

## OCENA USZKADZALNOŚCI JEDNOSTKI NAPĘDOWEJ CIĄGNIKA ROLNICZEGO ZASILANEGO OLEJEM RZEPAKOWYM METODĄ DRZEWA ZDARZEŃ – ETA

*Marek Klimkiewicz, Remigiusz Mruk, Jacek Słoma, Janusz Wojdalski  
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego*

*Ján Jobbágy, Ján Simoník, Roland Varga  
Faculty of Engineering, Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono badania uszkodzalności jednostki napędowej ciągnika rolniczego zasilanego olejem rzepakowym za pomocą metody drzewa zdarzeń – ETA. Celem pracy było oszacowanie prawdopodobieństw wystąpienia niepożądanych zdarzeń w przypadku zasilania silnika nieprzetworzonym olejem rzepakowym; sprawdzenie, jaki wpływ na nie mają zastosowane układy zabezpieczające, i zaproponowanie skuteczniejszych rozwiązań zabezpieczających. W systemie wyróżniono następujące zdarzenia inicjujące: zawartość wody w oleju rzepakowym, zanieczyszczenie mechaniczne oraz skażenie bakteriologiczne oleju rzepakowego. Dla każdego zdarzenia inicjującego sporządzono drzewo zdarzeń. Przeprowadzono analizę ilościową uszkodzalności przez obliczenie prawdopodobieństw skutków w każdej gałęzi drzewa zdarzeń. Zastosowano bariery bezpieczeństwa, mające na celu ograniczenie negatywnych skutków wystąpienia zdarzeń inicjujących w postaci: odpowiednich procedur, działań operatora ciągnika, oraz zainstalowanych urządzeń w układzie paliwowym. Przykładem takiego wyprzedzającego zabezpieczenia jest propozycja zainstalowania specjalnego separatora wody w układzie paliwowym oraz zalecenia dla operatora ciągnika, aby we wskazanych sytuacjach podjął określone działania.

**Słowa kluczowe:** ciągnik rolniczy, ETA, olej rzepakowy, uszkodzalność

### Wprowadzenie

Niezawodność wyrobów uwarunkowana jest losowym charakterem parametrów wytrzymałościowych i wymuszeń (Klimkiewicz i Bocheński, 1991). W celu przeprowadzenia systematycznej analizy systemu pod względem uszkodzalności zasadnicze znaczenie ma stosowanie jednolitych procedur (PN-IEC 300-3-1). Klasyczne określenie niezawodności – jako prawdopodobieństwa znajdowania się systemu w stanie zdatności w ustalonym przedziale czasu – Bobrowski proponuje zastępować przez ocenę możliwości realizacji zadań nakładanych na system (Bobrowski, 1999). Podobnie Kusz i Marciniak proponują ocenę

niezawodności procesu, a nie tylko urządzenia (Kusz i Marciniak, 2010). W niniejszej pracy zastosowano metodę Analizy drzewa zdarzeń ETA (ang. Event Tree Analysis). Analiza drzewa zdarzeń (zagrożeń) jest techniką jakościową lub ilościową używaną do identyfikowania możliwych zagrożeń lub ich prawdopodobieństw przy danym wystąpieniu zdarzenia inicjującego (Smalko, 1999). ETA pozwala w sposób uporządkowany, ale elastyczny, przeprowadzić analizę różnorodnych czynników, w tym interakcji międzyludzkich i zjawisk fizycznych (Dhillon, 1981). Analiza drzewa zdarzeń jest metodą indukcyjną, przeprowadzaną od szczegółu do ogółu. Według Oprychała metoda drzewa zdarzeń opracowana została na podstawie założenia, że do powstania groźnej awarii nie wystarczy zajście jednego niepożądanego zdarzenia, ale potrzeba ich ciągu. Wystąpienie pojedynczego zdarzenia nie wywołałoby katastrofy. Dopiero wystąpienie po sobie szeregu niesprzyjających zdarzeń następujących po sobie może spowodować katastroficzną awarię (Oprychał i in., 2002).

Silniki spalinowe konstruowane są tak, że pracują optymalnie, ze względu na różne kryteria, na paliwach, na jakie zostały zaprojektowane. Zastosowanie do zasilania silnika o zapłonie samoczynnym oleju rzepakowego zamiast oleju napędowego będzie wpływać na trwałość i niezawodność silnika. Największe różnice między olejem rzepakowym i olejem napędowym dotyczą lepkości, temperatury blokowania zimnego filtra, temperatury zapłonu i krzywej destylacji. Są to czynniki krytyczne. Olej rzepakowy bardzo łatwo utlenia się (trudno się przechowuje). W wyniku starzenia się oleju rzepakowego zachodzą reakcje polikondensacji. Tworzą się związki chemiczne o charakterze żywic, które mogą sklejać precyzyjne elementy aparatury paliwowej (Klimkiewicz i in., 2010).

W celu zastosowania oleju rzepakowego wprowadza się różne modyfikacje silników. Układy aparatury paliwowej charakteryzują się najczęściej szeregową strukturą niezawodnościową. Włączenie do struktury dodatkowych elementów, związanych z adaptacją silnika do pracy na oleju rzepakowym, podwyższa jeszcze intensywność uszkodzeń. Często w trakcie adaptacji silnika wprowadza się do struktury słabe ogniwo. Problemy związane z zastosowaniem oleju rzepakowego do zasilania silników o zapłonie samoczynnym stały się przesłanką podjęcia badań dotyczących ich uszkodzalności.

Celem pracy było oszacowanie prawdopodobieństw wystąpienia niepożądanych zdarzeń w przypadku zasilania silnika o zapłonie samoczynnym nieprzetworzonym olejem rzepakowym, sprawdzenie, jaki wpływ na nie mają zastosowane układy zabezpieczające, oraz zaproponowanie skuteczniejszych rozwiązań zabezpieczających.

## Metody i materiały

Analizę przeprowadzono na przykładzie silnika (YITUO typ 6YTDL4.75N01) zamontowanego w ciągniku ZEFIR 85 produkowanym przez firmę PRONAR sp. z o.o. w Narwi. Ciągnik ten został przystosowany do zasilania silnika olejem rzepakowym.

Ze względu na ograniczoną liczbę obiektów, tj. ciągników i pojazdów samochodowych zasilanych olejem rzepakowym, zrezygnowano z zastosowania klasycznej metody oceny niezawodności i wyznaczenia empirycznych wskaźników niezawodności. Zainteresowano się natomiast innymi metodami, takimi jak ETA, FTA i FMEA. W niniejszym artykule przedstawiono analizę uszkodzalności przeprowadzoną metodą ETA.

W metodzie przyjmuje się, że każde zdarzenie w sekwencji jest sukcesem lub niepowodzeniem (oddaleniem lub nieoddaleniem niebezpieczeństwa). Prawdopodobieństwa przy-

porządkowywane poszczególnym gałęziom w drzewach zdarzeń są prawdopodobieństwami warunkowymi.

Zawsze stawia się podstawowe pytanie: „co się stanie gdy?”. Procedura postępowania przy analizie drzewa zdarzeń polega na analizowaniu możliwości rozwoju zdarzenia inicjującego. Następnie określa się bariery bezpieczeństwa mające na celu ograniczenie negatywnych skutków wystąpienia zdarzenia inicjującego. Drzewo zagrożeń jest zazwyczaj dwuwartościowym drzewem logicznym, które rozciąga się od zdarzenia inicjującego do poszczególnych jego następstw. Na każdym poziomie drzewa zdarzeń rozpatruje się dwa stany logiczne: stan sukcesu (tak) i stan niepowodzenia (nie) – w zależności od tego, czy dana bariera bezpieczeństwa spełnia swoje zadanie, czy też nie. Zdarzenia rozmieszczone na gałęziach stanowią sekwencję kombinacji następujących po sobie zdarzeń (Dhilon, 1999).

Wynikiem analiz drzew zdarzeń jest: pogrupowanie wszystkich możliwych ciągów zdarzeń ze względu na przyjętą klasyfikację skutków (kategorie uszkodzeń obiektu lub charakterystyki uwolnień substancji szkodliwych), określenie ciągów dominujących w każdej grupie, obliczenie prawdopodobieństwa występowania każdej z grup ciągów (<http://manhaz.cyfgov.pl>).

Analizę ocenianego obiektu przeprowadzono przez oszacowanie prawdopodobieństw wystąpienia zdarzeń inicjujących oraz prawdopodobieństw wystąpienia zdarzeń na poszczególnych barierach, korzystając z danych doświadczalnych, uzyskanych w trakcie badań eksploatacyjnych prowadzonych na ciągniku i samochodzie osobowym, zasilanych nieprzetworzonym olejem rzepakowym, oraz na stanowisku badawczym z silnikiem z tradycyjną aparaturą paliwową oraz z silnikiem wyposażonym w układ Common Rail (Klimkiewicz i Bocheński, 2011).

Korzystano także z informacji uzyskanych w serwisach specjalizujących się w naprawach silników oraz danych ze specjalistycznej literatury.

Analizę ETA prowadzono w następujących etapach:

- identyfikacja zdarzeń inicjujących, mogących doprowadzić do awarii silnika, (wystąpienia zdarzenia szczytowego - niezdatności),
- określenie barier bezpieczeństwa, zapobiegających wystąpieniu zdarzenia szczytowego,
- konstrukcja drzewa zdarzeń,
- oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń inicjujących i zajścia zdarzeń na poszczególnych barierach,
- opis sekwencji awarii i ustalenie skutków,
- obliczenie prawdopodobieństwa pojawienia się danego rodzaju skutków,
- opracowanie zaleceń w celu zapobiegania występowania zdarzeń inicjujących.

## Wyniki badań

Na podstawie zidentyfikowanych najczęstszych przyczyn wystąpienia uszkodzeń w silnikach zasilanych nieprzetworzonym olejem rzepakowym w analizowanym systemie wyróżniono następujące zdarzenia inicjujące:

- zawartość wody w oleju rzepakowym,
- zanieczyszczenie mechaniczne oleju rzepakowego,
- skażenie bakteriologiczne oleju rzepakowego.

Pierwszym rozważanym zdarzeniem inicjującym jest zawartość wody w oleju rzepakowym – zdarzenie  $A$ . Drzewo zdarzeń wynikających z tego zdarzenia inicjującego przedstawiono na rysunku 1.

Układ paliwowy posiada następujące bariery bezpieczeństwa:

$B$  – działania podejmowane przez operatora ciągnika;

$C$  – filtr wstępny ze specjalnym separatorem wody;

$D$  – filtr dokładnego oczyszczania.

W ujęciu jakościowym zdarzenia przypisane poszczególnym skutkom  $S_i$  mają następującą interpretację:

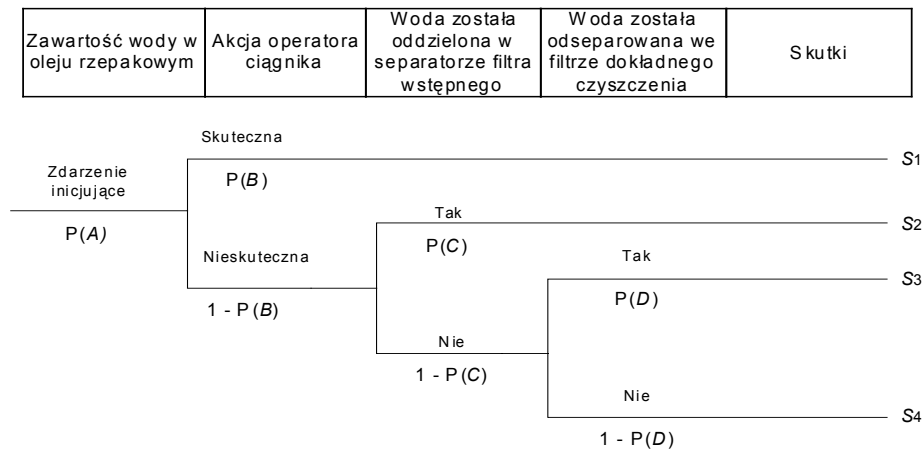
Skutki  $S_1$  – operator wykrył zawartość wody w oleju rzepakowym w czasie napełniania zbiornika paliwem. Interwencja polega na odseparowaniu wody od oleju.

Skutki  $S_2$  – odseparowanie wody przez filtr wstępny ze specjalnym separatorem wody. Wodę z separatora należy usuwać w czasie okresowych przeglądów oraz po sygnalizacji wysyłanej przez czujnik umieszczony w separatorze wody.

Skutki  $S_3$  – odseparowanie wody przez filtr dokładnego oczyszczania.

Skutki  $S_4$  – zdarzenie szczytowe - zanieczyszczenie elementów pompy wtryskowej i zakleszczenie precyzyjnych elementów. Konieczna jest wtedy naprawa lub wymiana pompy wtryskowej. Należy zmienić źródło zaopatrzenia w olej roślinny lub odseparować wodę od oleju (np. zastosować desorber lub dehydrator).

W przypadku analizy ilościowej dla gałęzi opisującej sukces przyporządkowuje się prawdopodobieństwo  $p_i$ , a dla gałęzi identyfikowanej z niepowodzeniem  $1 - p_i$  (rys. 1). Prawdopodobieństwo określonego skutku oblicza się jako iloczyn prawdopodobieństw wszystkich zdarzeń w gałęzi.



Rysunek 1. Drzewo zdarzeń dla zdarzenia inicjującego „zawartość wody w oleju rzepakowym”

Figure 1. Event tree for initializing event “water content in rapeseed oil”

Prawdopodobieństwa pojawienia się danego rodzaju skutków w ujęciu ilościowym wynoszą odpowiednio:

$$\begin{aligned}P(S_1) &= P(A) \cdot P(B), \\P(S_2) &= P(A) \cdot [1 - P(B)] \cdot P(C), \\P(S_3) &= P(A) \cdot [1 - P(B)] \cdot [1 - P(C)] \cdot P(D), \\P(S_4) &= P(A) \cdot [1 - P(B)] \cdot [1 - P(C)] \cdot [1 - P(D)].\end{aligned}\tag{1}$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia inicjującego oceniono jako  $P(A) = 0,02$

Prawdopodobieństwa zdarzeń na poszczególnych barierach wynoszą odpowiednio:

$$P(B) = 0,01; P(C) = 0,99; P(D) = 0,1.$$

Wartości liczbowe prawdopodobieństw pojawienia się danego rodzaju skutków w ujęciu ilościowym wynoszą odpowiednio:

$$P(S_1) = 0,0002; P(S_2) = 0,0196; P(S_3) = 0,0000198.$$

Prawdopodobieństwo pojawienia się zdarzenia szczytowego wynosi:

$$P(S_4) = 0,000178.$$

Drugim rozważanym zdarzeniem inicjującym jest "zanieczyszczenie mechaniczne oleju rzepakowego" – zdarzenie  $A$ . Drzewo zdarzeń wynikających z tego zdarzenia inicjującego przedstawiono na rysunku 2.

Układ paliwowy posiada następujące bariery bezpieczeństwa:

$B$  – działania podejmowane przez operatora ciągnika;

$C$  – filtr umieszczony w zbiorniku paliwa;

$D$  – filtr wstępny;

$E$  – filtr dokładnego oczyszczania.

W ujęciu jakościowym zdarzenia przypisane poszczególnym skutkom  $S_i$  mają następującą interpretację:

Skutki  $S_1$  – operator wykrył mechaniczne zanieczyszczenie oleju rzepakowego w czasie napełniania zbiornika paliwem. Interwencja polega na filtracji oleju.

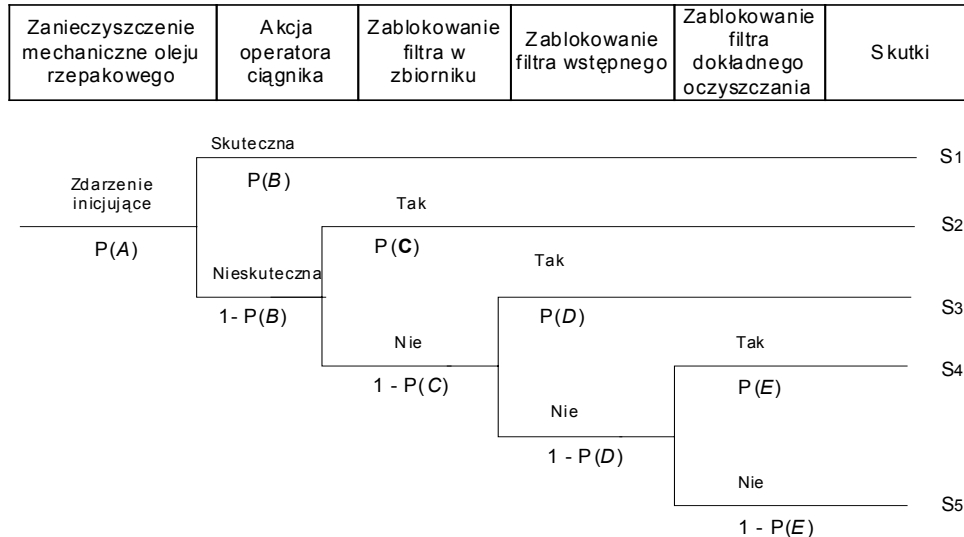
Skutki  $S_2$  – zablokowanie filtra w zbiorniku zanieczyszczeniami znajdującymi się w oleju rzepakowym. Interwencja polega na filtracji oleju. Objawem jest spadek mocy silnika. Konieczne jest oczyszczenie zbiornika i wymiana wkładów filtrów paliwa.

Skutki  $S_3$  – zablokowanie filtra wstępnego zanieczyszczeniami znajdującymi się w oleju rzepakowym. Objawem jest spadek mocy silnika. Interwencja polega na filtracji oleju. Konieczna jest wymiana wkładów filtrów paliwa.

Skutki  $S_4$  – zablokowanie filtra dokładnego oczyszczania zanieczyszczeniami znajdującymi się w oleju rzepakowym. Objawem jest spadek mocy silnika. Interwencja polega na filtracji oleju. Konieczna jest wymiana wkładów filtrów paliwa.

Skutki  $S_5$  – zdarzenie szczytowe – zanieczyszczenie elementów pompy wtryskowej i zakleszczenie precyzyjnych elementów. Konieczna jest naprawa lub wymiana pompy wtryskowej. Należy zmienić źródło zaopatrzenia w olej roślinny lub dokonać filtracji oleju. Konieczna jest wymiana wkładów filtrów paliwa.

W przypadku analizy ilościowej dla gałęzi opisującej sukces przyporządkowuje się prawdopodobieństwo  $p_i$ , a dla gałęzi identyfikowanej z niepowodzeniem  $1 - p_i$  (rys. 2). Prawdopodobieństwo określonego skutku oblicza się jako iloczyn prawdopodobieństw wszystkich zdarzeń w gałęzi.



Rysunek 2. Drzewo zdarzeń dla zdarzenia inicjującego „zanieczyszczenie oleju rzepakowego”  
Figure 2. Event tree for initializing event „contamination of rapeseed oil”

Prawdopodobieństwa pojawienia się danego rodzaju skutków w ujęciu ilościowym wynoszą odpowiednio:

$$\begin{aligned}
 P(S_1) &= P(A) \cdot P(B), \\
 P(S_2) &= P(A) \cdot [1 - P(B)] \cdot P(C), \\
 P(S_3) &= P(A) \cdot [1 - P(B)] \cdot [1 - P(C)] \cdot P(D), \\
 P(S_4) &= P(A) \cdot [1 - P(B)] \cdot [1 - P(C)] \cdot [1 - P(D)] \cdot P(E), \\
 P(S_5) &= P(A) \cdot [1 - P(B)] \cdot [1 - P(C)] \cdot [1 - P(D)] \cdot [1 - P(E)].
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia inicjującego oceniono jako  $P(A) = 0,002$ .

Prawdopodobieństwa zdarzeń na poszczególnych barierach wynoszą odpowiednio:

$$P(B) = 0,02; P(C) = 0,01; P(D) = 0,05; P(E) = 0,01.$$

Wartości liczbowe prawdopodobieństw pojawienia się danego rodzaju skutków w ujęciu ilościowym wynoszą odpowiednio:

$$P(S_1) = 0,00004; P(S_2) = 0,0000196; P(S_3) = 0,000097; P(S_4) = 1,8E - 0,5.$$

Prawdopodobieństwo pojawienia się zdarzenia szczytowego wynosi:

$$P(S_5) = 0,00182.$$

Ostatnim rozważanym zdarzeniem inicjującym jest „skażenie bakteriologiczne oleju rzepakowego” – zdarzenie  $A$ . Drzewo zdarzeń wynikających z tego zdarzenia inicjującego przedstawiono na rysunku 1.

W oleju rzepakowym w sprzyjających warunkach (obecność wody i odpowiednia temperatura) mogą rozmnażać się mikroorganizmy (bakterie, drożdże, grzyby).

Układ paliwowy posiada następujące bariery bezpieczeństwa:

$B$  – działania podejmowane przez operatora ciągnika;

$C$  – filtr umieszczony w zbiorniku paliwa;

$D$  – filtr wstępny;

$E$  – filtr dokładnego oczyszczania.

W ujęciu jakościowym zdarzenia przypisane poszczególnym skutkom  $S_i$  mają następującą interpretację:

Skutki  $S_1$  – operator wykrył biologiczne skażenie paliwa w czasie napełniania zbiornika olejem rzepakowym. Interwencja polega na odkażeniu zbiornika z olejem. Należy użyć biocyd, np. Grotamar 71. Korozja wnętrza zbiornika może wskazywać, że zbiornik został zanieczyszczony przez mikroorganizmy.

Skutki  $S_2$  – zablokowanie filtra w zbiorniku substancją przypominającą żel. Objawem jest spadek mocy silnika. Może wystąpić po długim postoju ciągnika ze zbiornikiem, w którym pozostał olej rzepakowy. Korozja wnętrza zbiornika może wskazywać, że zbiornik został zanieczyszczony przez mikroorganizmy. Konieczne jest oczyszczenie zbiornika, wymiana wkładów filtrów i odkażenie oleju biocydem.

Skutki  $S_3$  – zablokowanie filtra wstępnego substancją przypominającą żel. Objawem jest spadek mocy silnika. Może wystąpić po długim postoju ciągnika ze zbiornikiem, w którym pozostał olej rzepakowy. Konieczna jest wymiana wkładów filtrów i odkażenie oleju biocydem.

Skutki  $S_4$  – zablokowanie filtra dokładnego oczyszczania substancją przypominającą żel. Objawem jest unieruchomienie silnika. Może wystąpić po długim postoju ciągnika ze zbiornikiem, w którym pozostał olej rzepakowy. Konieczna jest wymiana wkładów filtrów i odkażenie oleju biocydem.

Skutki  $S_5$  – zdarzenie szczytowe – zanieczyszczenie elementów pompy wtryskowej i zakleszczenie precyzyjnych elementów. Konieczna jest naprawa pompy wtryskowej, oczyszczenie zbiornika, wymiana wkładów filtrów i odkażenie oleju biocydem.

W przypadku analizy ilościowej dla gałęzi opisującej sukces przyporządkowuje się prawdopodobieństwo  $p_i$ , a dla gałęzi identyfikowanej z niepowodzeniem  $1 - p_i$  (rys. 3). Prawdopodobieństwo określonego skutku oblicza się jako iloczyn prawdopodobieństw wszystkich zdarzeń w gałęzi.

Prawdopodobieństwa pojawienia się danego rodzaju skutków w ujęciu ilościowym wynoszą odpowiednio:

$$\begin{aligned}
 P(S_1) &= P(A) \cdot P(B), \\
 P(S_2) &= P(A) \cdot [1 - P(B)] \cdot P(C), \\
 P(S_3) &= P(A) \cdot [1 - P(B)] \cdot [1 - P(C)] \cdot P(D), \\
 P(S_4) &= P(A) \cdot [1 - P(B)] \cdot [1 - P(C)] \cdot [1 - P(D)] \cdot P(E), \\
 P(S_5) &= P(A) \cdot [1 - P(B)] \cdot [1 - P(C)] \cdot [1 - P(D)] \cdot [1 - P(E)].
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia inicjującego oceniono jako  $P(A) = 0,001$ .  
Prawdopodobieństwa zdarzeń na poszczególnych barierach wynoszą odpowiednio:

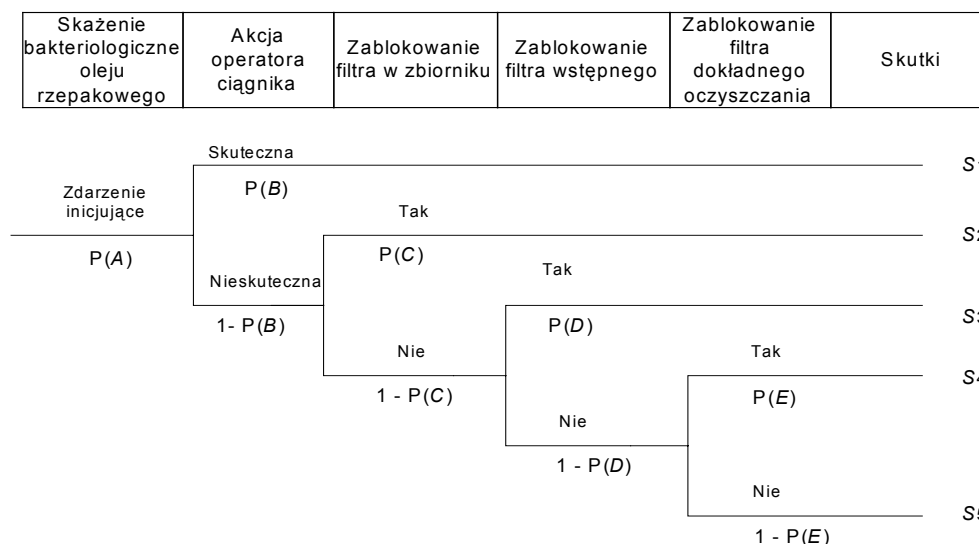
$$P(B) = 0,01; P(C) = 0,01; P(E) = 0,01.$$

Wartości liczbowe prawdopodobieństw pojawienia się danego rodzaju skutków w ujęciu ilościowym wynoszą odpowiednio:

$$P(S_1) = 0,00001; P(S_2) = 0,0000099; P(S_3) = 0,000098; P(S_4) = 8,82E - 06.$$

Prawdopodobieństwo pojawienia się zdarzenia szczytowego wynosi:

$$P(S_5) = 0,00087.$$



Rysunek 3. Drzewo zdarzeń dla zdarzenia inicjującego „skażenie bakteriologiczne oleju rzepakowego”

Figure 3. Event tree for initializing event „bacteriologic contamination of rapeseed oil”

## Podsumowanie

Za pomocą ETA można w przejrzysty sposób określić zależności zachodzące między funkcjonowaniem lub niezdatnością systemów zabezpieczających oraz zmniejszających skutki usterek wywołanych wystąpieniem pojedynczego zdarzenia inicjującego. Zdarzenie inicjujące powinno być zidentyfikowane i przyjmowane jako możliwe zdarzenie krytyczne już w fazie projektowania. Dlatego już w fazie projektowania powinny zostać wprowadzone ograniczenia i funkcja zabezpieczająca na wypadek jego wystąpienia. Przykładem takiego wyprzedzającego zabezpieczenia jest propozycja zainstalowania separatora wody w układzie paliwowym oraz zalecenia dla operatora ciągnika, aby w niektórych sytuacjach



podjął określone działania. Przedstawienie zagadnienia w sposób graficzny sprzyja zrozumieniu funkcjonowania układu i wpływu uwzględnianych czynników na układ, co ułatwia identyfikację zagrożeń i oszacowanie ryzyka wystąpienia uszkodzenia.

Mając na celu zapobieżenie wystąpieniu zdarzenia inicjującego, należy unikać czerpania osadów (czerpać z poziomu 10 cm wyższego od dna zbiornika). Należy instalować dodatkowe specjalne filtry z wylapywaczem wody, szczególnie gdy paliwo nie ma ustalonej jakości i bywa zanieczyszczone wodą. Obecność wody w paliwie może być spowodowana jej kondensacją z powietrza. Zbiorniki powinny być regularnie czyszczone. Nie należy też narażać oleju na kontakt z powietrzem. Czas przechowywania w temperaturach do 20 stopni powinien być ograniczony do pół roku. Przechowywanie w zbiornikach podziemnych w temperaturach niższych niż 10 stopni nie powinno przekraczać 12 miesięcy. Należy też stosować mniejsze zbiorniki, aby paliwo nie było przechowywane zbyt długo. Ze względu na właściwości higroskopijne oleju rzepakowego stacje napełniania olejem, jeżeli to możliwe, powinny być wyposażone w urządzenie do pochłaniania pary wodnej z powietrza. Chcąc zapobiec skażeniu bakteriologicznemu oleju rzepakowego, zbiorniki powinny być regularnie czyszczone. Dezynfekcja bakteriologiczna powinna być przeprowadzona środkiem bakteriobójczym przez specjalistyczną firmę. Należy chronić zbiorniki paliwa przed bezpośrednim oddziaływaniem promieni słonecznych.

## Literatura

- Bobrowski, D. (1999). *O nowoczesnej matematycznej teorii niezawodności. Metody sieciowe w inżynierii niezawodności*. XXVII Zimowa Szkoła Niezawodności. Tom I, Szczyrk, ISBN 83-7204-053-2, 11-17.
- Dhillon, B.S. (1999). *Design reliability. Fundamentals and Applications*. London, New York, Washington, CRC Press Boca Rato, ISBN 0849314658.
- Dhillon, B.S.; Singh, C. (1981). *Engineering Reliability New Techniques and Applications*. New York, Wiley, ISBN 0471050148.
- Klimkiewicz, M.; Bocheński, C. (kier. projektu) (2011). *Zastosowanie surowego oleju rzepakowego jako paliwa do silników wysokoprężnych ciągników i pojazdów rolniczych*. Raport z realizacji projektu rozwojowego R10 037 03. Warszawa, WIP SGGW.
- Klimkiewicz, M.; Bocheński, C. (1991). *Trwałość i niezawodność maszyn*. Warszawa, wyd. SGGW, ISBN 83-00-02708-4.
- Klimkiewicz, M.; Jobbágy, J.; Simonik, J. (2010). Analiza czynników warunkujących efektywną pracę silnika o zapłonie samoczynnym na nieprzetworzonym oleju rzepakowym. *Współczesne zagadnienia rozwoju sektora energetycznego i rolniczego* [red. nauk. P. F. Borowski, M. Klimkiewicz, M. Powalka]. Warszawa, SGGW, 122-135, ISBN 978-83-7583-194-8.
- Kusz, A.; Marciniak, A. W. (2010). Modelowanie niezawodności złożonych systemów bioagrotechnicznych. *Inżynieria Rolnicza*, 4(122), 157-162.
- Oprychał, L.; Fiedler, K.; Jankowski, W.; Mazurczyk, A. (2002). *Analiza ryzyka budowli piętrzącej metodą „drzewa zdarzeń” na przykładzie zapory Klimkówka*, XIV Konferencja Naukowa „Metody Komputerowe w Projektowaniu i Analizie Konstrukcji Hydrotechnicznych”, Korbielów.
- PN-IEC 300-3-1: 1994. *Techniki analizy niezawodności – Przewodnik metodologiczny*.
- Smalko, Z. (1999). *Analiza drzew niezdatności, zagrożeń i zabezpieczeń. Metody sieciowe w inżynierii niezawodności*. XXVII Zimowa Szkoła Niezawodności, Tom I, Szczyrk, ISBN 83-7204-053-2, 109-132.

## **THE ASSESSMENT OF DAMAGEABILITY OF TRACTOR POWER UNIT FED WITH RAPESEED OIL BY METHOD OF EVENT TREE ANALYSIS - ETA**

**Abstract.** The paper presents investigations on damageability of agricultural tractor power unit fed with rapeseed oil, with the use of Event Tree Analysis – ETA. The work aimed at: evaluation of occurrence probability for the unfavorable events in the case of feeding engine with unprocessed rapeseed oil, checking the effects of applied protective systems and propositions of more effective protective solutions. The following initializing events were distinguished in the system: water content in rapeseed oil, mechanical and bacteriologic contamination of rapeseed oil. The event tree was developed for each initializing event. The quantitative analysis of damageability was carried out by calculating of result probability in each branch of event tree. There were used the safety barriers to reduce the negative results of occurrence of the initializing events in the forms of: appropriate procedures, tractor operator activities, and devices mounted in the fuel system. An example of such anticipated safety measure is the proposition of installation of special water separator in the fuel system as well as recommendations for tractor operator, who should undertake the specific actions under the determined situations.

**Key words:** agricultural tractor, ETA, rapeseed oil, damageability

**Adres do korespondencji:**

Marek Klimkiewicz; e-mail:marek\_klimkiewicz@sggw.pl  
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
ul. Nowoursynowska 166  
02-787 Warszawa