

EMERGETYCZNA METODA OCENY EFEKTYWNOŚCI I ZRÓWNOWAŻENIA ŚRODOWISKOWEGO UPRAWY PSZENICY

Janusz Jankowiak, Ewa Miedziejko

Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN

Abstrakt. Metoda emergetyczna została zastosowana do oceny zarówno wykorzystania strumieni energii, masy oraz nakładów finansowych (wody, nasion, nawozów, środków ochrony roślin, paliw, towarów i usług), jak i produktywności oraz zrównoważenia w typowej uprawie pszenicy prowadzonej w Wielkopolsce. W celu wyrażenia wszystkich omawianych strumieni we wspólnych jednostkach (seJ) zastosowano współczynniki konwersji (przekształcalności solarne). Dzięki temu stało się możliwe analizowanie także przepływów, które nie mają wartości rynkowej i generalnie są pomijane w tradycyjnych bilansach. W sumie tylko 52% dopływu energii wynika z nakładów finansowych, podczas gdy reszta, dostarczana w postaci usług środowiska, nie jest opłacona. Emergetyczny współczynnik wydajności $EYR = 1,14$ wskazuje na niski poziom wydajności przypadający na jednostkę energii zainwestowanej w uprawę. Wartości współczynnika obciążenia środowiska $ELR = 11$ oraz indeksu zrównoważenia $ESI = 0,1$ ujawniają odpowiednio stres środowiskowy i mały poziom zrównoważenia uprawy. Gęstość energii w produkcie końcowym (pszenicy) wynosiła $4,35 E12$ seJ/kg a przekształcalność $\tau = 26,3 E4$ seJ/J.

Słowa kluczowe: egzergia, emergia, seJ, przekształcalność, emergetyczny równoważnik monetarny, emergetyczny indeks zrównoważenia

WSTĘP

Do określania wartości produktów i usług środowiska tradycyjne metody ekonomiczne stosują miary skalowane odpowiednio do wartości wyprowadzonych rynkowo (cen), najczęściej bez dostatecznego fizycznego i biologicznego uzasadnienia. Takich ograniczeń nie zawiera analiza emergetyczna, wykorzystująca zasady termodynamiki, teorii systemów i ekologii.

Copyright © Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

Adres do korespondencji – Corresponding author: prof. dr hab. Janusz Jankowiak, Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, ul. Bukowska 19, 60-809 Poznań, Poland, e-mail: jank@man.poznan.pl

Dzięki obecnemu poziomowi wiedzy i rozwojowi metod rachunkowych można wyznaczyć, ile energii w postaci promieniowania słonecznego pobrał w przeszłości system globalny, aby w wyniku różnych transformacji energii wewnętrznej w biosferze powstała obserwowana postać energii o egzergii E_x , zgodnie z zależnością:

$$E_m = \tau E_x \quad (1)$$

gdzie:

τ – przekształcalność solarna.

Energia solarna E_m (krótko – energia) określonego produktu lub usługi, jest to całkowita egzergia solarna użyta bezpośrednio lub pośrednio do jego wytworzenia (Odum 1996). Jednostką emergii jest seJ (ang. solar energy joule) lub emdżul.

W rachunku emergetycznym uwzględnia się także wartości dóbr i usług, szacowane na podstawie cen, po wyznaczeniu globalnego i krajowego zużycia emergii w relacji do PGB i PKB. Tym sposobem cyrkulacja pieniędzy zostaje przyporządkowana przepływowi emergii i można dokonać bilansowania wszystkich sił napędowych dla rozważanego procesu zgodnie z zależnością:

$$E_m = \sum_i \tau_i E_{xi} \quad (2)$$

gdzie:

E_{xi} – egzergia,

τ_i – przekształcalność solarna i -tego niezależnego dopływu.

Celem pracy jest wyznaczenie wydajności i zrównoważenia środowiskowego typowej uprawy pszenicy z wykorzystaniem rachunku emergetycznego uwzględniającego wyrażone w ekwiwalentach energii solarnej zużycie energii odnawialnej, nieodnawialnej, materiałów, pracy ludzi oraz nierynkowych usług środowiska, obok zwykle analizowanych kosztów towarów i usług rynkowych. Określenie wzajemnych relacji nadwyżki bezpośredniej (zysku), wyznaczonej na podstawie miar monetarnych i emergetycznych, stało się ważnym zadaniem badawczym, ze względu na duże znaczenie praktyczne.

Chociaż rachunek emergetyczny jest już wykorzystywany na świecie, zarówno do wyceny procesów technologicznych, jak i agrotechnicznych, w Polsce prezentowane podejście dotychczas nie było stosowane.

MATERIAŁ I METODA

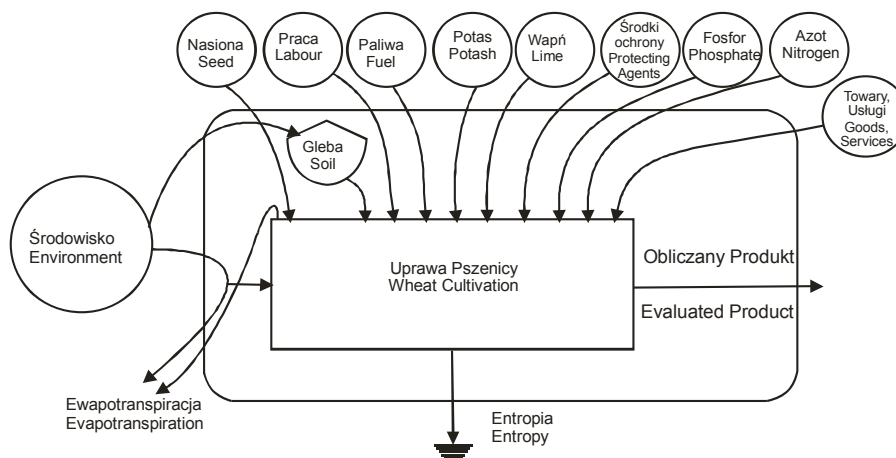
Dane wykorzystane w pracy w zakresie nakładów na uprawę są wartościami średnimi dla Wielkopolski w 2006 roku [Kalkulacje rolnicze... 2006]. Źródłem danych meteorologicznych są pomiary wykonane w Stacji Badawczej Instytutu Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Turwi. W uprawie wykorzystano energię pobraną z różnych źródeł (rys. 1).

Dla stosowanych strumieni masy m egzergie wyznaczano na podstawie zależności:

$$E_x = m \cdot G \quad (3)$$

gdzie:

G – energia swobodna Gibbsa.



Rys. 1. Źródła energii wykorzystanej w uprawie pszenicy
 Fig. 1. The energy sources used in the wheat cultivar

Następnie obliczano energię ze wzoru (1), wykorzystując przekształcalności odpowiednie do obowiązującego budżetu globalnego [Brandt-Williams 2002, Ortega i Ulgiati 2004, Ulgiati i Cialani 2005, Miedzijko 2008]. Charakterystyczne dla Polski przekształcalności pożywienia i pracy wyznaczono na podstawie danych statystycznych [Rocznik statystyczny... 2007].

W pracy przyjęto metodę oznaczania wykładników potęgowych w postaci: $100 = 10^2 = E2$, $10\ 000 = 10^4 = E4$ itp.

WYNIKI

Energia promieniowania słonecznego

Przyjęto, że wegetacja pszenicy ozimej zaczyna się 20 września, a kończy 25 lipca. Radiacja obliczona dla stacji meteorologicznej w Turwi, po uwzględnieniu albedo planetarnego (0,3), wynosiła $4,862 E13$ J/ha. Dla bezpośredniego promieniowania słonecznego energia z definicji jest równa energii.

Energia chemiczna wody

Masa wyparowanej wody wynosiła $m = 5 E6$ kg/ha, energia swobodna Gibbsa wyznaczona względem basenu o zasoleniu równym zasoleniu soku komórkowego transpirujących roślin $G = 4,94$ kJ/kg, dla $\tau = 2,59 E4$ seJ/J, $E_m = 6,40 E14$ seJ/ha.

Energia wiatru

Energję wiatru obliczano ze wzoru:

$$E_x = \eta \frac{\rho v^3 S t}{2} \quad (4)$$

gdzie:

- η – współczynnik tarcia (0,001),
- ρ – gęstość powietrza ($1,39 \text{ kg m}^{-3}$),
- v – prędkość wiatru geostroficznego,
- t – czas.

Suma średnich dekadowych energii kinetycznej wiatru w czasie wegetacji wynosi $E_x = 1,21 \text{ E}10 \text{ J/ha}$, co dla $\tau = 0,25 \text{ E}4 \text{ seJ/J}$ daje $E_m = 3,02 \text{ E}13 \text{ seJ/ha}$.

Egzergia nasion

Egzergię nasion obliczono na podstawie udziałów (białko 13%, tłuszcz 1,8%, cukry 76,3%) i energii swobodnej Gibbsa w stanie standardowym składników: $E_x = (0,13 \cdot 24 + 0,018 \cdot 39 + 17 \cdot 0,763) \text{ MJ/kg} = 16,79 \text{ MJ/kg}$. Ponieważ masa nasion wynosiła $m = 200 \text{ kg/ha}$, $E_x = 3,36 \text{ E}9 \text{ J/ha}$, przekształcalność solarną obliczono według tej samej procedury, wykorzystując przekształcalności składników (tab. 1), co daje $\tau = 25,10 \text{ E}4 \text{ seJ/J}$ oraz $E_m = 8,43 \text{ E}14 \text{ seJ/ha}$.

Tabela 1. Przekształcalności składników pożywienia
Table 1. The transformities of the food components

| Składnik Component | G (MJ/kg) | Masa Mass (kg) | Egzergia Exergy (MJ) | Udział Fraction K | τ_s E4 (seJ/J) | $\tau = k\tau_s$ E4 (seJ/J) |
|------------------------------------|--------------|----------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Białko zwierzęce Animal protein | 24 | 0,048 | 1,152 | 0,107 | 49,02 | 5,22 |
| Białko roślinne Floral protein | 24 | 0,024 | 0,576 | 0,05,3 | 13,31 | 0,71 |
| Tłuszcz Fat | 39 | 0,103 | 4,017 | 0,371 | 19,00 | 7,06 |
| Cukier Sugar | 17 | 0,298 | 5,066 | 0,469 | 30,18 | 14,14 |
| Suma Sum | – | 0,473 | 10,811 | | | 27,13 |

Egzergia degradowanej materii organicznej gleby

Współczynnik degradacji i reprodukcji substancji organicznej dla zbóż wynosi $m = 0,53 \text{ E}3 \text{ kg/ha}$ [Kuś 1998]. Biorąc pod uwagę, że dla materii organicznej gleby $G = 16,78 \text{ MJ/kg}$, $\tau = 12,43 \text{ E}4 \text{ seJ/J}$, otrzymuje się $E_x = 8,89 \text{ E}9 \text{ J/ha}$ oraz $E_m = 11,05 \text{ E}14 \text{ seJ/ha}$.

Egzergia paliw

Praca maszyn wymagała zużycia $m = 137,88 \text{ kg}$ oleju napędowego, dla którego $G = 44,5 \text{ MJ/kg}$, $\tau = 11,09 \text{ E}4 \text{ seJ/J}$. Dla $E_x = 6,15 \text{ E}9 \text{ J/ha}$, $E_m = 6,82 \text{ E}14 \text{ se/ha}$.

Egzergia nawozów

Dla nawozów przekształcalności są podawane w przeliczeniu na jednostkę masy czystego składnika, więc egzergie nie wymagają obliczania. Zastosowano:

- azot: $m = 118 \text{ kg/ha}$, $\tau = 40,49 \text{ E12 seJ/kg}$, $E_m = 47,79 \text{ E14 seJ/ha}$,
- fosfor $m = 60 \text{ kg/ha}$, $\tau = 36,96 \text{ E12 seJ/kg}$, $E_m = 22,18 \text{ E14 seJ/ha}$,
- potas: $m = 90 \text{ kg/ha}$, $\tau = 1,86 \text{ E12 seJ/kg}$, $E_m = 1,67 \text{ E14 seJ/ha}$,
- wapń: $m = 750 \text{ kg/ha}$, $\tau = 1,68 \text{ E12 seJ/kg}$, $E_m = 12,60 \text{ E14 seJ/ha}$,
- środki ochrony roślin: $m = 3,62 \text{ kg/ha}$, $\tau = 25,2 \text{ E12 seJ/kg}$, $E_m = 0,91 \text{ E14 seJ/ha}$.

Praca w sektorze rolniczym

Przekształcalność solarną pracy w rolnictwie w Polsce obliczono na podstawie struktury spożycia żywności w gospodarstwach rolniczych oraz wynagrodzeń za pracę. Przeciętne spożycie dzienne w gospodarstwach rolników wynosiło $10,12 \text{ MJPC}$.

Całkowite spożycie roczne egzergii pożywienia w rodzinach rolników w Polsce wynosi więc $3,69 \text{ E9 J/rok PC}$. Nieznane przekształcalności składowych żywności obliczono na podstawie FOLIO 4 [Brandt-Williams 2002]. Wartości średnie uwzględniające wiele produktów oraz udział k w pożywieniu rolników przedstawiono w tabeli 1.

Każdy pracownik pobiera rocznie z pożywienia egzergię $E_x = (10,81 \cdot 365) \text{ MJ} = 3,95 \text{ E9 JPC}$, która dla przekształcalności $\tau = 27,13 \text{ E4 seJ/J}$ daje dopływ energii: $E_m = 1,07 \text{ E15 seJ/rokPC}$. Ponadto każdy zatrudniony w sektorze rolniczym otrzymuje średnio miesięcznie wynagrodzenie netto 1152 PLN , co daje rocznie $13\,823 \text{ PLNPC}$. Biorąc pod uwagę fakt, że polski równoważnik monetarny w 2006 roku $P_1 = 6,74 \text{ E12 seJ/PLN}$ [Miedziejko 2008], całkowity energetyczny ekwiwalent zarobków wynosi $E_m = 13\,823 \text{ PLN} \cdot 6,74 \text{ E12 seJ/PLN} = 93,17 \text{ E15 seJ/PC}$. Dla przeciętnej liczby godzin pracy tygodniowo $42,4 \text{ h}$, a rocznie 2211 h , przekształcalność pracy w sektorze rolniczym wynosi więc:

$$\tau = \frac{(93,17 \text{ E15} + 1,07 \text{ E15}) \text{ seJ}}{2211 \text{ h}} = 4,26 \text{ E13 seJ/h} \quad (5)$$

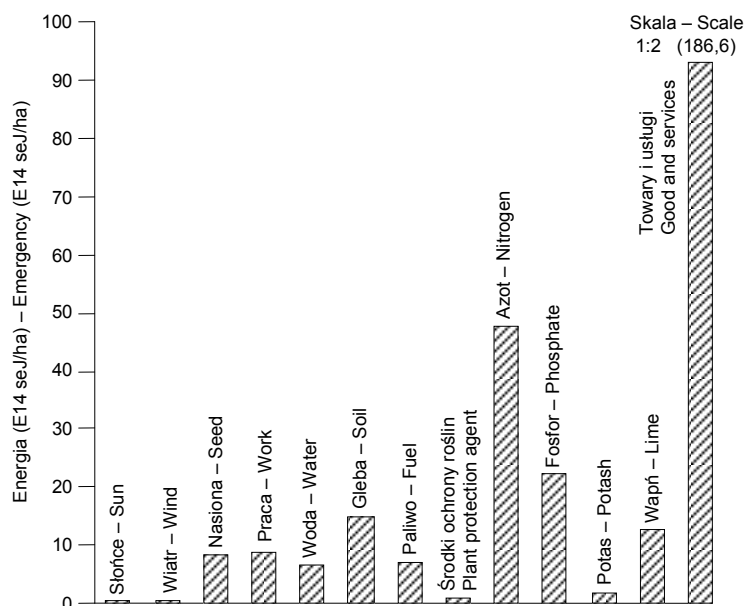
Uprawa pszenicy wymagała $15,5 \text{ h/ha}$, czyli $E_m = 6,60 \text{ E14 seJ/ha}$.

Emergia nakładów finansowych

Koszty bezpośrednie związane z pracą ciągników i maszyn oraz zakupem nawozów i środków ochrony roślin wynosiły 2063 PLN/ha , co dla $P_1 = 6,74 \text{ E12 seJ/PLN}$ daje energię $E_m = 139,04 \text{ E14 seJ/ha}$.

Uzyskanie plonu wiązało się z dopłatą UE o wysokości $507,35 \text{ PLN}$, co wobec światowego energetycznego równoważnika monetarnego $P_2 = 1,37 \text{ E12 seJ/USD}$ [Miedziejko 2008], po przeliczeniu według średniego kursu waluty krajowej daje wartość $E_m = 2,24 \text{ E14 seJ/ha}$. Ostatecznie energetyczny równoważnik kosztów uprawy wynosi więc $E_m = 136,8 \text{ E14 seJ/ha}$. Porównanie wartości energii pobranej z omawianych źródeł przedstawiono na rysunku 2.

Największy udział mają źródła nieodnawialne: dopływ monetarny oraz nawozy (w szczególności azot i fosfor) oraz materia organiczna gleby. Łatwo dostępna energia promieniowania słonecznego oraz energia wiatru mają bardzo małe wartości. Zważywszy



Rys. 2. Wartości energii wykorzystanej z różnych źródeł w uprawie pszenicy

Fig. 2. The emery from different sources used in the wheat cultivar

na to, że energia promieniowania słonecznego, energia kinetyczna wiatru i energia chemiczna wyparowanej wody są współzależne, obowiązuje zasada, że w rachunku zużycia uwzględnia się tylko energię ze źródła o największej mocy. Energia wody okazała się reprezentatywna dla źródeł odnawialnych, podobnie jak w większości publikowanych przykładów rachunku energetycznego [Ferreya 2001, Brandt-Williams 2002, Ortega i Ulgiati 2004, Diemont i in. 2006, Miedziejko 2008 a, b].

Na podstawie otrzymanych wartości energii obliczono całkowite jej zużycie ze wzoru (2): $E_m = 261,24 E_{14} \text{ seJ/ha}$ stanowiące sumę energii: opadu (R), materii organicznej degradowanej gleby (N), nasion (M_R), paliw, nawozów i środków ochrony roślin (M_N), pracy (S_R), przepływu monetarnego (S_N).

DYSKUSJA

Energetyczne wskaźniki wydajności i zrównoważenia środowiskowego

Rezultatem uprawy było uzyskanie $m = 6 E3 \text{ kg/ha}$ ziarna o wartości rynkowej 3252,0 PLN, co po pomnożeniu P_1 daje $E_m = 219,18 E_{14} \text{ seJ/ha}$. Wynika stąd, że stosunek energii wykorzystanej w uprawie pszenicy do energii uzyskanej z jej sprzedaży (stopień wymiany, tab. 2) wynosi 1,2, a więc z uwzględnieniem wartości pracy wykonanej przez środowisko sprzedaż nie pokrywa kosztów produkcji.

Tabela 2. Energetyczne indykatory wydajności i zrównoważenia uprawy pszenicy
 Table 2. Energy indices for efficiency and sustainability of wheat cultivar

| Cecha Feature | Symbol | Definicja Definition | Wartość Value |
|---|--------|---|-------------------|
| Pobrana energia Used energy | Y | $R + M_R + S_R + N + M_N + S_N$ | 317,24 E14 seJ/ha |
| Udział odnawialny Renewable fraction | P_R | $\frac{R + M_R + S_R}{Y}$ | 7,4% |
| Współczynnik wydajności Field ratio | EYR | $\frac{Y}{M_N + S_N}$ | 1,14 |
| Wskaźnik obciążenia środowiska Environmental loading ratio | ELR | $\frac{N + M_N + S_N}{R + M_R + S_R}$ | 12 |
| Indeks zrównoważenia Index of sustainability | EIS | $\frac{EYR}{ELR}$ | 0,10 |
| Stopień wymiany Exchange ratio | EER | $\frac{Y}{W(\text{PLN}) \cdot P_1 \text{ seJ/PLN}}$ | 1,07 |
| Udział inwestycji Investment fraction | | $\frac{S_N}{R + M_R + S_R + N + M_N + S_N}$ | 59% |

Ponieważ egzergia plonu wynosi $E_X = 6 \text{ E3 kg/ha} \cdot 16,79 \text{ MJ/kg} = 10,07 \text{ E10 J/ha}$, na podstawie zużycia energii w uprawie można wyznaczyć przekształcalność pszenicy:

$$\tau = \frac{265,08 \text{ E14 seJ/ha}}{10,07 \text{ E10 J/ha}} = 26,3 \text{ E4 seJ/J} \quad (6)$$

co w przeliczeniu na jednostkę masy daje gęstość energii 4,35 E12 seJ/kg.

Otrzymana wartość, bardzo bliska danej wyjściowej (tab. 1), jest większa niż otrzymana w Argentynie [Ferreira 2001] dla produkcji mieszanej bez użycia nawozów ($\tau = 13 \text{ E4 seJ/J}$), większa niż średnia dla wszystkich zbóż w USA ($\tau = 74 \text{ E4 seJ/J}$) [Brandt-Williams 2002] i bliska wartości uzyskiwanej na Łotwie dla całej produkcji rolniczej z przewagą pszenicy ($\tau = 33,6 \text{ E4 seJ/J}$) [Ulgiati i Cialani 2005]. Oznacza to, że z uwzględnieniem kosztów rynkowych i nierynkowych usług środowiska analizowany model uprawy w Polsce ma porównywalną wydajność jak na Łotwie, jest mniej wydajny jak w Argentynie, natomiast przewyższa wydajność uzyskiwaną w USA.

Zrównoważenie środowiskowe uprawy można ocenić na podstawie wskaźników [Diemont i in. 2006] opisanych w tabeli 2.

Udział p_R energii ze źródeł odnawialnych stanowi (tab. 2) tylko 8,2% całkowitego zużycia energii, co jest niewielką wartością w porównaniu z uprawą zboża we Włoszech (25%) i Argentynie (30%) [Ulgiati i Cialani 2005, Ferreira 2001]. Wynika to z dużej wartości zarówno energii nawozów (w szczególności azotu), jak i energetycznego równoważnika kosztów uprawy.

Współczynnik wydajności EYR ukazuje, w jakim stopniu środowisko uprawy może współzawodniczyć w dostarczaniu energii z dopływem energii zakupionej. Z definicji wynika bowiem, że wartość liczbowa ($EYR-1$) określa liczbę jednostek energii odnawialnej przypadającą na jednostkę pobranej energii nieodnawialnej. Niewielki stosunek

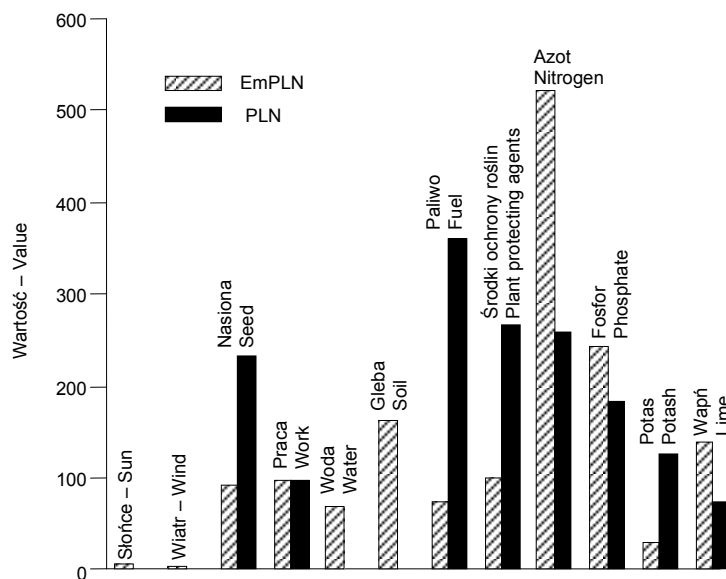
1:7 jest trzykrotnie mniejszy, niż w uprawie prowadzonej we Włoszech [Ulgiati i Cialani 2005].

Miarę presji środowiskowej w danym modelu uprawy charakteryzuje wskaźnik ELR obciążenia środowiska, który jest równy stosunkowi udziału p_R do udziału p_N odpowiednio źródeł odnawialnych i nieodnawialnych w całkowitym zużyciu energii. Postuluje się, że każdy model uprawy o wartości $ELR > 1$ powoduje obciążenie środowiska. Taka sytuacja występuje zarówno w Polsce ($ELR = 12$), jak i we Włoszech ($ELR = 3$) [Ulgiati i Cialani 2005] a tym bardziej w USA ($ELR = 100$) [Brandt-Williams 2002].

Generalnie poszukuje się modelu produkcji, w którym występuje duży współczynnik wydajności, a mały wskaźnik obciążenia środowiska. Taką cechą ilościowo charakteryzuje emerygetyczny indeks zrównoważenia EIS , który określa wydajność procesu na jednostkę zrównoważenia. Dla analizowanego modelu uprawy pszenicy $EIS = 0,1$, co jest wartością znacznie mniejszą od tej, jaka charakteryzuje uprawę zbóża we Włoszech ($EIS = 0,45$) [Ulgiati i Cialani 2005] oraz w Argentynie ($EIS = 0,6$) [Ferreya 2001].

Rynkowa i emerygetyczna wartość cen

Z przeprowadzonych rachunków wynika, że energia opłacona stanowi jedynie 52% jej całkowitego zużycia, natomiast pozostałe 48% bezpośrednio lub pośrednio dostarcza środowisku. Na podstawie rachunku emerygetycznego można wyrazić wartości monetarne wszystkich omawianych dopływów, dzieląc przyporządkowane im energie przez P_1 .



Rys. 3. Porównanie wartości materiałów, paliw, pracy oraz usług środowiska, skalowanych metodą emerygetyczną (EmPLN), z cenami rynkowymi (PLN)

Fig. 3. The value of materials, fuel, work and environmental services calibrated according to the emerygetical method (EmPLN) with comparison to the market prices

Otrzymuje się wtedy wartości wyrażone w EmPLN (jednostki wprowadzone w analogii do EmUSD). Na rysunku 3 zostały porównane wartości omawianych dopływów, wyrażone w cenach rynkowych oraz metodą emergetyczną.

Wykorzystana energia solarna i energia wiatru mają bardzo małą wartość w porównaniu z kosztami środowiskowymi zużycia materii organicznej gleby oraz wody. Szacowane rynkowo wartości zużytych nasion, paliw, środków ochrony roślin oraz potasu są zawyżone, natomiast wartości rynkowe azotu, fosforu i wapnia są zaniżone, w porównaniu ze skalowaniem uwzględniającym usługi środowiska. Jak wynika z uprzednio przeprowadzonych badań [Jankowiak i Bieńkowski 2001] w technologii uprawy pszenicy tkwią duże możliwości zmniejszenia nakładów, z zachowaniem niezmiennego plonu. Przedstawione relacje mogą więc ulec zmianie w wyniku racjonalizacji technologii produkcji.

Wartość rynkowa produkcji została wyceniona na 3759 PLN/ha a koszty bezpośredniego zużycia na 2063 PLN/ha. Rynkowa wartość nadwyżki bezpośredniej wynosi więc 1696 PLN/ha.

Szacowane na podstawie rachunku emergetycznego koszty to zużycie energii podzielone przez P_1 , czyli $E_m = 3875$ Em PLN/ha. Wynika stąd wniosek, że gdy uwzględnimy usługi środowiska, nadwyżka nie występuje. Wartość rynkowa usług pobranych „za darmo” ze środowiska wynosi 3875 Em PLN/ha – 2063 Em PLN/ha = 1812 Em PLN/ha, co w przybliżeniu stanowi 88% kosztów uprawy i 48% wartości plonu.

PODSUMOWANIE

Zastosowanie metody emergetycznej do oceny efektywności uprawy pszenicy umożliwiło analizowanie usług rynkowych obok nierynkowych usług środowiska, generalnie pomijanych w tradycyjnych bilansach energii i materii. Dzieje się tak dlatego, że pieniądze są płacone wyłącznie ludziom za ich usługi, natomiast usługi środowiska, związane z wytwarzaniem pokarmu dla pracowników, paliw, nawozów i środków ochrony roślin oraz z przepływem wody, nie podlegają wycenie. Pomijanie wartości usług środowiska powoduje, że rynkowa i emergetyczna wycena produkcji ziarna pszenicy różnią się.

W pracy wykazano, że gdy uwzględnimy usługi rynkowe i nierynkowe, cena uzyskiwana ze sprzedaży plonu nie pokrywa kosztów produkcji. Wartość rynkowa usług pobranych „za darmo ze środowiska” stanowi 88% wartości kosztów uprawy i 48% wartości plonu. Ujawniono ponadto, że szacowane rynkowo wartości zużytych nasion, paliw, środków ochrony roślin oraz potasu są zawyżone, natomiast wartości rynkowe azotu, fosforu i wapnia są zaniżone, w porównaniu do skalowania uwzględniającego usługi środowiska.

LITERATURA

- Brandt-Williams S.L., 2002. Handbook of Emergy Evaluation. A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in Series of Folios, Center for Environmental Policy Environmental Engineering Science. University of Florida, Gainesville.
- Diemont S.A.W, Martin J.F., Levy-Tacher S.I., 2006. Emergy evaluation of Lancandon Maya indigenous swidden agroforestry in Chiapas, Mexico. Agroforestry Systems 66, 23-42.

- Ferreira M.C., 2001. Emergy perspectives on the Argentine economy and food production systems of the Rolling Pampas during the twentieth century. University of Florida, Thesis.
- Jankowiak J., Bieńkowski J., 2001. Efektywność produkcji pszenicy ozimej w gospodarstwach wielkoobszarowych oceniona za pomocą metody nieparametrycznej. *Fragm. Agron.* 18, 45-59. Kalkulacje rolnicze, listopad 2006. 2006. Wielkopolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego, Poznań.
- Kuś J., 1998. Systemy gospodarowania w rolnictwie. Materiały szkoleniowe 42/95. Wyd. IUNG, Puławy.
- Miedziejko E., 2008 a. Termodynamiczna analiza wykorzystania zasobów środowiska w latach 1995-2006. W: *Problemy Agrofizyczne Kształtowania Środowiska Rolniczego*. Wyd. Nauk. FRNA, Lublin.
- Miedziejko E., 2008 b. Termodynamiczne wskaźniki zrównoważonego wykorzystania zasobów środowiska. W: *Mater. Konf. „Nowe trendy w agrofizyce”*. Wyd. Nauk. FRNA, Lublin, 52-54.
- Odum H.T., 1996. *Environmental Accounting. Emergy and Environmental Decision Making* J. Wiley & Sons, inc, New York.
- Ortega E., Ulgiati S., 2004. Expanded Emergy Analysis of Soybean Production in Brazil. W: *Proc. IV Bien. Int. Workshop. Advances in Emergy Studies*, Unicamp, Campinas, Brazil, 285-299. Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej. 2007. Wyd. im. E. Romera SA, Warszawa.
- Ulgiati S., Cialani C., 2005. Environmental and Thermodynamic Indicators in support of fair and sustainable Policy making. Investigating equitable trade among Latvia, Denmark and Italy. W: *Proc. 2nd International Conference on integrative Approaches towards Sustainability*, Riga, Latvia.

EMERGY ASSESSMENT METHOD FOR WHEAT CULTIVAR EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

Abstract. The method based on emergy was applied to quantify the fluxes of the emergy, matter and monetary investment use (water, seeds, work, fertilizer and plant protecting agents, fuel, goods and services), productivity, environmental services and sustainability in typical wheat cultivar conducted in Wielkopolska. In order to convert all the flows mentioned into common base (seJ) a conversion factors (solar transformities) were used. In this way it was possible to consider also such flows that are free and generally neglected in the traditional balances. Generally only 52% emergy inflow is delivered by financial investment, while the remaining part, delivered in the form of the environmental services, is free. The Emergy Yield Ratio $EYR = 1.14$ indicate a low level of output per emergy investment unit. The values of Environmental Loading Ratio $ELR = 11$ and Emergy Sustainability Index $ESI = 0.1$ indicate an environmental stress and low level of cultivar sustainability, respectively. The final cultivar product (wheat) has the emergy density $4.35 \cdot 10^{12}$ seJ/kg and transformity $\tau = 26.3 \cdot 10^4$ seJ/J.

Key words: exergy, emergy, seJ, transformity, emergy to money ratio, environmental index of sustainability

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 2.04.2009

Do cytowania – For citation: Jankowiak J., Miedziejko E., 2009. Emergetyczna metoda oceny efektywności i zrównowazenia środowiskowego uprawy pszenicy. J. Agribus. Rural Dev. 2(12), 75-84.