



# Co nam gra na klawiaturze?

## Czyli układy rozrzędu od podstaw

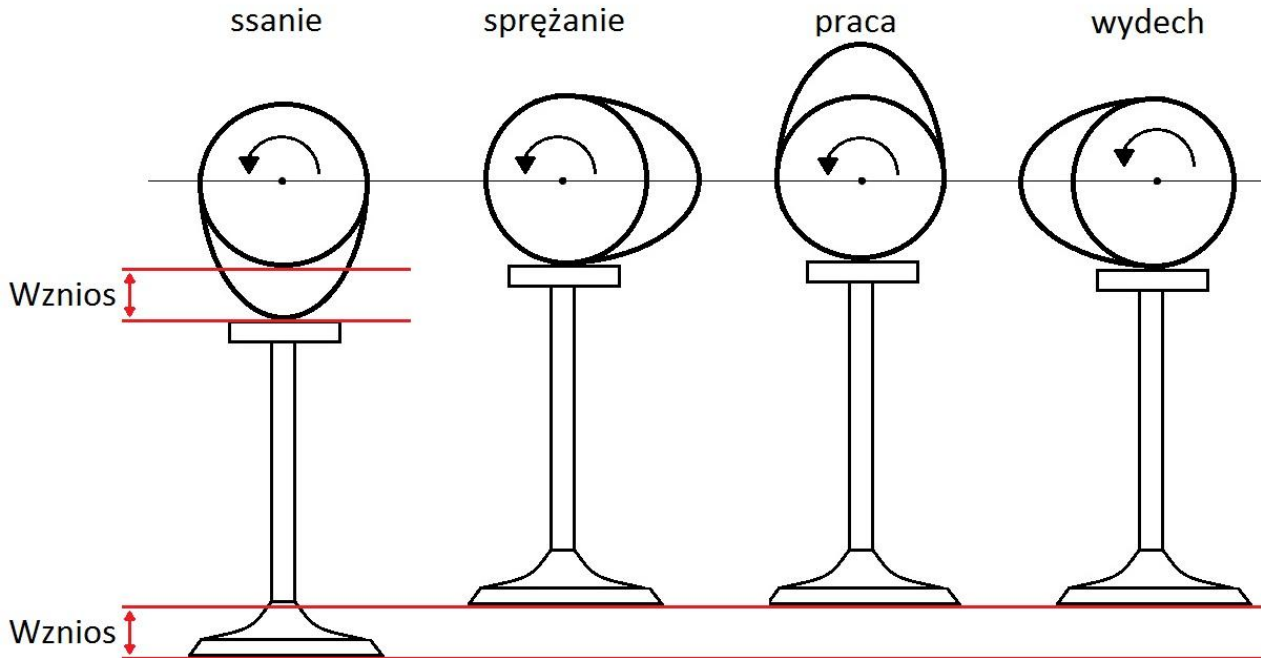
Na wstępie, pozwolę sobie zaproponować, abyśmy byli na „ty”. Tradycyjnie dla moich artykułów i wypowiedzi, postaram się ująć zagadnienie możliwie najprościej, co oznacza, że nie jest to opracowanie naukowe, więc proszę nie miej mi za złe pewnych uproszczeń, na które się zdobędę. Jak zwykle proszę o wybaczenie za miejscami chaotyczny układ, którego jednak nie da się uniknąć przy tak wysokim stopniu zawłości zagadnienia. Miej też na uwadze, że skupiamy się tu na rozwiązaniach typowych, aby nie robić wprowadzających zamieszanie dygresji, więc pewne odstępstwa od reguł pomijam celowo i świadomie. Zaczynamy więc!

### Wstęp

Żeby praca silnika czterosuwowego była w ogóle możliwa, musi mieć on zawory, które otwierają odpowiednie kanały w odpowiednim momencie. Zawory dzielimy na dolotowe i wydechowe. Jak sama nazwa mówi, zawory dolotowe otwierają dolot w czasie ssania, pozwalając silnikowi pobrać świeże powietrze, wydechowe zaś otwierają się w suwie wydechu, pozwalając wypchnąć spaliny do rury wydechowej. Każdy cylinder ma od dwóch do czterech zaworów.

Zawory oczywiście muszą otwierać się w odpowiednim momencie. Od tego, kiedy to zjawisko zajdzie, z jaką odbędzie się to szybkością i jak głęboko uda się zawór popchnąć zależy przebieg mocy w danym silniku. Może się to wydawać proste, ale gdy uświadomimy sobie, że zawór przy 6.000 obrotów otwiera się 50 razy w każdej sekundzie, to skala problemu robi się widoczna.

Otwieranie zaworu zwykle realizowane to jest przez tak zwany wałek rozrzędu, który kręcąc się, naciska na zawory jak palce pianisty na klawisze. W odpowiednim momencie wałek wciska zawór, otwierając go. Gdy wałek przestanie wciskać zawór, sprężyna spowoduje jego cofnięcie do pozycji zamkniętej, czyli do chwili gdy powierzchnia tak zwanego grzybka zaworowego (grubej części u dołu zaworu, widocznej na rysunku poniżej) zetknie się z przyłgnią gniazda zaworowego. Wciskanie odbywa się dzięki temu, że krzywka wałka ma kształt jajka, kręcącego się wzdłuż osi idącej przez jego „grubszą stronę”. Gdy do zaworu dochodzi szczyt „jajka” jest on popychany w dół.



To, o ile zawór się otworzy, nazywamy fachowo wzniosem zaworowym. Powyższa ilustracja przedstawia wznios w dwóch punktach- jako wysokość „brzuszka” krzywki i jako uchylenie zaworu. W narysowanej powyżej, najprostszej możliwej sytuacji te wartości są sobie równe, jednak musimy mieć świadomość, że nie zawsze tak musi być. Oczywiście jest, że z zasady, czym wznios większy, tym większa szczelina między zaworem a gniazdem zaworowym. Czym większa szczelina, tym więcej powietrza możemy zassać, a czym więcej powietrza dostarczymy do silnika, tym więcej mocy uzyskamy.

Kolejna kwestia to sama ilość zaworów- czemu cztery zawory na cylinder są lepsze niż dwa, skoro wówczas dwa zawory pełnią dokładnie tę samą funkcję? Otóż wynika to z tego, że sumaryczna powierzchnia szczelin zaworowych dla danego wzniosu jest większa, niż w rozwiązaniach dwuzaworowych. To oznacza, że dla takiego samego wzniosu jesteśmy w stanie uzyskać szerszą drogę przepływu powietrza, a co za tym idzie- zmniejszyć jego opór przepływu i w konsekwencji zassać go więcej. Różnice te nasilają się ze wzrostem prędkości obrotowej, dlatego też w silnikach kręcących się powyżej 6.000 rpm bardzo rzadko spotykamy układ dwuzaworowy.

### Różne typu rozrządów

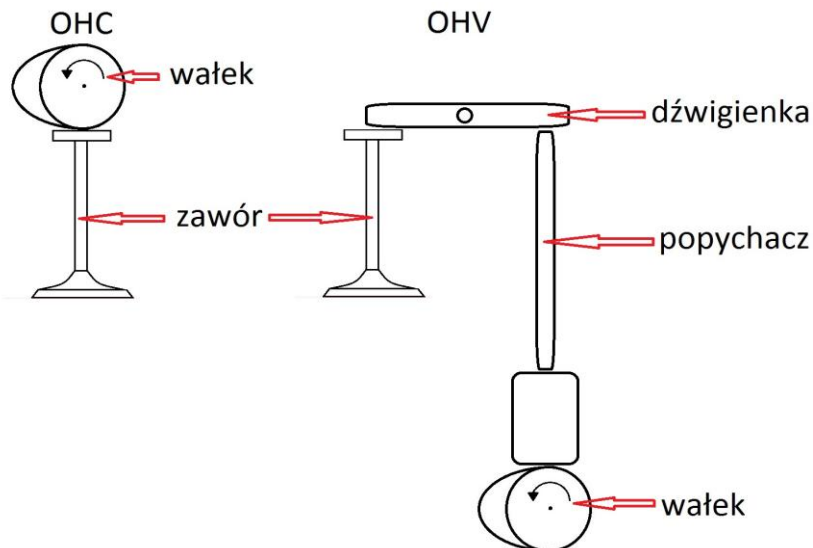
Zależnie od umiejscowienia wałka rozrządu, możemy mówić o układzie dolnozaworowym (który z racji na BARDZO niekorzystny kształt komory spalania pominiemy tu jako archaiczny i spotykany obecnie jedynie w kosiarkach spalinowych... i to tylko tych gorszych), OHV, OHC, DOHC itd. Co to wszystko znaczy i dlaczego tak a nie inaczej?

Wałek rozrządu musi być napędzany przez wał korbowy silnika, żeby pozostawał z nim w idealnej synchronizacji (na każde dwa obroty wału korbowego przypada jeden obrót wałka rozrządu). Sęk w tym, że wałek jest na dole silnika, a zawory na górze. Wprowadza to pewną trudność- trzeba przenieść siłę potrzebną do otwierania zaworów na stosunkowo dużą odległość. Można ten problem ugryźć dwójako- albo umieszczając wałek w bloku silnika, blisko wału korbowego i prowadząc od niego długie popychacze do zaworów, albo przenosząc wałek do samej głowicy.



Zaletą pierwszego rozwiązania (zwanego OHV od Over Head Valve, czyli „górnoszaworowego”) jest taka, że siłę do wałka przenosimy na krótkiej odległości, co pozwala nam zastosować koła zębate lub bardzo krótkie łańcuchy. W obu przypadkach zaletą jest ich niesamowita długowieczność oraz brak konieczności stosowania dodatkowych elementów- dwa koła, łańcuch i tyle. Dodatkowym plusem jest wtedy niewielki rozmiar głowicy, oraz zwykle nieco niższa wysokość całego silnika (patrz obrazek). Jest to jednak okupione potężną wadą- popychacze zaworowe są długie i ciężkie, więc znacząco zwiększają inercję całego układu. Konieczne jest też zastosowanie dźwigienek zaworowych, które niczym kotyska przemienią ruch popychacza w górę na ruch zaworu w dół. Oznacza to, że nie jesteśmy w stanie osiągnąć wysokiej częstotliwości otwierania zaworów, a co za tym idzie- wysokich prędkości obrotowych silnika (zwykle 6.000 rpm jest dla nich barierą nieprzekraczalną). To z kolei uniemożliwia uzyskiwanie wysokiej mocy z litra pojemności, dlatego obecnie spotyka się to rozwiązanie niezwykle rzadko, wyłącznie w silnikach o relatywnie niskich obrotach i wysokim momencie obrotowym. Przykładem może być 5.7 HEMI ze stajni chryslera. Co gorsza, układ taki wymusza zwykle (choć w niektórych konstrukcjach udało się ten problem obejść) zastosowanie dwóch zaworów na cylinder.

Drugie rozwiązanie nazywamy OHC lub DOHC (Over Head Camshaft lub Double Over Head Camshaft, czyli wałek nad głowicą lub podwójny wałek nad głowicą). Zaletą tego rozwiązania jest możliwość radykalnego ograniczenia masy elementów ruchomych, co umożliwia uzyskiwanie znacznie wyższych obrotów (niekiedy przekraczających nawet 10.000 rpm). Teoretycznie można wyzbyc się wtedy dźwigienek zaworowych, jak to ma miejsce na rysunku poglądowym, jednak zwykle również się je stosuje (o tym dłużej powiemy dalej). Pokazną wadą tego rozwiązania z kolei jest to, że musimy przekazać ruch obrotowy z wału do wałka na bardzo dużą odległość. Oznacza to konieczność użycia długiego łańcucha lub paska, co z kolei wymaga zastosowania napinaczy (celem kompensacji jego zużycia, które prowadziłoby z czasem do istotnej zmiany faz rozrządu) i prowadnic/ślizgów (te z kolei mają stabilizować łańcuch i tłumić jego drgania). Skracą to żywotność i znacznie podnosi koszty, tak produkcji jak i eksploatacji (zwykle rozrządy OHC muszą być okresowo wymieniane, niekiedy nawet



te łańcuchowe).

Naturalnie w tym momencie pojawia się pytanie- skoro na jednym wałku mogą być zarówno krzywki dolotowe jak i wydechowe, to po co stosować układ z dwoma wałkami, z których jeden jest wyłącznie dolotowy, a drugi wyłącznie wydechowy? Odpowiedzi na to pytanie są dwie. Po pierwsze, rozłożenie wałków w pewnej odległości od siebie umożliwia ustawienie zaworów pod kątem bez użycia dźwigienek, co z kolei umożliwia ukształtowanie komory spalania w formie dwuspadowego daszku. Takie daszkowate komory lepiej rozprzewadzą płomień idący od świecy, powodując szybsze i dokładniejsze spalanie, co



daje nie tylko więcej mocy, ale i zmniejsza konsumpcję paliwa, zmniejszając tym samym emisję szkodliwych substancji. Ekolodzy biją brawo, wszyscy się cieszą.

Druga przyczyna wiąże się z zastosowaniem VVT, czyli układu zmiennych faz rozrządu (omówimy to dokładnie dalej). Na ogół korzystna jest zmiana czasów tylko jednej grupy zaworów (ew. dwóch, ale niezależnie od siebie, tzn. w różnych momentach, o różne wielkości, czasem wręcz w przeciwnych kierunkach). Dzięki układowi DOHC możemy przestawiać jeden wałek niezależnie od drugiego, co jest niemożliwe gdy wałek jest tylko jeden.

### Dźwigienka zaworowa

Dźwigienka zaworowa to element często bagatelizowany, niekiedy wręcz uważany za zbędny gdy w grę wchodzi układy OHC, a zwłaszcza DOHC, które mogą się spokojnie obyć bez niej (taki układ w którym wałek działa od razu na zawory nazywamy często „bezpośrednim napędem zaworów”). Tymczasem jest to niezmiernie ważny element, odpowiedzialny zarówno za osiągi jak i trwałość silnika. Jak to możliwe?

Pomimo stosowania oleju drastycznie zmniejszającego tarcie, nigdy nie uda się go wyeliminować całkowicie. Wałek rozrządu, ślizgając się bezpośrednio po długim trzonku zaworu, wywiera na niego stałą siłę, która próbuje go zgiąć w bok. Konsekwencją tego jest silniejsze przyleganie trzonka do jednego z boków prowadnicy zaworowej, co powoduje zwiększenie tarcia w tamtym miejscu (dodajmy, że jest to miejsce poniżej uszczelnacza zaworowego, co oznacza, że olej dociera do niego jedynie w minimalnej ilości). Jak nie trudno się domyślić, przy 50 ruchach zaworu w każdej sekundzie, z czasem takie obciążone miejsce zacznie się wycierać. To z kolei sprawi, że zawór będzie luźny, co może spowodować nie tylko wibracje, ale wręcz nieprawidłowe domykanie komory spalania i utratę sprężania. Tymczasem, jeśli zastosujemy dźwigienkę, cała ta niekorzystna siła tarcia, ciągnąca elementy na bok rozkłada się na jednym jej końcu (dobrze oliwionym), z kolei zawór jest odchylany na boki tylko minimalnie i to tylko w chwili, gdy dźwigienka go naciska.

Mało tego, z pomocą dźwigienki możemy dokonać pewnej sztuczki, efektywnej zwłaszcza w układzie OHV. Otóż nigdzie nie jest powiedziane, że dźwigienka musi mieć ramiona równej długości. Jeśli ramię zaworu będzie 2x dłuższe od ramienia popychacza, to wówczas wznios zaworu będzie 2x większy od wzniosu wałka. Ma to znaczenie o tyle, że ciężki popychacz wciąż będzie pokonywał odległość równą wzniosowi wałka (krótszą), a co za tym idzie, obciąży układ mniejszą inercją. Umożliwia to szybsze otwieranie zaworu dla tej samej inercji, a więc większą moc.

Musimy jednak pamiętać, że czym ramię będzie dłuższe, tym bardziej zawór będzie się chwiać na boki przy wciskaniu przez dźwigienkę, czego konsekwencje omówiliśmy przed chwilą. Dlatego w silnikach obecnych na rynku zwykle stosuje się dźwigienki o kompromisowych proporcjach od 1.5:1 do 1.7:1. Mało tego, stosując ruchomą dźwigienkę o zmiennych proporcjach, możemy uzyskać różne wzniosy zaworów przy tych samych czasach otwarcia (rozwiązanie spotykane w BMW). Umożliwia to nawet wyeliminowanie przepustnicy!

Kolejny pozytywny aspekt dźwigienki zaworowej to możliwość zastosowania hydraulicznych kompensatorów luzu zaworowego jako podpory dźwigienki (omówimy to dalej).

Czemu więc są produkowane silniki bez dźwigienek? Pierwszym powodem jest to, że takie rozwiązanie jest ciut droższe (choć niewiele). Drugim, znacznie ważniejszym jest fakt, że dźwigienka jakąś swoją inercję też ma, czyli utrudnia pracę sprężyn zaworowych przy ekstremalnie wysokich obrotach. Trzecia kwestia jest taka, że głowica bez dźwigienek zwykle jest mniejsza i lżejsza. Dlatego napęd bezpośredni stosuje się zwykle w silnikach „wyczynowych”, nastawionych na maksimum mocy i relatywnie niewielką żywotność, jak np. w niektórych silnikach motocyklowych.



## Luz zaworowy

Często spotykamy się z pojęciem luzu zaworowego, jednak mało kto przywiązuje do niego wagę. Jest to pojęcie określające odstęp pomiędzy zaworem a wałkiem rozrządu. Luz zaworowy potrzebny jest z racji na to, że nagrzewający się zawór wydłuża się. Gdyby nie było luzu, taki wydłużony zawór nie mógłby usadzić się na swej przylgni, pozostawiając szczelinę. Zjawisko takie jest dla silnika katastrofalne- po pierwsze, zawór (zwłaszcza wydechowy) chłodzi się w momencie gdy dotyka głowicy, oddając jej swoje ciepło. Jeśli nie przylega do głowicy, ulegnie przegrzaniu. Po drugie, nawet minimalna szczelina obniża kompresję, powodując straty mocy. Po trzecie wreszcie, jeśli zawór nie domyka się, następuje wypalenie gniazd zaworowych- robią się w nich wżery, które uniemożliwiają szczelne przyleganie zaworu nawet po ustawieniu prawidłowego luzu. Dlatego w silnikach, które wymagają regulacji tego luzu jest to BARDZO ważna czynność- przegapienie tej procedury może prowadzić do bolesnego dla portfela remontu głowic. Luz zaworowy w większości silników kurczy się z czasem- gdy pod wpływem tarcia zużywają się przylegające do siebie elementy (grzybek zaworu i przylgnia głowicy), punkt zamknięcia zaworu przesuwają się coraz wyżej.

Pojawia się w tym momencie oczywiste pytanie- czy nie można by po prostu zostawić na tyle dużego luzu, żeby nie musieć się martwić jego zmniejszaniem się? Niestety odpowiedź brzmi „nie”. Wynika to z faktu, że wałek unosi zawór najpierw łagodnie, a potem coraz agresywniej. Jeśli zawór nie będzie dostatecznie blisko, wówczas zetknie się z wałkiem nie w chwili gdy jest on łagodny, lecz w momencie, gdy staje się agresywny. To oznacza, że zawór zamiast delikatnie popchnięty, zostanie walnięty jak młotem. Po kilku tysiącach takich ciosów zawór musi ulec skrzywieniu.

W związku z tym, że luz zaworowy stanowi tak ogromny problem, wprowadzono kilka rozwiązań, służących jego regulacji. Na rynku obecne są zarówno rozwiązania manualne jak i automatyczne.

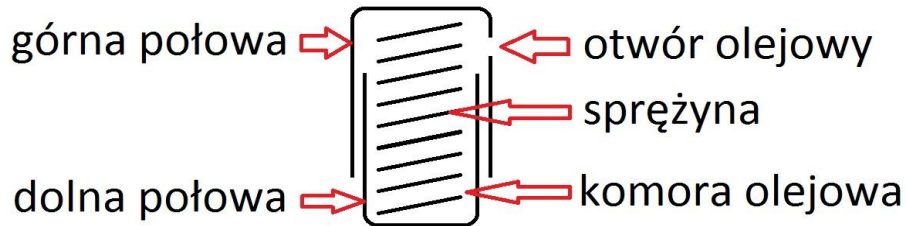
Manualna regulacja luzu odbywa się na dwa sposoby- jeden to wymienna płytką na szczycie zaworu, pomiędzy zaworem a wałkiem (czy też dźwigienką). Zmieniając płytki różnej grubości możemy uzyskać odpowiedni luz. Jest to rozwiązanie o tyle niewygodne, że potrzebujemy zestawu płytek różnej wielkości, dedykowanych do danego silnika, więc generalnie nie pozostaje nic innego jak zlecić to działanie serwisowi. Druga metoda to śrubka na końcu dźwigienki, której koniec jest punktem styku dźwigienki z zaworem, a którą możemy wkręcać i wykręcać, przesuwać ten punkt wyżej lub niżej. Ogromną zaletą tego rozwiązania jest to, że nie potrzebujemy do tej regulacji dodatkowych części.

Regulacja automatyczna zachodzi za pomocą tak zwanych hydraulicznych kompensatorów luzu zaworowego, które nazywać będziemy dalej hydrokompensatorami lub po prostu kompensatorami. Kompensatory to proste urządzenia. Są to dwa metalowe elementy o kształcie szklanki, wsadzone jeden w drugi, denkami od siebie. Tworzy to zamkniętą przestrzeń, wewnątrz której znajduje się komora olejowa, zawierająca sprężynę powrotną. W ścianie kompensatora znajduje się dziurka, przez którą może przepływać olej. W chwili gdy zawór jest zamknięty, kompensator wypełniony jest olejem. Gdy wałek zaczyna swój wznios, uciska jedną połówkę kompensatora. Ponieważ ucisk ten jest bardzo mocny, zaczyna on wytłaczać olej przez dziurkę. Jednak dziurka jest na tyle mała, że olej nie nadąża uciekać i górna połówka kompensatora łagodnie rusza do góry. Powoduje to idealny, miękki start zaworu. W momencie, gdy zawór zamyka się, nacisk wałka na kompensator spada do zera. Znajdująca się w kompensatorze sprężyna rozciąga jego dwie połówki, zaciągając przez dziurkę nową porcję oleju. Cykl się powtarza z każdym otwarciem zaworu.

Rozwiązanie idealne, prawda? Po co więc regulacja manualna? A no po to, że gdy przekraczamy te magiczne 50 otwarć zaworu na sekundę (6.000 rpm) olej nie nadąża już napędzić kompensatora po zamknięciu zaworu. Oznacza to, że kolejny cykl otwarcia zaczyna się, zanim jeszcze kompensator w pełni się rozciągnie. A to z kolei daje efekt identyczny jak nadmierny luz- zawór dostaje okropne uderzenia i wszystko ulega ekspresowemu zużyciu. Dlatego też, zwykle w silnikach znacznie przekraczających te 6.000 rpm stosowanie kompensatorów hydraulicznych jest niemożliwe.



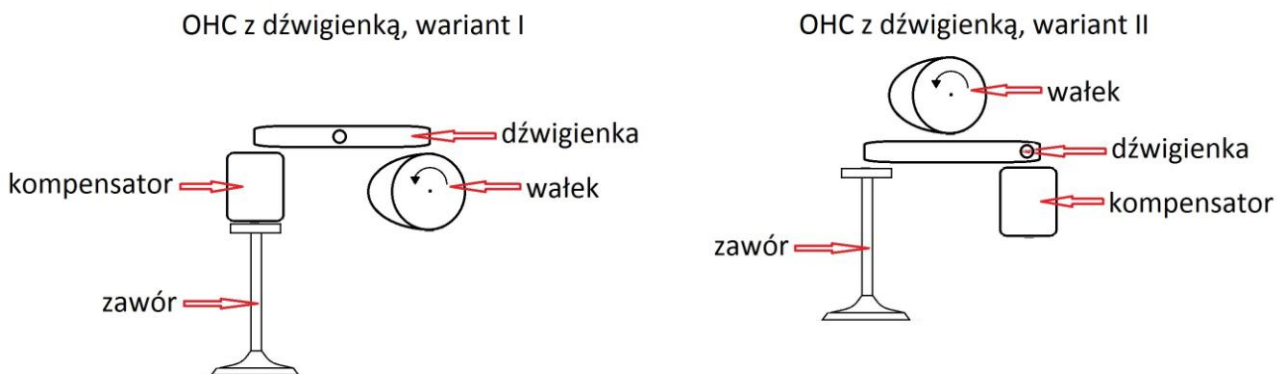
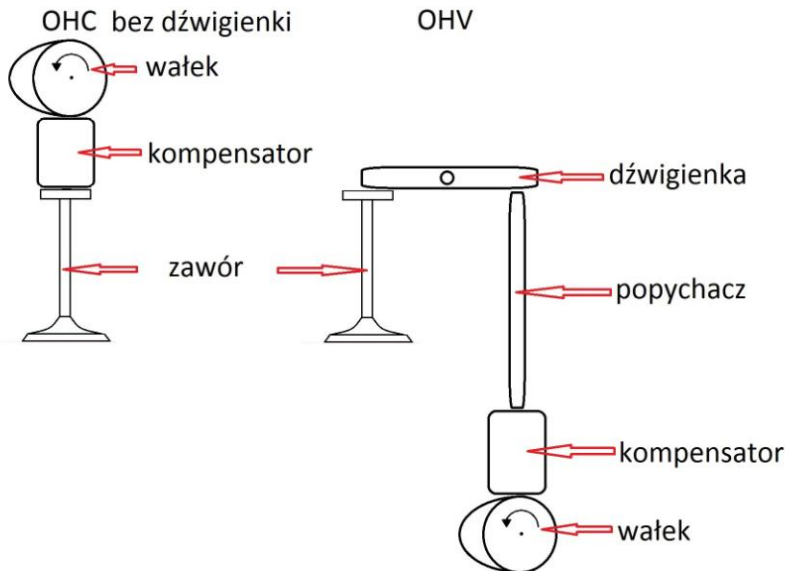
## Hydrauliczny kompensator luzu zaworowego



Kompensator hydrauliczny możemy umieścić w różnych miejscach, zwłaszcza w układach OHC mamy sporą swobodę. Niedawno modnym trendem stało się mocowanie go jako podporę dźwigienki z jednej strony, wokół której odbywa się ruch dźwigienki (oś obrotu na obrazkach jest widoczna jako kółko wpisane w dźwigienkę). Z takim rozwiązaniem spotykamy się np. w Chryslerowskim silniku 4.7 Power Tech, ale również w kilku silnikach TFSI grupy VAG. Widoczne jest to na obrazku jako „OHC z dźwigienką wariant II”,



- www.jeepnici.pl SQUAD -



Dodatkową zaletą kompensatora hydraulicznego w układzie OHV jest to, że jeśli zastosujemy puste w środku popychacze, a sam kompensator będzie miał mały kulkowy zaworek w środku, to możemy użyć go jako pompy oleju do smarowania głowicy- z każdym otwarciem zaworu wałek niczym ze strzykawki wystrzeliwuje olej z kompensatora wprost na dźwigienki, smarując górną część silnika. Ma to tę zaletę, że nie musimy wówczas w ogóle prowadzić kanałów olejowych w głowicy, co poprawia szczelność uszczelki pod głowicą i upraszcza konstrukcję. Taki układ możemy spotkać w pocziwym 242AMC, czyli słynnym jeepowym 4.0 I6.

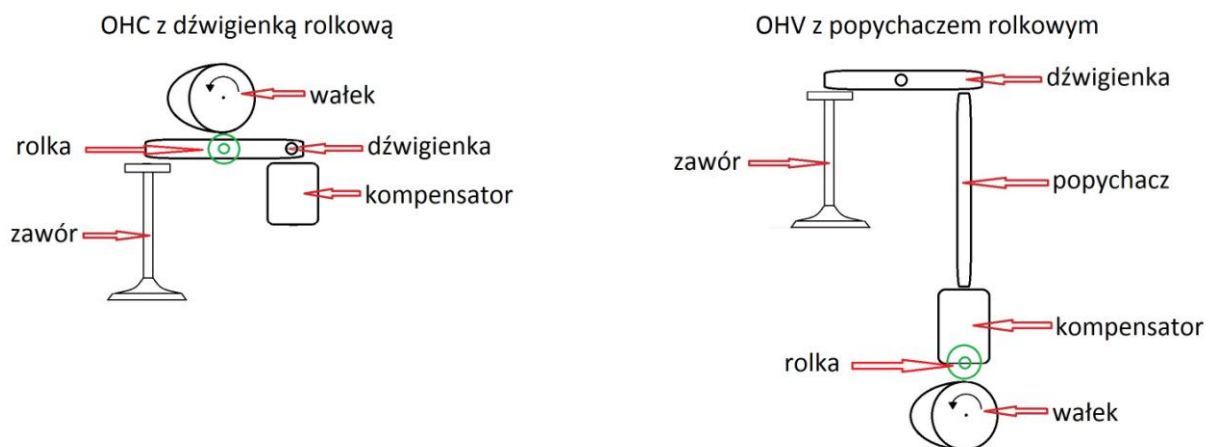
### Płasko czy kuliście?

Do tej pory wspominałem o ruchu wałka przekładanym na zawór, jednak we wszystkich sytuacjach omawialiśmy popychacze (czy też dźwigienki) płaskie, czyli będące powierzchnią metalu po której nieustannie „szura” krzywka rozrządu. Są one często stosowane z racji na fakt, że są lekkie, proste i tanie w produkcji, jednak mają istotną wadę- stosunkowo szybko ulegają zużyciu. Co gorsza, projektowanie dla nich wałka o odpowiednich czasach jest nieco utrudnione, gdyż punkt styku wałka z płaszczyzną zmienia się- najpierw wałek dotyka obrzeża popychacza, a dopiero potem jego szczytu.

Jest jednak drugie rozwiązanie- popychacze (czy też dźwigienki) rolkowe. Cała idea polega na tym, że z wałkiem styka się rolka a nie nieruchoma powierzchnia. Ponieważ rolka może się kręcić, znacznej redukcji ulegają siły tarcia (ten sam efekt wykorzystujemy w łożyskach rolkowych). Zasadniczo można



wtedy przyjąć (mocne uproszczenie), że powierzchnie przestają o siebie trzeć, a jedynie są ze sobą na ułamek sekundy „sklejane”. Ruch taki jest bardzo płynny. Zalety tego faktu są dwie- po pierwsze, zachodzi znacznie mniejsze zużycie współpracujących elementów, po drugie mniejsze są straty tarcia w silniku, a co za tym idzie, więcej mocy możemy „wysłać” na koła. Istotne jest to, że siły boczne działające na popychacz są znacznie zredukowane, co zmniejsza zużycie ich prowadnic. Dodatkowym uproszczeniem jest fakt, że punkt styku wałka z popychaczem jest zawsze ten sam, a to bardzo ułatwia zaprojektowanie odpowiedniej krzywizny krzywki. Z zasady, dzięki mniejszemu tarcia, słabszym siłom bocznym i lepszej kontroli wzniosu, popychacze rolkowe mogą otwierać zawory agresywniej od płaskich. A szybsze (w rozumieniu czasu od rozpoczęcia otwierania do otwarcia pełnego) otwarcie zaworu to większa moc.



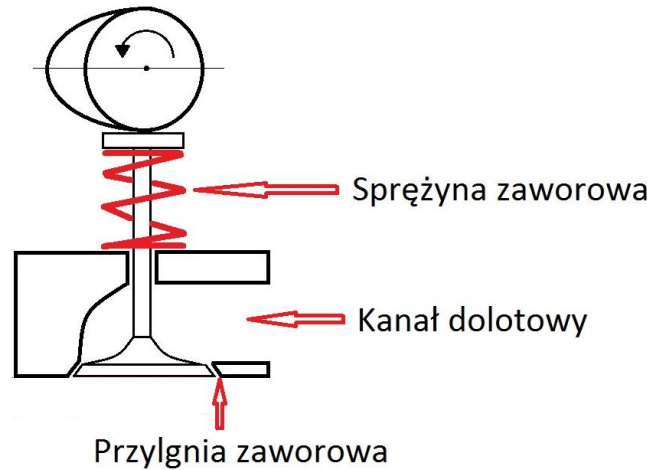
Nie może więc dziwić fakt, że obecnie rozwiązania oparte o rolki są bardzo popularne. Fakt, iż rolki- z racji na rozmiar- dość trudno zastosować w układzie DOHC z bezpośrednim napędem zaworów jest zresztą jednym z powodów, dla których rozwiązanie to zwykle jest zastępowane przez DOHC z dźwigienkami rolkowymi.

### Sprężyna zaworowa

Sprężyna zaworowa pełni dwie istotne funkcje. Jedna jest oczywista- powoduje zamykanie zaworu w momencie, gdy przestaje go naciskać krzywka. Czym sprężyna jest mocniejsza, tym szybciej jest w stanie zamknąć zawór, gdyż łatwiej pokonuje jego inercję. To w praktyce oznacza, że możemy uzyskać albo szybsze zamykanie zaworów w silniku o „normalnych” obrotach, albo osiągać bardzo wysokie obroty (plus oczywiście całe spektrum pośrednie między tymi dwiema sytuacjami). Jednakże wywiera ona wtedy coraz większy nacisk na wałek rozrządu, powodując jego szybsze zużycie. Dlatego ważne jest rozsądne wyważenie twardości sprężyny. Jej twardość z kolei możemy regulować głównie grubością drutu, co jednak też ma swoje granice, gdyż powyżej pewnej granicy sprężyna zaczyna zwyczajnie pękać. Niekiedy, by uniknąć tego problemu, stosuje się podwójne sprężyny (jedna w drugiej). Ważny jest też układ zwojów sprężyny- może to być prosty zwój drutu, a może mieć np. kształt beczki, co pozwala na większą kompresję. Jak widać jest w tym cała masa inżynierii, jednak wydaje mi się, że nie ma sensu wnikać w szczegóły.



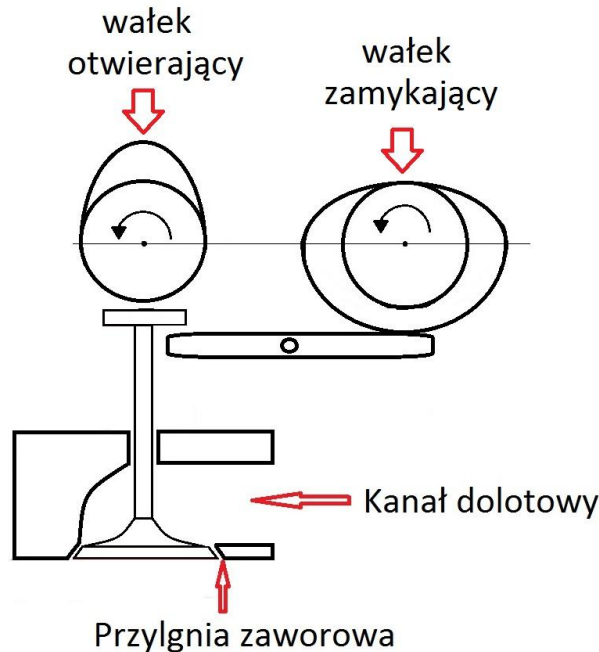
- www.jeepnici.pl SQUAD -



Druga funkcja sprężyny jest często pomijana, a jednak bardzo istotna- odpowiada ona za kręcenie się zaworu wokół trzonka. Dlaczego jest to takie istotne? Zawór z czasem się zużywa- pokrywa się nagarem z sadzy, robią się na nim wżery z rdzy i nadpalenia wysokimi temperaturami. Gdyby zawór otwierał się i zamykał nieruchomo względem gniazda, bardzo szybko stałby się nieszczelny. Jeśli jednak będzie się kręcił za każdym otwarciem o ułamek obrotu, to będzie się stale docierał, na długo pozostając szczelnym.

Jak osiąga się ten efekt obrotu? Starczy kliknąć kilka razy przezroczystym długopisem, żeby zobaczyć, że działa na podobnej zasadzie. Gdy uciskamy sprężynę, ma ona tendencje do „rozkręcania się”. Gdy tylko puścimy nacisk, siły na nią działające zmniejszają się i może ona lekko przekręcić się, pociągając za sobą zawór. Takie zjawisko zachodzi jednak zwykle dopiero powyżej pewnych obrotów, charakterystycznych dla każdego silnika. Zwykle są to obroty rzędu 3.000RPM. Stąd też, długa jazda poniżej tych obrotów może być szkodliwa- warto od czasu do czasu maszynę trochę przegazować!

Ponieważ sprężyny mają swoje ograniczenia i nie pozwalają przekroczyć pewnej granicy obrotów i agresywności otwierania zaworów, opracowano tak zwany rozrząd desmodroniczny. Sama w sobie koncepcja jest prosta- skoro wałek może silnie wciskać zawór, to nic nie stoi na przeszkodzie, by zastosować drugi wałek, który będzie popychać zawór do góry i zamykać go. Pozwala to wyeliminować sprężynę całkowicie lub zastosować jedynie delikatną sprężynę pomocniczą. Tym samym wałek otwierający zawór musi pokonać tylko jego własną inercję, nie wkładając przy tym siły w kompresję sprężyny. Takie rozwiązanie spotkać możemy np. w silnikach Ducati. Oczywiście może to być fizycznie jeden wałek, na którym osadzone są krzywki zarówno otwierające jak i zamykające. Istotne jest to, że ponieważ wałek „domykający” ma trzymać zawór zamknięty przez 3/4 cyklu pracy, krzywka ma kształt nie jajka a litery D. W momencie, gdy wałek otwierający zaczyna otwierać zawór (zaczyna się „jajko”), wówczas wałek zamykający zaczyna odpuszczać, czyli dźwigienka wchodzi na płaski brzeg litery D.



### Długo czy krótko?

Dochodzimy w tym momencie do esencji rozrządu, czyli jego „czasów”. Mamy osobno czasy zaworów wydechowych i dolotowych. Przez czas rozrządu rozumiemy miarę kątową (wyrażaną zwykle w stopniach obrotu wału korbowego [ $^{\circ}$  OWK], rzadziej w stopniach obrotu wałka). Informuje nas ona przez jaki zakres ruchu wału korbowego dany zawór pozostaje otwarty.

Niejednokrotnie używa się określeń „walek długi” lub „walek krótki”, odnosząc się właśnie do tego, czy zawory otwarte są długo czy krótko. Przykładowo jeśli mówimy, że walek dolotowy ma długość  $270^{\circ}$  OWK to oznacza to, że zawór otwarty jest nie tylko przez  $180^{\circ}$  jakie pokonuje tłok w suwie ssania, ale znacznie dłużej.

Po co dłużej? Z dwóch powodów- pierwszym jest to, że gdy tłok dojdzie do samego dołu, w cylindrze wciąż ciśnienie jest niższe niż w kolektorze dolotowym, co wynika z bezwładności powietrza i oporów stawianych przez wąskie gardła na trasie powietrza. A to oznacza, że mimo iż tłok idzie już do góry, to warto przytrzymać zawór otwarty, gdyż i tak zaciągnie on wtedy więcej powietrza. Analogicznie, zaciągając wodę strzykawką, przy szybkim ruchu tłoczka do samego końca zauważymy, że tworzy się próżnia, która dopiero po chwili zapełnia się wodą. Ponadto, mamy do czynienia z zjawiskiem doładowania dynamicznego- rozpędzone w kolektorze powietrze siłą bezwładności wciąż pędzi do przodu i jest w ten sposób w stanie „dopchać” mieszankę w cylindrze do ciśnienia wyższego, niż to które nominalnie panuje w kolektorze!

Drugi powód wynika z efektu „wysysania” (z angielskiego scavenging effect). Bazuje on (podobnie jak doładowanie dynamiczne) na bezwładności spalin. Poruszając się w rurze wydechowej zaczynają one w pewnym momencie wytwarzać za sobą strefę niskiego ciśnienia, niższego od ciśnienia w dolocie. Jeśli więc otworzymy zawór dolotowy w końcu suwu wydechu, jest szansa, że w określonych warunkach wydech wytworzy podciśnienie, które pozwoli rozpocząć zasysanie świeżej mieszanki. Taką sytuację, w której otwarte mamy oba zawory, nazywamy „przekryciem zaworów”.



- www.jeepnici.pl SQUAD -

Czy w takim razie celem konstruktora silnika jest zastosowanie jak najdłuższych czasów? Niestety, odpowiedź brzmi nie. Wszystkie opisane powyżej zjawiska falowe mają tę wadę, że działają tylko w pewnych przedziałach obrotów. Jeśli silnik kręci się powoli, wówczas długo otwarty zawór dolotowy spowoduje utratę mocy (mieszanka po zassaniu zostanie wypchana z powrotem do kolektora). Tym samym silnik robi się „sportowy”- mocno ciągnie w górze obrotów, ale niekiedy wręcz ciężko ruszyć z miejsca. Co gorsza, długie czasy i duże przekrycia powodują zwykle dość nierówną pracę na wolnych obrotach, co nie jest mile widziane przez kierowców.

Wniosek wypływa z tego taki- czym dłuższe mamy czasy, tym wyżej wypadnie maksymalny moment obrotowy, ale osiągnie on niższą wartość bezwzględną. To znowuż oznacza, że większa będzie maksymalna moc. Dlatego też obecnie silniki „cywilne” dają jedynie 60-75 KM z litra pojemności, podczas gdy silniki wyczynowe są w stanie spokojnie dawać grubo ponad 100 koni z tej samej objętości.

Tutaj wielkie pole do popisu ma układ zmiennych faz rozrządu, zwykle określane mianem VVT (ale też v-tec, vanos itd.). Zależnie od konkretnego rozwiązania pozwala on przesuwac punkt zamknięcia zaworów, co z kolei daje znaczną poprawę elastyczności silnika.

Często producenci oferują ten sam silnik w wielu modelach, różniący się jedynie wałkami rozrządu (i co za tym idzie- programem silnika). Stąd bierze się to, że niekiedy te same silniki dają bardzo różne moce.

W precyzyjnym opisie wałków używa się określeń DMP i GMP (Dolny Martwy Punkt i Górny Martwy Punkt), w literaturze angielskiej określane jako BDC i TDC (Bottom Dead Center i Top Dead Center). Są to określenia punktów, w których tłok jest odpowiednio na samym dole lub samej górze cylindra. Dzięki temu możemy podawać czasy rozrządu z uwzględnieniem nie tylko długości ich trwania, lecz także precyzyjnego momentu otwarcia. Czyli np. 10°BTDC oznacza, że zawór dolotowy otwiera się 10° obrotu wału korbowego przed górnym martwym punktem tłoka.

### Szybko czy wolno?

W idealnej sytuacji zawór jest tylko całkowicie otwarty lub całkowicie zamknięty. Ponieważ jednak „takie rzeczy to tylko w Erze”, trzeba liczyć się z tym, że otwieranie i zamykanie musi chwilę trwać, a co za tym idzie zawór pozostaje przez znaczną część swego otwarcia jedynie częściowo uchylony. Zasadniczo, czym bardziej stromy będzie profil krzywki, czyli czym mocniej jajko będzie rozciągnięte, tym szybciej będą otwierały się zawory. Mało tego, czym ten profil bardziej stromy (ergo agresywny), tym głębiej uda się zawór wcisnąć u szczytu krzywki, a więc uzyskać większy wznios. Sęk w tym, że czym szybciej chcemy zawór otworzyć, tym większą siłę musimy w to włożyć. Mało tego, oczywistym jest fakt, że proces ten będzie zachodził tym szybciej, czym wyższe obroty silnika będziemy chcieli uzyskać. W praktyce oznacza to, że na bardzo agresywne wałki możemy pozwolić sobie tylko w silnikach o relatywnie niskich obrotach. Czym obroty wyższe, tym łagodniejszy musi być profil krzywki, a wznios niższy.

Jeśli damy agresywny wałek i wkręcimy silnik wyżej, któryś element układu nie wytrzyma obciążenia i zwyczajnie się rozpadnie lub zegnje. Między innymi z tego powodu silniki mają czerwone pole na obrotomierzu i odcięcie zapłonu- wkręcenie silnika powyżej tych obrotów krytycznych może skutkować zniszczeniem silnika.

Pewnym wyjściem z tej patowej sytuacji są rozwiązania nietypowe, które omówimy za chwilę, lub wspomniane wcześniej dzwignienki zaworowe o zmiennych proporcjach.

### Rozwiązania nietypowe

W ostatnim czasie Fiat dokonał absolutnej rewolucji w kwestii rozrządów, wprowadzając genialny w swej prostocie system MultiAir. Jego zastosowanie pozwoliło przelamać problem dopasowania agresywności wałka do obrotów silnika.

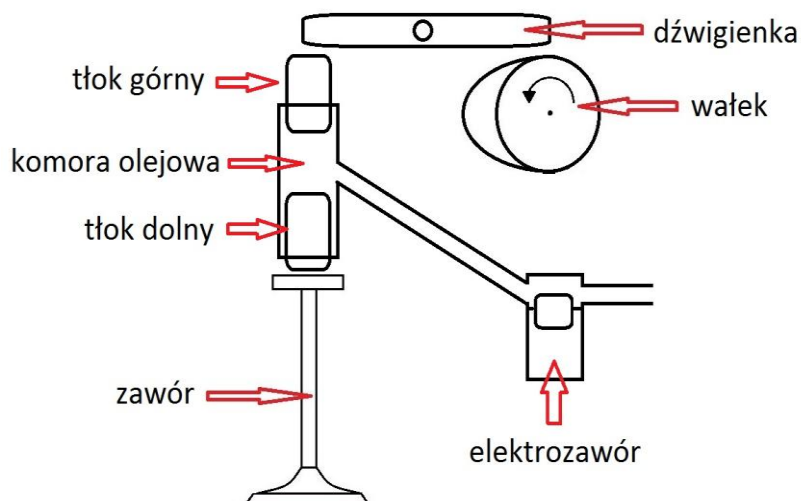


Istotą systemu jest zastosowanie odpowiednika hydraulicznego kompensatora luzu zaworowego, który omawialiśmy wcześniej. Różnica polega jednak na tym, że w MultiAir dziurka odpływowa „kompensatora” może być zamykana lub otwierana za pomocą elektrozaworu, sterowanego przez komputer (bardziej precyzyjnie mówiąc, kompensator przybiera tam formę dwóch osobnych tłoków, rozdzielonych olejem- jeden, wciskany przez wałek wytwarza ciśnienie oleju, które to ciśnienie z kolei popycha drugi tłok, naciskający na zawór). Oznacza to, że możemy zastosować wałek ekstremalnie agresywny, a następnie czas otwarcia i wznios regulować odpuszczając ciśnienie z „kompensatora”. To w praktyce znaczy, że profil krzywki de facto stracił swe znaczenie w kwestii regulacji czasów rozrządu i jest już tylko źródłem siły, którą przykładamy na zawór, ale już o chwili jej wystąpienia decyduje komputer poprzez regulację przepływu oleju.

Przykładowo, dla niskich obrotów korzystne byłoby otwarcie zaworu na krótko, ale powinno to nastąpić bardzo agresywnie. Komputer zatem najpierw otworzy odpływ kompensatora, dzięki czemu mimo trwającego już wzniosu na wałku zawór pozostanie w miejscu, a skurczy się jedynie kompensator. W momencie, w którym komputer uzna, że czas otworzyć zawór, zamknie całkowicie odpływ kompensatora, a ten ruszy jak wystrzelony, wciskając zawór bardzo mocno.

Gdy jednak obroty rosną, wypadłoby wydłużyć czas otwarcia, ale zmniejszyć jego agresywność. Nie ma problemu- po prostu otwieramy wąski przelot, pozwalając, by część energii wałka uciekała z kompensatora wraz z olejem, a część szła na zawór.

Jakkolwiek koncepcja MultiAir jest bardzo prosta, problem leży w samym wykonaniu- musimy pamiętać, że wszystko dzieje się ekstremalnie szybko, kilkadziesiąt razy w każdej sekundzie. Oznacza to, że elektrozawory muszą być bardzo sprawne i precyzyjne, a przy tym muszą się otworzyć i zamknąć miliony razy w czasie życia silnika. Jakkolwiek błąd w tej kwestii, np. zaklinowanie się elektrozaworu w pozycji zamkniętej, uniemożliwiające złagodzenie otwierania zaworu, może spowodować zniszczenie silnika na wysokich obrotach. Ponadto, problem z oporem przepływu oleju uniemożliwia zastosowanie MultiAir przy wysokich obrotach, dlatego też obecnie silniki Fiata z tym systemem są zdolne do osiągnięcia „tylko” 6.000rpm



Kolejnym „Świętym Graalem” motoryzacji jest rozrząd elektromagnetyczny. W założeniu ma to być rozrząd całkowicie pozbawiony wałka rozrządu, w którym siłę do zamykania i otwierania zaworu dostarczać będą elektromagnesy. W większości projektów koncepcyjnych zastosowane są dwa elektromagnesy- jeden ciągnący zawór w górę i drugi ciągnący go w dół. Niestety, rozwiązania tego nie udało się jeszcze wprowadzić do produkcji seryjnej, mimo iż liczne prototypy silników z takim rozrządem



- www.jeepnici.pl SQUAD -

są już intensywnie testowane i wszystko wskazuje na to, że w najbliższym czasie doczekamy się wdrożenia tej innowacji.

Niekwestionowaną zaletą tego rozwiązania jest możliwość całkowicie płynnej regulacji czasów otwarcia oraz (z racji na brak elementów sztywnych napędzających zawór) brak zagrożenia ze strony zbyt agresywnego otwierania zaworu. Prawdopodobnie żywotność tego rozwiązania również będzie bardzo duża, z racji na brak tarcia między elementami. Kuszące wydaje się też zmniejszenie ilości elementów ruchomych, co może pociągnąć za sobą zmniejszenie kosztów produkcji.

Jednakowoż do rozwiązania pozostają bardzo poważne problemy- jak uzyskać przewidywalny ruch zaworu w polu elektromagnetycznym? W jaki sposób sterować wzniosami? Jak zmniejszyć do niezbędnego minimum zużycie prądu na ten cel? Uniknąć zakłóceń w instalacji elektrycznej auta? etc.

### Podsumowanie

Dobrnęliśmy niniejszym do końca tego pobieżnego opracowania. Mam nadzieję, że nie było ci trzeba zbyt wielu mocnych kaw, aby tego dokonać. Zdaję sobie sprawę, że wiele ważnych spraw zostało tu pominiętych, jednak nie mogłem rozwodzić się nad każdym zagadnieniem tak, jakbym sobie tego życzył, żeby nie zanudzić cię na śmierć. Szczególnie brak mi tutaj opisanie współzależności pomiędzy rozrzędem a dolotem i wydechem, co jest w zasadzie sednem sztuki projektowania silników spalinowych. Postaram się ten temat poruszyć w przyszłości w jakimś osobnym opracowaniu, a teraz chciałbym tylko napomknąć, że czasy rozrzędu projektuje się nierozzerwalnie z dolotem i wydechem.

To co chciałbym przekazać szczególnie wyraźnie, to standardowe dla motoryzacji stwierdzenie, że nie ma rozwiązań idealnych, każde ma swoje zastosowanie i każde jest pewnego rodzaju kompromisem. Mam jednak nadzieję, że przeczytanie tego pomogło ci rozwiązać pewne wątpliwości co do głównych wad i zalet poszczególnych rozwiązań.

Do zobaczenia na drogach!