

Krzysztof **SKOWRON**
Marcin **DUSZAK**
Tomasz **WRÓBEL**

BADANIA PRZEKŁADNI BOCZNEJ POJAZDU GĄSIENICOWEGO

Streszczenie. Końcowy etap procesu projektowania przekładni bocznych pojazdu gąsienicowego stanowią badania stanowiskowe odwzorowujące rzeczywiste warunki pracy. Podczas badań zadane parametry (moment obrotowy M oraz prędkość obrotowa n) zbliżone są do parametrów wynikających z warunków użytkowania pojazdu. W artykule przedstawiono metodykę prowadzenia badań, weryfikację i ocenę zużycia elementów składowych, co stanowi podstawę do wprowadzenia niezbędnych zmian konstrukcyjnych elementów przekładni. Ponadto pokazano schemat stanowiska badawczego badań weryfikacyjnych i zaprezentowano uzyskane wyniki badań.

Słowa kluczowe: pojazdy gąsienicowe, przekładnia boczna, badania stanowiskowe, przekładnia zębata.

1. WSTĘP

W pracach badawczo-rozwojowych przed wdrożeniem konstrukcji nowych wyrobów niezbędne są następujące kolejne etapy realizacji:

- budowa modelu,
- wykonanie prototypu,
- wykonanie partii próbnej,
- uruchomienie produkcji seryjnej.

Celem wymienionych etapów realizacji jest wyeliminowanie błędów oraz optymalizacja konstrukcji nowego produktu. W dążeniu do zapewnienia wysokiej niezawodności, obniżenia kosztów użytkowania poszukiwane są od lat różne metody i opracowane są określone procedury, mające na celu zweryfikowanie zaprojektowanej konstrukcji urządzenia przed jego wdrożeniem do eksploatacji.

Dynamiczny rozwój narzędzi informatycznych pozwala obecnie na projektowanie z wykorzystaniem wirtualnych technik wspomagających. Dostępne są nowoczesne systemy 3D CAVE umożliwiające przestrzenną wizualizację obiektu, maszyny oraz zespołu i modyfikację wzajemnych zależności geometrycznych w czasie rzeczywistym.

Konstrukcje pracujące pod obciążeniem są weryfikowane poprzez obliczenia metodą elementów skończonych (MES). Zaawansowane techniki obliczeniowe pozwalają m.in. obniżyć masę konstrukcji, zachowując optymalne parametry wytrzymałościowe.

Wymienione powyżej metody postępowania nie kończą procesu projektowania. W złożonych konstrukcjach konieczna jest weryfikacja konstrukcji maszyny, urządzenia czy zespołu metodami doświadczalnymi, w warunkach laboratoryjnych, stanowiskowych i poligonowych. W artykule weryfikacja konstrukcji została opisana na przykładzie stanowiskowych badań sprawdzających poprawność zaprojektowanych przekładni bocznych pojazdu gąsienicowego.

2. PRZEDMIOT BADAŃ

W publikacji [4] przedstawiony został proces projektowania przekładni bocznych, uwypuklający najważniejsze aspekty projektowania nowej konstrukcji, z uwzględnieniem newralgicznych węzłów konstrukcyjnych.

W trakcie zrealizowanych w Biurze Konstrukcji OBRUM sp. z o. o. prac projektowych przekładni bocznej pojazdu lądowego wykorzystane były techniki prototypowania wirtualnego 3D SOLIDWORKS, co pozwoliło w dalszej fazie rozwoju konstrukcji wykonać model przekładni.

Cały proces rozwoju konstrukcji w fazie modelowania opiera się na wykonaniu modelu i szczegółowym badaniu eksperymentalnym. Uzyskane wyniki stanowią podstawę do optymalizacji konstrukcji. W przypadku negatywnych wyników badań procedura zakłada wprowadzenie odpowiednich korekt w konstrukcji przekładni.

3. CEL I ZAKRES BADAŃ STANOWISKOWYCH PRZEKŁADNI BOCZNYCH

Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie szeregu ważnych parametrów przekładni jak:

- płynność pracy przekładni: występowanie nieprawidłowości przy np. wzroście pobudzeń dynamicznych, drgań itp. może świadczyć o braku współosiowości łożysk, wałów lub kół zębatych co doprowadzi do awarii przekładni w procesie jej eksploatacji;
- równomierność nagrzewania się przekładni: temperatury poszczególnych węzłach kinematycznych pomiarowych powinny być zbliżone. Jeżeli w którymś z punktów temperatura byłaby znacznie podwyższona, może to oznaczać problem ze niedostatecznym smarowaniem poszczególnych węzłów, błędnie dobranymi tolerancjami średnic osadzenia łożyska, lub błędami wykonawczymi czopów wałów, czy brakiem współosiowości wykonania otworów pod łożyska w korpusie przekładni;
- hermetyczność przekładni: pojawienie się wycieków świadczyć może o źle dobranych uszczelnieniach lub błędach wykonawczych, ich brak świadczy o poprawności konstrukcji;
- stabilność pracy pod obciążeniem: stanowi główny etap badań przekładni, pozwalający wnioskować o poprawności pracy przekładni w warunkach zbliżonych do eksploatacyjnych.

4. METODYKA BADAŃ

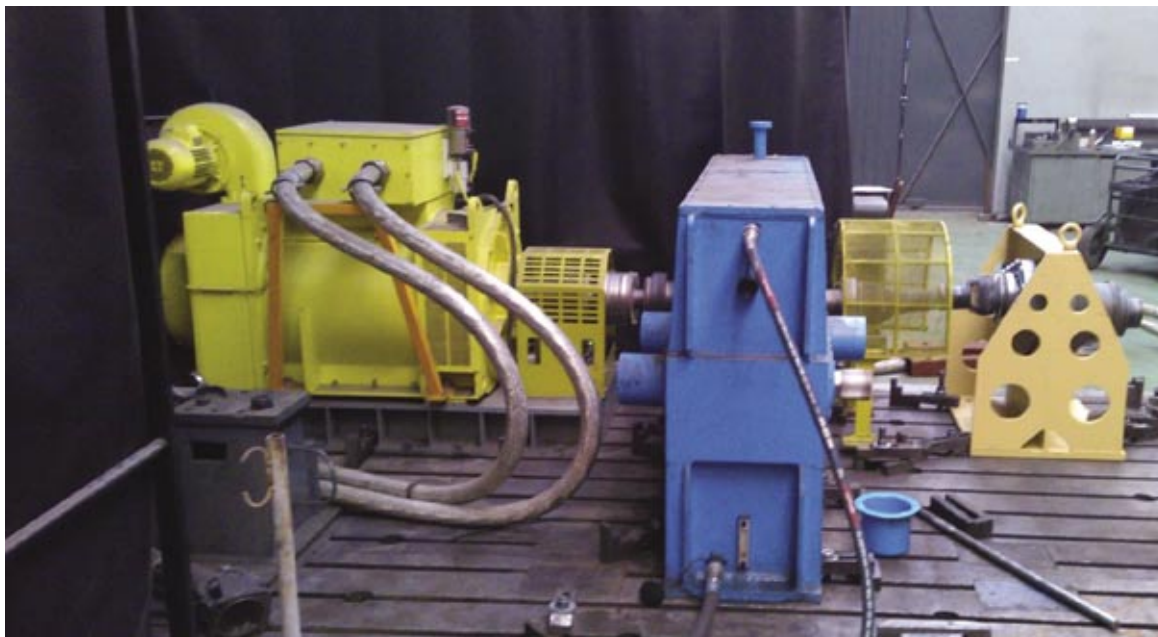
Badania zostały przeprowadzone na stanowisku badawczym utworzonym z następujących elementów:

- maszyna dynamometryczna, (element napędzający),
- przekładni pracującej jako reduktor o przełożeniu $u = 3$,
- przekładni pracującej jako reduktor o przełożeniu $u = 5$,
- hamulec wodny firmy SCHENK typu D900,
- rejestrator temperatury UPM 60 wraz z termoparami typu J.

Badania podzielono na dwa etapy:

- 1) Badania przekładni bez obciążenia.

Podczas testów badania przekładni boczna była podłączona poprzez reduktor o przełożeniu $u = 3$



Rys. 1. Stanowisko badawcze przekładni bocznej bez obciążenia roboczego

- 2) Badanie pod obciążeniem roboczym.



Rys. 2. Fragment stanowiska do badania pod obciążeniem roboczym

Przekładnie, boczną lewostronną oraz prawostronną, umieszczono w odpowiednim stojaku odzwierciedlającym ich usytuowanie w wyrobie. Rejestrację temperatury zapewniały termopary typu J podłączone do rejestratora UPM 60 (rys. 4).



Rys. 3. Rozmieszczenie punktów pomiaru temperatury

Zastosowano 7 termopar oznaczonych symbolami od 00 do 06; umiejscowiono je na kadłubie (rys. 3) przekładni, w głównych jej węzłach konstrukcyjnych (wyjście napędu, miejsce osadzenia łożysk).



Rys. 4. Rejestrator temperatury UPM60

Rejestrator temperatury UPM60 pozwala na zapis temperatury jednocześnie na wielu kanałach o zadanym kroku czasowym. Przyjęto krok pomiarowy 1 s, co pozwala na dokładne śledzenie przyrostu temperatury oraz szybką reakcję w przypadku jakichkolwiek nieprawidłowości (nagłego wzrostu temperatury), unikając uszkodzenia przekładni.

5. OPIS PROCESU BADAŃ PRZEKŁADNI BOCZNYCH

5.1. Kryteria oceny badanych przekładni

Oceny badanych przekładni dokonano przyjmując następujące kryteria:

- płynność pracy przekładni,
- zakres termiczny przekładni,
- hermetyczność przekładni.

W przypadku braku stwierdzenia płynnej pracy i pojawiających się wycieków oleju smarującego, należy zdemontować elementy i przeprowadzić identyfikację przyczyn ich wystąpienia. Następnie po usunięciu tych niesprawności można ponownie prowadzić badania. Pomiar temperatury jest znacznie bardziej złożony. Wartości temperatur we wszystkich newralgicznych punktach pomiarowych (wybranych węzłach konstrukcji) powinny być porównywalne przy założonej tolerancji $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

5.2. Wstępne badania przekładni

Wstępne badania przekładni zostały wykonane w dwóch etapach:

Etap 1 – badania bez obciążenia.

Badania bez obciążenia polegały na sprawdzeniu poprawności montażu elementów przekładni oraz sprawdzeniu temperatury przy minimalnym momencie występującym tylko ze współpracy węzłów konstrukcyjnych przekładni.

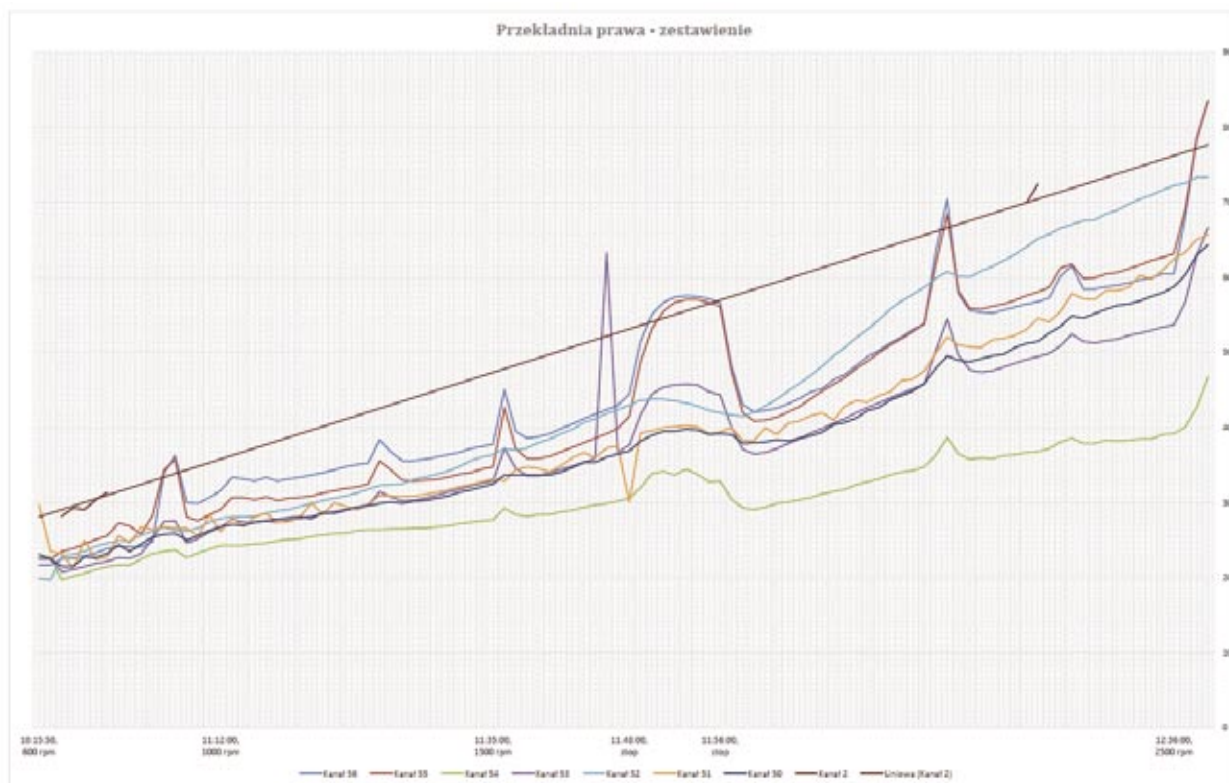
Badania rozpoczęto przy prędkości obrotowej 600 min^{-1} , zwiększając ją płynnie do wartości 2500 min^{-1} . Po osiągnięciu tej prędkości obrotowej test zakończono. Na rys. nr 6 (przekładnia prawostronna), nr 5 (lewostronna) przedstawiono wykresy temperatur zarejestrowanych podczas testów.

Etap 2 – badania przekładni pod obciążeniem.

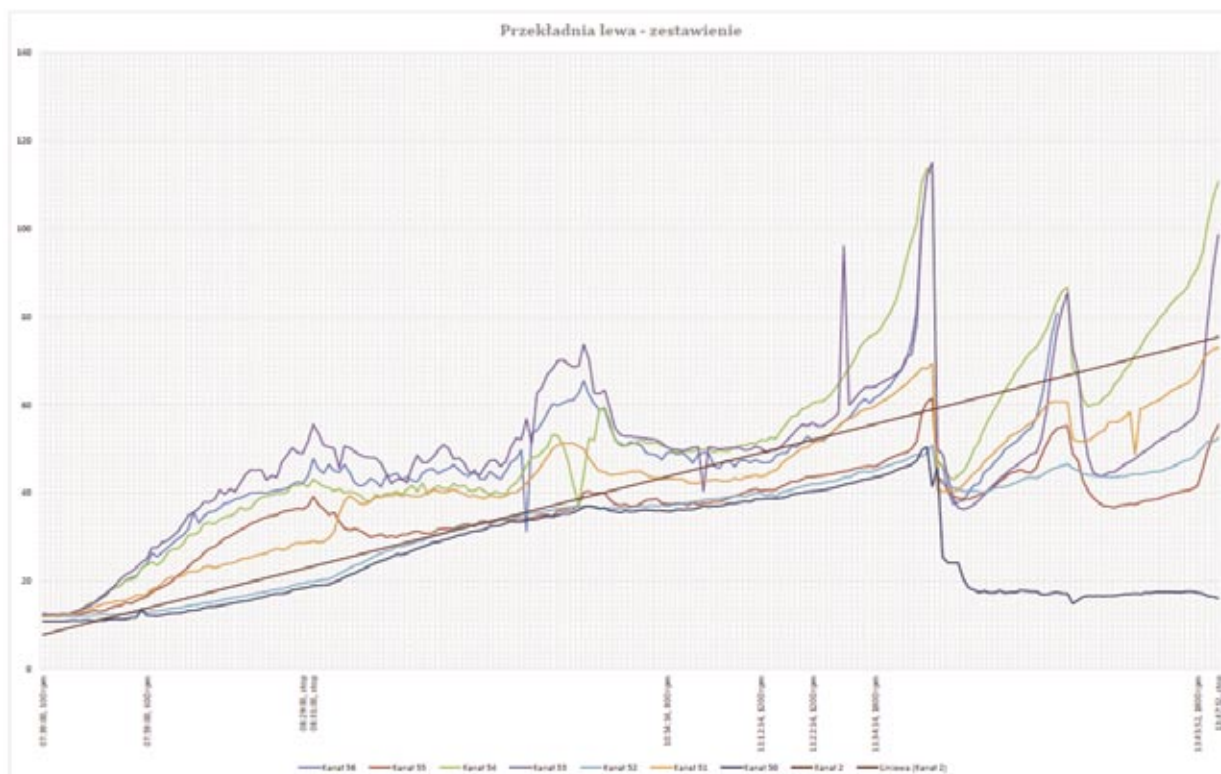
Badania pod obciążeniem zostały zrealizowane w laboratorium napędowym OBRUM sp. z o.o. zastosowano obciążenie zmienne, symulując jazdę wozu na różnych biegach. Moment obciążenia był zadawany przez hamulec wodny SCHENK D900.

Na rysunkach 7, 8, 9 pokazano wykresy temperatur w wyznaczonych punktach pomiarowych zarejestrowanych podczas badań pod obciążeniem.

5.2.1. Wyniki badania bez obciążenia roboczego

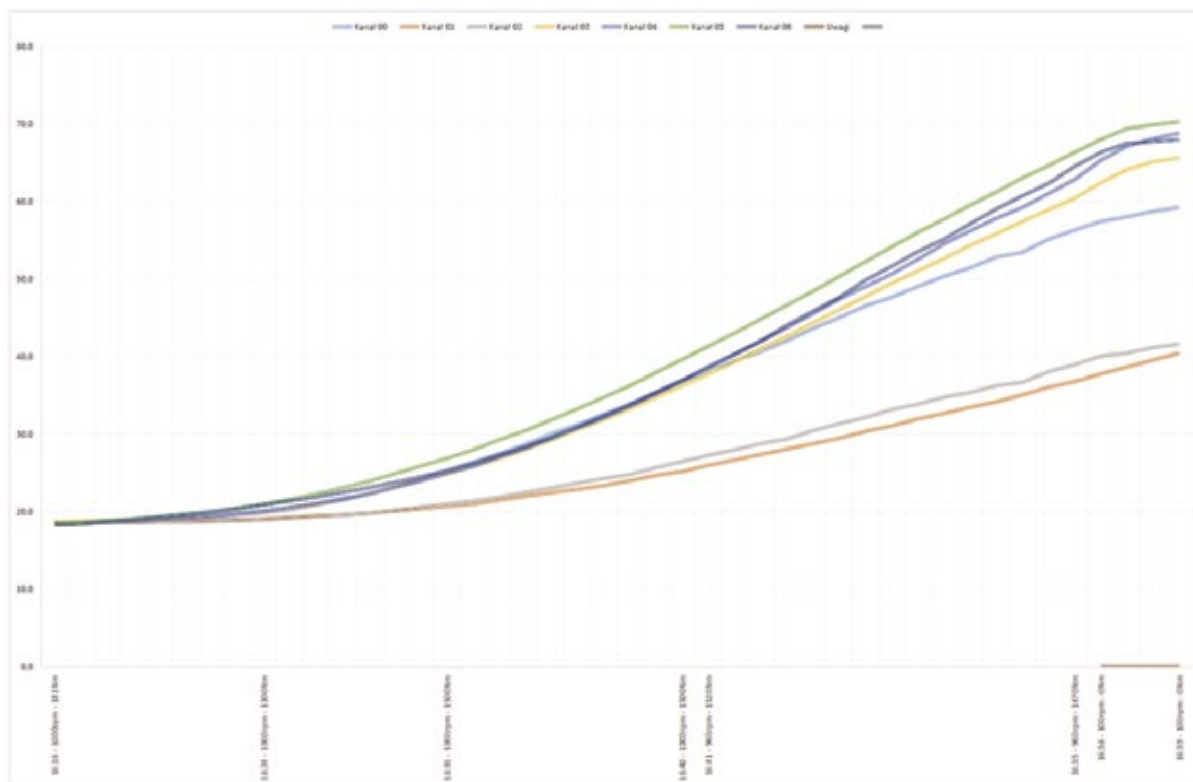


Rys. 5. Temperatury zarejestrowane w punktach pomiarowych przekładni lewostronnej badanej bez obciążenia



Rys. 6. Temperatury zarejestrowane w punktach pomiarowych przekładni prawostronnej badanej bez obciążenia

5.2.2. Wyniki badania pod obciążeniem roboczym



Rys. 7. Wykresy temperatur zarejestrowanych punktów pomiarowych przekładni lewej pod obciążeniem

5.3. Analiza wyników

Przeprowadzone w ramach 1 etapu badania ujawniły niesprawności przekładni, które wystąpiły w czasie prób przekładni bez i z obciążeniem. Przedstawione wykresy temperatur pokazują rozkład zmierzonych temperatur w wybranych węzłach konstrukcyjnych przekładni a mianowicie:

- przekładnia prawostronna (rys. 6) – stwierdzono nagły wzrost temperatury do 115°C, oraz wyciek oleju, który pokazał nieskuteczność uszczelnień, co skutkowało przerwaniem badań stanowiskowych przekładni, (nie przeprowadzono badań pod obciążeniem przekładni prawostronnej, z powodu jej awarii);
- przekładnia lewostronna (rys. 5) – widać stopniowy wzrost temperatury, stwierdzono chwilowe duże wzrosty temperatury powstałe wskutek kontrolowanego cyklu przerywania pracy stanowiska badawczego w celu sprawdzenia występowania wycieków;
- przekładnia lewostronna (rys. 7) – badania przekładni wykonane pod obciążeniem wykazały nieznaczny wzrost temperatury.

5.3.1. Wprowadzenie zmian

Wynik testów pod obciążeniem ujawnił problemy związane z uszczelnieniami oraz przegrzewaniem się węzłów łożyskowych stopnia walcowego przekładni bocznej. Podstawowe węzły konstrukcyjne zostały poddane ponownej analizie, w szczególności

dotyczące łożyskowania przekładni walcowej. Ze względu na wysokie temperatury nagrzewania się przekładni poddano również analizie system uszczelnienia.

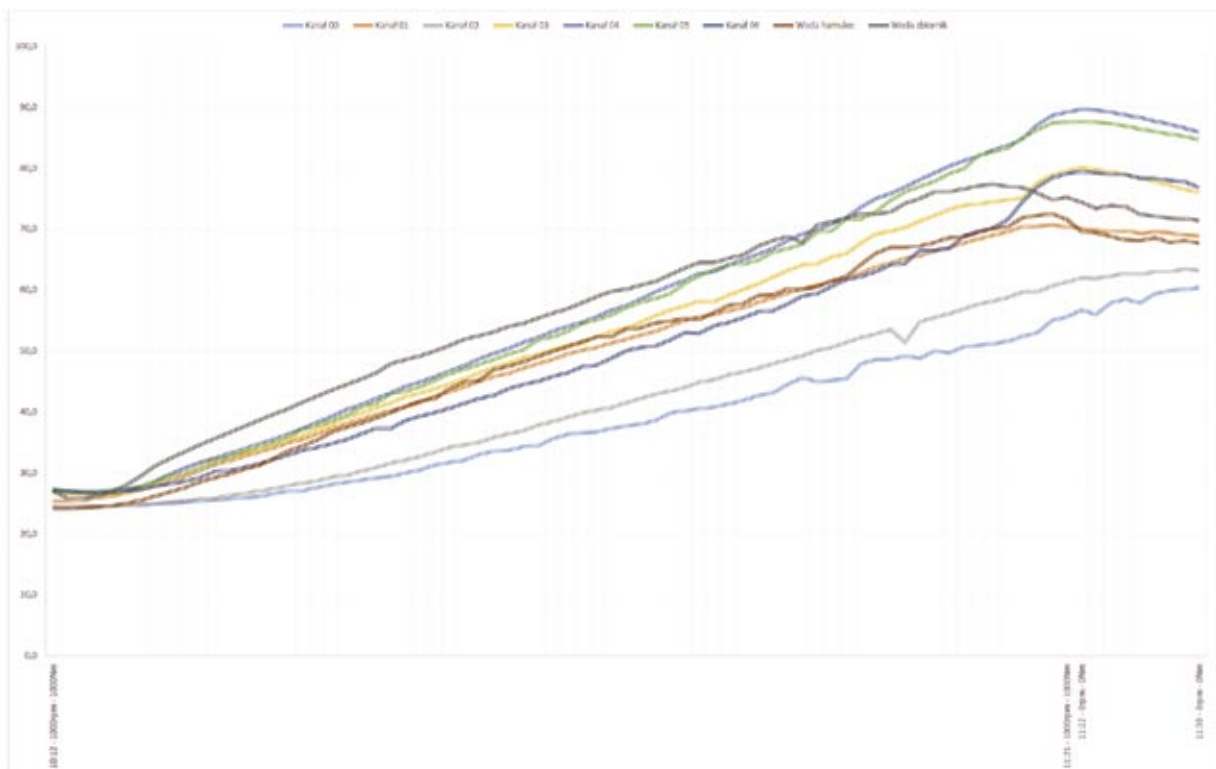
Postanowiono:

- zastąpić uszczelnienia wykonane z kauczuka akrylonitrylo-butadienowego na uszczelnienia z kauczuka fluorowego FKM, który posiada znacznie wyższą odporność na wysokie temperatury;
- zmienić tolerancje otworów pod montaż łożysk stożkowych z pasowania mieszane na pasowanie luźne.

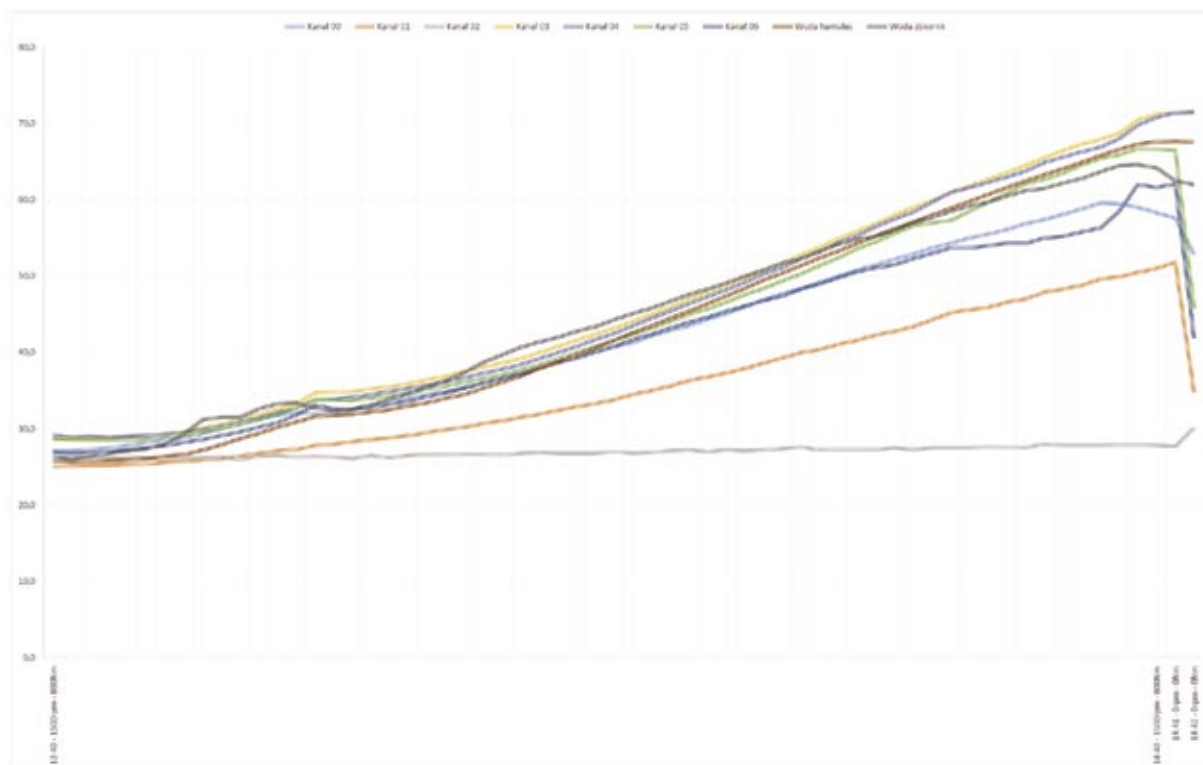
Wyniki przeprowadzonych analiz po wykonaniu badań odsłoniły słabe punkty w konstrukcji przekładni. Wymienione powyżej zalecane zmiany postanowiono wprowadzić zarazem na przekładni prawostronnej, która uległa awarii i przekładni lewostronnej, która przeszła badania. Wprowadzone zmiany poprawiają zarówno jakość przekładni, jak również odporność na wysokie temperatury.

5.4. Etap badań weryfikacyjnych przekładni

Etap badań weryfikacyjnych przeprowadzono po wprowadzeniu modyfikacji konstrukcji przekładni bocznych, opisanych w pkt. 5.3.1. Przekładnie te po ponownym i krótkim rozruchu bez obciążenia, ponownie poddano badaniom w warunkach pracy z obciążeniem zbliżonym do rzeczywistego. Poniżej przedstawiono uzyskane w badaniach wykresy temperaturowe.



Rys. 8. Wykresy zmian temperatur zarejestrowanych w punktach pomiarowych przekładni prawostronnej po modyfikacji



Rys. 9. Wykresy zmian temperatur zarejestrowanych w punktach pomiarowych przekładni lewostronnej po modyfikacji

5.5. Analiza wyników

Przeprowadzone badania wykonane po dokonaniu modyfikacji pierwotnej konstrukcji wykazały znaczące obniżenie stanu cieplnego badanych przekładni określonego przez temperatury w wyznaczonych punktach pomiarowych. W obu przekładniach nie zaobserwowano już wycieków oraz nie stwierdzono niesprawności działania. Przebieg nagrzewania się przekładni był przybliżony do zakładanego. Poszczególne węzły konstrukcyjne nagrzewały się równomiernie zarówno w przekładni prawo, jak i lewostronnej.

Zaobserwowano jedynie brak stabilności wzrostu temperatur, wynikający z krótkiego czasu badań weryfikacyjnych.

6. PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że badania stanowiskowe w warunkach laboratoryjnych i warunkach zbliżonych do rzeczywistych są niezbędnym etapem umożliwiającym skuteczne przygotowanie do wdrożenia gotowego produktu (w tym przypadku przekładni bocznych). Wyeliminowanie na etapie badań stanowiskowych usterek przyniesie wymierne korzyści w zakresie płynnych i nieprzerwanych procesów badań zakładowych i kwalifikacyjnych całego wyrobu (pojazd gąsienicowy). Przeprowadzenie badań weryfikujących konstrukcję pozwoliło na wprowadzenie zmian w przekładni, w tym przypadku zmianę uszczelnień oraz zmianę tolerancji zabudowy łożysk. Zmiany te znacząco poprawiły pracę przekładni i obniżyły temperaturę pracy.

7. LITERATURA

- [1] Burdziński Z. Teoria ruchu pojazdu gąsienicowego. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1972.
- [2] Chodkowski, A. W. Badania modelowe pojazdów gąsienicowych i kołowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1982.
- [3] Dajniak H. Ciągniki: teoria ruchu i konstruowania: podręcznik akademicki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1985.
- [4] Skowron K.: Basiura K.: Grabiński M.: Wybrane aspekty konstruowania przekładni bocznej pojazdu gąsienicowego. Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe (44), nr 2/2017 (str. 5-14). ISSN 0860-8369. OBRUM sp. z o. o. Gliwice, czerwiec 2017.
- [5] Skowron K.: Basiura K.: Projektowanie przekładni bocznej pojazdu gąsienicowego. Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe (41), nr 3/2016 (str. 25-34). ISSN 0860-8369. OBRUM sp. z o. o. Gliwice, wrzesień 2016.
- [6] Skoć A., Spalek J., Markusik S.: Podstawy konstrukcji maszyn. Tom 2. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2008.

TESTING A FINAL DRIVE FOR A TRACKED VEHICLE

Abstract. The final stage of the design process of final drives of tracked vehicles comprise bench tests that reflect the actual operating conditions. During the tests the set parameters (torque M and rotational speed n) are similar to the parameters resulting from the conditions of vehicle use. The paper presents research methodology, verification and evaluation of the wear of components, which provide a basis for making the necessary structural changes in final drive (transmission) components. In addition, a schematic diagram of the verification test stand is presented and the obtained test results are discussed.

Keywords: tracked vehicles, final drive, bench tests, gear transmission.