



INSTYTUT BIOTECHNOLOGII
PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO
im. prof. Wacława Dąbrowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Analiza wybranych produktów wytwarzanych przez krajowy przemysł alkoholowy



Badania realizowane w ramach:
Zadanie 5. Analiza i metodologia pomiaru śladu węglowego dla wybranych
produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł wyrobów
alkoholowych na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi
Umowa nr DRE.prz.070.2.2025



Opracowanie:

**dr hab. inż. Magdalena Wróbel-Jędrzejewska, prof. IBPRS-PIB
mgr inż. Ewelina Włodarczyk, dr inż. Łukasz Przybysz, mgr inż. Agata Szkup,
mgr inż. Klaudia Milak, dr inż. Joanna Markowska, mgr inż. Anna Drabent**

**Instytut Biotechnologii i Przemysłu Rolno-Spożywczego
im. prof. Wacława Dąbrowskiego
Państwowy Instytut Badawczy**

Zakład Technologii i Techniki Chłodnictwa

Łódź, 25 wrzesień 2025

ISBN 978-83-973516-5-3

	Zadanie 5.		Analiza i metodologia pomiaru śladu węglowego dla wybranych produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł wyrobów alkoholowych
	Wykonawca Zakład Technologii i Techniki Chłodnictwa		Projekt Dotacja celowa
	Finansowanie Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi		<i>Umowa nr DRE.prz.070.2.2025</i>

Wprowadzenie

Współczesnym wyzwaniem dla rolnictwa oraz przemysłu rolno-spożywczego jest nasilający się kryzys klimatyczny, który wymaga nie tylko ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (GHG), ale także rzetelnego monitorowania i raportowania ich źródeł. Jednym z kluczowych narzędzi pozwalających zrozumieć wpływ działalności gospodarczej na klimat jest ślad węglowy (Carbon Footprint, CF). Właściwe obliczanie i interpretacja CF stanowią podstawę do podejmowania świadomych decyzji produkcyjnych i konsumenckich.

Standaryzacja metodologii analizy śladu węglowego pozwoli na spójne i rzetelne porównanie wyników, co jest kluczowe dla wypracowania najlepszych praktyk w zakresie ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Produkcja wyrobów alkoholowych obejmuje różne etapy, od uprawy owoców (wina owocowe), uprawa zbóż i ziemniaków (alkohol etylowy oraz napoje spirytusowe, piwo), uprawa chmielu (piwo), uprawa winorośli (wino) przez fermentację po butelkowanie i dystrybucję, z których każdy generuje różne rodzaje emisji GHG. Unia Europejska zobowiązała się do osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 roku. Oznacza to, że trzeba radykalnie zmniejszyć emisje GHG i zrekompensować emisje resztkowe (np. z przemysłu lub rolnictwa) poprzez pochłanianie dwutlenku węgla (CO₂) z atmosfery ziemskiej za pomocą rozwiązań naturalnych i technologicznych (Wniosek z dnia 30.11.2022 r. 2022/0394 Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiające unijne ramy certyfikacji usuwania dwutlenku węgla). Zatem istotne jest opracowanie innowacyjnych technologii i zrównoważonych rozwiązań w przemyśle spożywczym, przy jednoczesnym zwalczaniu tzw.

greenwashingu (niejasnych i wprowadzających w błąd oświadczeń środowiskowych („pseudoekologiczny marketing”)). Ponadto Komisja Europejska planuje wprowadzenie znakowania żywności śladem węglowym (wyrażonym w ekwiwalencie dwutlenku węgla, określającym emisje gazów cieplarnianych) w celu promowania zrównoważonej gospodarki. Zasadność prowadzenia prac w tym zakresie jest zgodna z założeniami Strategii F2F, która m.in.: wymaga osiągnięcia celów gospodarki o obiegu zamkniętym. Zmniejszenie wpływu przetwórstwa spożywczego na środowisko jest możliwe poprzez podjęcie działań w zakresie produkcji, transportu, magazynowania, pakowania.

Analiza śladu węglowego wykorzystana na potrzeby benchmarku krajowych producentów będzie istotnym elementem rozwoju polskiego przemysłu w kierunku gospodarki niskoemisyjnej i energochłonnej. Ponadto, wyniki analiz mogą posłużyć do promocji polskiej żywności znakowanej w przyszłości śladem węglowym. Badania w tym zakresie mają wymiar interdyscyplinarny i wpisują się w Europejską strategię One-Health, Komisji Europejskiej. Do korzyści środowiskowych należy zaliczyć wkład w rozwiązanie problemów wynikających z konieczności racjonalnego użytkowania zasobami naturalnymi oraz sprostanie założeniom biogospodarki. Spodziewane wyniki mają również wymiar ekonomiczny. Wprowadzane modyfikacje istniejących oraz projektowane nowe rozwiązania przemysłowe powinny być możliwie obojętne dla środowiska, niskoemisyjne i bezodpadowe. Prowadzone w ramach tego kierunku badania należy ukierunkować na analizę istniejących procesów technologicznych, identyfikację możliwych do rozwiązania problemów oraz opracowanie nowych rozwiązań technologicznych wpływających istotnie na ślad węglowy produkcji żywności. Wyniki badań można będzie rozpatrywać w wymiarze ekonomicznym, wiążąc je z obniżeniem kosztów eksploatacyjnych, z efektami środowiskowymi i społecznymi, wynikającymi z redukcji zanieczyszczeń. Dodatkowo, wyniki analiz mogą posłużyć do promocji polskiej żywności znakowanej w przyszłości śladem węglowym.

W pierwszym roku badań analizie zostaną poddane dwa wybrane obiekty badawcze. Przeprowadzenie tych badań umożliwi w przyszłości opracowanie całościowych wytycznych w zakresie emisji GHG dla krajowej produkcji wyrobów alkoholowych. Obliczając i raportując emisje we wszystkich zakresach, firma ma możliwość całościowo przeanalizować szanse i ryzyka związane z jej łańcuchem wartości. Dodatkowo podjęcie działań związanych z ograniczeniem emisji w poszczególnych zakresach może przełożyć się na wymierne korzyści finansowe i środowiskowe umożliwiające racjonalne gospodarowanie zasobami.

W przypadku uzyskania finansowania na kolejne lata, dla osiągnięcia najlepszego efektu, prace badawcze i analityczne w zakresie CF powinny być kontynuowane i prowadzone dla innych zakładów przemysłowych, aby objąć wszystkie grupy asortymentowe wyrobów alkoholowych.

Cel badania:

Celem projektu jest zidentyfikowanie kluczowych aspektów związanych z emisjami gazów cieplarnianych i opracowanie jednolitych standardów metodologii analizy śladu węglowego dla branży wyrobów alkoholowych.

Zakres prac będzie obejmował:

- analiza rynku produktów wytwarzanych przez krajowy przemysł napojów alkoholowych; wybór dwóch przedsiębiorstw i analiza procesu ich produkcji,
- identyfikacja procesów jednostkowych w poszczególnych etapach wytwarzania wybranego produktu; identyfikacja i analiza działań związanych z emisją (pośrednią i bezpośrednią) gazów cieplarnianych na etapach produkcji,
- opracowanie metodyki analizy CF dla wybranego produktu; porównanie śladu węglowego pomiędzy krajowymi producentami branży napojów alkoholowych,
- przygotowanie raportu końcowego z badań; przygotowanie publikacji, a także materiałów do prezentacji na konferencjach naukowych.

1. Analiza rynku produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł wyrobów alkoholowych

Produkcja napojów alkoholowych w Polsce charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem pod względem wielkości wytwarzania poszczególnych kategorii produktów. Ogólny podział przedstawiono w tabeli 1.

Tabela. 1. Podział napojów alkoholowych

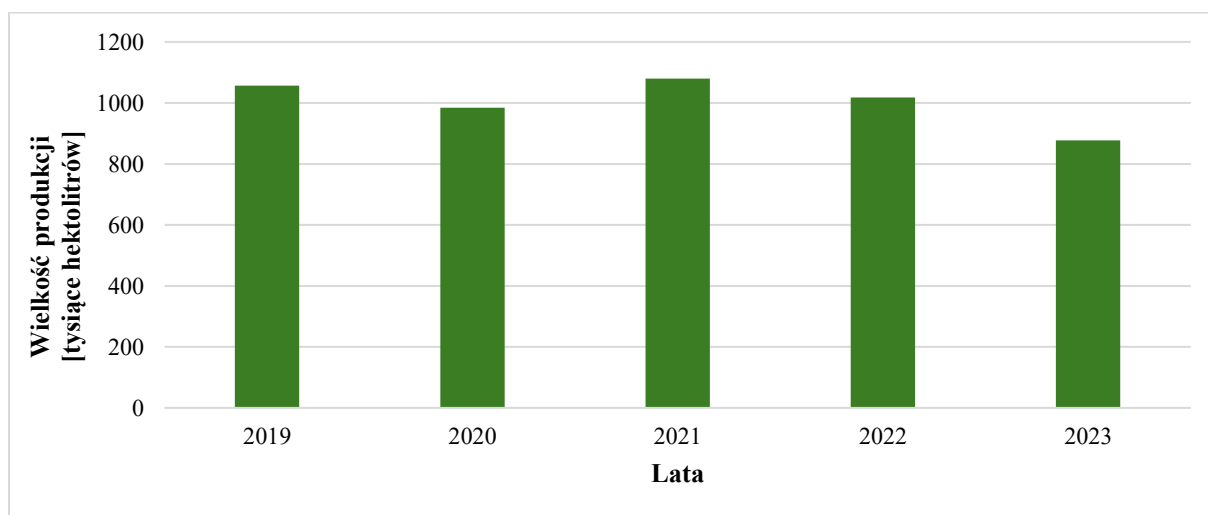
Główne kategorie produktu	Charakterystyka	Zawartość alkoholu	Podkategoria
piwo	napój fermentowany z surowców słodowych (najczęściej jęczmień), chmielu, drożdży i wody	4–6% obj., piwa lekkie (ok. 2%) i mocne (>8%)	- piwa jasne, ciemne, pszeniczne, smakowe - piwa rzemieślnicze (craft) – o unikalnych recepturach - piwa bezalkoholowe / niskoalkoholowe (0,0–1%) – dynamicznie rosnący segment rynku
wino	napoje powstałe w wyniku fermentacji soku winogronowego (moszczu winnego)	8–15% obj.	- wina białe, czerwone, różowe - wina musujące (np. szampan, prosecco), - wina wytrawne, półwytrawne, półsłodkie, słodkie - wina wzmacniane (np. porto, sherry)
wina owocowe i napoje winiarskie	produkowane z fermentacji innych owoców niż winogrona (np. jabłka, porzeczki, wiśnie)	4–12% obj.	- cydr – wino z fermentowanego soku jabłkowego - perry – z gruszek - miody pitne – fermentacja miodu z wodą (produkty tradycyjne)
napoje spirytusowe (alkohole wysokoprocentowe)	otrzymywane przez destylację fermentowanych surowców (zboża, ziemniaki, owoce, trzcina cukrowa)	30–80% obj.	- wódka – najpopularniejszy produkt w Polsce, najczęściej 37,5–40% obj. alkoholu - whisky / whiskey – destylat ze słoju jęczmiennego lub kukurydzy, dojrzewający w beczkach - rum – z melasy lub soku z trzciny cukrowej, - gin – destylat aromatyzowany jałowcem i przyprawami - brandy / koniak – destylaty winne dojrzewające w beczkach - likier – słodzony alkohol aromatyzowany (np. Baileys, Advocaat) - nalewki i okowity owocowe – tradycyjne produkty o wysokiej mocy
napoje typu RTD (ready-to-drink)	gotowe do spożycia koktajle alkoholowe, najczęściej w puszkach lub butelkach	4–8% obj.	mieszanki wódki z sokiem lub colą, gin i tonic, rum i cola
alkohole bezalkoholowe i niskoalkoholowe	produkty o zawartości alkoholu poniżej 0,5% obj., które imitują tradycyjne napoje alkoholowe (piwo, wino, gin, whisky)	0 % obj.	piwa 0,0%, wina bezalkoholowe, gin 0,0%.

Znaczącą pozycję w strukturze krajowego przemysłu alkoholowego zajmuje piwo, którego produkcja w 2024 roku osiągnęła poziom około 34,56 mln hektolitrów. Mimo utrzymującej się wysokiej skali wytwarzania, branża piwowarska odnotowuje w ostatnich latach tendencję spadkową. Dla porównania w 2019 roku produkcja przekraczała 39 mln hektolitrów. Jednocześnie obserwowany jest dynamiczny rozwój segmentu piw bezalkoholowych, którego wolumen w 2024 roku wyniósł blisko 1,95 mln hektolitrów, co stanowiło około 6,4% całego rynku piwa. Wzrost tej kategorii jest konsekwencją rosnącego zainteresowania konsumentów produktami o niższej zawartości alkoholu i zdrowszym stylem życia. Drugą pod względem znaczenia kategorią są napoje spirytusowe, w tym przede wszystkim wódka, stanowiąca około 85% całkowitej produkcji alkoholi wysokoprocentowych w kraju. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego, w 2024 roku produkcja spirytusowych napojów gotowych wyniosła około 3,2 mln hektolitrów, co w przeliczeniu na alkohol 100% odpowiada to blisko 0,87 mln hektolitrów czystego spirytusu. W ostatnich latach wolumen wytwarzania w tej grupie utrzymuje się na stabilnym poziomie. W przypadku win gronowych Polska pozostaje producentem niszowym w skali europejskiej, jednak w ostatniej dekadzie obserwuje się dynamiczny wzrost tego sektora. W sezonie 2022/2023 produkcja wina w kraju wyniosła 25,6 tys. hektolitrów, z czego ponad 60% stanowiły wina białe. Jednocześnie rośnie liczba winnic zarejestrowanych w Krajowym Ośrodku Wsparcia Rolnictwa. Na koniec 2024 roku było ich ponad 300, podczas gdy w 2009 roku zaledwie kilka. Istotną pozycję w krajowej strukturze produkcji zajmują również wina owocowe i inne napoje fermentowane, takie jak cydr czy miody pitne. W 2024 roku ich łączna produkcja osiągnęła poziom około 612,9 tys. hektolitrów, co oznacza wzrost o ponad 3,5% w porównaniu z rokiem poprzednim. Segment ten rozwija się dzięki rosnącemu zainteresowaniu lokalnymi, naturalnymi produktami oraz trendowi powrotu do tradycyjnych metod wytwarzania alkoholu.

Struktura produkcji podlega znaczącym zmianom, które są kształtowane przez zmieniające się preferencje konsumentów, regulacje prawne oraz innowacje produktowe. Produkcja napojów alkoholowych w Polsce koncentruje się głównie na wytwarzaniu piwa i wyrobów spirytusowych, które łącznie odpowiadają za zdecydowaną większość krajowego wolumenu. Mimo spadków produkcji w tradycyjnych segmentach, struktura rynku ulega stopniowym zmianą, a coraz większe znaczenie zyskują produkty premium, rzemieślnicze oraz napoje o obniżonej lub zerowej zawartości alkoholu, co odzwierciedla globalne tendencje w kierunku bardziej zrównoważonej konsumpcji.

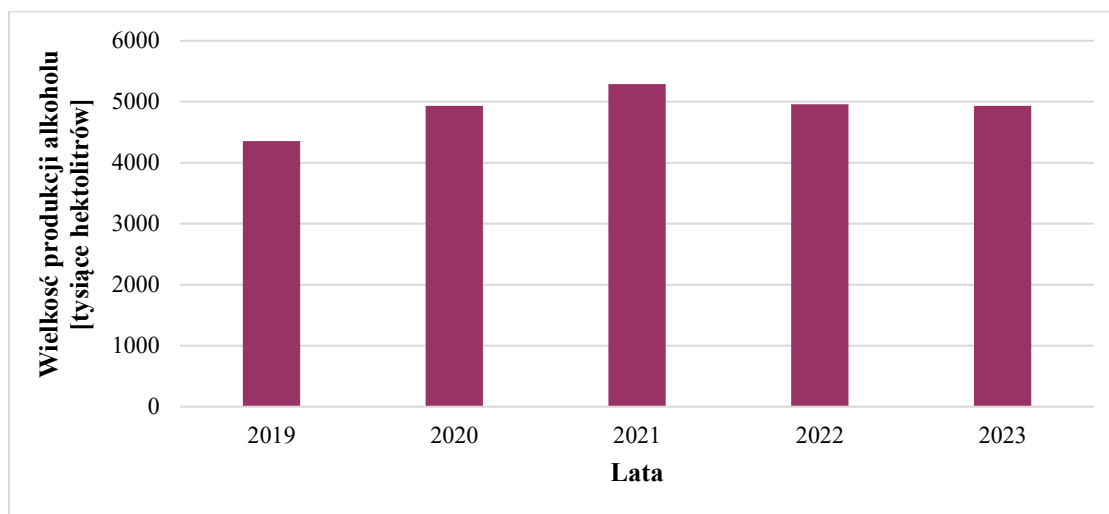
1.1. Analiza produkcji napojów spirytusowych

Według Głównego Urzędu Statystycznego w Polsce (GUS) na przestrzeni lat 2019 – 2023 produkcja napojów spirytusowych wykazywała tendencję spadkową (rys. 1). Wielkość produkcji w tych latach kształtowała się w zmiennych granicach, nie spadła poniżej 800 tys. hektolitrów, ale też nie przekroczyła poziomu 1,2 mln hektolitrów. Wzrost względem roku poprzedniego odnotowano tylko w 2021 roku, wtedy produkcja zwiększyła się o 9,8% i wynosiła 1,1 mln hektolitrów. Natomiast w kolejnych latach obserwowano już tylko spadek produkcji. W 2022 roku wynosiła 1 mln hektolitrów napojów spirytusowych, a w 2023 roku 877 tys. hektolitrów. Zaobserwowany spadek może wynikać ze zmiany preferencji konsumentów, którzy coraz chętniej sięgają po wyroby niskoprocentowe.



Rys. 1. Produkcja napojów spirytusowych w Polsce w latach 2019 – 2023 [GUS, 2023]

Na podstawie dostępnych danych Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi dotyczących produkcji alkoholu etylowego w Polsce w latach 2019 – 2023, zaobserwowano wysoki poziom, przekraczający 4,3 mln hektolitrów rocznie (rys. 2). Najwyższą produkcję odnotowano w 2021 roku, wynosiła 5,3 mln hl. W kolejnych latach nastąpił spadek, w 2022 i 2023 roku wyprodukowano porównywalnie około 4,9 mln hl. Mimo obniżenia względem produkcji w 2021 roku, ogólny trend nie wykazuje tendencji wzrostowej ani spadkowej. Równocześnie zauważalny był wyraźny spadek liczby zakładów produkujących alkohol etylowy. W 2019 roku było ich 66, a do 2023 roku ich liczba spadła do 48. Wpływ na ten spadek mogą mieć zaostrzające się regulacje prawne dotyczące dystrybucji napojów spirytusowych.

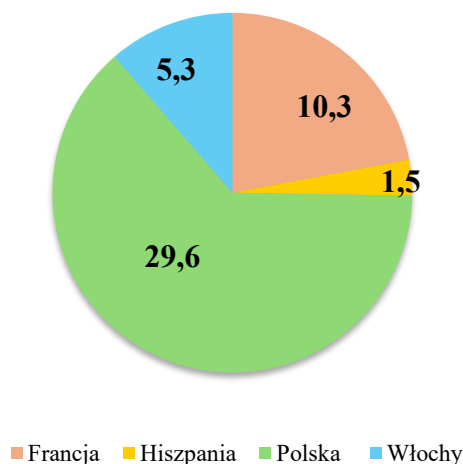


Rys. 2. Produkcja alkoholu etylowego w Polsce w latach 2019 – 2023 [MRiRW, 2024]

Zestawienie tych danych sugeruje, że mimo stabilnej i wysokiej produkcji alkoholu etylowego, jego wykorzystanie w produkcji napojów spirytusowych (wódki) znacznie zmalało. Sugeruje to o zmianach w przemyśle spirytusowym, gdzie produkcja alkoholu etylowego zostaje przeznaczona w większości na inne cele (m.in. dla przemysłu farmaceutycznego, chemicznego) lub na eksport za granicę. Świadczy to, że następuje krajowy spadek popytu na tradycyjne wyroby spirytusowe.

Największa skala produkcji napojów spirytusowych w Polsce jest w województwie lubuskim. W Polsce sprzedaż wódki utrzymuje się na wysokim poziomie, co wynika z działania czynników kulturowych, ekonomicznych oraz marketingowych. W 2023 roku eksport polskich napojów spirytusowych był na poziomie 2,2 mld złotych. Spośród sprzedaży wszystkich wyrobów spirytusowych, największy udział (63%) osiągają napoje spirytusowe (wódki). W ostatnich latach, sprzedaż ich w Polsce była kształtowana, zarówno przez czynniki ekonomiczne, jak i społeczne. Decydujący wpływ na rynek alkoholi w Polsce ma polityka fiskalna państwa. W 2020 roku nastąpił wzrost akcyzy na napoje alkoholowe, co miało istotny przełożenie na ceny detaliczne alkoholi. Wyraźny wpływ na zmiany konsumpcji alkoholu miała również pandemia COVID – 19. W 2020 roku dystrybucja wódki spadła o 0,8% w porównaniu do roku poprzedniego. Z danych GUS na 2023 rok, dotyczących zakupu tego wyrobu alkoholowego wynika, iż na tle innych krajów Unii Europejskiej – Francja, Hiszpania i Włochy, to w Polsce odnotowano najwyższą sprzedaż napojów spirytusowych (29,6%), nawet 5 krotnie

większą, niż we Włoszech (5,3%). Najmniejszy udział w ilości produkcji napojów spirytusowych zarejestrowano w Hiszpanii, wynosiła 1,5% (rys. 3) [GUS, 2023].



Rys. 3. Procentowy udział sprzedaży napojów spirytusowych dla wybranych krajów Unii Europejskiej w 2023 roku [GUS, 2023]

Eksport napojów spirytusowych na rynki zagraniczne w 2023 roku osiągnął wartość około 830 milionów złotych. Największym importerem jest Francja, a na drugim miejscu jest USA. Kluczowymi odbiorcami polskich napojów spirytusowych są również Kanada, Wielka Brytania, Holandia, Węgry, Turcja i Japonia. Polska jest jednym z największych producentów napojów spirytusowych na świecie. Polskie produkty zyskały uznanie na rynku krajowym i międzynarodowym.

W przepisach Unii Europejskiej wódka jest zdefiniowana jako wysoko rektyfikowany napój spirytusowy, tradycyjnie otrzymywany przez destylację sfermentowanych ziaren (żyta, pszenicy, owsa) lub innych surowców rolniczych bogatych w węglowodany, takich jak ziemniaki, buraki cukrowe oraz kukurydzę. Mianem „polskiej wódki” w oparciu o artykuł 37 rozporządzenia 2019/787, określa się etanol rolniczego pochodzenia, który produkowany jest wyłącznie z żyta, pszenicy, jęczmienia, owsa, pszenżyta lub ziemniaków, pochodzących z upraw prowadzonych na terytorium Polski (rys. 4). Wszystkie etapy procesu produkcyjnego tego wyrobu muszą odbywać się w Polsce. Produkt ten może być poddany procesowi leżakowania w celu wzbogacenia jego właściwości smakowo – zapachowych. Minimalna zawartość alkoholu w wódce wynosi 37,5% objętościowych, natomiast górna 55%. Napój spirytusowy typu wódka ma znaczenie, zarówno jako gotowy produkt, ale służy również jako podstawa do wytwarzania innych napojów alkoholowych.

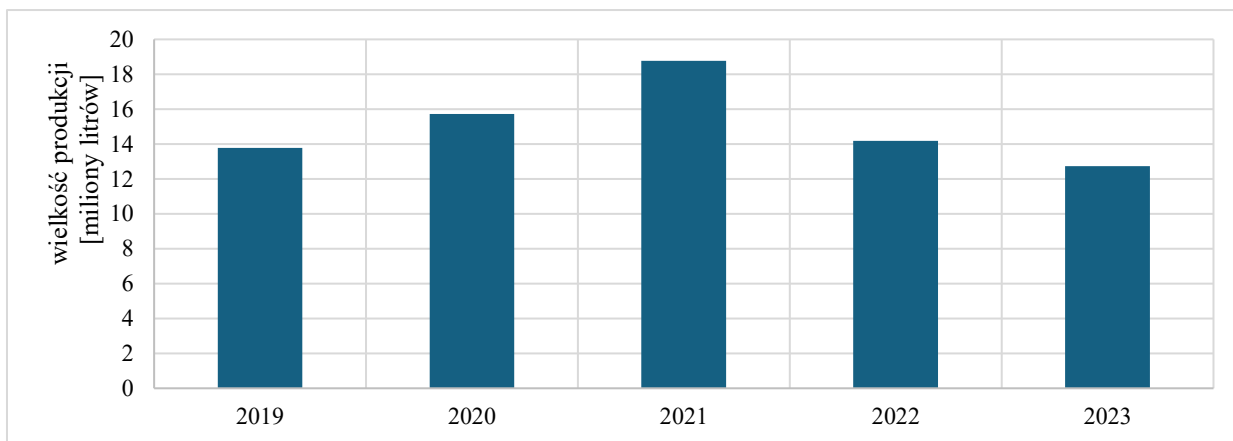


Rys. 4. Główne surowce pochodzenia rolniczego wykorzystywane w produkcji napojów spirytusowych, opracowanie własne według danych [Ciepielowski G., 2025]

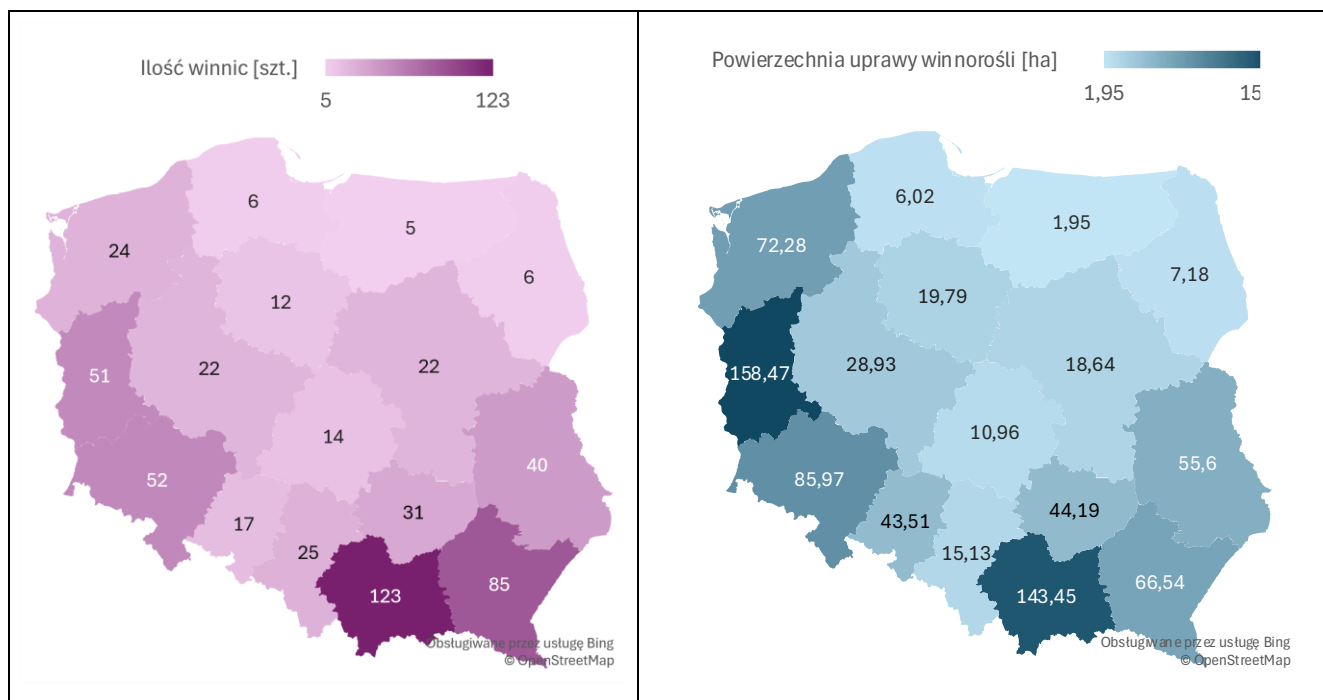
1.2. Analiza produkcji wyrobów winiarskich

Produkcja wina w Polsce w latach 2019–2023 wykazywała zmienność, co może wynikać zarówno z czynników klimatycznych, jak i ekonomicznych (rys. 5) (GUS). W latach (2022/2023) zarejestrowano aż 530 plantatorów winorośli, którzy łącznie uprawiali winorośl na powierzchni 811,64 ha. Łączna masa zebranych winogron wyniosła 3 876 ton, co stanowiło podstawę do produkcji wina na poziomie 2,7 miliona litrów. Liczba producentów wina wynosiła 425, co wskazuje, że większość plantatorów zajmuje się również jego przetwórstwem. Wzrost liczby plantatorów i producentów wina sugeruje także, że polskie winiarstwo zyskuje na znaczeniu zarówno na rynku krajowym, jak i międzynarodowym. Przedstawione dane potwierdzają rosnącą rolę polskiej branży winiarskiej. Dalszy rozwój będzie uzależniony od szeregu czynników, takich jak zmiany klimatyczne, dostępność środków finansowych na inwestycje oraz zainteresowanie konsumentów produktami wysokiej jakości. Szczegółowa analiza pozwala na określenie kierunków rozwoju sektora winiarskiego w Polsce w kolejnych latach, uwzględniając zarówno czynniki sprzyjające, jak i potencjalne bariery ograniczające produkcję wina. Czynniki wpływające na dynamikę produkcji obejmują warunki meteorologiczne, które w poszczególnych latach mogły sprzyjać lub ograniczać plony

winorośli, a także regulacje prawne i wsparcie finansowe dla producentów. Ponadto zmieniające się preferencje konsumentów, poprawa technologii produkcji oraz wzrost popytu na lokalne wina przyczyniają się do dalszego rozwoju tej branży w Polsce.



Rys. 5. Produkcja win w Polsce w latach 2019-2023 (opracowanie własne według danych GUS)



Rys. 6. Ilość winnic i powierzchnia uprawy winorośli w Polsce (opracowanie własne według danych KOWR, 2024)

Rozmieszczenie winnic w Polsce wykazuje istotne zróżnicowanie regionalne (rys. 6). Najwięcej z nich znajduje się w województwach małopolskim (123) i podkarpackim (85), natomiast najmniejszą liczbę winnic odnotowano w województwach warmińsko-mazurskim

(5), podlaskim (6) oraz pomorskim (6). Pod względem powierzchni upraw winorośli dominują województwa lubuskie (158 ha) i małopolskie (143 ha). Z kolei najmniejsze uprawy występują w województwach warmińsko-mazurskim (2 ha), podlaskim (7 ha) oraz pomorskim (6 ha). Analiza tych danych wskazuje na wyraźne skupienie działalności winiarskiej w południowej i zachodniej części kraju, co jest związane z korzystniejszymi warunkami klimatycznymi oraz glebowymi dla uprawy winorośli.

2. Analiza procesów produkcyjnych napojów spirytusowy i wyrobów winiarskich

Przeprowadzono analizę procesów technologicznych wyrobów alkoholowych, obejmującą cały cykl produkcyjny – od dostarczenia surowców do zakładu, aż po uzyskanie gotowego produktu. Analiza ta jest konieczna do określenia udziałów poszczególnych rodzajów emisji dla wybranych wyrobów alkoholowych i wskazanie kierunków optymalizacji technologii (zakres analizy – od wejścia surowców do wyjścia produktu). Zidentyfikowano kluczowe etapy produkcji. Każdy z analizowanych produktów wyrobów alkoholowych posiada specyficzny proces wytwarzania. W roku bieżącym przedmiotem badań była analiza procesów technologicznych stosowanych w produkcji napojów spirytusowych i wyrobów winiarskich. Analiza tych procesów ma fundamentalne znaczenie dla oceny wpływu wybranych technologii produkcji wyrobów alkoholowych w winiarni, destylarni, gorzelnii na środowisko.

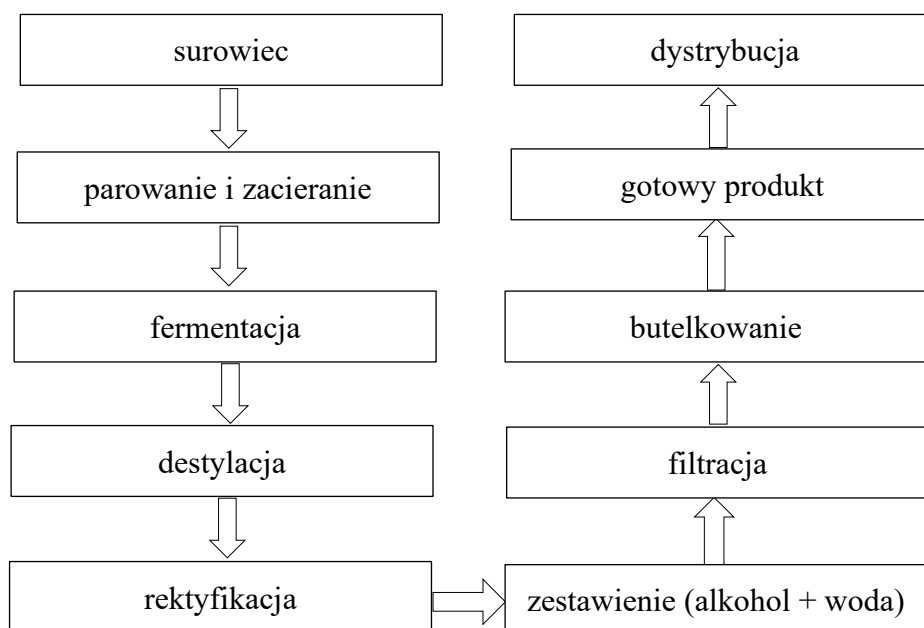
2.1 Analiza technologii produkcji napojów spirytusowych w Polsce

Napoje spirytusowe powstają w wyniku procesu fermentacji surowców rolniczych z wykorzystaniem drożdży. Otrzymany w ten sposób zacier poddawany jest destylacji, która odbywa się w kolumnie destylacyjnej. Podczas tego procesu uzyskuje się neutralny charakter wódki, poprzez oddzielenie frakcji wyższych alkoholi oraz najmniej lotnych estrów oraz ogranicza obecność cech organoleptycznych charakterystycznych dla użytych surowców oraz produktów ubocznych fermentacji. Po tym etapie możliwe jest przeprowadzenie dodatkowej destylacji lub zastosowanie dozwolonych substancji pomocniczych w przetwórstwie, takich jak filtracja przez węgiel aktywny, w celu nadania destylatowi pożądaných właściwości sensorycznych.

Kluczowym aspektem w produkcji napojów spirytusowych jest jakość wykorzystywanych surowców. Istotne znaczenie ma niski poziom zanieczyszczeń mikrobiologicznych tych surowców. Obecność niepożądanych drobnoustrojów może negatywnie wpłynąć na przebieg fermentacji i wydajność końcową etanolu. W początkowym etapie surowce są parowane

w środowisku wodnym w temperaturze powyżej 150°C, w celu przekształcenia zawartej w surowcu skrobi w rozpuszczalne cukry fermentujące. Kolejnym etapem jest zacieranie, w którym masa jest schładzana i poddawana działaniu enzymów amylolitycznych – rozkładających skrobię na cukry proste. Po osiągnięciu temperatury około 32°C dodaje się drożdże i rozpoczyna proces fermentacji. Przeprowadzany jest przy wysokim stężeniu brzezki, co przyczynia się do pozytywnego wpływu na środowisko poprzez ograniczenie zużycia energii oraz wody. Trwa około 72 godziny, podczas których drożdże przekształcają cukry w alkohol etylowy oraz dwutlenek węgla. Otrzymany zacier zawiera od 7% (v/v) do 11% (v/v) alkoholu. Następnie w kolumnach odpędowych prowadzona jest destylacja, która polega na oddzieleniu etanolu od pozostałych składników zacieru. Produktem końcowym jest spirytus surowy – osiągający zawartość alkoholu nawet do 93% (v/v), który kierowany jest do rektyfikacji (wielokrotnej destylacji) w celu pozbycia się zanieczyszczeń wpływających na smak i zapach alkoholu. W ten sposób uzyskuje się spirytus rektyfikowany o czystości nawet 96% (v/v). Po tym etapie następuje łączenie alkoholu z wodą, najczęściej zdemineralizowaną, odgazowaną, sterylną i wysokiej jakości, etap ten umożliwia uzyskanie docelowej mocy alkoholu. Kończącym etapem jest filtracja, prowadzona wielostopniowo z użyciem odpowiednio dobranych materiałów, takich jak węgiel aktywny, węgiel drzewny czy filtry celulozowe. Proces ten nadaje napojowi spirytusowemu klarowność oraz odpowiada za ostateczny charakter organoleptyczny wyrobu. Przygotowany w ten sposób alkohol trafia do rozlewni, gdzie jest butelkowany i odpowiednio oznakowany. Przed dopuszczeniem do obrotu każda partia produktu poddawana jest szczegółowej kontroli jakości. Po pozytywnym przejściu wszystkich procedur kontrolnych, wódka zostaje przeznaczona do dystrybucji.

Każdy z etapów procesów produkcji napojów spirytusowych (rys. 7) odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu jego bezpieczeństwa i wysokiej jakości. Równocześnie konieczne jest ich zoptymalizowanie w kierunku minimalizacji wpływu na środowisko naturalne oraz w trosce o naszą planetę, uwzględniając skalę i konsekwencje tych oddziaływań.



Rys. 7. Schemat procesów jednostkowych w technologii produkcji napojów spirytusowych, opracowanie własne według danych [Pauley M. i in., 2017]

2.2 Analiza technologii produkcji wina w Polsce

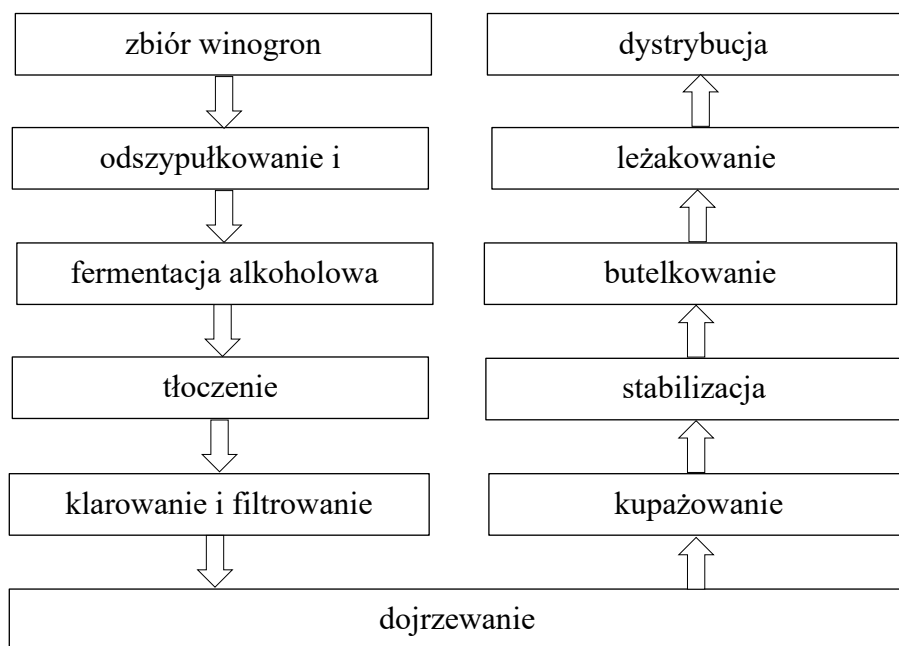
Wino to napój alkoholowy powstający w wyniku fermentacji alkoholowej moszczu winogronowego, podczas którego przekształceniu ulegają cukry zawarte w owocach w alkohol przy udziale drożdży. W wyniku tego procesu specyficzny napój w zależności od rodzaju winogron, metody produkcji i warunków przechowywania. W skład wina wchodzi: woda, alkohol etylowy, cukry (wina wytrawne: minimalna ilość cukru; wina półwytrawne, półsłodkie i słodkie: większa zawartość cukrów), kwasy organiczne (m.in. kwas winowy, jabłkowy, cytrynowy), związki aromatyczne, polifenole, minerały i siarczyny. Ze względu na różne kryteria np. zawartość cukru wyróżniamy: wina wytrawne, półwytrawne, półsłodkie i słodkie; a ze względu na kolor: wina białe, czerwone, różowe.

Produkcja wina to wieloetapowy proces składający się z m.in.: przygotowania surowca, fermentacji, dojrzewania oraz butelkowania. Pierwszym etapem jest zbiór winogron. Owoce zbiera się, gdy osiągną odpowiednią dojrzałość, zwykle we wrześniu lub październiku, w zależności od odmiany i warunków klimatycznych. Zbiór może być przeprowadzony ręcznie (bardziej precyzyjny, stosowany w produkcji wysokiej jakości win) lub mechanicznie (tańszy i szybszy, ale mniej dokładny). Na tym etapie selekcjonuje się winogrona, odrzucając niedojrzałe i chore owoce. Następnym etapem jest odeszypułkowanie i zgniatanie. Oddzielanie

od szypulek jest istotne, aby uniknąć gorzkiego posmaku. Następnie owoce są delikatnie zgniatane w celu uwolnienia soku (moszczu). Nowoczesne technologie pozwalają na kontrolowanie siły miażdżenia, aby nie uszkodzić pestek, które mogłyby nadać winu niepożądany posmak. Do uzyskanej miazgi dodaje się dwutlenek siarki, żeby nie dopuścić do oksydacji i zakażenia. Naturalne drożdże obecne na skórkach winogron mogą rozpocząć fermentację alkoholową, jednak często dodaje się specjalnie wyselekcjonowane szczepy drożdży, aby kontrolować przebieg reakcji. Proces trwa od kilku dni do kilku tygodni, w zależności od rodzaju wina, w temperaturze: 25-30°C dla czerwonego, a 15-20°C dla białego. W przypadku win czerwonych fermentacja odbywa się razem ze skórkami (co nadaje kolor), natomiast dla białych win skórki są usuwane przed fermentacją (dzięki czemu wino jest jaśniejsze i delikatniejsze). Po zakończeniu procesu, moszcz jest tłoczony, aby oddzielić płyn od resztek owoców. Czasami przeprowadza się fermentację malolaktyczną, podczas której bakterie przekształcają kwas jabłkowy w kwas mlekowy, co nadaje winu inny smak i zmniejsza jego kwasowość. W kolejnym etapie wino jest klarowane poprzez dodanie odpowiednich substancji (np. białko jajka, bentonit), które wiążą zawieszone cząstki, powodując ich opadanie na dno. Następnie przechodzi przez filtry, które usuwają drobne zanieczyszczenia. W dalszym kroku jest poddawane procesowi dojrzewania w stalowych zbiornikach lub dębowych beczkach. Beczki dębowe stosowane głównie do czerwonych win i niektórych białych. Drewno nadaje winu dodatkowe aromaty (wanilii, dymu, przypraw) i wpływa na jego strukturę. Czas dojrzewania może trwać od kilku miesięcy do kilku lat, w zależności od rodzaju wina. W przypadku niektórych win białych stosuje się dojrzewanie na osadzie drożdżowym, co dodaje winu kremowej tekstury i złożonych aromatów. Jeśli wino powstaje z kilku odmian winogron, przeprowadza się proces kupażu, czyli mieszania różnych partii wina, aby uzyskać pożądaný smak i aromat. Następnie jest poddawane stabilizacji chemicznie i fizycznie, aby zapobiec późniejszym zmianom smaku i wyglądu w butelce. Najczęściej stosuje się stabilizację na zimno (wino jest schładzane, aby wytrącić kryształy kwasu winowego) lub dodanie siarczynów (siarczyny działają jako konserwanty i chronią wino przed utlenieniem oraz zepsuciem). Potem wino jest nalewane do butelek w warunkach aseptycznych, aby zapobiec kontaminacji i korkowane. Wino może być zamknięte korkiem naturalnym, syntetycznym lub zakrętką. Na butelki nakłada się etykiety informujące o nazwie wina, roczniku, regionie i producencie. Niektóre wina, zwłaszcza czerwone i musujące, wymagają dodatkowego dojrzewania już w butelkach, czyli leżakowania, aby osiągnąć pełnię smaku i aromatu. Może

to trwać od kilku miesięcy do kilku lat. Po zakończeniu całego procesu wino jest degustowane w celu oceny jego jakości. Gotowy produkt trafia następnie do sprzedaży.

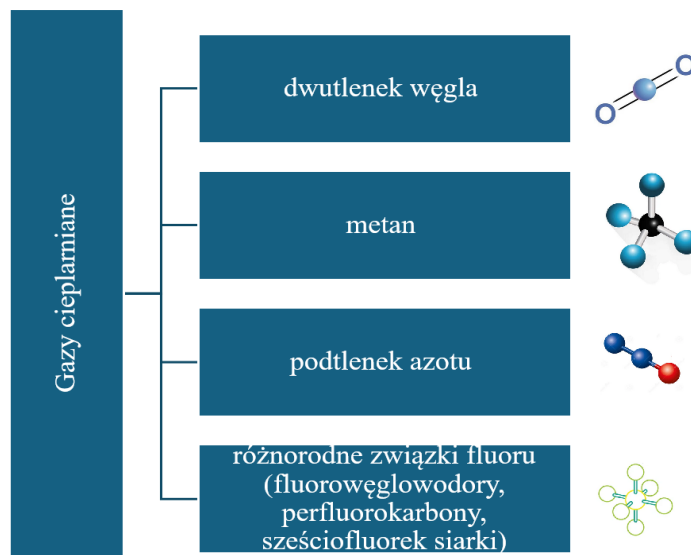
Wszystkie opisane powyżej szczegółowo procesy składające się na cykl produkcyjny wina zostały przedstawione na schemacie (rys. 8) i są niezbędne do zapewnienia bezpiecznego produktu o wysokiej jakości. Jednak, każdy z tych etapów powinien być zoptymalizowany także pod kątem ograniczenia wpływu na środowisko. Osiągnięcie tego celu wymaga uprzedniego zrozumienia wielkości skali i charakteru tych oddziaływań.



Rys. 8. Schemat procesów jednostkowych w technologii produkcji wina, opracowanie własne

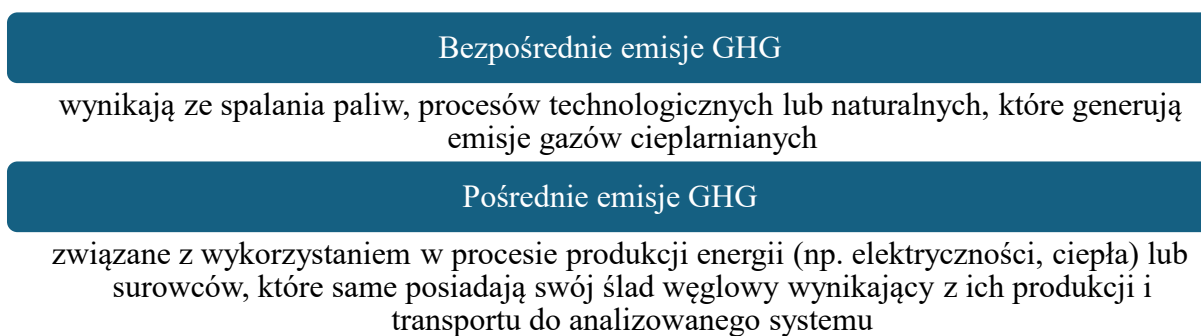
3. Metodyka szacowania śladu węglowego

Wskaźnik śladu węglowego odnosi się do łącznej ilości gazów cieplarnianych (rys. 9), które identyfikuje się i przypisuje do wytworzenia każdego produktu, podczas procesu lub technologii jego produkcji, w całym cyklu życia produktu.



Rys. 9. Rodzaje gazów cieplarnianych emitowanych do atmosfery

Każdy z nich oddziałuje na klimat w innej skali, dlatego ich wpływ porównuje się z efektem wywoływanym przez CO₂, posługując się wskaźnikiem globalnego potencjału ocieplenia (GWP – Global Warming Potential). Parametr ten wskazuje, w jakim stopniu 1 kilogram danego gazu przyczynia się do ocieplenia planety w ciągu 100 lat, odnosząc się do równoważnego wpływu 1 kilograma dwutlenku węgla. Dzięki temu ślad węglowy można wyrażać w ekwiwalencie CO₂, co umożliwia ocenę emisji na poziomie produktów, usług, procesów przemysłowych, całych organizacji, a także działań jednostek. Przy analizie śladu węglowego uwzględnia się dwa główne rodzaje emisji bezpośrednie i pośrednie (rys. 10).



Rys. 10. Rodzaje emisji gazów cieplarnianych (GHG)

W ten sposób ślad węglowy pozwala kompleksowo ocenić wpływ na klimat w różnych obszarach działalności. Wartość CF gazu cieplarnianego podaje się w ekwiwalentnej ilości ($\text{CO}_{2\text{eq}}$), którą oblicza się ze wzoru 1 (rys. 11) z wykorzystaniem danych z rysunku 12. Natomiast ślad węglowy CF produktu, procesu, technologii jest sumą wszystkich emisji bezpośrednich i pośrednich, jakie zostały zidentyfikowane w całym cyklu i zakresie analizy (rys 11. - wzór 2).

Ekwiwalenta ilość ($\text{CO}_{2\text{eq}}$)

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = \text{GHG} \cdot \text{GWP}_{\text{GHG}}$$

gdzie:

$\text{CO}_{2\text{eq}}$ – ekwiwalentna wielkość emisji wyrażona w kg (lub innych jednostkach masy) CO_2 ,

GHG – wielkość emisji danego gazu cieplarnianego wyrażona w kg (lub innych jednostkach masy),

GWP_{GHG} – wartość GWP (*Global Warming Potential*) danego gazu cieplarnianego ($\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kg GHG}$).

Ślad węglowy produktu [$\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kg}$ produktu]

$$\text{CF} = \sum_{i=1}^n (\text{CO}_{2\text{eq}})_i + \sum_{j=1}^m (\text{CO}_{2\text{eq}})_j$$

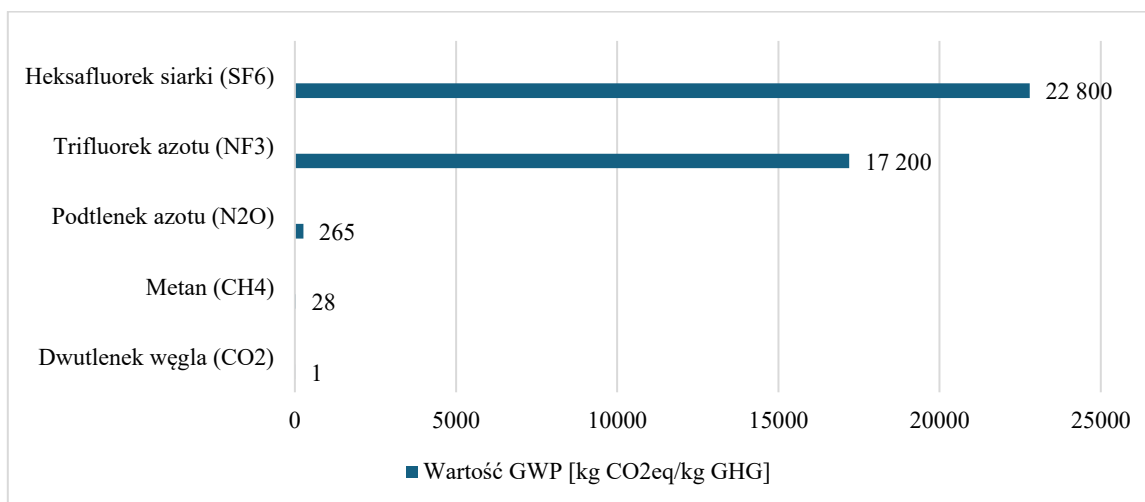
gdzie:

CF – ślad węglowy produktu [$\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kg}$ produktu]

$(\text{CO}_{2\text{eq}})_i$ – wielkość emisji bezpośredniej z i -tego źródła wyrażona w ekwiwalentnej ilości CO_2 [$\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kg}$ produktu],

$(\text{CO}_{2\text{eq}})_j$ – wielkość emisji pośredniej z j -tego źródła wyrażona w ekwiwalentnej ilości CO_2 [$\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kg}$ produktu].

Rys. 11. Zależności pozwalające obliczyć ślad węglowy



Rys. 12. Wskaźnik GWP_{100} wybranych gazów cieplarnianych w horyzoncie 100 lat [PN-69/R-75021], gdzie GWP_{100} - wskaźnik globalnego potencjału ocieplenia

Szczegółowe zasady obliczania i analizowania śladu węglowego zostały ujęte w międzynarodowych normach. Jednym z najważniejszych narzędzi wykorzystywanych w tym celu jest analiza cyklu życia (LCA - Life Cycle Assessment). To metoda stosowana w zarządzaniu środowiskowym, która polega na całościowej ocenie oddziaływania produktu, usługi lub procesu na środowisko, obejmująca wszystkie etapy ich cyklu życia.

W ramach LCA analizuje się zużycie surowców i zasobów na etapie produkcji, przygotowania do produkcji oraz eksploatacji. Zasady tej metodologii zostały opisane w normach ISO 14040 i ISO 14044:2006, które określają strukturę postępowania obejmującą:

- określenie celu i zakresu analizy,
- analizę zbioru danych,
- ocenę wpływu na środowisko.

Badanie cyklu życia pozwala określić, jakie surowce i procesy są wykorzystywane, a także jakie rodzaje emisji towarzyszą poszczególnym etapom. Identyfikowane są przy tym procesy technologiczne wywierające największy wpływ na środowisko oraz kluczowe emisje w całym łańcuchu produkcji. Uzyskane wyniki umożliwiają wskazanie obszarów wymagających optymalizacji, co w konsekwencji pozwala ograniczyć negatywne oddziaływanie na środowisko.



**INSTYTUT BIOTECHNOLOGII
PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO
im. prof. Wacława Dąbrowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**



**ZAKŁAD TECHNOLOGII
I TECHNIKI CHŁODNICTWA**

**Al. Marszałka J. Piłsudskiego 84
92-202 Łódź**

tel. (+48) 42 674 64 14

Kierownik Zakładu

dr hab. inż. Magdalena Wróbel-Jędrzejewska, prof. IBPRS-PIB

magdalena.jedrzejewska@ibprs.pl