

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

**Návrh mechanického ovládání ventilového rozvodu motoru Škoda
pro provoz Atkinsonova i Millerova cyklu**

**Design of a valve train mechanical control of a Skoda engine to
implement both the Atkinson and the Miller cycle**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Jan Macháček

Vedoucí práce: Ing. Lubomír Miklánek, Ph.D.

Akademický rok: 2015/2016

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Studijní obor: bez oboru

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Macháček** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **423330**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh mechanického ovládní ventilového rozvodu motoru Škoda pro provoz Atkinsonova i Millerova cyklu

Název bakalářské práce anglicky:

Design of a valve train mechanical control of a Skoda engine to implement both the Atkinson and the Miller cycle

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rešerši existujících řešení úprav ventilových rozvodů pro provoz Atkinsonova nebo Millerova pracovního cyklu se zaměřením na mechanické způsoby ovládní. 2. Navrhněte vhodné mechanické řešení ovládní ventilového rozvodu OHV automobilového motoru Škoda, pomocí kterého lze dosáhnout provoz na Millerův i Atkinsonův pracovní cyklus. 3. Ve 3D modeláři vypracujte animaci upraveného rozvodového mechanismu.

Seznam doporučené literatury:

SAE papers, Odborné časopisy, např. MTZ, ATZ, MECCA,... Vysokoškolské učebnice a skripta, např. MACEK, J.: Spalovací motory. ČVUT v Praze, 2012. Databáze patentů, např. Espacenet Patent search

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Ľubomír Miklánek Ph.D.

Jméno a pracoviště konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30.06.2016**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

22.4.2016

Datum převzetí zadání

Macháček

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci zpracoval samostatně a souhlasím s tím, že výsledky této bakalářské práce mohou být využity podle uvážení vedoucího této práce Ing. Lubomíra Mikláňka, Ph.D. jako jejího spoluautora.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Lubomíru Miklánkovi, Ph.D., za ochotu a cenné rady v průběhu psaní bakalářské práce. Rovněž si velmi vážím svých rodičů za podporu nejen při studiu. Díky směřují i těm, kteří v průběhu psaní této práce zasahovali do mého života a významně mě obohatili.

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na úpravy ventilových rozvodů umožňujících provoz jak konvenčního Otto cyklu, tak i nekonvenčních cyklů spalovacího motoru. Nekonenční pracovní cykly jsou Atkinsonův (LIVC) a Millerův (EIVC). V první části této práce je především srovnání současných řešení variabilních ventilových rozvodů, se zaměřením na mechanické ovládání a jeho kombinace. Ve druhé části jsou vypracovány 3 návrhy na mechanickou úpravu ovládání ventilového rozvodu OHV pro motor Škoda 781, která umožňuje provoz motoru v konvenčním Ottově cyklu, ale i v Atkinsonově a Millerově cyklu. Změnu cyklu je možné provést za chodu motoru. Ze zhotovených variant byla vybrána jedna, pro kterou jsou graficky znázorněny průběhy zdvihu sacího ventilu při jednotlivých cyklech. V závěru práce je vypracována 3D animace vybrané varianty mechanického ovládání ventilového rozvodu.

Klíčová slova: ventilový rozvod, Ottův cyklus, Atkinsonův cyklus, Millerův cyklus, OHV

Abstract

This Bachelor thesis is focused on the valve train modifications to allow working in conventional Otto cycle in both unconventional cycles of the internal combustion engine. Unconventional working cycles are Atkinson (LIVC) and Miller(EIVC). In the first part of this thesis is comparison of current solutions of variable valve train, with a focus on a mechanical actuation and its combination. In the second part are developed 3 proposals for adjusting mechanical control valve for OHV engine Škoda 781, which allows the operation of the engine in a conventional Otto cycle, but also in Atkinson and Miller cycle. Change of the working cycle should be possible during the engine operation. The most suitable option of valve train modification is chosen. The calculated behaviour of intake valve lift is graphically displayed during the cycles. In the conclusion is drawn 3D animation of selected option for mechanical control of the intake valve.

Keywords: valve train, Otto cycle, Atkinson cycle, Miller cycle, OHV

Obsah

Úvod.....	8
1. Nekonvenční cykly zážehového motoru.....	9
1.1. Atkinsonův cyklus	9
1.2. Millerův cyklus	11
2. Variabilní ventilové rozvody.....	13
2.1. Změna doby otevření ventilů.....	14
2.1.1. VarioCAM od značky Porsche	14
2.1.2. VANOS od značky BMW	17
2.1.3. VVC od značky ROVER.....	18
2.2. Skoková změna zdvihu a časování ventilu:	21
2.2.1. V-TEC od značky Honda.....	21
2.2.2. VVT od značky Toyota	23
2.2.3. Cam In Cam od značky Mahle.....	25
2.3. Plynulá změna zdvihu a časování ventilu.....	25
2.3.1. Valvetronic od značky BMW	25
2.3.2. Valvematic od značky Toyota.....	26
2.3.3. VVEL od značky Nissan	27
2.4. Srovnání zmíněných systémů s ohledem na schopnost chodu v nekonvenčních cyklech... 28	
3. Ventilový rozvod motoru Škoda 781.....	29
3.1. Rozvod s visutými ventily	29
3.2. Časování ventilového rozvodu Š781.....	29
4. Návrh mechanického ovládání ventilového rozvodu motoru Š781.....	30
4.1. Cíl úpravy.....	31
4.2. Návrh mechanické úpravy 1.....	32
4.3. Návrh mechanické úpravy 2.....	33
4.4. Návrh mechanické úpravy 3.....	34
5. Výběr nejvhodnější varianty úpravy VR	35
5.1. Konstrukční řešení vybrané varianty úpravy VR.....	35
5.2. Průběh zdvihu sacího ventilu při Millerově cyklu.....	36
5.3. Průběh zdvihu sacího ventilu při Atkinsonově cyklu.....	37
6. Závěr.....	38
Seznam použité literatury.....	39

Seznam použitých zkratek a označení	42
Seznam obrázků	44
Seznam příloh	45

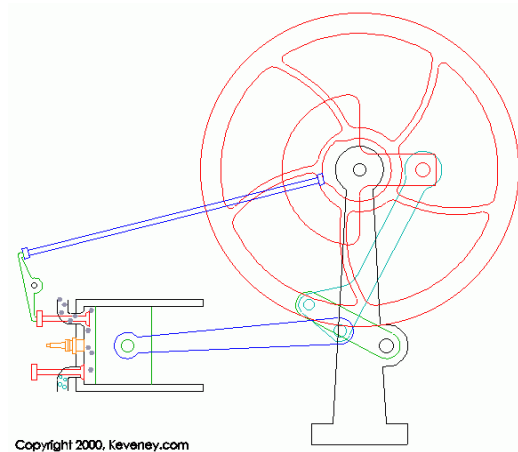
Úvod

V dnešní době je kladen stále větší důraz na vývoj spalovacích motorů ve směru k nižší spotřebě paliva, vyšší účinnosti, ale především ke stálému snižování škodlivých emisí. Stále přísnějšími emisními normami jsou automobilky nuceny přicházet se stále novými postupy k redukci těchto škodlivin. Spalovací motory v současných automobilech pracují vesměs v Ottově cyklu a postupem zvaným DOWNSIZING je docilováno zachování výkonu při nižším objemu motoru a tím i nižší spotřeby paliva. Jiné automobilky se soustředí na implementaci i jiného pracovního cyklu, než je Ottův. Atkinsonův a Millerův cyklus jsou v dnešní době hybridních automobilů v renesanci, protože ztrátu výkonu je schopen pokrýt elektromotor.

1. Nekonenční cykly zážehového motoru

1.1. Atkinsonův cyklus

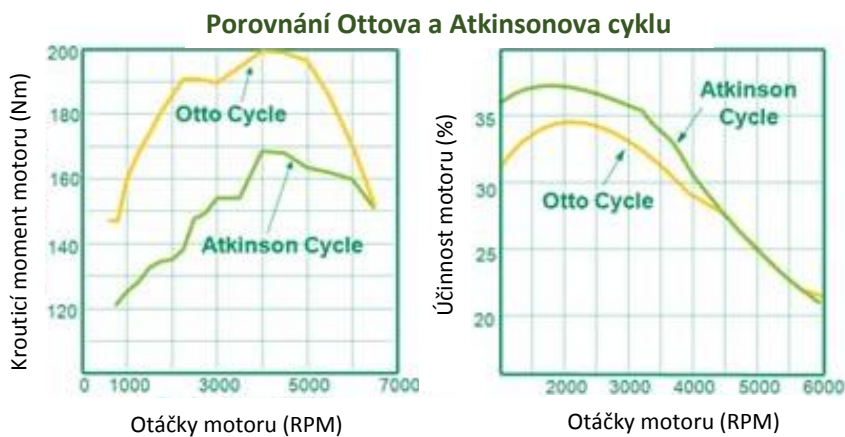
Teoretický cyklus chodu 4-dobého spalovacího motoru, vynalezený Jamesem Atkinsonem roku 1882. Původního Atkinsonova cyklu bylo dosaženo pomocí poměrně složité mechaniky, viz obr. 1. [3]



Obr. 1: Původní Atkinsonův mechanismus [2]

Princip teoreticky zapříčiňuje nižší výkon, ale oproti tomu vyšší účinnost motoru při nízkých a středních otáčkách a k tomu nižší produkci škodlivých plynů, viz obr. 2. Cílem Atkinsonova cyklu je přiblížit se dokonalému využití energie, což znamená, že tlak na konci expanze bude rovný tlaku atmosférickému. [4]

V dnešní době je rozdíl mezi dobou komprese a expanze docilováno pozdním uzavřením sacího ventilu, tedy až během kompresního zdvihu LIVC (Late Intake Valve Closing).

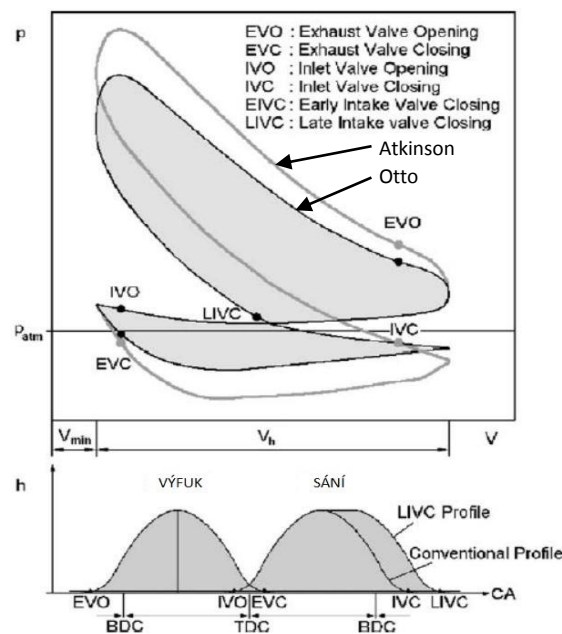


Obr. 2: Porovnání cyklu Ottova a Atkinsonova v točivém momentu a účinnosti [1]

U spalovacího motoru pracujícího v Ottově cyklu zůstává ve válci po expanzi stále relativně vysoký tlak. Ve výfukovém potrubí je tlak nižší a otevřením výfukového ventilu ztrácíme potenciálně využitelnou energii. [8] [5]

Při Atkinsonově cyklu je tlak na konci expanze ve válci nižší, čímž dochází k menším ztrátám energie a motor je proto účinnější, viz obr. 3.

Další úspora energie vzniká v sání, kde při Ottově cyklu vzniká vlivem restriktce škrticí klapkou vysoký podtlak, který znemožňuje nasátí směsi do válce během sacího zdvihu pístu. Při Atkinsonově cyklu může být při nízkém zatížení škrticí klapka otevřena více, a tím lze dosáhnout poklesu podtlaku v sání, což způsobuje lepší nasátí směsi. Avšak část směsi je opět vytlačena do sacího potrubí, to je způsobeno uzavřením ventilu až při kompresním zdvihu pístu. [5]



Obr. 3: p-V diagram a časování u Ottova a Atkinsonova cyklu [9]

Aby motor pracující v Atkinsonově cyklu dosáhl dostatečného výkonu, musí mít dostatečně vysoký efektivní kompresní poměr. To znamená, že geometrický kompresní poměr poté nabývá velmi vysokých hodnot. Vzhledem k tomu, že při vyšším zatížení musí motor pracovat v Ottově cyklu, tak by docházelo k nežádoucímu klepání. [5]

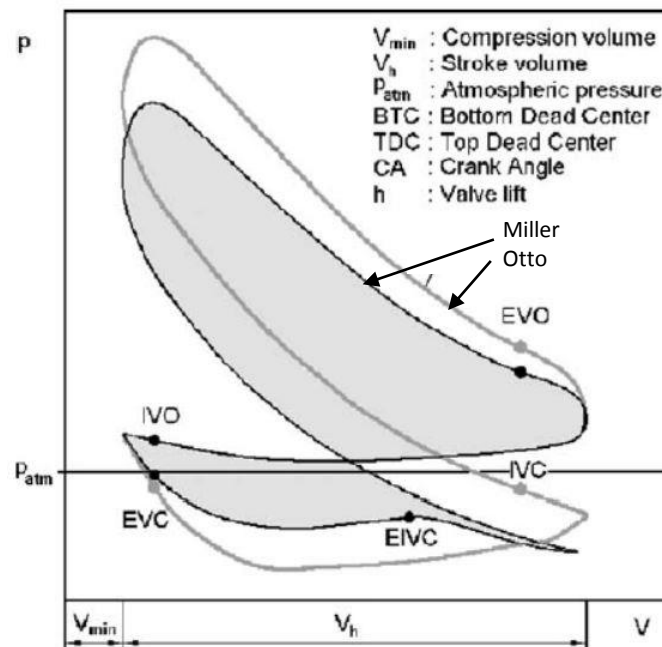
V současné době je Atkinsonův cyklus stále více užíván do hybridních automobilů, kde se výkonová ztráta snadno dožene zařazeným elektromotorem. [4]

1.2. Millerův cyklus

Původně vynalezeno a patentováno Ralphem Millerem roku 1940.

Existují dva typy Millerova cyklu. První je podobný Atkinsonovu cyklu. Také spočívá v prodloužené expanzi, tedy pozdním uzavření sacího ventilu oproti Ottovu cyklu. Rozdíl je ale v tom, že z důvodu eliminace vytlačení pracovní směsi zpět do sání je v soustrojí motoru zařazen kompresor. [7]

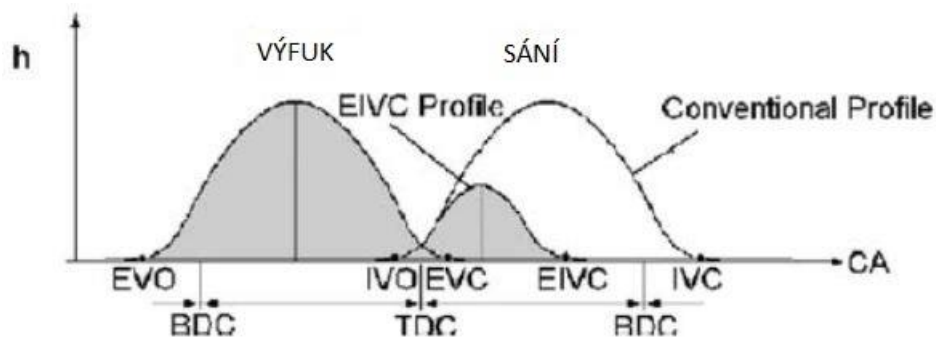
Druhý cyklus, nazývaný „extrémní Millerův cyklus“, uzavírá sací ventil ještě před dolní úvratí EIVC (extreme Early Intake Valve Closing), viz obr. 4, a také snižuje zdvih sacího ventilu, čímž se sníží průtočný průřez a směs do spalovací komory proudí rychleji. To způsobuje lepší mísení a homogenitu směsi. [6]



Obr. 4: p-V diagram Ottova a Millerova cyklu [9]

Motor pracující v Ottově cyklu má v sacím traktu umístěnou restrikcii v podobě škrticí klapky. Ta je při nízkém zatížení více uzavřená, do motoru se dostane méně vzduchu a je vstřikováno menší množství paliva. To vše jsou nežádoucí ztráty potenciální energie. [6]

U motoru pracujícího v nízkém zatížení s extrémním Millerovým cyklem je možné, aby byla škrtková klapka otevřena více nebo chyběla úplně. Při vyšším zatížení je krátká doba otevření ventilu nežádoucí, protože se do válce nedostane potřebné množství vzduchu. Přepříváním pomocí kompresoru je zajištěn vyšší tlak v sacím potrubí a tím je umožněno rychlejší plnění válce. Kompresor je poháněn od klikového hřídele, proto je jeho provoz energeticky náročný a tím pádem je využitelný pouze na větších motorech, kde ztráta energie není markantní.



Obr. 5: Časování Millerova cyklu [9]

Stejně jako u Atkinsonova cyklu, motor s Millerovým cyklem pracuje za nižších teplot. To zapříčiňuje snížení vzniku škodlivých emisí NO_x . Snížení teploty pracovní látky na začátku kompresního zdvihu je způsobeno předčasným uzavřením sacího ventilu.[6]

2. Variabilní ventilové rozvody

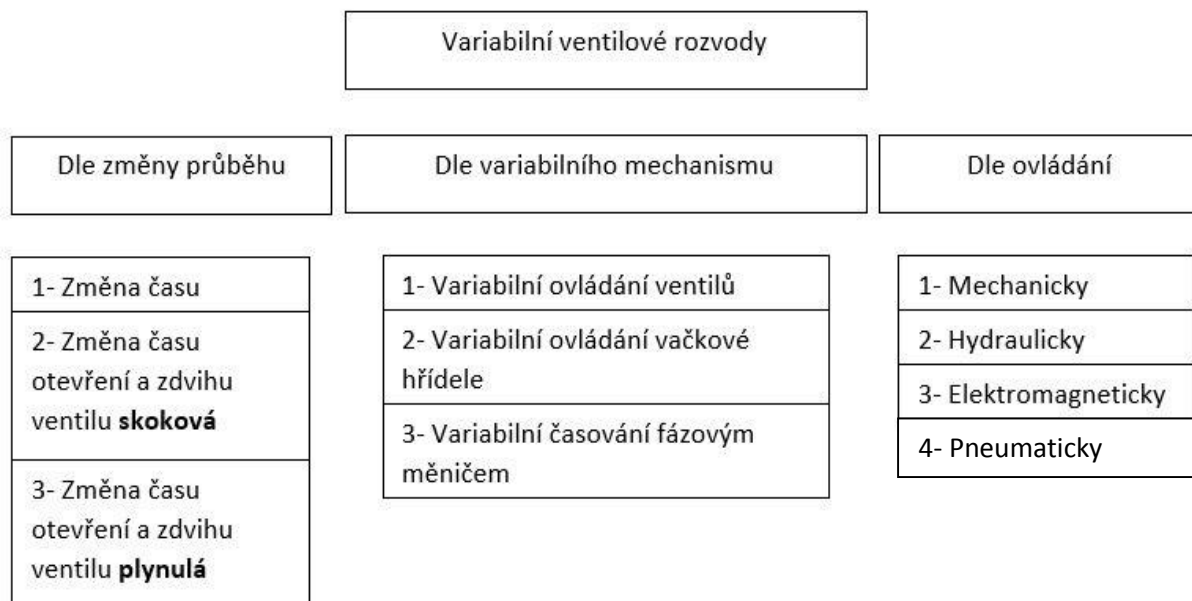
V současné době existuje mnoho řešení variabilních ventilových rozvodů, jak pro vznětové, tak zážehové motory. U vznětových motorů je integrace VVR spíše okrajová a nebudeme se tímto tématem v práci zabývat.

U zážehových motorů existuje veliké množství variabilních ventilových rozvodů, které umožňují měnit časování ventilů i zdvih, a to plynule či skokově. V této práci se zaměříme na mechanické ventilové rozvody umožňující provoz Millerova nebo Atkinsonova cyklu v kombinaci s cyklem Ottovým.

Význam variabilních ventilových rozvodů spočívá v lepším plnění pracovní komory v téměř celém rozsahu provozních otáček. Spalovací motory s rozvodem OHC mají jeden profil vačky pro sací a jeden pro výfukový ventil. To znamená, že plnění válce probíhá ideálně pouze v určitých otáčkách. Při otáčkách vyšších je válec nedostatečně plněn a výkon motoru se sice zvyšuje, avšak točivý moment klesá. Směs paliva se vzduchem potřebuje při vyšších otáčkách větší průtočný průřez kolem ventilu nebo delší dobu otevření ventilu, aby se do spalovací komory dostalo více čerstvé směsi.

Oproti tomu při nižších otáčkách potřebujeme ideálně nižší průtočný průřez, aby směs dostala dostatečnou hybnost pro obohacení v okolí zapalovací svíčky. Protože pokud obohatíme směs pouze v okolí svíčky, můžeme spalovat i velice chudé směsi, tedy při vysokém směšovací poměru. Spalováním chudých směsí docílíme nízké spotřeby paliva a samozřejmě snížení emisí. [40]

Jelikož existuje nepřehledné množství systémů umožňujících variabilní změnu rozvodového mechanismu, nebudeme se zabývat všemi, ale pouze těmi, které fungují na principu mechanického ovládání, viz obr. 6.

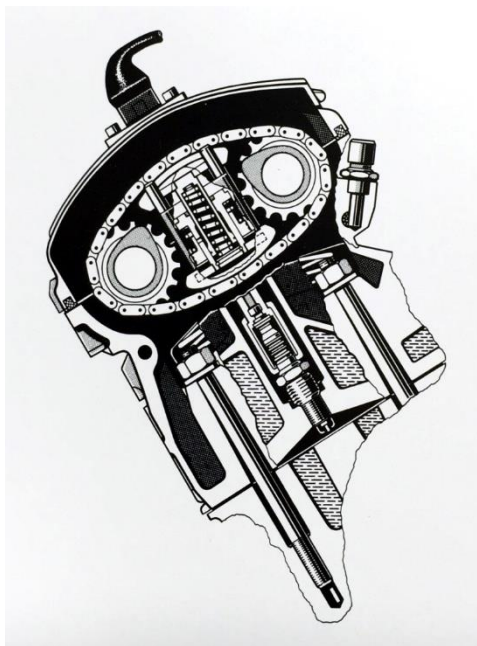


Obr. 6: rozdělení variabilních ventilových rozvodů

2.1. Změna doby otevření ventilů

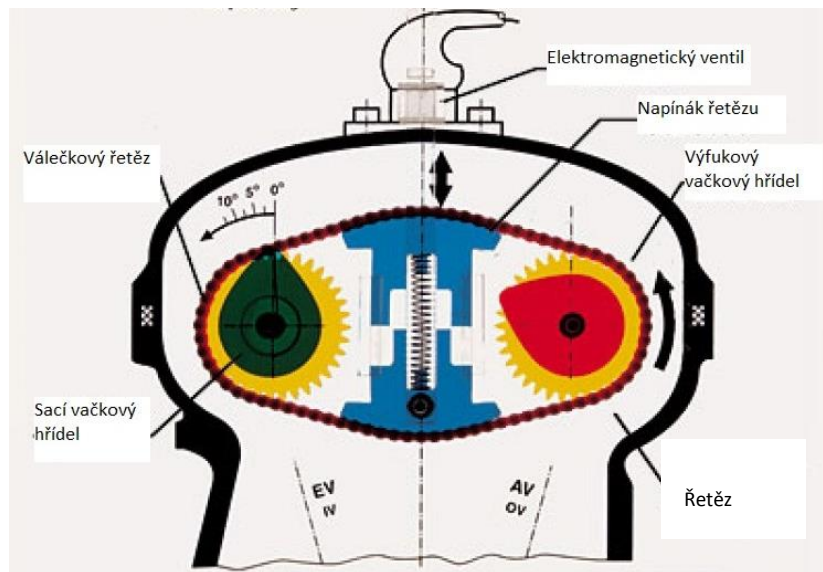
2.1.1. VarioCAM od značky Porsche

System značky Porsche umožňující změnu doby otevření sacích ventilů. VarioCam byl poprvé použit v roce 1992 na 3 litrový 4-válcový motor automobilu Porsche 968 (944S2). Prvotní účel byl ke zvýšení výkonu a točivého momentu. Pozitivním dodatkem bylo snížení škodlivých emisí. System se dále adaptoval i na koncernové vozy VW, například jej využil model Škoda Octavia 1. generace ve 20-ti ventilové verzi o objemu 1.8l .



Obr. 7: Systém VarioCam na motoru Porsche 968 [15]

Princip funkce spočívá v natočení sacího vačkového hřídele až o 30°. System využívá pohonu pomocí řetězu (ozubeného řemenu) od klikového hřídele, avšak tento řetěz pohání pouze výfukový vačkový hřídel. Sací vačkový hřídel je poháněn pomocí druhého řetězu a to od výfukového vačkového hřídele. Napínání tohoto 2. řetězu je řešeno pomocí dvoustavového hydraulického stavění. Hydraulickým stavem napínáku řetězu jsme schopni nastavovat napnutí řetězu a tím i natočení sacího hřídele vůči výfukovému. Do napínáku je ovládacím vedením přiváděn tlakový olej z mazací soustavy, jehož tlak je schopen ovládat šoupátko, které nastavuje hydraulický ventil. Řízení je řešeno pomocí řídicí jednotky motoru skrze elektromagnetický ventil, viz obr. 8. [12] [13]



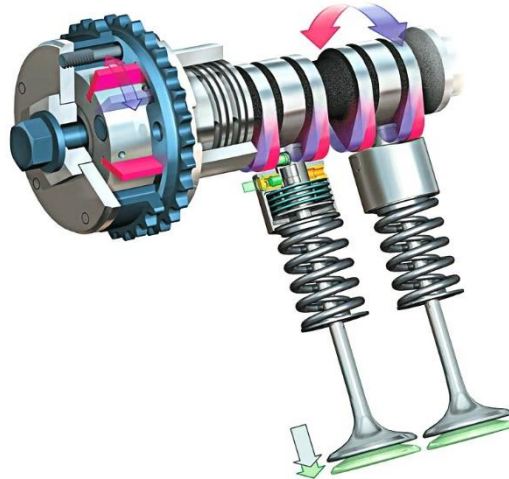
Obr. 8: Princip funkce systému VarioCam [14]

Změna probíhá jako dvoustavová. Natočení sacího vačkového hřídele se odehrává v rozmezí 15° natočení klikového hřídele. Při volnoběžných otáčkách je napínák v dolní (základní) poloze. Při nízkých a středních otáčkách ($1500-5000 \text{ min}^{-1}$) je napínák v horní (extrémní) poloze a tím se prodlouží délka řetězu nad osou vačkových hřídelů a jelikož si výfukový hřídel zachovává svoji polohu, natočí se hřídel sací po směru otáčení a tím se sací ventily otevrou dříve, viz obr. 8. Toto vede k překrytí ventilů. [12]

VarioCam PLUS

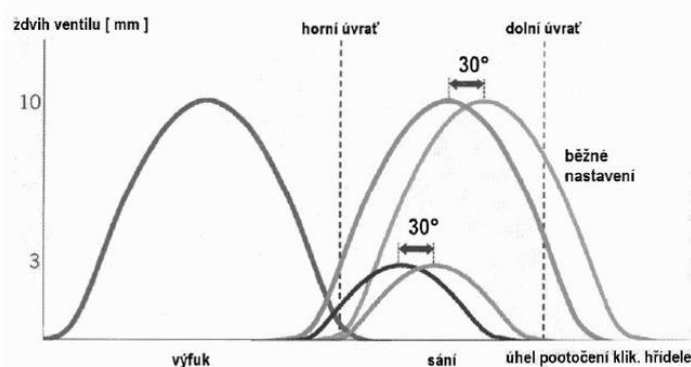
VarioCam plus kombinuje systém změny časování sacích ventilů pomocí natočení vačky a změnu zdvihu ventilu pomocí hydraulického zdvihátka. Toto řešení bylo představeno v roce 2001 na modelu Porsche 996 Turbo. Stavová změna časování zde již není řešena pomocí napínáku, ale pomocí dvoustavového rotačního hydromotoru (fázový měnič). Ten umožňuje fázové natočení vačkového hřídele sacích ventilů až o 30° natočení klikového hřídele. Na základě splnění podmínek vyhodnocovaných řídicí jednotkou (otáčky motoru, teplota motoru,...) se uvede v činnost elektromagnetický přepouštěcí ventil (solenoid), který vpustí do 1. komory tlakový olej. Ten vytlačí píst vedený vnějším šikmým drážkováním. Pouzdro hydromotoru je spojeno s vnějším rozvodovým kolem a má vnitřní šikmé drážkování. Pohybem pístu v drážkách se natáčí rozvodové kolo vůči vačkovému hřídeli, tím se sací ventily otevrou dříve a dochází k jejich překrytí s výfukovými. Ve vysokých otáčkách (5950 min^{-1}) je tlakový olej pomocí solenoidu přesměrován a vytlačí píst zpět do původní polohy.

Rok 2002 přinesl další zdokonalení systému o možnost změny zdvihu ventilu s plynulou změnou časování, oproti dvoustavové. Toto bylo poprvé použito na modelu Porsche Carrera 911 (1996). Solenoid je neustále regulován ve 3 polohách (píst v pozici dříve, píst v pozici později a udržování stavu) a navíc je použito lopatkové kolo fázového měniče. Tlakový olej je přiváděn na lopatky měniče a jeho množství a tlak natáčí vačkový hřídel oproti rozvodovému kolu, viz obr. 9. [12]



Obr. 9: Systém VarioCam plus [12]

Možnost změny zdvihu je řešena pomocí dělené vačky a nastavitelného hydraulického zdvihátka. Při malém zatížení a nízkých otáčkách je v provozu střední vačka, která má zdvih pouhé 3 mm. Při vyšších otáčkách a zatížení motoru jsou sací ventily otevírány vačkami se zdvihem 10 mm. Změna zdvihu a nárůst točivého momentu je tedy více než dvojnásobná, viz obr. 10. Z toho důvodu, musí být takto velká změna korigována řídicí jednotkou, která musí upravit signály pro polohu škrticí klapky a míru recirkulace výfukových plynů, aby změna byla plynulá a proběhla bez vědomí řidiče vozidla. [11]

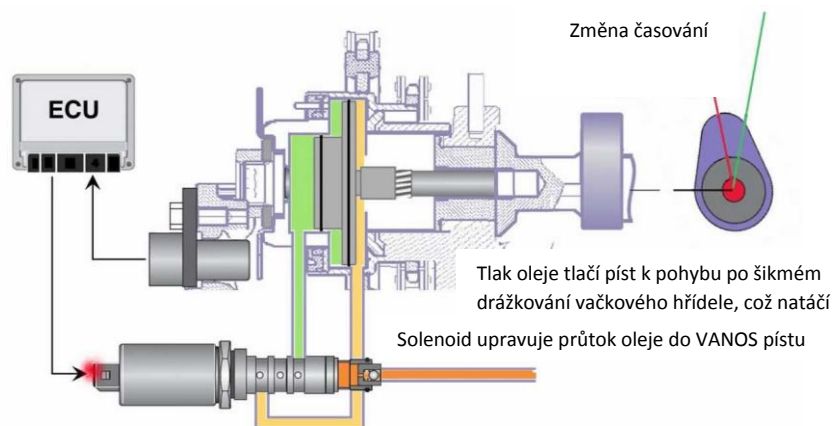


Obr. 10: Diagram časování ventilů VarioCam plus [12]

V nízkém zatížení působí pouze střední vačka na vnitřní zdvihátko, na které účinně působí tlakový olej dávkovaný elektromagnetickým ventilem. Vnější zdvihátko se pohybuje naprázdno. Při vyšších otáčkách jsou obě zdvihátka spojena jisticím kolíkem, který je ovládaný tlakovým olejem proti vratné pružině. [8]

2.1.2. VANOS od značky BMW

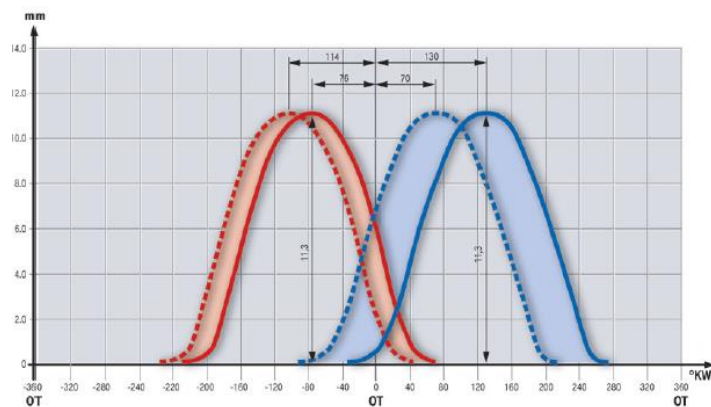
Systém Vanos využívá kombinace mechanického a hydraulického ovládání vačkového hřídele. Poprvé byl představen v roce 1992 na motoru BMW M50 TUB25 o objemu 2494 ccm, který při otáčkách 5900 min^{-1} dosahoval výkonu 141 kW a maximálního točivého momentu 245 Nm při 4200 min^{-1} . VANOS (VARIable NOckenwellenSteuerung – variabilní řízení vačkového hřídele) byl v počátku podobný původnímu systému Variocam (Porsche), tedy umožňoval pouze fázovou změnu natočení sacího vačkového hřídele a to až o 50° natočení klikového hřídele, viz obr. 11. [11]



Obr. 11: princip funkce systému VANOS [17]

Vanos umožňuje velice rychlou změnu natočení vačkového hřídele, a to až 100° za sekundu. Pokud je navíc použito vysokotlaké čerpadlo, rychlost natočení je až pětinasobná, tedy 500° za sekundu.[16]

Postupným vývojem byl v roce 1997 představen vylepšený systém Double Vanos, který plynule ovládal natočení sacích i výfukových vačkových hřídelů. Princip změny časování ventilů spočívá v pohybu po šikmém drážkování u řetězových rozvodových kol. Tlakový olej je přiváděn do vysokotlakého olejového čerpadla, odkud je přes jednocestný ventil veden do hlavního tělesa systému Vanos. Jednocestný ventil je v systému zařazen kvůli udržení provozního tlaku oleje i po vypnutí motoru. Provozní tlak je udržován v určitém rozsahu pomocí přetlakového ventilu, který přebytečný tlakový olej odpustí do mazacích kanálů v hlavě válců. O rozdělení průtoku tlakového oleje v systému se starají 2 třicestné elektromagnetické ventily, z nichž je jeden pro vačkový hřídel sací a druhý ventil pro výfukový. Řízením průtoku oleje umožňují nastavení hydraulického pístu, který zajišťuje polohu vloženého pouzdra. Vložené pouzdro má 2 druhy drážkování. Vnitřní rovné drážkování umožňuje pohyb v axiálním směru po drážkování na vačkovém hřídeli a vnější šikmé drážkování umožňuje pootočení vůči pouzdru rozvodového kola. Velikost natočení tedy přímo určuje velikost posuvu vloženého pouzdra. [16]

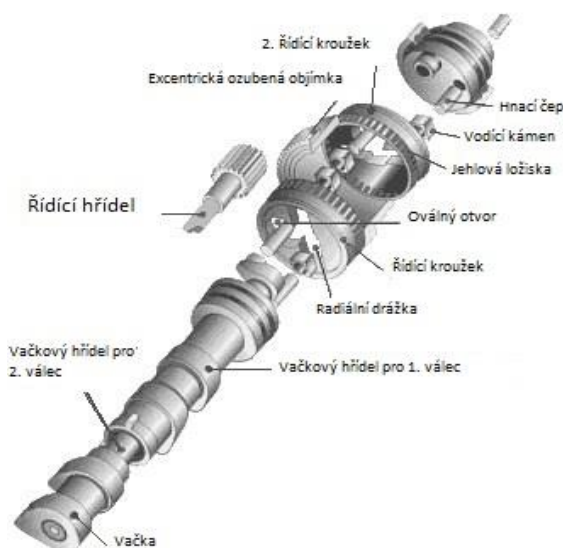


Obr. 12: Rozsah změny časování u Double-VANOS u motoru S50B32 [18]

Double-VANOS se především liší v rozsahu natočení vačkového hřídele a změnou umístění některých součástí. Princip funkce je téměř totožný, avšak skoro každá série motorů BMW má svůj vlastní VANOS. [19]

2.1.3. VVC od značky ROVER

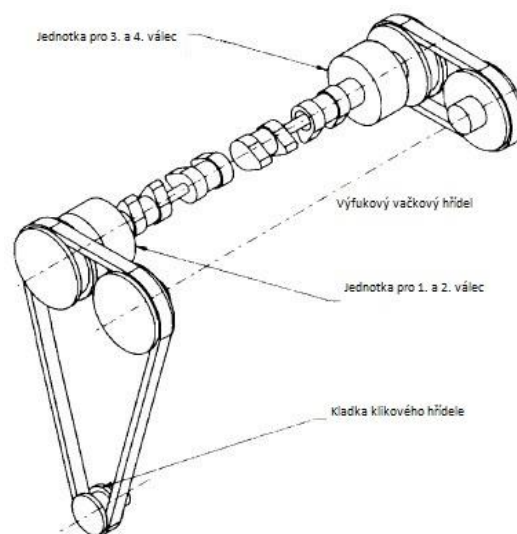
Základní koncept byl patentován ve Velké Británii firmou Automotive Engineering Company Limited (AE) již v roce 1973, avšak o tento systém v té době nebyl zájem, a tak upadl v zapomnění. V roce 1989 jej znovu objevila firma Rover a začala s ním experimentovat. Až roce 1993 se systém VVC objevil v sériově vyráběném motoru 1400 ccm Rover. Princip systému VVC (Variable Valve Control) spočívá v excentricky uložených rotujících ozubených objímkách. Ty jsou poháněny dvěma vnitřními kroužky ovládacími rychlost otáčení dvou válců. VVC využívá velice komplikovaného mechanismu, pomocí kterého může plynule měnit průběh doby otevírání sacích ventilů z minimálního natočení klikového hřídele 220° po maximální natočení 295°. V principu má každý válec svůj vlastní vačkový hřídel.[21]



Obr. 13: Popis základních částí systému Rover VVC [20]

Každý válec musí být řízen samostatně pomocí dutého vačkového hřídele. Toho je dosaženo za pomoci excentrických ozubených objímek, které zajišťují rozdílnou obvodovou rychlost při otevírání sacích ventilů oproti jejich zavírání, viz obr. 13. [22]

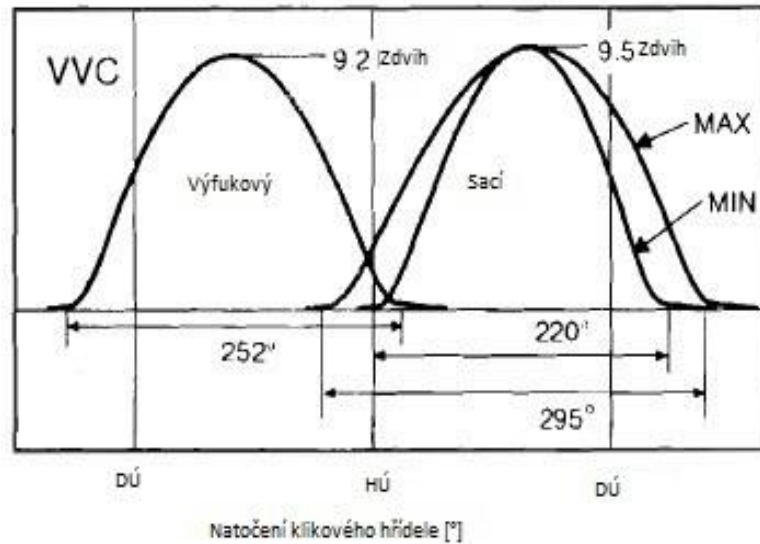
Ventilové rozvody pro motory Rover série K mají klasicky ovládaný výfukový vačkový hřídel od klikového hřídele přes ozubený řemen. První vačkový hřídel sacích ventilů pro 1. a 2. válec je ovládán řemenem od klikové hřídele přes hnací čep, posuvný kámen a hnací kroužky, které jsou uloženy ve výstředné objímce. Druhý vačkový hřídel sacích ventilů pro 3. a 4. válec má obdobné ovládání, viz obr. 14. Posuvný kámen se otáčí na válcovém čepu a navíc se posouvá v radiální drážce řídicího kroužku. Radiální posuv kamenu je z důvodu kompenzace excentrického uložení hnacího kroužku. Na opačné straně radiální drážky se pohybuje druhý posuvný kámen, který přes rameno pohání vačkový hřídel. [21] [22]



Obr. 14: Pohled na řešení rozvodu se systémem VVC [20]

V řídicí objímce jsou umístěny 2 hnací kroužky, jejichž radiální drážky mezi sebou svírají úhel 90° . To mimo jiné znamená, že hnací kroužky musejí být opatřeny oválnými otvory, ve kterých se pohybují čepy pro pohon sousedních válců.

V průběhu jedné otáčky se tedy mění úhlová rychlost vačkového hřídele každého válce. To je příčina změny průběhu zdvihu ventilů, která nastává v okamžiku, kdy se natočí excentrická objímka po svém vnějším ozubení vůči pastorku řídicího hřídele. Řídicí hřídel má 2 konce, na každém z nich pastorek a sám je natáčen ozubenou tyčí, která je ovládána elektrohydraulickou řídicí jednotkou. Pastorek na jedné straně řídicího hřídele ovládá mechanismus excentrické objímky pro 1. pár válců a pastorek na druhém konci 2. mechanismus pro druhý pár válců.



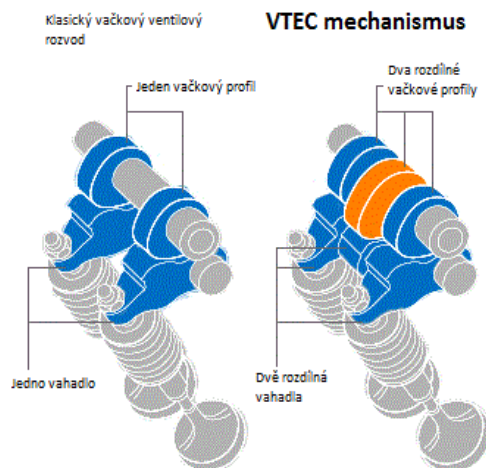
Obr. 15: Diagram časování systému VVC [20]

Systémem VVC jsou vybaveny motory Rover řady K 1800 ccm (pohánějící např. MGF, Lotus Elise 111s, Caterham Seven, Rover 75 atd...). Při porovnání stejného motoru se systémem VVC a bez, byl zjištěn nejen nárůst špičkového výkonu z 88kW na 107kW, ale i nižší spotřeba o 5-10%. Především bylo naměřeno „vyhlazení“ a „posílení“ křivky točivého momentu motoru v celém otáčkovém spektru. Mezi nevýhody patří složitý mechanismus a z toho vyplývající vysoká cena, třecí ztráty a nespolehlivost. Také velmi obtížná potenciální aplikace u šestiválcových a osmiválcových motorů v konfiguraci do „V“, u nichž je třeba použít čtyři excentrické objímky a adekvátní počet dalších součástí mechanismu.[22]

2.2. Skoková změna zdvihu a časování ventilů:

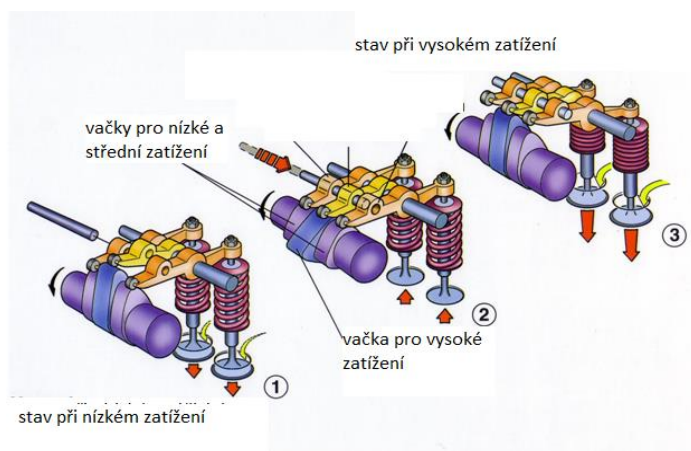
2.2.1. V-TEC od značky Honda

Variabilní ventilový mechanismus VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control) je systém automobilky Honda. Poprvé byl v sériové výrobě představen ve verzi DOHC VTEC v roce 1989 na motoru B16A o zdvihovém objemu 1595 ccm, kterým byl například osazen model Civic VTi, CRX nebo Integra XSi/RSi. [26] [28]



Obr. 16: Schéma hlavních částí systému VTEC [24]

Motory s čtyřventilovým rozvodem DOHC VTEC mají v prostoru mezi vahadly umístěnou 3. vačku s vlastním vahadlem, viz obr. 16. Při nižších a středních otáčkách jsou v provozu krajní vahadla pro příslušné ventily. S rostoucím zatížením motoru se pomocí propojovacího čepu, ovládaného tlakovým olejem od čerpadla, pevně propojí všechna 3 vahadla. Krajní vačky v tuto chvíli nezabírají, protože pohyb vahadel je určován prostřední „ostrou“ vačkou. Pokud se zatížení motoru opět sníží, sníží se tlak oleje a propojovací čep se pomocí vratné pružiny vrátí do původní polohy a rozpojí vahadla, viz obr. 17. Tato změna trvá pouze přibližně 0,02 sekundy. [27]

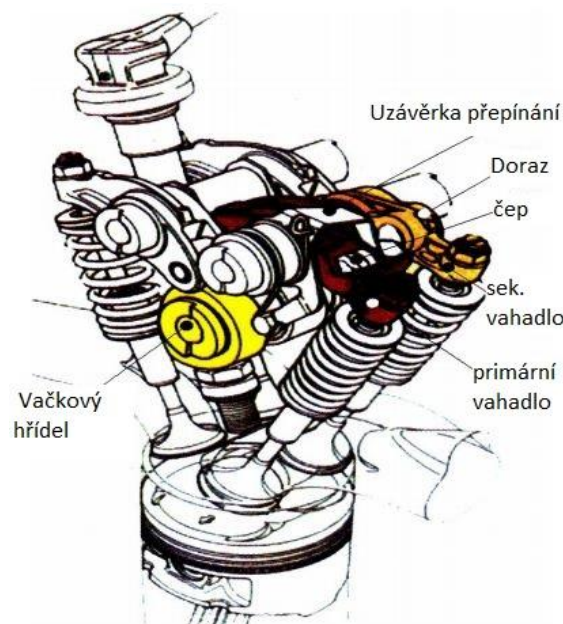


Obr. 17: Schéma funkce systému DOHC Vtec [25]

Maximálního výkonu 118kW dosahuje motor B16Ax při 7600 min^{-1} a maximálního krouticího momentu 150 Nm při 7000 min^{-1} . Přičemž křivka točivého momentu je téměř plochá v rozsahu od 2100 až 8000 min^{-1} a neklesá pod hodnotu 135 Nm, což je 90% maxima. Během let byla hranice výkonu a točivého momentu u motorů se systémem DOHC VTEC posouvána vzhůru. Ovšem masové rozšíření variabilních ventilových rozvodů pro motory Honda přinesl až systém SOHC VTEC.

SOHC VTEC je téměř totožný s DOHC systémem, avšak s rozdílem, že má variabilně ovládané pouze sací ventily. [27]

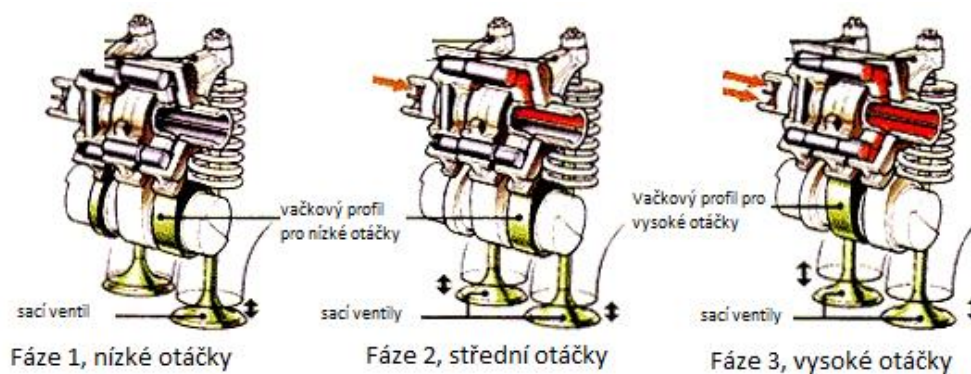
Dalším vývojovým stupněm je systém SOHC VTEC-E, který je již značně odlišný od předchozích systémů. Na rozdíl od SOHC VTEC, systém pracuje pouze se 2 vačkami, které mají stejný profil a místo propojování vahadel, využívá při nízkých a středních otáčkách vyřazení jednoho sacího ventilu, takže motor pracuje pouze jako dvanácti-ventilový, viz obr. 18. Profil vačky umožňuje zdvih vyřazeného ventilu pouze 0,65 mm, přičemž zdvih nevyřazeného ventilu je 8mm. Rychlost proudění směsi okolo méně otevřeného ventilu je rychlejší. Nižší zdvih ventilu způsobuje lepší homogenitu směsi ve válci a její vrstvení v okolí zapalovací svíčky. Vrstva bohaté směsi v okolí zapalovací svíčky umožňuje spalování velmi chudých směsí až 23,5:1.



Obr. 18: Schéma systému VTEC-E [25]

Při vyšších otáčkách motoru je pomocí hydraulického čepu aktivován doposud pasivní ventil a motor se chová jako šestnácti-ventilový. Oba ventily mají stejný zdvih 8mm. Touto generací systému VTEC je vybavena například Honda Civic 6.gen.. [24]

Nejmodernější systém nese název 3 stage VTEC a jak název napovídá, využívá 3 provozních stavů, čímž dosahuje maximální efektivity při nízkých, středních i vysokých otáčkách motoru. V principu se jedná o kombinaci SOHC VTEC a SOHC VTEC-E.



Obr. 19: Schéma funkce systému 3stage Vtec [27]

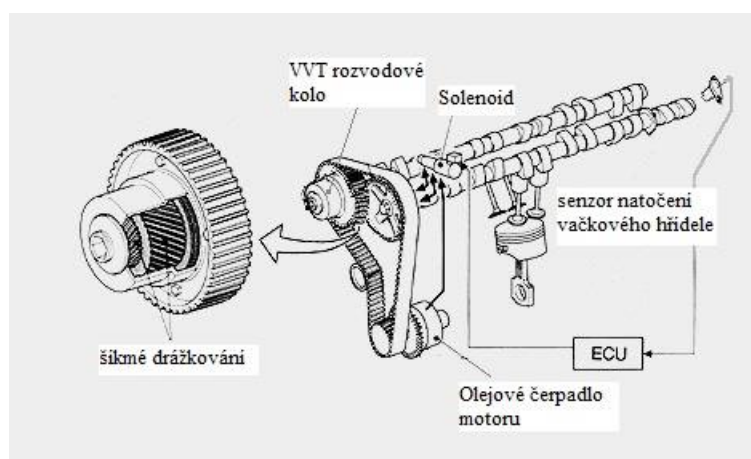
1. fáze je v rozsahu $0-2500 \text{ min}^{-1}$, kdy motor pracuje jako dvanácti-ventilový, tudíž je jeden sací ventil vyřazen.

2. fáze nastává při $>2500 \text{ min}^{-1}$, kdy jsou aktivní oba ventily, jejichž krajní vahadla jsou propojena prvním hydraulickým čepem.

Při otáčkách 6000 min^{-1} a vyšších nastává 3. fáze, při které jsou druhým hydraulickým čepem propojena všechna 3 vahadla a zdvih sacích ventilů určuje prostřední „ostrá“ vačka. Výfukové ventily mají pevný rozvod. 3-stage VTEC byl využíván u motoru Honda D15B, který poháněl Hondu Civic 6.gen. s označením Ferio VTi / Vi a byl určen pouze pro japonský trh, viz obr. 19. [27]

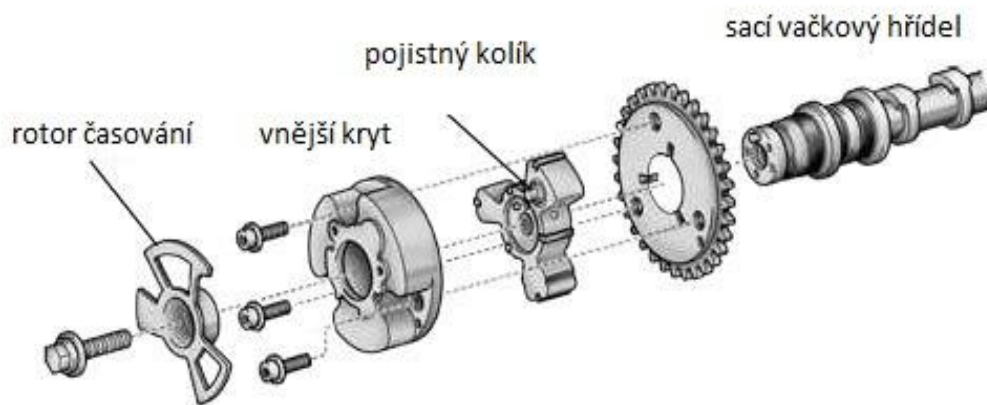
2.2.2. VVT od značky Toyota

Původní systém VVT (Variable Valve Timing) byl představen v roce 1991 na motoru 4A-GE. Princip funkce spočíval v natočení sacího vačkového hřídele vůči jeho rozvodovému kolu. Změna probíhala stupňovitě a systém byl ovládán hydraulicky v závislosti na otáčkách motoru, viz obr. 20. [11]



Obr. 20: Schéma systému Toyota VVT [32]

V roce 1996 byl představen zdokonalený systém VVT-i (Variable Valve Timing with intelligence), který umožňoval změnu časování již plynule. Změna časování dosahuje o 40-60° natočení klikového hřídele. Mechanismus VVT-i regulátoru se skládá z vnějšího krytu, který je pevně spojen s rozvodovým kolem sacího vačkového hřídele. Rotor časování je spojen se sacím vačkovým hřídelem. Tlak oleje, závislého na zatížení motoru, působí na rotor, který se natočí vůči rozvodovému kolu. To způsobí natočení vačkového hřídele vůči rozvodovému kolu. Po zastavení motoru se regulátor dotlačí na pojistný kolík a tím se nastaví nejvíce zpomalený úhel, viz obr. 21. VVT-i byl například využit v hybridním automobilu Toyota Prius s pohonným agregátem 2ZR-FXE a v nízkém zatížení umožňoval provoz v Atkinsonově cyklu, kde se sací ventil uzavíral až 102° za dolní úvratí. [30] [8]



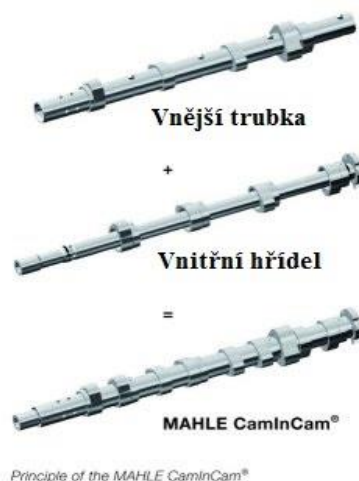
Obr. 21: Schéma VVT-i regulátoru [31]

Dalším chronologickým vylepšením je systém DUAL-VVT-i, který funguje na stejném principu, avšak variabilně ovládaný je i výfukový vačkový hřídel. [28]

VVT-iE, je systém, který nevyužívá ke změně časování tlakový olej, ale je řízen elektronikou a k natáčení vačkového hřídele sacích ventilů vůči rozvodovému kolu je využíván elektromotor. Systém tedy není závislý na teplotě a otáčkách motoru, což přináší mnoho výhod. Jednou z výhod je možnost změny časování již při startování motoru a tím jeho usnadnění. Také dochází k výraznému poklesu produkce emisí uhlovodíků. [29]

2.2.3. Cam In Cam od značky Mahle

Dvoudílný vačkový hřídel od značky Mahle se skládá z vnější trubky, uvnitř které se nachází hřídel. Na vnější trubce jsou vačky umístěny napevno a na vnitřním hřídeli jsou uchyceny pomocí čepů. Hřídel a trubka mohou být vůči sobě natáčeny. Úhel natočení je omezen drážkami. Tato vačková hřídel je vhodná především pro aplikaci do motorů, které disponují jediným vačkovým hřídelem pro sací i výfukové ventily. V kombinaci se systémem pro změnu časování lze měnit pouze časování sacích ventilů při zachování časování výfukových a naopak. [43]



Obr. 22: Jednotlivé součásti vačkového hřídele CamInCam [43]

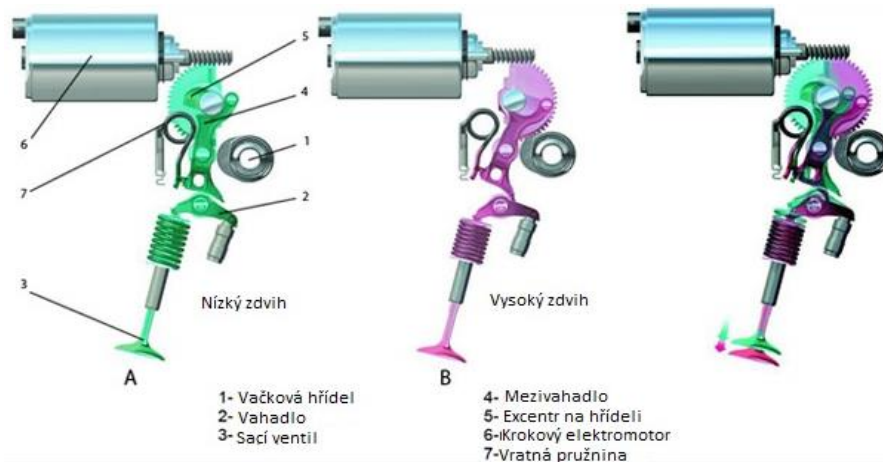
2.3. Plynulá změna zdvihu a časování ventilu

2.3.1. Valvetronic od značky BMW

Systém byl poprvé představen v roce 2001 na sériovém čtyř-válcovém motoru N42B18 o objemu 1800 ccm. Funguje v kombinaci se systémem pro změnu časování BMW Double VANOS. Funkce změny doby otevření ventilu spočívá v tom, že vačkový hřídel nepůsobí přímo na vahadlo ventilu, ale na mezivahadlo. Poloha mezivahadla určuje velikost zdvihu ventilu a je nastavována pomocí excentru na hřídeli, který je ovládán pomocí šnekového soukolí krokového elektromotoru, viz obr. 23.

Velikost zdvihu je v rozsahu od 0,2 po 9,7 mm a změna z jedné krajní polohy do druhé trvá 0,3 sekundy. Snižováním zdvihu sacího ventilu se zkracuje i doba jeho otevření.

Tím, že je systém Valvetronic kombinován se systémem Vanos, umožní změnou časování otevřít ventil dříve a i ho dříve uzavřít, čímž dosahuje Millerova cyklu. [11] [34]

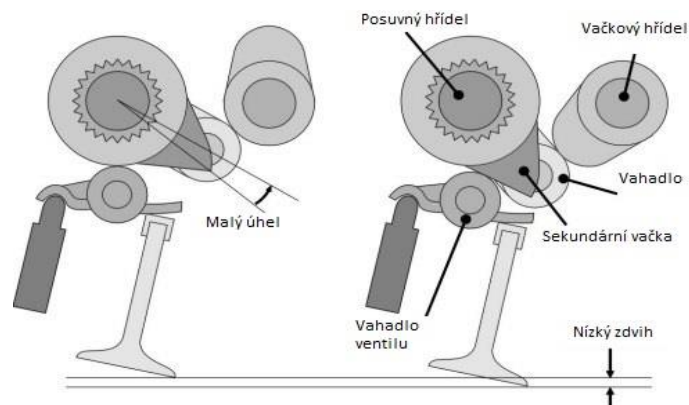


Obr. 23. Schéma funkce systému BMW Valvetronic [33]

Systém plně nahrazuje škrticí klapku v sacím traktu tím, že je množství zápalné směsi regulováno pouze pomocí plynulé změny doby otevření sacích ventilů. Systém nejenom snižuje množství potřebného paliva, ale snižuje i škodlivé emise a zvyšuje účinnost spalovacího motoru. [34]

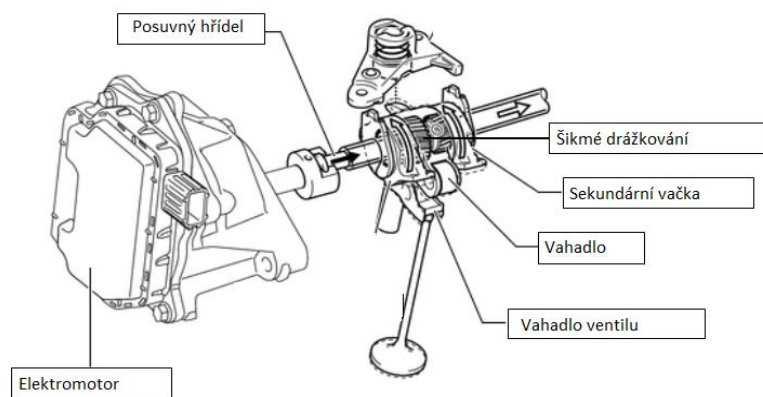
2.3.2. Valvematic od značky Toyota

Poprvé byl představen v roce 2008 na řadovém čtyřválcovém motoru 3ZR-FEA o objemu 1986 ccm. V kombinaci se systémem pro změnu časování dual VVT-i, umožňuje regulaci okamžiku otevření a uzavření ventilů a navíc změnu zdvihu ventilů v rozsahu 0,9 mm až 10,9 mm. Z toho plyne, že i tento systém plně nahrazuje škrticí klapku, která v sacím traktu stále je, ale již pouze pro nouzový režim. V nízkém zatížení je nastaven nízký zdvih ventilu a dochází tedy k jeho předčasnému uzavření, čímž systém dosahuje extrémního Millerova cyklu. [8]



Obr. 24: Schéma hlavních funkčních částí systému Valvematic [36]

Mechanismus je ovládán vačkovou hřídelí, která přes vahadlo ovládá sekundární vačky, viz obr. 24. Pomocí šikmého drážkování je vahadlo a sekundární vačky propojeno s přidavným hřídelem, který je axiálně posuvný. Pokud se posuvný hřídel pohybuje, vahadlo a sekundární vačky se po šikmém ozubení natáčí. Drážkování vahadla má opačný směr sklonu než drážkování sekundárních vaček a tudíž se natáčí v opačném směru. Když je vysunutí posuvného hřídele maximální, je úhel mezi vahadlem a sekundárními vačkami největší a tím je dosaženo nejvyššího zdvihu ventilu. Oproti tomu při nejmenším vysunutí posuvného hřídele je zdvih nejnižší, viz obr. 25. [36]

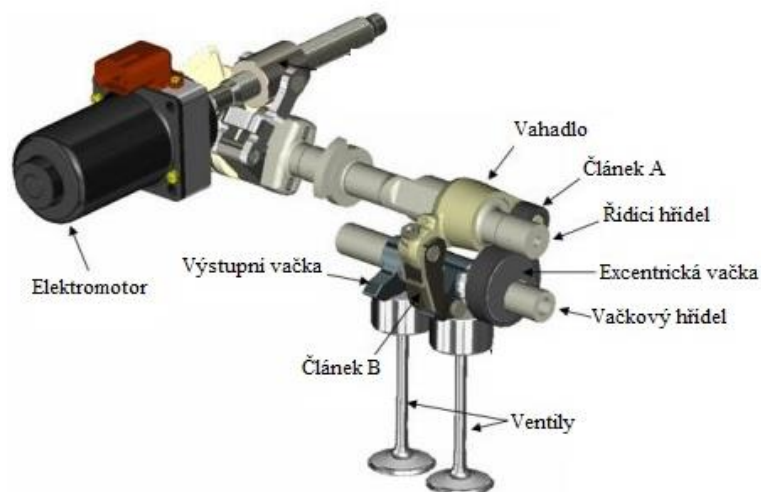


Obr. 25: Schéma systému Toyota Valvematic [35]

Axiální posuv hřídele je zajišťován pomocí elektromotoru, který je umístěn na opačném konci hřídele než mechanismus systému dual VVT-i. Valvematic zapříčiňuje snížení spotřeby paliva o 5-10%, snížení škodlivých emisí a také zvýšení výkonu motoru. [36]

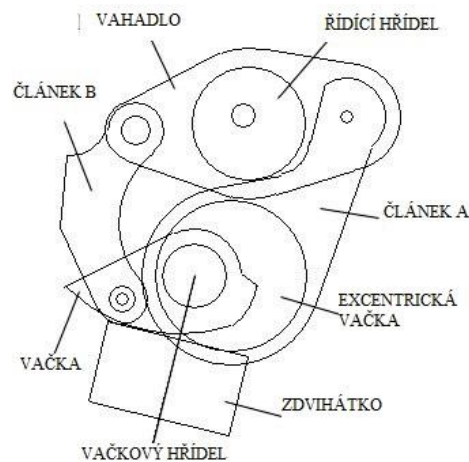
2.3.3. VVEL od značky Nissan

Stejně jako Valvetronic a Valvematic umožňuje plynulou změnu zdvihu ventilů. VVEL (Variable Valve Event and Lift) byl poprvé představen na začátku roku 2008.



Obr. 26: Obrázek 3D modelu systému VVEL s popisem jednotlivých částí [37]

Vačkový hřídel je poháněn pomocí řetězu od klikového hřídele. S Vačkovým hřídelem je pevně spojena excentrická vačka, která je pomocí článku A spojena s vahadlem. Druhý konec vahadla je přes článek B spojen s výstupní vačkou, viz obr. 26. Výstupní vačka ovládá ventily motoru. Vahadlo navíc může být ovládáno pomocí natočení řídicího hřídele a řídicí excentrickou vačkou. Řídicí hřídel tedy ovládá zdvih a délku doby otevření ventilů. Natáčení probíhá v rozsahu 90°, přičemž při nízkém zatížení motoru, tedy při požadavku nízkého zdvihu ventilu, se řídicí hřídel natáčí proti směru hodinových ručiček tak, aby levý konec vahadla byl v nejvyšší poloze. Při vysokém zatížení motoru je požadován vysoký zdvih sacích ventilů, a tudíž se řídicí hřídel natočí po směru hodinových ručiček do dolní polohy vahadla zajištěné excentricitou vačky, viz obr. 27. [38] [8]



Obr. 27: schematický pohled na hlavní mechanismus systému VVEL [38]

Systém VVEL mění zdvih i dobu otevření sacích ventilů a proto musí být kombinován se systémem umožňujícím změnu časování ventilů. Pokud změním časování při nízkém zdvihu ventilu, je motor schopný pracovat v extrémním Millerově cyklu. [11]

2.4. Srovnání zmíněných systémů s ohledem na schopnost chodu v nekonvenčních cyklech

Na obr. 28 je viditelné, že jednotlivé systémy používané na běžných motorech neumožňují současně provoz motoru v Atkinsonově a zároveň v Millerově cyklu.

Variabilní ventilový rozvod	Millerův extrémní cyklus	Atkinsonův cyklus
VarioCam	✓	✗
VVC	✗	✓
i-VTec	✗	✓
Valvetronic+Vanos	✓	✗
Valvematic+VVTi	✓	✗
VVEL	✓	✗

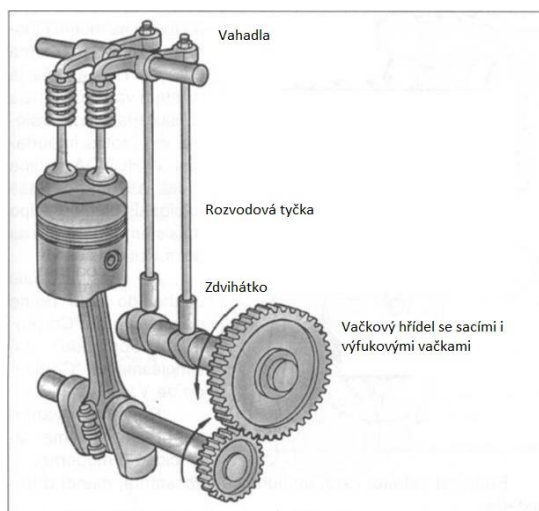
Obr. 28: Tabulka s porovnáním jednotlivých systémů pro provoz v LIVC a EIVC

3. Ventilový rozvod motoru Škoda 781

3.1. Rozvod s visutými ventily

Rozvod OHV (z anglického slova Over Head Valves) má ventily umístěné v hlavě válce, kde jsou uloženy rovnoběžně nebo mezi sebou svírají určitý úhel. Pohon je řešen pomocí vačkového hřídele uloženého v klikové skříni, přes zdvihátko, rozvodovou tyčku a vahadlo, viz obr. 29.

Jelikož rozvod obsahuje větší množství součástí, tak je hlučný a při vyšších otáčkách motoru je možnost odskakování zdvihátka od vačky a z toho plynoucí přerušování kinematických dvojic. Jeho výhodou je jak možnost vytvoření vhodného tvaru spalovacího prostoru s rychlejším a dokonalejším spalováním, tak přístup k nastavování ventilové vůle. Pro ztišení chodu ústrojí se používají hydraulická zdvihátka a materiály z lehkých kovů. Rozvody OHV jsou v dnešní době téměř vytlačeny modernějšími rozvody typu OHC a DOHC.[42]



Obr. 29: Nákres ventilového rozvodu OHV s popisem částí [39]

3.2. Časování ventilového rozvodu Š781

Motor Š781 je kapalinou chlazený zážehový řadový čtyřválec s rozvodovým mechanismem OHV. Zdvih ventilů je určen profilem vaček, jejich polohou a převodem vahadla. Dále je zdvih ventilů ovlivněn ventilovou vůlí, která se nastavuje při studeném motoru (20°C) na hodnotu 0,2 mm u sacích i výfukových, v případě ocelových zdvihacích tyček. Pokud jsou použity hliníkové zdvihací tyčky u sacích ventilů, je ventilová vůle nastavena na 0,25 mm

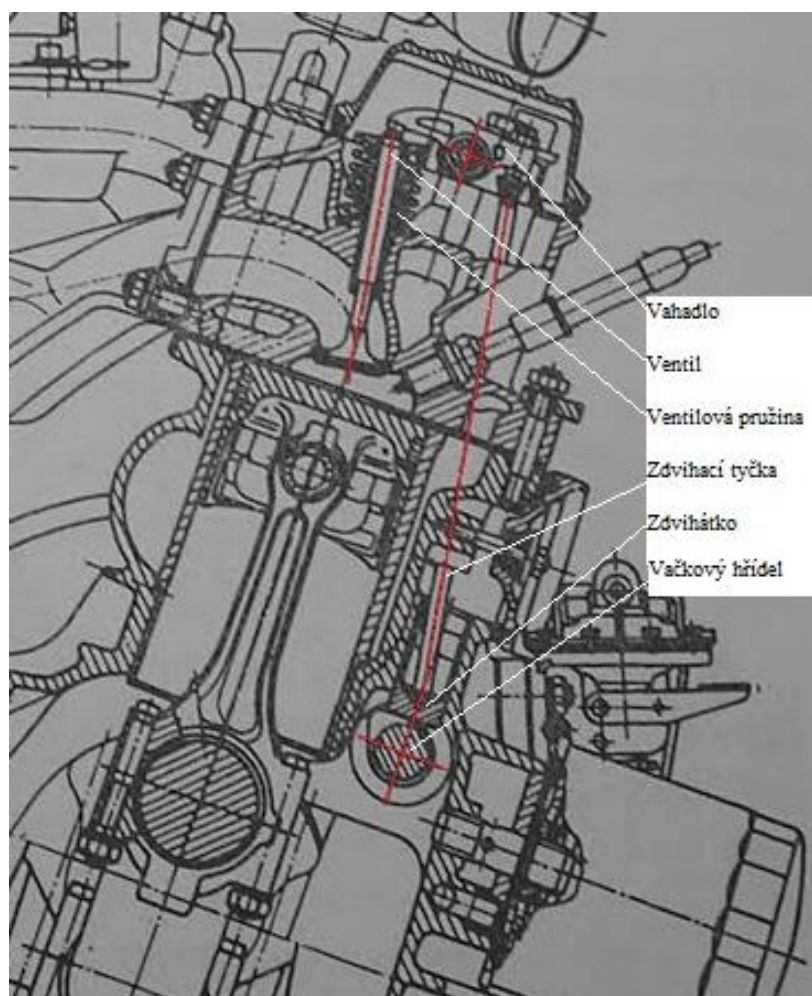
Časování ventilů		
Motor Škoda řady 781	135, 136	136x
Sání otevírá před HÚ	12°	18°
Sání zavírá po DÚ	48°	50°
Výfuk otevírá před DÚ	42°	54°
Výfuk zavírá po HÚ	8°	14°

Obr. 30: Tabulka časování motoru Š781

4. Návrh mechanického ovládání ventilového rozvodu motoru Š781

Ventilový rozvod OHV nám umožňuje, z důsledku více mechanických dvojic, více možností a míst pro úpravu ventilového rozvodu, než rozvod OHC, který je více rozšířený.

Pro zadání mé úlohy je proto vhodnější motor s rozvodem OHV, u kterého je největším omezením zástavba bloku a hlavy motoru, kde nesmíme zasáhnout do kanálů mazací a chladicí soustavy motoru. Dále nesmíme přerušit vazby mechanických dvojic, protože v rozvodu jsou přenášeny vysoké síly a mohli by, vlivem rozpojení některých částí, v nejhorším případě poškodit celý rozvodový mechanismus, viz obr 31.



Obr. 31: Řez motorem Š781 [41]

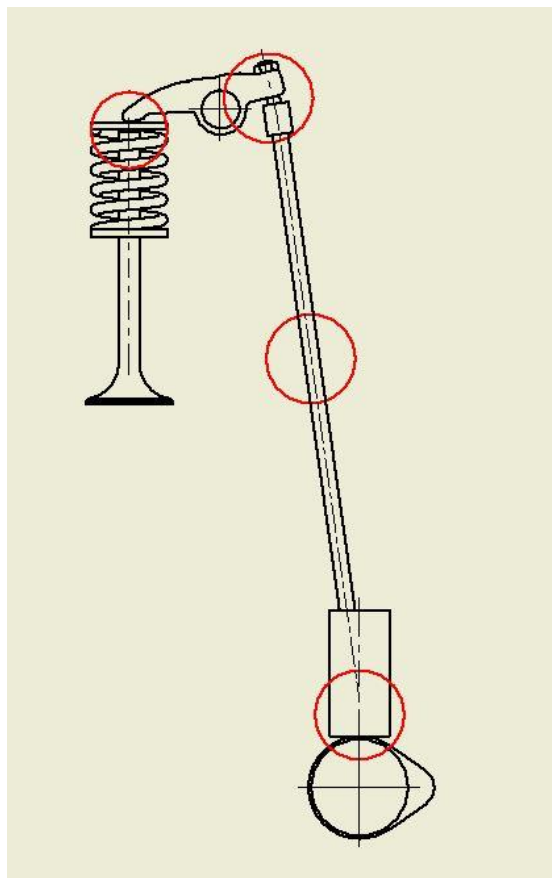
4.1. Cíl úpravy

Cílem úpravy dle zadání práce je úprava ventilového rozvodu, která bude umožňovat mechanické (resp. mechanicko-elektrické) ovládání zdvihu a časování ventilového rozvodu.

Dle zadání však musí úprava v každém případě disponovat mechanickou vazbou. Navržená úprava musí umožňovat chod v běžném Ottově cyklu, ale i v chod motoru v nekonvenčních cyklech, a to jak v Millerově (EIVC), tak i v Atkinsonově (LIVC).

Dalším důležitým požadavkem ze strany zadavatele je schopnost “přepínání“ mezi jednotlivými cykly tak, abychom nemuseli zastavovat motor. Toto kritérium je důležité z hlediska přesnosti laboratorních měření, které je v plánu na motoru provádět. Následná měření mají především ověřit výsledky provedených simulací a také poukázat na výhody/nevýhody jednotlivých cyklů spalovacího motoru v různých provozních zatíženích (např.: množství emisí CO₂,...).

Mechanická úprava musí brát zřetel na nebezpečí rozpojení kinematických vazeb a snahu co nejmenšího zásahu do původní zástavby motoru. Pro docílení mechanické úpravy nestačí pouze vyměnit vačkový hřídel, ale musíme přerušit některou z kinematických dvojic ventilového rozvodu. Ve ventilovém rozvodu jsou přenášeny velké síly, proto jsou vahadla ventilů kována. Celý mechanismus tedy musí mít dostatečnou pevnost, aby nedošlo k rázům, které by vedly k destrukci některé z částí rozvodu.



Obr. 32: Ventilový rozvod OHV a označená vhodná místa pro mechanickou úpravu

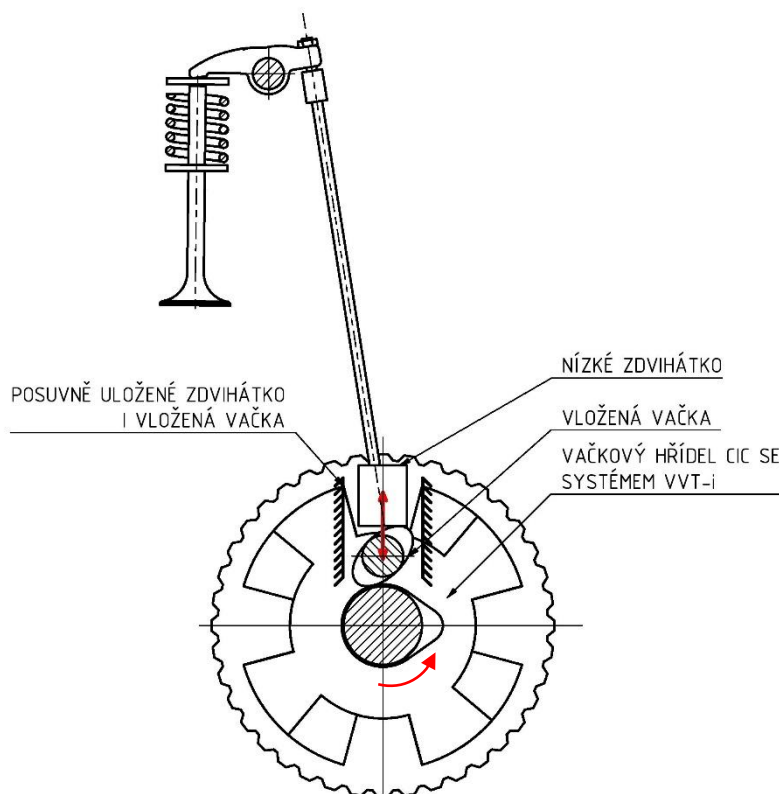
4.2. Návrh mechanické úpravy 1

Navržená úprava VR využívá ke snížení/zvýšení zdvihu ventilu vložené vačky. Vložená vačka je rotačně a posuvně uložena. Poloha jejího natočení je závislá na natočení vačkového hřídele. Ottova cyklu je dosaženo zajištěním vložené vačky v původní poloze, viz obr. 33.

Pokud chceme dosáhnout snížení zdvihu ventilu, vložená vačka se natáčí proti pohybu vačkového hřídele. Při maximálním zdvihu vačky je vložená vačka natočena tak, aby profil vložené vačky měl co nejmenší rozměr. Pro dosažení Millerova cyklu je však nutné ještě změnit časování vačkového hřídele. Toho docílíme pomocí systému VVT-i a použitím vačkového hřídele Cam In Cam, který umožňuje změnu časování sacích vaček při zachování časování výfukových vaček.

Zvýšení zdvihu ventilu docílíme obdobně jako snížení zdvihu s tím, že vloženou vačku natočíme po směru otáčení vačkového hřídele do polohy tak, aby profil vložené vačky měl co největší rozměr. Opěr pro dosažení Atkinsonova cyklu musíme změnit časování vačkového hřídele u sacích vaček.

Změny mezi cykly lze dosáhnout bez zastavení motoru, což splňuje požadavek ze strany zadavatele.



Obr. 33: Schéma varianty 1 pro úpravu ventilového rozvodu

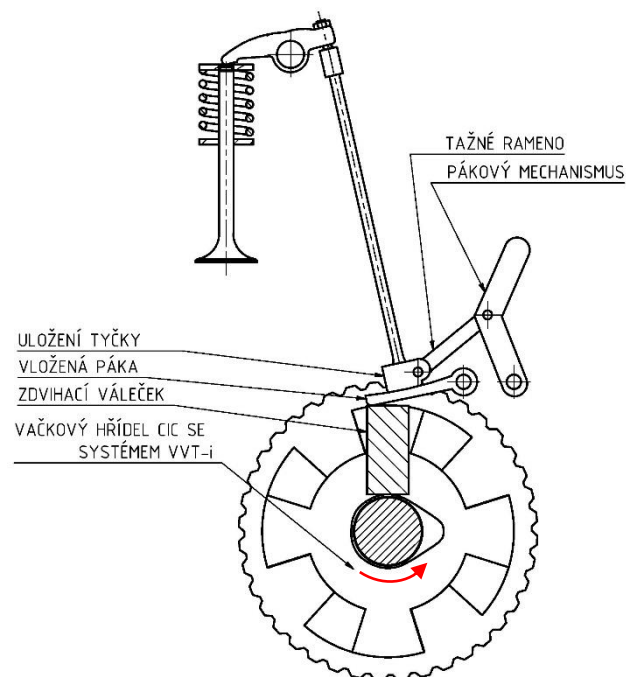
4.3. Návrh mechanické úpravy 2

Úprava využívá vloženého mechanismu, který umožňuje plynulé nastavení zdvihu sacího ventilu. Princip funkce spočívá v pohybu pákového mechanismu, který přes tažné rameno pohybuje s uložením zdvihací tyčky. Uložení tyčky se pohybuje po vložené páce, která je přes váleček, nahrazující zdvihátko, ovládána vačkovým hřídelem. Pákový mechanismus může být ovládán v kombinaci s elektromotorkem.

Pokud pákový mechanismus přesuneme do krajní polohy vpravo, dosáhneme nejkratší délky ramene vložené páky a tím docílíme nízkého zdvihu sacího ventilu (4,29 mm). Pokud použijeme systém pro změnu časování např. VVT-i v kombinaci se systémem Cam In Cam, který umožňuje změnu časování sacích vaček při zachování časování výfukových vaček, lze dosáhnout Millerova cyklu (EIVC).

Atkinsonova cyklu docílíme tak, že mechanismus přesuneme do krajní polohy vlevo, čímž zvýšíme zdvih ventilu. Změnou časování sacích vaček dosáhneme zpožděného uzavření sacího ventilu, tedy Atkinsonova cyklu.

Změny mezi cykly lze dosáhnout bez zastavení motoru, což splňuje požadavek ze strany zadavatele.



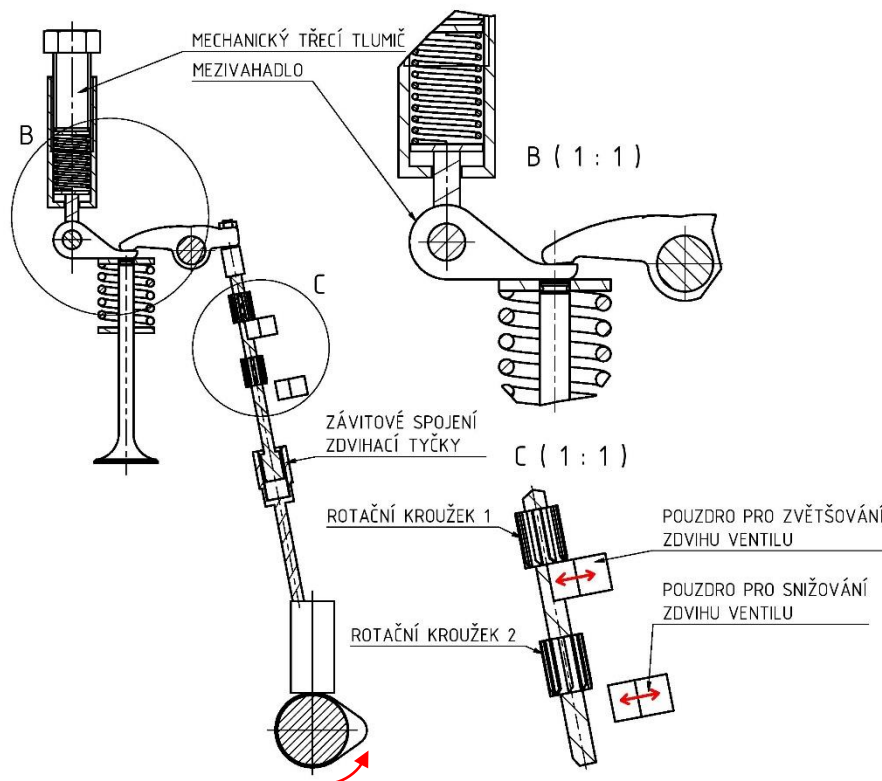
Obr. 34: Schéma varianty 2 pro úpravu ventilového rozvodu

4.4. Návrh mechanické úpravy 3

Tato varianta popisuje dosažení Atkinsonova cyklu pomocí zpoždění uzavírání sacího ventilu pomocí třecího mechanického tlumiče působícího do osy otáčení mezivahadla. Mechanický třecí tlumič by byl umístěn na přídatné konstrukci přichycené k hlavě motoru. Atkinsonova cyklu lze dosáhnout za chodu motoru.

Millerova cyklu je dosaženo pomocí upravené zdvihací tyčky. V počáteční poloze, pro Ottův cyklus, je závitové spojení zdvihací tyčky ve vyšroubované poloze, viz obr. 35. Pro chod v Millerově cyklu se nasune pouzdro pro snižování ventilu na rotační kroužek 2, tím se závitové spojení zašroubuje a sníží se zdvih ventilu. Pro opětovné zvýšení zdvihu ventilu se pouzdro pro snižování zdvihu ventilu odsune a na rotační kroužek 1 se přisune pouzdro pro zvětšování zdvihu ventilu. Přisouvání a odsouvání pouzder je možné ovládat pomocí vhodného elektromotorku.

Změny mezi cykly lze dosáhnout bez zastavení motoru, což splňuje požadavek ze strany zadavatele.



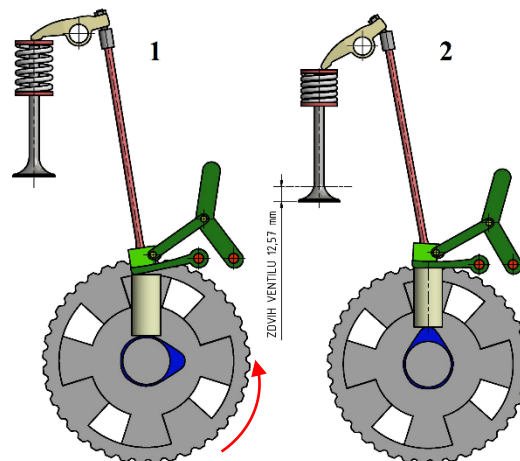
Obr. 35: Schéma varianty 3 pro úpravu ventilového rozvodu

5. Výběr nejvhodnější varianty úpravy VR

Jako nejvhodnější variantu, co se týče rozsahu variability a jednoduchosti ovládání ventilového rozvodu, jsem zvolil návrh 2, který využívá vloženého pákového mechanismu a umožňuje plynulou změnu zdvihu a časování ventilu.

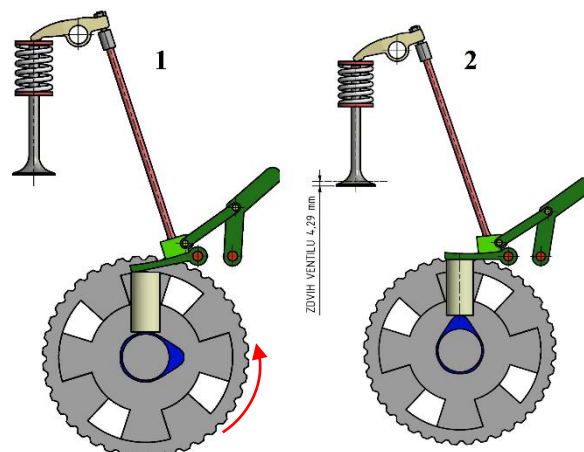
5.1. Konstrukční řešení vybrané varianty úpravy VR

Atkinsonova cyklu je dosaženo pomocí zvětšení zdvihu sacího ventilu. Zvětšení zdvihu ventilu způsobíme přesunem uložení tyčky po vložené páce. Ze základní polohy pro Ottův cyklus přesuneme mechanismus o 11 mm vlevo. Zdvih ventilu dosahuje až 12,57 mm, viz obr. 36. Kinematické vazby jsou udržovány pomocí ventilové pružiny. Pro zpoždění uzavření sacího ventilu musíme ještě změnit časování sacích váček pomocí systému VVT-i spolu s váčkovým hřídelem CIC, který umožňuje změnu časování pouze u sacích ventilů.



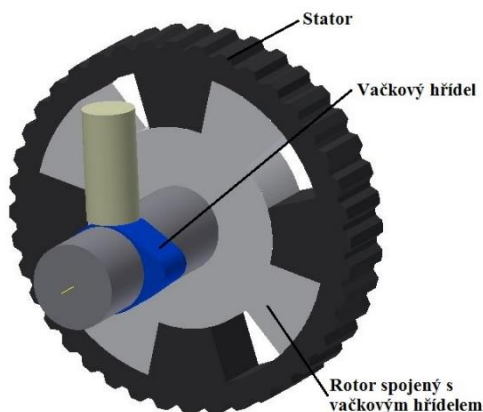
Obr. 36: Schéma znázorňující funkci mechanismu pro provoz Atkinsonova cyklu

Pro snížení zdvihu ventilu se mechanismus přesune do krajní polohy vpravo. Sací ventil se otevře pouze o 4,29 mm při zachování původního časování, viz obr. 37. Pro provoz Millerova cyklu musíme navíc změnit časování váčkového hřídele.



Obr. 37: Schéma znázorňující funkci mechanismu pro provoz Millerova cyklu

Změny časování docílíme pomocí mechanismu VVT-i spolu s vačkovým hřídelem CIC, který umožňuje změnu časování pouze u sacích ventilů.

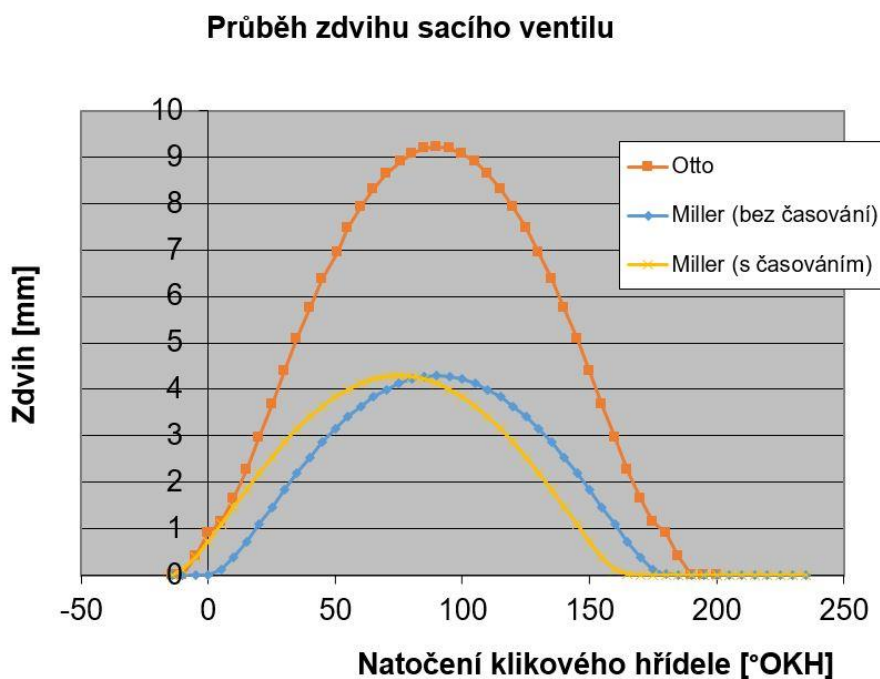


Obr. 38: Mechanismus VVT-i pro změnu časování vačkového hřídele

Celý mechanismus může být ovládán pomocí elektromotoru. V rozvodu jsou přenášeny velké síly a z toho důvodu je nutné, aby mechanismus měl dostatečnou tuhost.

5.2. Průběh zdvihu sacího ventilu při Millerově cyklu

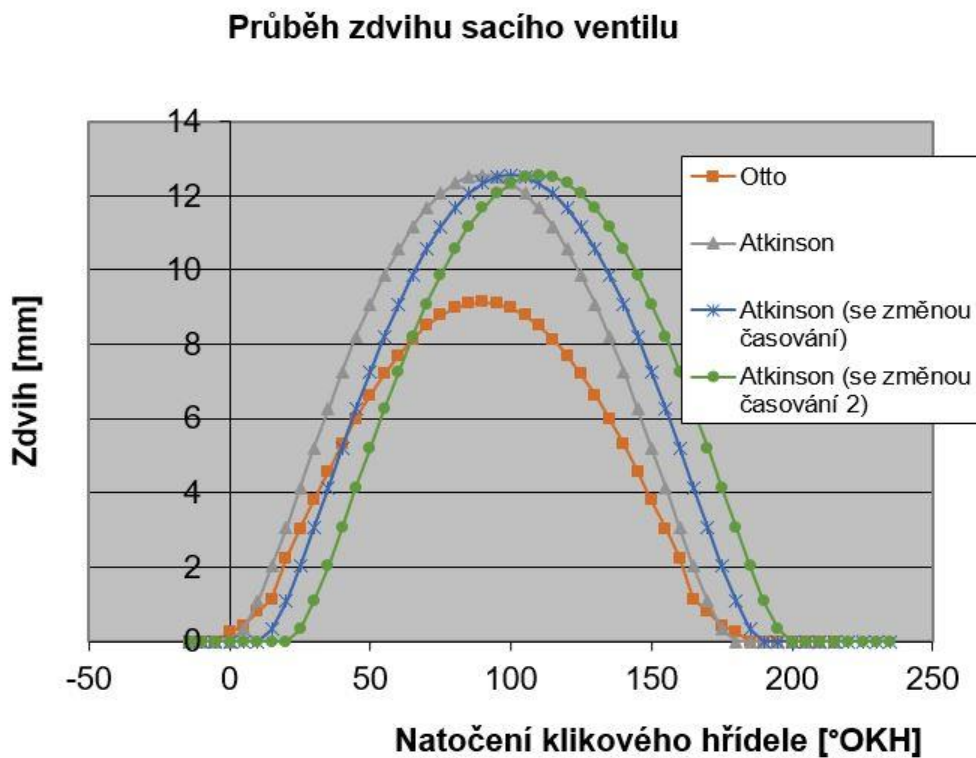
V grafu na obr. 39 je vykreslen průběh zdvihu sacího ventilu při Ottově cyklu a vypočítaný průběh Millerova cyklu jak s časováním pomocí systému VVT-i, tak i bez. Při použití vybrané varianty úpravy VR docílíme snížení zdvihu ventilu a pomocí změny časování docílíme dřívějšího uzavření sacího ventilu, než při Ottově cyklu, viz obr. 39.



Obr. 39: Porovnání Ottova cyklu se sníženým zdvihem ventilu

5.3. Průběh zdvihu sacího ventilu při Atkinsonově cyklu

V grafu na obr. 40 je znázorněn průběh zdvihu při Atkinsonově cyklu v porovnání s cyklem Ottovým. V grafu je vidět zvýšení zdvihu otevření sacího ventilu, kterého docílujeme použitím vybrané mechanické úpravy VR. Dále jsou v grafu znázorněny křivky průběhu zvýšeného zdvihu ventilu s využitím změny časování. Změnou časování sacích vaček docílíme zpožděného uzavření sacího ventilu.



Obr. 40: Porovnání Ottova cyklu se zvýšeným zdvihem ventilu

6. Závěr

V práci byla provedena rešerše existujících řešení variabilních ventilových rozvodů, s určitou vazbou na mechanické ovládání a umožňujících provoz motoru v nekonvenčních cyklech Millerově a Atkinsonově. Rešerše byla koncipována do 3 základních kategorií pro rozdělení VVR a to, pro změnu doby otevření ventilů, skokovou změnu zdvihu ventilu a časování ventilů a v poslední řadě plynulou změnu zdvihu ventilu a časování ventilu. Na základě rešerše byly navrženy 3 varianty pro mechanické ovládání ventilového rozvodu OHV motoru Škoda 781 a finálně byla vybrána varianta s vloženým mechanismem (varianta 2). Výhoda vybrané varianty je jednoduchost ovládání mechanismu a možnost plynulého nastavení zdvihu ventilu. Zvolená úprava umožňuje provoz motoru v konvenčním Ottově cyklu, ale i v cyklech nekonvenčních a to, bez nutnosti zastavení motoru.

Millerova cyklu je dosaženo pomocí snížení zdvihu sacího ventilu a změny časování sacího ventilu. Zachování původního časování výfukových ventilů je docíleno použitím vačkového hřídele typu Cam In Cam, který je složen ze dvou částí. Sací vačky jsou spojeny s hřídelem a výfukové vačky jsou spojeny s trubkou, do které je hřídel vložen. Vačky se tak mohou vůči sobě vzájemně natáčet a tím je možné měnit časování pouze sacích ventilů. Atkinsonova cyklu je dosaženo pomocí mechanismu, který se přesune do krajní levé polohy a tím zajistí vyšší zdvih otevření sacího ventilu. Průběhy zdvihu sacího ventilu pro všechny zmíněné pracovní cykly byly znázorněny v příslušných grafech.

Dle zadání byly vypracovány 3D animace všech cyklů (Ottova, Millerova a Atkinsonova).

Seznam použité literatury

- [1] Comparison of Atkinson and Otto cycle [online]. In: . [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: http://www.searchautoparts.com/sites/www.searchautoparts.com/files/static-files/ma_0210_drive3.jpg
- [2] Atkinson engine. In: Animated engines [online]. c2000-2015 [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <http://www.animatedengines.com/atkinson.html>
- [3] ČERMÁK, L. Atkinsonův cyklus. In: Auto.cz [online]. 2015 [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/atkinsonuv-cyklus-vitane-zpozdzeni-86271>
- [4] MARTIN, T. Old engine designs are new again. In: Searchautoparts.com [online]. 2010 [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <http://www.searchautoparts.com/motorage/training/old-engine-designs-are-new-again>
- [5] WANG, C., R. DANIEL a H. XU. Research of the Atkinson Cycle in the Spark Ignition Engine: SAE Technical Paper 2012-01-0390. Warrendale. Uděleno 2012.
- [6] CHEN, Z., J. WANG, Y. GAO a T. LI. The Miller cycle effects on improvement of fuel economy in a highly boosted, high compression ratio, direct-injection gasoline engine: EIVC vs. LIVC. Energy Conversion and Management. 2014. ISSN 0196-8904.
- [7] Millerův cyklus [online]. In: . Praha [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <http://www.geocore.cz/milleruv-cyklus/>
- [8] KOVAČ, Petar. Úprava ventilového rozvodu motoru Škoda pro provoz Atkinsonova i Millerova cyklu. Praha, 2015. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Miklánek L.
- [9] KUTLAR, O.A., H. ARSLAN a A.T. CALIK. Methods to improve efficiency of four stroke, spark ignition engines at part load. Energy Conversion and Management. 2005. ISSN 0196-8904.
- [10] MIKLÁNEK, Ľubomír. Prostředky pro optimalizaci zážehového motoru při nízkém zatížení. 2011. Praha: Fakulta strojní ČVUT, 2011. Disertační práce. ČVUT fakulta strojní.
- [11] VĚŘÍŠ, M. Variabilní ventilové rozvody. Brno, 2013. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Ing. LUBOMÍR DRÁPAL.
- [12] SAJDL, J. VarioCAM (VarioCAM – Plus). In: Autolexicon.net [online]. 2011 [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/variocam-variocam-%E2%80%93-plus/>
- [13] How VarioCam and VarioCam Plus works [online]. In: . [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <http://forums.rennlist.com/rennforums/996-forum/557016-howvariocamand-variocamplus-works-a-primer.html>
- [14] Variable valve timing System Porsche (VARIO CAM) [online]. In: . [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <http://automotive.technolab.org/variable-valve-timing-system-porsche-variocam>

- [15] LAZZARINO, S. Porsche 968 [online]. In: . 2015 [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <<http://www.retrovisore.it/porsche-968-lincompresa/>>
- [16] GORAL, A. BMW VANOS Explained. In: Eeuroparts.com [online]. 2016 [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <<http://www.eeuroparts.com/blog/557/bmw-vanos-explained/>>
- [17] How exactly DOES VANOS work? [online]. In: . [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <<http://www.euroautotraining.com/how-exactly-does-vanos-work>>
- [18] Vanos maintenance [online]. In: . [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <<http://karreman-engineering.com/maintenance>>
- [19] Comparing N54 and N55 Valvetrains including intake and exhaust valves as well as VANOS adjustment. In: Bimmerboost.com [online]. 2015 [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <<http://www.bimmerboost.com/content.php?6403-Comparing-N54-and-N55-Valvetrains-including-intake-and-exhaust-valves-as-well-as-VANOS-adjustment>>
- [20] WAN, M. Rover's unique VVC system. In: Autozine.org [online]. ©1997-2011 [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: http://autozine.org/technical_school/engine/vvt_4.htm
- [21] Rover K-series Variable Valve Control (VVC) [online]. In: . 2001 [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <http://www.mgfcars.de/VVC_mechanic/vvc.pdf>
- [22] Variable Valve Control [online]. In: . [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: <http://www.hazelnut.org/vvc/>
- [23] Certificate of performance. In: <http://rototest-research.eu/> [online]. [cit. 2016-06-09]. Dostupné z: <<http://rototest-research.eu/spec/view/png/graph/STR-98052501-kW-Nm-C.png>>
- [24] SAJDL, J. VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control). In: Autolexicon.net [online]. 2011 [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <<http://www.autolexicon.net/cs/articles/vtec-variable-valve-timing-and-lift-electronic-control/>>
- [25] Honda valve technology. In: Automotifgroup4 [online]. [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <<http://automotifgroup4.blogspot.cz/2013/10/honda-valve-technology.html>>
- [26] The Vtec breakthrough [online]. In: . [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <<http://world.honda.com/automobile-technology/VTEC/>>
- [27] Systémy VTEC [online]. In: . 2002 [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: <<http://www.hondaclub.cz/default.aspx?a=210>>
- [28] VVTL-i [online]. In: . [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: <<https://www.celica hobby.com/forums/ubbthreads.php/ubb/printthread/Board/14/main/4812/type/thread.html>>
- [29] SHIKIDA, T., Y. NAKAMURA, Y. NAKAKUBO a H. KAWASE. Development of the High Speed 2ZZ-GE Engine: SAE Technical Paper 2000-01-0671. doi:10.4271/2000-01-0671.

- [30] TRACY, D. How Variable Valve Timing Works [online]. In: . [cit. 2016-06-09]. Dostupné z: <http://jalopnik.com/how-variable-valve-timing-works-500056093>
- [31] Toyota VVT-i Controller Parts and Components [online]. In: . [cit. 2016-06-09]. Dostupné z: <http://www.autopartslib.com/toyota-vvt-i-controller-parts-and-components/>
- [32] A Comparison of the Toyota VVT system Vs the Honda V-TEC [online]. In: . [cit. 2016-06-09]. Dostupné z: <http://www.billzilla.org/vvtvttec.htm>
- [33] BMW-Valvetronic [online]. In: . c2013 [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: <http://dpgu.ru/uploads/files/BMW-Valvetronic1.jpg>
- [34] SAJDL, J. Valvetronic. In: Autolexicon.net [online]. c2011 [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/valvetronic/>
- [35] SEGURA, J. Valvematic-how it works [online]. In: . c2015 [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: <http://www.blogmecanicos.com/2015/10/como-funciona-el-sistema-valvematic.html>
- [36] SAJDL, J. Valvematic. In: Autolexicon.net [online]. c2014 [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/valvematic/>
- [37] HANLON, M. Nissan VVEL [online]. In: . 2007 [cit. 2016-06-09]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/go/7051/>
- [38] WAN, M. Variable Valve Event and Lift (VVEL) [online]. In: . c1997-2011 [cit. 2016-06-09]. Dostupné z: http://www.autozine.org/technical_school/engine/VVT_VVEL_2.jpg
- [39] JUSTVA, V. System opening valves, OHV [online]. In: . [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: http://curso-mecanica-de-motos.blogspot.cz/2013_12_01_archive.html
- [40] BEDNÁŘ, M. Jak funguje variabilní časování ventilů? In: Autoforum.cz [online]. 2015 [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/jak-funguje-variabilni-casovani-ventilu-par-schemat-odhali-tajemstvi/>
- [41] MACH, J. Opravy automobilů Škoda Favorit, Forman, Pick-up: Diagnostika závad, montážní postupy oprav, seřizovací hodnoty. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-7169-751-6.
- [42] PILÁRIK, M. a J. PABST. Automobily II. 2. Praha: Informatorium, Praha. ISBN 80-7333-038-5.
- [43] HUPPERTZ, H. Adjustable camshaft. In: Cartecc.com [online]. c2001-2005 [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: <http://www.kfz-tech.de/Engl/Biblio/Motorsteuerung/Nockenwellen-Verstellung3.htm>

Seznam použitých zkratk a označení

BDC - Bottom Dead Centre – Dolní úvrat'

CA - Crank Angle – Natočení klikového hřídele

ccm – centimetr krychlový

CIC – Cam In Cam

DÚ – Dolní Úvrat'

EIVC - Early Intake Valve Closing – Předčasné uzavření sacího ventilu

ECU - Řídicí jednotka

EIVC - Early Intake Valve Closing – Předčasné uzavření sacího ventilu

EVC - Exhaust Valve Closing – Uzavření výfukového ventilu

EVO - Exhaust Valve Opening – Otevření výfukového ventilu

h – Zdvih ventilu [mm]

HÚ – Horní Úvrat'

i-VTEC - Intelligent Variable Valve Timing and Lift Electronic Control

IVC - Intake Valve Closing – Uzavření sacího ventilu

IVO - Intake Valve Opening – Otevření sacího ventilu

LIVC - Late Intake Valve Closing – Pozdní uzavření sacího ventilu

LIVO - Late Intake Valve Opening – Pozdní otevření sacího ventilu

OHC – Over Head Camshaft

OHC – Over Head Valves

OKH - Stupeň otočení klikového hřídele

p – Tlak [bar]

$P_{atm.}$ – Atmosferický tlak [bar]

RPM – revolutions per minute – otáčky za minutu

SO - Okamžik otevření sacího ventilu

SV - Sací ventil

V – objem [cm³]

Valvematic - Systém plynulé změny zdvihu ventilu (Toyota)

Valvetronic - Systém plynulé změny zdvihu ventilu (BMW)

VANOS - Variable Nockenwellen Steuerung – změna časování ventilů

VarioCam+ - Systém kombinující změnu zdvihu a změnu časování ventilů (Porsche)

VVC – Variable valve control (Rover)

VVR – Variabilní Ventilové rozvody

VR - Ventilový rozvod

VTC - Variable Timing Control – změna časování ventilů

VVEL – Variable Valve Event and Lift - Systém plynulé změny zdvihu ventilu (Nissan)

VVT-i - Variable Valve Timing with intelligence – změna časování ventilů (Toyota)

VVT-iE - Variable Valve Timing – intelligent by Electric Motor – změna časování Ventilů (Toyota)

Seznam obrázků

Obr. 1: Původní Atkinsonův mechanismus [2]	9
Obr. 2: Porovnání cyklu Ottova a Atkinsonova v točivém momentu a účinnosti [1]	9
Obr. 3: p-V diagram a časování u Ottova a Atkinsonova cyklu [9]	10
Obr. 4: p-V diagram Ottova a Millerova cyklu [9]	11
Obr. 5: Časování Millerova cyklu [9].....	12
Obr. 6: rozdělení variabilních ventilových rozvodů.....	13
Obr. 7: Systém VarioCam na motoru Porsche 968 [15]	14
Obr. 8: Princip funkce systému VarioCam [14]	15
Obr. 9: Systém VarioCam plus [12]	16
Obr. 10: Diagram časování ventilů VarioCam plus [12].....	16
Obr. 11: princip funkce systému VANOS [17]	17
Obr. 12: Rozsah změny časování u Double-VANOS u motoru S50B32 [18]	18
Obr. 13: Popis základních částí systému Rover VVC [20]	18
Obr. 14: Pohled na řešení rozvodu se systémem VVC [20].....	19
Obr. 15: Diagram časování systému VVC [20]	20
Obr. 16: Schéma hlavních částí systému VTEC [24]	21
Obr. 17: Schéma funkce systému DOHC Vtec [25].....	21
Obr. 18: Schéma systému VTEC-E [25]	22
Obr. 19: Schéma funkce systému 3stage Vtec [27].....	23
Obr. 20: Schéma systému Toyota VVT [32]	23
Obr. 21: Schéma VVT-i regulátoru [31]	24
Obr. 22: Jednotlivé součásti vačkového hřídele CamInCam [43]	25
Obr. 23: Schéma funkce systému BMW Valvetronic [33]	26
Obr. 24: Schéma hlavních funkčních částí systému Valvematic [36]	26
Obr. 25: Schéma systému Toyota Valvematic [35]	27
Obr. 26: Obrázek 3D modelu systému VVEL s popisem jednotlivých částí [37].....	27
Obr. 27: schematický pohled na hlavní mechanismus systému VVEL [38]	28
Obr. 28: Tabulka s porovnáním jednotlivých systémů pro provoz v LIVC a EIVC.....	28
Obr. 29: Nákres ventilového rozvodu OHV s popisem částí [39]	29
Obr. 30: Tabulka časování motoru Š781	29
Obr. 31: Řez motorem Š781 [41].....	30
Obr. 32: Ventilový rozvod OHV a označená vhodná místa pro mechanickou úpravu	31
Obr. 33: Schéma varianty 1 pro úpravu ventilového rozvodu	32
Obr. 34: Schéma varianty 2 pro úpravu ventilového rozvodu	33
Obr. 35: Schéma varianty 3 pro úpravu ventilového rozvodu	34
Obr. 36: Schéma znázorňující funkci mechanismu pro provoz Atkinsonova cyklu	35
Obr. 37: Schéma znázorňující funkci mechanismu pro provoz Millerova cyklu.....	35
Obr. 38: Mechanismus VVT-i pro změnu časování vačkového hřídele	36
Obr. 39: Porovnání Ottova cyklu se sníženým zdvihem ventilu	36
Obr. 40: Porovnání Ottova cyklu se zvýšeným zdvihem ventilu	37

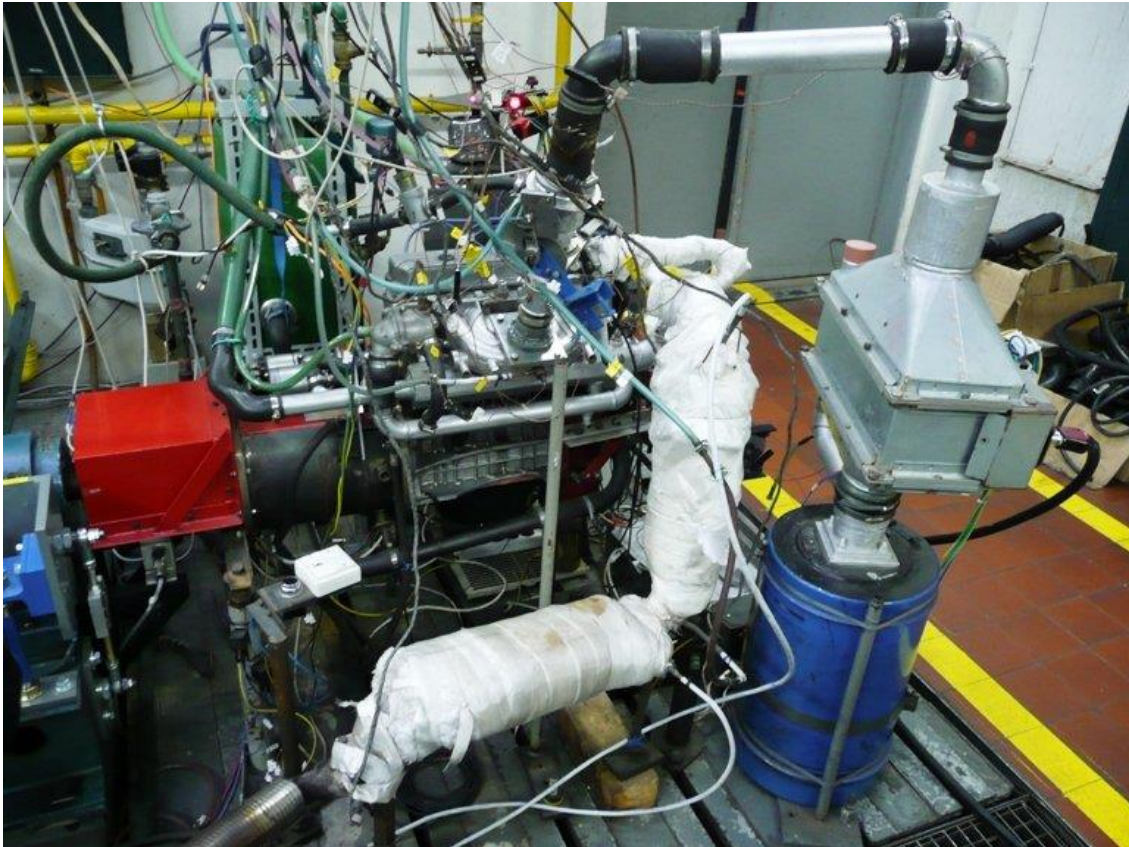
Seznam příloh

Příloha č.1: 3D animace upraveného ventilového rozvodu

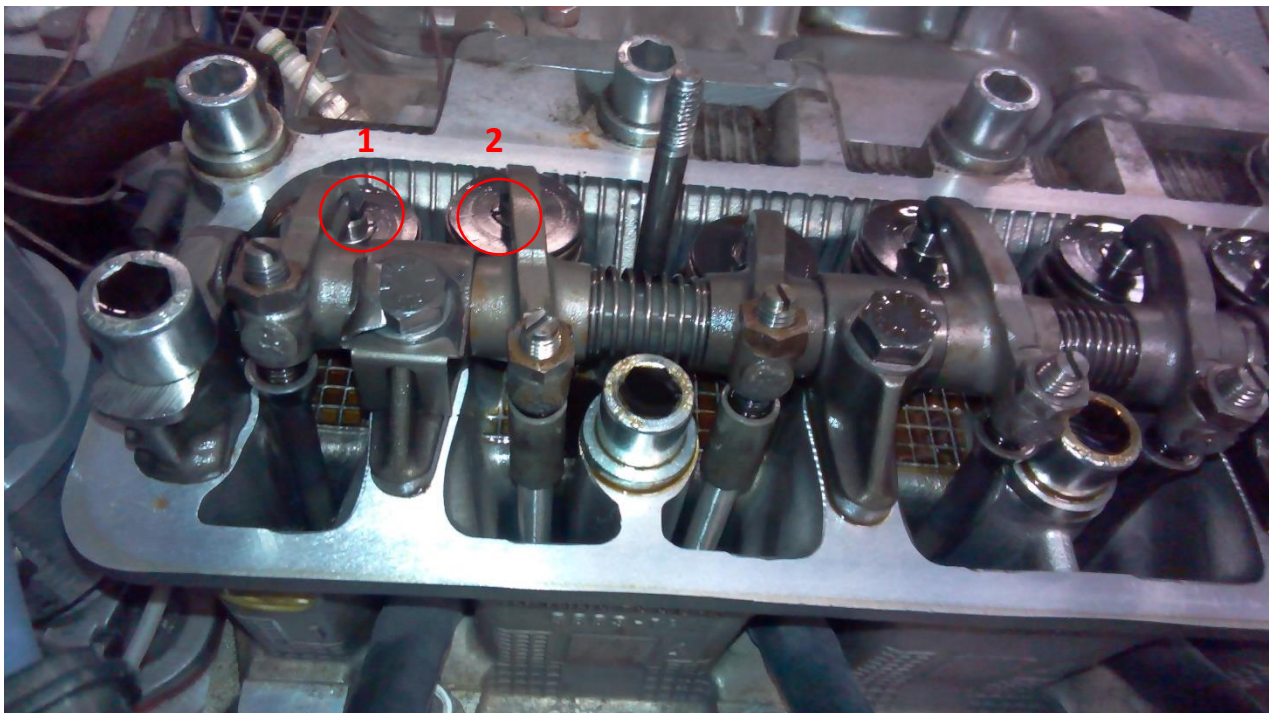
Příloha č.2: Fotografie motoru na zkušebním stavu v laboratořích ČVUT Pod Juliskou

Příloha č.3: Výkres A4 sestavy rozvodu

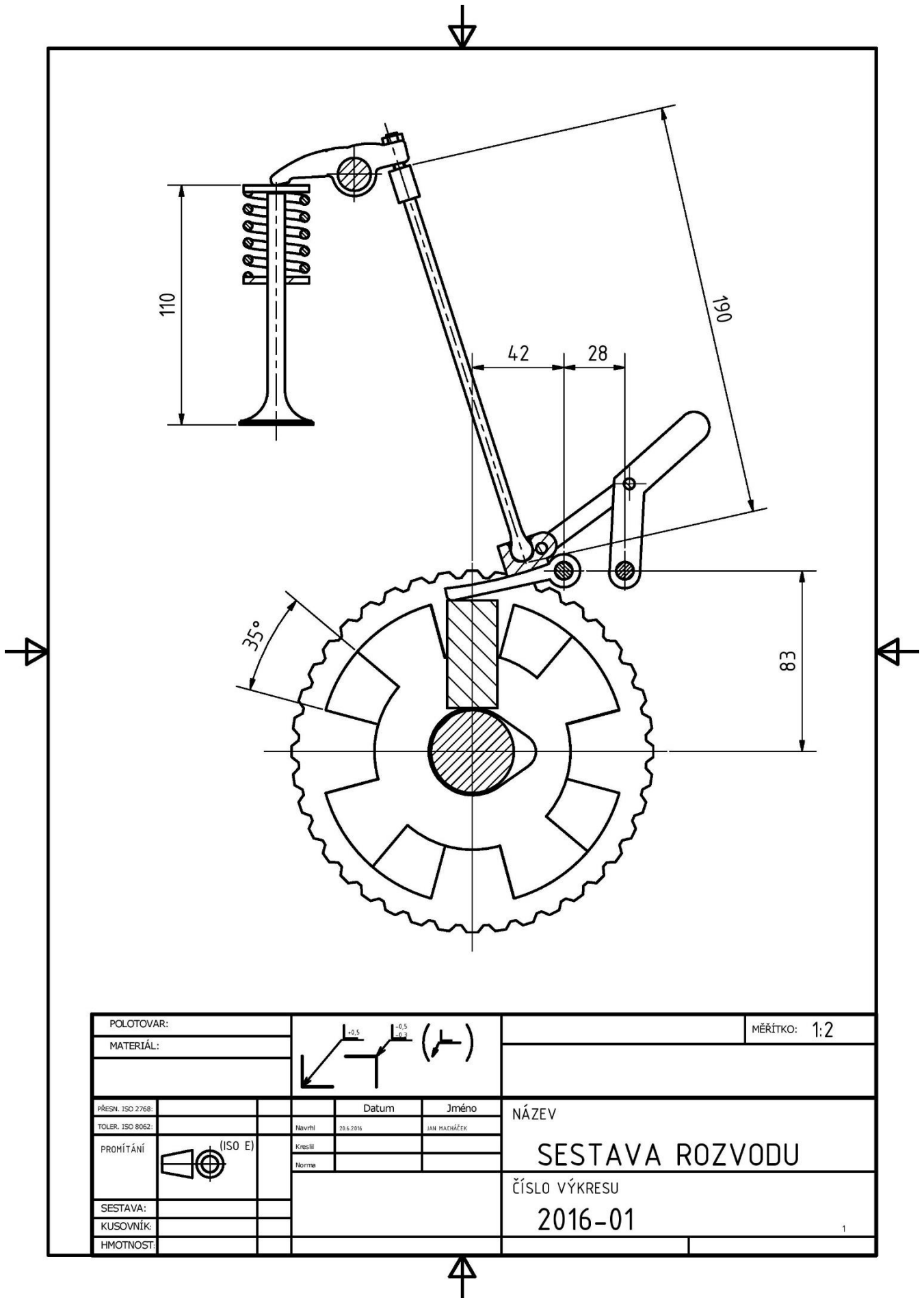
Příloha č.4: Výkres A4 sestavy rozsahu pohybu mechanismu



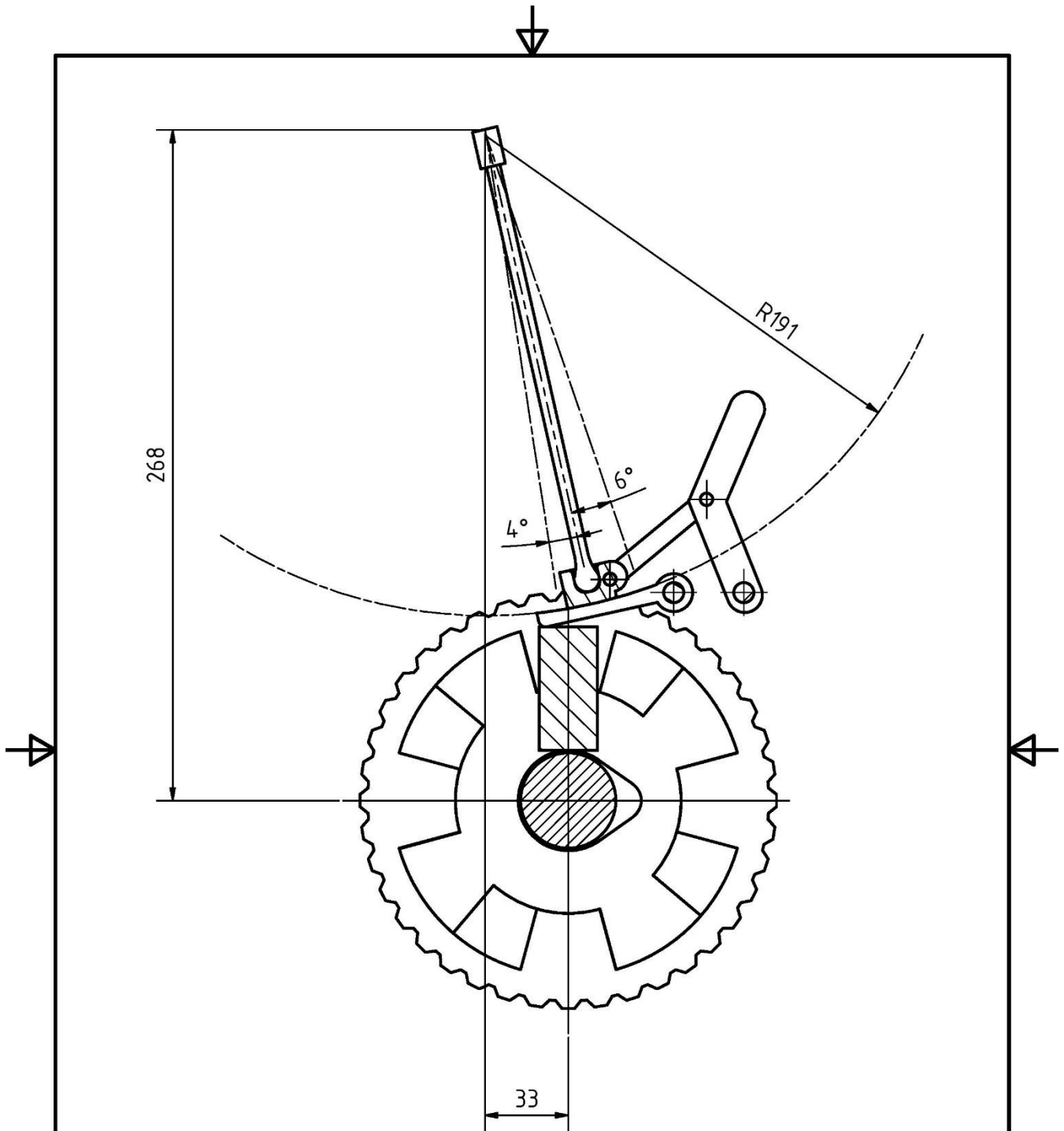
Obrázek 1.1.: Fotografie motoru Š781 na zkušebním stavu



Obrázek 1.2.: Pohled na ventilový rozvod bez ventilového víka. 1-výfukový ventil , 2-sací ventil



POLOTOVAR:				MĚŘÍTKO: 1:2	
MATERIÁL:					
PŘESN. ISO 2768:		Datum	Jméno	NÁZEV SESTAVA ROZVODU	
TOLER. ISO 8062:		Návrh	JAN MACHÁČEK		
PROMÍTÁNÍ	(ISO E)	Kresil			
SESTAVA:		Norma		ČÍSLO VÝKRESU 2016-01	
KUSOVNÍK:					
HMOTNOST:					



POLOTOVAR:				MĚŘÍTKO: 1:2	
MATERIÁL:					
PŘESN. ISO 2768:		Datum	Jméno	NÁZEV SESTAVA ROZS. POHYBU	
TOLER. ISO 8062:		Návrh	JAN MACHÁČEK		
PROMĚTÁNÍ		Kresil			
SESTAVA:		Norma		ČÍSLO VÝKRESU 2016-02	
KUSOVNÍK:					
HMTNOST:					

