

Tomasz GOŁĘBIEWSKI

## **WIELOFUNKCYJNY SMAR PLASTYCZNY (KOD NATO G-421) PRZEZNACZONY DO STOSOWANIA W WOJSKOWEJ TECHNICIE LĄDOWEJ**

*W artykule omówione zostały podstawowe wymagania jakie powinien spełniać smar przeznaczony do stosowania w nowoocześniejszej wojskowej technice lądowej. Przedstawiono również zakres prac badawczych oraz wyniki badań dla nowo opracowanego wielofunkcyjnego smaru spełniającego wymagania kodu NATO G-421 oraz wymagania w zakresie biodegradowalności.*

### **WSTĘP**

Ogólnie, wymagania minimalne dla smaru przeznaczonego do stosowania w wojskowej technice lądowej można sformułować w poniższy sposób:

- Najniższa temperatura robocza – 35 [°C],
- Najwyższa temperatura robocza 160 [°C] (w przypadku wielokrotnego „ostrego” hamowania kół z hamulcami tarczowymi temperatura pracy łożyska piasty może wzrosnąć do 160 [°C]),
- Trwałość użytkowa – co najmniej 6 000 [h] pracy w temperaturze 80 [°C] – praktycznie jest to maksymalna temperatura pracy większości skojarzeń trących w pojazdach mechanicznych,
- Podwyższone właściwości smarne (pożądane np. przy smarowaniu łożysk stożkowych, przegubów homokinetycznych lub łożysk przegubów Kardana),
- Ochrona przed korozją w obecności wody i solanki,
- Dobra adhezja do metalu,
- Odporność na wymywanie wodą,
- Kompatybilność z materiałami konstrukcyjnymi,
- Inne – na przykład właściwości przeciwfrettingowe, eliminacja zjawiska Bruneilla [1] (rodzaj zużycia, który zachodzi w trakcie transportu pojazdu na lawecie).

Jak widać z powyższego lista wymagań jest stosunkowo długa. W dodatku warsztaty obsługi chciałyby mieć „jeden smar do wszystkiego” i jeszcze jedno istotne wymaganie - dobra przetłaczalność przez przewody instalacji centralnego smarowania i smarownice.

Stały wzrost wymagań użytkowników, przemysłu i serwisu powoduje praktycznie jeden kierunek działań – stosowanie wysokiej jakości smaru wielofunkcyjnego. Dąży się do stosowania smaru o wysokiej stabilności chemicznej, mechanicznej i termicznej zdolnego do skutecznego smarowania praktycznie wszystkich mechanizmów współczesnej techniki lądowej. Obecnie większość specjalistów uważa, że takie rozwiązanie jest możliwe w oparciu o technologię smarów kompleksowych litowych [2].

W przypadku użytkowania smarów plastycznych we współczesnej wojskowej technice lądowej, występują dodatkowo szczególnie narażenia np. oddziaływanie wody i solanki, eksploatacja w środowisku dużego zapylenia lub eksploatacja tego samego sprzętu w różnych warunkach klimatycznych. Dlatego też wymagane jest aby tego typu smary mogły przyjąć do swojej objętości do 10 [% (m/m)] wody lub innych zanieczyszczeń przy zachowaniu swoich dotychczasowych właściwości użytkowych.

Smary kompleksowe litowe są znane od początku lat sześćdziesiątych. Zwykle smary litowe powstają przez zagęszczenie oleju mydłem litowym wysokocząsteczkowych kwasów tłuszczowych. Smary kompleksowe litowe zawierają sole litowe niskocząsteczkowych kwasów organicznych lub kwasów nieorganicznych. Takie rozwiązanie pozwala lepiej dobrać zagęszczacz do oleju bazowego, dzięki czemu znacznie wzrasta stabilność smaru. Początkowo smary kompleksowe litowe nie były atrakcyjne ze względu na wysoką cenę, jednak obecnie są produkowane na coraz szerszą skalę.

Mając na uwadze powyższe aspekty oraz wymagania konstruktorów sprzętu, użytkowników oraz wymagania w zakresie utrzymania jakości smarów w procesie ich przechowywania opracowano wymagania, które przedstawiono w Tab. 1.

**Tab. 1. Wymagania minimalne dla smaru do wielofunkcyjnego przeznaczonego do stosowania w wojskowej technice lądowej kod NATO G-421**

Nazwa wymagania	Jednostka miary	Wymaganie	Metody badań
Temperatura kroplenia, min	°C	230	ASTM D 2265
Penetracja po ugniataniu w temperaturze 25 °C	1/10 mm	od 265 do 295	PN-C-04133
Działanie korodujące na płytce z miedzi w temperaturze 100 °C, w czasie 24 h, stopień korozji, max	stopień korozji	1	ASTM D 4048
Odparowalność w czasie 22 h przy temperaturze 122 °C, max	% (m/m)	8	ASTM D 972
Odporność na utlenianie w temperaturze 99 °C, spadek ciśnienia, max:			
- w czasie 100 h	kPa	50	PN-C-04143
- w czasie 500 h	kPa	150	
Właściwości smarne, wskaźnik zużycia pod obciążeniem, I <sub>h</sub> , min (bieg 10 s)	kN	0,60	PN-C-04147
Właściwości przeciwzużyciowe, średnia średnica skaz, d, max	mm	0,6	MB-MPS-002 [3]
Wymywanie wodą w temperaturze 40 °C, nie więcej niż	%	5	ASTM D 1264
Stabilność mechaniczna, zmiana	1/10 mm	od -15	PN-C-

Nazwa wymagania	Jednostka miary	Wymaganie	Metody badań
penetracji po ugniataniu w temperaturze 25 °C po wałkowaniu w temperaturze 60 °C w czasie 24 h		do +45	04144
Stabilność pracy po 100 000 podwójnych cykli ugniatania, zmiana penetracji w obecności: - 10 % wody - 2 % wody	1/10 mm	od -10 do +50 od -10 do +50	MB-MPS-042 [4]
Lepkość dynamiczna w temperaturze -30 °C przy średniej prędkości ścinania 25 s <sup>-1</sup> , max	Pa · s	2 000	ASTM D 1092
Przeciwkorozyjne właściwości ochronne	-	wytrzymuje	ASTM D 1743
Wydzielanie oleju, ubytek masy: - w czasie 24 h, max - w czasie 168 h, max	% (m/m) % (m/m)	4 6	IP121
Trwałość smaru w temperaturze 140 °C przy prędkości 10 000 obr/min, min	h	900	ASTM D 3336
Wydzielanie smaru z piasty koła samochodowego w temperaturze 105 °C w czasie 6 h, max	g	5	ASTM D 1263
Żywotność w temp. 160 h, min	h	40	ASTM D 3527
Moment obrotowy w temp. -30°C dla smaru z 10% wody, max: - moment rozruchowy - moment pracy po 60 min.	mNm mNm	250 150	ASTM D 1478
Stabilność w czasie przechowywania	-	wytrzymuje	MB-MPS-013 [5]
Mieszalność: - działanie korodujące na płycie z miedzi w temperaturze 100 °C, w czasie 24 h, stopień korozji nie wyższy niż, - penetracja po ugniataniu w temperaturze 25 °C, - temperatura kroplenia, nie niższa niż, - stabilność pracy, po 100 000 podwójnych cyklach ugniatania, zmiana penetracji	stopień korozji 1/10 mm °C 1/10 mm	1 od 240 do 300 130 od -25 do +45	MB-MPS-010 [6]

Wymagania te są wystarczające aby zapewnić właściwą eksploatację smarów w wojskowej technice lądowej [8].

Mając na uwadze obecne zapotrzebowanie na produkty biodegradowalne należy uwzględnić, również to wymaganie przy projektowaniu współczesnych smarów plastycznych. Za smary biodegradowalne uznaje się te smary których poziom biodegradowalności wynosi powyżej 60 [%] według testu OECD 301F (CEC-L-33-A-93) [9].

## 1. WYNIKI PRAC BADAWCZYCH PRZY OPRACOWANIU SMARU WIELOFUNKCYJNEGO KOD NATO G-421

Wprowadzenie na wyposażenie Wojsk Lądowych (WLąd) nowego wyposażenia tj. czołgów „Leopard” czy Kołowych Transporterów Opancerzonych (KTO) „Rosomak” oraz pozostałego wyposażenia

zapewniającego działanie tego sprzętu na polu walki spowodowało rozpoczęcie prac nad polonizacją nowego uzbrojenia również w zakresie środków smarowych.

Wraz z pojawieniem się nowego uzbrojenia w WLąd pojawiła się również konieczność zapewnienia ich właściwej eksploatacji nie tylko w warunkach naszego klimatu umiarkowanego, ale również w warunkach pustynnych.

Prace nad opracowaniem krajowego smaru wielofunkcyjnego przeznaczonego do stosowania w wojskowej technice lądowej kod NATO G-421 były realizowane w ramach projektu celowego Nr 163/BO/C [10].

W wyniku realizacji projektu w ITWL opracowano technologię produkcji oraz wymagania dla ww. smaru, a w Centrum Badawczo Analitycznym RACER Sp. z o.o. wyprodukowano partię smaru, która została skierowana do badań eksploatacyjnych w wytypowanej jednostce Wojsk Lądowych.

Zakres prac związanych z realizacją tego projektu został przedstawiony w pracach [10, 15].

W Tab. 2 przedstawiono wyniki badań dla partii produkcyjnej smaru, która spełnia wymagania dla smaru G-421.

**Tab. 2. Wyniki pełnych badań użytkowych dla partii produkcyjnej smaru G-421**

Nazwa wymagania	Jednostka miary	Wymaganie	Próbka produkcyjna	Metody badań
Temperatura kroplenia	°C	min 230	246	ASTM D 2265
Penetracja po ugniataniu w temp. 25 °C	1/10 mm	od 265 do 295	266	PN-C-04133
Działanie korodujące na płycie z Cu w temp. 100 °C, w czasie 24 h, stopień korozji	stopień korozji	max 1	1a	ASTM D 4048
Odparowalność w czasie 22 h przy temperaturze 122 °C	% (m/m)	max 8	7	ASTM D 972
Odporność na utlenianie w temp. 99 °C, spadek ciśnienia, - w czasie 100 h - w czasie 500 h	kPa kPa	max 50 max 150	37 108	PN-C-04143
Właściwości smarne, wskaźnik zużycia pod obciążeniem, I <sub>h</sub>	kN	min 0,60	0,62	PN-C-04147
Właściwości przeciwzużyciowe, średnia średnica skaz, d	mm	max 0,6	0,57	MB-MPS-002 [3]
Wymywanie wodą w temp. 40 °C	%	max 5	4,1	ASTM D 1264
Stabilność mechaniczna, zmiana penetracji po ugniataniu w temperaturze 25 °C po wałkowaniu w temp. 60 °C, w czasie 24 h	1/10 mm	od -15 do +45	+36	PN-C-04144
Lepkość dynamiczna w temperaturze -30 °C przy średniej prędkości ścinania 25 s <sup>-1</sup>	Pa · s	max 2 000	1 880	ASTM D 1092
Wydzielanie oleju, ubytek: - w czasie 24 h	% (m/m)	max 4	2,1	IP121

Nazwa wymagania	Jednostka miary	Wymaganie	Próbka produkcyjna	Metody badań
- w czasie 168 h	% (m/m)	max 6	4,2	
Tendencja do tworzenia laków	g	max 10	6,6	ASTM D 4290
Zużycie przekładni – przy obciążeniu 2,27 kg, – przy obciążeniu 4,54 kg	mg/1 000 cykli	max 2,5 max 3,5	1,9 2,5	MB-MPS-005 [7]
Stabilność pracy po 100 000 podwójnych cykli ugniatania, zmiana penetracji w obecności: – 10 % wody – 2 % wody	1/10 mm	od –10 do +50	+40 +42	MB-MPS-042 [4]
Właściwości ochronne przed zużyciem typu fretting, ubytek masy łożyska	mg	max 10	7	ASTM D 4170
Przeciwkorozyjne właściwości ochronne	-	wytrzymuje	wytrzymuje	ASTM D 1743
Właściwości ochronne metodą dynamiczną	stopień korozji	max 0-0	0-0	PN-C-04175
Trwałość smaru w temperaturze 140 °C przy prędkości 10 000 obr/min	h	min 900	1200	ASTM D 3336
Żywotność w temperaturze 160 h	h	min 40	60	ASTM D 3527
Stabilność w czasie przechowywania	-	wytrzymuje	wytrzymuje	PN-V-04021
Mieszalność ze smarem wzorcowym : - działanie korodujące na płytce z miedzi w temperaturze 100 °C, w czasie 24 h - temperatura kroplenia - stabilność pracy, po 100 000 podwójnych cykli ugniatania, zmiana penetracji, - wydzielanie oleju z piasty koła samochodowego	stopień korozji  °C  1/10 mm  g	max 1  min 230  od –15 do +45  max 5	1  240  -5  4	PN-V-04046
Moment obrotowy w temp. –30°C dla smaru z 10% wody: - moment rozruchowy - moment pracy po 60 min	mNm  mNm	max 250  max 150	239  62	ASTM D 1478

Nazwa wymagania	Jednostka miary	Wymaganie	Próbka produkcyjna	Metody badań
Wydzielanie smaru z piasty koła samochodowego w temperaturze 105 °C w czasie 6 h	g	max 5	4	PN-C-04102

Na podstawie uzyskanych wyników badań laboratoryjnych, stanowiskowych oraz eksploatacyjnych została opracowana norma obronna [8] na smar G-421, który został wdrożony do eksploatacji w wytypowanej technice lądowej WP.

## 2. OPRAWOWANIE BIODEGRADOWALNEGO SMARU G-421

### 2.1. Charakterystyka smarów biodegradowalnych

Współczesne wymogi w zakresie ochrony środowiska naturalnego, spowodowały konieczność opracowania i eksploatacji biodegradowalnych smarów plastycznych. Od początku lat osiemdziesiątych obserwujemy intensywny rozwój prac badawczych w tym zakresie. Najbardziej dynamicznie badania te rozwijały się w Europie Zachodniej. Spowodowane było to wdrożeniem aktów prawnych związanych z ochroną środowiska naturalnego.

Również w Polsce obserwujemy w ostatnich latach coraz większe zainteresowanie produkcją biodegradowalnych smarów plastycznych.

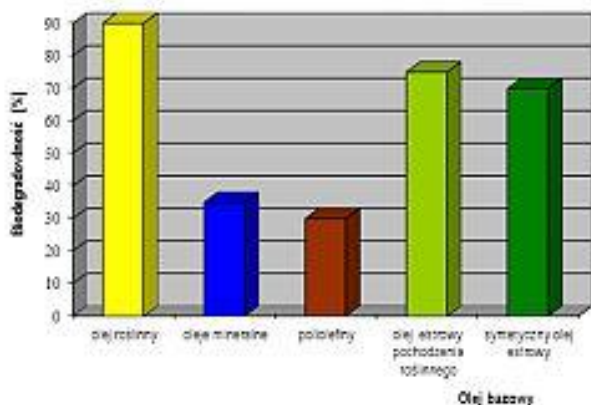
Smary plastyczne są to układy koloidalne, w skład których wchodzi olej bazowy, zagęszczacz oraz dodatki uszlachetniające. Ze względu na zawartość w smarze oleju bazowego w ilości od 75 do 95 [%] to on w głównej mierze decyduje o stopniu biodegradowalności smaru plastycznego.

Do produkcji biodegradowalnych smarów plastycznych stosowane są najczęściej oleje estrowe pochodzenia naturalnego, głównie oleju rzepakowego, oleju sojowego, palmowego lub słonecznikowego, syntetyczne estry kwasów dikarboksylowych i monoalkoholi, estry niskocząsteczkowych kwasów monokarboksylowych i polioli [16, 17, 18].

Stopień biodegradowalności wybranych olejów bazowych stosowanych do produkcji smarów plastycznych według metodyki CEC-L-33-A-93 przedstawiono na Rys. 1 [12].

Z przedstawionych na Rys. 1 danych wynika, że najwyższy poziom biodegradowalności mają oleje pochodzenia roślinnego, następnie oleje estrowe pochodzenia roślinnego, syntetyczne oleje estrowe, oleje mineralne i polialfaolefiny. Z punktu widzenia procesu produkcji smarów oraz późniejszej ich eksploatacji, najlepsze efekty uzyskuje się przy zastosowaniu do produkcji smarów następujących rodzajów olejów bazowych:

1. Olejów polialfaolefinowych,
2. Syntetycznych olejów estrowych
3. Mieszaniny olejów mineralnych i olejów polialfaolefinowych,
4. Mieszaniny olejów polialfaolefinowych i syntetycznych olejów estrowych,
5. Olejów mineralnych,
6. Olejów estrowych pochodzenia roślinnego,
7. Olejów roślinnych.



**Rys.1.** Biodegradowalność olejów bazowych według testu CEC L-33-A-93 [12]

Mamy tu do czynienia z pewną sprzecznością jeżeli chcemy uzyskać smar o wysokich parametrach jakościowych będzie on miał stosunkowo niską biodegradowalność. Jeżeli chcemy uzyskać smar o wysokim poziomie biodegradowalności to uzyskamy niski poziom właściwości użytkowych smaru.

Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie w procesie produkcji smarów dodatków uszlachetniających, tj.:

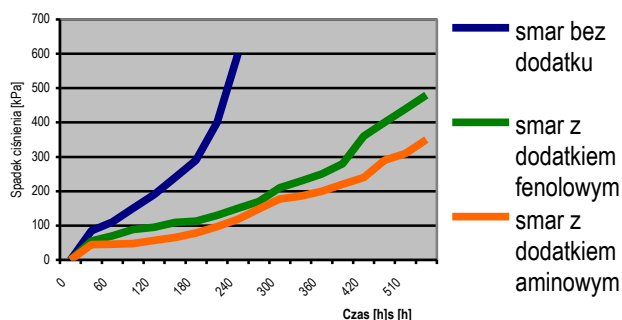
1. inhibitorów utleniania,
2. inhibitorów korozji,
3. dodatków EP i przeciwzużyciowych.

Dodatki te powinny charakteryzować się wysokim poziomem biodegradowalności.

Szczególnie trudnym problemem do rozwiązania jest zastosowanie odpowiedniego inhibitora utleniania, który charakteryzowałby się wysoką skutecznością działania w przypadku zastosowania jako olejów bazowych olejów roślinnych oraz olejów estrowych pochodzenia roślinnego [19].

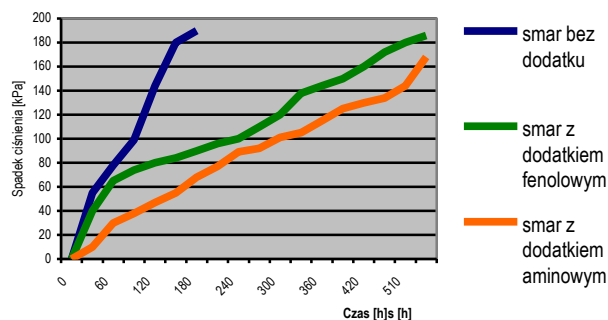
W charakterze inhibitorów utleniania stosowane są związki analogiczne jak do smarów konwencjonalnych. Są to dodatki typu amin aromatycznych oraz inhibitory typu fenolowego [11].

Efektywność działania inhibitorów utleniania w smarze zagęszczonym 12-hydroksystearynianem litu na bazie estru oleju rzepakowego, metodą ASTM D 942 [13] w temperaturze 99 °C przedstawiono na Rys. 2.



**Rys. 2.** Efekt działania inhibitorów utleniania w smarze litowym na bazie estrów oleju rzepakowego [14]

Efektywność działania inhibitorów utleniania w smarze zagęszczonym 12-hydroksystearynianem litu na bazie syntetycznego oleju estrowego, metodą ASTM D 942 [13] w temperaturze 99 °C przedstawiono na Rys. 3.



**Rys. 3.** Efekt działania inhibitorów utleniania w smarze litowym na bazie syntetycznego oleju estrowego [14]

Na podstawie uzyskanych wyników badań do dalszych prac jako olej bazowy wybrano mieszaninę syntetycznych olejów estrowych oraz dodatek antyutleniający pochodzenia aminowego [14, s. 74-114].

## 2.2. Wyniki badań biodegradowalnego smaru G-421

Wyniki badań partii produkcyjnej biodegradowalnego smaru G-421 przedstawiono w Tab. 3 [14, s.114-116].

**Tab. 3.** Wyniki pełnych badań użytkowych dla partii produkcyjnej biodegradowalnego smaru G-421

Nazwa wymagania	Jednostka miary	Wymaganie	Próbka produkcyjna	Metody badań
Temperatura kroplenia	°C	min 230	244	ASTM D 2265
Penetracja po ugniataniu w temp. 25 °C	1/10 mm	od 265 do 295	271	PN-C-04133
Działanie korodujące na płytce z Cu w temp. 100 °C, w czasie 24 h, stopień korozji	stopień korozji	max 1	1a	ASTM D 4048
Odparowalność w czasie 22 h przy temperaturze 122 °C	% (m/m)	max 8	1,86	ASTM D 972
Odporność na utlenianie w temp. 99 °C, spadek ciśnienia, - w czasie 100 h - w czasie 500 h	kPa kPa	max 50 max 150	45 138	PN-C-04143
Właściwości smarne, wskaźnik zużycia pod obciążeniem, I <sub>h</sub>	kN	min 0,60	0,62	PN-C-04147
Właściwości przeciwzużyciowe, średnia średnica skaz, d	mm	max 0,6	0,57	MB-MPS-002 [3]
Wymywanie wodą w temp. 40 °C	%	max 5	3,1	ASTM D 1264
Przeciwkorozyjne właściwości ochronne	-	wytrzymuje	wytrzymuje	ASTM D 1743
Stabilność mechaniczna, zmiana penetracji po ugniataniu w temperaturze 25 °C po wałkowaniu w temp. 60 °C, w czasie 24 h	1/10 mm	od -15 do +45	+36	PN-C-04144
Lepkość dynamiczna				ASTM



Nazwa wymagania	Jednostka miary	Wymaganie	Próbka produkcyjna	Metody badań
w temperaturze $-30^{\circ}\text{C}$ przy średniej prędkości ścinania $25\text{ s}^{-1}$	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	max 2 000	1 760	D 1092
Wydzielanie oleju, ubytek: - w czasie 24 h - w czasie 168 h	% (m/m) % (m/m)	max 4 max 6	2,5 4,7	IP121
Tendencja do tworzenia laków	g	max 10	7,6	ASTM D 4290
Zużycie przekładni - przy obciążeniu 2,27 kg, - przy obciążeniu 4,54 kg	mg/1 000 cykli	max 2,5 max 3,5	1,7 2,9	MB-MPS-005 [7]
Stabilność pracy po 100 000 podwójnych cykli ugniatania, zmiana penetracji w obecności: - 10 % wody - 2 % wody	1/10 mm	od $-10$ do $+50$	+28 +41	MB-MPS-042 [4]
Właściwości ochronne przed zużyciem typu fretting, ubytek masy łożyska	mg	max 10	6,8	ASTM D 4170
Właściwości ochronne metodą dynamiczną	stopień korozji	max 0-0	0-0	PN-C-04175
Trwałość smaru w temperaturze $140^{\circ}\text{C}$ przy prędkości 10 000 obr/min	h	min 900	1230	ASTM D 3336
Żywotność w temperaturze 160 h	h	min 40	60	ASTM D 3527
Stabilność w czasie przechowywania	-	wytrzymuje	wytrzymuje	PN-V-04021
Mieszalność ze smarem wzorcowym : - działanie korodujące na płytce z miedzi w temperaturze $100^{\circ}\text{C}$ , w czasie 24 h - temperatura kroplenia - stabilność pracy, po 100 000 podwójnych cykli ugniatania, zmiana penetracji, - wydzielanie oleju z piasty koła samochodowego	stopień korozji  °C 1/10 mm g	max 1  min 230 od $-15$ do $+45$ max 5	1  242 -5 4	PN-V-04046
Moment obrotowy w temp. $-30^{\circ}\text{C}$ dla smaru z 10% wody: - moment rozruchowy - moment pracy po 60 min	mNm mNm	max 250 max 150	241 89	ASTM D 1478

Nazwa wymagania	Jednostka miary	Wymaganie	Próbka produkcyjna	Metody badań
Wydzielanie smaru z piasty koła samochodowego w temperaturze $105^{\circ}\text{C}$ w czasie 6 h	g	max 5	4,1	PN-C-04102
Biodegradowalność	%	min 60	96	CEC-L-33-A-93

### 3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Opracowane smary plastyczne spełniające wymagania dla kodu NATO G-421 są smarami wielofunkcyjnymi spełniającymi wymagania amerykańskiej normy ASTM D 4950 dla smarów samochodowych klasy LB/GB [19], gdzie:

- „L” oznacza smary podwoziowe przeznaczone do smarowania przegubów kulowych, osi, przegubów kierowniczych, itp.
- „G” oznacza smary przeznaczone do smarowania łożysk tocznych.
- „LB” oznacza smary stosowane w samochodach osobowych, ciężarowych i innych ciężkich pojazdach, które pracują w warunkach od łagodnych do surowych. Za surowe warunki pracy uważa się warunki gdzie występują dłuższe okresy czasu pomiędzy smarowaniami skojarzeń trących w trakcie eksploatacji, wysokie obciążenia, silne wibracje, silne narażenie na działanie wody lub innych zanieczyszczeń.
- „GC” oznacza smary plastyczne stosowane w zakresie temperatur od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+120^{\circ}\text{C}$  (okresowo do  $+160^{\circ}\text{C}$ ). Smar powinien być odporny na utlenianie i degradację konsystencji, jednocześnie chronić przed korozją i zużyciem. Zalecana klasa konsystencji 2 lub 3.

Wymagania i wyniki badań dla smaru podwoziowego klasy „LB” wg normy ASTM D 4950 [19] przedstawiono w Tab. 4.

**Tab. 4.** Wymagania i wyniki badań dla klasy LB wg normy ASTM D 4950 partii produkcyjnej biodegradowalnego smaru G-421

Nazwa wymagania	Jednostka miary	Wymaganie	Próbka produkcyjna	Metody badań
Temperatura kroplenia	$^{\circ}\text{C}$	min 150	244	ASTM D 2265
Penetracja po ugniataniu w temp. $25^{\circ}\text{C}$	1/10 mm	od 220 do 340	271	ASTM D 217
Właściwości smarne, wskaźnik zużycia pod obciążeniem, $I_h$	kN	min 0,30	0,62	ASTM D 2596
Właściwości przeciwzużyciowe, średnia średnica skaz, d	mm	max 0,6	0,57	ASTM D 2266
Przeciwkorozyjne właściwości ochronne	-	wytrzymuje	wytrzymuje	ASTM D 1743
Wydzielanie oleju ze smaru	% (m/m)	max 10	2,5	ASTM D 1742
Właściwości ochronne przed zużyciem typu fretting, ubytek masy łożyska	mg	max 10	6,8	ASTM D 4170
Moment obrotowy w temperaturze $-40^{\circ}\text{C}$	Nm	max 15,5	12,1	ASTM D 4693

Wymagania i wyniki badań dla smaru łożyskowego klasy „GB” wg normy ASTM D 4950 [19] przedstawiono w Tab. 5.

**Tab. 5.** Wymagania i wyniki badań dla klasy GB wg normy ASTM D 4950 partii produkcyjnej biodegradowalnego smaru G-421

Nazwa wymagania	Jednostka miary	Wymaganie	Próbka produkcyjna	Metody badań
Temperatura kroplenia	°C	min 150	244	ASTM D 2265
Penetracja po ugniataniu w temp. 25 °C	1/10 mm	od 220 do 340	271	PN-C-04133
Moment obrotowy w temperaturze - 40 °C	Nm	max 15,5	12,1	ASTM D 4693
Wydzielanie oleju ze smaru	% (m/m)	max 10	2,5	ASTM D 1742
Odporność na wodę w temperaturze 78 °C	% (m/m)	max 15	8	ASTM D 1264
Właściwości przeciwzużyciowe, średnia średnica skaz, d	mm	max 1,0	0,57	ASTM D 2266
Tendencja do tworzenia laków	g	max 10	7,6	ASTM D 4290

## PODSUMOWANIE

Opracowane smary G-421 spełniają wymagania amerykańskiej normy samochodowej ASTM D 4950 w zakresie smarów podwoziowych - klasa LB oraz w zakresie smarów łożyskowych klasa - GC.

Wielofunkcyjny smar plastyczny kod NATO G-421 przeznaczony do stosowania w wojskowej technice lądowej może przyjąć do swojej objętości do 10 [%] bez utraty swoich właściwości eksploatacyjnych.

Biodegradowalny smar plastyczny kod NATO G-421 przeznaczony do stosowania w wojskowej technice lądowej spełnia wspólczesne wymagania w zakresie ochrony środowiska naturalnego.

## BIBLIOGRAFIA

1. Norma NF T60 – 1999/Norembre 1994. Graisses lubrificants. Apititude a resister an faux effet Brinell.
2. Campbell I.D., Harting G.L., *Industrial Lubrication and Tribology*, 1976 cal. 28-No.5.
3. Metodyka badawcza ITWL MB-MPS-002 *Badanie właściwości przeciwzużyciowych smarów plastycznych.*
4. Metodyka badawcza ITWL MB-MPS-042 *Badanie stabilności smaru w obecności wody.*
5. Metodyka badawcza ITWL MB-MPS-013 *Badanie stabilności smarów plastycznych podczas przechowywania.*
6. Metodyka badawcza ITWL MB-MPS-010 *Badanie mieszalności smarów plastycznych.*
7. Metodyka badawcza ITWL MB-MPS-005 *Badanie zużycia przekładni.*

8. Norma obronna NO-91-A278:2017 *Materiały Pędne i Smary – Smar do wysokoobciążonych łożysk tocznych kod NATO G-421.*
9. OECD Guidelines for Testing of Chemicals, Adopted by the Council on 17<sup>th</sup> July 1992, Ready Biodegradability, Test No. 301F: Manometric Respirometry.
10. Gołębiowski T., Sprawozdanie Nr 719/WOBR-MPS/04 z realizacji projektu celowego Nr 163/BO/C „Wysoko jakościowy smar dla wojskowej techniki lądowej kod NATO G-421”.
11. Beran E., *Wpływ budowy chemicznej bazowych olejów smarowych na ich biodegradowalność i wybrane właściwości eksploatacyjne*, Prace naukowe Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2008.
12. ELGI *Annual Meeting* – Barcelona Spain, May 7-9, 1995.
13. Norma ASTM D 942-15, *Standard Test Method for Oxidation Stability of Lubricating Greases by the Oxygen Pressure Vessel Method.*
14. Gołębiowski T., *Badania nad technologią wytwarzania biodegradowalnych środków smarowych o zwiększonej odporności na utlenianie i polepszonych właściwościach niskotemperaturowych*, Sprawozdanie ITWL Nr 6/JCW/85/2017, Warszawa 2017
15. Gołębiowski T., *Smar plastyczny o podwyższonej odporności na wmywanie wodą*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, z. 98, 2013.
16. Zajezińska A., Steinmec F., Trzaska E., *Biodegradowalne smary plastyczne*, XI Sympozjum Paliwa Płynne i Produkty Smarowe w Gospodarce Morskiej, Jachranka 1995 r.
17. Zajezińska A., Ptak S., *Badania biodegradowalności smarów plastycznych*, Nafta-Gaz, Rok LXXI, Nr 10/2015.
18. Gołębiowski T., Nowiński E., *Możliwość zastosowania biodegradowalnych smarów plastycznych w eksploatacji maszyn roboczych*, Technika Transportu Szynowego, 12/2015.
19. Norma ASTM D 4950-14 *Standard Classification and Specification for Automotive Service Greases.*

### Multifunctional plastic grease (NATO code G-421) intended for applying in the military land technique

*In the article essential requirements grease intended to apply in the modern military land technique should fulfil which were discussed. A scope of research works and findings were also presented for new multifunctional grease code of the G-421 NATO and requiring in the biodegradation.*

Autorzy:

dr inż. **Tomasz GOŁĘBIOWSKI** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych w Warszawie, e-mail: tomasz.golebiowski@itwl.pl

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.107

Data zgłoszenia: 2018.05.23 Data akceptacji: 2018.06.15