

Anna Zajezińska

Institut Nafty i Gazu, Kraków

Środki smarowe stosowane w przekładniach głównych silników układów napędowych pojazdów trakcyjnych

Środki smarowe stosowane w przekładniach głównych silników trakcyjnych stanowią wyspecjalizowaną grupę produktów o wymaganej wysokiej trwałości eksploatacyjnej. W artykule przedstawiono kierunki rozwoju tego gatunku smarów przekładniowych, a także zaprezentowano ich podstawowe parametry użytkowe na tle wymagań międzynarodowych specyfikacji jakościowych.

Słowa kluczowe: smary przekładniowe, silniki trakcyjne.

Lubricants used in the final drive power transmission system of railway motors/traction engines/locomotives

Lubricants used in the final drive power transmission of locomotives comprise a specialized group of products representing the required high service life. The main directions of development in this kind of gear lubricants are presented in the paper as well as their basic working parameters against the requirements of international quality specifications.

Key words: gear lubricants, locomotive traction motor.

Wstęp

Specyfika pracy układów napędowych stosowanych w kolejnictwie pojazdów trakcyjnych powoduje, że smary przekładniowe do powyższych zastosowań stanowią wyspecjalizowaną grupę środków smarowych.

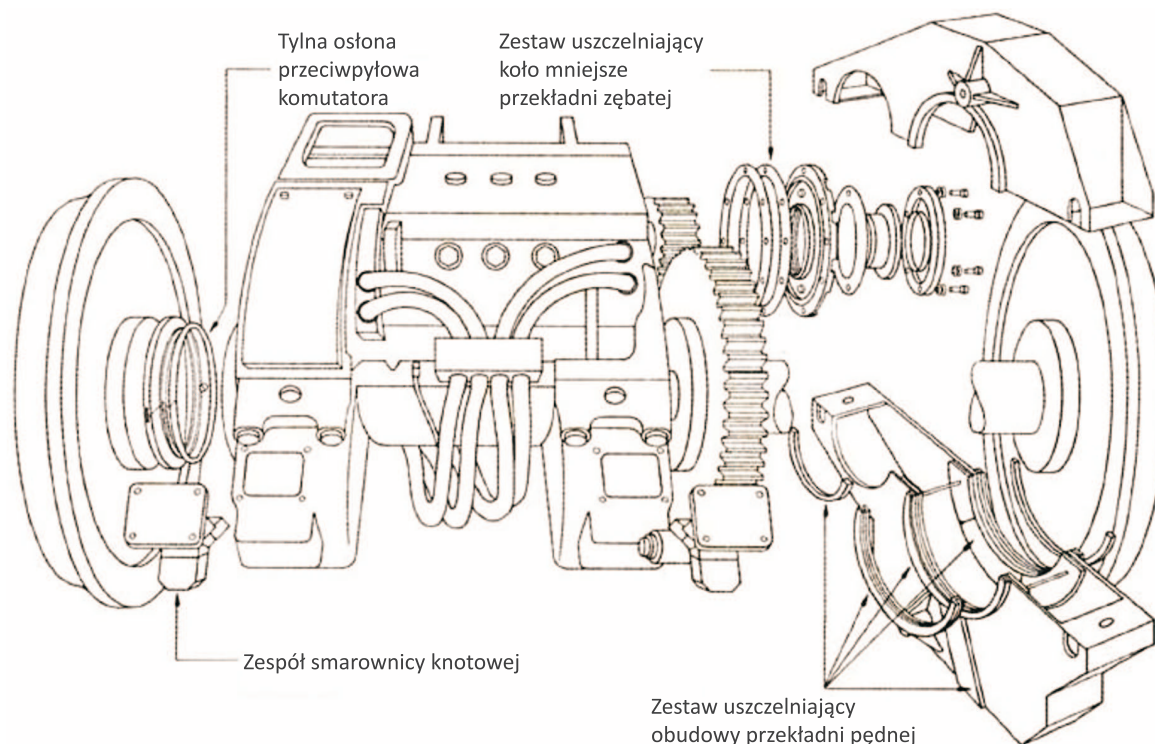
W celu zapewnienia trwałości i niezawodności pracy przekładni środek smarowy powinien spełniać wysokie wymagania jakościowe, w tym głównie charakteryzować się dobrymi właściwościami smarnymi, a w szczególności – zdolnością do przenoszenia wysokich obciążeń mechanicznych oraz dobrymi właściwościami przeciwzużyciowymi, dla zredukowania do minimum zużycia ciernego przekładni, wysoką adhezją, a także dobrymi właściwościami reologicznymi w pełnym zakresie temperatur pracy [1, 2, 4, 6, 11].

Typowe rozwiązania konstrukcyjne podwozi pojazdów trakcyjnych przewidują zastosowanie dwóch układów jezd-

nych (wózków) połączonych sprzęgłem, umożliwiającym swobodny ruch w określonym kierunku (jazda po torach prostych, przejazd po łukach szyn). W każdym wózku znajdują się dwa kompletne zespoły napędowe. Zespół napędowy składa się z silnika trakcyjnego, jednostopniowej przekładni głównej, wału drażonego z kołnierzami i sprzęgłami przegubowymi typu Alsthom oraz zestawu kołowego z kołami obrotowymi [13].

Schemat układu napędowego lokomotywy przedstawiony został na rysunku 1.

Moment obrotowy z silnika trakcyjnego przenoszony jest na wał poprzez koła zębate przekładni, która redukuje obroty silnika w stosunku 1:4,39. Z wału drażonego moment jest przenoszony poprzez kołnierze i sprzęgła przegubowe na zestaw kołowy. Oś zestawu kołowego porusza się wewnątrz



Rys. 1. Schemat układu napędowego lokomotywy [3]

wału drążonego, a tłumienie obciążeń i wibracji odbywa się na sprzęgłach elastycznych.

Duże koło przekładni zamocowane jest na wale drążonym metodą zaprasowania. Małe koło przekładni osadzone jest skurczowo na stożkowym czopie wału silnika. Koła przekładni głównej mają zęby płaskie i zamknięte są w obudowie wypełnionej smarem przekładniowym. Skrzynia przekładniowa przymocowana jest do korpusu silnika trakcyjnego i uszczelniona pierścieniami filcowymi. W skrzyni znajdują się otwory do napełniania smarem oraz wziernik do kontrolowania ilości smaru [13].

W przekładniach zębatach występują dwa rodzaje tarcia: tarcie toczne i tarcie ślizgowe. W zależności od przewagi jednego z wymienionych rodzajów tarcia, uwarunkowa-

nej konstrukcją przekładni zębataj, naciski jednostkowe są bardzo zróżnicowane. W przypadku przekładni zębatach stosowanych w układach napędowych pojazdów trakcyjnych naciski jednostkowe są bardzo wysokie i wynoszą nawet do 250 MPa [2, 3, 11].

Podstawowym zadaniem środka smarowego w przekładni jest zmniejszenie tarcia poprzez likwidację bezpośredniego styku między powierzchniami zębów i eliminację tarcia suchego prowadzącego do zużycia ciernego.

Dodatkową funkcją jest wymóg odprowadzania ciepła, generowanego w toku eksploatacji przekładni, a także odprowadzenie z obszaru tarcia produktów starzenia i produktów zużycia mechanicznego współpracujących powierzchni [1, 2, 11].

Środki smarowe aplikowane do otwartych przekładni

Rozwiązania technologiczne dotyczące środków smarowych przewidzianych do stosowania w konwencjonalnych przekładniach zębatach w charakterze komponentów przewidują stosowanie wysokiej lepkości olejów mineralnych, olejów syntetycznych, organicznych lub nieorganicznych zagęszczaczy oraz dodatków uszlachetniających o działaniu przeciwwzrostowym i przeciwwzrostowym, dodatków podwyższających odporność na procesy starzenia, dodatków antykorozyjnych i adhezyjnych.

Przykładem może być produkt stanowiący przedmiot opisu patentowego CA 2 068 860 [9]. Smar do przekładni

wytwarzany jest z udziałem kompozycji syntetycznego oleju węglowodorowego i wysokocząsteczkowego polibutenu, modyfikowanego bentonitu oraz inhibitorów utlenienia, inhibitorów korozji, a także dodatków EP o fizycznym i chemicznym mechanizmie działania.

Inne rozwiązanie przedstawiono w opisie patentowym CN 197 0706 [8]. Smar zawiera w swoim składzie olej syntetyczny, kompleksowy sulfonian wapnia oraz znane dodatki typu EP, inhibitory utlenienia, inhibitory korozji, a także dodatki reologiczne, zapewniające dobre właściwości użytkowe produktu w szerokim zakresie temperatur pracy smaru.

W przypadku smaru przekładniowego, którego skład zastrzeżono w opisie patentowym US 4 435 296 [9], akcentowane są wymagane właściwości adhezyjne produktu. Tę pożądaną cechę smaru uzyskano przez zastosowanie dodatku wysokocząsteczkowego poliizobutyleny lub polipropylenu ataktycznego o masie cząsteczkowej ok. 30 000. Zastrzeżenie patentowe obejmuje również dodatki EP, tj. kompozycję boranów metali alkalicznych oraz aromatycznych disiarczków (disiarczek dibenzylu).

Informacje dotyczące grupy środków smarowych, przeznaczonych do stosowania w przekładniach silników pojazdów

trakcyjnych, publikowane są w wąskim zakresie – zazwyczaj jako materiały firmowe lub specyfikacje producentów pojazdów.

Jednym z nielicznych materiałów zawierających informacje o właściwościach i komponentach stosowanych do wytwarzania smarów przekładniowych dla kolejnictwa są materiały techniczne firmy Shell [12]. Smary wytwarzane są z udziałem oleju bazowego o wysokiej lepkości, zagęszczacza litowego oraz dodatków EP, typu siarka – fosfor. Oferowane są w dwóch gatunkach, przewidzianych do stosowania sezonowego: o lepkości dynamicznej ok. 7 500 mm²/s i ok. 17 500 mm²/s w temperaturze 25°C.

Kierunki rozwoju smarów aplikowanych do przekładni głównych silników trakcyjnych

Pierwsze historycznie smary stosowane w przekładniach układów napędowych pojazdów trakcyjnych wytwarzane były z udziałem asfaltów i oferowane w dwu gatunkach: w wersji letniej i zimowej (tablica 1).

Tablica 1. Smary asfaltowe stosowane w przekładniach głównych układów napędowych pojazdów trakcyjnych [3]

Rodzaj smaru	Smar A wersja zimowa	Smar B wersja letnia
Penetracja w temperaturze 25°C – bez ugniatania [mm/10]	365	220
– po ugniataniu [mm/10]	382	358
Lepkość kinematyczna w temperaturze 100°C [mm ² /s]	433	1150
Test starzeniowy (Modifiet US Steel Gear Lube Thickening Test, 312 godzin, 95°C)		
Penetracja w temperaturze 25°C [mm/10]	125	43

Smary charakteryzowały się korzystnymi właściwościami eksploatacyjnymi, tj. wysoką odpornością na wodę i wysoką adhezją do powierzchni metalowych, lecz niewystarczającymi właściwościami reologicznymi w przewidzianym zakresie temperatur stosowania. Niekorzystną cechą smarów asfaltowych była również niska odporność na procesy starzenia, co skutkowało obniżeniem penetracji (twardnieniem) smaru.

Nowocześniejszym rodzajem smarów stosowanych w przekładniach głównych lokomotyw, wprowadzonym w amerykańskim transporcie kolejowym w latach 60. ubiegłego wieku, były smary sodowe. W tym okresie smary te produkowano w szerokim asortymencie i stanowiły one podstawowy gatunek smarów aplikowanych do łożysk tocznych i ślizgowych. Podstawowe właściwości przekładniowych smarów sodowych stosowanych w kolejnictwie w latach 60. ubiegłego wieku przedstawiono w tablicy 2.

Przekładniowe smary sodowe aplikowane do przekładni silników lokomotyw stanowiły półpłynne produkty (klasy konsystencji 0 lub 00, według klasyfikacji NLGI), charakteryzowały się bardzo gładką teksturą i wytwarzane były z udziałem oleju podstawowego o lepkości ok. 380 do ok. 900 mm²/s w temperaturze 100°C.

Smary sodowe zadowalająco spełniały funkcję przenoszenia obciążeń i redukowania zużycia elementów przekładni. Niekorzystnym parametrem eksploatacyjnym była ich niska odporność na działanie wody [3].

W kolejnym etapie, w połowie lat 60. ubiegłego wieku dokonano modyfikacji technologii smarów sodowych pod kątem podwyższenia ich

właściwości użytkowych oraz dostosowania do aktualnych wymagań jakościowych producentów silników oraz układów napędowych lokomotyw.

Tablica 2. Smary sodowe stosowane w przekładniach głównych układów napędowych pojazdów trakcyjnych [3]

Smar, oznaczenie	1	2	3	4
Zawartość zagęszczacza [%]	2,5	3,0	2,4	2,0
Penetracja w temperaturze 25°C – bez ugniatania [mm/10]	375	332	275	305
– po ugniataniu [mm/10]	404	410	359	355
Lepkość kinematyczna oleju bazowego w temperaturze 100°C [mm ² /s]	377	912	427	448

Obowiązującymi w tym czasie były specyfikacje General Electric Co i General Motors Corporation Electromotive Division (EMD), precyzujące wymagania dla smarów przewidzianych do stosowania w lokomotywach eksploatowanych w kolejnictwie amerykańskim (tablica 3).

Tablica 3. Wymagania jakościowe dla smarów sodowych stosowanych w przekładniach układów napędowych pojazdów trakcyjnych [3]

Wymagania	General Electric Co Spec. No. D 50E8C	General Motors Corporation Electromotive Division Spec. No. EMS-1027 Type A
Rodzaj zagęszczacza	sodowy	sodowy
Zawartość wody [%]	-	maks. 0,10
Wskaźnik zużycia pod obciążeniem [kg]	-	min. 32
Obciążenie zespawania [kg]	-	min. 160
Lepkość dynamiczna (Brookfield) w temperaturze 100°C [cP]	-	5 000÷10 000
Lepkość kinematyczna oleju bazowego w temperaturze 100°C [mm ² /s]	min. 325	390÷430

Z przedstawionych danych wynika, że General Electric Co w swojej specyfikacji zwraca uwagę głównie na lepkość oleju stosowanego do wytwarzania smarów, podczas gdy Specyfikacja No. EMS-1027 Type A General Motors Corporation Electromotive Division uwzględnia zarówno wymagania dla oleju podstawowego, jak i poziom właściwości smarnych – przeciwzużyciowych i przeciwtarciowych.

Zmodyfikowane smary sodowe o podwyższonych właściwościach użytkowych charakteryzowały się zwiększoną adhezją, a także lepszymi właściwościami uszczelniającymi w stosunku do wcześniejszych, klasycznych smarów sodowych. Jednakże, z uwagi na rodzaj zagęszczacza, smary sodowe wykazują niską odporność na działanie wody.

Przeprowadzone w tym zakresie badania laboratoryjne wykazały, że wprowadzenie w skład smaru 15% dodatku wody obniża znacznie lepkość produktu, a także wpływa na pogorszenie właściwości smarnych (tablica 4).

Dokonujący się postęp techniki, stosowanie nowych materiałów i nowych rozwiązań konstrukcyjnych spowodowało również polepszenie jakości środków smarowych stosowanych w przekładniach silników pojazdów trakcyjnych.

Kolejną generację smarów przekładniowych, spełniają-

Tablica 4. Właściwości smarów sodowych zawierających 15-procentowy dodatek wody [3]

Smar, numer partii	1	2
Skład kompozycji: – smar sodowy [% mas] – woda [% mas]	100 -	85 15
– lepkość dynamiczna w temp. 100°C [cP] (wiskozymetr Brookfielda, 4 rpm, cylinder pomiarowy nr 3)	5 400	550
– wskaźnik zużycia pod obciążeniem [kg]	37	31
– obciążenie zespawania [kg]	200	160

cych wysokie wymagania jakościowe, stanowiły smary litowe – wprowadzone jako smary przekładniowe w kolejnictwie pod koniec lat 60. ubiegłego stulecia.

Smary litowe przewyższały jakością zmodyfikowane smary sodowe w zakresie odporności na wodę, a także charakteryzowały się odpornością na ścinanie i dobrymi właściwościami reologicznymi. Zastosowany w smarze pakiet dodatków uszlachetniających EP, typu siarka – ołów, umożliwił uzyskanie produktu o wysokiej odporności filmu smarowego na naciski.

Tablica 5. Podstawowe właściwości przekładniowego smaru litowego na tle wymagań specyfikacji EMS-1027 firmy General Motors [3]

Wymagania	General Motors Corporation Electromotive Division Spec. No. EMS-1027 Type B	Smar litowy do przekładni – produkt komercyjny
Rodzaj zagęszczacza	litowy	litowy
Zawartość wody [%]	maks. 0,10	nie zawiera
Wskaźnik zużycia pod obciążeniem [kg]	min. 40	52
Obciążenie zespawania [kg]	min. 200	315
Lepkość dynamiczna (wg Brookfielda) w temperaturze 100°C [cP]	5 000÷10 000	6 600
Lepkość dynamiczna (wg Brookfielda) w temperaturze 25°C [cP]	150 000÷600 000	313 000
Lepkość kinematyczna oleju bazowego w temperaturze 100°C [mm ² /s]	170÷240	220

Podstawowe właściwości smaru litowego dopuszczonego do stosowania w przekładniach silników pojazdów trakcyjnych, na tle wymagań firmy General Motors Spec. No. EMS-1027 Type B, przedstawiono w tabelicy 5.

Rezultatem kolejnego etapu badań, prowadzonych w kierunku udoskonalania i podwyższania jakości smarów litowych, było opracowanie nowej generacji smarów litowych zawierających nowoczesne dodatki EP, typu siarka – fosfor.

Zastosowanie w kolejnictwie amerykańskim nowego typu smaru poprzedzone zostało długotrwałymi badaniami eksploatacyjnymi. Smar aplikowano do przekładni głównych układów jezdnych lokomotyw wyposażonych w silniki wysokiej mocy, rzędu 900 KM.

Eksploatację obserwowaną prowadzono w pełnym sezonie na dystansie ok. 100 tys. mil. W toku badania obserwowano i rejestrowano prawidłowość pracy układu napędowego oraz analizowano zmiany parametrów fizykochemicznych smaru przekładniowego.

Badania eksploatacji obserwowanej prowadzono z udziałem dwóch rodzajów smarów litowych, tj. zawierającego dodatki EP typu siarka – ołów oraz smaru wytworzonego z udziałem dodatków EP typu siarka – fosfor. W celu porównania do

badan włączono również zmodyfikowane smary sodowe. Podstawowe właściwości smarów przedstawiono w tabelicy 6.

Badania wykazały, że smar litowy zawierający dodatki EP typu siarka – fosfor charakteryzuje się dobrymi parametrami eksploatacyjnymi w zakresie zdolności przenoszenia obciążeń, wysoką zdolnością ochrony przed zużyciem elementów przekładni, dobrymi właściwościami uszczelniającymi, wysoką odpornością na działanie wody, dobrą adhezją oraz zdolnością ochrony korozyjnej. Doprowadziło to do opracowania komercyjnego produktu, charakteryzującego się parametrami jakościowymi przedstawionymi w tabelicy 7.

Zarówno smary sodowe, jak i litowe stosowane były z powodzeniem przez wiele lat w przekładniach silników pojazdów trakcyjnych eksploatowanych w krajach Ameryki Północnej. Smary litowe są nadal stosowane jako podstawowy gatunek smarów do przekładni w przeważającej ilości eksploatowanych lokomotyw.

Aktualne potrzeby rynku, dotyczące smarów przekładniowych przewidzianych do stosowania w kolejnictwie, sygnalizują potrzebę zastosowania produktów o jeszcze wyższych parametrach eksploatacyjnych: smar, oprócz wysokiej zdolności do przenoszenia obciążeń i wysokiej odporności

Tabela 6. Charakterystyka techniczna smarów przekładniowych stosowanych w badaniach eksploatacyjnych [3]

Smar, oznaczenie	Smar L	Smar S	Smara X
Rodzaj zagęszczacza	litowy	sodowy	litowy
Lepkość kinematyczna oleju bazowego w temperaturze 100°C [mm ² /s]	216	345,5	388,8
Dodatki EP	ołów – siarka	nie zawiera	siarka – fosfor
Lepkość – wiskozymetr Brookfielda			
– w temperaturze 93°C, cylinder 3, 4 rpm [cP]	7 500	1 100	7 450
– w temperaturze 25°C, cylinder 3, 4 rpm [cP]	204 000	334 000	398 000

Tabela 7. Typowe parametry jakościowe smaru litowego przewidzianego do stosowania w przekładniach głównych silników trakcyjnych [3]

Parametry	Smara litowy do przekładni głównych silników trakcyjnych
Lepkość oleju bazowego:	
– w temperaturze 100°C [cSt]	367
– w temperaturze 210°F [SUS]	1 798
Zawartość zagęszczacza litowego [%]	1,5
Dodatki EP [rodzaj]	siarka – fosfor
Lepkość dynamiczna (Aparat Brookfielda)	
– w temperaturze 210°F, cylinder 3, 4 rpm [cP]	7 450
– w temperaturze 77°F, cylinder 7, 4 rpm [cP]	398 000
Zdolność do przenoszenia obciążeń, badanie z zastosowaniem stanowiska Timken, OK load [lb]	40
Właściwości przeciwzużyciowe w badaniu w aparacie 4-kulowym, średnica śladu zużycia elementów badawczych [mm]	0,26
Wskaźnik zużycia pod obciążeniem [kg]	53
Właściwości przeciwzatarciowe w badaniu w aparacie 4-kulowym, obciążenie zespawania [kg]	315

na wodę, powinien charakteryzować się wysoką stabilnością mechaniczną i termooksydacyjną.

Według najnowszych doniesień literaturowych prowadzone są badania w tym kierunku, tj. zastosowania w charakterze zagęszczacza smaru – kompleksowego sulfonianu wapnia [8, 11]. Ta grupa smarów z uwagi na specyficzną budowę zagęszczacza, wytwarzanego z udziałem nadzasadowego sulfonianu wapnia [5, 8, 14], wykazuje naturalne, bardzo korzystne cechy eksploatacyjne, tj. bardzo dobre

właściwości EP i przeciwożarciowe, wysoką odporność na wodę oraz wysoką zdolność ochrony korozyjnej.

Smary zagęszczone kompleksowym sulfonianem wapnia stosowane są obecnie w charakterze środków smarowych do specjalistycznych zastosowań w hutnictwie, górnictwie i przemyśle cementowym. Z uwagi na zalety eksploatacyjne brano są one pod uwagę również jako smary, które w perspektywie mogą stanowić najnowszej generacji smar do przekładni kolejowych pojazdów trakcyjnych.

Podsumowanie

Zapewnienie trwałości eksploatacyjnej oraz niezawodności pracy przekładni głównej silników pojazdów trakcyjnych wymaga stosowania specjalistycznych środków smarowych charakteryzujących się wysokim poziomem parametrów jakościowych – głównie zdolnością do przenoszenia wysokich obciążeń w warunkach dostępu wody i zanieczyszczeń mechanicznych.

Środki te dopuszczane są do aplikacji w przekładniach w oparciu o długotrwałe badania eksploatacji obserwowanej, prowadzonej w normalnym ruchu pasażerskim i towarowym z udziałem kilku do kilkunastu jednostek.

Aktualnie, według dostępnych danych, jedynie kilka firm reprezentujących światowe koncerny naftowe ma w swoim asortymencie produktów smary do przekładni głównych pojazdów trakcyjnych posiadających aprobaty jakości.

Z uwagi na powszechność transportu kolejowego oraz ilość eksploatowanych pojazdów trakcyjnych problematyka powyższa ma duże znaczenie techniczne i ekonomiczne, stwarzając równocześnie ważne i perspektywiczne zagadnienie badawcze, będące odpowiedzią na sygnalizowane potrzeby i plany modernizacji krajowego kolejnictwa.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2013, nr 8, s. 626–631

Artykuł powstał na podstawie pracy badawczej realizowanej w ramach środków statutowych – praca INiG na zlecenie MNiSW, nr archiwalny DK-4100-89/2009, nr zlec. 0089/TO/09.

Literatura

- [1] Ethyl – Lubricant Specification Handbook, 2001.
- [2] *Getting into Gear*. Materiały techniczne firmy Afton. July 2006.
- [3] Hill A. L.: *Locomotive traction motor gear lubricants*. Lubrication. Materiały techniczne firmy Texaco 1985, vol. 71, no. 1.
- [4] Lansdown A. R.: *Lubrication. A Practical Guide to Lubricant Selection*. Pergamon Press 1982.
- [5] Muir R. J.: *High Performance Calcium Sulfonate Complex Lubricating Grease*. NLGI Spokesman 1988, 52, 4, s. 140–146.
- [6] Neale M. J.: *Lubrication. A Tribology Handbook*. Butterworth, Heinemann, Oxford 1993.
- [7] Opis patentowy CA 2 068 860 – 10.05.1992, Harris J. W., Shell Canada Limited. *Lubricant mixtures and grease compositions based thereon*.
- [8] Opis patentowy CN 197 07 06 – 30.05.2007, Lin Peng, Aushan Haihua Grease Chemical. *Open type gear lubricating grease*.
- [9] Opis patentowy US 4 435 296 – 06.03.1984, Brooks Ch., Dodson S., Newman R. The British Petroleum Company Limited, London. *Lubricating grease*.
- [10] Shibaew S. B., Nesterov A. V.: *New Semiliquid Lubricant for Locomotive gears*. Chemistry and Technology of Fuels and Oils 1995, no. 30, pp. 5–6.
- [11] *TOTAL – Przemysłowe środki smarowe. Poradnik*. Warszawa 2003.
- [12] www.shell-lubricants.com
- [13] www.transpotszynowy.pl
- [14] Zajezińska A.: *Wielofunkcyjne smary łożyskowe*. Nafta-Gaz 2008, nr 7, s. 462–468.



Dr inż. Anna ZAJEZIERSKA
Zastępca Kierownika Zakładu Olejów, Środków Smarowych i Asfaltów.
Instytut Nafty i Gazu
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: zajeziarska@inig.pl