

Waldemar Izdebski<sup>1</sup>, Piotr Pawłowski<sup>2</sup>, Jacek Skudlarski<sup>3</sup>, Stanisław Zając<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Warszawska, <sup>2</sup>Precyzyjnerolnictwo.com,

<sup>3</sup>Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, <sup>4</sup>Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie

## EKONOMICZNE ASPEKTY ZASTOSOWANIA SYSTEMÓW AUTOPILOT I GEOPLOUGHX (GPS) NA PRZYKŁADZIE KOSZTÓW WYKONANIA ORKI

### *ECONOMIC ASPECTS OF USING AN AUTOPILOT AND GEOPLOUGHX SYSTEMS PRESENTED ON COSTS OF PLOWING*

**Słowa kluczowe:** rolnictwo precyzyjne, koszty

*Key words:* precision farming, operations costs

**Abstrakt.** Celem badań była analiza kosztów wykonania orki zestawem klasycznym ciągnik – pług oraz zestawem ciągnik – pług z zamontowanymi systemami opartymi na technologiach satelitarnych Trimble Autopilot i GeoploughX. Analizę kosztów wykonania orki przeprowadzono na przykładzie agregatu maszynowego złożonego z ciągnika New Holland T6.165 o mocy 150 KM i pługa 5-skibowego Unia Group Vario 5H dla dwóch wariantów: agregat wyposażony w system GeoploughX i bez tego wyposażenia. Przeprowadzone analizy wykazały, że systemy zamontowane na wykonującym orkę agregacie maszynowym przyczyniają się do wzrostu wydajności orki oraz redukcji kosztów jej wykonania. Ponadto systemy oparte na technologiach satelitarnych pozwalają uniknąć strat produkcyjnych wynikających z niepełnego wykorzystania powierzchni pola podczas orki.

### Wstęp

Ważnym elementem nowoczesnego rolnictwa staje się rolnictwo precyzyjne. Munack [2004] zdefiniował rolnictwo precyzyjne jako prowadzenie produkcji rolniczej w sposób zapewniający wykonywanie odpowiednich zabiegów w określonym czasie z zastosowaniem odpowiedniej i możliwie minimalnej liczby środków produkcji (szczególnie chemicznych), co umożliwi zwiększenie efektywności ekonomicznej i produkcyjnej z jak najmniejszym obciążeniem środowiska naturalnego. Stosowanie rolnictwa precyzyjnego opiera się na dużej dawce informacji i umiejętności jej przetworzenia. Wymaga ono zatem stosowania w praktyce zasad gospodarki opartej na wiedzy [Baum i in. 2012]. Podstawą funkcjonowania rolnictwa precyzyjnego są technologie satelitarne. Pierwszym działającym globalnie i kompleksowo systemem wykorzystującym technologie satelitarne jest amerykański GPS-NAVSTAR (*Global Positioning System-NAVigation Signal Timing And Ranging*). Poza nim pracują także rosyjski GLONASS i chiński BEIDOU [Ekielski 2012]. Systemy informacyjne oparte na technologiach satelitarnych wsparte urządzeniami naziemnymi zapewniają szerokie możliwości w produkcji rolniczej [Doruchowski 2008, Ekielski 2012].

Nowoczesne rozwiązania i systemy w rolnictwie precyzyjnym pozwalają na wykonywanie zabiegów agrotechnicznych z dużą precyzją. Dlatego najczęściej są one wykorzystywane w zabiegach siewu, nawożenia mineralnego i ochrony chemicznej. Dotychczas technologie satelitarne nie były wykorzystywane w zabiegu orki. Przełomem w tym zakresie jest pojawienie się na rynku systemu GeoPloughX, który pozwala na precyzyjne wykonanie orki z wykorzystaniem technologii satelitarnych. Zadaniem tego systemu jest optymalizacja wykorzystania szerokości roboczej pługa w celu minimalizacji nakładów pracy i energii na wykonanie orki. Warunkiem funkcjonowania systemu GeoploughX jest wyposażenie pługów w system hydraulicznej regulacji szerokości orki (pługi z takim systemem mają oznaczenie Vario), ciągnika zaś w system automatycznego prowadzenia, wykorzystującego sygnał GPS/GLONASS (system Autopilot) [Skudlarski, Mańkowski 2012].

Celem badań była analiza kosztów wykonania orki agregatem maszynowym wyposażonym w systemy Autopilot i GeoPloughX.

### Material i metodyka badań

Analizę kosztów wykonania orki przeprowadzono na przykładzie agregatu maszynowego, złożonego z ciągnika New Holland T6.165 o mocy 150 KM i pługa 5-skibowego Unia Group Vario 5H. Analizy przeprowadzono dla dwóch wariantów: 1) agregat maszynowy wyposażony w system GoeplooughX, 2) agregatem bez wyposażenia w ten system. W analizach przyjęto, że ciągnik w wariantcie pługa z systemem GeoploughX jest wyposażony w system automatycznego prowadzenia Trimble Autopilot, wykorzystujący platny sygnał korekcyjny o dokładności do 5 cm. Koszt sygnału przyjęto według stawek operatora na poziomie 1200 euro rocznie (ceny w złotych w obliczeniach były przyjmowane według średniego kursu NBP z 04.04.2013 r.). Ceny zestawu Trimble Autopilot (16 000 euro netto) oraz GeoploughX (5600 euro netto) z montażem przyjęto na podstawie oferty dystrybutora wymienionych zestawów w Polsce. W analizach kosztów uwzględniano także koszt zakupu oprogramowania niezbędnego dla funkcjonowania systemów.

Pierwszy etap analiz obejmował obliczanie godzinowych kosztów eksploatacji ciągnika i współpracującego z nim pługa według poniższej zależności [Muzalewski 2009, Zajac 2010, Izdebski i in. 2012]:

$$K_{ei} = \left( \frac{C_{mi} \cdot W_{Ri}}{T_{hi}} + K_{ubi} + 0,01 \cdot C_{mi} \right) / W_{Ri} + \frac{(k_{ni}/100) \cdot C_{mi}}{T_{hi}} + 0,04 \cdot Z_{pi} \cdot C_p \quad (1)$$

gdzie:

$K_{ei}$  – koszt eksploatacji maszyny (ciągnika) [zł/godz.],

$C_{mi}$  – cena maszyny (ciągnika) [zł/godz.],

$K_{ubi}$  – koszt ubezpieczenia maszyny (ciągnika) [zł/rok],

$k_{ni}$  – współczynnik kosztów napraw (procentowa wartość ceny nowej maszyny (ciągnika) [%],

$T_{hi}$  – normatywne wykorzystanie ciągnika (maszyny) w okresie trwania [godz.],

$Z_{pi}$  – godzinowe zużycie paliwa  $i$ -tego ciągnika [l/godz.],

$C_{pi}$  – cena paliwa [zł/l].

Niezbędne do obliczeń ceny ciągnika i pługa przyjęto na podstawie danych pozyskanych od przedstawicieli handlowych firm. Wielkości wskaźników eksploatacyjnych (współczynnik kosztów napraw, normatywne wykorzystanie w okresie trwania, godzinowe zużycie paliwa) przyjęto na podstawie literatury [Lorencowicz 2008, Muzalewski 2009].

Koszty eksploatacji ciągnika i pługa obliczano dla trzech założonych poziomów wykorzystania rocznego, odzwierciedlających trzy poziomy normatywnego wykorzystania w okresie trwania (zdolności przerobowej). W wariantcie I założono, że zdolność przerobowa w okresie 12 lat eksploatacji ciągnika i pługa jest wykorzystana w 50% (co odpowiada rocznemu wykorzystaniu ciągnika na poziomie 416 godz./rok, pługa zaś na poziomie 83 godz./rok), w wariantcie II – w 100% (833 godz./rok dla ciągnika i 166 godz./rok dla pługa). Wariant III zakładał intensywne wykorzystanie ciągnika i pługa, w wyniku czego zdolność przerobowa tych maszyn jest wykorzystywana przez 8 lat (odpowiada to rocznemu wykorzystaniu ciągnika na poziomie 1250 godz./rok, zaś pługa – 250 godz./rok).

W wariantcie agregatu z pługiem wyposażonym w satelitarny system precyzyjnej orki koszty eksploatacji agregatu były powiększane o koszty użytkowania systemów Trimble Autopilot i GeoploughX oraz opłaty za użytkowanie sygnału korekcyjnego. Koszt wykonania zabiegu orki dla poszczególnych agregatów obliczano na podstawie następującej zależności:

$$K_{zabi} = \frac{K_{agri}}{A_{pi}} + S_{irQ} \quad (2)$$

gdzie:

$K_{zabi}$  – koszt wykonania orki [zł/ha],

$K_{agri}$  – koszt eksploatacji agregatu (suma kosztów eksploatacji ciągnika oraz pługa) [zł/h],

$A_{pi}$  – praktyczna wydajność powierzchniowa agregatu [ha/h],

$S_{irQ}$  – straty plonu wynikające z niewykorzystanej powierzchni pola [zł/ha].

Wydajność praktyczną powierzchniową agregatu obliczano na podstawie zależności:

$$A_{p_{ij}} = 0,36 \cdot b_i \cdot v_i \cdot K_{07i} \cdot \eta_{v_i} \cdot \eta_{b_i} \cdot (1 + \Delta A_{p_{ij}}) \quad (3)$$

gdzie:

$A_{p_{ij}}$  – praktyczna wydajność powierzchniowa  $i$ -tego agregatu współpracującego z ciągnikiem o wyposażeniu odpowiadającemu  $j$ -temu scenariuszowi [ha/h],

$b_i$  – szerokość robocza agregatu [m],

$v_i$  – prędkość robocza agregatu [m/s],

$K_{07i}$  – współczynnik wykorzystania czasu ogólnego zmiany [-],

$\eta_{v_i}$  – współczynnik wykorzystania prędkości roboczej [-],

$\eta_{b_i}$  – współczynnik wykorzystania szerokości roboczej [-],

$\Delta A_{p_{ij}}$  – współczynnik korekcyjny uwzględniający zmianę wydajności praktycznej agregatu w wyniku zastosowania systemu GeoploughX i Autopilot [-].

Zależność (3) oparta jest na formułach matematycznych i współczynnikach prezentowanych w literaturze [Krok, Piotrowski 1985, Lorencowicz 2008]. Została ona uzupełniona o współczynnik korekcyjny, uwzględniający zmianę wydajności praktycznej agregatu w wyniku zastosowania systemu GeoploughX i Autopilot. Wartość współczynnika korekcyjnego przyjęto na poziomie 0,15 (15%) na podstawie opinii ekspertów (użytkowników wspomnianych systemów). W analizach kosztów orki dla wariantu agregatu wyposażonego w systemy GeoploughX i Autopilot uwzględniano 5% redukcję zużycia paliwa. Wartość tę przyjęto na podstawie opinii użytkowników. Jak wynika z badań eksperckich wykonanie orki pługiem niewyposażonym w satelitarne systemy sterowania na całkowitej powierzchni pola o nieregularnym kształcie z przyczyn technicznych jest niemożliwe, w wyniku czego przeciętnie 5% pola jest niezaorane. Straty plonu wynikające z niewykorzystanej w tradycyjnej orce powierzchni pola zostały uwzględnione w obliczaniu kosztów wykonania orki dla agregatu bez systemu GeoploughX. Straty produkcyjne wynikające z niewykorzystanej powierzchni pola obliczano na podstawie następującej zależności:

$$S_{trprod} = Q_z \cdot C_z \cdot k_{strQ} \quad (4)$$

gdzie:

$S_{trprod}$  – straty produkcyjne na skutek niewykorzystanej powierzchni pola [zł/ha],

$Q_z$  – oczekiwany plon ziarna [t/ha],

$C_z$  – cena ziarna [zł/ha],

$k_{strQ}$  – straty plonu na skutek niewykorzystanej powierzchni pola [-].

Koszty wykonania orki zestawem ciągnik–pług obliczano dla pięciu poziomów oczekiwanych plonów ziarna zbóż: 4, 6, 8, 10 i 12 t/ha. Do obliczania strat produkcyjnych, czyli strat plonu wyrażonych w wartości finansowej (zł/ha) przyjmowano ceny pszenicy na podstawie doniesień IERiGŻ. Uwzględniając fakt zmienności cen zbóż, obliczenia przeprowadzono dla dwóch wariantów średniorocznych cen pszenicy: minimalnej oraz maksymalnej odnotowanej w okresie 2004-2012: 366,90 zł/t oraz 937,00 zł/t. Obliczone wartości kosztów w zł/ha w dalszej kolejności odniesiono do wielkości oczekiwanego plonu ziarna [zł/t].

## Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonych analiz uzyskano koszt eksploatacji zestawu ciągnik – pług oraz koszty wykonania orki (w zł/ha). Uzyskane wyniki obliczeń zestawiono w tabelach 1-4. Jak wykazują przeprowadzone analizy, zastosowanie w agregacie ciągnik – pług systemów Autopilot oraz GeoploughX generuje wyższe koszty eksploatacji agregatu w odniesieniu do godziny pracy niż w przypadku agregatu, na którym nie zamontowano wspomnianych systemów. W wyniku

Tabela 1. Koszty eksploatacji zestawu ciągnik – pług (New Holland T6.165+ Unia Group Vario 5H) oraz koszt wykonania orki (bez uwzględniania strat plonu)

Table 1. The operating costs of the tractor – plow (New Holland T6.165+ Unia Group Vario 5H) and cost of the plow (without considering yield losses)

Wariant wykorzystania rocznego/ Option to use	Koszty eksploatacji agregatu [zł/godz.]/ Unit operating cost [PLN/hour]		Koszty wykonania orki na powierzchni 1 ha (bez strat plonu) [zł/ha]/Costs of plowing in the area of 1 hectare (without loss of yield) [PLN/ha]	
	ciągnik z pługiem/tractor with plow			
	bez systemu Autopilot i GeoplughX/ without Autopilot and GeoplughX	wyposażony w systemy Autopilot i GeoplughX/equipped in Autopilot and GeoplughX systems	bez systemu Autopilot i GeoplughX/ without Autopilot and GeoplughX	wyposażony w systemy Autopilot i GeoplughX/equipped in Autopilot and GeoplughX systems
I	273,14	336,03	316,22	313,12
II	134,16	165,59	207,85	197,56
III	131,34	159,79	205,65	193,63

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Tabela 2. Straty produkcyjne na skutek utraty plonu ziarna w wyniku niewykorzystanej powierzchni pola

Table 2. Production losses due to the loss of grain yield as a result of the unused area of the

Oczekiwany plon/Expected yield [t/ha]	Cena minimalna ziarna [zł/t]/Minimal grain price [PLN/t]	Cena maksymalna ziarna [zł/t]/Maximal grain price [PLN/t]
4	73,38	187,40
6	110,07	281,10
8	146,76	374,80
10	183,45	468,50
12	220,14	562,20

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

wyższej wydajności agregatu maszynowego z zamontowanymi systemami Autopilot i GeoplughX koszty wykonania orki są niższe niż przy zastosowaniu agregatu maszynowego bez tych systemów.

Straty produkcyjne na skutek niewykorzystania pełnej powierzchni pola w przypadku stosowania agregatu bez systemów Autopilot i GeoplughX wynosiły od ok. 73 zł/ha do ok. 187 zł/ha przy plonie 4 t/ha i od ok. 220 zł/ha do ok. 562 zł/ha przy plonie 12 t/ha. Zestawienie strat produkcyjnych dla wybranych oczekiwanych plonów pszenicy dla wariantu niskich i wysokich cen ziarna przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 3. Koszty wykonania orki zestawem ciągnik New Holland T6.165 + pług Unia Group Vario 5H wyposażonym w systemy Autopilot i GeoplughX

Table 3. Plowing costs in usage with New Holland T6.165 combined with plow Unia Group Vario 5H equipped in Autopilot and GeoplughX systems

Oczekiwany plon/ Expected yield [t/ha]	Koszty orki [zł/t] w wariantach wykorzystania rocznego Wr [godz./rok]/ Plowing costs [PLN/t] in option to use Wr [hr/year]		
	I	II	III
4	78,28	54,59	48,41
6	52,19	36,39	32,27
8	39,14	27,29	24,20
10	31,31	21,84	19,36
12	26,09	18,20	16,14

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Tabela 4. Koszty wykonania orki zestawem ciągnik New Holland T6.165 + pług Unia Group Vario 5H bez wyposażenia w systemy Autopilot i GeoploughX z uwzględnieniem strat z powodu niewykorzystanej powierzchni pola w odniesieniu do oczekiwanego plonu

*Table 4. Plowing costs in usage with New Holland T6.165 combined with plow Unia Group Vario 5H not equipped in Autopilot and GeoploughX systems taking into account losses due to unused area of the field in relation to the expected yield*

Oczekiwany plon/ <i>Expected yield [t/ha]</i>	Minimalne ceny ziarna [zł/t]/ <i>Minimum grain prices [PLN/t]</i>			Maksymalne ceny ziarna [zł/t]/ <i>Maximum grain prices [PLN/t]</i>		
	wariant rocznego wykorzystania Wr [godz./rok]/ <i>option to use Wr [hr/year]</i>			wariant rocznego wykorzystania Wr [godz./rok]/ <i>option to use Wr [hr/year]</i>		
	I	II	III	I	II	III
4	97,40	70,31	69,76	125,90	102,20	98,26
6	71,05	52,99	52,62	99,55	83,75	81,13
8	57,87	44,33	44,05	86,38	74,52	72,56
10	49,97	39,13	38,91	78,47	68,99	67,42
12	44,70	35,67	35,48	73,20	65,30	63,99

Źródło: opracowanie własne  
*Source: own study*

Koszty wykonania orki z uwzględnieniem strat produkcyjnych w wyniku niewykorzystanej powierzchni pola odniesione do 1 tony oczekiwanego plonu analizowanym agregatem maszynowym przedstawiono w tabelach 3 i 4. Jak wykazują przeprowadzone analizy, koszty jednostkowe wykonania orki agregatem maszynowym wyposażonym w systemy Autopilot i GeoploughX były niższe niż w przypadku zastosowania agregatu maszynowego bez tych systemów. W przypadku wykonywania orki zestawem ciągnik New Holland T6.165 + pług Unia Group Vario 5H z systemami Autopilot i GeoploughX jednostkowy koszt wynosił od ok. 16 zł/t przy oczekiwanym plonie 12 t/ha do ok. 78 zł/t przy plonie 4 t/ha. Natomiast w przypadku pracy tym samym zestawem, ale bez wspomnianych systemów jednostkowy koszt wykonania orki wynosił od ok. 35 zł/t w wariacie wysokich plonów i niskich cen ziarna do ok. 125 zł/t w wariacie wysokich cen ziarna i niskiego plonu.

### Podsumowanie

Systemy precyzyjnego rolnictwa oparte na technologiach satelitarnych, takie jak system automatycznego prowadzenia ciągnika Trimble Autopilot i system automatycznej optymalizacji szerokości roboczej pługa GeoploughX, zapewniają wysoką dokładność wykonywanego zabiegu agrotechnicznego. Jak wykazały przeprowadzone analizy ekonomiczne, systemy Autopilot oraz GeoploughX zamontowane na agregacie maszynowym ciągnik – pług generują niższe koszty wykonania orki niż w przypadku orki wykonywanej agregatem maszynowym bez tych systemów. Czynniki, które przyczyniają się do redukcji kosztów wykonania orki były wyższa wydajność oraz niższe zużycie paliwa. Wyraźną korzyścią wynikającą z zastosowania systemu GeoploughX mającą znaczny wpływ na koszty wykonania orki było całkowite wykorzystanie powierzchni pola i redukcja strat produkcyjnych, co dotychczas w przypadku klasycznych agregatów maszynowych do orki nie było możliwe. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że dzięki korzyściom, które wynikają z zastosowania systemów opartych na technologiach satelitarnych, rolnictwo precyzyjne może przyczyniać się do redukcji kosztów produkcji w gospodarstwie.

### Literatura

- Baum R., Wajszczyk K., Wawrzynowicz J. 2012: *Miejsce i rola rolnictwa precyzyjnego w koncepcji zrównoważonego rozwoju gospodarstw rolnych*, *Ekonomia i Środowisko*, 1(41), s. 71-83.
- Doruchowski G. 2008: *Postęp i nowe koncepcje w rolnictwie precyzyjnym*. *Inżynieria Rolnicza*, 9(107), s. 19-31
- Ekielski A. 2012: *Nawigacja satelitarna, czyli jak to działa*, *Agromechanika*, 12, s. 18-20.
- Izdebski W., Skudlarski J., Zajac S. 2012: *Analiza kosztów wykonania zabiegów agrotechnicznych ciągnikami o zróżnicowanym stopniu zaawansowania technicznego*, *Rocz. Nauk. SERIA*, t. XIV, z. 1, s. 188-192.
- Krok A., Piotrowski S. 1985: *Ćwiczenia z eksploatacji sprzętu rolniczego*, Wyd. SGGW-AR, Warszawa.
- Lorencowicz E. 2008: *Poradnik użytkownika techniki rolniczej w tabelach*, APRA, Bydgoszcz.
- Munack A. 2004: *Rolnictwo w trzecim tysiącleciu – bieżące trendy i nowe wyzwania w inżynierii rolniczej*, *Postępy Nauk Rolniczych*, 3, s. 3-12.
- Muzalewski A. 2009: *Koszty eksploatacji maszyn*, IBMER, Warszawa.
- Skudlarski J., Mańkowski J. 2012: *Precyzyjna orka*, *Agromechanika*, 12, s. 58-60.
- Zajac S. 2010. *Koszty eksploatacji ciągników rolniczych i ich wpływ na koszty produkcji rolniczej. Uczelnia dla gospodarki – gospodarka dla uczelni*, Wyd. PWSZ w Krośnie, t. 1, s. 169-176.

### Summary

*The aim of the study was to analyze plowing cost in usage with a set of classic tractor – plow with installed systems based on satellite technology and GeoploughX and Trimble Autopilot. The cost analysis was carried out on the example of plowing machine unit consisting of a tractor New Holland T6.165 with 150 hp engine and five-furrow plow Union Group Vario 5H for two variants: unit equipped with an GeoploughX and without this equipment. The analyzes showed that the systems installed on the executing aggregate plowing machine help to increase productivity and reduce the cost of its implementation. In addition, systems based on satellite technology helps avoid production losses resulting from the incomplete use surface of the field during plowing.*

Adres do korespondencji  
dr hab. inż. Waldemar Izdebski  
Politechnika Warszawska  
Wydział Zarządzania  
ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa  
tel. (22) 234 85 85  
e-mail: w.izdebski@wz.pw.edu.pl

dr inż. Jacek Skudlarski  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji  
ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa  
tel. (22) 593 45 81  
e-mail: jacek\_skudlarski@sggw.pl

dr inż. Stanisław Zajac  
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie  
Zakład Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich  
ul. Rynek 1, 38-400 Krosno  
tel. (13) 437 55 50  
e-mail: zajacstanislaw@op.pl