

Roman Wojtkowiak, Robert Jacek Tomczak*
Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu
Katedra Techniki Leśnej, *Instytut Inżynierii Rolniczej

Analiza porównawcza wybranych właściwości olejów smarujących układ tnący pilarki łańcuchowej

Comparative analysis of some selected properties of oils lubricating the cutting system of chainsaws

Słowa kluczowe: olej rzepakowy, środki smarne, smarowanie, pilarka, układ tnący

Key words: rapeseed oil, lubricating agents, lubrication, chainsaw, cutting system

Opracowanie zajmuje się analizą możliwości stosowania olejów pochodzenia roślinnego w układach smarowania. Przeprowadzona analiza dotyczy wybranych właściwości fizycznych i chemicznych olejów mineralnych i rzepakowych stosowanych jako środek smarny w układzie transportu narzędzia tnącego pilarki łańcuchowej. Dokonano porównania wybranych właściwości obu rodzajów olejów i możliwości zastąpienia dotychczas stosowanych do tych celów olejów mineralnych, znacznie bardziej przyjaznymi dla środowiska olejami roślinnymi. W pracy nie zajmowano się oceną smarności badanych olejów, czy innymi ważnymi cechami takimi jak zdolność transportu ciepła, czy ochrona przed korozją.

The article focuses on the analysis of the possibilities of application of plant-derived oils in lubricating systems. The analysis was carried out on some selected physical and chemical properties of mineral oils and rapeseed oils, which were used as a lubricating agent in the transport system of the cutting device of the chainsaw. The performed investigations involved the comparison of selected properties of both types of oils as well as of possibilities of substituting mineral oils, which have been widely used for these purposes, so far, by plant-derived oils, which are far more environmentally friendly. This study was not concerned with the estimation of the lubricity of the examined oils or other important characteristics such as their capability for heat transfer or protection against corrosion.

Wstęp

W pilarkach łańcuchowych używane są dwa rodzaje olejów smarowych: do silnika i do układu tnącego. Oba pracują w obiegu przelotowym, tzn. po wykonaniu swego zadania — smarowaniu, czyli niedopuszczeniu do stykania się za sobą metalowych części — olej opuszcza układ — jest wyrzucany do atmosfery i spada na podłoże, w miejscu gdzie był używany, a więc najczęściej w lesie — miejscu, które uznaje się za zdrowe i czyste, nieskażone ludzką działalnością. Jeżeli będzie

to olej mineralny (inaczej zwany skalnym, czyli produkt rafinacji ropy naftowej) to środowisko leśne pozostanie zanieczyszczone przez wiele lat, bardzo niebezpiecznymi związkami węglowodorowymi.

Zarówno silnik spalinowy, jak i układ tnący pilarki łańcuchowej, mogą być smarowane olejami, które nie zanieczyszczają gleb leśnych i nie są wypłukiwane do wód gruntowych. Są to oleje łatwo ulegające rozpadowi pod wpływem mikroorganizmów na związki przyjazne człowiekowi. Nazywane są wtedy biodegradowalnymi. Mogą to być oleje syntetyczne, m.in. estrowe, zbliżone budową chemiczną do trójglicerydów naturalnych lub oleje produkowane na bazie olejów roślinnych. W Polsce najczęściej wykorzystywane są do tych celów bardzo popularne oleje rzepakowe, które wbrew powszechnie panującej opinii posiadają z punktu technicznego ich wykorzystania znacznie więcej zalet niż wad.

Niewątpliwą zaletą, oprócz najważniejszej jaką jest biodegradowalność, jest niższa lepkość kinematyczna w temperaturze 20°C i wyższa lepkość kinematyczna w temperaturze 100°C. Oleje te posiadają większą gęstość w temperaturze otoczenia, wyższą temperaturę zapłonu i zamarzają w nieco niższych temperaturach.

Znaczną wadą jest utlenianie kwasów tłuszczowych powodujące tworzenie się lepkiej lub twardej warstewki wyschniętego oleju, która to warstwa zwiększa opór tarcia przemieszczającej się piły łańcuchowej po prowadnicy.

Funkcjonalność oleju

Układ tnący pilarki łańcuchowej składa się z kilku elementów (Szczerek, Wiśniewski 2000). Z punktu widzenia trybologii możemy wyróżnić następujące składniki tego systemu: element podstawowy, którym jest piła łańcuchowa, element współpracujący główny w postaci prowadnicy, kolejny element współpracujący pomocniczy — kółko napędowe, środek smarowy w postaci oleju do smarowania układu i atmosferę — jako medium otoczenia.

Bardzo istotnym składnikiem tego układu jest środek smarowy. Olej do smarowania układu tnącego pilarki łańcuchowej ma za zadanie zapewnienie tarcia płynnego, występującego przy całkowitym rozdzieleniu powierzchni trących warstwą środka smarnego. W tym przypadku ma on nie dopuścić do bezpośredniego kontaktu piły łańcuchowej z prowadnicą. Nie powinien on również dopuścić do bezpośredniego kontaktu piły łańcuchowej z kółkiem napędowym. Nie mniej ważnym zadaniem, jakie ma do spełnienia olej smarujący układ tnący pilarki jest chłodzenie trących się elementów, tłumienie drgań i hałasu, wypłukiwanie żywic, garbników i wody z solami ścinanych drzew oraz ochrona przed korozją.

W przypadku takiej maszyny jak pilarka, olej silnikowy, jak i olej do smarowania układu tnącego pilarki łańcuchowej po spełnieniu swego zadania — rozdzieleniu trących się elementów i wypłukaniu żywic oraz garbników zostaje

„wyrzucony” z prowadnicy i spada na powierzchnię, na której dokonywana była obróbka drewna. Związane jest to ze sposobem smarowania w tym węźle, który jest obiegiem otwartym, czasami nazywanym systemem przelotowym. W wyniku takiego sposobu smarowania cały olej doprowadzany do układu po wykonaniu swego zadania jest wyrzucany do otoczenia.

Olej stanowi duże zagrożenie dla środowiska — należy pamiętać, że „jeden litr oleju czyni niezdarnym do spożycia milion litrów wody pitnej” (Stelmaszuk i in. 1994). Jest to tym bardziej istotne, że prace pilarkami powodujące „rozlewanie” oleju prowadzone są w przeważającej większości na powierzchni zalesionej. A to właśnie lasy spełniają podstawową funkcję filtrowania i magazynowania wody. Jeżeli do smarowania układu tnącego pilarki łańcuchowej będzie stosowany olej nie rozkładający się lub, co dość często się zdarza, zużyty olej silnikowy z zawartymi w nim związkami trującymi (Wiślicki i in. 1995, Wojtkowiak 1999), środowisko leśne nie będzie czyste i bezpieczne dla fauny i flory.

Ocenia się, że w Polsce do smarowania układów tnących pilarek spalinowych używanych przy pozyskaniu drewna w Lasach Państwowych zużywa się przeszło 5 mln litrów oleju (Wojtkowiak 1999) lub 4,5 mln litrów (Giefing 1991), choć niektórzy autorzy (Laurow 1999) uważają, że zużycie to wynosi tylko 3,43 mln litrów olejów smarnych.

Na świecie coraz powszechniej do smarowania pilarek wykorzystuje się zamiast dotychczas stosowanych olejów mineralnych, środki smarne, które ulegają stosunkowo łatwo rozpadowi na związki nieszkodliwe — oleje biodegradowalne.

Do produkcji biodegradowalnych olejów smarnych mogą być stosowane oleje syntetyczne (produkty pochodne ropy naftowej przetworzone na drodze syntezy chemicznej) lub oleje roślinne. Oleje syntetyczne charakteryzujące się dobrymi właściwościami biodegradowalności są rzadziej stosowane ze względu na ich wysoką cenę. Znacznie tańsze są oleje roślinne. Do produkcji biodegradowalnych olejów smarowych stosowane są oleje roślinne, takie jak: rzepakowy, słonecznikowy, sojowy i inne, w zależności od możliwości produkcji i lokalnych warunków klimatycznych. Posiadają one jednak dość istotną wadę — obecność nienasyconych kwasów tłuszczowych. To powoduje ich dużą wrażliwość na działanie tlenu — są mniej stabilne chemicznie.

Wykorzystywanie olejów jadalnych do celów technicznych rodzi sprzeczność wynikającą z przeciwstawnych wymagań stawianych olejom do celów spożywczych i do celów smarowych. Długość łańcucha kwasu tłuszczowego, położenie oraz liczba podwójnych wiązań decydują o właściwościach i przydatności poszczególnych kwasów tłuszczowych. Oleje jadalne powinny zawierać głównie kwasy oktadekanowe (Gawęcki 1997) z maksymalną zawartością kwasu oleinowego i niezbędną ilością kwasów linolenowego oraz linolowego. W olejach roślinnych do celów smarowych powinno się preferować maksymalne ograniczenie kwasów wielonasyconych.

W Polsce warunki klimatyczne sprzyjają uprawie rzepaku. Pierwotnie uzyskiwano w wyniku jego uprawy olej wysokoerukowy, o nie najlepszych właściwościach spożywczych. Wieloletnie prace hodowlane doprowadziły do uzyskania na początku lat 70-tych ub. wieku odmian bezerukowych o znacznie lepszej wartości żywieniowej dla człowieka.

Metodyka

W pracy analizowano właściwości fizykochemiczne olejów mineralnych i olejów biodegradowalnych. Do badań wybrano cztery oleje opracowane specjalnie do tak specyficznych warunków pracy, jakie występują przy smarowaniu układu tnącego pilarki łańcuchowej. Dwa z nich to oleje roślinne, których bazą jest olej rzepakowy, dwa kolejne to oleje powstałe w wyniku przeróbki ropy naftowej. Olej o symbolu A jest olejem produkcji polskiej, „blendowanym” na bazie oleju rzepakowego, czyli wymieszanym ze specjalnymi dodatkami zmieniającymi właściwości, między innymi smarowe. Olej o symbolu G jest olejem rzepakowym produkcji zagranicznej, również z różnymi dodatkami polepszającymi właściwości. Dwa oleje mineralne są typowymi olejami maszynowymi. Są to mieszaniny pochodne przeróbki ropy naftowej i dodatków polepszających ich parametry, takie jak smarowność czy lepkość. Olej o symbolu F to typowy olej maszynowy, a olej D jest produktem na bazie oleju mineralnego z dodatkami dobranymi pod kątem smarowania układu tnącego.

Badania polegały na porównaniu właściwości fizykochemicznych, najistotniejszych pod względem smarowania w badanym układzie. Porównano jedynie podstawowe parametry, takie jak: gęstość, wskaźnik lepkości dynamicznej, wskaźnik lepkości kinematycznej w temperaturze 20, 40 i 100°C, temperatura zapłonu, temperatura płynności, liczba kwasowa, liczba zmydlenia, zawartość wody i ciał obcych oraz własności korozyjne. Dotychczas te parametry charakteryzowały przydatność danego oleju do smarowania układu tnącego pilarki łańcuchowej. Cechy czystego oleju rzepakowego zestawione z czystym olejem mineralnym prezentuje tabela 1.

Analizy właściwości fizykochemicznych przeprowadzono w oparciu o polskie normy, a ich wyniki przedstawiono w tabeli 2. W niniejszej pracy nie zajmowano się oceną smarności badanych olejów czy innymi ważnymi cechami takimi jak chłodzenie czy wymywanie żywic, zwrócono jednak uwagę na bardzo istotny z punktu widzenia smarowania układu tnącego problem — lakowanie oleju.

Wszystkie ciecze wolniej lub szybciej zmniejszają swoją objętość, przechodząc w stan gazowy lub rozkładając się w wyniku działania tlenu, światła czy innych czynników. W przypadku olejów roślinnych następuje polimeryzacja nienasyconych kwasów tłuszczowych. Często procesowi temu towarzyszy powstawanie w miejscu cieczy lepkiej lub suchej warstewki w postaci laku (Cegielska 1994, Dunn 2002, Dziegielewski 2002, Fröhlich 2002, Wiślicki i in. 1995) — tzw. lakowanie.

Tabela 1

Właściwości czystego, jadalnego oleju rzepakowego
The physical properties of foodstuff grade rape oil

Cecha fizyczna <i>Physical property</i>	j.m.	Olej rzepakowy bez dodatków <i>Rapeseed oil without additives</i>	Olej mineralny bez dodatków <i>Mineral oil without additives</i>
Gęstość w temp. 15°C — <i>Density at 15°C</i>	[g/cm ³]	0,92	0,87
Lepkość dynamiczna — <i>Viscosity index</i>	[mPas]	215	100
Lepkość kinematyczna w temp. — <i>Viscosity at</i>	[mm ² /s]		
40°C		34	30
100°C		8,0	5,0
Temperatura zapłonu — <i>Flash point</i>	[°C]	320	220
Temperatura płynności — <i>Pour point</i>	[°C]	-27	-15
Liczba kwasowa — <i>Total acid number</i>	[mg KOH/g]	0,06	0,04

Źródło: Lappamaki, Stenmark, Linden 1990

Tabela 2

Właściwości wybranych olejów do smarowania układów tnących pilarek łańcuchowych
Properties of chainsaw oils used in research

Cecha fizyczna <i>Physical property</i>	j.m.	Olej rzepakowy <i>Rapeseed oil</i>		Olej mineralny <i>Mineral oil</i>	
		A*	G*	D**	F**
Gęstość w temp. 20°C — <i>Density at 20°C</i>	[g/cm ³]	0,915	0,914	0,880	0,876
Lepkość dynamiczna — <i>Viscosity index</i>	[mPas]	219	236	97	96
Lepkość kinematyczna w temperaturze <i>Viscosity at</i>	[mm ² /s]				
20°C		100,92	159,80	276,40	201,40
40°C		46,14	71,40	85,27	63,65
100°C		10,41	15,75	9,90	8,20
Temperatura zapłonu — <i>Flash point</i>	[°C]	324	300	269	247
Temperatura płynności — <i>Pour point</i>	[°C]	-32	-28	-24	-27
Liczba kwasowa — <i>Total acid number</i>	[r g KOH/g]	0,26	0,18	0,06	0,06
Liczba zmydlenia	[r g KOH/g]	185,13	179,40	8,42	3,89
Zawartość wody — <i>Water content</i>	[% (m/m)]	0,13	0,077	0,014	0,022
Zawartość ciał obcych — <i>Foreign bodies</i>	[% (m/m)]	nie ma <i>none</i>	nie ma <i>none</i>	nie ma <i>none</i>	nie ma <i>none</i>
Własności korozyjne na próbce Fe <i>Corrosion impact on Fe</i>		silna <i>strong</i>	wysoka <i>high</i>	wysoka <i>high</i>	brak <i>no</i>

* A, G — oznaczenia wybranych olejów roślinnych — *chosen plant oils*

** D, F — oznaczenia wybranych olejów mineralnych — *chosen mineral oils*

Wysychanie oleju — jest to cecha mówiąca o utlenianiu się nienasyconych kwasów tłuszczowych i wysychaniu oleju z możliwością tworzenia „laków”, które utrudniają przesuwanie się piły łańcuchowej po prowadnicy, przyklejanie jej do kółka napędowego i zużywają energię silnika pilarki na pokonanie oporów tego tarcia.

Można sądzić, że przemiany spowodowane utlenianiem tlenem atmosferycznym nienasyconych kwasów tłuszczowych, które znajdują się w olejach roślinnych, są przyczyną powstawania laków (Andruszczak, Huczyński 1989; Kozłowski i in. 1993; Prus i in. 2002; Wiślicki 1993). Przemiany te należą do wyjątkowo złożonych. Należy sądzić, że reakcja olefin z tlenem prawdopodobnie wymaga aktywacji alkenu lub tlenu. Dlatego utlenianie powinno się rozważać jako dwa procesy: autooksydacja (samoutlenianie) i utlenianie fotosensybilizowane (utlenianie pod wpływem światła).

Autooksydacja należy do wyjątkowo skomplikowanych i jak dotąd nie w pełni rozpoznanych procesów (Gawęcki 1996). Mimo, że wszystkie kwasy tłuszczowe ulegają utlenianiu, to w praktyce problem autooksydacji sprowadza się do nienasyconego łańcucha węglowodorowego kwasów tłuszczowych, zwłaszcza kwasu polienowego. Szybkość reakcji rośnie wraz ze stopniem nienasycecia. Kwas linoowy utlenia się 10–40 razy szybciej niż oleinowy, natomiast linolenowy 2–4 razy szybciej niż linolowy. Jednym ze sposobów zapobiegania utlenianiu jest wyeliminowanie tlenu z kontaktu z olejem przez zastąpienie go gazem inertnym (Krygier, Sionek 2003).

Zdolność oleju do schnięcia określa się za pomocą liczby jodowej. Liczba jodowa wskazuje, ile gramów jodu (J_2) przyłącza 100 g badanego tłuszczu (Dubas i Gładysiak 1997). W przypadku olejów do smarowania układu tnącego pilarki łańcuchowej wskaźnik ten nie oddaje rzeczywistego obrazu powstającej warstwy hamującej przemieszczanie piły łańcuchowej po prowadnicy. Dlatego wysychanie i lakowanie oceniano za pomocą metody opracowanej w Katedrze Techniki Leśnej.

Dyskusja wyników

Oleje naftowe charakteryzują się znacznie niższą gęstością w porównaniu z olejami roślinnymi. Również współczynnik lepkości dynamicznej, typowy dla głęboko rafinowanych olejów mineralnych, jest znacznie niższy niż olejów roślinnych. Duże zróżnicowanie występuje dla współczynnika lepkości kinematycznej. O ile w temperaturze 20°C lepkość kinematyczna olejów roślinnych jest niemal dwa razy niższa niż mineralnych, to w temperaturze 40°C ich wartości są zbliżone. Wartości te są jeszcze bardziej interesujące w najwyższych badanych zakresach temperatur. Przy 100°C lepkość olejów roślinnych jest większa niż olejów naftowych. Jest to o tyle istotne, że podczas pracy układ tnący nagrzewa się prawie do takiej temperatury (Dubowski i in. 2002). Oleje mineralne wykazują niższą temperaturę

zapłonu, a temperatura płynności wszystkich analizowanych olejów jest zbliżona. Bardzo duże natomiast różnice występują w przypadku liczby kwasowej, gdzie dla zneutralizowania kwasów zawartych w oleju roślinnym potrzeba około 30÷40 razy więcej KOH niż dla olejów mineralnych. Podobnie przedstawia się różnica w liczbie zmydlenia, gdzie zawartość dodatków alkalicznych (tzw. rezerwa alkaliczna) w olejach roślinnych jest znacznie większa niż olejach mineralnych.

Okazuje się, że niektóre właściwości olejów biodegradowalnych, których bazą jest olej rzepakowy, są lepsze niż olejów mineralnych. Do cech pozytywnych można zaliczyć lepkość dynamiczną w 100°C, wyższą temperaturę zapłonu, czy niższą temperaturę krzepnięcia. Negatywną cechą olejów roślinnych jest występowanie w ich składzie kwasów nienasyconych. Związki te ulegają utlenianiu i doprowadzają do „lakowania” — wysychania. Zestawienie pozytywnych i negatywnych cech olejów mineralnych i pochodzenia roślinnego przedstawia tabela 3.

Tabela 3

Porównanie właściwości olejów do smarowania układów tnących pilarek łańcuchowych
Comparison of properties of oils used in chainsaw cutting systems

Cecha fizyczna — <i>Physical property</i>	Olej rzepakowy <i>Rapeseed oil</i>	Olej mineralny <i>Mineral oil</i>
Gęstość — <i>Density</i>	+	–
Lepkość dynamiczna — <i>Viscosity index</i>	+	–
Lepkość kinematyczna w temp. 20°C — <i>Viscosity at 20°C</i>	+	–
Lepkość kinematyczna w temp. 100°C — <i>Viscosity at 100°C</i>	+++	–
Temperatura zapłonu — <i>Flash point</i>	++	–
Temperatura płynności — <i>Pour point</i>	++	–
Liczba kwasowa — <i>Total acid number</i>	–	+
Zawartość wody — <i>Water content</i>	–	+
Oddziaływanie korozyjne na próbce — <i>Corrosion impact</i>	–	+
Wypłukiwanie żywic — <i>Rinsing of resins</i>	+	–
Rozpuszczanie żywic — <i>Solubilize of resin</i>	+	–
Lakowanie — <i>Sealing</i>	---	+++

Wady — *negative properties:*

– jest — *preseent*, – – znaczna — *significant*, – – – bardzo duża — *very high*

Zalety — *positive properties:*

+ jest — *preseent*, ++ znaczna — *significant*, +++ bardzo duża — *very high*

Właściwości fizykochemiczne biodegradowalnych olejów do smarowania układu tnącego pilarki łańcuchowej produkowanych z dostępnych powszechnie w naszej strefie klimatycznej olejów rzepakowych są wystarczające do smarowania tego układu. Uważa się, że lepsze właściwości smarne posiadają tradycyjne

odmiany rzepaku wysokoerukowego — ale ze względu na brak materiału porównawczego autorzy nie przeprowadzili tego typu badań.

Właśnie te odmiany powinny być przeznaczane wyłącznie na cele techniczne. Oleje smarne produkowane z olejów o przewadze kwasów jednonienasyconych, których właściwości smarne można poprawić, podobnie jak to się robi z olejami mineralnymi, poprzez dodanie zagęszczaczy, związków adhezyjnych i dodatków przeciwzużyciowych mogłyby znacznie skuteczniej wydłużyć okres użytkowania układu tnącego pilarki łańcuchowej nie zanieczyszczając równocześnie środowiska leśnego.

Wniosek

Nie istnieją żadne istotne powody ograniczające wykorzystywanie roślinnych olejów do smarowania układów tnących pilarek łańcuchowych.

Conclusion

There are no valid reasons limiting the use of plant-derived oils for lubricating the cutting system of chainsaws.

Literatura

- Andruszczak E., Huszczyński B. 1998. Próba rolniczego zagospodarowania gleb zdegradowanych przez przemysł miedziowy. *Roczniki gleboznawcze*, XL, 2: 201-211.
- Cegielska T. 1994. Wykorzystanie oleju rzepaku wysokoerukowego do celów przemysłowych. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XV (2): 155-160.
- Dubas A., Gładysiak S. 1997. Szczegółowa uprawa roślin rolniczych. Wydawnictwo AR Poznań, 176-177.
- Dubowski A., Wojtkowiak R., Kromulski J., Kędziora R., Nogajewski T., Pawłowski T., Pomianowski R., Szulc T., Wojtkowiak A., Tomczak R.J., Gdaniec W. 2002. Badania nad doskonaleniem pilarek łańcuchowych w aspekcie ograniczenia ich wpływu na środowisko naturalne i zdrowie operatora. 44/2002/BE/DS. 12/2002, nieformalna współpraca AR i PIMR.
- Dunn R.O. 2002. Effect of Oxidation Under Accelerated Conditions On Fuel Properties Of Methyl Soyate (Biodiesel). <http://www.nal.usda.gov/ttic/tektran/data/000012/56/0000125620>,
- Dzięgielewski W., Gołębiowski T., Zieliński J. 2002. Jakość estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME), a potencjalne problemy eksploatacji. Materiały II Konferencji „Nowoczesne technologie w rolnictwie”, Łódź 24-25.09.2002.
- Fröhlich A.: Storage Stabilities Of Grade Camelia, Sunflower and Rapeseed Methyl Ester. <http://www.teagasc.ie/research/raports/corps/4476/eopr-4476.htm>.

- Gawęcki J., Górecka D., Pikul J., Korczak J., Czarnocińska J., Kozłowska-Wojciechowska M. 1997. Prawda o tłuszczach. Instytut Danone, Warszawa: 78.
- Giefing D.F. 1991. Skażenie środowiska spalinami i olejami w wyniku prowadzenia cięć. PTPN, Poznań, LXX: 137-148.
- Giefing D.F. 1991. Biooleje przeznaczone do smarowania układu tnącego pilarek. Sylwan CXXXV, 12: 23-27.
- Kozłowski R., Grabowska L., Baraniecki P. 1993. Zagospodarowanie terenów skażonych ekologicznie przez przemysł jednorocznymi roślinami włóknistymi. Wielkopolska Fundacja Naukowa im. Nego Las-Drewno-Ekologia.
- Krygier K., Sionek B. 2003. Ocena wpływu azotowania na stabilność oksydacyjną oleju rzepakowego. Jubileuszowa XXV Konferencja Naukowa „Rośliny Oleiste” Poznań 1-2.04.
- Lappamaki E., Stenmark G., Linden K. 1990. Lubricating oils from rape seed oil; Biomas for energy and industry: 5th EC. conference, Londyn 2: 2891-2896.
- Lauro Z. 1999. Pozyskiwanie drewna. Wydawnictwo SGGW, Warszawa
- Prus A., Adamowicz A., Wejnerowska G., Gaca J. 2002. Problemy odpadów powstających przy produkcji biodiesla. II Konferencja „Nowoczesne Technologie w Rolnictwie”, Łódź 24-25.09.
- Stelmaszuk W., Linowska E., Podedworny I., Antoniuk N. 1994. Wpływ produktów ropopochodnych na organizmy żywe. Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego „Związki ropopochodne – kryteria i metodyka oceny skażenia”, Karwice.
- Szczerek M., Wiśniewski i inni. 2000. Tribologia, Tribotechnika. Polskie Towarzystwo Tribologiczne, Instytut Technologii Eksploatacji, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich, Radom.
- Wiślicki B., Krzyżanowski R., Pałowski Z. 1995. Oleje roślinne – surowcem dla proekologicznych paliw silnikowych i olejów smarowych. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XVI: 323-332.
- Wojtkowiak R. 1999. Pojęcie biodegradowalności olejów i smarów w aspekcie ekologicznym i technicznym. Materiały sympozjum naukowego „Tendencje i problemy mechanizacji prac leśnych w warunkach leśnictwa wielofunkcyjnego”, 23-24.06. Poznań.
- Wojtkowiak R., Gornowicz R., Grodecki J., Jabłoński K., Pilarek Z., Różański H., Stempki W. 1999. Zastosowanie olejów biodegradowalnych w polskich lasach. Sprawozdanie z tematu zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych w Warszawie, Maszynopis, Katedra Techniki Leśnej AR, Poznań.
- Wojtkowiak R., Wojtkowiak A. 1999. Biodegradowalne oleje i smary. Przegląd Leśniczy, 2/99: 8-9.