

# Artykuły

DIONIZY NIEZGODA

Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża JP II  
Biała Podlaska

## OPŁACALNOŚĆ SUBSTYTUCJI NAWOZÓW MINERALNYCH ŚRODKAMI OCHRONY ROŚLIN W PROCESIE PRODUKCJI ROŚLINNEJ

### Abstrakt

*W opracowaniu dokonano ekonomicznej oceny opłacalności substytucji czynników zmiennych, tj. nawozów mineralnych (SE295) środkami ochrony roślin (SE300) w procesie produkcji roślinnej towarowych gospodarstw rolnych w Polsce.*

*Podstawą analizy był model funkcji produkcji Cobba-Douglasa ukierunkowany na analizę substytucji czynników. W roku 2010 badana próba liczyła 8 583, a w 2011 – 8 378 towarowych gospodarstw rolnych.*

*Z ekonomicznego punktu widzenia korzystne dla poprawy efektywności produkcji roślinnej w towarowych gospodarstwach rolnych było zastępowanie nawożenia mineralnego środkami ochrony roślin. W roku 2010 było to wynikiem trzykrotnie wyższej (3,01) stopy transformacji czynnika środków ochrony roślin w bioprodukt roślinny. W roku 2011 ten stosunek wynosił 2,65 na korzyść środków ochrony roślin. Im większa różnica między tymi stopami, tym wyższa jest ekonomiczna efektywność substytucji między substytutami.*

**Słowa kluczowe:** funkcja produkcji Cobba-Douglasa, zrównoważony rozwój, substytucja, czynniki zmienne, nawozy mineralne, środki ochrony roślin, gospodarstwa towarowe, produkcja roślinna, bioprodukt

### Wprowadzenie

Substytucja, zdaniem M.E. Portera, przejawia się we wszystkich gałęziach gospodarki i tworzących je przedsiębiorstwach, których częścią składo-

wą są również towarowe gospodarstwa rolne. Substytucja wykorzystywana jest w analizach poziomych i pionowych produktów, czynników produkcji, a także technologii produkcji (Porter M.E., 2006). Ogólnie biorąc, mechanizm substytucji jest pomocny w podejmowaniu racjonalnych decyzji przez konsumentów oraz przedsiębiorców.

Zdaniem wspomnianego autora, substytucja m.in.: „jest jedną z determinant poziomu rentowności gałęzi; pozwala ustalić najwyższy poziom cen w gałęzi; wpływa na poziom podaży czynników i popyt na produkty; 4) substytuty umożliwiają obniżenie wielkości zabezpieczeń osiągniętej pozycji rynkowej przez przedsiębiorstwo czy gałęzie produkcji” (Porter M.F., 2006).

Według M.E. Portera, „Substytucja to zjawisko polegające na tym, że jeden produkt zaczyna być wykorzystywany przez nabywcę do realizacji określonych funkcji zamiast innego” (Porter M.F., 2006). Definicja ta zawęża zakres substytucji do doskonałych substytutów, eliminując niedoskonałe.

Mechanizm substytucji pełni ważną rolę w kształtowaniu efektywności towarowych gospodarstw rolnych (Nieżgoda D., 1986, 2011). Dzieje się tak dlatego, że w tych gospodarstwach dominuje model rolnictwa industrialnego, bardzo korzystnego, gdy występuje niedobór podaży bioproduktów względem popytu na nie. Stanowi on próbę naśladowania kryteriów celu działalności przedsiębiorstw przemysłowych oraz ich technik wytwarzania. Wadą tego modelu, gdy pojawia się nadwyżka podaży nad popytem, jest nadeksploatacja zasobów przyrodniczych, kreowanie kosztów zewnętrznych oraz stosowanie technologii o udziale niektórych czynników zmiennych powyżej potrzeb produktów roślinnych (Kopiński J., Tujaka A., 2010), co w dłuższym okresie czasu będzie pogarszało efektywność gospodarstw rolnych. Efektywność produkcji między innymi ogranicza uczestnictwo gospodarstw w strukturze rynku, określanej jako konkurencja doskonała<sup>1</sup>. Mechanizm tej struktury rynku obniża akumulację kapitału.

Innym rodzajem ograniczenia efektywności w rolnictwie są wydatki służące zachowaniu dobrostanu biosfery. W tym przypadku indywidualny interes rolnika ustępuje społecznemu, co przejawia się m. in. wdrażaniem zasad zrównoważonego rozwoju (Rogall H., 2010). Teoria ta bazuje na równoważności trzech płaszczyzn:

- społeczno-kulturowej, która powinna być oceniana w oparciu o kryterium słuszności społecznej,
- przyrodniczej, której zadaniem jest dobrostan biosfery,
- ekonomiczności określonej przez stopy transformacji czynników w produkty.

Jednak „nasilający się proces globalizacji i konkurencji na rynkach rolniczożywnościowych prowadzi do wzmocnienia preferencji ekonomicznej sprawności rolnictwa nad pozostałymi obszarami. Jest to związane z konfliktem konkurencyjności ekonomicznej i społecznej” (Zegar J.S., 2011).

---

<sup>1</sup> „Gałąź produkcyjną, w której wszyscy producenci są cenobiorcami, nazywamy gałęzią doskonale konkurencyjną” (Krugman P., Wells R., 2012).

Z celem pracy i konkurencyjnością ekonomiczną związana jest jedna z zasad ekonomii zrównoważonego rozwoju – „zasada mocnej trwałości: poszczególne rodzaje kapitałów są komplementarne wobec siebie, a nie substytucyjne” (Kiełczewski D., 2012). Wyklucza ona niezależne i substytucyjne związki między rodzajami kapitału.

Odmienne stanowisko względem związków substytucyjnych między rodzajami kapitału prezentuje wielu autorów (Krugman P., Wells P., 2012; Toffler A.M., 1996; Samuelson P.A., Nordhaus W.D., 2004; Allen R.G.D., 1961). „Wszystkie dobra mogą być substytutami, ale nie wszystkie mogą być dobrami komplementarnymi” (Allen R.G.D., 1961).

Moim zdaniem, między poszczególnymi rodzajami kapitału mogą występować zarówno związki komplementarne, jak i substytucyjne czy niezależne. Te same czynniki mogą być substytutami w płaszczyźnie ekonomicznej rywalizując o udział w budżecie, co prowadzi do zmian technik wytwarzania. W płaszczyźnie przyrodniczej te same czynniki uzupełniając się umożliwiają uzyskanie bioproduktu na poziomie zbliżonym do potencjału produkcyjnego danej odmiany. Brak choćby jednego z czynników powoduje, że bioprodukt nie będzie wyprodukowany, dlatego też podważa się w aspekcie przyrodniczym możliwość substytucji „poszczególnych rodzajów kapitału”. Uwaga ta w płaszczyźnie przyrodniczej odnosi się do badanych czynników kapitałowych.

Z powyższego wynika, że tak jak trzy płaszczyzny w teorii zrównoważonego rozwoju tworzą pewną całość, tak samo w każdej z nich mogą występować innego rodzaju związki między tymi samymi czynnikami produkcji, co umożliwi uzyskanie bioproduktu zgodnego z ustalonymi ich cechami. Ponadto w środowiskach przyrodniczych między gatunkami roślin oraz między gatunkami zwierząt występują różnego rodzaju związki, w tym także związki o charakterze substytucyjnym (konkurencyjnym).

Przedstawione wyżej stanowiska kilku autorytetów z zakresu ekonomii i teorii zrównoważonego rozwoju uzasadniają celowość ekonomicznej analizy związków konkurencyjnych między badanymi czynnikami produkcji.

### **Cel, zakres i metodyka badań**

Celem badań jest ocena opłacalności substytucji między rodzajami kapitału tj. nawozami mineralnymi w zł oraz środkami ochrony roślin w zł w procesie produkcji roślinnej realizowanym w towarowych gospodarstwach rolnych w Polsce.

Badania przeprowadzono w 2010 i 2012 roku. Uwzględnienie w tej analizie substytucyjnej zależności między dwoma czynnikami zmiennymi pozwoli na określenie poziomu korzyści ekonomicznej w krótkich okresach, to znaczy jednego roku. Będzie to sprzyjać podejmowaniu przez rolników racjonalnych decyzji dotyczących zmian udziału czynników w procesie produkcji roślinnej.

Badań dokonano na podstawie w pełni wiarygodnych danych liczbowych ustalonych w oparciu o te same podstawy metodyczne w każdym z analizowanych lat. W 2010 roku badaniami objęto 8 583, a w 2011 roku 8 378 towarowych gospodarstw rolnych prowadzących proces produkcji roślinnej na terenie Polski. Dane liczbowe udostępnione przez Polski FADN wskazują na celowość posłużenia się oznaczeniami cech zgodnymi z tym systemem, zwłaszcza że obowiązuje on w Unii Europejskiej. Wpływa to również na wzrost komunikatywności wyników badań.

Ponadto zestawiono dane statystyczne dotyczące poziomu sprzedaży nawozów mineralnych i środków ochrony roślin w Polsce od roku 1999/2000 do 2010/2011. Posłużyło to do określenia dynamiki zmian popytu na analizowane czynniki produkcji w rolnictwie jako gałęzi produkcji.

W badaniach substytucji między zmiennymi czynnikami produkcji przyczyniającymi się bezpośrednio do wzrostu produkcji roślinnej posłużono się następującymi metodami badawczymi:

- 1) studiami literaturowymi, głównie z zakresu mikroekonomii oraz teorii rozwoju zrównoważonego, a także konkurencji doskonałej;
- 2) modelem funkcji produkcji<sup>2</sup> typu Cobba-Douglasa ukierunkowanej na analizę substytucji czynników.

Funkcje Cobba-Douglasa określono dla następujących cech według nomenklatury FADN:

*SE135* – produkcja roślinna w zł,

*SE025* – powierzchnia użytków rolnych (UR) w ha,

*SE295* – nawozy mineralne w zł,

*SE300* – środki ochrony roślin w zł.

Estymacji parametrów funkcji Cobba-Douglasa dokonano przy pomocy programu statystycznego GRETL.

Z wykazu ww. cech uwzględnionych w modelu funkcji wynika, że pominięto część czynników, co wpłynęło ograniczająco na ocenę korzyści skali w procesie produkcji roślinnej. Kryterium korzyści skali jest wykorzystywane jedynie w celach porównawczych. Nie stanowi to istotnej przeszkody w analizie substytucji między *SE295* i *SE300*, przy przeciętnej powierzchni UR w badanych latach i ustalonej średniej wartości *SE135*.

Podstawowym założeniem substytucyjnego związku między *SE295* i *SE300* było ich konkurowanie o poziom udziału w budżecie przeznaczonym na potrzeby procesu produkcji roślinnej w gospodarstwach.

Ważne znaczenie metodyczne ma to, że czynniki *SE295* i *SE300* ulegają w całości transformacji w produkt w ciągu jednego roku.

---

<sup>2</sup> „Teoria przedsiębiorstwa ujęta jest – przy pomocy funkcji produkcji oraz równań produktywności krańcowej – jako konsekwencja maksymalizacji zysku. Zysk, produkcja i nakłady są mierzalnymi elementami tej teorii i możliwe jest szacowanie występujących między nimi zależności, które stanowią empiryczny odpowiednik równań stworzonych przez teorię ekonomii” (Klein L.R., 1965).

Metoda funkcji Cobba-Douglasa umożliwia racjonalny wybór kierunku substytucji między czynnikami produkcji, a w szczególności zamianę czynnika o niższej stopie transformacji tym o wyższej<sup>3</sup>. Najczęściej celowe jest zastępowanie czynników o wyższych cenach bliskimi substytutami o cenach niższych, co sprzyja obniżaniu kosztów produkcji<sup>4</sup>.

W analizie związków substytucyjnych między czynnikami produkcji wykorzystano również metody analizy jakościowej, a także poziomej i pionowej. Umożliwiły one ocenę uzyskanych wyników badań w oparciu o metodę porównawczą.

Podstawą zmian technik wytwarzania są innowacje wdrażane przez rolników w oparciu o mechanizm substytucji. Innowacyjny charakter mają badane czynniki zmienne będące agregatami składającymi się w przypadku SE295 z różnych rodzajów nawozów mineralnych, a w odniesieniu do SE300 z bardzo zróżnicowanych środków ochrony roślin.

Oceny opłacalności różnych proporcji substytutów dokonano przy pomocy wskaźnika opłacalności ich kombinacji w warunkach *ceteris paribus*.

Wytypowane gospodarstwa należą do grupy najsprawniejszych i najskuteczniejszych, dlatego sformułowane na ich podstawie możliwości poprawy opłacalności produkcji roślinnej będą użyteczne w dłuższym okresie, zwłaszcza w gospodarstwach o słabszej konkurencyjności.

### Wyniki badań

Badane czynniki produkcji przyczyniają się bezpośrednio do wzrostu produkcji roślinnej w danym cyklu produkcyjnym, Czynniki ziemi zapewnia warunki wzrostu produkcji roślinnej. Nie są one jednak wystarczające aby zapewnić wysoki poziom plonów roślin. Dlatego wspomaga się glebę nawozami mineralnymi oraz tworzy się korzystniejsze warunki do wzrostu roślin przy pomocy środków ochrony roślin. Skalę zapotrzebowania rolników w Polsce na nawozy mineralne (SE295) ilustrują dane liczbowe zestawione w tabeli 1.

Dane w tabeli 1 wskazują, że w roku 2010/2011 względem 1999/2000 nastąpił wzrost popytu na nawozy mineralne o 13,41%. Dynamika tego wzrostu była stosunkowo niska, co świadczy o pewnej stabilizacji ich wykorzystywania w procesie produkcji roślinnej towarowych gospodarstw rolnych.

Istotnie odbiega od tej ogólnej tendencji stosowanie nawozów azotowych. Zwiększenie popytu na ten rodzaj nawozów w roku 2010/2011 względem poziomu bazowego (1999/2000) wyniosło 46,07%. Spowodowało to zmianę pro-

<sup>3</sup> „Mogłoby się wydawać, że poprawa efektywności działania za pomocą wzrostu efektów lub redukcji nakładów ma równorzędne znaczenie. W rzeczywistości dążenie do poprawy efektywności działania za pomocą redukcji nakładów może prowadzić oraz zazwyczaj prowadzi do zmniejszenia udziału sprzedawcy w rynku”(Allen R.G.D., 1961).

<sup>4</sup> „Substytuty – para dóbr, dla których wzrost ceny jednego z nich pociąga za sobą wzrost popytu na drugie” (Krugman P., Wells R., 2012).

porcji między azotem, fosforem i potasem oraz niekorzystnie wpłynęło na poziom efektywności nawozów mineralnych względem pozostałych czynników wzrostotwórczych.

Tabela 1

**Zużycie nawozów mineralnych lub chemicznych oraz wapniowych w przeliczeniu na czysty składnik na 1 ha użytków rolnych w kg w Polsce.**

Lata	Wyszczególnienie				
	Ogółem	w tym:			nawozy wapniowe
		nawozy azotowe	nawozy fosforowe	nawozy potasowe	
1999/2000	85,8	48,4	16,7	20,7	95,1
2001/2002	83,2	51,0	18,9	23,3	94,1
2004/2005	102,4	56,3	20,4	25,7	91,5
2008/2009	117,9	68,0	23,3	26,6	32,9
2009/2010	114,6	66,3	22,7	25,6	38,2
2010/2011	126,6	70,7	26,4	29,5	36,8
Dynamika wzrostu w %	13,41	13,27	14,37	12,96	3,56

Źródło: Rocznik statystyczny rolnictwa 2012 r., GUS, Warszawa, 2012.

Znaczny udział w naszym kraju gleb o słabej jakości kompleksu sorpcyjnego powoduje wypłukiwanie nawozów, co jest główną przyczyną obniżenia się ich stopy transformacji w bioprodukty roślinne. Inną przyczyną niższej efektywności nawożenia jest na przykład łączenie się fosforu z tlenkami glinu oraz żelaza. Skutkiem tych reakcji chemicznych jest słaba rozpuszczalność powstałych związków w wodzie i ich dostępność dla roślin (Ilnicki p., 2004). Nadmiar azotu jest bardzo szkodliwy dla całej biosfery. Rolnicy dążący do maksymalizacji zysku przyczyniają się więc do degradacji środowiska przyrodniczego z uwagi na „1) kwaśne deszcze, 2) eutrofizację, 3) propagację, czyli rozszerzanie się niebezpiecznych związków w środowisku oraz 4) przesuszanie spowodowane brakiem wody” (Heijman W. i in., 1997).

Innym czynnikiem zmiennym są środki ochrony roślin (SE300). Popyt na ten czynnik w Polsce ilustrują dane zestawione w tabeli 2.

Z danych zamieszczonych w tej tabeli wynika, że sprzedaż środków ochrony roślin w Polsce w stosunku do nawozów mineralnych cechowała się wysoką dynamiką wzrostu. Popyt na SE300 względem roku bazowego (2000) w roku 2011 zwiększył się o 37,73%. Jedną z przyczyn tej dynamiki jest duże różnicowanie tego czynnika produkcji (tab. 2.) oraz stymulowanie zapotrzebowania na nowe rodzaje środków ochrony roślin. Na przykład wzrost nawożenia azotowego zwiększa podatność na wyleganie zbóż i aby mu przeciwdziałać trze-

ba stosować tzw. regulatory wzrostu. W tym przejawia się komplementarność między różnymi rodzajami środków ochrony roślin, ujmowana w płaszczyźnie przyrodniczej.

Tabela 2

**Sprzedż środków ochrony roślin w Polsce w tonach masy towarowej**

Wyszczególnienie	2000	2002	2005	2009	2011	2012
Ogółem	22 164	26 578	41 135	49 761	51 613	58 736
Owadobójcze	2 533	1 439	1 917	3 390	2 945	3 320
Grzybobójcze i zaprawy	4 686	7525	9 915	13 531	12 867	13 557
Chwastobójcze	13 233	14 970	24 455	28 035	30 228	35 948
Regulatory wzrostu	*	2 296	2 483	3 058	3 014	3 227
Gryzoniobójcze	53	109	249	146	147	95
Pozostałe	1 659	239	2 116	1 601	2 412	2 589

\* Brak danych

Źródło: Rocznik statystyczny rolnictwa 2012. GUS, Warszawa, 2012.

Zużycie poszczególnych rodzajów *SE300* było zróżnicowane bardziej niż *SE295*. Najwyższy popyt w badanym okresie był na środki grzybobójcze, zaprawy oraz środki chwastobójcze.

Zróżnicowany asortyment środków ochrony roślin potwierdza wysoki poziom intensywności wprowadzania innowacji produktowych i dostosowanych do nich innowacji procesowych w gospodarstwach rolnych.

Zaskakująco niski jest przyrost zapotrzebowania na środki owadobójcze, co pośrednio wskazuje na zmniejszanie się populacji owadów. Jest to szczególnie groźne dla produkcji roślinnej, konieczna staje się zatem ochrona owadów.

Ogólnie biorąc, nadmiar nawożenia mineralnego i środków ochrony roślin względem potrzeb przyczynia się do degradacji użytków rolnych i dynamicznego wzrostu kosztów zewnętrznych, co pogarsza społeczną efektywność produkcji roślinnej i ogranicza tempo wzrostu tej gałęzi gospodarki.

Uwarunkowania prowadzenia działalności przez towarowe gospodarstwo rolne w systemie gospodarki rynkowej znajdują odzwierciedlenie w uzyskanych przez nie przychodach, a także poniesionych kosztach. Wpływają na to stosunki konkurencyjne między czynnikami produkcji a także produktami. Poziom użytych czynników produkcji oraz ich produktywność całkowitą w procesie produkcji roślinnej badanych gospodarstw zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3 informuje, że w badanych latach nie uległa istotniejszej zmianie powierzchnia użytków rolnych (*SE025*), a zatem czynnik wzrostu stopnia koncentracji ziemi nie wpłynął na poprawę ujętych wartościowo wyników produkcyjnych w badanych gospodarstwach (*SE135*). Potwierdza to minimalnie zróżnicowany poziom współczynnika zmienności *SE025* w badanych latach.

Tabela 3

**Statystyczna charakterystyka badanych cech w towarowych gospodarstwach rolnych w roku 2010 i 2011**

Symbol cechy wg Polski FADN	Jedn. miary	2010 rok		2011 rok	
		Średnia arytmetyczna	Współczynnik zmienności	Średnia arytmetyczna	Współczynnik zmienności
SE135	zł	100 278,0	1,61	115 559,0	1,57
SE025	ha	36,3	1,18	36,4	1,17
SE295	zł	17 904,3	1,64	20 784,6	1,59
SE300	zł	7 762,0	2,07	8 261,4	1,95

Źródło: Dane liczbowe: Polski FADN. Obliczenia własne.

W analizowanym okresie obserwuje się wzrost wydatków na składniki kosztów zmiennych tj. *SE295* i *SE300*, dowodząc racjonalności postępowania rolników z ich punktu widzenia. Przy tym zmienność wymienionych cech między badanymi latami była stosunkowo niewielka, co pośrednio wykazuje stabilizację stosowanych technologii oraz struktury produkcji w towarowych gospodarstwach rolnych.

Potencjał produkcyjny jest ważny, ale o jego efektywności decyduje produktywność analizowanych czynników, będąca odzwierciedleniem umiejętności zarządzania nimi. Pomocna w tym będzie analiza oszacowanych funkcji Cobba-Douglasa w badanych latach.

Modele funkcji Cobba-Douglasa wyrażające zależność między poziomem produkcji roślinnej (*SE135*) a powierzchnią użytków rolnych (*SE025*), nawozów mineralnych (*SE295*), i środków ochrony roślin (*SE300*) przybrały w poszczególnych latach następującą postać:

Rok 2010:

$$SE135 = 5,0176 \cdot SE025^{0,2056} \cdot SE295^{0,1501} \cdot SE300^{0,4704}$$

$$P \quad \quad \quad 0,0000 \quad \quad \quad 0,0000 \quad \quad \quad 0,0000$$

$$R^2 = 0,7060$$

Rok 2011:

$$SE135 = 5,4539 \cdot SE025^{0,3102} \cdot SE295^{0,1505} \cdot SE300^{0,3986}$$

$$P \quad \quad \quad 0,0000 \quad \quad \quad 0,0000 \quad \quad \quad 0,0000$$

$$R^2 = 0,7534$$

Współczynnik determinacji świadczy o tym, że stopień wyjaśnienia przyczyn zmienności zmiennej zależnej był dosyć wysoki biorąc pod uwagę, że w równaniu tym pominięto inne istotne czynniki oddziałujące na poziom produkcji roślinnej w badanych gospodarstwach rolnych, o czym już wspomniano. Wysoki stopień prawdopodobieństwa współczynników regresji potwierdza dopasowanie funkcji produkcji do zbioru danych liczbowych charakteryzujących badane gospodarstwa. W funkcji Cobba-Douglasa współczynniki regresji są zarazem miernikami elastyczności produkcji (*SE135*) względem poszczególnych zmiennych niezależnych (*SE025*, *SE0295* i *SE300*).

Z oszacowanych równań wynika również, że w krótkim okresie dokonała się zmiana stóp transformacji badanych czynników w produkt (*SE135*). Najniższa stopa transformacji czynnika w produkt odnosiła się do nawożenia mineralnego (*SE295*). Należy więc sądzić, że stosowanie tego czynnika jest bliskie nasyceniu i z ekonomicznego punktu widzenia jego dalsza intensyfikacja nie jest celowa. Z kolei współczynnik elastyczności produkcji (*SE135*) względem środków ochrony roślin (*SE300*) był wysoki. Oznacza to, że celowe było zwiększanie ich stosowania, ponieważ cechowały się wysoką stopą transformacji w produkt (*SE135*). Jej poziom obniżył się w roku 2011 w stosunku do roku 2010, co było spowodowane zwiększeniem intensywności użycia tych środków oraz negatywnych skutków nadmiaru stosowania nawożenia mineralnego.

Z dokonanej analizy wynika, że ograniczone zasoby badanych czynników produkcji zostały wykorzystane przez tych rolników, dla których były one najbardziej cenne, bo przyczyniły się do wzrostu produkcji (*SE135*).

Względy merytoryczne oraz analiza statystyczna aproksymowanych modeli funkcji Cobba-Douglasa uzasadniają dokonanie przy ich pomocy analizy substytucji między czynnikami *SE295* i *SE300*. Wstępem do tej analizy jest ocena zróżnicowania udziału zmiennych niezależnych w kształtowaniu poziomu zmiennej niezależnej (tab. 4.).

Tabela 4

**Poziom i struktura elastyczności produkcji roślinnej (*SE135*) względem czynników *SE025*, *SE295* i *SE300* w badanych gospodarstwach rolnych w Polsce w latach 2010 i 2011**

Łączny poziom współczynników elastyczności produkcji badanych czynników	Udział czynników produkcji w ogólnej wartości współczynnika elastyczności produkcji w %		
	<i>SE025</i>	<i>SE295</i>	<i>SE300</i>
	2010 rok		
0,8593	36,10	17,51	46,39
	2011 rok		
0,8321	24,71	18,76	56,53

Źródło: Obliczenia własne. Dane liczbowe: Polski FADN.

Z tabeli 4 wynika, że badane zależności między *SE135* a *SE025*, *SE295* i *SE300* charakteryzowały się niekorzyścią skali, co jest związane głównie z pominięciem części czynników biorących udział w tym procesie produkcji oraz rozpatrywanym krótkim okresem. W badanym przedziale czasu mogła być dokonana jedynie zmiana poziomu czynników zmiennych, tj. *SE295* i *SE300*, oraz wyniku produkcji (*SE135*) dzięki zwiększeniu ich produktywności. Innym źródłem zmian korzyści skali może być wzrost cen produktów, albo spadek cen czynników zmiennych wykorzystywanych w towarowych gospodarstwach rolnych, bądź też wprowadzenie innowacji.

Z tabeli 4 wynika również, że poziom elastyczności produkcji względem danego czynnika nie oznacza automatycznie wysokiego jego udziału w uzyskanym poziomie produkcji (*SE135*). Na przykład niewielkie obniżenie współczynnika elastyczności produkcji względem czynnika *SE295* spowodowało wzrost jego udziału w kształtowaniu poziomu produkcji. Nasuwa się w związku z tym uwaga, że nadal struktura techniki wytwarzania nie była racjonalna. Jedną z przyczyn zróżnicowanego udziału czynników w kształtowaniu poziomu *SE135* była niższa wartość współczynnika łącznej elastyczności produkcji w roku 2011 niż w 2010.

Powyższe spostrzeżenia uzasadniają celowość obliczenia przeciętnej i krańcowej produktywności badanych czynników produkcji (tab. 5).

W analizowanym okresie wzrosła przeciętna produktywność ziemi (*SE025*) oraz środków ochrony roślin (tab. 5). Z kolei produktywność krańcowa zwiększyła się w przypadku ziemi (*SE025*), a obniżyła w odniesieniu do czynników zmiennych.

Szczególnie niekorzystne było zmniejszenie produktywności krańcowej nawozów mineralnych (*SE295*) poniżej jedności, co pogarsza efektywność produkcji roślinnej w badanych gospodarstwach.

Tabela 5

**Produktywność przeciętna i krańcowa badanych czynników produkcji (*SE025*, *SE295* i *SE300*) w grupie towarowych gospodarstw rolnych w Polsce w latach 2010 i 2011.**

Rodzaj czynnika	Jednostka miary	Produktywność przeciętna badanych czynników w latach:		Produktywność krańcowa badanych czynników w latach:	
		2010	2011	2010	2011
<i>SE025</i>	zł/ha	2 760,20	3 176,44	567,50	985,02
<i>SE295</i>	zł/ha	5,60	5,56	0,87	0,84
<i>SE300</i>	zł/ha	12,92	13,99	6,08	5,58

Źródło: Obliczenia własne. Dane liczbowe: Polski FADN.

Związki substytucyjne między czynnikami produkcji służą wdrażaniu różnego rodzaju innowacji do procesów produkcyjnych realizowanych w gospo-

darstwach rolnych. Z reguły zastępowanie jednego czynnika drugim w celu zaspokojenia tej samej potrzeby prowadzi do zmian w technikach wytwarzania. Na przykład, zastosowanie nawozów wieloskładnikowych zmniejsza pracochłonność i energochłonność procesów wytwarzania bioproduktów. Substytucja czynników i procesów technologicznych na ogół dokonywana jest wtedy, gdy przyczynia się do obniżenia kosztów jawnych produkcji albo zmniejszenia uciążliwości pracy ludzkiej.

Zmiany w strukturze czynników produkcji dokonywane przy pomocy substytucji świadczą o przedsiębiorczej postawie producentów rolnych, co powoduje przyspieszenie wdrażania w gospodarstwach postępu technicznego, będącego podstawą postępu ekonomicznego. W wyniku przedsiębiorczych zachowań rolników w sferze produkcji i wymiany możliwe jest osiągnięcie przy nich krótkookresowej przewagi konkurencyjnej oraz zysku nadzwyczajnego. Substytucja w sferze podaży stanowi więc ważny mechanizm rozwoju towarowych gospodarstw rolnych (Niezgodna D., 2011). Potwierdzeniem tej tezy są równania izokwant dla roku 2010 oraz 2011:

Rok 2010:

$$SE300 = \left( \frac{SE135}{5,0176 \cdot SE025^{0,2056} \cdot SE295^{0,1561}} \right)$$

Rok 2011:

$$SE300 = \left( \frac{SE135}{5,4539 \cdot SE025^{0,3102} \cdot SE295^{0,1551}} \right)$$

Równania regresji umożliwiają obliczenie współrzędnych izokwant wyznaczonych w oparciu o czynniki  $SE295$  oraz  $SE300$  przy przeciętnej wartości  $SE025$  w badanych latach i produkcji roślinnej ( $SE135$ ). Wartość zmiennej zależnej ustalono na podstawie równania regresji przy średnim poziomie zmiennych niezależnych. W roku 2010 wyniosła ona 98 545,53, zł, a w 2011 – 115 860, 70 zł. Wyniki analizy substytucji czynnika  $SE295$  cechą  $SE300$  przedstawiono w tabeli 6.

Z tabeli tej wynika, że proporcje między badanymi czynnikami ulegały zmianom, co oznacza zarazem zróżnicowanie między nimi stóp substytucji. W przypadku stosowania niskiego poziomu nawożenia wskazane było zapewnienie najlepszych warunków dla wzrostu roślin przy pomocy środków ochrony roślin, i odwrotnie. Każdy punkt na izokwancie oznacza inną wartość krańcowej stopy substytucji, a zarazem szeroki zakres alternatywnych technik wytwarzania i ich adaptacji do warunków konkretnego gospodarstwa. Potwierdza to zróżnicowany poziom wskaźnika opłacalności zamieszczonego w tej tabeli.

Tabela 6

**Współrzędne izokwant określone przez czynniki: nawozy mineralne (SE295) w zł, środki ochrony roślin (SE300) w zł oraz ich krańcowe stopy substytucji przy ustalonym poziomie produkcji roślinnej (SE135) w zł i powierzchni użytków rolnych (SE025) w ha w latach 2010 i 2011 w badanych gospodarstwach rolnych w Polsce.**

Rok 2010			Rok 2011				
Współrzędne izokwant w zł		KSS <sup>a</sup> zł/zł	Opłacalność technik wytwarzania w zł/zł	Współrzędne izokwant w zł		KSS <sup>a</sup> zł/ zł	Opłacalność technik wytwarzania w zł/zł
SE295	SE300			SE295	SE300		
2 000	16 670,8	2,76	5,28	2 000	19 864,8	3,75	5,30
5 000	12 299,9	0,82	5,70	5 000	14 055,1	1,06	6,08
8 000	10 523,6	0,44	5,31	8 000	11 769,7	0,56	5,86
11 000	9468,3	0,28	4,81	11 000	10436,3	0,36	5,40
14 000	8 740,1	0,21	4,33	14 000	9 528,0	0,26	4,92
17 000	8194,7	0,16	3,91	17 000	8 854,5	0,20	4,48
20 000	7 764,4	0,13	3,55	20 000	8 327,5	0,16	4,09
23 000	7 412,6	0,11	3,24	23 000	7 899,4	0,13	3,75
26 000	7 117,0	0,09	2,98	26 000	7 542,1	0,11	3,45
17 984,3	8 055,0	0,33	3,80	20,784,6	8 207,4	0,38	4,00

$$^a \text{KSS} = \frac{-\Delta SE300}{\Delta SE295}$$

Źródło: Obliczenia własne. Dane liczbowe: Polski FADN.

Opłacalność technik wytwarzania określona przez relację SE135 do sumy kosztów SE295 i SE300 była tym wyższa, im większa była w ich strukturze przewaga czynnika SE300. Równocześnie uzasadnia to prawidłowe przyjęcie kierunku substytucji między badanymi zmiennymi niezależnymi.

W miarę wzrastania poziomu produktywności danego czynnika zwiększać się powinien jego udział w wytwarzaniu bioproduktu roślinnego, a granicę tej partycypacji wyznaczają warunki przyrodnicze. W przypadku wytwarzania bioproduktów roślinnych niekoniecznie to, co jest słuszne z ekonomicznego punktu widzenia, jest korzystne w płaszczyźnie przyrodniczej, a także społecznej, określonej przez dobrostan ludzi i zwierząt. Brak tej spójności potwierdza stopień degradacji środowiska przyrodniczego, w tym zwłaszcza wody pitnej, co wykazały badania P. Ilnickiego (Ilnicki P., 2004). Z kolei, z badań J. Kopińskiego i A. Tujaka wynika, że „W skali całego kraju bilans azotu brutto wykazuje saldo dodatnie rzędu 57 kg N/ha użytków rolnych z 56-procentową efektywnością wykorzystania” (Kopiński J., Tujaka A., 2010). Oznacza to wysoki stopień degradacji środowiska i marnotrawstwa azotu oraz zanieczyszczenia przez niego wody pitnej.

Przeciętna opłacalność dominującej techniki wytwarzania względem *SE295* i *SE300* wyniosła w 2010 roku 3,80 zł/zł, a w 2011 r. 4,00 zł/ zł. Główną przyczyną zmian opłacalności w warunkach *ceteris paribus* produkcji roślinnej były zmiany poziomu stóp transformacji badanych czynników produkcji.

Wyszczególnione w tab. 6 współrzędne izokwanty umożliwiają dokonanie ekonomicznej oceny substytucji *SE295* przez *SE300*. W tym celu obliczono krańcowe stopy substytucji. Okazało się, że krańcowa stopa substytucji maleje wraz ze wzrostem nakładu środków ochrony roślin. Na zmiany krańcowej stopy substytucji wpłynął około trzykrotnie wyższy wkład czynnika *SE300* w poziom *SE135* w roku 2010, a 2,65 razy wyższy w 2011 roku.

Posługując się formułą J. Jaworskiego (Jaworski J., 1972), obliczono optymalną technikę wytwarzania uwzględniając tylko czynniki *SE295* i *SE300*:

Rok 2010:

$$\frac{SE300}{SE295} = \frac{0,4704}{6,08} : \frac{0,1561}{0,87} = 0,43 : 1$$

Rok 2011:

$$\frac{SE300}{SE295} = \frac{0,3986}{5,58} : \frac{0,1505}{0,84} = 0,40 : 1$$

Z przedstawionych zależności między współczynnikami elastyczności produkcji względem *SE295* i *SE300* oraz ich cenami wynika, że najkorzystniejsza relacja między nimi w 2010 roku powinna wynosić 0,43 zł *SE300* na 1 zł *SE295*, a w 2011 roku odpowiednio 0,40 zł/zł. Dane te dotyczą przeciętnej wielkości gospodarstwa w badanej próbie. Jest zrozumiałe, że część gospodarstw nie osiągnęła takiej relacji między badanymi substytutami, co sprawiło, że poziom nadwyżki finansowej był w ich przypadku niższy niż powinien być.

### Wnioski

1. Zmiana współczynników elastyczności produkcji względem czynników *SE295* oraz *SE300* w badanych latach wpłynęła, między nimi, na inny poziom relacji krańcowych stóp substytucji. W 2010 roku krańcowa stopa substytucji omawianych czynników stosowanych w procesie produkcji roślinnej w przeciętnej wielkości gospodarstwie wyniosła 0,33 zł/zł, a w 2011 roku 0,38 zł/zł. Im niższa krańcowa stopa substytucji *SE295* przez *SE300* tym mniejszy był poziom opłacalności produkcji w badanych gospodarstwach. Pośrednio potwierdza to celowość ustalania kierunku substytucji między badanymi czynnikami zmiennymi w oparciu o różnicę ich stopy transformacji w produkt oraz poziom ich cen.

2. Innowacje czynnikowe są podstawą doskonalenia technik wytwarzania, określonych w tym przypadku przez nawozy mineralne (*SE295*) i środki ochrony roślin (*SE300*). Z kolei przedsiębiorczość rolników determinuje ich wdrażanie do produkcji roślinnej. Łącznie czynniki te wpływają na poprawę konkurencyjności bioproduktów, co ma istotne znaczenie, gdyż rolnicy są „cenobiorcami”. Taką innowacją okazała się w roku 2010 ponad trzykrotnie wyższa stopa transformacji środków ochrony roślin w bioprodukt względem oszacowanej dla nawozów mineralnych. W roku 2011 była ona 2,64-krotnie skuteczniejsza. Umożliwiło to wzrost opłacalności tej techniki wytwarzania w przeciętnym gospodarstwie w warunkach *ceteris paribus* z 3,80 zł przychodu przypadającego na 1 zł ujętych łącznie kosztów czynników *SE295* i *SE300* w roku 2010 do 4 zł/zł w roku 2011. Było to efektem poprawy związków komplementarnych między *SE295* i *SE300* w procesie produkcji roślinnej.
3. Dyskusyjne jest stanowisko w teorii zrównoważonego rozwoju w sprawie odrzucenia substytucji między czynnikami produkcji zaliczanymi do poszczególnych rodzajów kapitału. W przeprowadzonych badaniach analizowano substytucje dwóch rodzajów kapitału, tj. nawozów mineralnych (*SE295* w zł) oraz środków ochrony roślin (*SE300* w zł). Oddziaływanie każdego z nich jest specyficzne, ponieważ nawozy mineralne dostarczają składników niezbędnych do rozwoju roślin, a środki ochrony roślin mają za zadanie chronić rośliny przed atakami innych gatunków roślin, eliminować grzyby i bakterie. Z ekonomicznego punktu widzenia substytucje te powodują różny poziom kosztów produkcji. Rolnik ma zapewnić takie proporcje między nimi, które pozwolą uzyskać racjonalny poziom plonu. Jest to możliwe dzięki stosunkom komplementarnym w różnym stopniu, trzeba bowiem dostosować je do środowiska przyrodniczego. Tak więc, każdy z filarów zrównoważonego rozwoju może wpływać w danym procesie produkcji na występowanie związków między czynnikami o charakterze komplementarnym, substytucyjnym, czy niezależnym.

#### Literatura:

1. Allen R.G.D.: *Ekonomia matematyczna*. PWN, Warszawa, 1961.
2. Heijman W. i in.: *Ekonomika rolnictwa. Zarys teorii*. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa 1997.
3. Ilnicki P.: *Polskie rolnictwo a ochrona środowiska*. Wydawnictwo AR im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań, 2004.
4. Jaworski J.: *Decyzyjne aspekty funkcji produkcji typu Cobba-Douglasa*. Przegląd Statystyczny, Warszawa, 1972.
5. Kiełczewski D.: *Koncepcja ekonomii zrównoważonego rozwoju*. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 245. 2012.

6. Klein L. R.: Wstęp do ekonomii. PWE, Warszawa, 1965.
7. Kopiński J., Tujaka A.: Bilans azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim w latach 2005-2009. Nawozy i Nawożenie, nr 41, 2010.
8. Krugman P., Wells R.: Mikroekonomia. PWN, Warszawa, 2012.
9. Niezgoda D.: Ekonomika substytucji w rolnictwie. PWN, Warszawa, 1986.
10. Niezgoda D.: Zmiany efektywności substytucji pracy ludzkiej kapitałem w towarowych gospodarstwach rolnych w Polsce. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 168, Wrocław, 2011.
11. Porter M.E.: Przewaga konkurencyjna. Wyd. Helion, Katowice, 2006.
12. Rogall H.: Ekonomia zrównoważonego rozwoju. Teoria i praktyka. Wyd. Zysk i Ska, Poznań, 2010.
13. Samuelson P.A., Nordhaus W.D.: Ekonomia, t. I. PWN, Warszawa, 2004.
14. Toffler A.H.: Budowa nowej cywilizacji. Zysk i Ska, Poznań, 1996.
15. Zegar J.S.: Konkurencyjność rolnictwa zrównoważonego. Zarys problematyki badawczej. [w:] Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym. IERiGŻ-PIB, Program Wieloletni 2011-2014, nr 3, Warszawa, 2011.

*DIONIZY NIEZGODA*

Pope John II State School of Higher Education  
Biała Podlaska

## COST-EFFECTIVENESS OF SUBSTITUTION OF MINERAL FERTILISERS WITH PLANT PROTECTION PRODUCTS IN THE CROP PRODUCTION PROCESS

### Summary

*This study assesses, from the economic perspective, cost-effectiveness of substitution of variable factors, i.e. mineral fertilisers (SE295), with plant protection products (SE300) in the process of crop production of commercial farms in Poland.*

*The analysis was based on the Cobb-Douglas production function model, which was to analyse substitution of the factors. In 2010, the surveyed sample covered 8,583 and in 2011 – 8,378 of commercial farms.*

*From the economic perspective, substitution of mineral fertilisation with plant protection products was beneficial for improvement of crop production efficiency of commercial farms. In 2010, this resulted from three times higher (3.01) rate of transformation of the plant protection product factor into plant bioproduct. In 2011, the ratio amounted to 2.65 to the advantage of plant protection products. The higher the difference between the rates the higher the economic viability of substitution between substitutes.*

**Key words:** Cobb-Douglas production function, sustainable development, substitution, variable factors, mineral fertilisers, plant protection products, commercial farm, crop production, bioproduct