Modyfikacja układu rozrządu motocykla Royal Enfield Bullet 500

Mechanizm rozrządu zastosowany w silniku motocykla Royal Enfield Bullet 500 jest bardzo tradycyjnym rozwiązaniem. Jak większość zespołów tego motocykla jest dopracowany i niezawodny. Jest niestety obarczony pewną istotną wadą. W miarę narastania luzów, będących wynikiem naturalnego zużycia, staje się głośny. Hałas, który emituje ma przykry charakter. Są to metaliczne stuki budzące niepokój lub irytację. W artykule opisano przeprowadzone próby rozwiązania tego problemu. Wszystkie próby możemy podzielić na dwie kategorie: nieniszczące i niszczące. Znane są przypadki, kiedy próba w zamyśle nieniszcząca spontanicznie przeistacza się w niszczącą. Czas pokaże jakiego rodzaju próbę zrealizował autor.

Motto:
Better immediate action than postponed perfection.
Karel Van Bael

Jerzy Mydlarz

Układ rozrządu motocykla Royal Enfield Bullet w wersji gaźnikowej jest klasycznym rozwiązaniem stosowanym po dzień dzisiejszy przez wiele firm. Na końcówce wału korbowego jest osadzone koło zębate (najmniejsze i położone najniżej na rysunku 2). Jest ono zazębione z kołem zębatym tworzącym jeden zespół z krzywką sterującą ruchem zaworu wydechowego. Z tym kołem jest zazębione drugie koło zębate rozrządu, z krzywką zaworu dolotowego. Obydwa koła rozrządu, nie zamontowane na silniku, w widoku od

Rys. 1 Widok kół napędu rozrządu i krzywek sterujących

Rys. 2 Widok mechanizmu napędu rozrządu i aparatu zapłonowego
Fot.: Chris F. Bartlett; zamieszczono za zgodą autora.

strony krzywek, niewidocznej na rysunku 2, przedstawiono na rysunku 1. Ze wspomnianymi krzywkami współpracują popychacze.

Od drugiego koła rozrządu napędzany jest rząd trzech kół zębatych prowadzących napęd do wałka aparatu zapłonowego. Całość pokazano na rysunku 2.

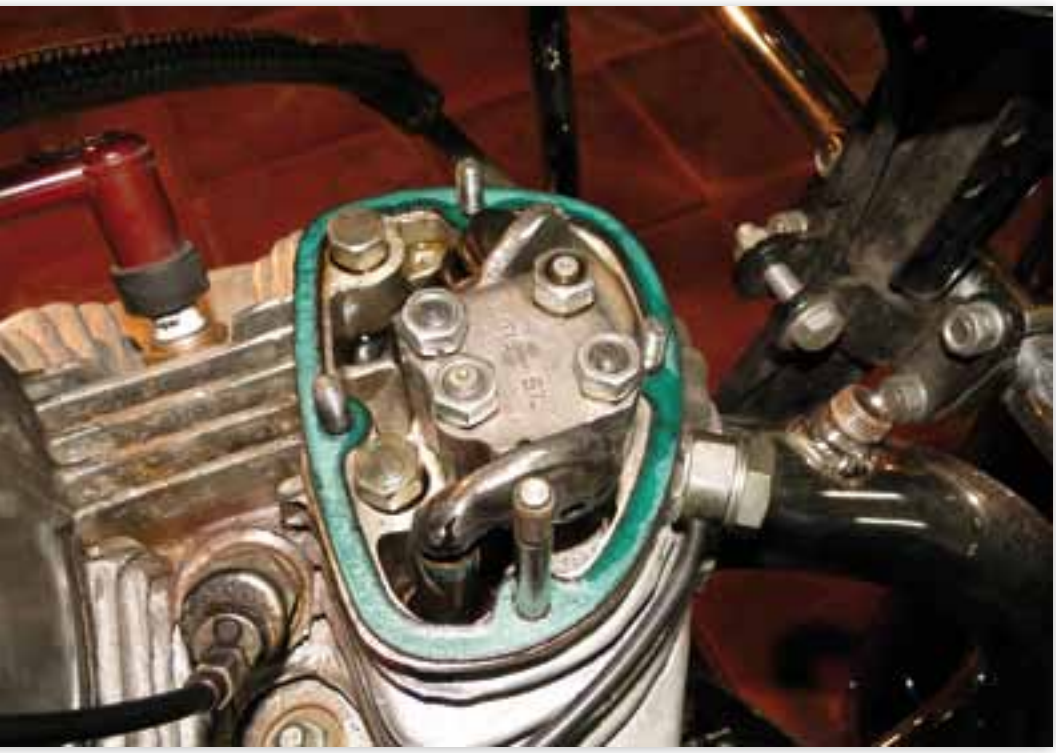
Od popychaczy do głowicy napęd przenoszą drążki popychaczy, które współpracują z dźwigienkami zaworowymi. Cechą szczególną tego rozwiązania jest regulacja luzu zaworowego za pomocą śrub regulacyjnych, umieszczonych pod użebrowaną pokrywą widoczną na rysunku 2. W większości rozwiązań śruby regulacyjne są umieszczone na dźwigienkach zaworowych w głowicy silnika.

W opisanej postaci napęd mechanizmu rozrządu w zasadzie nie wymaga żadnych modyfikacji, ponieważ działa bezawaryjnie i dobrze znosi różne, trudne warunki eksploatacji. Jest tylko jedno ale, po przekroczeniu pewnego przebiegu staje się on głośny. Na dodatek hałas wydobywający się spod pokryw głowicy ma dość przykry dźwięk. Posiadacze motocykli RE oceniają stan techniczny silnika po możliwości utrzymania dość niskich obrotów biegu jałowego i po jego cichej pracy. Nie chodzi tu o cichy układ wydechowy, ponieważ długo-skokowy singiel o słusznej pojemności 500 cm^3 wydaje bardzo przyjemny dźwięk, tylko o brak mechanicznych stuków w silniku.

Rys. 3 Widok rozmontowanej oprawy łożyska ślizgowego i dźwigienek połączonych wałkiem – rozwiązanie w wersji fabrycznej. Widoczny jest w podstawie otwór olejowy prowadzący do pierścieniowego kanałka. Dźwigienka z prawej strony, napierająca na kołpak zaworu, jest starego typu. W zmodyfikowanym rozwiązaniu zastosowano nowsze rozwiązanie.

Koncepcja

Zagadnienie stuków w układzie rozrządu intrygowało mnie już od pewnego czasu i narastało wraz ze wzrostem przebiegu mojego Bulleta. Postanowiłem zmierzyć się z problemem. Liczne dyskusje z kolegami i osłuchiwanie silnika wskazały na najbardziej podejrzane, jako źródło hałasu, elementy. Są nimi dźwigienki zaworowe, a w szczególności ich łożyskowanie. Wałki łączące dźwigienki, stanowiące z nimi jedną całość, są łożyskowane ślizgowo w dzielonych oprawach, przykręconych do górnej powierzchni głowicy. Oprawy te są wykonane ze spieku metalicznego na bazie żelaza. Rozebrany zespół pokazano na rysunku 3.



Rys. 4 Widok kompletnego nowego zespołu dźwigienki zaworu wydechowego zamontowanego na głowicy

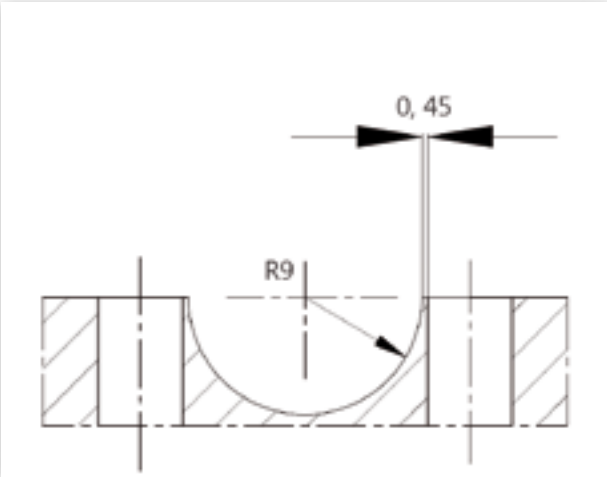
Miniaturowa nurnikowa pompa oleju dostarcza olej do obu opraw w niewielkiej ilości i pod niewielkim ciśnieniem. Olej jest doprowadzany do głowicy, zewnętrzną magistralą widoczną na rysunku 9. Napływa on przez głowicę do oprawy otworem widocznym na końcu kanałka, w dolnej części oprawy, widocznej na pierwszym planie rysunku 3. Wspomnianym kanałkiem olej przepływa wokół wałka do górnej części oprawy. Następnie, dwoma kanałkami w pokrywie, wzdłuż osi wałka (kanałki widoczne w głębi na rysunku 3), olej wypływa na zewnątrz. Warunki pracy tj. ciągła zmiana kierunku obrotów, nie sprzyjają wytworzeniu klina olejowego i trwałemu rozdzieleniu współpracujących elementów. Skutkiem takich warunków pracy jest szybkie narastanie luzów, przejawiające się w głośnej pracy. Sposób umieszczenia na głowicy oprawy dźwigienki zaworu wydechowego pokazano, w wersji oryginalnej, na rysunku 4. Na pierwszym planie widoczna jest dźwigienka wprawiana w ruch przez drążek popychacza. Z drugiej strony, w głębi rysunku, druga dźwigienka napiera na kołpak trzonka zaworu wydechowego. Pokazany na zdjęciu zespół jest całkowicie nowy, zamontowany tylko na okoliczność pomiaru dźwięku emitowanego przez elementy bez nadmiernych luzów. Ten pomiar, omówiony w dalszej części artykułu, miał posłużyć jako poziom odniesienia dla nowego rozwiązania.

Rys. 5 Widok pokrywy oprawy o powiększonym otworze, po nieudanej próbie lutospawania brązem

Pierwszą koncepcją poprawy było nałożenie, na powierzchni ślizgowej opraw, w krytycznym miejscu, warstwy brązu technologią lutospawania i ponowna obróbka na wymiar nominalny. W tym celu skręcone obie części oprawy poddano obróbce na szlifierce do otworów, w specjalnym przyrządzie, w celu powiększenia średnicy o 1 mm. Założono, że warstwa brązu grubości po 0,5 mm na stronę będzie wystarczająca. Niestety porowata struktura spieku nasączonego olejem uniemożliwiła realizację tej koncepcji. Na rysunku 5 pokazano rezultaty nieudanych prób lutospawania.

Zmiana koncepcji

W tej sytuacji postanowiłem zastosować łożyskowanie toczne zamiast ślizgowego. Ponieważ nie zetknąłem się nigdzie z rozwiązaniem, o jakim przemyśliwałem, wiedziałem, że na pewno będą problemy. Gdyby tak nie było, ktoś już by mnie uprzedził. Podstawowym problemem stojącym na drodze do realizacji tej koncepcji jest brak miejsca. Wałek dźwigienek zaworowych ma średnicę 5/8 cala tj.



Rys. 6 Przekrój zmodyfikowanej oprawy w krytycznym, zbyt cienkim miejscu. Nawęglenie na wskroś w tym miejscu może doprowadzić do wykruszenia materiału w czasie pracy.

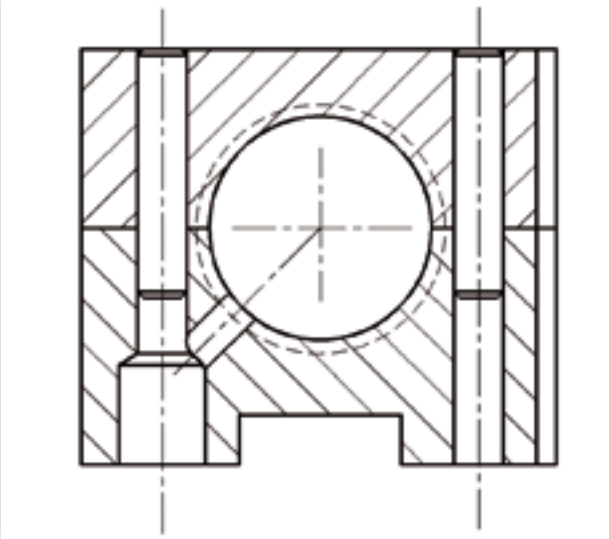
15,875 mm. Ponieważ założono z wielu powodów, że zostaną zastosowane złożenia igiełkowe z koszykami z tworzyw sztucznych, najbliższym dostępnym, handlowym, było złożenie K15x18x17TN. Symbole oznaczają średnicę wewnętrzną 15 mm, zewnętrzną 18 mm i długość 17 mm. Oznaczenie literowe oznacza koszyk z poliamidu zbrojonego. Odległość pomiędzy bocznymi powierzchniami ustalającymi dźwigienki osiowo (tj. szerokość oprawy) wynosi około 35 mm. Oznacza to, że dla każdego wałka potrzebne są dwa złożenia i pierścień odległościowy. Krytyczny przekrój przedstawiono na rysunku 6. Powiększenie średnicy otworu oprawy do ϕ 18 mm powodowałoby przenikanie się tej średnicy z otworami śrub mocujących. Średnica tych otworów wynosi w oryginale ϕ 7 mm. Średnica ta wynika z konieczności zachowania luzu montażowego dla śrub dwustronnych (szpilek) o średnicy 1/4 cala tj. 6,35 mm. W związku z powyższymi ograniczeniami, postanowiłem zastosować szpilki M6 i otwory o średnicy ϕ 6,5 mm. Taką sytuację przedstawiono na rysunku 6. Pomimo tej zmiany, w krytycznym przekroju pozostaje jedynie 0,45 mm materiału, tzw. mięsa. Otwory mocujące występują nie w miejscu największych obciążeń, tj. na zewnętrznych końcach złożeń igiełkowych, ale z powodu założonej obróbki cieplnochemicznej, w postaci nawęglania, jest to i tak zbyt mało.

Realizacja

Ponieważ mój motocykl nie służy do pracy tylko do zabawy, postanowiłem zaryzykować. Opracowałem

Rys. 7 Nowy zmodyfikowany zespół, rozmontowany w celu pokazania kanału olejowego w podstawie. Widoczne dwa złożenia igiełkowe wraz z pierścieniem dystansowym, pomiędzy nimi, osadzone w pokrywie.

dokumentację i przystąpiłem do działań praktycznych. Oprawy łożysk wykonano ze stali 17HNM, nawęglono i zahartowano do twardości 60 HRC, następnie zakołkowano obie połowy i przeszlifowano otwór na średnicę ϕ 18 z tolerancją G6 zalecaną dla ruchu oscylacyjnego. Wałki dźwigienek przeszlifowano z oryginalnego wymiaru na wymiar ϕ 15j5. Wtedy okazało się, że twardość pod usuniętym materiałem wynosi zaledwie 40 HRC, wobec pożądanych 60. W tej przymusowej sytuacji podjąłem kolejną ryzykowną decyzję i poddałem wałki operacji azotowania. Ryzyko polega na tym, że azotowana warstwa jest co prawda twarda, ale proces azotowania mógł spowodować spadek twardości rdzenia. Twarda powłoka na miękkim podłożu nie jest wiele warta. Jeżeli zastosowana technologia się nie sprawdzi, to trzeba będzie zastosować nawęglanie i hartowanie przed szlifowaniem.



Rys. 8 Przekrój oprawy w złożeniu, bez wałka dźwigienek, z widocznym kanałem olejowym zasilającym olejem złożenia igiełkowe. W celu doprowadzenia oleju wykorzystano lewy, powiększony w dolnej części, otwór kołka ustalającego.

Następnym problemem było opracowanie metodyki bez ubytkowego przecięcia koszyków złożeń igiełkowych w celu ich zamontowania na wałkach. I ten problem udało się w końcu rozwiązać kosztem zniszczenia czterech złożeń. Ostatecznie pozostało jeszcze wykonanie pierścienia dystansowego znajdującego się pomiędzy dwoma złożeniami igiełkowymi. Wykorzystałem do tego koszyki ze zniszczonych złożeń. Końcowy efekt przestawiono na rysunku 7. Widać na nim rozłożony gotowy zespół.

W dolnej części rysunku 7 widoczna jest podstawa oprawy z otworem olejowym na bieżni zewnętrznej.

Rys. 10 Widok zamontowanego zmodyfikowanego zespołu dźwigienek zaworu dolotowego

Jest on umieszczony pomiędzy złożeniami igiełkowymi. Do doprowadzenia oleju wykorzystano jeden z otworów kołków pozycjonujących obie części oprawy względem siebie. Otwór ten umieszczono nad otworem olejowym w głowicy. Zatem smarowanie złożeń igiełkowych odbywa się w ten sam sposób, co w rozwiązaniu oryginalnym. Rozwiązanie to przedstawiono w przekroju na rysunku 8. Jest ono bardzo korzystne. Wymywanie z łożysk tocznych produktów zużycia ściernego sprzyja ich długiej i dobrej pracy.

Wspomniane wcześniej szpilki M6, na swych dolnych końcach mają oczywiście gwint 1/4 cala, tak jak oryginalne. Ponieważ górna średnica gwintu została

Rys. 9 Widok głowicy przygotowanej do montażu zmodyfikowanego zespołu. Widoczne cztery metryczno-calowe szpilki M6-1/4'.

Rys. 11 Widok zamontowanego zmodyfikowanego zespołu dźwigienek zaworu wylotowego

Rys. 12 Widok stanowiska pomiarowego

zmniejszona o 0,35 mm, w porównaniu z oryginałem, postanowiłem zastosować specjalne, podwyższone nakrętki M6 o wyższej wytrzymałości.

Montaż

Na rysunku 9 przedstawiono widok głowicy od strony zaworu dolotowego, ze zdemontowanym oryginalnym zespołem i przygotowanymi do montażu zmodyfikowanego zespołu czterema metryczno-calowymi szpilkami.

Na rysunkach 10 i 11 pokazano zamontowane zmodyfikowane zespoły dźwigienek zaworu dolotowego i wylotowego.

Kolejnym zagadnieniem, które było źródłem niepokoju, była kwestia doboru właściwego momentu obrotowego przy dokręcaniu nakrętek mocujących. Oryginalne calowe nakrętki powinny być dokręcone momentem 14,5 Nm. Ponieważ M6 ma średnicę o 0,35 mm mniejszą, niż 1/4 cala, to w trosce o wytrzymałość rdzenia na rozciąganie, również moment dokręcania został zmniejszony do 13 Nm. Z czystej proporcji wynikałoby nieco więcej, ale śruby oryginalne są walcowane, a moje były wykonane technologią skrawania ze stali ulepszonej cieplnie do około 30 HRC.

Pomiar głośności

Weryfikacja poprawności nowego rozwiązania została przeprowadzona za pomocą miernika ciśnienia akustycznego. Celem pomiarów nie było zmierzenie bezwzględnej wartości tylko porównanie emisji trzech źródeł. Pierwszym był oryginalny układ rozrządu po przebiegu 20000 km. Drugim – nowy rozrząd w wersji fabrycznej, a trzecim – zmodyfikowane rozwiązanie. Zaimprowizowane w garażu stanowisko pomiarowe pokazano na rysunku 12.

Sercem stanowiska był widoczny na pierwszym planie, umieszczony na statywie, sonometr MASTECH 7601 o następujących, podanych przez producenta parametrach:

- Ekran : LCD, 4 cyfry
- Próbkowanie 1/sek (tryb SLOW), 8/sek (tryb FAST)
- Zakres częstotliwości mierzonej: 31,5 Hz – 8 kHz
- Dokładność: ±1,5 dB
- Rozdzielczość: 0,1 dB
- Zakresy pomiarowe: 30 ~ 80 dB, 40 ~ 90 dB, 50 ~ 100 dB, 60 ~ 110 dB, 70 ~ 120 dB, 80 ~ 130 dB
- Ważenie częstotliwości: Typ A i C
- Czas reakcji: wskaźnik linijkowy – 20/sek; wskaźnik cyfrowy – 2/sek.

Rys. 13 Widok sondy obrotomierza elektronicznego, zamontowanej na przewodzie wysokiego napięcia

Rys. 15 Widok ekranu komputera w czasie trwania pomiaru

Miernik był podłączony do komputera, który był urządzeniem rejestrującym. Wyniki pomiaru były eksportowane do arkusza kalkulacyjnego. Ponadto, w celu przeprowadzenia każdego pomiaru w zbliżonych warunkach, w skład stanowiska wchodził obrotomierz elektroniczny, termometr cyfrowy i stoper. Położenie wszystkich obiektów zostało oznaczone flamastrem na posadzce również w celu zapewnienia powtarzalności warunków pomiaru. Obrotomierz elektroniczny, w postaci samochodowego miernika uniwersalnego, podłączono specjalną sondą do przewodu wysokiego napięcia (Rys. 13). Sonda termometru elektronicznego była wsunięta pomiędzy żebra głowicy (Rys. 14). Na rysunku 15 pokazano widok ekranu komputera w czasie pracy miernika.

W środkowej części ekranu widoczne jest wskazanie analogowe i cyfrowe (80 dB). W górnej części, po prawej stronie widoczny jest wykres przebiegu pomiaru w funkcji czasu, a w dolnej – tabela wyników, które miernik może wyeksportować do arkusza kalkulacyjnego. Ponadto, widoczna jest wybrana częstotliwość próbkowania (FAST) i rodzaj filtra (A).

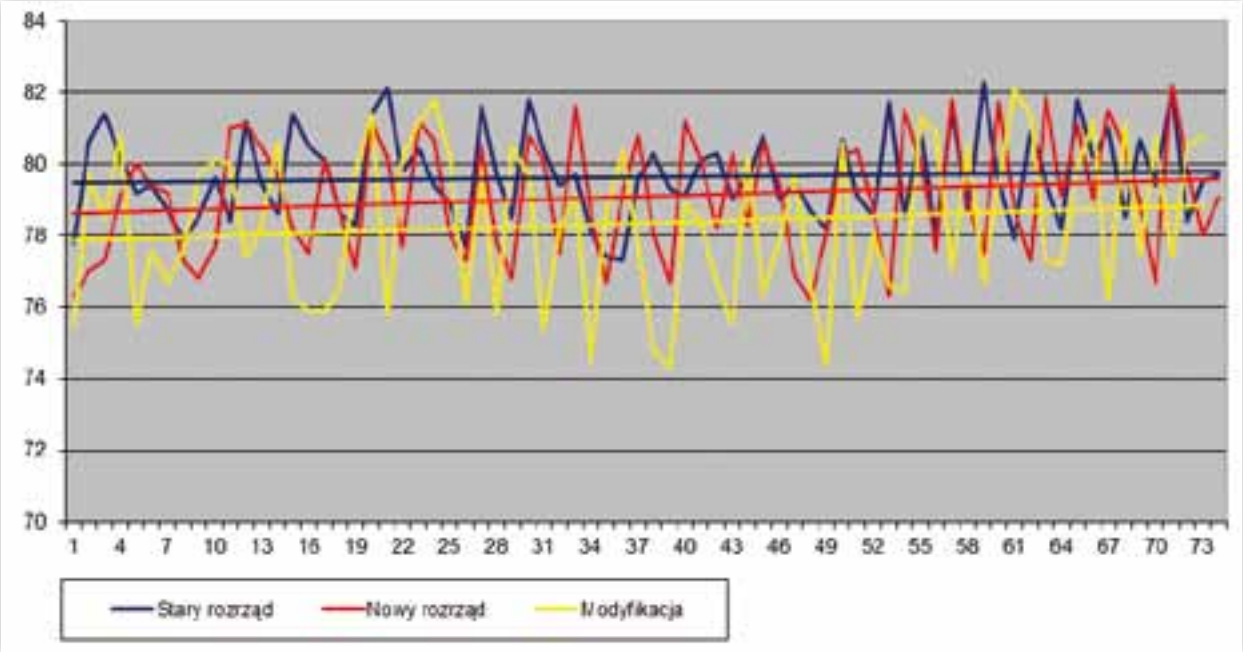
Rys. 14 Widok sondy termometru cyfrowego wsuniętej pomiędzy żebra głowicy

Wyniki pomiarów

Typowe parametry pracy silnika przy przeprowadzonych pomiarach to obroty biegu jałowego na poziomie 950-1000 obr/min i temperatura głowicy około 90 °C. Na rysunku 16 pokazano wykres pomiarów dla zużytego (niebieski) i nowego (amarantowy) mechanizmu dźwigienek. Kolor żółty reprezentuje wyniki zmodernizowanego rozwiązania. Na osi pionowej oznaczono wartości w decybelach w funkcji czasu, wyrażonego w sekundach.

Pierwsze pomiary były jednocześnie weryfikacją metody pomiarowej. Porównanie emisji hałasu zużytego mechanizmu dźwigienek i całkowicie nowego potwierdziło oczekiwanie, że nowy mechanizm będzie pracował ciszej. Różnica nie jest duża, średnio 0,7 dB, ponieważ mechanizm rozrządu jest tylko jednym ze źródeł emisji akustycznej. Następnie zamontowano zmodyfikowane łożyskowanie dźwigienek i powtórzono pomiary. Wykazały ono podobne obniżenie głośności. Tym razem różnica wynosiła średnio 0,8 dB w stosunku do emisji nowych części. Należy również pamiętać, że mamy do czynienie ze skalą logarytmiczną dostosowaną do właściwości ludzkiego słuchu.

Na rysunku 16 widoczne jest przesunięcie w dół linii odpowiadającej mniejszej emisji hałasu nowego



Rys. 16 Wykres przedstawiający trzy krzywe reprezentujące wyniki pomiarów i trzy linie trendu

rozrządu w stosunku do starego. Zmodyfikowane rozwiązanie jest cichsze, co słychać w czasie pracy silnika i widać po przesunięciu wykresu w kolorze żółtym w dół w odniesieniu do oryginalnego nowego. W celu łatwiejszego rozróżnienia zjawisk, na wykresie wprowadzono trzy linie trendu, które są w takim samym kolorze, co wykresy reprezentujące pomiary.

Uzyskane relatywnie skromne rezultaty obniżenia głośności są wynikiem zmniejszenia hałasu w tylko jednym zespole, wobec dużej liczby źródeł emisji dźwięku w silniku spalinowym. Oprócz dźwigienek zaworowych hałasują popychacze współpracujące z krzywkami, koła zębate (Rys. 2), tłok współpracujący z cylindrem, sworzeń tłokowy, wał korbowy z korbowodem, żebra cylindra i głowicy (w Bullecie nie ma gumowych wkładek tłumiących wibracje), gazy na dolocie i wylocie, tzw. przekładnia pierwotna i skrzynka biegów pracująca na biegu jałowym. Również niektóre elementy motocykla, takie jak dźwignie sprzęgła i hamulca, potrafią dodatkowo emitować różne dźwięki.

Po zakończeniu prac wymieniono olej silnikowy i filtr oleju. Olej w silniku nie wymagał jeszcze wymiany, ale zakładałem, że w czasie prac mogły do silnika przeniknąć drobne zanieczyszczenia i chciałem je usunąć. Ponadto, jestem zwolennikiem starej szkoły, zalecającej zimowe przechowywanie silnika z nowym olejem, ponieważ olej po sezonie może zawierać agresywne substancje.

Teraz pozostaje czekanie na wiosnę w celu rozpoczęcia prób ruchowych. Wyniki pomiarów sonometrem są zachęcające, lecz nie wprawiają mnie jeszcze w znakomity nastrój. Zasadniczą kwestią jest trwałość nowego rozwiązania. Czas wszystko pokaże.

Jerzy Mydlarz

Podziękowania:

1. *Dziękuję mojej żonie Barbarze za cierpliwe znoszenie mojego ciągłego przebywania w garażu.*
2. *Dziękuję mojemu synowi Michałowi za doprowadzenie do poprawnej współpracy sonometru z komputerem, co przerastało moje możliwości.*
3. *Dziękuję panu Ireneuszowi Włochaczowi z firmy KONTRA-MET s.c. w Zbrosławicach za życzliwość, cenne uwagi technologiczne i pomoc w wykonaniu prototypu.*
4. *Dziękuję koledze motocykliście, Januszowi Wojdyle za udostępnienie mi wielu części do prób (czasem niszczących).*
5. *Dziękuję firmie invenio Sp. z o.o. z Bielska-Białej za udostępnienie mi programów CAD do opracowania dokumentacji konstrukcyjnej.*