

Potencjał i konsekwencje rolnej produkcji biomasy dla energetyki

Prof. dr hab. Antoni Faber *

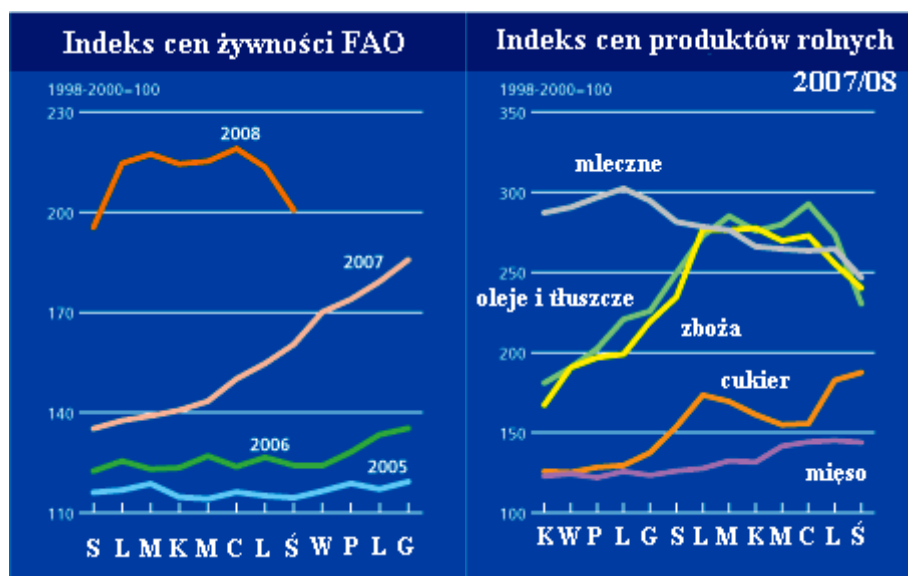
Cyklem 8 artykułów chciałbym otworzyć debatę na temat potencjału i rozmaitych konsekwencji rolnej produkcji biomasy na cele energetyczne. Czy konflikt pomiędzy bezpieczeństwem żywnościowym, a bezpieczeństwem energetycznym jest nieunikniony? Ile użytków rolnych możemy przeznaczyć na plantacje roślin energetycznych i jak wpłynie to na zasoby wodne, gleby, krajobraz, bioróżnorodność? Jakich decyzji UE możemy się spodziewać w najbliższym czasie w związku z powyższymi pytaniami?

1. PRODUKCJA BIOPALIW A CENY PRODUKTÓW ROLNYCH I ŻYWNOŚCI

Wspólna Polityka Rolna (WPR) UE była bardzo skuteczna i przyczyniła się najpierw do wydatnego wzrostu podaży żywności, co pozwoliło społeczeństwom Europy zapomnieć o widmie powojennego głodu, a potem spowodowała powstanie dużych nadwyżek żywności w UE. W związku z zaistniałą sytuacją od czasu reformy *Mac Sharrego* (1992 r.) datuje się systematyczne dążenie WPR do ograniczenia produkcji żywności w UE. Jednym ze sposobów miało tu być obowiązkowe odłogowanie gruntów w krajach starej Unii oraz stymulacja wykorzystania zbędnych użytków rolnych do produkcji na cele nieżywnościowe. Działania takie prowadzono aktywnie, przy aprobacie społecznej, aż do 2007 r.

Skokowy wzrost cen surowców rolnych i związany z nim, trzeci co do wielkości w powojennej historii Europy, wzrost cen żywności, niekiedy nazywany kryzysem żywnościowym (36, 39, 40), nastawił opinię publiczną w Europie i na świecie bardzo krytycznie do produkcji przez rolnictwo surowców na biopaliwa.

Jak kształtowały ceny surowców rolnych na świecie - dane FAO (39, Rysunek 1).



Rysunek 1. Indeks cen żywności i cen produktów rolnych według FAO (2007/2008)

Ekonomiści, politycy oraz opinia publiczna toczą gorące debaty i spory na temat przyczyn sprawczych zaistniałego wzrostu cen. Hipotez jest wiele, ale do ostatecznego wyjaśnienia mechanizmu jest jeszcze daleko. Według poufnej opinii Banku Światowego wzrost cen żywności od stycznia 2002 do lutego 2008 należy przypisać w 75 % zwiększonej produkcji biopaliw płynnych w USA i UE, a wtórnie spadkom zapasów ziarna zbóż i roślin oleistych, dużym zmianom w strukturze użytkowania gruntów, spekulacji oraz gwałtownemu wzrostowi giełdowych kontraktów terminowych (27). Europejski Bank Centralny skłonny jest uważać, że na wzrost cen wpłynęły zmiany w diecie ludności krajów rozwijających się, wzrost cen nośników energii, protekcjonizm w politykach rolnych z jednej strony, z drugiej zaś presja na rynek spowodowana produkcją biopaliw, zwłaszcza w USA (13).

Można opinii tych nie podzielać, ale trzeba się z nimi liczyć. Dlatego, że z powodu zaistniałej sytuacji 36 krajów, według opinii FAO, utraciło wszelkie możliwości rozwiązania swoich problemów żywnościowych i wymaga natychmiastowej pomocy żywnościowej z zewnątrz.

Sytuacja w Polsce nie była tak dramatyczna, ponieważ jesteśmy samowystarczalni żywnościowo prawie w 100 %. W dodatku od 2004 r. mamy dodatnie saldo w obrotach produktami rolno-spożywczymi. Nie ucierpieliśmy więc na wzrostach cen surowców w sposób drastyczny. Jednakże według szacunków Komitetu Wspólnego Międzynarodowego Funduszu Walutowego i Banku Światowego skutek zaistniałych wzrostów cen nasz deficyt handlowy w obrotach produktami rolnymi wzrósł o kwotę równą 1 % PKB (42), czyli o 7 % w stosunku do PKB sektora żywnościowego (1).

Wzrosty cen surowców rolnych i żywność mogą, ale wcale nie muszą się ustabilizować, bądź nawet obniżyć. Tak przynajmniej by wynikało z raportu OECD/FAO, według którego zwiększone zapotrzebowanie na biopaliwa spowoduje fundamentalne zmiany na rynku produktów rolnych i zwiększy ceny wielu z nich od 20 do 50 % do 2017 r. (30). Badania przeprowadzone w IUNG-PIB wykazały, że realizacją Narodowych Celów Wskaźnikowych w odniesieniu do produkcji przez rolnictwo biomasy na cele energetyczne (biopaliwa płynne i stałe) zwiększy ceny podstawowych surowców rolnych w Polsce o 20-50 % do 2020 r. (33). Wynik jest więc zgodny z prognozą OECD/FAO (31).

Wzrosty cen surowców rolnych wywołały panikę w UE i na świecie. Sytuacja jest na tyle poważna, że Przewodniczący KE José Manuel Barroso osobiście (24.04.2008 r.) zlecił wykonanie dodatkowych wyczerpujących analiz i badań zmierzających do określenia wpływu produkcji biopaliw na ceny surowców rolnych i żywności, na rolnictwo oraz jego przyszły rozwój. Podjął taką decyzję wskutek bardzo ostrych nacisków opinii publicznej, która zdała sobie sprawę z tego, że w Europie w latach 2007/08 zapasy żywności się skurczyły, a jej ceny wzrosły. Reakcje opinii publicznej można nazwać paniką, jeśli wziąć po uwagę wzrosty cen żywności, które wg EUROSTATU nie przekroczyły 6,8 % (inflacja 4,3 %) od 04.2007 do 04.2008 r. (1). W Polsce żywność w 2007 r. zdrożała o 4,9 % (inflacja 2,5 %), zaś od początku tego roku tempo wzrostu cen maleje, co sugeruje, że rynek żywnościowy się stabilizuje (1).

Społeczność międzynarodowa, w tym obywatele UE, pilnie śledzi nie tylko wypowiedzi polityków, ale nade wszystko to co się pisze na temat możliwych, choć nie koniecznych, konfliktów między produkcją żywności i biopaliw. Obfitość enuncjacji poważnej prasy, raportów renomowanych instytucji naukowych, opiniotwórczych oraz organizacji pozarządowych jest wyjątkowo duża. Jakby nie oceniać prognoz przyszłych cen surowców rolnych i żywności, rozsądek nakazuje związki pomiędzy produkcją żywności i biopaliw starannie monitorować, zwłaszcza, że analitycy UE nie przewidzieli skoku cen w latach 2007/08 (23, [Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.](#)).

Tabela 1. Światowe ceny surowców rolnych wykorzystywanych do produkcji biopaliw płynnych w latach 2006-2008 oraz ceny prognozowane dla UE na 2020 r. przy dodatku biokomponentów w ilości 10 % do paliw transportowych

Surowiec	Cena według aktualnego kursu walut (zł/t)			
	2006	2007	2008*	2020**
Pszenica	610	591	689	383
Kukurydza	387	482	525	352
Rzepak	1191	1705	bd	689
Słonecznik	1274	1977	bd	1146
Soja	853	1131	1179	646

*-sierpień 2008 r., **- wg. KE (23)

Z badań i symulacji wynika zaś, że przyszłych cen surowców, w tym produktów rolnych, nie da się w sposób wiarygodny prognozować i przewidywać (5).

2. POTENCJALNA POWIERZCHNIA UŻYTKÓW ROLNYCH MOŻLIWA DO PRZEZNACZENIA NA PRODUKCJĘ BIOPALIW ORAZ POTENCJALNE PŁONY ROŚLIN ENERGETYCZNYCH

W tej dziedzinie poszczególni autorzy, ale również środowiska naukowe, ulegały różnorodnym naciskom, co prowadziło do przeszacowywania powierzchni użytków rolnych, które rolnictwo mogłoby przeznaczyć pod produkcję biomasy na cele energetyczne, bez istotnego pogorszenia podstawowej jego funkcji, jaką jest i będzie produkcja żywności. W skrajnych przypadkach szacowano, że w UE-27 i na świecie na produkcję biopaliw można przeznaczyć nawet do 40 % użytków rolnych bez pogorszenia produkcji żywności i szkód dla środowiska (28).

Europa, która nie ma nadmiaru użytków rolnych, w stosunku np. do USA czy Brazylii, łakomym okiem patrzy na kraje, które ciągle jeszcze mają potencjał możliwy do wykorzystania w produkcji biopaliw. Do takich krajów niewątpliwie należy Polska. Mamy około 0,41 ha użytków rolnych przypadających na obywatela, a w starej Unii wartość ta

wynosi zaledwie 0,19 ha. Stąd też Polska była i jest postrzegana jako kraj, który może mieć bardzo znaczący udział w produkcji biomasy na cele energetyczne w UE. Według autorów spoza Polski możemy przeznaczyć na produkcję roślin energetycznych od 1,0 do 4,3 mln ha do 2020 r. (16, 39). Z analiz wykonanych w IUNG PIB wynika, że bez szkody dla produkcji żywności rolnictwo polskie może przeznaczyć do 2020 r. 0,6 mln ha pod produkcję zbóż na bioetanol, 0,4 mln ha pod produkcję rzepaku na biodiesel, oraz 0,5 mln ha pod produkcję biomasy dla potrzeb energetyki zawodowej (25). Dedykowane powierzchnie wystarczą na dodatek bioetanolu i biodiesla w ilości 10 % (w ekwiwalencie energetycznym) do paliw transportowych w 2020 r. oraz na wytworzenie 15 % energii odnawialnej przez energetykę zawodową w 2020 r. Zagwarantowanie pełnego zapotrzebowania energetyki i ciepłownictwa na biomasę, w tym horyzoncie czasowy, wymagałoby przeznaczenia pod wieloletnie plantacje roślin lignono-celulozowych około 1,3 mln ha. W najbardziej optymistycznym wariantcie rolnictwo będzie mogło wyasygnować na ten cel 1,0 mln ha. Oznacza to, że biomasy pochodzenia rolniczego będzie dla energetyki brakowało, przy zakładanym jej udziale wynoszącym 60 % ogółu biomasy potrzebnej do spalań. Deficyt powierzchni może zatem wynieść około 0,3 mln ha.

Możliwości wykorzystania potencjału polskiego rolnictwa, tak w skali kraju, regionów czy baz surowcowych dla poszczególnych agrorafinerii lub zakładów energetycznych, nie da się określić bez analiz prowadzonych w Systemie Informacji Geograficznej. Tylko wtedy można precyzyjnie określić przydatność obszarów (gleb) do produkcji poszczególnych roślin energetycznych. Wyniki takich analiz w odniesieniu do podstawowych rodzajów biomasy potrzebnej na cele energetyczne są ciągle jeszcze zbyt rzadkie (15, 21). Uzyskane dotąd wyniki analiz potwierdzają, powszechnie znaną prawdę, że Polska ze względu na warunki glebowe oraz klimatyczne (zwłaszcza stosunkowo małe opady i ograniczone zasoby wód gruntowych) do krajów o warunkach bardzo sprzyjających produkcji roślin na cele energetyczne zaliczona być nie może (Tabela 2). W dodatku gleb bardzo dobrych i dobrych (bardzo odpowiednich do produkcji roślin energetycznych) mamy zaledwie około 50 %. Gleby te muszą być jednak zachowane dla produkcji żywności i pasz. Wynika stąd, że pod wieloletnie plantacje energetyczne przeznaczane być mogą jedynie gleby gorszej jakości, mniej przydatne do produkcji na cele żywnościowe. Będzie to ograniczało plony biomasy, rzutując w konsekwencji na jej ceny, co jest istotne tak dla rolnika (dochód), jak również dla zakładów energetycznych (cena płacona za biomasę i koszty zielonej energii).

Tabela 2. Potencjalne arealty gruntów przydatnych do produkcji biomasy na cele energetyczne w Polsce (15)

Rośliny	Użyte k	Przydatność gruntów (%)					Plon (t/ha)				Opis
		BP	P	ŚP	MP	NP	BP	P	ŚP	MP	
zielne	UR	33	10	18	0	39	17,1	13,3	9,4	17,1	sm*
krzewiaste	UR	14	37	31	10	7	13,3	10,6	7,2	13,3	sm
zbożowe	GO	34	11	16	4	35	8,6	6,5	4,5	8,6	sm

cukrowe	GO	25	17	14	6	38	8,6	6,7	4,5	8,6	cukier
oleiste	GO	35	11	15	4	34	1,5	1,2	0,8	1,5	olej

UR – Użytki Rolne, GO – Grunty Orne, BP – bardzo przydatne, P – przydatne, ŚP – średnio przydatne, MP – mało przydatne, NP. – nieprzydatne, *-sucha masa

Analizy wykonane w IUNG-PIB z użyciem Systemu Informacji Geograficznej wykazały, że jeśli założyć, iż rośliny na biopaliwa stałe powinny być uprawiane poza obszarami chronionymi i górkami (wysokość > 350 m n.p.m.), w rejonach o rocznej sumie opadów większej niż 550 mm i na glebach mniej przydatnych o poziomie zalegania wód gruntowych do 2 m, to rolnictwo polskie mogłoby przeznaczyć na ten cel potencjalnie około 1, 0 mln ha gleb (21,

Tabela 3).

Potencjał ten nie zawsze można będzie w pełni wykorzystać, ponieważ bazy surowcowe biomasy trzeba będzie lokalizować w jak najbliższym promieniu odległości od agrorafinerii i zakładów energetycznych, żeby ograniczyć koszty logistyki biomasy. Przykładowy kalkulator do optymalnego wyznaczania promienia odległości od zakładów przetwarzających biomasę w zależności od dziennego zapotrzebowania na biomasę, jej plonu oraz przeznaczonych pod uprawę powierzchni użytków rolnych można znaleźć w Internecie (3). Kalkulator ten umożliwi między innymi oszacowanie promienia dla obszaru UR dedykowanego uprawie roślin energetycznych, przy którym nie wystąpi załamanie w produkcji żywności i pasz oraz pogorszenie bioróżnorodności, a prowadzona produkcja przyczyniać się będzie do zwiększenia sekwestracji węgla.

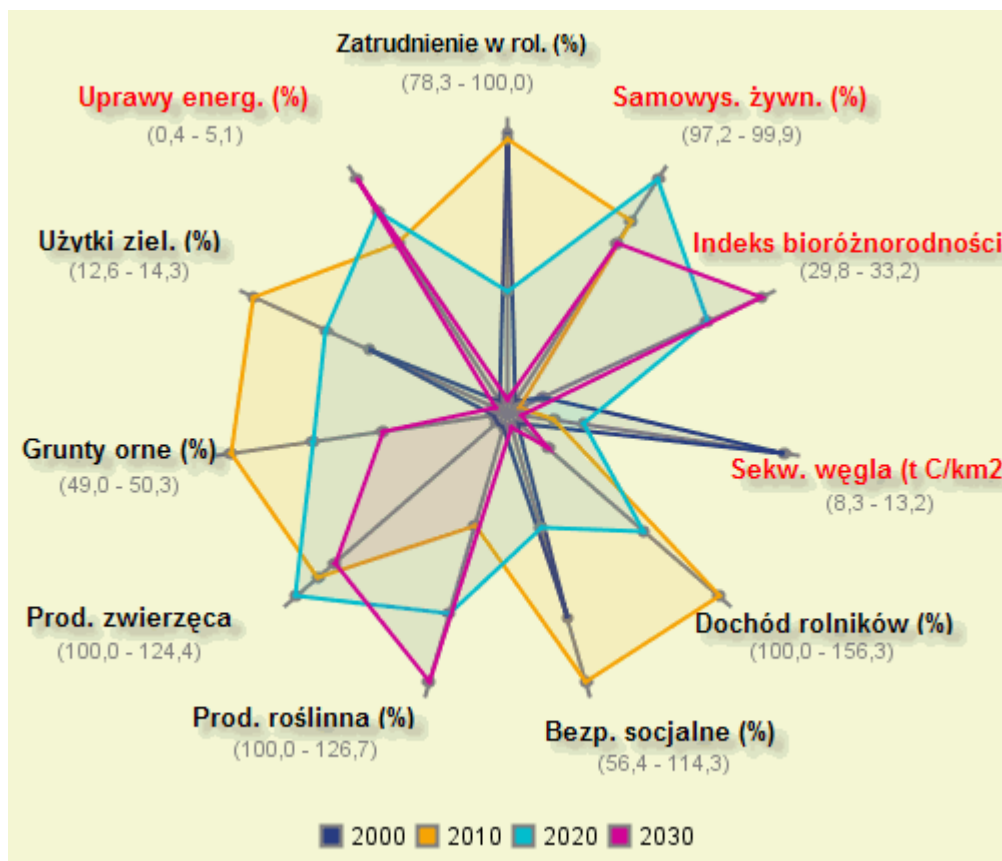
Tabela 3. Potencjalna powierzchnia uprawy roślin energetycznych w Polsce (wierzba, topola, mискant)

Nazwa	Kompleksy rolniczej przydatności gleb (km2)					Powierzchnia kompleksów razem	
	5	6	8	9	3z	km2	% UR
dolnośląskie	297	405	157	4	20	883	6,8
kujawsko-pomorskie	2	75	0	0	4	81	0,6
lubelskie	162	269	0	0	257	688	3,1
lubuskie	103	323	23	20	66	534	6,5
łódzkie	250	428	0	14	111	802	4,9
małopolskie	95	14	39	2	1	151	2,3

mazowieckie	384	303	8	12	346	1052	3,3
opolskie	139	130	139	67	24	499	7,2
podkarpackie	125	594	45	0	158	922	10,3
podlaskie	241	137	5	11	168	562	3,6
pomorskie	100	151	26	12	202	491	3,8
śląskie	224	299	35	6	144	708	9,0
świętokrzyskie	57	142	1	0	20	219	2,3
warmińsko-mazurskie	64	108	68	0	185	426	2,3
wielkopolskie	124	198	1	16	91	429	1,8
zachodnio-pomorskie	285	273	23	15	497	1094	6,5
Ogółem w Polsce	2650	3850	571	177	2293	9541	4,6

W tym miejscu trzeba zastrzec, że stopień realizacja istniejącego potencjału produkcji biomasy w pierwszym rządzie zależy będzie od ewolucji WPR (a potem dopiero warunków organizacyjno-technicznych jego realizacji). Wiele można by na ten temat napisać, ale na potrzeby tego wywodu powinno jako przykład wystarczyć stwierdzenie, że: zmiany w CAP są nieuniknione, a prawdopodobny ich kierunek to postępująca liberalizacja, która będzie zgodna z dążeniami w zakresie kształtowania globalnej polityki rolnej. Co to może oznaczać dla polskiego rolnictwa, rolnika oraz produkcji biomasy - ilustrują wyniki symulacji przeprowadzonych dla horyzontów czasowych 2010, 2020 i 2030 r. (3, 37).

Jeśli rzeczywiście dojdzie do globalnej współpracy to pociągać ona będzie za sobą pełną liberalizację rynku (brak wspomaganie cen produktów i ich eksportu przez CAP), obniżenie (lub nawet zaniechanie) dopłat bezpośrednich, ograniczenie wspomaganie rolnictwa na Obszarach o Niekorzystnych Warunkach, ale za to średnio intensywne wspomaganie produkcji biomasy na cele energetyczne. Efektem takiego rozwoju sytuacji będzie między innymi obniżanie się dochodów i bezpieczeństwa socjalnego rolników. Inne skutki można prześledzić na rysunku (Rysunek 2). Przy takim scenariuszu zmian CAP największe będą, w porównaniu z innymi scenariuszami (3, 37), powierzchnie upraw roślin przeznaczonych pod produkcję biomasy stałej: 2020 – 716 oraz 2030 – 830 tys. ha.



Rysunek 2. Zmiany w Polskim rolnictwie wg. scenariusza Globalnej Współpracy (za 3)

Przeznaczenie pod produkcję roślin energetycznych dość dużych powierzchni gruntów wpłynie w określony sposób na produkcję żywności i pasz. Rozeczenie jakie w tej materii posiadamy jest daleko niewystarczające. Produkcja biomasy zapewniająca osiągnięcie 7,5 % udziału OŹE w produkcji energii pierwotnej (cel na 2010 r.) może zmniejszyć produkcję roślinną w Polsce o 1-4 % (20). Zaś przeznaczenie pod wieloletnie plantacje ligninocelulozowe 830 tys. ha do 2030 r. może zmniejszyć samowystarczalność żywnościową Polski o 3 % (37). Pilnie potrzebne są dalsze intensywne badania w tym zakresie dla różnych scenariuszy produkcji biomasy na cele energetyczne.

3. PAKIET KLIMATYCZNY PRZYGOTOWYWANY DO UCHWALENIA W UE W 2008 R.

Ważkim czynnikiem, który określać będzie w jakiej części potencjał produkcji biomasy będzie wykorzystywany, stanie się z całą pewnością Pakiet Klimatyczny, który powinien być uchwalony jeszcze w tym roku. Projekt dyrektywy regulującej zamierzenia w tym zakresie został opublikowany w styczniu tego roku (11). Dyrektywa ta zakłada, że w UE ma nastąpić do 2020 r.: 20 % zmniejszenie zużycia energii, 20 % redukcja emisji gazów cieplarnianych (GHG), zwiększenie do 20 % udziału energii odnawialnej (OŹE) w energii zużywanej, w tym obligatoryjny we wszystkich krajach wzrost do 10 % dodatku biokomponentów do paliw transportowych.

Debaty i polemiki wokół wyznaczonych celów są tak ostre, że od stycznia do chwili obecnej zgłoszono do projektu 1300 poprawek. Przegląd ważniejszych informacji na temat postępu prac nad przygotowywaniem dyrektywy można znaleźć pod podanym adresem (12).

Najwięcej oporów budzi wyznaczenie jako celu 10 % dodatku biopaliw płynnych do paliw transportowych, w przeważającej ilości pierwszej generacji, oraz niewystarczające sprecyzowanie kryteriów do oceny stopnia zrównoważenia produkcji surowców energetycznych pochodzenia rolniczego. Komisja broni postawionych celów i proponuje jednocześnie przyjęcie ścisłych kryteriów, których spełnienie ma zapewnić zrównoważoną produkcję biopaliw. W sprawie tej KE prowadzi szeroko zakrojone konsultacje społeczne (zakończone 30.09. br.). Z ich wynikami można się będzie zapoznać w Internecie (http://ec.europa.eu/energy/res/consultation/index_en.htm).

W międzyczasie w sprawie dyrektywy wypowiedziała się Komisja ds. Przemysłu i Energii Parlamentu Europejskiego (ITRE), który przytłaczającą większością głosów (50:2) uchwalił swoje stanowisko (01.09.2008) w sprawie daleko idących modyfikacji przyjętych w niej celów (14). ITRE sugeruje, aby do 2015 r. dodatek biokomponentów do paliw transportowych został ustanowiony na poziomie 5 %, w tym 80 % paliw 1-szej generacji i 20 % paliw wytwarzanych z surowców nie konkurujących z produkcją żywności (energia elektryczna, wodór, paliwa 2-giej generacji produkowane z biomasy odpadowej, lignino-celulozowej oraz glonów). Obligatoryjny cel na 2020 r. powinien być zachowany (10 %), z tym, że w jego spełnieniu 40 % stanowić winny biopaliwa nie konkurujące z produkcją żywności (nie pogarszające bezpieczeństwa żywnościowego i bioróżnorodności), w tym głównie energia elektryczna, wodór, paliwa 2-giej generacji wytwarzane z biomasy odpadowej, lignino-celulozowej oraz glonów. Proponowane modyfikacje nie mogą wpłynąć na realizację zasadniczego celu jakim pozostaje doprowadzenie w UE do 20 % udziału energii z OZE w energii zużywanej w 2020 r. Jednocześnie Komitet zalecił zaostrzenie kryteriów, które będą musiały spełnić biopaliwa płynne. Od chwili wprowadzenia dyrektywy powinna to być 45 % redukcja emisji GHG, w stosunku do paliw konwencjonalnych (KE chciałaby aby wskaźnik redukcji wynosił 35 %), a od 2015 r. redukcja powinna wynosić co najmniej 60 %. ITRE domaga się również wprowadzenia dodatkowych kryteriów społecznych (poszanowania prawa do posiadania ziemi oraz prawa do sprawiedliwej zapłaty) oraz wzywa KE do ustanowienia i narzucenia bezpośrednich kar na Kraje Członkowskie, które nie spełnią obligatoryjnych celów pośrednich oraz celów na 2020 r., które zostaną określone w uchwalonej dyrektywie.

Przyjęcie Pakietu Klimatycznego pogorszy zdecydowanie i tak trudną sytuację w Polsce w dziedzinie emisji GHG. Jest ona trudna po pierwsze dlatego, że energetyka w Polsce oparta jest na węglu, a więc sporo emitujemy GHG, zaś KE obcięła nam limit emisji z 284,6 mil ton (wniosek rządu) do 208,5 mln ton na lata 2008-2013. Uderzy to mocno w Polską gospodarkę, a przede wszystkim energetykę, której zmniejszono limit emisji tych gazów o 12,5 % (luty 2008). Realizacja Pakietu Klimatycznego obciąży dodatkowo budżet Polski kosztami rządu 30-50 mld zł rocznie.

4. EMISJA GAZÓW CIEPLARNIANYCH (GHG) DO ATMOSFERY W TRAKCIE PRODUKCJI I WYKORZYSTYWANIA BIOPALIW

Obawa o negatywne wpływy upraw energetycznych na środowisko jest drugim zasadniczym, po wpływie produkcji surowców bioenergetycznych na bezpieczeństwo żywnościowe i ceny surowców rolnych oraz żywności, przedmiotem debat i polemik w UE i na świecie. Obawy te potęgowane są najnowszymi publikacjami, które poddają w wątpliwość domniemania, że biopaliwa płynne pierwszej generacji (bioetanol i biodiesel z surowców tradycyjnie produkowanych przez rolnictwo) przyczyniać się będą do zmniejszenia efektu cieplarnianego (redukcji emisji GHG) w stopniu, który wcześniej zakładano. Opinia publiczna jest więc zawiedziona i zbulwersowana faktem, że za biopaliwa płynne trzeba będzie więcej płacić, a wyrzeczenie to nie przyniesie oczekiwanych korzyści ekologicznych. Reakcje takie nie mogą dziwić, jeśli poważne instytucje snują dywagacje na temat „Biopaliwa: czy lekarstwo jest gorsze od choroby?” (10).

W ostatnim czasie głośnym echem na świecie odbiła się publikacja laureata Nagrody Nobla Paula Crutzena, który w sposób prosty wykazał, że produkcja paliw płynnych pierwszej generacji ze zbóż i rzepaku może przyczyniać się do ocieplenia klimatu, czyli mieć działanie odwrotne do zamierzonego (9). W szacunkach uwzględnił on jedynie emisję podtlenku azotu, związaną z produkcją tych paliw, oraz zaoszczędzoną emisję CO₂ w porównaniu z paliwami konwencjonalnymi (Tabela 4). Wskaźniki Meq/M większe od jedności wskazują, że produkcja i wykorzystanie biopaliw przyczyniać się będzie do ocieplenia klimatu. Z przedstawionych szacunków wynika, że jedynie bioetanol produkowany z trzciny cukrowej powodować będzie zmniejszenie efektu cieplarnianego.

Tabela 4. Względne ocieplenie klimatu wynikające z emisji N₂O w stosunku do oszczędności emisji CO₂ w porównaniu z paliwami konwencjonalnymi w zależności od zawartości azotu w roślinach (9)

Roślina	N g kg s.m.	Względny wskaźnik ocieplenia	Biopaliwo
Rzepak	39	1,0-1,7	biodiesel
Pszenica	22	1,3-2,1	bioetanol
Jęczmień, owies	19	1,1-1,9	bioetanol
Kukurydza	15	0,9-1,5	bioetanol
Trzcina cukrowa	7,3	0,5-0,9	bioetanol
Liście buraka	25	1,5-2,4	bioetanol
Rośliny korzeniowe	16	0,9-1,6	bioetanol
Pastewne (mało N)	15	0,9-1,5	bioetanol
Pastewne (dużo N)	27	1,6-2,6	bioetanol
Wierzba*	5,0/38,6	0,65	zrębki
Miskant*	6,3/11,2	0,34	sieczka
Ślazier*	2,7/35,3	0,73	sieczka

*obliczenia wykonał A. Faber, 2008 wg. metody Crutzen i in.

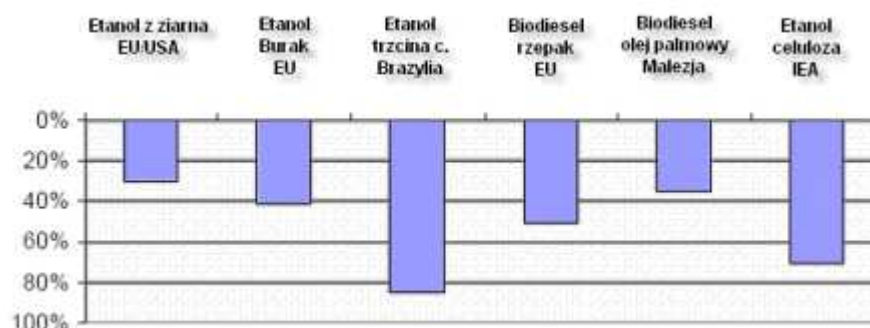
Crutzen w swojej pracy podkreśla, że pełniejszą ocenę skutków środowiskowych produkcji i wykorzystania biopaliw może dać jedynie zastosowanie analizy ich cyklu życia –

LCA (Life Cycle Assessment). Jest to metoda oceny co najmniej: bilansu energetycznego, emisji gazów cieplarnianych, eutrofizacji, zakwaszenia, ekotoksyczności, toksyczności dla człowieka oraz działania rakotwórczego. Prowadzi się ją w pełnym łańcuchu produkcji i wykorzystania określonego produktu. W przypadku biopaliw od wyprodukowania materiału rozmnożeniowego, poprzez zabiegi uprawowe, zbiór, transport, budowę i wykorzystywanie instalacji do przetwarzania biomasy, proces konwersji do energii, aż po zagospodarowanie odpadów powstających w procesie jej produkcji.

Analiz LCA przeprowadzono wiele, tu przytoczone zostaną wyniki szeroko zakrojonych badań biopaliw, w których zastosowano zmodyfikowaną metodę LCA, pozwalającą rozpatrywać zależność pomiędzy emisją gazów cieplarnianych, a oddziaływaniem środowiskowym podczas ich produkcji (wyrażonym jednym uniwersalnym wskaźnikiem) (42, Rysunek 3).

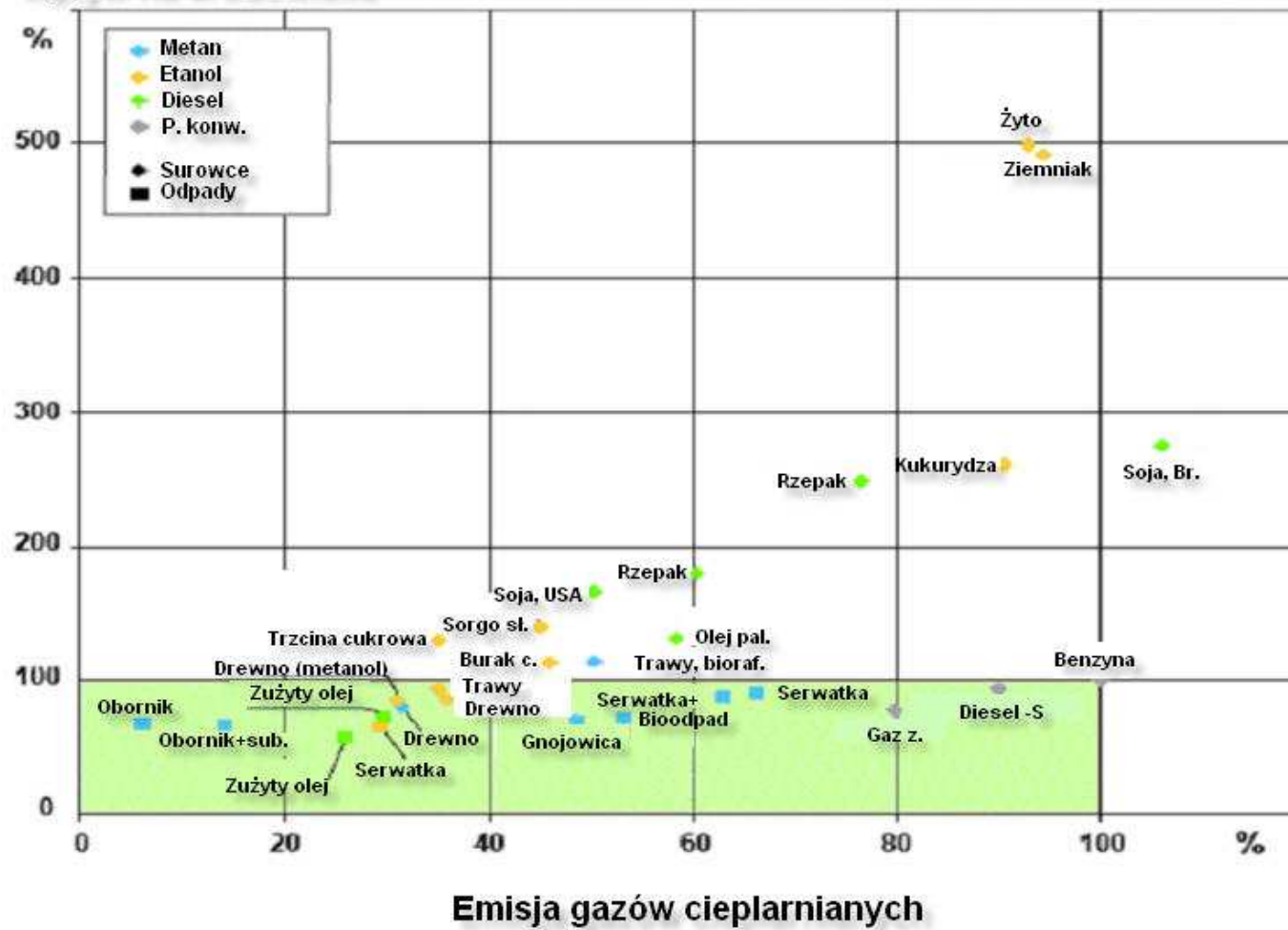
Wyniki analiz przedstawiono w wartościach względnych, przyjmując skutki środowiskowe wykorzystywania benzyny za 100 %. Większość przebadanych biopaliw charakteryzowała się gorszym wpływem na środowisko niż benzyna. Etanol z kukurydzy (USA) charakteryzował się niekorzystnym wpływem na środowisko, etanol z trzciny cukrowej i buraków miały wpływ tylko nieco lepszy od benzyny. Biodiesel miał, z wyjątkiem produkowanego ze zużytego oleju, generalnie negatywny wpływ na środowisko. Biopaliwa produkowane z drewna miały wyraźnie korzystniejszy wpływ na środowisko niż benzyna, co uzasadnia celowość dążenia do uruchomienia produkcji paliw 2-giej generacji.

Jeśli wprowadzony zostanie obligatoryjny wymóg, aby biopaliwa płynne redukowały emisję GHG o 45 % w stosunku do paliw konwencjonalnych według wyników analiz LCA, to spełnienie tego warunku będzie bardzo trudne lub wręcz niemożliwe (przy obecnych technologiach) w przypadku bioetanolu ze zbóż i buraka cukrowego (19, **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**). Warunek ten spełnić może produkcja tego biokomponentu z trzciny cukrowej i roślin lignino-celulozowych. Postawionego wymagania nie spełni także produkcja biodiesla z oleju palmowego, zaś produkcja tego biokomponentu z rzepaku będzie na granicy wymagań.



Rysunek 4. Redukcja emisji GHG z biopaliw płynnych określona w stosunku do benzyny i oleju napędowego (100 %) metodą LCA „well-to-wheels” (%)

Wpływ na środowisko



Rysunek 3. Emisja GHG z biopaliw na tle ogólnego wskaźnika wpływu na środowisko (benzyna=100%) (42)

Podsumowując najnowsze oceny wpływu produkcji i wykorzystania biomasy na zmiany klimatu można stwierdzić, że wpływy korzystne mogą być znacznie mniejsze niż wcześniej sądzono, przynajmniej w odniesieniu do paliw płynnych 1-szej generacji. Według tych wyników rolnictwo i przemysł powinny się już dzisiaj nastawiać na produkcję i przetwarzanie biomasy lignino-celulozowej pochodzącej z wieloletnich plantacji lokalizowanych na gruntach rolnych.

5. WPLYW UPRAWY ROŚLIN ENERGETYCZNYCH NA GLEBY

W uprawach roślin energetycznych pewna ilość zasymilowanego przez rośliny węgla trafia do gleby wraz z opadającymi liśćmi oraz obumierającymi korzeniami. Ponad 80 % tej ilości przekształcana jest w CO₂ w procesie oddychania gleby (trafia on do atmosfery), zaś pozostała część ulega stopniowemu przekształcaniu w próchnicę. Proces ten określany jest mianem sekwestracji węgla. Zależy on od warunków klimatycznych, składu granulometrycznego gleby oraz początkowej zawartości próchnicy w glebie. W uprawach roślin energetycznych sekwestracja węgla zachodzi w powierzchniowej warstwie profilu glebowego (do 10 cm). Czasem jednak ten przyrost zawartości węgla równoważony jest spadkiem jego ilości głębszych poziomach gleby (23). Sekwestracja węgla może nie zachodzić w ogóle w przypadku lokalizowania plantacji wierzby i topoli na użytkach zielonych. W takich przypadkach notowano nawet spadki zawartości węgla w glebie dochodzące do 15 % (23). Sekwestracja węgla w uprawach miskanta zależała od składu granulometrycznego gleby oraz wieku plantacji. Wahala się ona w zakresie od 0,78 do 1,13 t C ha⁻¹ r⁻¹ w 100 cm warstwie gleby (18). Przekształcenie gruntu ornego w plantację wierzby dawało sekwestrację węgla rzędu 0,55 - 0,83 t C ha⁻¹ r⁻¹ (25). Do zapewnienia w procesie spalania biomasy neutralności pod względem emisji GHG wystarcza sekwestracja węgla w wieloletnich plantacjach roślin energetycznych (wierzby) rzędu 0,25 t C ha⁻¹ r⁻¹ (36).

Wielkość sekwestracji węgla w glebie w uprawach roślin energetycznych ma istotne znaczenie dla ogólnego bilansu węgla, a co za tym idzie bilansu emisji gazów cieplarnianych. Z analiz LCA wynika, że emisja gazów cieplarnianych w uprawach wierzby i miskanta, jest znacznie mniejsza niż w uprawach rzepaku, użytków zielonych i pszenicy (8,

Tabela 5). Wynika stąd, że uprawy te będą charakteryzować się dodatnim bilansem węgla i ograniczaniem efektu cieplarnianego, co potwierdzają wyniki przedstawione przez Zaha i in. (42) i Fabera (2008, niepub.). Wzrost zawartości węgla w glebie na tych plantacjach przyczynia się pośrednio również do poprawy: tekstury gleby, pojemności wodnej oraz żyzności (32).

Tabela 5. Całkowita emisja gazów cieplarnianych dla różnych roślin (ekwiwalenty t C ha⁻¹ r⁻¹) (8)

Roślina	Emisja
Rzepak	0,550
Wierzba	0,114
Miskant	0,131
Las	0,031
Użytek zielony	0,492
Pszenica (uprawa konwencjonalna)	0,583
Pszenica (uprawa uproszczona)	0,572

Wieloletnie plantacje roślin energetycznych charakteryzują się znacznie większą efektywnością wykorzystywania azotu w porównaniu z tradycyjnymi uprawami rolniczymi. Współczynnik wykorzystania azotu osiągać może w ich przypadku wartość 0,85 (30), podczas gdy dla tradycyjnych upraw rolniczych rzadko jest większy od 0,50. Zwiększona efektywność pobierania azotu sprawia, że w nie nawożonych uprawach wierzby wymywanie azotanów zmniejsza się o około 25 kg ha⁻¹ r⁻¹ w porównaniu z intensywnie użytkowanymi gruntami ornymi (27). Pod odrosty pierwszoroczne zaleca się stosować nawożenie azotem w dawkach do 100 kg ha⁻¹ w przypadku wierzby oraz do 88 kg ha⁻¹ w przypadku miskanta (19). Są to dawki, które wystarczająco chronią wody gruntowe przed zanieczyszczeniem azotanami. Bowiem nawet przy nawożeniu wierzby dawkami 220-244 kg ha⁻¹ maksymalne wymycie azotanów wynosiło 9,7 kg ha⁻¹ (2). Według tych badań nawożenie wierzby dawkami 160-190 kg N nie będzie powodować znaczącego wymycia azotu. Nieco większe wymycie azotanów może być notowane w uprawach miskanta. W przypadku nawożenia tej rośliny dawkami 0, 60 i 120 kg N ha⁻¹ wymycie azotu w trzecim roku uprawy wynosiło odpowiednio: 3, 11 i 30 kg N ha⁻¹ (7). Tak więc wymycie azotu z racjonalnie nawożonych trwałych plantacji roślin energetycznych będzie mniejsze niż z tradycyjnych upraw rolniczych (30-60 kg N ha⁻¹).

Zdolności wierzby do efektywnego pobierania azotu i innych składników mineralnych od dawna wykorzystywane SA do fitoremediacji zanieczyszczonych wód i gleb.

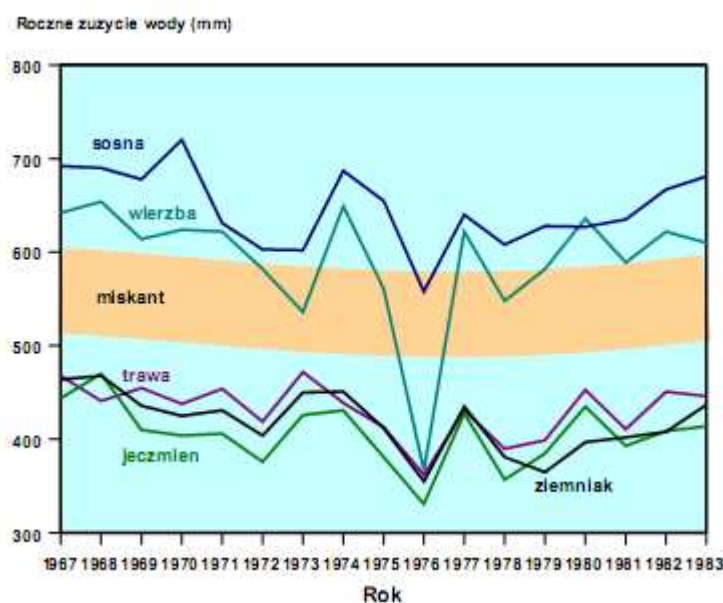
6. WPŁYW UPRAWY ROŚLIN ENERGETYCZNYCH NA WYKORZYSTYWANIE ZASOBÓW WODY

Wieloletnie uprawy roślin energetycznych produkują z reguły większe ilości biomasy od tradycyjnych roślin uprawnych, dlatego mają większe od nich wymagania wodne (17, Rysunek 4). Roczne zużycie wody przez wierzbę waha się w granicach 550-650 mm w okresie wegetacji, zaś miskanta 510-600 mm (17). Oznacza to, że w warunkach Polski koniecznym będzie lokalizowanie upraw tych roślin na gruntach o zwierciadle wody gruntowej powyżej 2 m. W takich warunkach rośliny uzupełniać będą niewystarczające ilości opadów, pobierając do 200 mm wody z wód gruntowych. Może to obniżać poziom zalegania płytkich wód gruntowych nawet o 1 m.

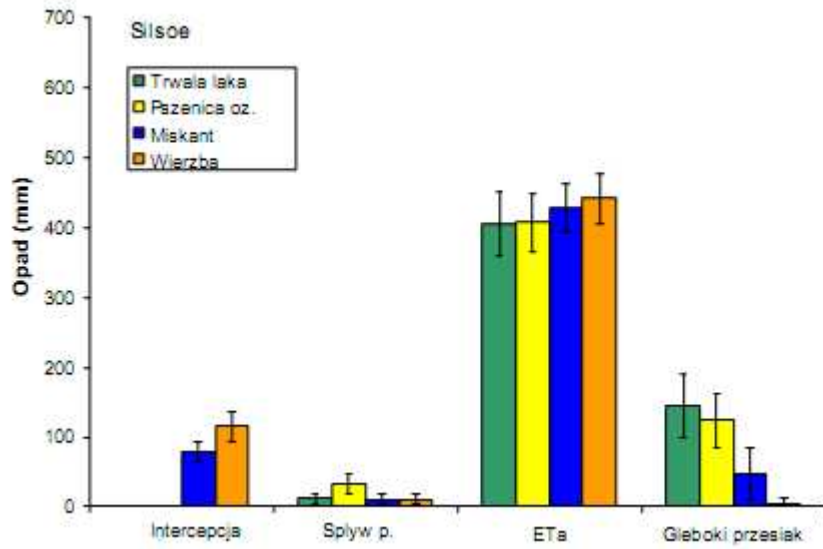
W rozdysponowaniu opadów na plantacjach roślin energetycznych uwagę zwraca zwłaszcza wysoka intercepcja opadu przez wierzbę i miskanta, mały spływ powierzchniowy wody oraz znikoma infiltracja wody w głąb profilu (17, Rysunek 5). W konsekwencji oznacza to, że przy wielkoobszarowych nasadzeniach tych roślin należy się liczyć ze zmniejszonym zasilaniem wód gruntowych przez opady. Jest to przesłanka, która nakazuje potrzebę dogłębnego analizowania skutków hydrologicznych takich nasadzeń w obrębie poszczególnych zlewni, ale również kraju. W Polsce na przeważającym obszarze mamy do czynienia z ujemnym klimatycznym bilansem wody (Rysunek 6).

Bilans ten wskutek spodziewanych zmian klimatu może się jeszcze pogorszyć, od -10 % przy scenariuszu optymistycznym do -50 % przy scenariuszu pesymistycznym (Rysunek 7).

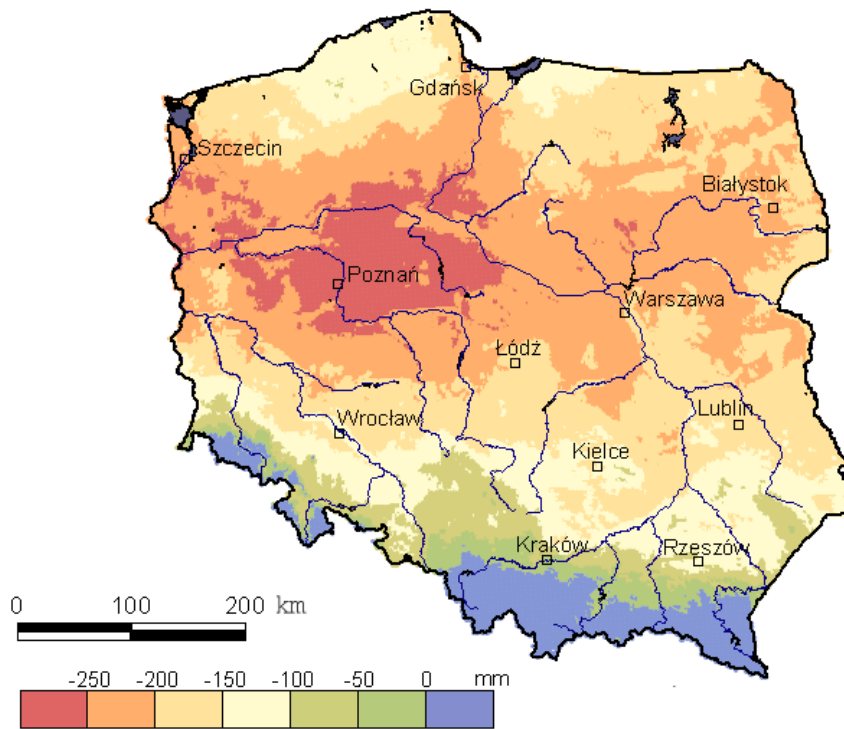
Nakazuje to potrzebę wielkiej rozważliwości w lokalizacji plantacji roślin energetycznych. Spodziewać się należy, że niekorzystne warunki wodne ograniczą będą wielkość arealów wieloletnich upraw roślin energetycznych w Polsce do około 1 mln ha (21).



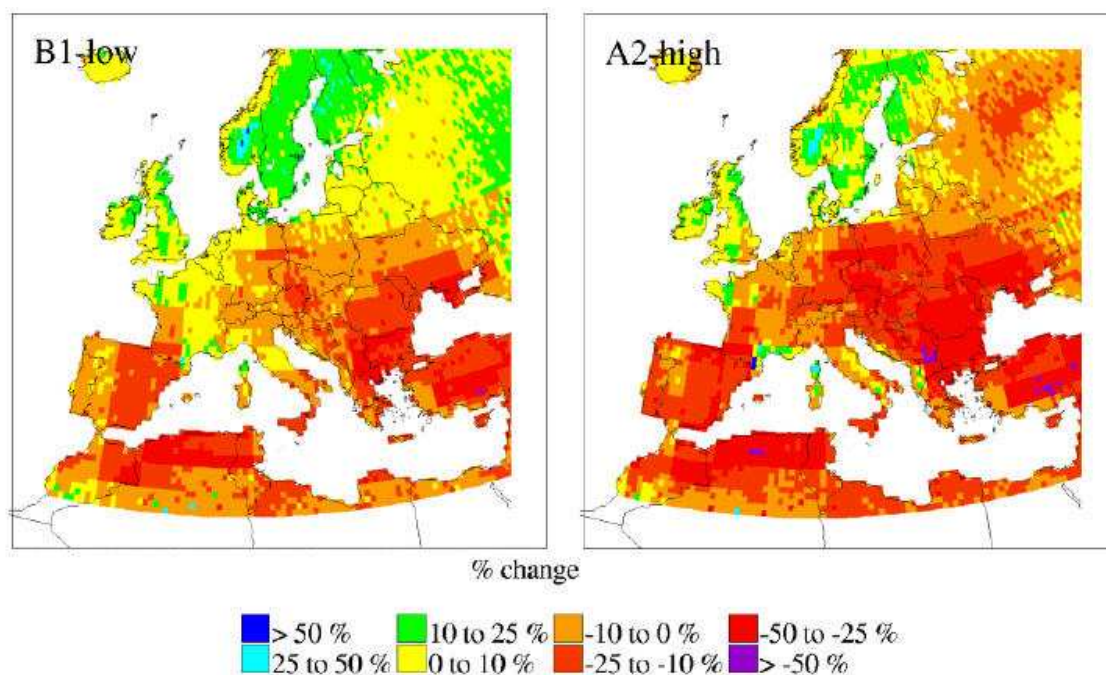
Rysunek 4. Zużycie wody w sezonie wegetacyjnym przez rośliny wykorzystywane na cele energetyczne



Rysunek 5. Rozdyśponowanie opadów w różnych uprawach (17)



Rysunek 6. Wieloletni klimatyczny bilans wodny od kwietnia do września (IUNG-PIB)



Rysunek 7. Spodziewane zmiany w bilansie wodnym w 2050 r. w związku ze zmianami klimatu (wg. IPCC)

7. WPŁYW UPRAW ROŚLIN ENERGETYCZNYCH NA BIORÓŻNORODNOŚĆ ORAZ KRAJOBRAZ

Najwięcej obaw związanych z wielkoobszarowymi nasadzeniami roślin energetycznych, obok zczyerpywania zasobów wód, budzi ich potencjalny wpływ na bioróżnorodność. W świetle dostępnej literatury są to obawy przynajmniej częściowo bezzasadne.

Stosunkowo dobrze rozpoznany został wpływ uprawy wierzby na bioróżnorodność. Według badań Cunningham i in. (za 32) uprawa ta przyczyniała się do wzrostu bogactwa występującej flory w porównaniu z gruntami ornymi. W okresie czteroletnich badań na plantacjach tej rośliny występowało 133 gatunków roślin, a na porównywalnych powierzchniach gruntów ornych 97 gatunków. W konkluzji tych i innych przeprowadzonych badań sądzić więc można, że plantacje wierzby zwiększać będą bogactwo gatunkowe flory w stosunku do gruntów ornych (za 32).

Najwięcej obaw dotyczących wpływu na bioróżnorodność odnosi się do zmniejszenia liczby występujących gatunków ptaków. Są to obawy, jak wynika z przeprowadzonych badań, raczej bezzasadne. Uprawa wierzby miała generalnie pozytywny wpływ na bioróżnorodność ptaków (3, 33). Bogactwo gatunkowe ptaków na plantacjach tej rośliny było na wiosnę wyraźnie większe (3,1 ptaka ha⁻¹), niż na gruntach ornych (0,8 ptaka ha⁻¹) oraz użytkach zielonych (1,6 ptaka ha⁻¹). Jakkolwiek zgodzić się trzeba z tezą, że wierzba stwarza dla ptaków gorsze siedliska w porównaniu z leśnymi siedliskami naturalnymi lub półnaturalnymi, wilgotnymi miedzami i ekstensywnymi użytkami zielonymi.

Mniejsze zużycie pestycydów w uprawach wierzby i duża liczba związanych z tą uprawą gatunków roślin przyczynia się do wzrostu bioróżnorodności bezkręgowców w porównaniu z

gruntami ornymi (za 32). Uwaga ta odnosi się również do większej obecności i bogactwa gatunkowego motyli. Uprawy wierzby są również atrakcyjniejszym siedliskiem dla małych ssaków, płazów i gadów w porównaniu z typowymi uprawami na gruntach ornym (za 32).

Bardzo skąpa jest literatura odnosząca się do wpływu uprawy miskanta na bioróżnorodność. Z bardzo wstępnych badań może wynikać, że uprawa tej rośliny będzie stwarzać gorsze siedliska dla flory i fauny niż uprawa wierzby (za 32).

Wielkoobszarowe monokultury wieloletnich roślin energetycznych będą miały wyraźnie negatywny wpływ na walory estetyczne krajobrazu rolniczego (32). Zmniejszą jego mozaikowate bogactwo. Ze względu na wysokość roślin, dochodząca w przypadku miskanta do 3 m, zaś trzyletniej wierzby od 5-7 m, stwarzać będą wizualne bariery ograniczające otwartość krajobrazu rolniczego. Ponieważ gleby o wysokim zwierciadle wód gruntowych położone są z reguły w dolinach rzecznych, to lokalizowanie tam wieloletnich plantacji roślin energetycznych, co jest wymuszone ich potrzebami wodnymi, pogorszy walory krajobrazowe tych dolin. Ze względów oczywistych plantacje roślin energetycznych nie powinny być lokalizowane na obszarach cennych przyrodniczo.

W podsumowaniu można stwierdzić, że z dotychczasowych badań wynika, iż wpływy na środowisko takich upraw energetycznych jak wierzba i miskant są korzystniejsze, albo przynajmniej nie gorsze, niż w przypadku tradycyjnych upraw rolnych (

Tabela 6). Istnieje jednak potrzeba dalszych intensywnych badań w tym zakresie.

Tabela 6. Porównanie wpływu upraw na środowisko (32)

Roślina/ Wpływ na środowisko	Wierzba	Miskant	Pszenica, rzepak, burak cukrowy
Sekwestracja węgla	+	+	+/-
Wym. azotu i erozja	+++	++	+/-
Fitoremediacja	+++	N	N
Walory wizualne	-	-	+/-
Bioróżnorodność ptaków	++	-	+/-
Bioróżnorodność roślin	++	+/-	+/-
Bioróżnorodność bezkręgowców	++	+/-	+/-
Bilans energii i węgla	+++	+/-	+

8. PODSUMOWANIE ARTYKUŁÓW 1-7

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że UE prawdopodobnie zaostrzy wymagania stawiane przed uprawami roślin na cele energetyczne. Po pierwsze wymagać się będzie, aby uprawy te nie konkurowały z produkcją na cele żywnościowe oraz nie zmniejszały bezpieczeństwa żywnościowego. Po wtóre wymagać się będzie, aby spełniały one dość rygorystyczne wymagania dotyczące zrównoważonej produkcji i energetycznego wykorzystania biomasy, aż po obowiązek wykonywania analiz LCA dla produkcji i przetwarzania surowców rolnych na paliwa płynne. Jeśli KE uwzględni postanowienia Komitetu ITRE Parlamentu Europejskiego, to z chwilą wejścia w życie dyrektywy w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych systematycznemu ograniczeniu ulegać będzie produkcja biopaliw płynnych 1-szej generacji.

Z dotychczasowych badań wynika, że wieloletnie plantacje roślin lignino-celulozowych w porównaniu z tradycyjnymi uprawami wykorzystywanymi do produkcji biopaliw płynnych (tj. pszenica, kukurydza, burak cukrowy czy rzepak) charakteryzują się: lepszymi bilansami energii i węgla, większą sekwestracją węgla w glebie, mniejszym wymywaniem azotu z gleby, lepszymi właściwościami fitoremediacyjnymi (wierzba), zbliżoną lub większą bioróżnorodnością roślin, bezkręgowców oraz ptaków. Plantacje tych roślin mogą mieć natomiast, w przypadku nadmiernego udziału w strukturze użytkowania gruntów oraz niewłaściwego lokalizowania plantacji, ujemny wpływ na bilans wodny gleb oraz warunki hydrologiczne w zlewniach, jak również na wizualne walory krajobrazu.

* **Prof. dr hab. Antoni Faber** - pracownik Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, doradca naukowy firmy konsultingowej Bio-Energia (<http://bio-energia.pl>) specjalizującej się w organizacji i zarządzaniu wieloletnimi dostawami biomasy z produkcji rolnej dla energetyki zawodowej.

9. CYTOWANA LITERATURA

1. Ani Chińczycy, ani biopaliwa. 2008. http://mini.wp.pl/artykuly/artukul/id=10401677_bp=2,s=7.
2. Aronsson P. G., Bergstrom L. F. 2001. Nitrate leaching from lysimeter grown short-rotation willow coppice in relation to N-application, irrigation and soil type. *Biomass & Bioenergy*, 21: 155-164.
3. Berg A. 2002. Breeding birds in short-rotation coppice on farmland in central Sweden – the importance of Salix height and adjacent habitats. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 90: 265-276.
4. Bio-Energia. 2008. Kalkulator promienia. <http://www.bio-energia.pl>.
5. Biomass Technology Group. 2008. Sustainability Criteria and Certification Systems for Biomass Production. http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/bioenergy/sustainability_criteria_and_certification_systems.pdf.

6. Chen Y., Rogoff K., Rossi B. 2008. Where are commodity prices headed next? Look at exchange rates. <http://www.voxeu.org/index.php?q=node/1631>.
7. Christian D. G., Riche A. B. 1998. Nitrate leaching losses under Miscanthus grass planted on a silty clay loam soil. *Soil Use Manage.*, 14: 131-135.
8. Clair S. St., Hilier J., Smith P. 2008. Estimating the pre-harvest greenhouse gas cost of energy production. *Biomass & Bioenergy*, 2008 (w druku).
9. Crutzen P. J., Mosier A. R., Smith K. A., Winiwarter W. 2007. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 7, 11191–11205, 2007. <http://www.atmos-chem-physdiscuss.net/7/11191/2007/acpd-7-11191-2007-print.pdf>.
10. Doornbosch R., Steenblik R. 2007. Biofuels: is the cure worse than the disease? Round Table on Sustainable Development. <http://www.oecd.org/dataoecd/9/3/39411732.pdf>.
11. DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (przedstawiona przez Komisję) {KOM(2008) 30 wersja ostateczna}. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0019:FIN:PL:PDF>.
12. EuroActiv. 2008. Biofuel-makers denounce target downgrade. <http://www.euractiv.com/en/transport/biofuel-makers-denounce-target-downgrade/article-175298>.
13. European Central Bank. 2008. Monthly Bulletin. June 2008. <http://www.ecb.int/pub/pdf/mobu/mb200806en.pdf>.
14. European Parliament. 2008. More sustainable energy in road transport targets. http://www.europarl.europa.eu/news/expert/infopress_page/064-36659-254-09-37-911-20080909IPR36658-10-09-2008-2008-false/default_en.htm.
15. Fischer G., Hizsnyik E., Prieler S., van Velthuisen H. 2007. Assessment of biomass potentials for biofuels feedstock production in Europe: Methodology and results. <http://www.refuel.eu/uploads/media/Refuel-D6-Jul2007-final6.pdf> - P.
16. Gańko E. 2008. Dostępne grunty oraz odpowiadający im potencjał produkcji upraw energetycznych w perspektywie 2020. *Pamiętnik Puławski* (w druku).
17. Hall R. L.: 2003. Grasses for energy production hydrological guidelines. <http://www.berr.gov.uk/files/file14946.pdf>.
18. Hansen E. M., Christensen B. T., Jensen L. S., Kristense K. 2004. Carbon sequestration in soil beneath long-term Miscanthus plantations as determined by ¹³C abundance. *Biomass & Bioenergy*, 2004, 26: 97-105.
19. Hilton P.: *Growing short rotation coppice, best practice guidelines*. DEFRA, 2002.
20. IEA. 2006. *World Energy Outlook 2006*. Chapter 14. The Outlook for Biofuels, OECD Publications. Paris.
21. Ignaciuk A., Vöhringer F., Ruijs A., van Ierland E. C. 2006. Competition between biomass and food production in the presence of energy policies: a partial equilibrium analysis. *Energy Policy*, 34, 1127–1138.
22. Jadczyzyn J., Faber A., Zaliwski A. 2008. Wyznaczanie obszarów potencjalnie przydatnych do uprawy wierzby i ślazuwca pensylwańskiego na cele energetyczne w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 11, 55-65.

23. Jug A., Makeshin F., Rehfuess K. E., Hoffman-Schielle C. 1999. Short rotation plantations of balsam poplars, aspen and willow on former arable land in the Federal Republic of Germany. III. Soil ecological effects. *For Ecol. Manage.*, 121: 85-99.
24. KE. 2007. The impact of minimum 10 % obligation for biofuels use in the EU-27 in 2020 on agricultural markets. http://www.biofuelstp.eu/downloads/070829_impact_assess_EU.pdf.
25. King J. A., Bradley R. I., Harrison R., Carter A. D. 2004. Carbon sequestration and saving potential associated with changes to the management of agricultural soils in England. *Soil Use Manage.*, 20: 394-402.
26. Kuś J., Faber A. 2007. Alternatywne kierunki produkcji roślinnej. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 7, 139-149.
27. Makeschin F. 1994. Effects of energy forestry on soils. *Biomass & Bioenergy*, 6: 63-79.
28. Mitchell D. 2008. A note on rising food prices. <http://image.guardian.co.uk/sys-files/Environment/documents/2008/07/10/Biofuels.PDF>.
29. Nielsen J. B. H., Oleskowicz-Popiel P., Al Seadi T. 2007. Energy crop potentials for bioenergy in EU-27. http://web.sdu.dk/bio/JHN_paper_07.pdf.
30. Nonhebel S.: Energy yields in intensive and extensive biomass production systems. *Biomass & Bioenergy*, 2002, 22: 159-167.
31. OECD-FAO. *Agricultural Outlook 2008-2017*. 2008. <http://www.fao.org/es/ESC/common/ecg/550/en/AgOut2017E.pdf>.
32. Rowe R. L., Street N. R., Taylor G. 2007. Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in UK. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2007 (w druku).
33. Sage R. B., Cunningham M., Boatman N. 2006. Birds in willow short-rotation coppice compared to other arable crops in central England and review of bird census data from energy crops in England. *Ibis*, 148: 184-197.
34. Stuczyński T., Łopatka A., Faber A., Czaban P., Kowalik M., Koza P., Korzeniowska-Paculek R., Siebielec G. 2008. Prognoza wykorzystania przestrzeni rolniczej dla produkcji roślin na cele energetyczne. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 11, 25-42.
35. Trojan C. 2008. Climate Change, Agriculture and Trade. <http://www.agritrade.org/events/documents/Trojan2008.pdf>.
36. Volk T. A., Verwijst T., Tharakan P. J., Abrahamson L. p., White E. H. 2004. Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crop. *Front. Ecol. Environ.*, 2, 8, 411-418.
37. von Braun J., Sheeran J., Namanga N. 2008. Responding to the Global Food Crisis: Three Perspectives. <http://dx.doi.org/10.2499/0896299201AR0708E>.
38. Wageningen University. 2007. EA scenario study on Europe's Rural Area to support policy discussion.
39. Wiesenthal T., Mourelaou A., Petersen J. E. Taylor P. 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2006_7/en.
40. Wikipedia. 2008. World food price crisis. http://en.wikipedia.org/wiki/Food_crisis.
41. World Food Situation: High Food Prices. Food Price Indices. 2008. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/FoodPricesIndex/en>.

42. Zah R., Bön H., Gauch M., Hischer R., Lehmann M., Wäger P. 2007. Life Cycle Assessment of Energy Products: Environmental Assessment of Biofuels — Executive Summary, EMPA – Materials Science & Technology, Federal Office for Energy (BFE), Bern, 2007, p.161
http://www.bioenergywiki.net/images/8/80/Empa_Bioenergie_ExecSumm_engl.pdf.
43. Żywność jest już zbyt droga. 2008. <http://www.rp.pl/artykul/120241.html>

Adres do korespondencji:

Prof. dr hab. Antoni Faber

Antoni.Faber@bio-energia.pl