

*Edward Dreszczyk, Piotr Wanke*  
*Zakład Eksploatacji Systemów Technicznych*  
*Akademia Rolnicza w Szczecinie*

## **SYSTEMOWE ROZWIĄZANIE RECYKLINGU MODERNIZACYJNEGO OBIEKTÓW TECHNICZNYCH**

### **Streszczenie**

Konieczność przebudowy technologicznej rolnictwa i leśnictwa wymaga nowych rozwiązań w zakresie eksploatacji maszyn o dużej trwałości. Wytypowano jako szczególnie przydatne zastosowanie recyklingu modernizacyjnego zespołów, stanowiących węzły krytyczne, ze względu na wymagania sozologiczne. Przykładowe rozwiązanie dopracowywane jest dla silników spalinowych stosowanych w ciągnikach rolniczych. Zaprezentowano aktualny stan badań w tym zakresie.

**Słowa kluczowe:** naprawa, modernizacja, recykulacja, system techniczny.

### **Sformułowanie problemu**

Niedoinwestowane rolnictwo musi pokonać bariery wyeksploatowanego sprzętu rolniczego, a szczególnie ciągników, dokonać zmiany ciągnikowej infrastruktury transportu na samochodową oraz doprowadzić do wielokrotnego zwiększenia efektywności wykorzystania maszyn i oszczędności energii (czterokrotnie do 2010 r. w krajach OECD). Wynikają z tego nowe zadania badawcze i techniczne w zakresie dostosowania systemu eksploatacji maszyn do zmieniających się potrzeb rolnictwa. Szczególnie ważne jest dopracowanie obsługiwanie obiektów technicznych różnych generacji i wprowadzenie recyklingu modernizacyjnego ciągników i maszyn o dużej trwałości. Do osiągnięcia wymaganej gotowości maszyn i uwzględnienia nowych warunków ochrony środowiska, potrzebne są nowe rozwiązania organizacyjne i technologiczne, w których recykling modernizacyjny jest rozwiązaniem zmniejszającym koszty transformacji technologicznej rolnictwa.

### **Model formalny**

Wykorzystanie do analizy podstawowych składników kosztu jednostkowego, tj. wartości, która podlega amortyzowaniu i kosztu eksploatacji bieżącej, doprowadza

do wniosków o ogólnym znaczeniu. Wyznaczając minimum wartości funkcji jednostkowych kosztów ogólnych uzyskuje się interesującą zależność (4):

$$K_o = K_a + K_e \quad (1)$$

gdzie:

$K_o$  – koszty ogólne,

$K_a$  – koszty amortyzowane – cena początkowa, koszty modernizacji, wartość likwidacyjna,

$K_e$  – koszty eksploatacji bieżącej łącznie z kosztami napraw,

Zakładając, że  $K_e = a \cdot t^b$  gdzie:  $a$  – współczynnik kierunkowy funkcji kosztów jednostkowych eksploatacji bieżącej,  $b$  – wykładnik potęgowy funkcji kosztów jednostkowych eksploatacji bieżącej, wynikający z poziomu technologicznego analizowanych obiektów, tzn. dzieląc równanie (1) przez  $t$ , uzyskuje się zależność:

$$f(t) = \frac{K_o}{t} = \frac{K_a}{t} + a \cdot t^{b-1} \quad (2)$$

Różniczkując równanie (2) i przekształcając dla  $\frac{df}{dt} = 0$  uzyskuje się zależność (4):

$$\frac{K_a}{t^2} = (b-1)a \cdot t^{b-2} \quad (3)$$

$$K_a = (b-1)a \cdot t^b \quad (4)$$

Z równania (2) wynika, że po osiągnięciu minimum funkcji można wprowadzić nowy cykl pomodernizacyjny, stanowiący bazę do porównań wskaźników ocenowych z obiektami nowymi. Istotne jest takie potraktowanie modernizacji, wprowadzonej po czasie  $t$ , spełniającym równość (4) jako przedsięwzięcia inwestycyjnego, korygującego cechy obiektu technicznego (spełnienie aktualnych wymagań środowiskowych i bezpieczeństwa pracy z jednoczesnym odtworzeniem zdolności funkcjonowania obiektu). Muszą być jednak spełnione wymagania aktualnych użytkowników obiektu.

### Uzasadnienie rozwiązania

W rolnictwie i leśnictwie urządzenia techniczne są postrzegane jako istotne zagrożenie środowiska i człowieka. Pełne wykorzystanie maszyn o dużym reśursie może być realizowane z uwzględnieniem modernizowania lub zastępowania zespołów o istotnym znaczeniu dla ochrony środowiska. W technice rolniczej i leśnej

jest dużo takich obiektów technicznych, które cechują się nadmierną trwałością ogólną, przy niewystarczającej trwałości zespołów i węzłów [Dreszczyk 1999]. Wprowadzenie modernizacji obiektu przez wymianę tych węzłów, na elementy nowszej generacji, lub zastosowanie nowych metod umacniania powierzchni roboczych [Dreszczyk i in. 1996], uzasadnia utrzymanie w użytkowaniu obiektów potrzebnych do produkcji, przy braku możliwości ekonomicznych zastąpienia ich obiektami nowymi. Rozważano różne rodzaje obiektów technicznych potrzebnych ze względu na aktualną technologię i rozwój nowych dziedzin produkcji w strefie okołorolniczej [Dreszczyk, Malicki 1999; Dreszczyk 2004 cz. 1 i cz. 2]. Jako przykład szczególnie ważny przyjęto ciągniki rolnicze i stosowane w nich silniki spalinowe jako zespoły wymienne przy recyklingu modernizacyjnym.

### **Wybór przykładu**

Intensywne użytkowanie nowych - stosunkowo nielicznych ze względu na relatywnie wysokie koszty zakupu w Polsce - maszyn, spowodowało pojawienie się dodatkowych wymagań techniczno-eksploatacyjnych oraz organizacyjnych, związanych z nowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi i technologicznymi. Obsługiwanie traktowane jako całokształt działań zmierzających do zapewnienia wymaganego wskaźnika gotowości i ewentualnego jednoczesnego podwyższenia zasobu eksploatacyjnego, stało się istotnym czynnikiem zwiększania efektywności rolnictwa. Uzyskuje się to poprzez stosowanie doskonalonych (coraz tańszych w aplikacji) technik i technologii stosowanych powszechnie w budowie maszyn i specjalistycznych, charakterystycznych tylko dla technologii napraw, umożliwiających realizację dodatkowych wymagań technicznych związanych z odtworzeniem właściwości eksploatacyjnych [Wanke 2004].

Wcześniejsze prognozy i przewidywania dotyczące głównych kierunków restrukturyzacji rolnictwa oraz przeobrażeń zaplecza obsługiwanego eksploatacyjnego maszyn w Polsce, nie zostały zrealizowane. Zdecydowały o tym przede wszystkim względy ekonomiczne, a w szczególności [Banasiak i in. 2002]:

- brak środków własnych w gospodarstwach na niezbędne nakłady inwestycyjne w rozwój,
- wysokie oprocentowanie kredytów bankowych,
- brak alternatywnych form finansowania (np. poprzez leasing),
- mniejsza od oczekiwanej efektywność nakładów po wdrożeniu nowych maszyn w stosunku do nakładów ponoszonych wcześniej,
- brak infrastruktury na wsi i w otoczeniu rolnictwa umożliwiającej wdrożenie, utrzymanie w gotowości i optymalne wykorzystanie nowych technik i technologii produkcji.

Charakterystycznym przykładem, na potwierdzenie sformułowanych spostrzeżeń, są dane z obszaru eksploatacji ciągników rolniczych. Ogółem w Polsce eksploatuje się ok. 1,3 mln ciągników, w tym ok. 1,05 mln w rolnictwie. Jedynie ok. 500 tys. sztuk uznawanych jest za „względnie nowe”, wyprodukowane w latach 80-tych. Pozostałe, ok. 800 tys. sztuk, to ciągniki 30-letnie i starsze. Na uwagę dodatkowo zasługuje fakt, że ok. 94% ogólnej liczby eksploatowanych ciągników to ciągniki lekkie (do 6 kN włącznie - 53%) i średnie (9kN - 41%), a jedynie ok. 6% to „względnie nowe” ciągniki wyższych klas (14 kN i powyżej) [Piekarski 1997, GUS 2003].

Równoczesne eksploatowanie maszyn i urządzeń rolniczych różnych generacji, praktykowane powszechnie w Polsce, wymaga określenia relacji między użytkowymi i obsługiwanymi w procesach roboczych środkami technicznymi, a otoczeniem przyrodniczym produkcji (nowocześniejszych metod technologicznych i form organizacyjnych indywidualnego użytkowania, obsługiwanie i likwidacji maszyn, dostosowanych do ujawniających się wymagań zoologicznych). Ograniczając rozważania do problematyki recyklingu modernizacyjnego ciągników rolniczych w procesach naprawczych zebrano bogaty materiał metodyczny i doświadczalny. Stwierdzono, że dla ciągników starszej generacji zasadne jest wprowadzenie cyklu obsługowego: wymiana oleju co 400 mth, naprawa węzła T-P-C co 2000 mth i naprawa łożysk wału korbowego co 3200 mth, z wymianą pierścieni tłokowych [Dreszczyk 2004]. Znamienne jest wykazanie odmiennego charakteru zużywania się części silnika przy zastosowaniach rolniczych. Uzasadnia to szczegółowe analizowanie formy i wartości zużycia oraz odpowiedniego doboru metod technologicznych wzmocnienia powierzchniowego głównych części przy ich naprawie lub przy zastosowaniu odrębnych operacji obróbki bez demontażu węzłów.

### **Proponowane rozwiązania**

Trafne rozwiązania w zakresie eksploatacji maszyn to przede wszystkim coraz niższe koszty użytkowania, przy odpowiednim utrzymaniu relacji między kosztami amortyzacji a kosztami obsługiwanie. W początkowym okresie najważniejsze znaczenie ma utrata wartości rynkowej maszyny. W miarę zużywania ogólne koszty zmniejszają się, a następnie zaczynają wzrastać ze względu na koszty napraw i przestojów awaryjnych, co zilustrowano w tabeli 1 na przykładzie użytkowanych w Polsce harwesterów.

Rozwój gospodarstw i firm w rolnictwie i leśnictwie wymaga ciągłej modernizacji sprzętu technicznego (maszyny, pojazdy, narzędzia). Posiadany sprzęt musi być dostosowany do zadań i cechować się dopasowanymi do możliwości ekonomicznych kosztami eksploatacji wg zasady nowe rozwiązanie – koszty niższe.

*Tabela 1. Porównanie wielkości pozyskania drewna z kosztami amortyzacji i napraw harwesterów w pierwszych 3 latach eksploatacji*

*Table 1. Comparison of the figures related to logging with amortization and harvester repair costs in the first 3 years of operation*

Harwester	Rok użytkowania	Pozyskanie [m <sup>3</sup> ]	Koszty [zł]	
			Amortyzacja	Naprawy
A	1	10954	71700	Brak danych
	2	11389	89721	26537
	3	18558	100236	92233
B	1	21893	115905	24386
	2	26462	139084	66650
	3	27533	139084	147120
C	1	17244	79160	1854
	2	35484	94992	45324
	3	40139	94992	144013
D	1	17586	95524	21067
	2	22425	104208	37118
	3	20723	104208	95590

W zakresie inwestowania w obiekty techniczne nowej generacji potrzebne jest w rolnictwie i leśnictwie pokonanie bariery niedoboru kapitału, racjonalnego wykorzystania dotychczas posiadanego sprzętu technicznego oraz opracowania trafnych programów modernizacji systemów technicznych odpowiadających rzeczywistym potrzebom producentów [Dreszczyk 2004, Wanke 2004]. Doświadczenia UE nie są odpowiednim wzorem gdyż nie stać naszego społeczeństwa na dotowanie rolnictwa w porównywalnej skali (40% dotacji z budżetu UE na to aby doprowadzić do 2% zatrudnienia w rolnictwie). Wypracować należy wariant, który sprawdzono już w motoryzacji i który jest nadal kontynuowany – sprowadza się rocznie ponad 1 mln samochodów używanych przy zakupie nowych na poziomie poniżej 100 tys. szt. Jest to naturalny przykład działania wolnego rynku: jedynie najbogatsi inwestorzy kupują obiekty nowe, na obiekty używane decydują się użytkownicy o mniejszych potrzebach eksploatacyjnych, którzy dostosowują się do możliwości ekonomicznych. Obserwowano tworzenie się rynku dwóch nowych rodzajów obiektów technicznych:

- maszyn wielooperacyjnych (harwesterów) do pozyskania, manipulacji i zrywki wstępnej,
- instalacji do produkcji pelletów, nowego rodzaju paliwa stałego wykonywanego z odpadowej biomasy (trocin z dodatkami słomy rzepakowej).

Dotychczas zebrano część materiałów z których wynika, że maszyny wielooperacyjne (harwestery) nie są jeszcze dostosowane do warunków pracy (infrastruktura drogowa, brak przystosowania szlaków transportowych, przygotowywanie nowych operatorów, kosztowny serwis). Nie jest spełnione podstawowe kryterium, że roczne koszty napraw utrzymują się na poziomie 30-50% kosztów amortyzacji. Instalacje do produkcji pelletów o koszcie inwestycji przekraczającej 1 mln euro nie są dostosowane do typowego standardu przetwarzanej biomasy (trociny). Wskazane jest dokonanie modernizacji typowych brykieciarek do produkcji pasz i wykonanie badań mierzących do dostosowania rodzaju biomasy szczególnie w zakresie eliminacji zanieczyszczeń stałych, wpływających na powstawanie zagrożeń wystąpienia iskrzenia w materiale przetwarzanym. Konieczne jest również dopracowanie metody usuwania wilgoci z przetwarzanej biomasy. Aktualnie problematyka jest analizowana na wybranych instalacjach (Wardynk/Choszczna). Innym bardzo ważnym przykładem recyklingu wyrobów było zaprojektowanie i wdrożenie napraw modernizacyjnych tłokowych sprężarek amoniakalnych typu S, po użytkowaniu przez przynajmniej 25 lat, a także po zaprzestaniu produkcji. Analizowano sprężarki waporowe S 2x200 (4 szt.), S 4x225 jednostopniowe (5 szt.), S 4x225 dwustopniowe (4 szt.). Ze względów ekonomicznych i inwestycyjnych było potrzebne takie dopracowanie systemu recyklingu aby utrzymać zdolność użytkową przez następne 5 – 10 lat, do czasu budowy nowej chłodni. Szczegółowo opracowano metody oceny stopnia zużycia mechanizmów bez demontażu, skorygowano zakres przeglądów technicznych, a następnie na podstawie napraw doświadczalnych zmieniono okresy międzynaprawcze. Zobrazowano to w tabeli 2.

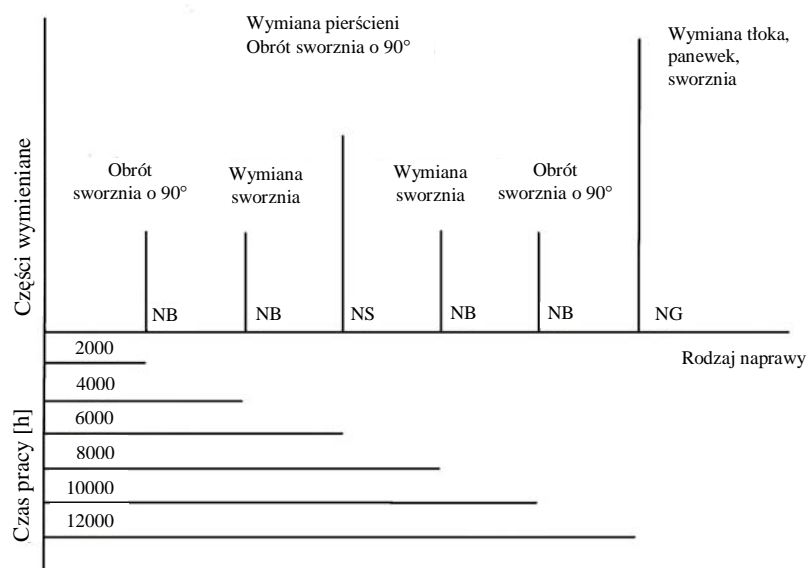
Tabela 2. Czas pracy do naprawy ważniejszych zespołów, węzłów i części na przykładzie sprężarek S 4x225

Table 2. Working time needed to repair the main units, kinematic pairs and parts on the example of the compressors S 4x225

Nazwa	Normatywny czas pracy do naprawy [h]	Korekta wstępna na podstawie badań [h]	Dopracowany system napraw recyklinowych [h]
Pompa olejowa	12000	12000	12000
Tuleja cylindrowa	6000	12000	12000
Tłok	12000	6000	12000
Pierścienie tłokowe	6000	6000	6000
Sworznie tłokowe	6000	3000	4000
Łożysko w głowce korbowa	6000	3000 do 5000	12000
Łożyska wału korbowa	6000	12000	12000
Wał korbowa	6000	12000	12000
Dławica	3000	6000	6000
Zawory	3000	6000	6000

Krytycznym węzłem kinematycznym okazało się łożyskowanie sworznia tłokowego (w piąście tłoka i główce korbowodu). Węzłem krytycznym było również połączenie spoczynkowe - czop koła pasowego na wale korbowym i piasta koła pasowego. Na podstawie próbnych napraw wprowadzono naprawę bieżącą co 2000 godzin pracy, czas trwania naprawy 8 – 16 godzin. W czasie naprawy dokonywano korekty pasowania – obrót sworznia tłokowego o  $90^\circ$  lub wymiana sworznia. Na rys. 1 zilustrowano opracowany cykl napraw modernizacyjnych. Uzyskano wzrost współczynnika wykorzystania sprężarek z  $\eta = 0,6$  do  $\eta = 0,8$  z możliwością wyłączenia z pracy w chłodni 2 lub 3 sprężarek w formie rezerwy. Użyto je do utworzenia ogólnodostępnego lodowiska przykładowego, które przez 8 lat funkcjonowało stanowiąc rezerwę dla chłodni zakładowej.

Uzyskano potwierdzenie, że maszyny o trwałości normatywnej 20 – 25 lat można użytkować przez następne 5 – 10 lat na podstawie dobrze dopracowanego cyklu napraw modernizacyjnych z jednoczesnym obniżeniem kosztów napraw o 50%. Udogodnieniem było to, że sprężarki są maszynami o małej prędkości obrotowej, co wpływa na mniejsze obciążenie dynamiczne węzłów kinematycznych układu korbowego.



Rys. 1. Cykle wymiany i regeneracji części układu korbowo-tłokowego sprężarek S 4x225 (opracowanie własne)

Fig. 1. Replacement and regeneration cycles of crankshaft-piston unit parts of compressors S 4x225 (own project)

## **Podsumowanie**

W dalszym ciągu pracujemy nad technologią recyklingowych napraw silników ciągnikowych w takim wariantcie, że zakład naprawczy wytwarza u siebie technologią przemysłową panewki do łożyskowania wałów korbowych, wykonuje obróbkę wytaczaniem osadzeń łożysk głównych oraz stosuje docieranie na zasadzie treningu adaptacyjnego z wykorzystaniem olejów smarnych (jako płynów technologicznych do docierania). Sprawdzana jest procedura obsługowo-naprawcza silników ciągnikowych starszej generacji: wymiana oleju po 400 mth naprawa węzła TPC (tłok-pierścień-cylinder) po 2.000 mth i naprawa łożyskowań wału korbowego po około 3.000-3.200 mth (z wymianą pierścieni tłokowych).

Drugim obszarem prac jest recykling ciągów technologicznych granulatoreni pasz z przystosowaniem ich do wytwarzania pelletów. Dopracowano technologię regeneracji granulatoreni zachowując pozostałe elementy ciągu technologicznego. Usprawniane są operacje oczyszczania wstępnego podsuszanej biomasy i kondycjonowania biomasy bezpośrednio przed operacją brykietowania.

Recykling wyrobów stanowi jedną z form zmniejszenia nakładów inwestycyjnych przy wprowadzaniu nowych technologii w przypadku niedoboru kapitału (typowe dla rolnictwa krajowego). Korzystając z możliwości użycia maszyn nowszej generacji, ale już częściowo wyeksploatowanych (jak np. w motoryzacji) uzyskuje się obniżenie nakładów oraz przystosowanie użytkowników do nowych rozwiązań. Wariant inwestowania wg maksymalnej ceny rynkowej zakupu maszyn może być zastąpiony przez użycie obiektów starszych, przystosowanych poprzez procesy modernizacyjno-naprawcze do nowych technologii. Takiego zadania nie podejmują producenci maszyn, którzy muszą konkurować na wymagającym rynku i raczej pozbywają się nadprodukcji nowych maszyn. Działania modernizacyjno-naprawcze muszą podejmować przedsiębiorstwa związane z użytkownikami, a szczególnie z grupami producentów. Mimo korzystania ze sprzętu używanego uzyskuje się utrzymanie rozwoju i postępu technologicznego. Jako orientacyjny wskaźnik uzasadniający stosowanie recyklingu wyrobów jest utrzymywanie się poziomu odtwarzania zasobów technicznych (nowe obiekty techniczne) poniżej 4% liczby potrzebnych maszyn. Jako kryterium uzasadniające wprowadzania maszyn nowej generacji jest utrzymanie się rocznych kosztów naprawy poniżej kosztu amortyzacji (regulowane ustawowo w zależności od rodzaju maszyn na okres do 7-10 lat).

Szczegółowsze potraktowanie obszaru techniki rolniczej i leśnej jako potencjalnego odbiorcy maszyn i urządzeń technicznych poddanych recyklingowi wynika z dużych potrzeb szacowanych na ponad 30 mld euro. W związku z tendencjami



do ograniczenia dopłat w ramach UE konieczne jest większe zainteresowanie wypracowaniem takich modeli eksploatacji maszyn i urządzeń technicznych w rolnictwie i leśnictwie, aby optymalizować wykorzystanie ich trwałości.

## **Bibliografia**

Banasiak J., Bieniek J., Detyna J. 2002. Aktualne problemy użytkowania maszyn rolniczych. Eksploatacja i Niezawodność, 2, s. 63-72.

Dreszczyk E., Wanke P., Wojdak J. 1996. Umacnianie powierzchni roboczych węzłów kinematycznych ze szczególnym uwzględnieniem fazy docierania. Kwartalnik „Inżynieria powierzchni” nr 4. Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Precyzyjnej, Warszawa, s. 47-53.

Dreszczyk E. 1999. Sterowanie obsługiwaniem maszyn na podstawie monitorowania stanu technicznego węzłów krytycznych. Inżynieria Rolnicza 5 (11), s. 93-100.

Dreszczyk E., Malicki M. 1999. Modele elastycznego inwestowania w maszyny rolnicze. Inżynieria Rolnicza 5 (11), s. 101-106.

Dreszczyk E. 2004. Systemowe ujęcie recyklingu maszyn i urządzeń technicznych. Cz.1. Miesięcznik ogólnopolski „Recykling” 4(40), Wyd. Abrys, Poznań, s. 24-25.

Dreszczyk E. 2004. Systemowe ujęcie recyklingu maszyn i urządzeń technicznych. Cz. 2. Miesięcznik ogólnopolski „Recykling” 4(41). Wyd. Abrys, Poznań, 2004, s. 24.

Dreszczyk E. 2004. Kształtowanie bezpiecznego środowiska pracy w rolnictwie na podstawie zmian w systemach eksploatacji maszyn. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis 93 (234), Wyd. AR w Szczecinie, Szczecin, 2004, s. 83-89.

Piekarski W. 1997. Analiza oddziaływania agregatów ciągnikowych na środowisko przyrodnicze. Rozprawa habilitacyjna. Wyd. AR w Lublinie, Lublin, 157 s.

Wanke P. Analiza stanów zużycia i metody naprawy węzła kinematycznego czop-panewka wału korbowego silnika S 400 (po recenzjach, przyjęte do druku w Inżynierii Rolniczej w 2004).

*Edward Dreszczyk, Piotr Wanke*

## **SYSTEM SOLUTION FOR MODERNIZATION RECYCLING OF TECHNICAL OBJECTS**

### **Summary**

The necessity of a technological rebuilding of agriculture and forestry requires new solutions in operation of high durability machines. What was emphasized as particularly useful was the implementation of modernization recycling of subassemblies that constitute critical points because of their environmental requirements. An exemplary solution is being further developed for combustion engines used in agriculture tractors. The up-to-date state of research in this field has been presented.

**Key words:** repair, modernisation, renovating recycling, technical system