

**Antoni Faber<sup>1</sup>, Zuzanna Jarosz<sup>2</sup>**

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy

## **Charakterystyka zrównoważenia rozwoju biogospodarki w Polsce - wymiar ekologiczny**

### **Characteristics of sustainable development of bioeconomy in Poland - ecological dimension**

**Synopsis.** Celem opracowania było określenie, czy istnieją w Polsce możliwości rozwoju zrównoważonej biogospodarki bez narażania się na przekroczenie granic ekologicznych. Do oceny wykorzystano zaproponowane przez Global Footprint Network wskaźniki: biopojemności i śladu gruntowego. Przeprowadzono analizę i ocenę kształtowania się biopojemności i śladu gruntowego oraz wielkości eksploatacji biopojemności w latach 1961-2018. Badane wskaźniki przedstawiono na tle Niemiec i różnych regionów Europy. Na podstawie uzyskanych wyników określono perspektywy rozwojowe silnie zrównoważonej biogospodarki w Polsce. Przeprowadzone badania wykazały, że eksploatacja biopojemności w 2018 r. wynosiła 93% i była bliska gruntowej bariery ekologicznej. Oznacza to, że ekologiczny potencjał zwiększenia produkcji biomasy w Polsce jest mały. Większe możliwości rozwoju biogospodarki z ekologicznego punktu widzenia istnieją w całym regionie Europy Wschodniej i Północnej.

**Słowa kluczowe:** biogospodarka, rozwój zrównoważony, granice ekologiczne, biopojemność, ślad gruntowy

**Abstract.** The aim of the study was to determine whether there are opportunities for the development of a sustainable bioeconomy in Poland without the risk of crossing ecological boundaries. The following indicators, proposed by the Global Footprint Network, were used for the assessment: biocapacity and land footprint. An analysis and assessment of the development of biocapacity and land footprint as well as the intensity of biocapacity exploitation in the years 1961-2018 was carried out. The studied indicators are presented against the background of Germany and various other regions of Europe. On the basis of the obtained results, development prospects for a highly sustainable bioeconomy in Poland were determined. The conducted research showed that the exploitation of biocapacity in 2018 amounted to 93% and was close to the ground ecological barrier. This means that the ecological potential for increasing biomass production in Poland is minor. Greater opportunities for the development of the bioeconomy from an ecological point of view exist throughout the region of Eastern and Northern Europe

**Key words:** bioeconomy, sustainable development, ecological boundaries, biocapacity, land footprint

**JEL Classification:** O13, Q15, Q56, Q57

---

<sup>1</sup> prof. dr hab., Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych IUNG-PIB, ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy, e-mail: faber@iung.pulawy.pl; <https://orcid.org/0000-0002-3055-1968>

<sup>2</sup> dr, Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych IUNG-PIB, ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy, e-mail: zjarosz@iung.pulawy.pl; <https://orcid.org/0000-0002-3428-5804>

Prace wykonano w ramach dotacji celowej nr 3 IUNG-PIB 2023 „Analiza potencjału podaży biomasy na poziomie krajowym i regionalnym”

## **Wprowadzenie**

Zrównoważony rozwój został zdefiniowany w 1987 r. przez Światową Komisję G. Brundtland do spraw Środowiska i Rozwoju. W opublikowanym raporcie „Nasza wspólna przyszłość” zrównoważony rozwój został określony jako taki, w którym potrzeby obecnego pokolenia mają być zaspakajane bez uszczerbku dla możliwości spełnienia potrzeb przyszłych pokoleń (WCED, 1987). Celem koncepcji było zapewnienie wzrostu gospodarczego przy jednoczesnej ochronie równowagi społecznej i środowiskowej (Lozano, 2008). Koncepcja zrównoważonego rozwoju była definiowana i interpretowana na wiele różnych sposobów. Mimo, że przesłanie koncepcji było zrozumiałe, to interpretacje i zdefiniowanie prowadziły do szeregu dyskusji, a tym samym stopniowego rozszerzania zakresu problematyki dotyczącej tej idei.

W ostatnich latach dostrzega się zmianę postrzegania rozwoju społeczno-gospodarczego. Rosnąca populacja ludności i konieczność zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego, zrównoważona konsumpcja i produkcja, zachodzące zmiany klimatu oraz presja na ochronę środowiska to wyzwania, które skłaniają do wprowadzania nowych koncepcji i form zrównoważonego rozwoju. Wśród tych koncepcji jest idea biogospodarki.

Biogospodarka jest wiązana intencjonalnie z międzynarodowym programem na rzecz zrównoważonego rozwoju. Zgodnie z deklaracją z Rio w sprawie środowiska i rozwoju, zrównoważony rozwój powinien zaspakajać potrzeby obecnego pokolenia bez uszczerbku dla możliwości zaspokajania potrzeb przyszłych pokoleń (ONZ, 1992). Definicja ta miała charakter aspiracyjny. Zmieniła ten fakt Agenda ONZ 2030 z listą 17 Celów Zrównoważonego Rozwoju (SDG) (UN SDSN, 2015), które stanowią globalne działanie normatywne dążące do osiągnięcia sprawiedliwego, inkluzywnego, prosperującego wzrostu w granicach naszej planety (Costanza i in., 2016). Deklaratywnie, biogospodarka powinna znacząco przyczynić się zwłaszcza do realizacji SDG 2 (Zero głodu), SDG 12 (Zrównoważona konsumpcja i produkcja) oraz SDG 13 (Działania na rzecz klimatu) (Giuntoli i in., 2020).

Badania i analizy status quo i perspektyw rozwoju biogospodarki doprowadziły do wniosku, iż biogospodarka typowo wiąże się ze słabym zrównoważeniem i opowiada się za wysoką substytucyjnością kapitału naturalnego (naturalnych zasobów) do kapitału antropogenicznego (postępu technologicznego w pozyskiwaniu zasobów) (Loiseau i in., 2016). Także z innych prac wynika, że biogospodarka sama w sobie nie może być uznana za zrównoważoną (Székács, 2017). Niekiedy uważa się, że biogospodarka, gospodarka cyrkulacyjna oraz rozwój zrównoważony to trzy różne, ale pokrywające się trendy w łagodzeniu antropogenicznych wpływów na środowisko (De Oliviera i in., 2018). To w oczywisty sposób mogłoby się przyczynić do problemów w realizacji celów zrównoważonego rozwoju, w tym zwłaszcza celów ekologicznych i wiele strategicznych założeń leżących u podstaw strategii rozwoju biogospodarki musiałoby ulec pewnym rewizjom. Przed ich dokonaniem warto rozważyć jednak rozwój biogospodarki według kryteriów silnego zrównoważenia.

W obliczu poważnych zagrożeń i wyzwań (rosnąca liczba ludności, zmiana klimatu i degradacja gleby) opracowanie stanowi istotny wkład w badania dotyczące silnego zrównoważenia biogospodarki, która odgrywa znaczącą rolę w dążeniu do osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju. Celem opracowania było określenie czy istnieją w Polsce możliwości rozwoju zrównoważonej biogospodarki bez narażania się na przekroczenie granic ekologicznych. Ponieważ rozwój biogospodarki wiąże się z zaspokajaniem popytu

i podaży na biosurowce, aby przedstawić jej zrównoważony rozwój wykorzystano zaproponowane przez Global Footprint Network wskaźniki: biopojemności i śladu gruntowego. Tak postawione zdanie badawcze znalazło odzwierciedlenie w konstrukcji pracy. W przeglądzie literatury zaprezentowano istotę słabego i silnego zrównoważenia rozwoju i znaczenie biogospodarki oraz charakterystykę metody badawczej wraz ze źródłem danych. Następnie przeprowadzono analizę i ocenę uzyskanych wyników co pozwoliło wskazać możliwości rozwoju silnie zrównoważonej biogospodarki w Polsce. Badane wskaźniki przedstawiono na tle Niemiec i różnych regionów Europy.

## **Przegląd literatury**

Na przestrzeni lat debatę nad zrównoważonym rozwojem zdominowały dwa konkurujące ze sobą podejścia, silnego i słabego zrównoważenia. Większość uczonych zgadza się z podziałem kapitału na naturalny, rzeczowy (wytworzony), ludzki i społeczny (Deng, 2007; Ekins i in., 2008). Każdy z nich pełni swoje funkcje w formowaniu poglądu na społeczno-środowiskowe otoczenie, a zrozumienie relacji między nimi ma istotny wpływ na sposób interpretacji i oceny zrównoważonego rozwoju.

Słabe zrównoważenie opiera się na ekonomii dobrobytu i jest interpretowane jako zasada wzrostu gospodarczego na przestrzeni jednego lub kilku pokoleń (Hartwick, 1990; Solow, 1993). Podstawą tego podejścia było założenie, że kapitał naturalny i kapitał wytworzony są doskonale zastępowalne, a do ochrony środowiska niezbędny jest wzrost gospodarczy, przy którym innowacje technologiczne rozwiążą wszystkie problemy środowiskowe (Loiseau i in., 2016; Liobikiene i in., 2019). Tym samym kapitał wytworzony stał się ważniejszy od kapitału naturalnego (Davies, 2013). Według zasady słabego zrównoważenia konieczne jest aby całkowita ilość kapitału była zachowana bez zwracania uwagi na jego strukturę (Wilson i Wu, 2017). Stwierdza się także, że kapitał naturalny nie jest ograniczony barierami środowiskowymi, a jego degradacja jest odwracalna (Pelenc i Ballet, 2015). Taka orientacja jest charakterystyczna dla antropocentrycznego pojmowania zrównoważonego rozwoju.

Silne zrównoważenie to skoncentrowany na środowisku pogląd, który podkreśla znaczenie i niezastąpioną rolę kapitału naturalnego w produkcji i konsumpcji. Koncepcja silnego zrównoważenia zasadza się na ekocentryzmie, przyjmując, że substytucyjność zasobów naturalnych jest ograniczona (Lorek i Spangenberg, 2014). Oznacza to, że pewne działania człowieka mogą pociągać za sobą nieodwracalne konsekwencje, a ochrona środowiska jest niezbędna dla wzrostu gospodarczego (Mancebo, 2013). Zasada silnego zrównoważenia wymaga zwiększenia ogólnej ilości kapitału oraz zachowania racjonalnej struktury kapitału i nieprzekraczania progów ekologicznych (Liobikiene i in., 2019; Rockström i in., 2009).

Wybór między słabą a silną zasadą zrównoważonego rozwoju jest trudny. Skrajne stanowiska rzadko znajdują możliwość praktycznego zastosowania w czystej postaci. Racjonalny wybór leży w przestrzeni między słabym i silnym zrównoważeniem.

Biogospodarka, zrównoważona i cyrkulacyjna (Brenne, 2022; Holden, 2022), ma odegrać wielką rolę w transformacji systemu ekonomicznego, przyczyniając się do dekarbonizacji gospodarek oraz zmniejszenia niedoborów surowców nieodnawialnych. W UE biogospodarka postrzegana jest jako główny element w realizacji Europejskiego Zielonego Ładu oraz różnorodności regionalnej. Aby mogła się do tego przyczynić, należy

zadbać o jej zrównoważony rozwój (Brenne, 2022). Zrównoważenie rozwoju biogospodarki zostało omówione dość kompleksowo (D'Amato, 2019; D'Amato, 2020; Giuntoli i in., 2020; Koukios i in., 2018; Liobikiene i in., 2019; Loiseau i in., 2016; Ramcilovic-Suominen i Pülzl, 2018).

Żywe zainteresowanie biogospodarką zaowocowało opracowaniem licznych definicji tego pojęcia. Problemem jest zakres tego pojęcia, które jest uzależnione od przyjętego podejścia: zasobowego (produkcja bazująca na zasobach biologicznych), czy procesowego (wykorzystanie biotechnologii). Poszczególne definicje akcentują różne aspekty i priorytety technologiczno-ekonomiczne czy społeczne i nawiązują do różnych uwarunkowań i koncepcji rozwojowych (Adamowicz, 2017).

Jedną z istotnych definicji przedstawiła Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) według której, biogospodarka to działalność polegająca na zastosowaniu biotechnologii, bioprosesów i bioproduktów w celu wytworzenia określonych dóbr i usług (OECD, 2009). Podejście zorientowane na biotechnologię znalazło także wyraz w przyjętej przez Komisję Europejską strategii „Innowacje na rzecz zrównoważonego wzrostu: biogospodarka dla Europy” (EC, 2012). Badania naukowe koncentrowały się na technologiczno- produkcyjnych aspektach biogospodarki (Maina i in. 2017; Pellis i in. 2018; Scheiterle i in., 2018). Jednak Gołębiewski i in. (2015) zauważyli, że podejście zorientowane na biotechnologię i wspieranie rozwoju działalności gospodarczej związanej z biozasobami nie wystarcza do realizacji strategii biogospodarki na rzecz zrównoważonego rozwoju. W literaturze autorzy (Cristoból i in., 2016; Juerges i Hansjürgens, 2018; Scarlat i in., 2015) stwierdzają, że podstawową zasadą zrównoważonej biogospodarki jest zrównoważone wykorzystanie biozasobów. Zdaniem Ott (2003) i Liu (2009) w dążeniu do wzrostu gospodarczego i dobrobytu przy realizacji strategii biogospodarki, koniecznym jest aby biozasoby (potencjał biomasy) nie zostały wyczerpane. Ponadto oceniając potencjał biomasy, należy wziąć pod uwagę ograniczenia ekologiczne i granice planetarne. Takie podejście będzie zgodne z silnym zrównoważeniem rozwoju. Badań w tym zakresie w ostatnim czasie przybywa (Brizga i in., 2019; Bruckner i in., 2019; Egenolf i Bringezu, 2019; Hubacek, Feng, 2016; Liobikiene i in., 2019; Liobikiene i in., 2020; O'Brien i in., 2015).

Skorelowanie pojęcia zrównoważonego rozwoju z biogospodarką i jej silnym zrównoważeniem skłoniło do wdrażania wskaźników, które umożliwiają określenie dostępnych ilości zasobów biologicznych, ich rozmieszczenie przestrzenne i dostępność w czasie w celu zrównoważonego i efektywnego wykorzystania zasobów bez przekraczania granic ekologicznych środowiska.

Większość badań nad wskaźnikami oceny biogospodarki w wymiarze ekologicznym opierała się na słabym podejściu do zrównoważonego rozwoju, w którym uwzględniono jedynie wpływ wdrażania biogospodarki na środowisko (Budziński i in. 2017; Cristóbal i in., 2016) oraz zużycie i potencjał biomasy (Scarlat i in., 2015; Woźniak i Twardowski, 2018).

Istotą twardego zrównoważenia jest dążenie, aby nie dopuścić do przekroczenia granic planetarnych lub progów ekologicznych, co w następstwie przyniosłoby dalszą degradację biosfery (Rockström i in., 2009). Do opisu twardego rozwoju biogospodarki próbuje się stosować pojęcia biopojemności i śladów, np. gruntowego, azotowego, fosforowego, czy wodnego (Bruckner i in., 2019; Egenolf i Bringezu, 2019; O'Brien i in., 2015). Biopojemność definiowana jest jako zdolność ekosystemów do: produkcji surowców biologicznych, świadczenia usług środowiskowych, ochrony klimatu oraz absorbowania odpadów, przy obecnych systemach gospodarowania i aktualnym poziomie technologii przetwarzania biosurowców (Global Footprint Network, 2023; Wackernagel i in., 2015). Natomiast pod

pojęciem śladu gruntowego rozumie się presję człowieka na środowisko, mierzoną ilością ziemi niezbędnej do zaspokojenia potrzeb żywnościowych, surowcowych oraz zapotrzebowania na energię (Arto i in., 2012; Bruckner i in., 2019; Global Footprint Network, 2023; O'Brien i in., 2015). Pojęcia biopojemności i śladu są zdefiniowane globalnie, ale mogą być transponowane do skali regionalnej czy poszczególnych krajów. W takim przypadku wskazują, czy przekroczone zostały progi ekologiczne. Oba wskaźniki wyrażane są w hektarach globalnych. Te ważone produktywnością biologicznie produktywne hektary umożliwiają badaczom przedstawienie zarówno biopojemności Ziemi lub regionu, jak i zapotrzebowania na biopojemność (ślad ekologiczny). Hektar globalny to hektar biologicznie produktywny o średniej światowej produktywności biologicznej dla danego roku (Global Footprint Network, 2023). Hektary globalne są przydatne, ponieważ różne rodzaje gruntów mają różną produktywność. Na przykład globalny hektar pól uprawnych zajmowałby mniejszy obszar fizyczny niż znacznie mniej produktywne biologicznie pastwiska, ponieważ do zapewnienia takiej samej zdolności biologicznej jak jeden hektar pól uprawnych potrzeba więcej pastwisk. Ponieważ produktywność świata zmienia się nieznacznie z roku na rok, wartość globalnego hektara również może się nieznacznie zmieniać w poszczególnych latach.

Porównanie biopojemności ze śladem gruntowym pozwala ocenić przestrzeganie przez ludzkość zasad trwale zrównoważonego rozwoju. Ponadto, takie porównanie pomaga określić najbardziej odpowiednie interwencje polityczne dla stworzenia biogospodarki, która respektuje wszystkie środowiskowe ograniczenia i jest zrównoważona pod względem społecznym i ekonomicznym. Biopojemność powinna być zawsze większa od śladu gruntowego, jeśli ma nie dochodzić do wyczerpywania biozasobów, nadmiernego obciążenia środowiska, a nawet jego degradacji. Im różnica pomiędzy tymi wartościami jest większa, tym lepsze jest zrównoważenie ekologiczne. Jeśli biopojemność jest zbliżona do śladu, to rozwój jest słabo zrównoważony, co oznacza, że produkcja nie powinna być intensyfikowana. Najgorszą z możliwych sytuacji jest, gdy biopojemność jest mniejsza od śladu. Oznacza to, że w skali globalnej przekroczona została granica planetarna, co zagraża integralności biosystemów, ekosystemów i pogarsza generalne i szczegółowe perspektywy rozwojowe (Nykvist i in., 2013; O'Brien i in., 2015). Innymi słowy, im większa eksploatacja biopojemności czyli stosunek śladu gruntowego do biopojemności, tym mniej zrównoważony rozwój. Eksploatacja biopojemności pokazuje, jak wielkie są możliwości zwiększenia śladu gruntowego bez narażenia się na przekroczenie granic ekologicznych.

Koncepcja silnego zrównoważenia zmierza więc w kierunku zrozumienia planetarnych granic oraz progów ekologicznych rozwoju biogospodarki (Costanza i in., 2016; Liobikiene i in., 2019; Liobikiene i in., 2020; Rockström i in., 2009), co zapisane zostało jako jeden z trzech obszarów działań w znowelizowanej unijnej strategii biogospodarki (Brenne, 2022; EC, 2022; EU, 2018). Zidentyfikowano dziewięć "planetarnych systemów podtrzymywania życia", które regulują stabilność i odporność systemu ziemskiego, a zatem są uważane za kluczowe dla przetrwania człowieka, określane jako "granice planetarne" (Rockström i in., 2009; Rockström i in., 2018; Steffen i in., 2015). Dziewięć granic planetarnych to: zmiana klimatu, zmiana integralności biosfery (napędzana przez utratę różnorodności biologicznej), zubożenie ozonu w stratosferze, zakwaszenie oceanów, przepływy biogeochemiczne (zakłócenia w cyklach fosforu i azotu), zmiany systemu lądowego, wykorzystanie wody słodkiej, obciążenie aerozolem atmosferycznym oraz wprowadzenie nowych związków mogących zakłócać biofizyczne funkcjonowanie ekosystemów (np. pierwiastki radioaktywne) (EEA, 2020). Granice planetarne proponują ostrożnościowe granice

ilościowe, określane jako limity, w ramach których ludzkość może nadal się rozwijać i kwitnąć, określane również jako "bezpieczna przestrzeń operacyjna". Sugerują one, że ich przekroczenie zwiększa ryzyko wywołania gwałtownych lub nieodwracalnych zmian środowiskowych na dużą skalę, które mogłyby zmienić system ziemski w sposób szkodliwy lub katastrofalny dla rozwoju ludzkości.

## Dane i metody

W badaniach wykorzystano obliczone dla Polski biopojemności i ślady gruntowe za lata 1961-2018, pochodzące z bazy danych Global Footprint Network (Global Footprint Network, 2023). Ślad gruntowy uwzględniał grunty: zurbanizowane, orne, pod lasami, wodami oraz użytkami zielonymi (Global Footprint Network, 2023). Oba wskaźniki były wyrażone w hektarach globalnych i znormalizowane per capita. Dzięki temu dane dla Polski są porównywalne z danymi dla innych regionów lub krajów, co umożliwiło szerszą dyskusję uzyskanych wyników. W śladzie gruntowym nie uwzględniono śladu węgla (emisji gazów cieplarnianych), który zwiększałby ślad gruntowy niemal dwukrotnie. W wykorzystanej bazie danych nie ma danych na temat wielkości emisji gazów cieplarnianych. Dane te można pozyskać z baz Eurostatu i FAO. Uznano jednak, że włączenie danych emisyjnych łamać będzie przyjęty europejski standard metodyczny, jeśli na podstawie własnej wiedzy i inwencji włączymy te dane do analiz. Mimo bardzo licznych publikacji na temat emisji gazów cieplarnianych (GHG) nadal trudno wybrać dobry i akceptowalny powszechnie standard liczenia śladu emisji GHG. Analizy śladu emisyjnego są odrębnym zagadnieniem, które nie będzie rozpatrywane w przedstawionej publikacji.

Trendy liniowe badanych zmiennych policzono dla okresu przed transformacją ustrojową (1961-89) oraz okresu późniejszego (1990-2018). Wyjątkiem był trend biopojemności, który nie różnicował się w badanych okresach.

Eksploatację biopojemności obliczono jako stosunek śladu gruntowego do biopojemności i wyrażono w %.

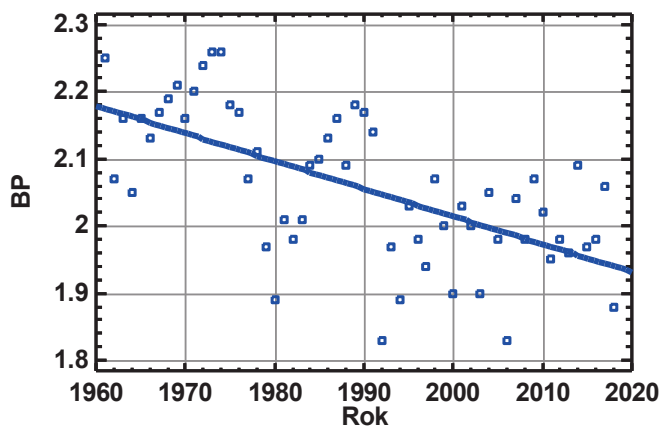
Plony czterech podstawowych zbóż oraz stosowane dawki N i P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na ha UR (użytków rolnych) pozyskano z bazy FAOstat<sup>3</sup> (FAOstat, 2023).

## Wyniki badań

Biopojemność (BP) nie była wartością stałą i malała w całym badanym okresie (rys. 1). Wyszacowane z trendu wartości tego wskaźnika w 1961 i 1989 r. wynosiły odpowiednio 2,17 i 2,06 ha globalnego per capita<sup>-1</sup>. W 2018 r. BP zmalała do 1,94 ha globalnego per capita<sup>-1</sup>. Spadek w stosunku do 1961 r. wynosił 11%. Omawiane wyniki pochodzą z istotnego statystycznie, ale dość słabego trendu liniowego ( $r^2=39,6\%$ ).

---

<sup>3</sup> Baza Danych Statystycznych Organizacji Wyżywienia i Rolnictwa, udostępnia dane statystyczne gromadzone i utrzymywane przez Organizację Wyżywienia i Rolnictwa.

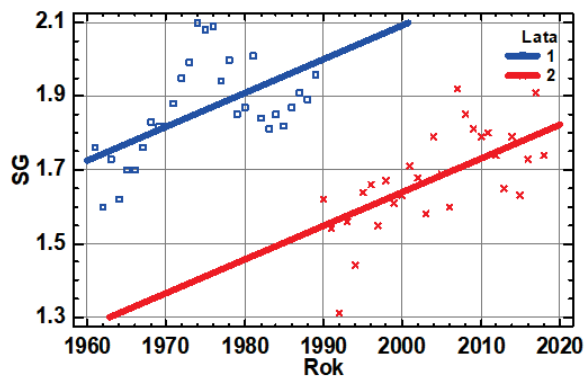


Rys. 1. Trend czasowy biopojemności (BP) wyrażonej w ha globalnych per capita<sup>-1</sup> ( $BP=10.2 -0.00412 \cdot Rok$ ,  $r^2=39,6\%$ )

Fig. 1. Time trend of biocapacity (BP) expressed in global ha per capita<sup>-1</sup> ( $BP=10.2 -0.00412 \cdot Year$ ,  $r^2 =39,6\%$ )

Źródło: opracowanie własne na podstawie Global Footprint Network, 2023.

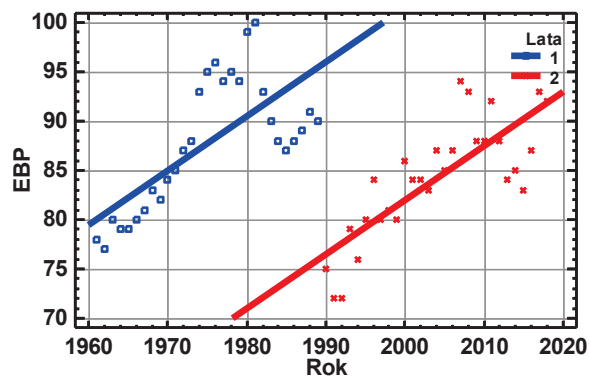
Trend czasowy śladu gruntowego (SG) nie był monotoniczny. Opisano go więc jako trendy liniowe dla dwóch badanych okresów. Współczynniki obu regresji nie różniły się istotnie, a linie trendów były przesunięte o wartość wyrazu wolnego (rys. 2). Ślady gruntowe rosły wolniej o wartość 0,45 ha globalnego per capita<sup>-1</sup> w okresie 1990-2018 niż w okresie 1961-1989. Z przeprowadzonej analizy wynika, że w obu okresach badań ślad gruntowy rósł o wartość 0,00918 ha globalnego per capita<sup>-1</sup> r<sup>-1</sup>.



Rys. 2. Trendy czasowe śladu gruntowego (SG) wyrażone w globalnych hektarach per capita<sup>-1</sup> (1 – lata 1961-1989, 2 – lata 1990-2018), (1 –  $SG = -16.3 + 0.00918 * Rok$ ; 2 –  $SG = -16.7 + 0.00918$ )

Fig. 2. Time trends of the ground footprint (SG) expressed in global hectares per capita<sup>-1</sup> (1 – years 1961-1989, 2 - years 1990-2018), (1 –  $SG = -16.3 + 0.00918 * Year$ ; 2 –  $SG = -16.7 + 0.00918$ )

Źródło: jak rys. 1.



Rys. 3. Trendy czasowe eksploatacji biodostępności (EBP) wyrażone w % (1 – lata 1961-1989, 2 – lata 1990-2018), (1 –  $EBP = -999 + 0.550 * Rok$ ; 2 –  $EBP = 1018 + 0.550$ ;  $r^2 = 57.8\%$ )

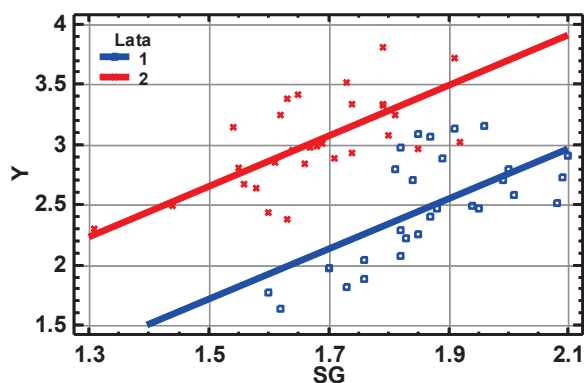
Fig. 3. Bioavailability (EBP) exploitation time trends expressed in % (1 – years 1961-1989, 2 – years 1990-2018), (1 –  $EBP = -999 + 0.550 * Year$ ; 2 –  $EBP = 1018 + 0.550$ ;  $r^2 = 57.8\%$ )

Źródło: jak rys. 1.



Eksploatację biopojemności (EBP) opisywały dwie regresje liniowe. Dla badanych okresów miały one nieistotnie różny współczynnik regresji, który wskazywał, że EBP rosło o 0,550 ha globalnego per capita<sup>-1</sup> r<sup>-1</sup>. Regresje charakteryzowały się natomiast istotnie różniącymi się wyrazami wolnymi. Sugerują one, że EBP rosło wolniej w okresie 1990-2018 o 19,5% w stosunku do lat 1961-2018 (rys. 3). Jednakże w końcowych latach porównywanych okresów, 1989 r. oraz 2018 r., EBP wynosiły odpowiednio 95,5 oraz 91,9%. Leżały więc one blisko progu ekologicznego, co wskazuje na wyczerpywanie się możliwości intensyfikacji produkcji w Polsce.

W szacunkach BP, SG i EBP uwzględnione są produktywności. Poszukiwanie związków pomiędzy tymi wartościami a wielkością plonów nie ma więc sensu ze statystycznego punktu widzenia. Jednakże może unaocznic z jakim postępem mieliśmy do czynienia w analizowanych okresach. W tym jedynie celu przedstawiono regresje pomiędzy plonem czterech podstawowych zbóż a śladem gruntowym. Z przeprowadzonych szacunków wynikało, że plony w okresie 1989-2018 wzrosły o 0,94 t ha<sup>-1</sup> w stosunku do okresu 1961-1989 (rys. 4).



Rys. 4. Zależność pomiędzy plonem czterech podstawowych zbóż (t ha<sup>-1</sup>) a śladem gruntowym (globalne ha per capita<sup>-1</sup>), (1 – lata 1961-1989, 2 – lata 1990-2018), (1 –  $Y = -1,48 + 2,09 * SG$ ; 2 –  $Y = -0,48 + 0,09 * SG$ ;  $r^2 = 59,9\%$ )

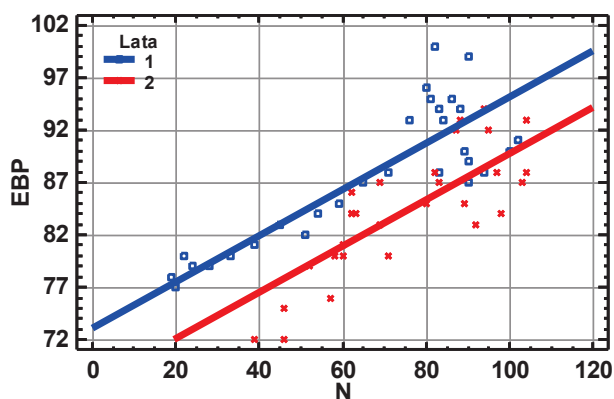
Fig. 4. The relationship between the yield of the four basic cereals (t ha<sup>-1</sup>) and the land footprint (global ha per capita<sup>-1</sup>), (1 – years 1961-1989, 2 – years 1990-2018), (1 –  $Y = -1.48 + 2.09 * SG$ ; 2 –  $Y = -0.48 + 0.09 * SG$ ;  $r^2 = 59.9\%$ )

Źródło: jak rys. 1.

Odnotowany wzrost produktywności spowodowany był w części wzrostem nawożenia. W kontekście tego opracowania interesującym jest to, jak kształtowały się zależności pomiędzy EBP a nawożeniem azotem (N) i fosforem (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Te dwa składniki budzą zainteresowanie, ponieważ ich ślad w Europie przekracza 3-krotnie dla N oraz 2-krotnie dla P granice ekologiczne.

W analizowanych w tym opracowaniu okresach stwierdzono, że EBP rosło o tę samą wartość, wynoszącą 0,221% kg<sup>-1</sup> N. Wzrost w okresie 1990-2018 był o 5% mniejszy

w stosunku do lat 1961-1989 (rys. 5). Eksploatacja biopojemności przy maksymalnych dawkach N wynoszących 102 i 104 kg ha<sup>-1</sup> w latach 1989 i 2018 osiągała odpowiednio wartości 95,6 i 90,6%, co sugeruje, że wyczerpuje się możliwość intensyfikacji nawożenia pod rygorem przekroczenia granicy ekologicznej.



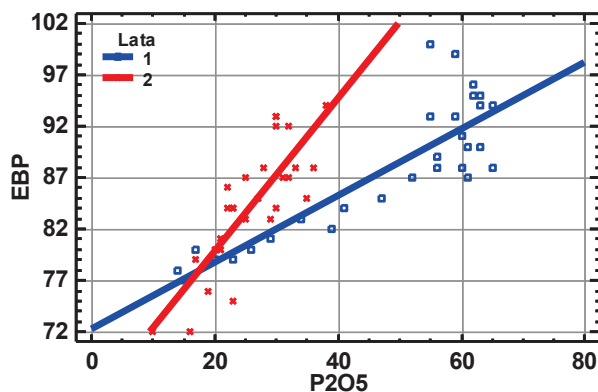
Rys. 5. Zależność pomiędzy eksploatacją biopojemności (ha globalne per capita<sup>-1</sup>) a nawożeniem azotem (kg N ha<sup>-1</sup>) (1 – lata 1961-1989, 2 – lata 1990-2018), (1 – EBP=73,0+0,221\*N; 2 – EBP=67,6+0,22\*N; r<sup>2</sup>=69,7%)

Fig. 5. Relationship between exploitation of biocapacity (global ha per capita<sup>-1</sup>) and nitrogen fertilization (kg N ha<sup>-1</sup>) (1 – years 1961-1989, 2 – years 1990-2018), (1 – EBP=73.0+0.221\*N; 2 – EBP=67.6+0.22\*N; r<sup>2</sup>=69.7%)

Źródło: jak rys. 1.

Inną w porównaniu z N zależność otrzymano dla P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (rys. 6). Dawki w pierwszym okresie badań wahały się w granicach od 14 do 65 kg ha<sup>-1</sup>, w drugim zaś mieściły się w przedziale od 10 do 38 kg ha<sup>-1</sup>. Eksploatacja BP dla dawek maksymalnych w obu okresach była jednakowa i wynosiła 93,3%. Wynikało to głównie z faktu, że współczynnik regresji w drugim okresie był ponad dwukrotnie większy niż w pierwszym. Trudno tę specyfikę wyjaśnić.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że biopojemność w Polsce malała liniowo w latach 1961-2018, aż o 10% (rys. 1). Wynik ten był w sprzeczności z definicją tego wskaźnika, zgodnie z którą powinien on być względnie stabilny (Global Footprint Network, 2023). Porównawcza analiza trendu czasowego dla Niemiec wykazała, że biopojemność wzrosła tam o 18% w stosunku do roku 1961 (Global Footprint Network, 2023). Wydaje się więc, że nie można przyjąć, iż wartość tego wskaźnika jest stabilna w czasie.



Rys. 6. Zależność pomiędzy eksploatacją biopojemności (ha globalne per capita<sup>-1</sup>) a nawożeniem fosforem (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) (1 – lata 1961-1989, 2 – lata 1990-2018), (1 – EBP=72,3+0,325\* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 2 – EBP=65,0+0,745\* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; r<sup>2</sup>=73,6%)

Fig. 6. The relationship between the operation of biocapacity (ha global per capita<sup>-1</sup>) and phosphorus fertilization (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) (1 – years 1961-1989, 2 – years 1990-2018), (1 – EBP=72.3+0.325\* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 2 – EBP=65.0+0.745\*P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; r<sup>2</sup>=73.6%)

Źródło: jak rys. 1.

W ocenie wielkości biopojemności w Polsce istotnym jest jej odniesienie do wartości tego wskaźnika w sąsiednich Niemczech i różnych rejonach Europy (tab. 1). Z porównania wynika, że mamy biopojemność nieco większą, niż w Niemczech i Europie Zachodniej, ale znacznie mniejszą niż w całym regionie Europy Wschodniej oraz Europy Północnej. W tych ostatnich regionach istnieją najlepsze warunki rozwoju biogospodarki z ekologicznego punktu widzenia.

Tabela 1. Biopojemność i ślad gruntowy (ha globalne per capita<sup>-1</sup>) w Polsce, Niemczech oraz rejonach Europy w 2018 r.

Table 1. Biocapacity and ground trail (ha global per capita<sup>-1</sup>) in Poland, Germany, and European regions in 2018

| Kraj/region       | Biopojemność | Ślad gruntowy | Eksploatacja biopojemności |
|-------------------|--------------|---------------|----------------------------|
| Polska            | 1,88         | 1,74          | 93                         |
| Niemcy            | 1,49         | 1,63          | 109                        |
| Europa Wschodnia  | 5,09         | 1,76          | 35                         |
| Europa Północna   | 3,25         | 2,09          | 64                         |
| Europa Południowa | 1,27         | 1,77          | 139                        |
| Europa Zachodnia  | 1,72         | 1,81          | 105                        |
| Europa            | 2,99         | 1,83          | 61                         |
| Świat             | 1,58         | 1,09          | 69                         |

Źródło: opracowanie własne na podstawie Global Footprint Network, 2023.

Ślady gruntowe rosły w latach badań w jednakowym tempie (rys. 2). Jednakże w latach 1990-2018 były mniejsze o 0,45 ha globalnego per capita<sup>-1</sup> w porównaniu do okresu 1961-1989. Sugeruje to, że w ostatnim trzydziestoleciu presja gruntowa w Polsce zmalała i to o wcale niebagatelnej wartości. Niemniej jednak, w 2018 r. ślad gruntowy był większy niż w Niemczech i mniejszy niż w regionach Europy (tab. 1).

Eksploatacja biopojemności w Polsce rosła w jednakowym tempie w obu badanych okresach (rys. 3). Jednakże w okresie 1990-2018 była mniejsza niż w poprzednim o 19,5%. W 2018 r. wynosiła ona w Polsce 93% i zbliżała się do progu ekologicznego (100%). W Niemczech, Europie Południowej i Zachodniej próg ekologiczny został przekroczony, co wskazywałoby, iż należy tam zmniejszyć intensywność biogospodarki (tab. 1). Dla odmiany, znaczny potencjał rozwoju biogospodarki, z ekologicznego punktu widzenia, istnieje w Europie Wschodniej i Północnej (tab. 1).

Zwiększenie produktywności w biogospodarce prawie zawsze pociąga za sobą wzrost śladu gruntowego (Liobikiene i in., 2019; Liobikiene i in., 2020). Nazywane jest to sprzężeniem produktywności i śladu. W Polsce plony czterech podstawowych zbóż rosły w jednakowym tempie w okresach badań. Jednakże w latach 1990-2018 były większe o 0,94 t ha<sup>-1</sup> (rys. 4). Na podstawie dostępnych dla nas danych nie było możliwym pogłębienie analizy pomiędzy wartością dodaną biogospodarki i śladem gruntowym. Z literatury wynika jednak, że rozprężenie wartości dodanej produkcji i śladu gruntowego zanotowano w Europie jedynie w Danii (Liobikiene i in., 2020). W Polsce stwierdzono zerowy przyrost śladu wraz ze wzrostem wartości dodanej produkcji (Liobikiene i in., 2020), co jest dobrym wstępem do dalszego rozprężania zależności pomiędzy tymi zmiennymi.

## **Podsumowanie**

Jednym z głównych wyzwań współczesnego świata jest zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego, ochrona środowiska przyrodniczego, przeciwdziałanie zmianom klimatu i zrównoważone wykorzystywanie zasobów naturalnych, co jest szczególnie istotne w świetle prognoz dotyczących dynamicznego zwiększania populacji ludności i związanej z tym coraz większej skali eksploatacji zasobów naturalnych. Strategia zrównoważonego rozwoju względem tych wyzwań jest jedną z najważniejszych idei UE. W strategiach i programach politycznych coraz częściej zwraca się uwagę na rosnącą rolę biogospodarki jako możliwej drogi do rozwiązania problemu wyczerpywania się zasobów naturalnych. Proces rozwoju biogospodarki powinien bazować nie tylko na produkcji biozasobów o niewielkim wpływie na środowisko, ale również na ich zrównoważonym użytkowaniu pod względem ekologicznym, gospodarczym i społecznym. W dążeniu społeczeństw do podwyższania wskaźnika ludzkiego dobrobytu przy realizacji strategii biogospodarki, koniecznym jest aby biozasoby (potencjał biomasy) nie zostały wyczerpane. Dlatego też istotne znaczenie ma wskazanie metod ograniczenia presji człowieka na środowisko i nie przekraczania progów ekologicznych.

Przeprowadzone badania wykazały, że biopojemność w Polsce malała w całym analizowanym okresie co stało w sprzeczności z definicją wskaźnika mówiącej o jego stałości. Natomiast ślady gruntowe rosły w latach badań. Jednak w ostatnim okresie (1990-2018) były o 0,45 ha globalnego per capita<sup>-1</sup> mniejsze w porównaniu do okresu 1961-1989 co świadczy o malejącej presji na środowisko. Podobną tendencję stwierdzono dla

eksploatacji biopojemności. Jednakże w 2018 r. wynosiła ona 93% i była bliska bariery ekologicznej. Porównanie uzyskanych wyników z odpowiednimi wartościami dla Niemiec i innych rejonów Europy pozwoliło stwierdzić, że większe możliwości rozwoju biogospodarki z ekologicznego punktu widzenia istnieją w całym regionie Europy Wschodniej i Północnej.

Zrozumiałym jest, że istnieją rosnące zależności pomiędzy wielkością śladu gruntowego a zużyciem środków produkcji. W tym opracowaniu przedstawiono je dla azotu i fosforu, dla których ślady globalne przekroczone zostały odpowiednio 3- i 2-krotnie (EEA, 2020). Uzyskane zależności wskazują, że w latach 1990-2018 eksploatacja biopojemności poprawiła się dla azotu, a w przypadku fosforu pogorszyła w stosunku do wcześniejszego okresu. Wynik dla fosforu jest nieoczywisty i wymagałby głębszych analiz.

Reasumując można stwierdzić, że ekologiczny potencjał zwiększenia produkcji biomasy w Polsce jest mały. W tej sytuacji istnieją dwie możliwości pokrycia zapotrzebowania na biomasę: 1) zwiększenie produktywności bez zwiększania zużycia środków produkcji oraz 2) zwiększenie wykorzystywania biomasy ubocznej i odpadowej. Realizacja obu ścieżek wymaga innowacji technologicznych.

## Literatura

- Adamowicz, M. (2017). Biogospodarka – koncepcja, zastosowanie i perspektywy. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 1(350), 29-49.
- Arto, I., Genty, A., Rueda-Cantuche, J. M., Villanueva, A., Andreoni, V. (2012). Global resources use and pollution: Vol. I, Production, consumption and trade (1995-2008). European Commission Joint Research Centre: Luxembourg.
- Brenne, R. (2022). European Bioeconomy Strategy: Stocktaking and future developments. Digitisation of biology for circular bioeconomy applications. 31 May 2022. Bioeconomy and Food System Unit, European Commission.
- Brizga, J., Micekienė, A., Liobikienė, G. (2019). Environmental aspects of the implementation of bioeconomy in the Baltic Sea Region: an input-output approach. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118238.
- Bruckner, M., Häyhä, T., Giljum, S., Maus, V., Fischer, G., Tramberend, S., Börner, J. (2019). Quantifying the global cropland footprint of the European Union's non-food bioeconomy. *Environmental Research Letters*, 14 (4), 045011.
- Budzinski, M., Bezama, A., Thrän, D. (2017). Monitoring the progress towards bioeconomy using multi-regional input-output analysis: The example of wood use in Germany. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1-11.
- Costanza, R., Daly, L., Fioramonti, L. et al. (2016). Modelling and measuring sustainable wellbeing in connection with the UN Sustainable Development Goals. *Ecological Economics*, 130, 350-355.
- Cristóbal, J., Matos, C. T., Aurambout, J.-P., Manfredi, S., Kavalov, B. (2016). Environmental sustainability assessment of bioeconomy value chains. *Biomass and Bioenergy*, 89, 159-171.
- D'Amato, D., Korhonen, J., Toppinen, A. (2019). Circular, green, and bio economy: how do companies in land-use intensive sectors align with sustainability concepts? *Ecological Economics*, 158, 116-133.
- D'Amato, D., Veljonaho, S., Toppinen, A. (2020). Towards sustainability? Forest-based circular bioeconomy business models in Finnish SMEs. *Forest Policy and Economics*, 110, 101848.
- Davies, G.R. (2013). Appraising Weak and Strong Sustainability: Searching for a Middle Ground Consilience. *The Journal of Sustainable Development*, 1/10, 111-124.
- Deng, B. (2007). Four main differences in sustainable development research. *North. Econ.*, 52-53.
- De Oliveira, K.V., Borsato, M., Miranda, V. (2018). New trends for mitigation of environmental impacts: a literature review. *Adv. Trans. Eng.*, 7, 1194-1203; doi:10.3233/978-1-61499-898-3-1194.
- EC. (2012). Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, COM(2012) 60 final.
- EC. (2022). EU Bioeconomy Strategy Progress Report. European Bioeconomy Policy: Stocktaking and future developments. Luxembourg: Publications Office of the European Union, ISBN 978-92-76-50201-2.

- EEA. (2020). Is Europe living within the limits of our planet? An assessment of Europe's environmental footprints in relation to planetary boundaries. Joint EEA/FOEN Report. EEA Report No 01/2020.
- Egenolf, V., Bringezu, S. (2019). Conceptualization of an indicator system for assessing the sustainability of the bioeconomy. *Sustainability*, 11(2), 443.
- Ekins, P., Dresner, S., Dahlström, K. (2008). The four-capital method of sustainable development Evaluation. *European Environment*, 18(2), 63-80.
- EU. (2018). Bioeconomy. The European way to use our natural resources: action plan 2018.
- FAOstat. Pobrane 9 stycznia 2023 z: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Giuntoli J., Robert N., Ronzon T. et al. (2020). Building a monitoring system for the EU bioeconomy. EUR 30064 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-15385-6, doi:10.2760/717782, JRC119056.
- Global Footprint Network. Pobrane 9 stycznia 2023 z: <https://data.footprintnetwork.org/#/compareCountries?type=BCpc&cn=173,2002&yr=1992>
- Gołębiewski, B., Sick, N., Bröring, S. (2015). The emerging research landscape on bioeconomy: What has been done so far and what is essential from a technology and innovation management perspective? *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29, 308-317.
- Hartwick, J. (1990). Natural resource accounting and economic depreciation. *Journal of Public Economics*, 43, 291-304.
- Holden, N.M. (2022). A readiness level framework for sustainable circular bioeconomy. *EFB Bioeconomy Journal*, 2, 100031.
- Hubacek, K., Feng, K. (2016). Comparing apples and oranges: some confusion about using and interpreting physical trade matrices versus multi-regional input-output analysis. *Land Use Policy*, 50, 194-201.
- Koukios, E., Monteleone, M., Carrondo, M.J.T., et al. (2018). Targeting sustainable bioeconomy: a new development strategy for Southern European countries. The Manifesto of the European Mezzogiorno. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3931-3941.
- Juerges, N., Hansjürgens, B. (2018). Soil governance in the transition towards a sustainable bioeconomy—A review. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1628-1639.
- Liobikiene, G., Balezenti, T., Streimikiene, D., Chen, X. (2019). Evaluation of bioeconomy in the context of strong sustainability. *Sustainable Development*, 27 (5), 955-964.
- Liobikiene, G., Chen, X., Streimikiene, D., Balezenti, T. (2020). The trends in bioeconomy development in the European Union: exploiting capacity and productivity measures based on the land footprint approach. *Land Use Policy*, 91, 104375.
- Liu, L. (2009). Sustainability: Living within one's own ecological means. *Sustainability*, 1(4), 1412-1430.
- Loiseau, E., Saikku, L., Antikainen, R., Droste, N., Hansjürgens, B., Pitkänen, K., Leskinen, P., Kuikman, P., Thomsen, M. (2016). Green economy and related concepts: an overview. *Journal of Cleaner Production*, 139, 361-371.
- Lorek, S., Spangenberg, J.H. (2014). Sustainable consumption within a sustainable economy - beyond green growth and green economies. *Journal of Cleaner Production*, 63, 33-44.
- Lozano, R. (2008). Envisioning sustainability three-dimensionally. *Journal of Cleaner Production*, 16, 1838-1846.
- Maina, S., Kachrimanidou, V., Koutinas, A. (2017). A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 8, 18-23.
- Mancebo, F. (2013). Développement durable (2ème édition ed.). Paris: Armand Colin.
- Nykqvist, B., Persson, A., Moberg, F., Persson, L., Cornell, S., Rockström, R. (2013). National environmental performance on planetary boundaries. Stockholm, Sweden: The Swedish Environmental Protection Agency.
- O'Brien, M., Schütz, H., Bringezu, S. (2015). The land footprint of the EU bioeconomy: monitoring tools, gaps and needs. *Land Use Policy*, 47, 235-246.
- OECD. (2009). Bioeconomy to 2030; Designing a Policy Agenda.
- ONZ. (1992). Deklaracja z Rio w sprawie środowiska i rozwoju. Pobrane 11 stycznia 2023 z: <http://libr.sejm.gov.pl/tek01/txt/inne/1992.html>
- Ott, K. (2003). The case for strong sustainability. In: K. Ott, & P. Thapa (Eds.), Greifswald's environmental ethics. Greifswald, Germany: Steinbecker Verlag Ulrich Rose.
- Pelenc, J., Ballet, J. (2015). Strong sustainability, critical natural capital and the capability approach. *Ecological Economics*, 112, 36-44.
- Pellis, P., Cantone, S., Ebert, C., Gardossi, L. (2018). Evolving biocatalysis to meet bioeconomy challenges and opportunities. *New Biotechnology*, 40, 154-169.
- Ramcilovic-Suominen, S., Püzl, H. (2018). Sustainable development—a 'selling point' of the emerging EU bioeconomy policy framework? *Journal of Cleaner Production*, 172, 4170-4180.

- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F.S., Lambin, E., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14 (2).
- Rockström, J., Richardson, K., Steffen, W., Mace, G. (2018). Planetary boundaries: separating fact from fiction. A response to Montoya et al. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(4), 233-234. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.01.010>
- Scarlat, N., Dallemand, J.F., Monforti-Ferrario, F., Nita, V. (2015). The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environmental Development*, 15, 3-34.
- Scheiterle, L., Ulmer, A., Birner, R., Pyka, A. (2018). From commodity-based value chains to biomass-based value webs: The case of sugarcane in Brazil's bioeconomy. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3851-3863.
- Steffen, W. et al. (2015). Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*, 347, (6223), 1259855.
- Solow, R. (1993). An almost practical step toward sustainability. *Resources Policy*, 2, 162-172.
- Székács, A. (2017). Environmental and ecological aspects in the overall assessment of bioeconomy. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 30(1), 153-170.
- United Nations SDSN. (2015). Indicators and a Monitoring Framework for the Sustainable Development Goals. Launching a data revolution for the SDGs. A report to the Secretary-General of the United Nations by the Leadership Council of the Sustainable Development Solutions Network. Pobrane 12 stycznia 2023 z: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2013150612-FINAL-SDSN-Indicator-Report1.pdf>
- Wackernagel, M., Zokai, G., Iha, K., Kelly, P., Ortego, J. (2015). The footprint and biocapacity accounting: methodology background for state of the states 2015. Technical Background Report.
- WCED. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.
- Wilson, M.C., Wu, J. (2017). The problems of weak sustainability and associated indicators. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 24, 44-51.
- Woźniak, E., Twardowski, T. (2018). The bioeconomy in Poland within the context of the European Union. *New Biotechnology*, 40, 96-102.

Do cytowania / For citation:

- Faber A., Jarosz Z. (2023). Charakterystyka zrównoważenia rozwoju biogospodarki w Polsce - wymiar ekologiczny. *Problemy Rolnictwa Światowego*, 23(1), 4-18; DOI: 10.22630/PRS.2023.23.1.1
- Faber A., Jarosz Z. (2023). Characteristics of sustainable development of bioeconomy in Poland - ecological dimension (in Polish). *Problems of World Agriculture*, 23(1), 4-18; DOI: 10.22630/PRS.2023.23.1.1