

Jacek SPAŁEK
Maciej KWAŚNY

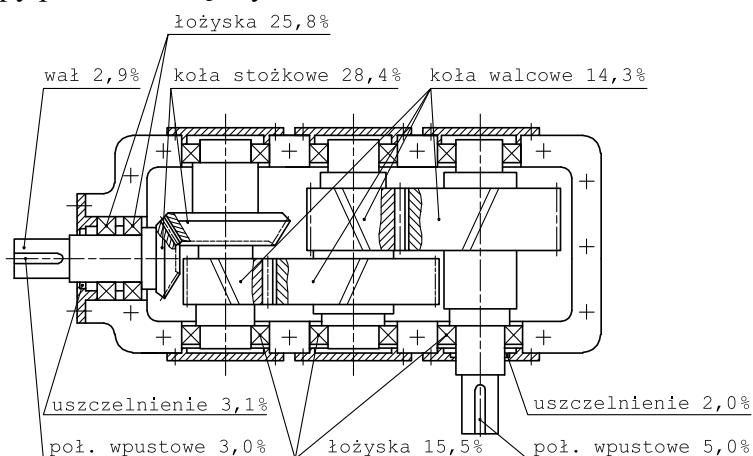
PODSTAWY KSZTAŁTOWANIA TRWAŁOŚCI EKSPLOATACYJNEJ PRZEKŁADNI ZĘBATYCH UKŁADÓW NAPĘDOWYCH MASZYN ROBOCZYCH

Streszczenie. W artykule dokonano uogólnionego podsumowania wpływu podstawowych parametrów geometrycznych, materiałowych, konstrukcyjno-technologicznych i eksploatacyjnych na trwałość przekładni zębatych napędów maszyn i pojazdów specjalnych. Rozpatrzono zagadnienie trwałości ząbów, wskazując na istotność wpływu tych parametrów na: wytrzymałość doraźną i zmęczeniową zębów oraz odporność warstwy wierzchniej na zniszczenie tribologiczne. Ponadto, pokazano istotną rolę inżynierii smarowania w kształtowaniu trwałości łożyskowań. Artykuł w szczególności ma na celu wzbogacenie bazy wiedzy konstruktorów, niezbędnej na etapie opracowania koncepcji oraz podejmowania decyzji w optymalizacji innowacyjnych układów napędowych maszyn roboczych o przeznaczeniu wojskowym.

Słowa kluczowe: przekładnie zębate, łożyska, smarowanie, układy napędowe, trwałość.

1. WPROWADZENIE

Przekładnie zębate stanowią integralny element napędów praktycznie wszystkich maszyn roboczych: cywilnych i wojskowych. Ich trwałość w wielu przypadkach determinuje ich niezawodność eksploatacyjną. Doświadczenia eksperymentalne i badania eksploatacyjne [5] wykazują, że znaczący udział (około 30%) w przedwczesnej utracie trwałości tych przekładni stanowią zniszczenia tribologiczne ząbów i łożysk, bezpośrednio lub pośrednio związane z niewłaściwym smarowaniem i/lub nieskutecznym uszczelnieniem wałów: czynnego i biernego oraz kadłuba (rys. 1). Tak więc, zużycie tribologiczne oraz stan termiczny [4], oprócz wytrzymałości zmęczeniowej oraz doraźnej elementów i węzłów konstrukcyjnych, stanowi podstawowy problem w zapewnieniu wymaganej trwałości wymienionej grupy przekładni zębatych.



Rys. 1. Struktura uszkodzeń elementów przekładni stożkowo-walcowej napędu górnego przenośnika zgrzeblowego

Identyczne problemy determinują trwałość przekładni w układach przeniesienia mocy w pojazdach wojskowych, a zwłaszcza gąsienicowych. Zagadnienia te w całym okresie działalności Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Urządzeń Mechanicznych OBRUM sp. z o.o. traktowane były jako priorytetowe. Typowymi przykładami są m.in. prace dotyczące globalnej analizy strat mocy w układzie napędowym czołgu T-72, w aspekcie jego modernizacji [12], pogłębione badania nad wpływem parametrów konstrukcyjnych na straty generowane w zazębieniach [13] oraz szczegółowo rozpatrujące podstawy doboru oleju smarującego do przekładni bocznej pojazdu gąsienicowego [11] oraz jego wpływu na trwałość zazębienia [10]. Artykuł niniejszy wypełnia lukę w zakresie globalnego podejścia do kształtowania i oceny trwałości głównych węzłów kinematycznych przekładni na poszczególnych etapach technologicznego „istnienia”, tj. w procesie projektowania, wytwarzania i użytkowania.

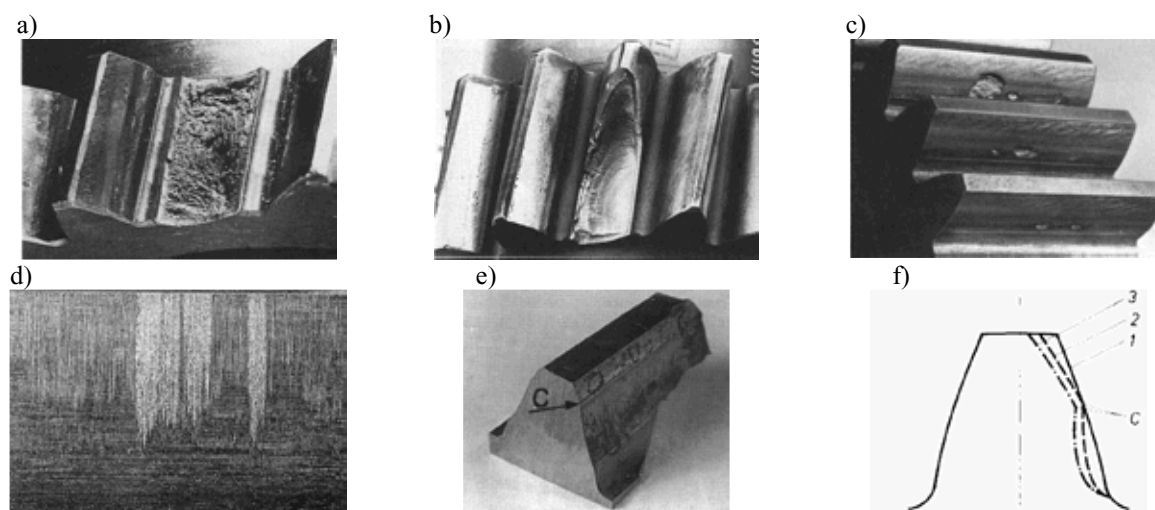
2. GŁÓWNE PARAMETRY WPLYWAJĄCE NA TRWAŁOŚĆ PRZEKŁADNI ZĘBATYCH

Generalnie trwałość robocza (eksploatacyjna) przekładni zębatych wynika z ogólnych zasad konstrukcji maszyn [6] i kształtowana jest w kolejnych etapach jej istnienia, a więc w fazie projektowania, wytwarzania oraz w procesie użytkowania. Mówimy krócej, że trwałość jest wynikiem uwzględnienia parametrów konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych, które tworzą synergiczny system kształtowania trwałości wynikowej przekładni.

2.1. Wpływ czynników konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych na trwałość zazębienia kół przekładni

Wpływ czynników konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych winien być rozpatrywany w odniesieniu do możliwych do wystąpienia rodzajów zniszczeń zazębienia, którymi są (rys. 2):

- przełomy doraźne, będące wynikiem przekroczenia granicznej wytrzymałości statycznej, co jest charakterystyczne przy silnych losowych przeciążeniach i ekstremalnych obciążeniach rozruchowych (np. w układach napędowych pojazdów gąsienicowych);
- przełomy zmęczeniowe, wynikające z przekroczenia granicznej wytrzymałości zmęczeniowej, charakterystyczne dla praktycznie zawsze występującego zmiennego obciążenia roboczego;
- zmęczeniowe wykruszenia warstwy wierzchniej uzębienia kół (tzw. pitting), powodujące zakłóconą płynność ruchu przekładni, zwiększenie sił dynamicznych w zazębieniu i w końcowym efekcie prowadzące do przełomu objętościowego zębów;
- nadmierne zużycie abrazyjne wskutek ściernego oddziaływania twardych cząstek zanieczyszczeń w oleju smarującym, na współpracujące ze sobą powierzchnie zębów powodując ich zużycie typu mikroskrawanie;
- zniszczenia zatarciowe powierzchni roboczych zębów, charakterystyczne dla przekładni przy niedostatecznym smarowaniu, zwłaszcza olejem bez dodatków przeciwwzrostkowych oraz wskutek podwyższonej temperatury pracy [11].



Rys. 2. Przykładowe rodzaje eksploatacyjnych zniszczeń uzębień kół zębatych:
 a) złom doraźny, b) złom zmęczeniowy, c) pitting, d) zatarcie, e) złom wskutek nadmiernego zużycia ściernego, f) fazy zużycia ściernego (1, 2, 3),
 gdzie: c – punkt toczny (centralny) zazębienia

Z wymienionych rodzajów zużycia w eksploatacji przekładni zębatych maszyn mobilnych (cywilnych i wojskowych) najczęstszymi przypadkami eliminacji z użytkowania są doraźne zmęczeniowe złamania zębów oraz często prowadzące do nich na skutek zużycia tribologicznego w postaci wykruszeń warstwy wierzchniej lub nadmiernego zużycia ściernego.

W tabelicy 1 pokazano obrazowo wpływ materiału kół zębatych, parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych oraz smarowania. Znak „X” w tabelicy oznacza zdecydowany wpływ a znak „(X)” wpływ możliwy w ekstremalnych warunkach użytkowania, a zwłaszcza przy nieodpowiednim smarowaniu.

Tablica 1. Obrazowe ujęcie wpływu czynników materiałowych, konstrukcyjnych, eksploatacyjnych oraz smarowania przekładni na uszkodzenia zazębień

Rodzaj uszkodzeń zazębień	Czynniki wpływające na uszkodzenia		
	Materiał	Konstrukcja i wymuszenia eksploatacyjne	Smarowanie
Wytrzymałość doraźna i zmęczeniowa	X	X	-
Wytrzymałość stykowa (pitting)	X	X	(X)
Odporność na zniszczenie zatarciowe	(X)	X	X
Nadmierne nagrzewanie	-	X	X

Jak już wspomniano trwałość zazębienia kształtowana jest na etapie projektowo-konstrukcyjnym, technologicznym (wykonanie i montaż) oraz w procesie eksploatacji [9].

Na zniszczenia w postaci przełomu zmęczeniowego zębów mają wpływ głównie czynniki materiałowo – technologiczne jak to pokazano w tablicy 2.

Jak wynika z przytoczonej tablicy 2 najistotniejszy (dominujący) wpływ na wytrzymałość objętościową zębów ma wielkość modułu, umocnienie technologiczne warstwy wierzchniej zębów oraz dodatni współczynnik korekcji zazębienia, a więc cechy wynikające z procesu konstruowania, doboru rodzaju materiału i wytwarzania kół zębatych.

Tablica 2. Względny wpływ (orientacyjny) wybranych parametrów na wytrzymałość zmęczeniową zębów [1]

A. Materiał, technologia i stan ukształtowania warstwy wierzchniej	
– procesy technologiczne: ulepszanie cieplne : azotowanie : hartowanie	1 : 1,2 : 1,4
– chropowatość powierzchni ze stali ulepszonej cieplnie: $R_z = 4 \mu\text{m} : 10 \mu\text{m} : 40 \mu\text{m}$	1 : 0,9 : 0,9
– chropowatość powierzchni zębów ze stali hartowanej: $R_z = 4 \mu\text{m} : 10 \mu\text{m} : 40 \mu\text{m}$	1,05 : 1 : 0,95
– uszkodzenia przy szlifowaniu: bez uszkodzeń : z uszkodzeniami (mikrokarbami)	1 : 0,5
– stan warstwy wierzchniej: bez umocnienia : umocnienie mechaniczne (np. poprzez śrutowanie)	1 : 1,3
– technologia wykonania kół zębatych: odlewane : walcowane : kute	0,8 : 1 : 1,3
B. Cechy geometryczne	
– 2-krotnie zwiększony moduł zębów	1 : 2
– korekta uzębienia: dla liczby zębów zębnika $z_1 \leq 20$	1 : 2
dla liczby zębów zębnika $z_1 > 40$	1 : 1,1
– kąt przyporu: $\alpha_t = 20^\circ : \alpha_t = 28^\circ$ dla liczby zębów zębnika $z_1 \leq 20$	1 : 1,25
dla liczby zębów zębnika $z_1 > 40$	1 : 1,15
– koła walcowe: o zębach prostych : o zębach skośnych ($\beta = 17^\circ$)	1 : 1,2
– względny promień zaokrąglenia stopy zęba: $\rho/m = 0,25 : 0,4$	1 : 1,1

Natomiast w przypadku czynników kształtujących trwałość zazębienia z uwagi na kryterium zmęczeniowego wykruszania warstwy wierzchniej, czyli pittingu, ujawnia się istotny wpływ smarowania, co przedstawiono w tablicy 3.

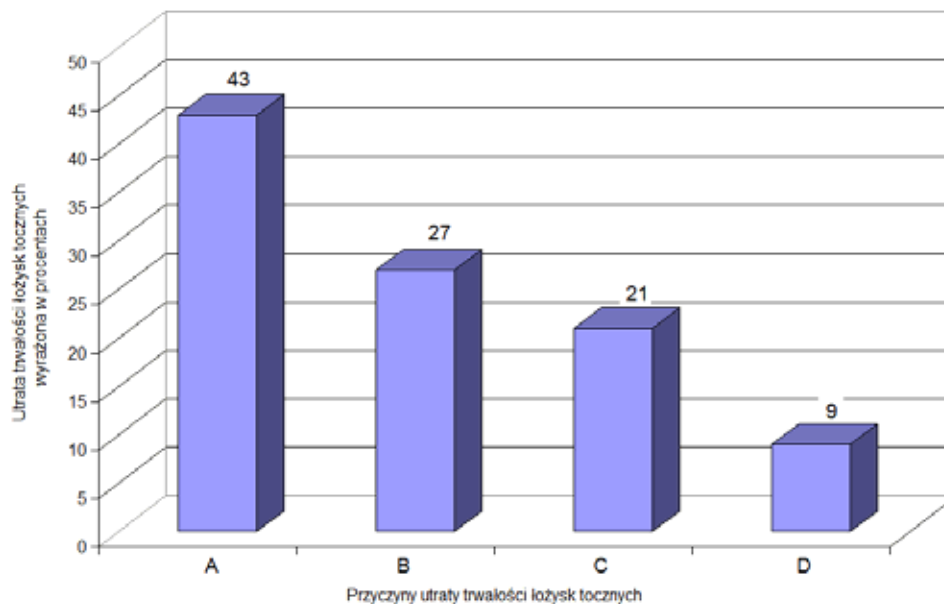
Tablica 3. Czynniki wpływające na trwałość zazębnień ze względu na kryterium pittingu [1]

A. Materiał i procesy technologiczne	
– procesy technologiczne: ulepszanie cieplne : azotowanie : hartowanie pow.	1 : 2 : 2,5
– rodzaj obróbki mechanicznej uzębnień dla stali ulepszonej cieplnie: frezowanie : frezowanie+szlifowanie	1 : 1,4
szlifowanie : szlifowanie+miedziowanie	1 : 1,2
– rodzaj obróbki mechanicznej uzębnień dla stali stopowej w postaci: szlifowanie : szlifowanie+miedziowanie	1 : 1,1
niska twardość : wysoka twardość po hartowaniu	1 : 1,1
koła odlewane : koła walcowane (kute)	1 : 1,15
B. Smarowanie i jego parametry	
– 2-krotnie wyższa lepkość robocza: dla kół ze stali ulepszonej cieplnie	1 : 1,1
dla kół ze stali hartowanej	1 : 1,05
– spadek, podczas użytkowania, lepkości roboczej o 20 mm ² /s:	1 : 0,8
– rodzaj oleju dla kół ze stali ulepszonej cieplnie: olej mineralny : olej syntetyczny (dla stali ulepszonej cieplnie)	1 : 2
olej mineralny : olej syntetyczny (dla stali hartowanej)	1 : 1,3
olej bazowy : olej z dodatkami EP	1 : 1
<i>Uwaga:</i> Interesującym jest stwierdzony fakt doświadczalny braku istotnego wpływu współczesnych dodatków EP w oleju na powstawanie i rozwój pittingu [1].	
C. Geometria uzębienia	
– zęby bez korekcji : zęby z korekcją dodatnią: dla liczby zębów zębniaka $z_1 \leq 20$	1 : 1,3
dla liczby zębów zębniaka $z_1 > 40$	1 : 1,1
– kąt przyporu na średnicy tocznej: $\alpha_t = 20^\circ$: $\alpha_t = 28^\circ$	1 : 1,3
– wysokość zębów: klasyczna : podwyższonej wysokości	1 : 1,3 ¹
– kąt pochylenia linii zębów: o zębach prostych : z o zębach skośnych ($\beta = 30^\circ$)	1 : 1,4
– wysokość głowy zęba: z nominalną wysokością : ze skróconą wysokością	1 : 1,2
¹ Pojawia się problem wzrostu stanu termicznego, a zatem stosowania odpowiednich olejów syntetycznych.	

Jak wynika z tablicy 3 w odniesieniu do zużycia pittingowego w sposób bardziej wyraźny niż w przypadku wytrzymałości zmęczeniowej zębów ujawniają się wpływy parametrów konstrukcyjno – technologicznych, zwłaszcza właściwości technologicznej warstwy wierzchniej zębów oraz przede wszystkim wpływ rodzaju zastosowanego oleju i jego lepkości. Należy przy tym zaznaczyć, że dyskusyjnym czynnikiem są tutaj dodatki przeciwzatarciowe EP w oleju. Te dodatki mają wpływ w przypadku podniesienia odporności na zatarcie oraz mniej dotychczas znanego rodzaju zniszczenia tribologicznego w postaci tzw. mikropittingu [15], prowadzącego w następstwie do rozwiniętej formy klasycznego pittingu.

2.2. Zagadnienie trwałości łożyskowań przekładni zębatych w układach przeniesienia mocy maszyn roboczych

Trwałość, praktycznie wyłącznie stosowanych w przekładniach zębatych, napędów maszyn roboczych, łożyskowań tocznych kształtowana jest, podobnie jak w przypadku zazębnień, na etapach projektowania, wytwarzania oraz w procesie eksploatacji. Przy czym występuje ta różnica, że łożyska są elementami dobieranymi, a więc ich trwałość eksploatacyjna w znaczącym stopniu zależy od jakości montażu w przekładni oraz jakości smarowania. Na wykresie, przedstawionym na rys. 3, pokazano podstawowe przyczyny utraty trwałości łożysk tocznych w procesie użytkowania.



Rys. 3. Podstawowe przyczyny utraty trwałości (eliminacji z użytkowania) łożysk tocznych [1]:

A - nieodpowiednie smarowanie, B - niepoprawny montaż (pasowanie na wale i zabezpieczenia przed ruchem względem osadzenia), C - losowe pęknięcie koszyczka lub pierścieni nośnych, D - utrata trwałości stykowej, tj. pitting elementów tocznych i bieżni

Warto w tym miejscu przypomnieć [2, 3, 8, 14], że łożyska toczne są przykładem tych zunifikowanych elementów maszyn, dla których w postaci matematycznej zależności określona jest trwałość uwzględniająca główne czynniki konstrukcyjne, materiałowe oraz eksploatacyjne (głównie jakość smarowania w procesie użytkowania). Zależność określająca trwałość eksploatacyjną łożyska tocznego ma postać:

$$L_e = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_{10} \quad (1)$$

gdzie:

L_{10} - trwałość nominalna danego typu łożyska określona doświadczalnie na poziomie ryzyka (zawodności) $r = 10\%$. Natomiast wartość L_{10} można wyznaczyć ze wzoru:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{F_z} \right)^q \quad (1a)$$

przy czym:

C - wyznaczona doświadczalnie tzw. nośność dynamiczna (w kN) łożyska przy ściśle określonym obciążeniu promieniowym. Przy tej wartości C występuje zmęczenie stykowe elementów tocznych i/lub bieżni po 10^6 obrotów (z prawdopodobieństwem $p = 90\%$),

F_z - obciążenie zastępcze (w kN). Sposób obliczania F_z określają producenci łożysk dla poszczególnych ich typów,

q - doświadczalnie wyznaczony wykładnik potęgowy; $q = 3$ dla łożysk kulkowych, $q = 10/3$ dla łożysk wałeczkowych,

a_1 - współczynnik niezawodności zależny od przyjętego poziomu ryzyka, dobierany jak poniżej

Ryzyko zachowania trwałości r , %	10	5	3	2	1
Wartość współczynnika a_1	1,00	0,62	0,53	0,33	0,21

a_2 - współczynnik uwzględniający technologię uzyskania stali łożyskowej; dla stali z wytopu klasycznego $a_2 = 1,0$, natomiast z wytopu próżniowego $a_2 > 1,0$,

a_3 - współczynnik warunków użytkowania, tj.: rodzaju środka smarowego, jego czystości oraz temperatury roboczej łożyska.

Uwzględniając normę DIN 281, można zapisać zależność:

$$a_3 = f \left(e_c, \frac{C_u}{F_z}, \kappa \right) \quad (2)$$

gdzie:

e_c - współczynnik zanieczyszczenia oleju twardymi cząstkami ściernymi (patrz tab. 4),

κ - wskaźnik względnej lepkości oleju smarującego łożysko (w mm^2/s) [9], przy czym:

$\kappa = v_{rob}/v_w$, gdzie:

v_{rob} - lepkość robocza w temperaturze pracy w mm^2/s ,

v_w - lepkość wymagana teoretyczna),

$\frac{C_u}{F_z}$ - względna nośność graniczna wywołująca zmęczenie stykowe warstwy wierzchniej.

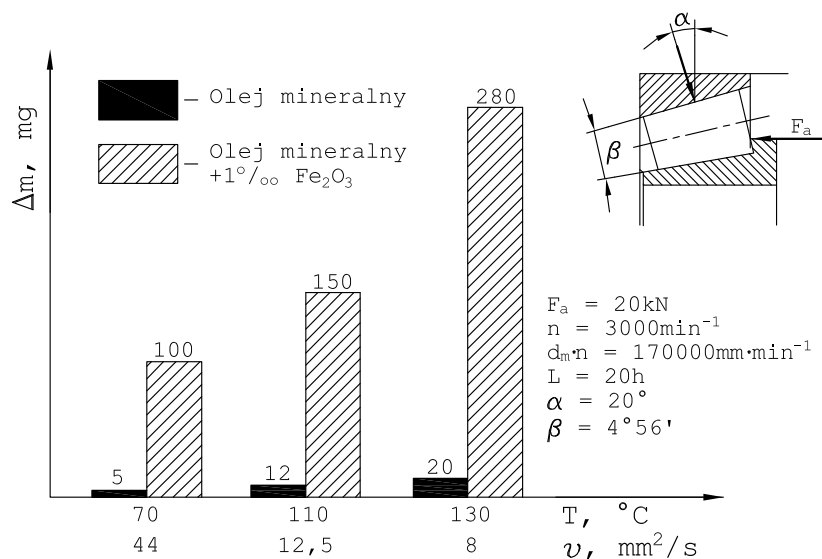
Wyznaczenie funkcji a_3 określonej powyższym wzorem (2) wymaga złożonej procedury realizowanej za pomocą programu komputerowego lub klasycznej metody nomogramowej określonej w katalogach producentów łożysk. Generalnie jeśli przyjęć pracę łożyska w zakresie trwałej wytrzymałości stykowej ($F_z/C_u \leq 1$) oraz wartość parametru lepkości oleju $\kappa = 1,0$ wówczas można założyć, że równoważnym dla współczynnika a_3 jest wskaźnik zanieczyszczenia oleju e_c , jak to przedstawia tablica 4.

Tablica 4. Wartość wskaźnika e_c w zależności od stopnia zanieczyszczenia oleju

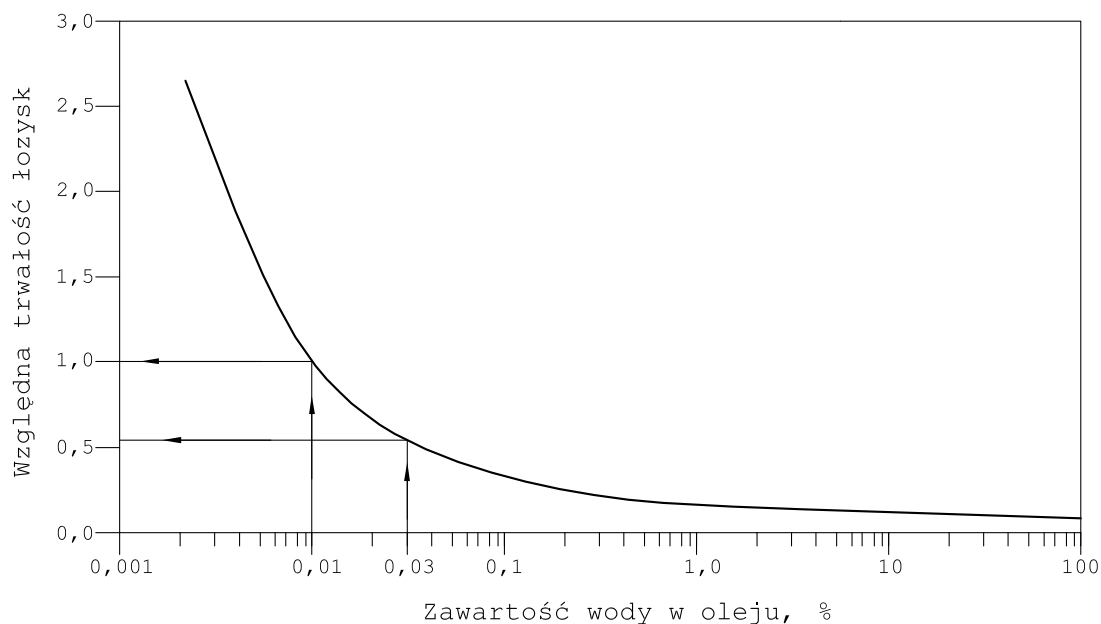
Stopień zanieczyszczenia oleju	Wartość wskaźnika e_c
Warunki laboratoryjne	1,0
Wysoka czystość przy dobrej filtracji oleju i braku zanieczyszczeń smaru plastycznego	0,8 ... 0,6
Czystość przeciętna (zwykle spotykana)	0,6 ... 0,5
Nieznaczne zanieczyszczenie środka smarnego	0,5 ... 0,3
Typowe zanieczyszczenie dla zapyłonego środowiska oraz produktów zużycia w oleju	0,3 ... 0,1
Silne zanieczyszczenie środka smarnego	0,1 ... 0,01

Z tablicy 4 wynika, że w przypadku eksploatacji przekładni w warunkach zapylenia i silnie zanieczyszczonego środka smarnego twardymi cząstkami mineralnymi oraz produktami zużycia tarcowego efektywna trwałość łożysk jest rzędu 5 do 10-krotnie niższa od trwałości obliczeniowej, jeśli nie uwzględnimy tak negatywnego wpływu zanieczyszczeń oleju na jej obniżenie.

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że mimo bogatego materiału statystycznego z zakresu awaryjności w procesie użytkowania węzłów łożyskowych w przekładniach, wiele zagadnień pozostaje dotychczas jako nierozwiązane. Chodzi tu zwłaszcza o precyzyjne procedury jakościowo-ilościowe określające wpływ wymuszeń eksploatacyjnych konkretnych grup maszyn mobilnych, a zwłaszcza czołgów, na trwałość węzłów łożyskowych. Dysponujemy obecnie dość znaczną ilością wyników badań laboratoryjnych, które wskazują na istotność wpływu smarowania (rys. 4) czy zawartości wody w oleju smarującym (rys. 5).



Rys. 4. Zależność zużycia łożyska stożkowego od lepkości i temperatury oleju smarującego [1]



Rys. 5. Wpływ zawartości wody w oleju na trwałość łożysk stożkowych (wg FAG) [14]

Dane te wskazują na istotność uwzględniania w procesie projektowania zagadnienia hermetyczności przekładni oraz filtracji oleju, jednak w wielu przypadkach w niedostatecznym stopniu pokazują jak należy kształtować postać konstrukcyjną przekładni, by uzyskać poprawę przedwczesnej utraty trwałości. Wymaga to przeprowadzenia dla maszyn mobilnych specjalnego przeznaczenia dodatkowych analiz i badań poligonowych.

3. PODSUMOWANIE

Istotny dla praktyki problem poprawy trwałości eksploatacyjnej przekładni zębatych układów przeniesienia mocy pojazdów specjalnych musi być konsekwentnie realizowany zarówno w fazie projektowania, jak i eksploatacji. Z uwagi na to, że znaczna część awarii tych przekładni wynika z postępującego w czasie eksploatacji zużycia o charakterze tribologicznym, zwłaszcza łożysk i ząbów przekładni, istotna jest tu rola pełnego zrozumienia dla ważności inżynierii smarowania.

Przytoczone w artykule tylko wybrane wyniki badań doświadczalnych i rozważań teoretycznych (gdyż zagadnienie jest bardzo obszerne) wskazują, że istnieją już praktyczne przesłanki do takiego zintegrowanego postępowania, by poprawę trwałości przekładni zębatych uzyskać na wszystkich etapach istnienia przekładni, tj. kształtowania konstrukcyjnego, technologii wykonania i montażu oraz w procesie użytkowania.

W fazie eksploatacji przekładni kluczowe jest zapewnienie hermetyczności przekładni względem agresywnego otoczenia (skuteczności uszczelnień), monitorowanie jej bieżącego stanu technicznego oraz wprowadzenie zintegrowanego systemu filtracji oleju smarującego.

4. LITERATURA

- [1] Bartz W. J.: Einführung in die Tribologie und Schmierungstechnik. Expert Verlag, Renningen 2010.
- [2] Brändlein J.: Wälzlagerpraxis. Vereinigte Fachverlage, 3. Auflage, Mainz 1995.

- [3] Katalog główny SKF nr 4000/II/PL. Wydawnictwo SKF 1991.
- [4] Kwaśny M., Spałek J.: Wspomaganie identyfikacji procesów tribologicznych w badaniach innowacyjnych konstrukcji przekładni planetarnych poprzez zastosowanie metody termowizyjnej. *Tribologia*, nr 3/2015 (261). ISSN 0208-7774, str. 79-88.
- [5] Skoć A., Spałek J.: Analiza awaryjności przekładni zębatych zespołów napędowych maszyn górniczych. *Maszyny Górnicze*, (12) nr 3/48, Wyd. KOMAG, Gliwice 1994, str. 33-37.
- [6] Skoć A., Spałek J.: Podstawy konstrukcji maszyn. Tom I. WNT, Warszawa 2006.
- [7] Skoć A., Spałek J., Kwaśny M.: Podstawy konstrukcji maszyn. Tom III. WNT, Warszawa 2016 (oddany do druku).
- [8] Spałek J.: Zarys tribologii i inżynierii smarowania. Podstawy konstrukcji maszyn. Tom 2. WNT, Warszawa 2008.
- [9] Spałek J.: Problemy inżynierii smarowania maszyn w górnictwie węgla kamiennego. Monografia nr 57. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- [10] Spałek J.: Wpływ oleju na trwałość tribologiczną uzębień przekładni zębatych. *Biuletyn SPG*, nr 13, 2000, str. 101-106.
- [11] Spałek J.: Kryteria i podstawy teoretyczne doboru oleju do smarowania przekładni bocznej pojazdu gąsienicowego. *Biuletyn SPG* nr 6, 1995, str. 103-122.
- [12] Spałek J., Knapczyk H., Masły S., Wilk A.: Analiza wpływu smarowania na straty mocy w układzie przeniesienia napędu pojazdu gąsienicowego. *Biuletyn SPG* (19) nr 1, 2004, str. 23-38.
- [13] Spałek J., Kwaśny M., Bochenek S.: Analiza strat mocy w zazębieniu przekładni zębatej. *Biuletyn SPG* (25) nr 1, 2010, str. 63-70.
- [14] Wälzlager. Katalog INA-FAG, 1. Auflage, Schweinfurt, Oktober 2008.
- [15] Winter H., Schönnenbeck G.: Graufleckigkeit an einsatzgehärteten Zahnrädern. *Antriebstechnik*, 24, 1985, nr 9, str. 53-61.

SHAPING THE SERVICE LIFE OF GEAR DRIVE SYSTEMS OF WORKING MACHINES

Abstract. The paper presents a generalized summary of the effects of basic geometrical, material, construction and technological and operational parameters on the durability of gear drives of machines and special vehicles. The issue of gear meshing durability is examined, indicating the significance of the impact of these parameters on: immediate and fatigue strength of gear teeth and resistance of surface layer to tribological failure. In addition, the important role of lubrication engineering in the shaping of bearings durability is demonstrated. The paper aims to enrich the knowledge of design engineers which is necessary at the stage of concept development and making decisions on the optimization of innovative drive systems of working machines designed for military use.

Keywords: gears, bearings, lubrication, drive systems, durability.