarki o Obiegu Zamkniętym”, [Online]. Dostępne na: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.pakowanie.info/uploads/1/0/2/5/10250887/biodegradowalne_folie_celulozowe_celofan_i_natureflex_przyk%C5%82adem_realizacji_zasad_gospodarki_o_obiegu_zamkni%C4%99tym.pdf
- [309] F. Degli-Innocenti, „Is composting of packaging real recycling?”, *Waste Manag.*, t. 130, s. 61–64, lip. 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2021.05.017.

- [310] „Metalized Film Recycling - iSustain”. Dostęp: 17 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://isustainrecycling.com/blog/post/metalized-film-recycling>
- [311] J. Sanetuntikul, K. Ketpang, P. Naknaen, B. Narupai, i N. Petchwattana, „A circular economy use of waste metalized plastic film as a reinforcing filler in recycled polypropylene packaging for injection molding applications”, *Clean. Eng. Technol.*, t. 17, s. 100683, grudz. 2023, doi: 10.1016/j.clet.2023.100683.
- [312] „Utilization of metalized plastic waste of food packaging articles in geopolymer concrete | Request PDF”, *ResearchGate*, grudz. 2024, doi: 10.1007/s10163-019-00859-9.
- [313] P. Guest, „PP film is recyclable, so why isn't it being recycled?” Dostęp: 17 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.plastikmedia.co.uk/pp-film-is-recyclable-so-why-isnt-it-being-recycled/>
- [314] „The Basic Chemistry of Laminating Adhesives, Product Article - ChemPoint”. Dostęp: 17 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.chempoint.com/insights/the-basic-chemistry-of-laminating-adhesives>
- [315] „Laminating Adhesives”. Dostęp: 17 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.henkel-adhesives.com/cr/en/products/industrial-adhesives/laminating-adhesives.html>
- [316] D. Nadler i C. F. Witzmann, „Foil laminating adhesive”, US3974112A, 10 sierpień 1976 Dostęp: 17 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://patents.google.com/patent/US3974112A/en>
- [317] „Ecodesign for Sustainable Products Regulation - European Commission”. Dostęp: 18 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation_en
- [318] V. Creative i Clare, „End of Service (EOSL) Support for KODAK APPROVAL Digital Halftone Proofer/ End of Sale for KODAK APPROVAL consumables”, Miraclon. Dostęp: 18 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.miraclon.com/product-notifications/end-of-service-eosl-support-for-kodak-approval-digital-half-tone-proofer-end-of-sale-for-kodak-approval-consumables/>
- [319] „micro-TRI-gloss | Three angle gloss meter | micro-gloss Glossmeter | Appearance | BYK Instruments”. Dostęp: 18 kwiecień 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.byk-instruments.com/en/Appearance/micro-gloss-Glossmeter/Three-angle-gloss-meter/c/p-32937>

Spis rysunków

Rys. 1.1 Całkowite globalne antropogeniczne emisje CO ₂ z podziałem na źródła	34
Rys. 1.2 Podsumowanie uzyskanych wyników zawartości mikroplastiku w tkankach pierścienic.....	35
Rys. 1.3 Poziom recyklingu odpadów w Polsce – wariant nr 1	39
Rys. 1.4 Poziom recyklingu odpadów w Polsce – wariant nr 2	40
Rys. 2.1 Przykładowe stanowisko pracy z oprogramowaniem Spectraproof®	45
Rys. 2.2 Przykładowe stanowisko pracy z oprogramowaniem Remote Director	46
Rys. 2.3 Rodzaje papierów proofingowych firmy GMG Color	49
Rys. 2.4 Przykładowa drukarka cyfrowa służąca do wykonywania wydruków próbnych	50
Rys. 2.5 Przykładowy wydruk testu drożności dysz głowicy Noozle Check z drukarki Epson SC- P7000, w widocznych ubytkami dysz w kanale VM (<i>Vivid Magenta</i>).....	51
Rys. 2.6 Test drożności dysz głowicy: a) kanały farbowe drożne, b) kanały farbowe niedrożne	51
Rys. 2.7 Okno procesu druku paska kontrolnego GMG Calibration Control Strip V2	52
Rys. 2.8 Pasek kontrolny GMG Calibration Control Strip V2 z: a) nieprawidłową wartością deltyE, b) pasek kontrolny z prawidłową wartością deltyE.....	53
Rys. 2.9 Przykład wydruku próbnego na podłożu docelowym.....	54
Rys. 2.10 Prezentacja wydruku próbnego na podłożu docelowym: a) wydruk próbny konwencjonalny, b) wydruk próbny na podłożu docelowym	55
Rys. 2.11 Porównanie obu metod wydruków próbnych	55
Rys. 2.12 Porównanie obu metod wydruków próbnych – widoczne paski w białej separacji ...	56
Rys. 2.13 Porównanie obu metod wydruków próbnych – widoczne podlewki w białej separacji	57
Rys. 2.14 Symulacja podłoża docelowego na wydruku próbnym konwencjonalnym	58
Rys. 2.15 Pasek kontrolny Fogra Media Wedge, automatycznego systemu kontrolnego.	59

Rys. 2.16 Pasek kontroli Ugra/Fogra Media Wedge CMYK V3, manualnego systemu kontrolnego z etykietą certyfikacyjną	59
Rys. 3.1 Stężenie dwutlenku węgla w atmosferze na przestrzeni ostatnich 800 000 lat.....	62
Rys. 3.2 Schemat przyczynowo–skutkowy wpływu toksyczności na zdrowie ludzi oraz ekosystemów	63
Rys. 3.3 Zakresy obliczeniowe i emisje: zakres 1, zakres 2 i zakres 3	65
Rys. 4.1 Model gospodarki obiegu zamkniętego	68
Rys. 4.2 Podział biodegradowalnych polimerów	72
Rys. 4.3 Proces ekoprojektowania opakowań.	76
Rys. 4.4 Proces przejścia z opakowania mono materiałowego PE na opakowanie papierowe	78
Rys. 4.5 Piramida ważności procesów postępowania z odpadami opakowaniowymi	79
Rys. 5.1 Schemat porównujący proces wydruku próbnego na podłożu docelowym oraz testów przedprodukcyjnych.....	86
Rys. 6.1 Udział procentowy odpowiedzi na pytanie dotyczące przydatności systemu proofingu	92
Rys. 6.2 Udział procentowy odpowiedzi dotyczący wpływ badanego systemu na proces decyzyjny	93
Rys. 6.3 Udział procentowy odpowiedzi na pytanie dotyczące porównania badanych systemów	94
Rys. 7.1. Schemat przepływu danych w obliczeniach cyklu życia produktu.....	103
Rys. 7.2. Układ graficzny badanej pracy	104
Rys. 7.3 Wydruk przemysłowy badanego projektu	105
Rys. 7.4 Zestawienie porównawcze wyników badań dla obu procesów	108
Rys. 7.5 Analiza porównawcza zużycia wody oraz zapotrzebowania na papier w odniesieniu do obu systemów wydruków próbnych	109

Rys. 7.6 Analiza porównawcza wpływu ekotoksyczności obu systemów na środowisko lądowe, morskie oraz wody słodkiej.....	111
Rys. 7.7 Porównanie emisji klimatycznych oraz kredytów z recyklingu odpadów	112
Rys. 7.8 Rozłożenie emisji środowiskowych z podziałem na obszary kalkulacji dla systemu wydruku próbnego konwencjonalnego (w kg CO ₂ -eq)	112
Rys. 7.9 Rozłożenie emisji środowiskowych z podziałem na obszary kalkulacji dla systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym (w kg CO ₂ -eq).....	113
Rys. 8.1 Zestawienie porównawcze obliczonych ekwiwalentów emisji dla testu przedprodukcyjnego oraz systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym ..	131
Rys. 8.2 Analiza porównawcza zużycia wody oraz zapotrzebowania na tworzywo sztuczne polietylen (PE) w odniesieniu do obu systemów testowania.....	132
Rys. 8.3 Porównanie emisji klimatycznych oraz kredytów z recyklingu odpadów	133
Rys. 8.4 Rozłożenie emisji środowiskowych z podziałem na obszary procesu dla testu przedprodukcyjnego (w kg CO ₂ -eq)	134
Rys. 8.5 Rozłożenie emisji środowiskowych z podziałem na obszary procesu dla systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym (w kg CO ₂ -eq).....	134
Rys. 8.6 Wzrost poziomu efektywności recyklingu polietylenu (PE) do 90%	138
Rys. 8.7 Analiza porównawcza wpływu ekotoksyczności obu systemów.....	139
Rys. 8.8 Wpływ zwiększonego stężenia CO ₂ , na proces rozpuszczania skorupy ślimaków morskich	140
Rys. 8.9 Schemat emisji powodujących dany wpływ na środowisko	141
Rys. 9.1 Poziom obaw dotyczących wpływu na środowisko w państwach deklarujących skrajne lub bardzo wysokie zaniepokojenie tym problemem	144
Rys. 9.2 Preferencje krajów do zrównoważonych surowców opakowań	145
Rys. 9.3 Zaprojektowana grafika opakowania papierowego na orzeszki.....	147
Rys. 9.4 Analiza porównawcza wpływu ekotoksyczności i emisji środowiskowych opisywanych opakowań.....	148

Rys. 9.5 Wzrost poziomu efektywności recyklingu polipropylenu (BOPP kontra papier) oraz emisje klimatyczne	149
Rys. 9.6 Analiza porównawcza konsumpcji wody oraz zapotrzebowania na surowce w odniesieniu do obu badanych opakowań	150
Rys. 9.7 Efekt procesu drukowania w ramach akceptacji projektu opakowania orzeszków na papierze.....	151
Rys. 9.8 Porównanie technologii fleksograficznych form fotopolimerowych, farb oraz technologii procesu drukowania na białym, niepowlekanym papierze	153
Rys. 9.9 Wygląd punktów rastrowych oraz formy drukowej po procesie drukowania (zdjęcia u góry) oraz zdjęcia mikroskopowe punktów rastrowych po procesie drukowania na formie drukowej AWP™	154
Rys. 9.10 Zaprojektowana grafika opakowania celulozowego na czekoladę	157
Rys. 9.11 Uformowane opakowanie typu torebka na czekoladę w folii celulozowej	158
Rys. 9.12 Analiza porównawcza wpływu ekotoksyczności i emisji środowiskowych opisywanych opakowań	159
Rys. 9.13 Emisje klimatyczne oraz wielkość unieszkodliwienia odpadów	160
Rys. 9.14 Analiza porównawcza konsumpcji wody oraz zapotrzebowania na surowce w odniesieniu do obu badanych opakowań	161
Rys. 9.15 Struktura folii celulozowej, metalizowanej metaliczną warstwą barierową.....	162
Rys. 9.16 Grafika opakowania polipropylenowego (BOPP) białego	165
Rys. 9.17 Analiza porównawcza wpływu ekotoksyczności i emisji środowiskowych opisywanych opakowań	166
Rys. 9.18 Analiza porównawcza konsumpcji wody oraz zapotrzebowania na surowce w odniesieniu do obu badanych opakowań	168
Rys. 9.19 Emisje klimatyczne oraz wielkość unieszkodliwienia odpadów	169
Rys. 9.20 Zgodność kolorystyczna wydruku próbnego (po lewej stronie) do efektów procesu drukowania (po prawej stronie)	169

Spis tabel

Tabela 1.1 Roczne obligatoryjne kwoty recyklingu odpadów opakowaniowych.....	42
Tabela 4.1 Tabela klas wydajności recyklingu.....	80
Tabela 6.1 Pytania ankietowe.....	89
Tabela 7.1 Granice systemowe procesu przygotowania wydruku przemysłowego z wykorzystaniem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym w porównaniu z systemem wydruku próbnego konwencjonalnego.....	100
Tabela 7.2 Zestawienie źródeł emisji klimatycznych ze źródeł energii.....	107
Tabela 7.3 Stosunek różnicy zużycia papieru oraz wody przez badane systemy wydruków próbnych.....	114
Tabela 8.1 Granice systemowe testów przedprodukcyjnych.....	123
Tabela 8.2 Granice systemowe wydruku próbnego na podłożu docelowym.....	123
Tabela 8.3 Zestawienie źródeł emisji klimatycznych ze źródeł energii.....	130
Tabela 8.4 Zużycie tworzywa sztucznego oraz wody w badanych metodach.....	136
Tabela 9.1 Zestawienie ustawień produkcyjnych podczas procesu drukowania projektu graficznego.....	152
Tabela 9.2 Zestawienie ustawień produkcyjnych podczas procesu drukowania projektu graficznego.....	162
Tabela 9.3 Zestawienie ustawień produkcyjnych podczas procesu drukowania projektu graficznego.....	167
Tabela 10.1 Porównanie badanych systemów wydruków próbnych (opisanych w rozdziale 2).....	184