

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SNIŽOVÁNÍ MECHANICKÝCH ZTRÁT VE VENTILOVÉM ROZVODU.

REDUCTION OF VALVETRAIN MECHANICAL LOSSES.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL KUČERA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL NOVOTNÝ, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Kučera

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Snižování mechanických ztrát ve ventilovém rozvodu

v anglickém jazyce:

Reduction of Valvetrain Mechanical Losses

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracujte rešerži popisující problematiku snižování mechanických ztrát ve ventilovém rozvodu. Zhodnoťte moderní trendy v této oblasti.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Hlavní zdroje mechanických ztrát ve ventilovém rozvodu
- 2) Metody pro stanovení mechanických ztrát
- 3) Moderní trendy při snižování mechanických ztrát ve ventilovém rozvodu
- 4) Závěrečné zhodnocení

Seznam odborné literatury:

- [1] Kolektiv VÚNM a ČKD. Naftové motory čtyřdobé, 1. díl. Státní nakladatelství technické literatury, n.p., Druhé vydání, Praha, 1962. L123-B3-IV-41/2490
- [2] TEODORESCU, M., DINU, T. Experimental Analysis of Dynamics and Friction in Valve Train Systems. SAE 2002 World Congress, Detroit, Michigan, 2002

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Novotný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 28.11.2008

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá příčinami vzniku mechanických ztrát ve ventilovém rozvodu a metodami vedoucími k jejich snížení. Je zde popsáno, ve kterých místech ventilového rozvodu se ztráty vytváří. Hlavním zdrojem ztrát je tření. Za účelem snižování tření jsou zde uvedeny metody mazání, vhodná volba materiálů, způsoby povrchových úprav a konstrukční řešení. Z moderních a stále zkoumaných metod, významných pro snížení ztrát, zde vystupují povrchové úpravy DLC, LST a různé druhy naprašovaných kovů s dobrými kluznými vlastnostmi. Z konstrukčního hlediska je popsáno užití valivých ložisek a kladek. Dále práce zahrnuje metodu stanovení ztrát pomocí motorové brzdy, stanovení součinitele drsnosti a viskozity maziva.

Klíčová slova

Ventilový rozvod, mechanické ztráty, tření, mazání, povrchové úpravy, DLC, LST, motorová brzda, viskozita.

Abstract

This thesis deals with the causes of mechanical losses in the valvetrain and methods of their reduction. It is described in which places of valvetrain the losses create. The main source of losses is friction. In order to reduce friction, there are methods of lubrication, appropriate choice of materials, methods of surface treatments and design solutions. From modern and still investigated methods, significant for losses reduction, here act surface treatments DLC, LST and various types of powdered metals with good sliding properties. From the design point of view is described the use of rolling bearings and pulleys. Further work includes the method of determining losses through the engine brake, determination of roughness coefficient and lubricant viscosity.

Key words

Valvetrain, mechanical losses, friction, lubrication, surface treatments, DLC, LST, engine brake, viscosity.

Bibliografická citace:

KUČERA, P. *Snižování mechanických ztrát ve ventilovém rozvodu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Novotný, Ph.D.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod dohledem vedoucího bakalářské práce pana Ing. Pavla Novotného, Ph.D. a s použitím uvedené literatury.

V Brně 26.května 2009

Pavel Kučera

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Pavlu Novotnému, Ph.D. za odbornou pomoc a hodnotné připomínky při zpracování bakalářské práce.

Obsah

Úvod	14
1 Základní pojmy ventilových rozvodů OHC, OHV, F	16
1.1 Rozvody	16
1.1.1 Rozvod OHC	16
1.1.2 Rozvod OHV	16
1.1.3 Rozvod SV	16
1.1.4 Rozvod F	16
1.2 Jednotlivé části	16
1.2.1 Ventil	16
1.2.2 Vačkový hřídel	16
1.2.3 Vačka	16
1.2.4 Vahadlo	17
1.2.5 Ventilová pružina	17
1.2.6 Kluzná ložiska	17
1.2.7 Rozvodové tyčky	17
1.2.8 Zdvihátka	17
2 Hlavní zdroje mechanických ztrát ve ventilovém rozvodu	18
2.1 Tření	18
2.1.1 Tření na dřívku ventilu	18
2.1.2 Tření na dotkových plochách vahadla	19
2.1.3 Tření v uložení vahadla	19
2.1.4 Tření na vačce	20
2.1.5 Tření mezi vačkovou hřídelí a ložisky	20
2.1.6 Tepelná roztažnost	21
2.1.7 Setrvačné momenty a síly	21
2.1.8 Kmitání ventilového rozvodu	21
2.2 Odpor na přenosech kroutících momentů od klikové hřídele	22
2.2.1 Ztráty v řetězovém převodu	22
2.2.2 Ztráty v řemenovém převodu	22
2.2.3 Ztráty v ozubeném převodu	23
2.2.4 Ztráty způsobené připojením různých strojů a kladek do převodu	23
2.3 Ztráty na dodávání tlakového oleje	23

2.4	Ztráty na stlačení pružiny	24
3	Metody pro stanovení mechanických ztrát a metody souvislé.....	25
3.1	Měření ztrát na motorové brzdě	25
3.2	Měření drsnosti a geometrických tolerancí	26
3.3	Měření součinitele tření.....	26
3.4	Měření viskozity maziva	27
4	Moderní trendy při snižování ztrát ve ventilovém rozvodu.....	28
4.1	Mazání	28
4.1.1	Maziva	28
4.1.2	Způsob mazání.....	29
4.1.3	Filtrace maziva.....	30
4.1.4	Chlazení maziva.....	30
4.2	Materiály	31
4.3	Povrchové úpravy součástí rozvodu.....	31
4.3.1	Obrábění povrchu	31
4.3.2	Chemicko-tepelné a tepelné zpracování	33
4.3.3	DLC	33
4.3.4	LST úprava povrchu	33
4.3.5	Povlaky naprašované	34
4.4	Konstrukční prvky souvislé se ztrátami	35
4.4.1	Valivá ložiska	35
4.4.2	Valivá tělíska	35
4.4.3	Rozměry a počty součástí	35
4.4.4	Jiné způsoby vracení ventilů.....	36
4.4.5	Druhy ventilového rozvodu	36
	Závěr	37
	Seznam použité literatury:	38
	Seznam obrázků	40
	Seznam tabulek	41
	Seznam příloh.....	41
	Seznam vzorců.....	41
	Seznam zkratk	42
	Seznam symbolů.....	42

Úvod

Mechanické ztráty sužují vývoj různých strojů od nepaměti. Vlivem mechanických ztrát nepracují stroje, tak jak bychom si představovali. Jejich výkony mnohdy dosahují nízkých hodnot, a tudíž jsou někdy až nepoužitelné pro běžné aplikování do provozu. Často je myšlenka stroje nadčasová a mohla by mít přínos pro vědu. Proto je zapotřebí eliminovat a řešit problém mechanických ztrát. Tímto problémem se zabývají konstruktérské a vědecké instituce už po desítky let a vyvíjejí řady nových trendů pro snížení mechanických ztrát.

Práce se zabývá vlivem mechanických ztrát na ventilových rozvodech u automobilových motorů. Protože svět má stále větší požadavky na výkony a menší spotřebu paliva, tlačí vývoj motorů stále na vyšší úroveň. Úkolem automobilových firem je přizpůsobit se nárůstu požadavků zákazníka a předejít tak možnému neúspěchu, nebo zániku firem na trhu, ne-li jejich bankrotu. Automobilové instituce musí pracovat s řadou dalších institucí, které se zabývají tímto problémem. Například instituce zabývající se vývojem maziv, materiálů a úpravou povrchů.

K zvyšování výkonu a menší spotřebě paliva je potřeba dostatečně zabránit ztrátám. Zásadní vliv na ztráty výkonu motoru mají ventilové rozvody a to nejen vlivem výměny pracovní látky motoru, ale také vlivem mechanických ztrát, kterými se práce zabývá dále. Na ventilovém rozvodu daných typů budou ukázány jednotlivé vlivy na části rozvodového mechanismu a jejich možné snížení. Zároveň bude popsáno, i když to bude znít nepravděpodobně, že někdy změnou principu rozvodu, kdy se ztráty vlivem počtů součástí mohou zvýšit, je docíleno zvýšení výkonu a snížení spotřeby paliva za použití nových trendů výroby např. časování rozvodů. Je tedy potřeba znát a dobře vyhodnotit vlivy ovlivňující ztráty a nalézt dobré řešení pro jejich zamezení.

1 Základní pojmy ventilových rozvodů OHC, OHV, F

1.1 Rozvody

1.1.1 Rozvod OHC

Je to rozvod, ve kterém je vačková hřídel umístěna v hlavě válců. Rozvod OHC je znázorněn v příloze 1. Vačková hřídel je poháněna od klikové hřídele v poměru 1:2 pomocí převodu. K přenesení otáček slouží řemen, řetěz, nebo ozubené soukolí. Dále se provádí přenos pohybu na vahadla pomocí ploch dotyku na vačce a na vahadlu, plocha mění rotační pohyb na translační, tedy pohyb ventilu.

1.1.2 Rozvod OHV

Tento rozvod má vačkový hřídel umístěn v bloku motoru, kde je např. přes ozubené soukolí přenášen krouticí moment od klikového hřídele. Ventilový rozvod OHC je znázorněn v příloze 2. Přenos pohybu z jednotlivých vaček je realizován pomocí zdvihových tyček, které prochází blokem motoru až do hlavy válců. V hlavě je přenos na vahadla a poté na ventily.

1.1.3 Rozvod SV

U SV rozvodu jsou ventily umístěny v bloku motoru a spalovací prostor je v hlavě motoru. Rozvod obsahuje malý počet součástí a je zde jednoduché seřizování vůle. Rozvod SV se v dnešní době nepoužívá.

1.1.4 Rozvod F

Rozvod F má jeden ventil umístěný v hlavě a druhý ventil v bloku motoru vedle válce. Rozvod je poněkud složitější z důvodu poloh ventilu.

1.2 Jednotlivé části

1.2.1 Ventil

Je to součást charakteristického tvaru konající translační pohyb v hlavě válce. Ventily jsou sací, sloužící k nasávání pracovní látky a ventily výfukové menších průměrů pro odchod spalin z pracovního prostoru válce. Ventily tedy slouží k průchodu pracovní látky prostorem motoru. V dnešní době se většinou používají dva ventily sací a dva ventily výfukové pro lepší průchod směsí.

1.2.2 Vačkový hřídel

Je to hřídel obsahující vačky, která je uložena v kluzných ložiscích konající rotační pohyb. Vačkový hřídel je poháněn od klikového hřídele pomocí různých mechanických částí např. řetězovým převodem. Volba převodového mechanismu závisí na umístění vačkového hřídele v motoru. Z umístění hřídele se rozvody dělí na jednotlivé druhy, které jsou také závislé na umístění ventilu.

1.2.3 Vačka

Vačka je těleso, s danou geometrií plochy, která přenáší pohyb na vahadlo svým zdvihem. Jedná se zde o změnu rotačního pohybu na translační pohyb. Obvod vačky má svůj specifický tvar. Tento tvar zásadně ovlivňuje provoz motoru z mnoha hledisek.

1.2.4 Vahadlo

Tato součást je páka, která je upevněna na čepu, přes který se střídavě natáčí a přenáší působení síly od vačky na ventil.

1.2.5 Ventilová pružina

Pružina je drát, který je stočen do šroubovice a má určitou tuhost. Pružina slouží k vrácení ventilu do horní polohy, také musí stále udržovat ventil ve styku s vačkou. Často je používáno dvou pružin z důvodu zamezení rezonančních frekvencí, tomu se může zamezit i nepravidelným vynutím. Další užití dvou pružin je z důvodu prasknutí jedné z nich, aby nedošlo ke spadnutí ventilu do pracovního prostoru válce, kde by došlo ke styku s pístem. To by mohlo znamenat poškození motoru.

1.2.6 Kluzná ložiska

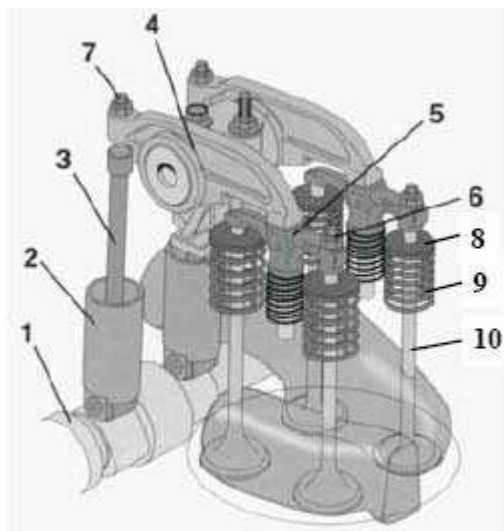
Kluzná ložiska jsou součásti pro uložení vačkové hřídele do hlavy motoru, kde přiváděnými otáčkami od klikové hřídele dochází k rotaci hřídele v ložisku. Aby nedošlo k zadření ložiska, musí být přiváděno dostatečné množství maziva z důvodu vysokých otáček.

1.2.7 Rozvodové tyčky

Pod pojmem rozvodová tyčka si lze představit tyčku, která slouží k přenosu pohybu z vačky na vahadlo. Tyčky jsou užívány ve ventilovém rozvodu OHV.

1.2.8 Zdvihátka

Slouží k přenosu pohybu v rozvodu a zároveň vymezují vůli ve ventilovém rozvodu. Vymezení je prováděno mechanicky nebo hydraulicky.



Obrázek 1: Části ventilového rozvodu: 1 vačková hřídel, 2 zdvihátko, 3 zdvihová tyčka, 4 vahadlo, 5 můstek, 6-7 stavěcí šroub, 8 miska ventilové pružiny, 9 pružina, 10 ventil [29]

2 Hlavní zdroje mechanických ztrát ve ventilovém rozvodu

2.1 Tření

Jedním z důvodů omezování výkonu motoru a zdrojem mechanických ztrát je tření v rozvodu motoru. Práce se bude zabývat třením na jednotlivých částech ventilového rozvodu a budou popsány jednotlivá místa vzniku tření.

2.1.1 Tření na dříku ventilu

Jedním z míst vzniku tření je pohyb dříku ventilu v hlavě motoru. Ventil se pohybuje translačním pohybem, kdy je otvírán působením síly od vačkového hřídele přes další součásti. Zavírání probíhá většinou válcovou pružinou, která působí proti síle od vačky, ale také od působení podtlaku nebo přetlaku ve válci a výfukovém potrubí. Při těchto pohybech dochází ke tření stěny dříku o stěnu vodící plochy, kterou dřík prochází. Velikost tření zde zaleží na přívodu maziva, volbě materiálu a jeho povrchové úpravě. Přívod maziva je do této části mechanismu poněkud omezen a dostane se do těchto míst minimum maziva z důvodu utěsnění na horní části hlavy motoru, kde vystupuje konec ventilového dříku. Takže dřík je mazán takovým množstvím maziva, které propustí těsnění.



Obrázek 2: Třecí plocha dříku v hlavě motoru Tatra 805



Obrázek 3: Ventil, na kterém je vidět třecí plocha dříku z motoru Škoda 120L

Propuštění maziva je způsobeno vlastní netěsností, nebo podtlakem při nasávání směsi do válce motoru, kdy těsnění není schopno naprosto odolat podtlaku a propustí určité množství. S velkým množstvím maziva je zajištěno lepší mazání povrchu a tedy menší opotřebení, ale dochází zde k zásadnímu problému. Problémem je, že mazivo vniká až do spalovacího prostoru, kde shoří s připravenou směsí a výrazně ovlivní hodnoty spalin. V dnešní době je kladen důraz na co nejnižší hodnoty škodlivých spalin vypouštěných do ovzduší, a proto se musí množství maziva regulovat těsněním. Regulací maziva dochází tedy k nepříznivým ztrátám na výkonu. Řešením je volba lepších materiálů a úpravou povrchů. Dalším nepříznivým faktorem na zvětšování tření na dříku je teplota. Se stoupající teplotou nastává tepelná roztažnost. Volbou malé vůle mezi dříkem a vodící plochou, může nastat situace, při které tepelnou roztažností dochází k zvyšování tření až k možnému stavu zadření [2]. Problémy jsou řešeny možným chlazením ventilu, nebo vhodnou vůlí mezi dříkem a vodící plochou. Dále teplota způsobuje vypařování maziva, což vede opět

k větším ztrátám způsobených třením.

2.1.2 Tření na dotykových plochách vahadla

Tato kapitola se bude zabývat třením dotykových ploch vahadla. Na vahadlu jsou tři plochy, na kterých dochází ke ztrátám třením. První z nich je dotyk vahadla s ventilem.

Vahadlo se pohybuje střídavě okolo čepu a jedním koncem tlačí na konec dřívku ventilu. V tomto místě dochází ke ztrátám třením, způsobeným vyvolanou silou od vahadla a proti působící silou od pružiny. Z fyziky vyplývá, že vznik třecí síly nezáleží na velikosti dotykové plochy, nýbrž na velikosti přitlačné síly. Z toho plyne, že čím větší jsou síly působící v místě dotyku, tím větší vznikne třecí síla, která bude způsobovat



Obrázek 4: Znárodnění dotykových ploch mezi vahadlem, koncem dřívku, vačkou a čepem vahadla u motorů Škoda 110R a Citroen AX

ztráty. Velikosti třecích sil jsou řízeny součinitelem tření, který je zásadně ovlivněn přívodem maziva a vhodnou povrchovou úpravou dotykových ploch. Přívod maziva je prováděn ostřikem od ostatních součástí mechanismu. Druhý konec vahadla má společný dotyk přímo s vačkou, nebo zde je mezičlen např. táhlo. Dotykem s vačkou se zabývá podkapitola tření na vačce. Dotyk táhla s vahadlem je např. konstruován kulovým vybráním v táhlu a kulovým výstupkem na vahadlu. V plochách do sebe zapadajících dochází ke tření. Opět zde záleží na velikosti přitlačných sil a s jejich vzrůstem stoupá třecí síla. Tvarem ploch zde vzniká klín mezi poloměry zaoblení, který při pohybu částí nasává mazivo mezi plochy a vytváří vrstvu mazacího filmu. Vrstva odděluje plochy a součinitel tření závisí na viskozitě maziva. Vlivem působení sil na malé plochy dochází k elastickým deformacím, jedná se zde o elastohydrodynamické tření [24].

2.1.3 Tření v uložení vahadla

Vahadlo je součástí neustále měnící směru svého pohybu. Pro realizaci tohoto pohybu musí být vahadlo uloženo na čepu. V místě uložení dochází ke tření plochy čepu s plochou díry vahadla. Díra pro čep je osazena bronzovým pouzdem, nebo jehličkovým ložiskem [2]. Aby nedocházelo k velkému tření, je přiváděno mazivo do spoje čepem, který je dutý s jednotlivými otvory pro mazání pouzder. Přívodem maziva a konstrukcí pouzder je snaha o vznik kapalného tření. Pokud by se vrstva maziva zmenšila, tak že by mazivo drželo jen molekulárními silami kovových povrchů a mazivo by se nemohlo volně šířit [2]. Potom by třecí síla závisela na molekulárních silách a vzniklo by mezní tření [2]. To by mělo za následek zvýšení ztrát. Předpokládá se hydrodynamické mazání, které vytváří pohyb částí po vrstvě oleje a zajišťuje, že se plochy nedotýkají. Vlivem rychlosti, zrychlení a kmitání v místě styku je ohřívání oleje proměnlivé [2]. Proměnlivými změnami teploty oleje dochází ke změně tloušťky mazací vrstvy a tím je ovlivněno tření [2].

2.1.4 Tření na vačce

Jednou z důležitých ploch dotyku je obvodová plocha vačky, nejen z důvodu tření, ale také z důvodu samotné geometrie vačky. Tvar plochy vačky zásadně ovlivňuje průběh pohybových silových veličin. Křivka vačky musí být navržena tak, aby její funkce byla minimálně i po třetí derivaci spojitá [2]. Důvodem spojitosti je, aby nedocházelo ke skokům ve zrychlení a rychlosti na obvodu vačky [2]. Náhlé změny způsobují vysoké namáhání, kmitání a opotřebování rozvodu [2]. Pro zamezení kmitání se musí změnit geometrie vačky nebo tuhost celé soustavy, která vede k zvětšování dotykových sil a tím také k zvětšení třecích sil na úkor výkonu. Plocha vačky navazuje na člen, kterým bývá obvykle vahadlo, nebo táhlo se zdvihátkem. Ke tření dochází na obvodu rotující vačky, na které se pohybuje vahadlo. Kulový výběžek vahadla dosedá na plochu vačky, která má zajistit vhodné mazání plochy [2]. Plochy jsou mazány odstříkem maziva od vahadla. Jak už bylo uvedeno, dochází k proměnlivým změnám teploty maziva. Potom může nastat situace, kdy je málo maziva při odstříku a nastává smíšené až mezní mazání způsobující zvětšení tření. Velikost třecí síly v dotyku opět závisí na silách mezi plochami. Součinitel tření je ovlivněn způsobem mazání. Jelikož se zde jedná o



Obrázek 5: Třecí plochy mezi vačkovou hřídelí a zdvihátkem z motoru Škoda 120L

nekonformní povrchy, nastává zde elastohydrodynamické mazání [24]. V druhém případě se mechanismus

rozbíhá a nastává mezní mazání. Zde záleží hlavně na kvalitě povrchu a druhu materiálu, kdy dochází k větším ztrátám než za běžného provozu. Proto jsou povrchy tepelně, nebo chemicky upravovány pro zajištění nízkých hodnot tření.

2.1.5 Tření mezi vačkovou hřídelí a ložisky

Vačková hřídel bývá uložena v ložiskách, popřípadě přímo v bloku motoru, kde dochází ke ztrátám. Zde je užíváno kluzných ložisek a v dnešní době i valivých ložisek, neboť valivá ložiska mají menší odpor než kluzná. Do kluzných ložisek proudí tlakové mazivo, které zaručuje přívod dostatečného množství maziva. Povrch kluzného ložiska a vačkového hřídele, nazývaný konformně zakřivený povrch, vytváří mezi povrchy souvislou vrstvu maziva [23]. Vrstva zcela zabraňuje dotyku povrchu. Jedná se o hydrodynamické mazání. Ztráty vlivem tření jsou ovlivněny hlavně druhem maziva, proto jsou třecí síly při provozních otáčkách závislé na viskozitě maziva. Pokud je proudění přiváděného maziva velké, může nastat tzv. turbulentní proudění [2]. Turbulentní proudění nastává při překročení Reynoldsova čísla o hodnotě 2320. Tímto prouděním se zvětšuje tloušťka mazací vrstvy a zároveň únosnost ložiska [2]. Stoupá-li Reynoldsovo číslo Re , zvyšuje se součinitel tření [2]. K dotyku povrchu dochází jen při rozběhu, kdy je součinitel tření ovlivněn i povrchem částí. Z tohoto důvodu musí mít povrchy dobré kluzné vlastnosti a nízkou drsnost povrchu. U rychloběžných motorů, kdy dosahují otáčky vysokých hodnot, se ložiska zahřívají. Dochází i k zahřívání oleje, které způsobuje změnu vlastností maziva a to hlavně změnu viskozity maziva. Při vzrůstající teplotě dochází ke snižování viskozity [24].

2.1.6 Tepelná roztažnost

Tepelná roztažnost zásadně ovlivňuje některé plochy ventilového rozvodu. Jednou z ovlivněných ploch je plocha dřívku, jak již bylo uvedeno v kapitole tření na dřívku ventilu. Další ovlivněnou plochou je povrch zdvihátka, pokud ho je užito v rozvodu. Tepelná roztažnost způsobuje zvětšení součástí. Roztažnost závisí na použitém druhu materiálu k výrobě součástí. Jedná-li se o pohyblivé části rozvodu v nějakém uložení s vůlí, může dojít ke změnám jejich chodu. Tepelnou roztažností dochází k zmenšování vůle, mezi vodící a vedenou plochou, která je zapotřebí k provozu součástí. Snižováním vůle vzrůstají třecí síly, které vedou ke zvyšování ztrát. Nevhodným provedením vůle a špatným chlazením může dojít k takovému roztažení součástí, až dojde k úplnému zadření. Tepelná roztažnost tedy ovlivňuje velikost třecích sil, které zvětšují ztráty.

2.1.7 Setrvačné momenty a síly

Jednotlivé součásti působí na rozvod setrvačnými účinky. Ze zákona setrvačnosti vyplývá, že hmota setrvává v klidu, nebo relativním pohybu. K zastavení hmoty setrvávající v pohybu potřebujeme sílu určité velikosti. Při neustálé změně pohybu dochází k brzdění a opětovnému pohybu součástí. To vede k zvětšování sil působících v celém rozvodu. Například při velkých setrvačných účincích částí rozvodu může nastat, že vahadlo neopisuje při velkých otáčkách motoru dobře trajektorii vačky. Tento stav nepříznivě ovlivňuje chod celého motoru a způsobuje mechanické poruchy, jako je opotřebení dotykových ploch. Pro zamezení stavu, kdy nedochází k dotyku vahadla s vačkou, se řeší zvýšením sil vratných pružin. Tím do soustavy zavedeme větší síly, které nám způsobí zvýšení třecích sil. Setrvačné účinky jsou závislé na hmotnosti jednotlivých částí. Při návrhu rozvodu tedy zaleží na hmotnosti částí rozvodu, aby nedocházelo ke vzniku velkých setrvačných sil, na kterých jsou závislé třecí síly.

2.1.8 Kmitání ventilového rozvodu

Kmitání souvisí s účinkem setrvačných momentů a sil. Jak už bylo uvedeno, setrvačné síly mohou způsobit, že ventil přestane sledovat zdvihovou křivku a nastane kmitání. Dále nastává kmitání špatně zvoleným tvarem vačky. Požadavkem je, aby průběhy zdvihu, rychlosti a zrychlení byli spojitě po celé dráze. Proto se používají např. vačky s parabolickým, eliptickým tvarem [2]. Jak bylo uvedeno v dřívějších kapitolách, požadavkem je, aby byla funkce boku vačky spojitá po nejvíce derivací však minimálně i po třetí derivaci k zamezení vzniku velkých skoků. Kmitání je v rozvodu nepříznivý faktor, který se dá omezit vhodnou volbou tvaru vačky, nebo také zvětšením tuhosti celé soustavy a přivedením větší síly od pružiny. Zvětšením tuhosti součástí vede k zvětšování jejich velikostí a hmotností, což se prolíná s působením momentů v rozvodu. Tímto zásahem do rozvodu je zapříčiněno, že zde vznikají větší přítláčné síly ovlivňující tření v jednotlivých bodech dotyku. Kmitání vzniká na každé části rozvodu. K velkému kmitání dochází také na pružině, způsobené chodem motoru. Vlastní frekvence kmitů pružiny nesmí být blízké frekvencím tvořených otáčkami motoru. K zamezení vzniku kmitání se pružiny navrhují tak, aby jejich vlastní frekvence kmitů byla mimo rozsah provozní frekvence. Tento problém nastává u rychloběžných motorů, kdy může dojít ke vzniku rezonanční frekvence, která ovlivňuje odskakování vahadla od plochy vačky. Tento stav ovlivňuje nejen chod motoru, ale i velikosti třecích sil působících v rozvodu. Pružiny jsou konstruovány s rozdílným stoupáním, anebo je užito dvou pružin, které mají rozdílné rezonanční frekvence. U většiny motorů jsou rezonanční frekvence několikrát vyšší, než jsou za provozní frekvence kmitu, proto není kmitání tak velké jako s porovnáním závodních motorů, kde jsou otáčky mnohem vyšší a tedy i frekvence kmitu. Kmitání rozvodových částí tedy závisí na tuhosti soustavy a tlumení jednotlivých kmitů součástí. U

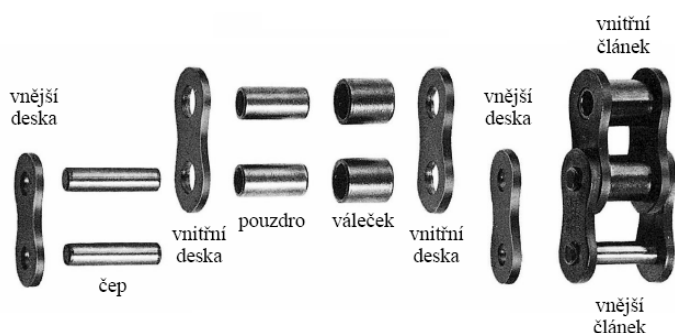
jednotlivých druhů rozvodů jsou rozdílné tuhosti. Rozvod OHC má např. větší tuhost než rozvod OHV a lépe tlumí kmity.

2.2 Odpor na přenosech kroutících momentů od klikové hřídele

Přenos od klikové hřídele je realizován pomocí převodů, kde dochází ke ztrátám vlivem tření, nebo ohybovým odporem řemenu, který je ohýbán přes řemenové kolo.

2.2.1 Ztráty v řetězovém převodu

Řetězový převod se skládá z řetězu složeného z jednotlivých článků znázorněných na obrázku 6, ve kterých dochází ke ztrátám. V článcích vzniká tření a to v místě, kde čep je vsunut do pouzdra protikusů. Čep se střídavě pootáčí v pouzdru. Pouzdro a čep jsou



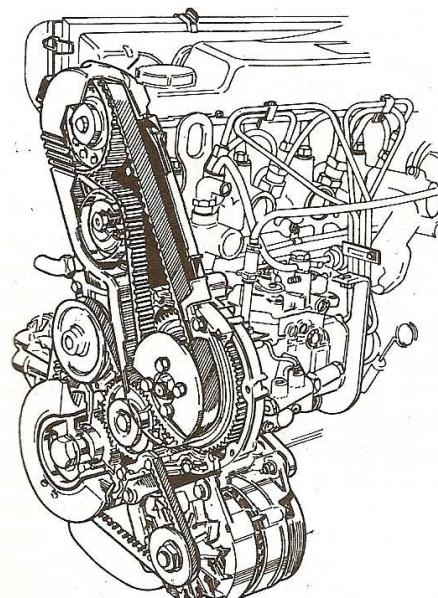
Obrázek 6: Části řetězu [18]

zalisovány do vnitřní a vnější desky článku. Pokud se řetěz pohybuje po řetězovém kole, články se vzájemně ohýbají. Dochází tedy ke tření pohybem čepu v pouzdru, dále ke tření vnitřních a vnějších desek článků o sebe. Aby nedocházelo k velkému odporu na styku řetězu s kolem, jsou na pouzdrech umístěny válečky, které rotují okolo pouzdra při valení po zubu řetězového kola. Válečky se chovají jako kluzná ložiska. Použitím válečku se může zvýšit rychlost řetězu až na 30m/s [3]. Při dosedání válečku na zub dochází ke tření smykovému mezi válečkem a pouzdrem a zároveň ke tření valivému mezi zubem a válečkem. Ztráty na řetězovém převodu nejsou tak velké, protože mechanická účinnost udávána výrobcem je až 98% [3]. Řetěz nemusí mít velké předpětí, protože nedochází k prokluzu jako u řemenů. Některé řetězy jsou velmi dlouhé při pohonu i jiných částí než je ventilový rozvod, jako jsou např. čerpadla, kompresory. Pak řetězy vyžadují vodící ozubená kola a napínáky [3]. V ozubených vodících kolech jsou umístěny ložiska, ve kterých dochází také ke ztrátám a zároveň dochází ke ztrátám na dotyku zubů s řetězem. Napínáky mohou být v podobě kluzných lišt [3]. Povrch lišt se tedy opírá určitou silou o pohybující se řetěz, kde na kontaktu vzniká ztráta třením. Řetěz a části spojené s převodem musí být mazány, aby docházelo k minimálním ztrátám tření. Mazivo musí být přiváděno v dostatečném množství, aby se dostalo až na čep a pouzdra v jednotlivých článcích řetězu. Přívod maziva je realizován tryskami, nebo přívodem maziva přímo na některé řetězové kolo [3].

2.2.2 Ztráty v řemenovém převodu

Pro přenos kroutícího momentu se používá ozubený řemen, který je znázorněn na obrázku 7. Ozubených řemenů se užívá proto, aby nedošlo ke změně časování ventilového rozvodu. Mohl by nastat prokluz, při užití klínového řemenu s následkem

zalisovány do vnitřní a vnější desky článku. Pokud se řetěz pohybuje po řetězovém kole, články se vzájemně ohýbají. Dochází tedy ke tření pohybem čepu v pouzdru, dále ke tření vnitřních a vnějších desek článků o sebe. Aby nedocházelo k velkému odporu na styku řetězu s kolem, jsou na pouzdrech umístěny válečky, které rotují okolo pouzdra při valení po zubu řetězového kola. Válečky se chovají jako kluzná



Obrázek 7: Řemenový převod [3]

destrukce motoru. Počátek ozubených řemenů do motorů se datuje od 60 let [3]. Ke ztrátám dochází při pohybu řemenu po řemenovém kole, kdy řemen klade odpor proti ohýbání podél kola. Velikost odporu závisí na druhu materiálu řemenu a jeho vyztužením vlákny o vysoké pevnosti. Jednotlivé mezery mezi zuby způsobují, že se řemen lépe ohýbá a tím klade menší odpor. Ke tření dochází, při zapadání jednotlivých zubů do zubových mezer na kole, kdy se jednotlivé stěny třou o sebe. Řemen musí být dostatečně napnut, aby nedošlo k přeskočení zubů, proto se užívá napínacích kladek. Ty rotují na ložiscích a zároveň povrch kladek tlačí na řemen silou. Roztáčením napínací kladky dochází ke ztrátám způsobených valivým třením, ale bez dostatečného napnutí řemene by funkce převodu nemohla probíhat. U řemenu je udávána účinnost až 98%, kdy se 2% převáděné energie změní v teplo [3]. Velké zahřívání řemenu a částí s ním spojených naznačuje, že dochází k velkým ztrátám. Např. při navržení řemenového kola s malým průměrem dochází k velkému ohýbání řemenu. Následně z toho plyne, že se řemen zahřívá a dochází ke ztrátám. Také větší ohyb řemenu způsobuje nižší životnost.

2.2.3 Ztráty v ozubeném převodu

Ozubených převodů se užívá, pokud je vačkový hřídel umístěn blízko klikové hřídele, např. u ventilového rozvodu OHV. Ke ztrátám v převodu dochází na dotyku jednotlivých zubů. Ztráta je opět způsobena třením a to dvěma druhy. Tečné rychlosti na plochách zubů jsou rozdílné a dochází ke skluzům [8]. Tento skluz je u evolventního ozubení malý, k čistému odvalování dochází pouze v okamžiku z totožného bodu dotyku s bodem na roztečné kružnici, tedy při záběru ve valivém bodě, kde jsou tečné rychlosti stejné [8]. Ztráta v převodu je způsobena valivým a smykovým třením. Ozubení je mazáno ostřikem oleje stékajícího z ložisek. Ozubení se brousí, aby na povrchu vznikala menší třecí síla. Jelikož se jedná o nekonformní povrchy je zde elastohydrodynamické tření. Velikost třecích sil závisí na síle v dotyku mezi zuby.

2.2.4 Ztráty způsobené připojením různých strojů a kladek do převodu

Každý motor potřebuje k provozu další zařízení pro různé činnosti. Tato zařízení jsou připojena zvláště svým vlastním převodem např. použitím klínového řemenu, ale ve většině případů jsou přímo součástí převodu mezi klikovým hřídelem a vačkovou hřídelí. Zařízení zahrnutá do převodu jsou např. alternátor, čerpadlo chladící kapaliny, čerpadlo oleje, nebo kompresor. K pohonu těchto důležitých strojů je zapotřebí určitá energie, kterou dochází ke ztrátám. Ztráty ve strojích jsou způsobeny potřebnou funkcí, kterou konají za účely získání např. dostatečného množství oleje do ventilového rozvodu a i do jiných velmi důležitých částí motoru. Ke ztrátám také dochází v jednotlivých prvcích konstrukce strojů a to např. v ložiskách. V případech kdy jsou na převod klikovou a vačkovou hřídelí přímo připojeny nějaké stroje a převod je realizován pomocí řetězů, je opásání značně velké. Stroje jsou navíc umístěny v různých místech, proto je zapotřebí použít vodících ozubených kol, nebo u řemenů kladek, které slouží i k získání předpětí v řemenu. V uvedených kladkách a vodících kolech dochází ke ztrátám, proto musí být zajištěn dostatečný přívod maziva.

2.3 Ztráty na dodávání tlakového oleje

Určitým částem ventilového rozvodu musí být zajištěn přívod dostatečného množství oleje k jejich funkčnosti. Např. použitím valivých ložisek místo kluzných je docíleno toho, že do samotného ložiska stačí přivést mnohem menší množství maziva. Naopak zakomponováním olejového zdvihátka, které vymezuje vůli a zavádí do soustavy rozvodu jistou přítlačnou sílu, tak že zvyšuje třecí síly, což se nepříznivě projeví zejména při sníženém zatížení motoru, zvyšuje spotřebu oleje, tak že čerpadlo musí být větší a tím se zvětší i příkon

k jeho pohonu [2]. Jednotlivé způsoby konstrukce částí rozvodu ovlivňují množství přiváděného maziva kladně, nebo záporně. Jelikož olejové čerpadlo může být připojeno na převod z klikové hřídele na vačkovou hřídel, dochází k dalším ztrátám na rozvodu.

2.4 Ztráty na stlačení pružiny

Pružiny jsou součástí akumulující energii v sobě [5]. Pro stlačení pružiny je potřeba určitá práce. Každá pružina má mechanické vlastnosti, na kterých je závislé chování pružiny. Důležitou hodnotou je tuhost pružiny, na které lineárně závisí síla potřebná ke stlačení pružiny o danou hodnotu. Na vyvození síly potřebujeme přivést určité množství energie, která je potom využita k vrácení ventilu zpět. Ne všechna energie je spotřebována na vrácení ventilu. Část energie se změní v teplo a zahřeje pružinu. Tato energie je považována za ztrátu. Velikost ztráty závisí na tuhosti dané pružiny a velikosti jejího stlačení. Tuhost je dána vlastnostmi materiálu, ze kterých se pružiny vyrábí. Používají se materiály třídy ocelí 12 090, 14 260 a další [3]. Volba tuhosti pružin závisí na velikosti síly potřebné k zajištění přesného opisování pohybu vačky. Větší tuhostí se snižuje kmitání a brzdí se účinek momentů setrvačností, jak bylo uvedeno v příslušných kapitolách.

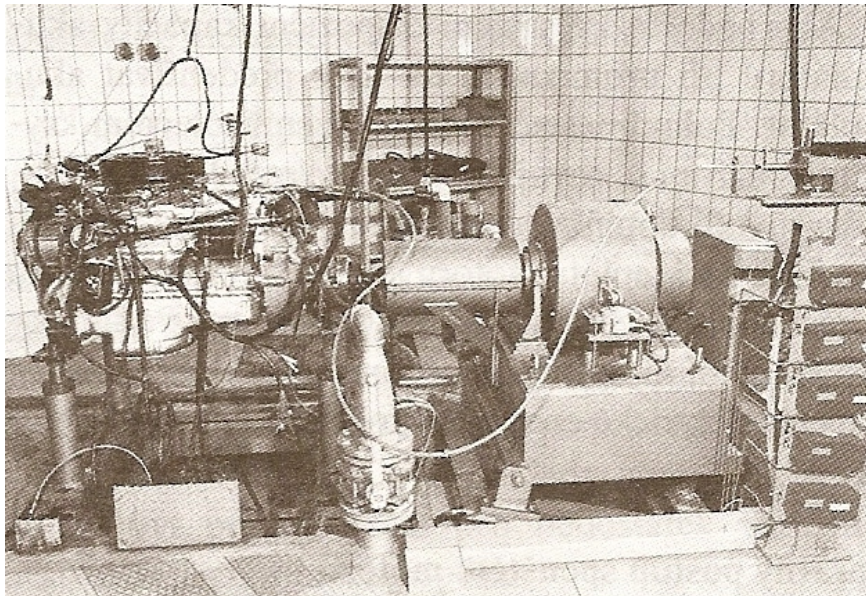


Obrázek 8: Ventilové pružiny z motoru Škoda 120L

3 Metody pro stanovení mechanických ztrát a metody souvislé

3.1 Měření ztrát na motorové brzdě

Pro stanovení ztrát a výkonů se používají motorové brzdy. Výkonové brzdy, na měření výkonu motoru, se dělí na dvě základní skupiny tj. absorpční a transmisní [6]. Absorpční brzdy se člení na mechanické, hydraulické, elektrické [6]. Nejčastěji se měří brzdou elektrickou, nebo hydraulickou pomocí níž se určí efektivní výkon na výstupu z motoru. Efektivní výkon P_e je roven indikovanému výkonu, sníženému o ztrátový výkon P_m , který je potřebný na pokrytí vznikajících ztrát uvnitř motoru [12].



Obrázek 9: Motorová brzda pro měření výkonu [3]

$$P_e = P_i - P_m$$

Rovnice 1: Stanovení efektivního výkonu [12]

Indikovaný výkon P_i je brán jako výkon na pístu beze ztrát [3]. Z definovaných výkonů lze výpočtem získat mechanickou účinnost, která je definována jako podíl výkonu efektivního a indikovaného.

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

Rovnice 2: Stanovení mechanické účinnosti [12]

Mechanická účinnost zážehových motorů se pohybuje v rozmezí od 0.75 do 0.92 a u motorů vznětových od 0.70 do 0.87 [12]. Z toho vyplývá, že vlivem mechanických ztrát dochází až k 35% ztrátě na výkonu motoru. Při použití elektrické brzdy je výhodou, že bývají zařízeny tak, aby jich bylo možno použít i jako elektromotoru, takže jimi lze měřit jednotlivé mechanické ztráty motoru [6]. Jednotlivé ztráty se stanovují postupným odpojováním částí motoru. Při použití elektrické brzdy jako pohonu se změří výkon potřebný pro překonání mechanických ztrát, který by měl odpovídat výkonu ztrátovému a postupným odpojováním částí motoru se změří výkon při odpojení součásti. Pokud se výkon P_1 naměřený při odpojení součásti 1, podělí výkonem ztrátovým pro celý motor a odečte po vynásobení stem od sta procent, získá se procentuální velikost zastoupení mechanické ztráty odpojené součásti.

$$\text{podíl ztráty z celkových ztrát} = 100 - \frac{P_1}{P_m} * 100$$

Rovnice 3: Stanovení podílu ztráty z celkových ztrát

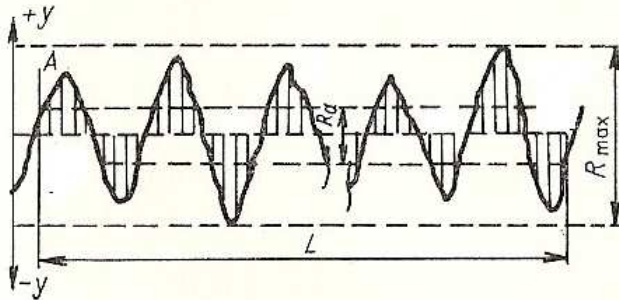
Orientačně je podíl jednotlivých ztrát uveden v následující tabulce 1.

Ztráty	Zážehový motor [%]	Vznětový motor [%]
Tření píst – válec (kroužky- válec)	45	50
Tření ložisek klikového a vačkového hřídele	23	24
Ztráty na výměně náplně válce motoru (výfuk, sání)	20	14
Pohon rozvodového mechanizmu	6	6
Pohon pomocných agregátů	6	6

Tabulka 1: Podíl ztrát jednotlivých skupin motoru zážehového a vznětového v (%) ztrátového výkonu [12].

3.2 Měření drsnosti a geometrických tolerancí

Plochy součástí používaných ve ventilovém rozvodu nejsou dokonale hladké, ale jejich povrchy vykazují odchylky. Jedná se o drsnost povrchu. Z povrchu se pomocí drsnoměru



Obrázek 10: Drsnost povrchu, R_a - střední aritmetická odchylka, R_{max} - maximální výška nerovnosti [4]

odvodí profil drsnosti (R-profil), profil vlnitosti (W-profil) a profil základního profilu (P-profil), pak pro hodnocení drsnosti povrchu je R-profil drsnosti [7]. V praxi je užíván parametr drsnosti R_a obrázek 10, to je průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu [7]. Přístroje pro měření jsou digitalizované, vlastní měření probíhá přiložením hrotu k měřenému povrchu, nastavením měřené délky a spuštěním. Přístroj prověří určenou část a vše vyhodnotí. Základní výstupní hodnotou

z měření bývá parametr drsnosti R_a . Drsnost povrchu zásadně ovlivňuje velikost součinitele tření mezi povrchy součástí a to zvláště při rozběhu motoru, kdy není zaručen vznik souvislého filmu oleje.

Geometrické tolerance se měří na speciálních přípravcích, do kterých se upne např. vačkový hřídel. K funkční ploše vačky se přiloží odchylkoměr a postupným pootáčením o daný úhel se zjistí skutečné hodnoty vyrobené vačky. Porovnáním hodnot se zjistí, zdali je geometrie vačky dostačující. Malé nepřesnosti vedou již k velkým rozdílům ve zrychlení [2]. Nepřesností výroby také dochází ke vzniku kmitů, které ovlivňují síly v rozvodu. Výrobní odchylka na tři stupně pootáčení vačky nesmí přesáhnout 0,01mm a na počátku zdvihu 0,003mm [2].

3.3 Měření součinitele tření

Součinitel smykového tření mezi dvěma plochami lze orientačně získat na nakloněné rovině obrázek 11. Vezme se např. ocelová kostka známé hmotnosti, která se položí na ocelovou desku. Postupně se deska naklání do doby, kdy se kostka začne pohybovat. Úhel se změří a dosadí do vztahu odvozeného z Newtonova pohybového zákona.

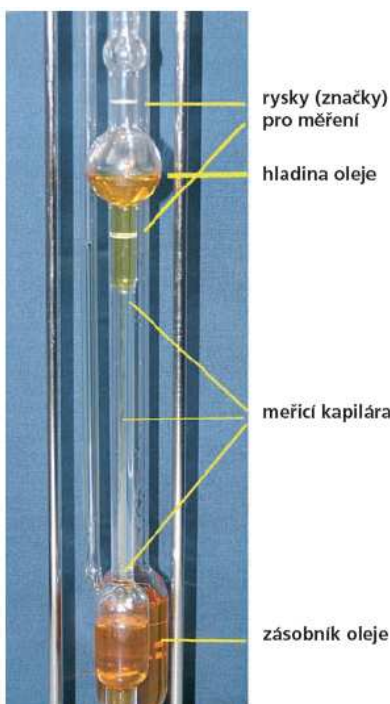
$$f_s = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$$

Rovnice 4: Stanovení součinitele smykového tření

Ze vzorce se získá orientační součinitel mezi různými materiály testovaných těles. Součinitel tření je značně ovlivněn drsností povrchu ploch, které jsou v dotyku. Při nesprávném obrobení dotykových ploch ve ventilovém rozvodu dochází k větším ztrátám za rozběhu motoru. Proto se plochy brousí a povrchově upravují, za účelem získání nízké drsnosti.

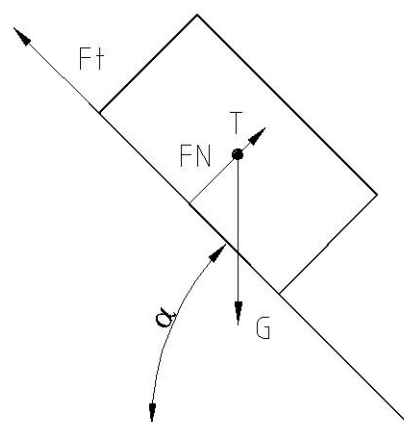
3.4 Měření viskozity maziva

Viskozita vyjadřuje velikost vnitřního tření v reálné kapalině [4]. Na měření velikosti kinetické viskozity se



Obrázek 11: Viskozimetr pro měření kinematické viskozity [14]

používá viskozimetr Ubbelohdeho, je to výtokový a dynamická viskozita se měří rotačními viskozimetry [4]. Na viskozimetru Ubbelohdeho se měří doba potřebná k výtoku oleje nasátého v měrné baňce, který vytéká kapilárou [4]. Naměřený čas se dosadí do výrazu pro získání kinetické viskozity. Při měření dynamické viskozity, užitím rotačních viskozimetrů nastává jejich natočení tak, že dojde k rovnováze momentu přenášených na válec kapalinou[4]. Dosazením do příslušného vztahu, je získána dynamická viskozita. U motorových olejů, dodávaných výrobcí, je značení příslušné třídy oleje, která zahrnuje příslušnou viskozitu. Je-li soustava mazána hydrodynamicky, je velikost tření závislá právě na velikosti vnitřního tření oleje, které je udáno viskozitou. Viskozita se značně mění změnou teploty. Narůstá-li teplota oleje, velikost viskozity klesá. Velikost tření s klesající hodnotou viskozity klesá.



Obrázek 12: Znázornění nakloněné roviny pro získání součinitele tření. Ft-třecí síla, FN-normálová síla, G-gravitační síla, T- těžiště, α -úhel sklonu roviny

4 Moderní trendy při snižování ztrát ve ventilovém rozvodu

4.1 Mazání

4.1.1 Maziva

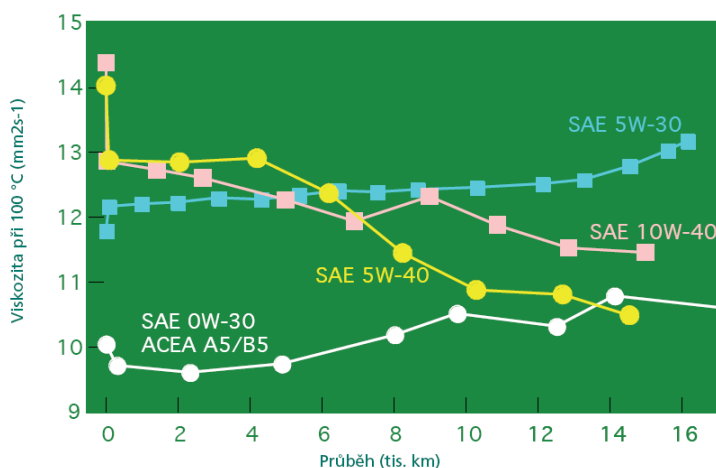
Snížení ztrát ve ventilovém rozvodu nám zaručuje přívod maziva. Jako mazivo je užíváno motorových olejů, které musí splňovat požadavky podle typu motoru a jeho provozních vlastností jako jsou otáčky, teplota, styk oleje se vzduchem, tlak mezi mazanými součástmi a další vlivy. Motorové oleje mohou být minerální, polosyntetické a syntetické jak uvádí článek [3]. Nekvalitnější jsou oleje syntetické, které jsou vyráběny ze surového benzínu zvláštními technologiemi [3]. Jako základní požadované vlastnosti maziv jsou čerpány z článků [13], [14], [15]:

- **Mazivost** – oleje musí vykazovat dobré mazací účinky. Oleje uhlovodíkové a syntetické zaručují dobrou mazivost. Příspěvky pro získání větší mazivosti, mohou způsobit nepříznivé reakce s mazaným povrchem a jeho porušení, což může mít za následek korozi.
- **Viskozita** – je měřítkem tekutosti kapalin [13]. Více zmíněno níže.
- **Ochrana proti korozi** – materiál je vystaven mnoha vlivům, které způsobují korozi, proto je požadováno, aby olej dostatečně chránil povrch dílů ventilového rozvodu.
- **Ochrana proti oxidaci** – přístupem vzduchu k mazivu může nastat jeho oxidace, která ovlivňuje jeho strukturu, což vede k zhoršení kvality oleje. K zabránění oxidace se používají antioxidanty.
- **Čistící účinky** – i přes používané filtry se do motoru dostávají malé částice, které spolu se sazí a částicemi vzniklé opotřebením zanášejí plochy motoru. Čistící účinek oleje vytvořený detergentní přísadou odbourává usazené částice.
- **Zadržování nečistot** – přísada dispezní zamezuje usazení nečistot a jejich shromažďování do skupin. Nečistoty jsou obaleny přísadou, aby se k sobě nedostaly.
- **Reakce s plasty** – při volbě maziva se musí brát v úvahu reakce maziva s plastem. V motoru je obsaženo množství různých těsnění vyrobených z plastu, která by mohla být, reakcí s mazivem poškozena. Uhlovodíkové oleje nereagují s plasty, u většího množství syntetických olejů k reakci dojít může [13].
- **Dobré vedení tepla** – mazivo zároveň slouží jako chlazení pro určité části motoru, aby teplo bylo dostatečně odebíráno, je zapotřebí dobrého vedení tepla mazivem.

Viskozita je důležitou hodnotou maziv. Změnou viskozity se mění velikost tření mezi mazanými povrchy. S rostoucí teplotou viskozita klesá a zároveň klesá i tření. Měření viskozity probíhá ve skleněné kapiláře, jak bylo již uvedeno v příslušné kapitole. Měření získáme kinetickou viskozitu. Dalším druhem je dynamická viskozita, která je charakteristická pro určování nízkoteplotních vlastností olejů [14]. Dynamickou viskozitu lze vypočítat z hodnot kinetické viskozity a hustoty [14]. Za nárůst viskozity oleje při provozu zodpovídá zejména termická a oxidační degradace oleje a u vznětových motorů navíc ještě množství sazí v oleji, naopak snížení viskozity způsobuje nadměrný obsah paliva v oleji [14]. Viskozita má index, který určuje změnu viskozity s teplotou. Čím vyšší index je, tím je změna viskozity menší. Na obrázku 13 je znázorněna změna viskozity po ujetí daného počtu kilometrů. Celková kvalita oleje s velkým počtem ujetých kilometrů klesá.

Zkratka HTHS je dynamická viskozita získaná při teplotě 150°C a velkém smykovém spádu [15]. Hodnota 3,5 mPa.s HTHS viskozity rozděluje viskozitu na normální a sníženou.

Viskozita s normální hodnotou je užívána běžně ve všech motorech. V dnešní době u nových motorů však začínají být zaváděny



Obrázek 13: Průběh viskozity motorových olejů různých viskozitních tříd při jejich provozu [14]

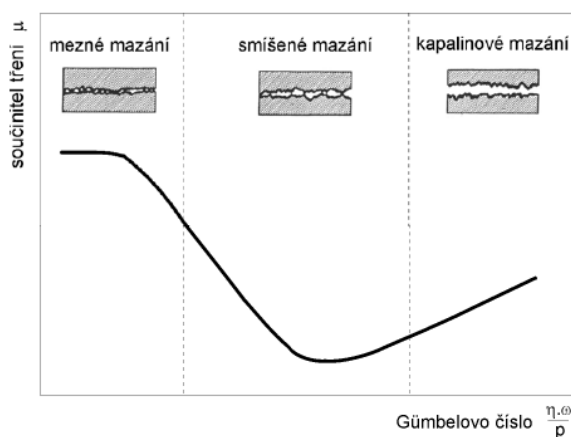
motorů však začínají být zaváděny lehkoběžné oleje s hodnotou v oblasti snížené viskozity po hodnotu 2,9 mPa.s. Tato hodnota vykazuje menší hodnoty tření, tím se snižují ztráty a zároveň spotřeba paliva. V úvahu se musí vzít, že dochází ke zmenšování tloušťky mazacího filmu. Při použití těchto maziv ve starších motorech, kdy v některých případech je provozní teplota vyšší, může nastat situace, že viskozita klesne na kritickou hodnotu. Tloušťka mazací vrstvy se nemusí dostatečně vytvořit po celé mazané ploše a tím dojde k zvětšování mechanických ztrát a

opotřeбенí. Volba parametrů maziva se volí s ohledem na všechny okolnosti. Pro snížení ztrát se volí mazivo s vhodnou viskozitou a zároveň musí být splněny i ostatní požadavky. Pro závodní vozy se používají oleje s vyšší viskozitou např. SAE 10W-60 z důvodu velké namáhání teplotou při vysokých otáčkách. Pro běžné motory tyto oleje nemají význam a navíc zvyšují spotřebu. U nových motorů jsou užívány právě nízkoviskózní oleje např. SAE 5W-30.

V dnešní době je kladen důraz na snižování emisí. V kapitole 2.1.1 bylo zmíněno, že okolo dříku ventilu se dostává mazivo do válce, kde je spáleno. Proto musí být složení maziva voleno i s ohledem na emisní hodnoty spalin. Nejen vlastní složení ovlivňuje funkci maziva, ale zároveň na mazivo nepříznivě působí obsah nežádoucích látek jako je voda, palivo, spaliny, vzduch a nečistoty, které se do maziva dostávají okolo pístních kroužků.

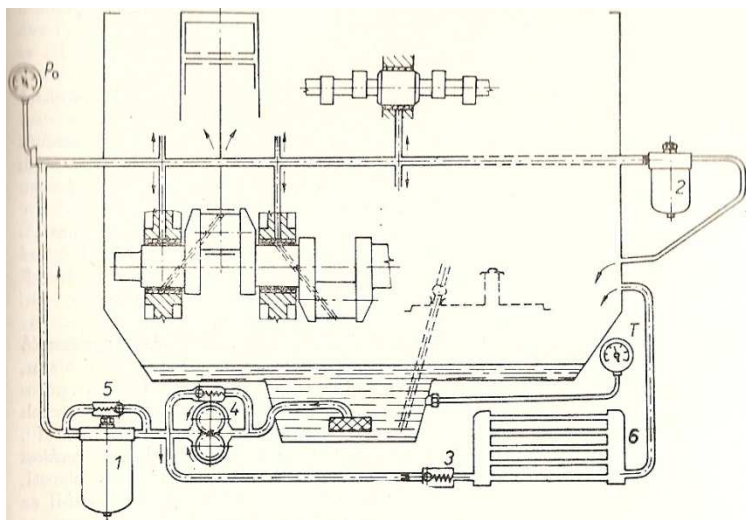
4.1.2 Způsob mazání

Mezi povrchy ventilových rozvodů mohou nastat různé druhy mazání, které ovlivňují součinitel tření. Pro snížení ztrát je snaha, docílit kapalného mazání. Závislostní křivka způsobu mazání se nazývá Stribeckova. Zobrazená křivka na obrázku 14, ukazuje závislost součinitele tření a Gümbelova čísla. Pro kapalně mazání musí být vhodně zvolená viskozita a důležité je, aby mazivo bylo dopravováno do třecích míst v dostatečném množství. Přívod oleje do stykových míst, je zajišťován olejovým čerpadlem. Olej je rozváděn jednotlivými kanálky v motoru. Nejdříve je olej nasáván přes koš s hrubým sítím proti vniknutí větších nečistot do čerpadla. Dále prochází přes filtr a je přiváděn do hlavního olejového kanálu odtud do ložisek klikové hřídele, pak postupuje kanálky klikového hřídele pro mazání ojníc a je rozstříkovan přes ojnicí kanálek na stěny válce. Postupným průchodem olej přichází do ložisek vačkového hřídele, kde je realizováno hydrodynamické mazání. V dutém čepu pro vahadla jsou vyvrtané otvory, kterými se dostává mazivo do ložisek vahadel. Mazivo, které vystupuje



Obrázek 14: Stribeckova křivka [24]

z ložisek, stéká, nebo přímo ostříkuje další části ventilového rozvodu. Olej se postupně dostává na ventil, zdvihové tyčky, zdvihátka a na vačku. Pokud zdvihátka nejsou dostatečně mazána, přivádí se olej přímo kanálkem. Rozvodový převod je mazán v mnoha případech tryskou, která ostříkuje řetěz, nebo ozubená kola. Z jednotlivých výstupů se olej vrací zpět do spodní části motoru. Mazací soustava musí být dále opatřena filtrem a ventilem k regulaci tlaku oleje. Používaná olejová čerpadla jsou zubová, kdy jedno kolo slouží jako hnané a druhé hnací. Pohon čerpadla je různý, u zážehových motorů s rozvodem OHV je čerpadlo poháněno od hřídele rozdělovače, který je spojen převodem od vačkové hřídele. U motoru s rozvodem OHC bývá často poháněno řetězovým převodem od klikové hřídele, nebo je napojeno na převod k vačkovému hřídeli. Olej čerpadlem prochází podél vnějších stěn v zubových mezerách. Části čerpadla musí být vyrobeny s velkými přesnostmi, aby nedocházelo ke snižování tlaku. Jestliže se optimální tlak oleje pro mazání pohybuje okolo 0,4MPa, vyžaduje se od čerpadla, aby už při poměrně nízkých otáčkách motoru (asi 800 až 1000min⁻¹), dosáhlo tuto hodnotu [3]. Při nižších tlacích by nemuselo dojít k dostatečnému přívodu oleje k mazným plochám ventilového rozvodu. Potom by souvislý olejový film nemusel vzniknout a docházelo by k velkému tření. Při úvaze s jakými otáčkami motor pracuje, by mohlo nastat zadření. Ke kontrole tlaku slouží čidla, která by měla snížení tlaku signalizovat.



Obrázek 15: Schéma olejové soustavy, 1 – Hrubý čistič, 2 – Jemný čistič, 3 – ventil, 4 – čerpadlo, 5 – ventil, 6 – chladič [2]

4.1.3 Filtrace maziva

Do motorového oleje se dostává mnoho částic, které mění složení oleje, ovlivňují tření a opotřebovávají části rozvodu motoru. V dnešní době se používají výměnné a odstředivé čističe. Filtry mohou být obtokové, nebo plnoprůtokové, které jsou užívány ve většině motorů z důvodu čištění všeho protékajícího maziva a ne jen jeho části. Je-li motor osazen odstředivým filtrem, tak bývá zapojen za čerpadlem jako plnoprůtokový. Plní svoji funkci tím, že rotuje a nevhodné částice v prostupujícím oleji vlivem odstředivé síly usedají na stěně, odkud se při čištění snadno odstraní. Výměnné filtry mohou být plnoprůtokové i obtokové, uvnitř mají speciální papír, přes jehož plochu se mazivo filtruje. Olej z filtru proudí dál k jednotlivým mazaným plochám, nebo stéká zpět do vany motoru.

4.1.4 Chlazení maziva

Prouděním oleje v rozvodu motoru dochází k jeho zahřívání. Jak už bylo uvedeno v kapitole o mazivech, teplota oleje ovlivňuje viskozitu maziva. Proto je užíváno chladiče v mazací soustavě, aby nebylo ovlivněno mazivo, zároveň se napomáhá chlazení motoru. Jako chladič slouží vana motoru v případě, kdy je chlazení nedostatečné, tak se do soustavy zařazuje chladič zařízení. Funkce chladiče je obdobná jako u chladiče oběžné vody v motoru. Proud vzduchu chladí procházející olej chladičem.

4.2 Materiály

Materiály jednotlivých částí rozvodového mechanismu jsou voleny s požadavky na velkou pevnost, nízkou hmotnost a cenu. Snížení ztrát se docílí tím, že je volen materiál nižších měrných hmotností, aby se snížili setrvačné síly a momenty. Z toho důvodu se používají na některé komponenty ventilového rozvodu různé slitiny. Ovšem jejich cena je mnohdy hodně vysoká. Pro ventily se používají žárovevné slitiny titanu TiAl. Tato slitina má výrazně menší měrnou hmotnost a to kolem $3500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, její žárovevnost je srovnatelná se slitinou niklu [9]. Proto může být použita i na výfukové ventily, kde je teplota vysoká. Vývojem této slitiny bylo docíleno toho, že ventily mají výrazně menší hmotnost, touto vlastností na ně působí menší setrvačné síly a na motoru se mohou zvýšit otáčky. Ventilové pružiny vlivem menší hmotnosti ventilu nemusí mít tak velkou tuhost a třecí síly působící v rozvodu se snižují. Hmotnost lze také snížit konstrukčním řešením jednotlivých částí, ale různým zmenšováním komponentů a jejich odlehčováním vede ke snížení pevnosti a tuhosti. Proto se musí používat materiály, které mají dostatečnou pevnost a tuhost, čímž roste cena materiálu a jeho zpracování.

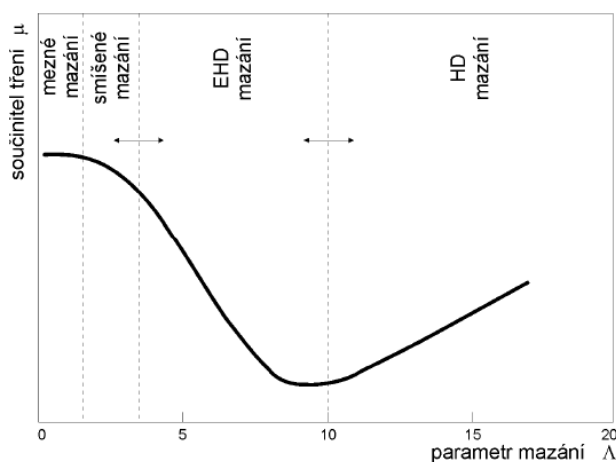
Materiály užívané na ložiska jsou kompozice o tloušťce 0,1 až 0,5mm nanesené na litinovou pánev [9]. Požadavek na materiál je, aby měl dobré kluzné vlastnosti, pevnost, tvrdost odolnost proti opotřebení. Používají se olověné a cínové kompozice. Cínové kompozice jsou určeny pro náročné podmínky, ale jejich cena je vyšší než u olověných kompozic a s přísadou niklu 1% se používají u rychloběžných motorů [9]. U ostatních komponentů rozvodu se materiál volí hlavně s ohledem na pevnost, než aby bylo docíleno snížení ztrát.

4.3 Povrchové úpravy součástí rozvodu

Větších snížení ztrát lze docílit povrchovými úpravami dotykových ploch součástí. Úpravy spočívají v tom, že povrch je upraven danou technologií tepelného, nebo chemického zpracování. Povrchová úprava je také obrábění součástí, např. broušení, leštění a další metody. Součástí ventilového rozvodu bývají upravovány nanesením povlaku na základní materiál prvku. Jemné opracování, povlaky a různé zpracování povrchu se používá u součástí vysoce namáhaných, jako jsou u motoru. Druhy úprav se volí podle požadavku na vlastnosti povrchu. Ke snížení tření je výběr povlaků a mechanického opracování zaměřen na ty druhy, které vedou k dobrým kluzným vlastnostem povrchu a zároveň docílují vysoké pevnosti z důvodu tlaku působících mezi součástmi.

4.3.1 Obrábění povrchu

Části ventilových rozvodů jsou vyrobeny jako výkovky, nebo odlitky, které se následně opracovávají na konečný tvar. Ke snížení tření se dotykové plochy obrábějí na jemnou strukturu. Je snaha dosáhnout co nejnižší drsnosti povrchu, protože součinitel tření je závislý na parametru mazání Λ , ve kterém je zahrnuta minimální tloušťka maziva a průměrná kvadratická úchylka profilu tělesa R_q [24]. Obrázek 16 znázorňuje danou závislost, která naznačuje i vliv mazacího parametru na způsob mazání. Závislost průměrné aritmetické odchylky



Obrázek 16: Graf závislosti součinitele tření a parametru mazání [24]

profilu R_a na průměrné kvadratické odchylce profilu je dána rovnicí 5.

$$R_q = 1,11 \cdot R_a$$

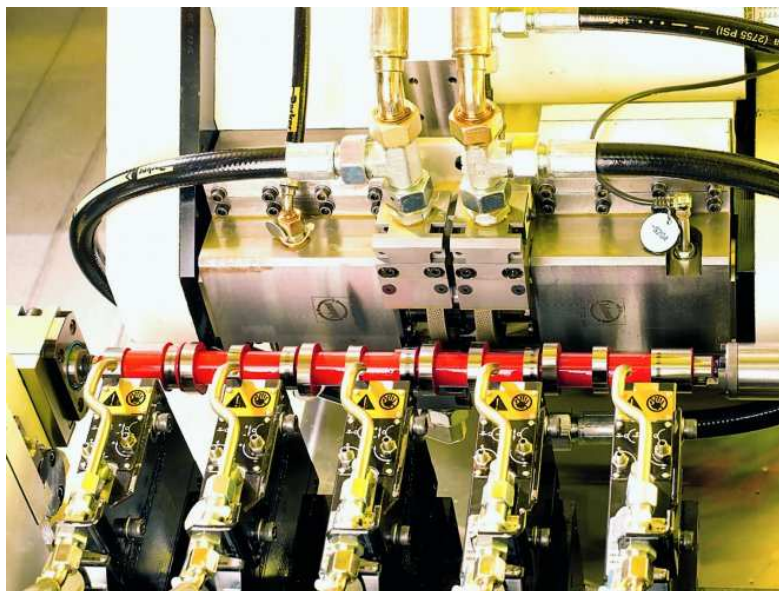
Rovnice 5: Stanovení kvadratického profilu [24]

Je řada technologií pro dosažení nízké drsnosti, ale dalšími jemnějšími úpravami se součásti rozvodu zdražují. Jemnějších úprav se spíše užívá u závodních motorů než u běžných motorů, aby bylo dosaženo co nejnižších mechanických ztrát. Jako technologií pro dosažení dobré jakosti povrchu a nízké drsnosti, se užívá:

- Broušení
- Lapování
- Honování
- Superfinišování

Broušení

Jedná se o opracování povrchu pomocí brusných kotoučů. Složení kotouče je z brusných zrn a pojiva. Dle použití druhu brusiva, zrnitosti, tvrdosti, struktury a pojiva se označují příslušnými písmeny a čísly. Broušení je proces k docílení hladkého povrchu s nízkou drsností. U broušení lze docílit drsnosti povrchu až $R_a=0,2\mu\text{m}$ [10]. Jednotlivá zrna odebírají malé třísky z povrchu a plocha se vyhlazuje. Brousí se vačkové hřídele, dřívky ventilů a prakticky všechny plochy, ve kterých dochází ke tření. K broušení je užito speciálních strojů na jednotlivá opracování součástí rozvodu. Důležité je upnutí součásti a její následné obrábění brusným kotoučem,



Obrázek 17: Broušení vačkového hřídele na stroji Jucenter 6L [25]

který pomocí naprogramovaných souřadnic součást obrousí. Dříve se používala kopírovací pravítka, ale v dnešní době je vše vytlačováno souřadnicovým obráběním pomocí CNC strojů.

Lapování

Jedná se o metodu obrábění, která dosahuje nejmenších drsností povrchu a to až drsnosti $R_a=0,012\mu\text{m}$ [10]. K obrábění dochází pohybem nástroje a materiálu, mezi které je přiváděno brusivo. Lapováním se opracovávají např. vačkové hřídele, pokud není dosaženo dostatečné drsnosti, ale ve většině případů broušení postačuje. Lapováním, nebo jinou přesnější metodou obrobením součásti roste cena výrobku.

Honování

Jedná se o metodu, při které se povrch jemně obrábí honovacími kameny. Nástroj rotuje a zároveň koná translační pohyb. Na obrobku se vytváří dráhy nástroje, které se překrývají a vytváří křížové stopy [10]. Toto obrábění je jemné broušení, kdy je použito velké množství

řezné kapaliny [10]. Použití honování u ventilových rozvodů je u ložisek, aby bylo docíleno nízkých drsností povrchu.

Superfinašování

Je to metoda, při které superfinašovací kámen kmitá a obrábí rotující součást. Dosahované drsnosti je až $Ra=0,025\mu\text{m}$ [10]. Firma Atlantic uvádí řadu honovacích a superfinašovacích kamenů pro obrábění vačkových hřídelí, kuličkových a válečkových ložisek, vodících pouzder ventilů, vahadel a dalších součástí, které nejen souvisí s ventilovými rozvody [26].

4.3.2 Chemicko-tepelné a tepelné zpracování

Chemicko-tepelné zpracování je realizováno difuzí prvku, který se dostává do zpracovaného materiálu. Jedná se o sycení povrchu požadovanými prvky. Sycení probíhá několik hodin za zvýšené teploty a získává se jen malá nasycená vrstva. Difuze prvku se užívá u cementování, po kterém následuje kalení, ale z hlediska ztrát tato metoda není tak důležitá jako nitridování. Při nitridování dochází k sycení povrchu dusíkem, který mění povrch v tvrdší. Doba nitridace bývá až několik desítek hodin. Nitridují se různé části ventilového rozvodu např. vačky, ventily a vahadla. Nitridovaná vrstva snižuje tření, chrání povrch součásti a dělá ho vysoce tvrdý.

Další povrchovou úpravou je Iontová implantace, kdy na povrch dopadají zvolené ionty, které pronikají do vrstvy materiálu [9]. Jako ionty se používají N, C, O a z kovů např. Cr, Ti, Zn, Al a další kovy, které mají různé vlastnosti. Některé ovlivňují tvrdost, opotřebením a pro snížení tření je vhodná kombinace prvků C-TiAl6V4, která snižuje koeficient tření o 60% [9].

Iontová nitridace vytváří za působení plazmy vrstvu nitridů. Celý proces probíhá ve vakuu. Tloušťka vrstvy bývá řádově jen několik mikrometrů. Jiným nastavením procesu vytváření vrstvy, mohou vzniknout nitridy jiných typů a to s mřížkou plošně středěnou anebo hexagonální, kdy se jedná o nitrid Fe_2N , s kterým součinitel tření klesá [9]. Použití vrstvy je užíváno na plochy vačky, ozubená kola a další součásti ventilového rozvodu.

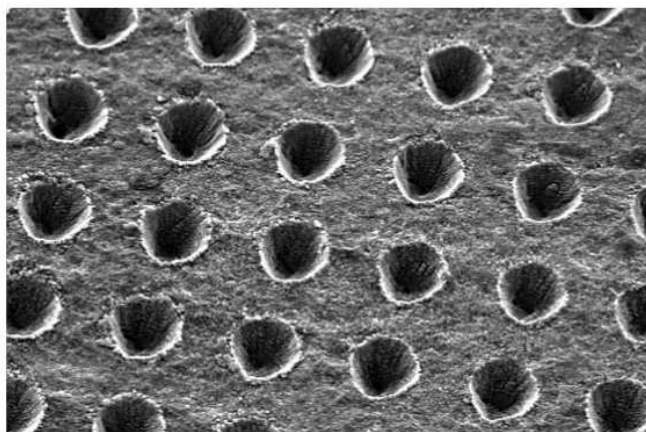
4.3.3 DLC

Jedná se o nanášení tenké uhlíkové vrstvy, kdy je snaha docílit vlastností diamantu. Způsob nanášení je realizován pomocí technologie PECVD, která využívá plazmy anebo katodového obloukového napařování [20]. Tato vrstva má velice dobré vlastnosti z hlediska snižování mechanických ztrát. Nanesená vrstva má velmi nízký součinitel tření a je dostatečně tvrdá. Společnost SKF používá tyto povlaky na valivá ložiska, kterým se zvýší životnost a sníží tření. V dnešní době začínají osazovat vačkové hřídele valivými ložisky, což při užití vrstvy DLC může snížit mechanické ztráty. Vrstva se nanáší na kroužky, nebo valivá tělíska [19]. Nízkého součinitele tření lze dosáhnout aplikováním této metody na jeden kroužek a valivá tělíska [19]. Vrstva pomocí dobrých kluzných vlastností zamezuje velkému tření při rozběhu motoru, kdy v ložiscích ještě není dostatek maziva. Při provozu je také možno použít maziva s nižší viskozitou [19].

4.3.4 LST úprava povrchu

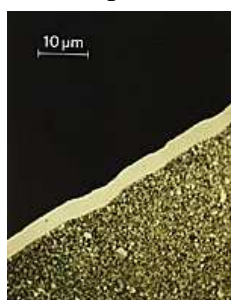
Jedná se o metodu, která na povrchu materiálu vytváří miniaturní důlky. Důlky jsou vytvořeny pomocí pulsujícího laseru, který vytvoří tisíce miniaturních pórů [21]. Na povrch součásti se vytvoří síť. Každý pór zadržuje určité množství maziva a funguje jako hydrodynamické ložisko [21]. Touto úpravou povrchu lze docílit až 75% snížení tření mezi povrchy, což vede ke snižování mechanických ztrát [21]. Užití LSD metody je uplatňováno u konformních povrchů a výzkumy se provádějí i u nekonformních povrchů, kde dochází k elastohydrodynamickému tření. U některých automobilových společností proběhl výzkum

užití metody na pístní kroužky, kdy se docílilo snížení tření mezi kroužky a válcem o 30 až 50% [21]. Pro mechanické ztráty jsou důležité spíše výzkumy prováděné na nekonformních plochách, které by mohly pomoci snížit mechanické ztráty na částech rozvodu. Úprava povrchu se provádí i na valivých ložiscích, kdy se upravují valivá tělíska, ale uvedené možnosti použití úpravy povrchu v této podkapitole jsou stále ve výzkumu i s dalšími částmi různých strojů. Další výhodou je, že při rozběhu součásti jsou povrchy mazány mazivem, které zůstane v důlcích a nedochází k velkému tření ani při nedostatku maziva. Na obrázku 18 je znázorněna pravidelná textura o velikosti průměru důlku 0,050mm.



Obrázek 18: Povrch s texturou, průměr důlku 0,050mm [23]

4.3.5 Povlaky naprašované



Obrázek 19
Velikost povlaku [16]

Společnost Oerlikon Balzers realizuje vývoj povlaku BALINIT®. Jsou to silné povlaky jen několik málo tisíc milimetrů, jak je znázorněno na obrázku 16. Vrstva je pětikrát tvrdší než kalená ocel, má extrémně nízký součinitel tření a je chemicky inertní [16]. Na výrobu povlaku na součásti se užívá mnoha technologií, které firma uvádí. Jedním z procesů je PVD probíhající ve vakuu za teplot 150 až 500°C, kdy je kov povlaku ostřelován ionty a uvolňuje se do reaktivního plynu, který se pak sráží na součásti [17]. P3e™ je proces založený na pulsové technologii v kyslíkové atmosféře pro nanášení aluminiumoxidového povlaku [17]. Společnost uvádí další druhy, ale v podstatě se jedná o naprašování různých druhů povlaků na součásti za rozdílných podmínek, např. při jiných teplotách a v různé atmosféře. Tyto povlaky jsou tak malé, že neovlivňují danou přesnost povrchu. Jejich užití je na mnoha součástech motoru a to je pro metody snižování ztrát na ventilovém rozvodu důležité. Povlaky se nanášejí na komponenty pohonů ventilů, kluzná ložiska, ozubená kola i na jiné části než jsou rozvody např. na pístní kroužky. V tabulce 2 jsou vybrány některé povlaky užívané na části ventilových rozvodů.

	Materiál	Mikrotvrdość* (HV 0,05)	Součinitel tření* (za sucha proti oceli)	Maximální teplota použití (°C)	Barva
▶ BALINIT® C	WC/C (a-C:H:W)	1500 / 1000	0,1 - 0,2	300	antracitová
▶ BALINIT® CNI	CrN	1750	0,5	700	stříbrošedá
▶ BALINIT® D	CrN	1750	0,5	700	stříbrošedá
▶ BALINIT® DLC STAR	CrN + a-C:H	> 2000	0,1 - 0,2	350	černá
▶ BALINIT® DLC	a-C:H	> 2000	0,1 - 0,2	350	černá
▶ BALINIT® FUTURA NANO	TiAlN	3300	0,30 - 0,35	900	fialovošedá

Tabulka 2: Vybrané povlaky pro části ventilových rozvodů [16].

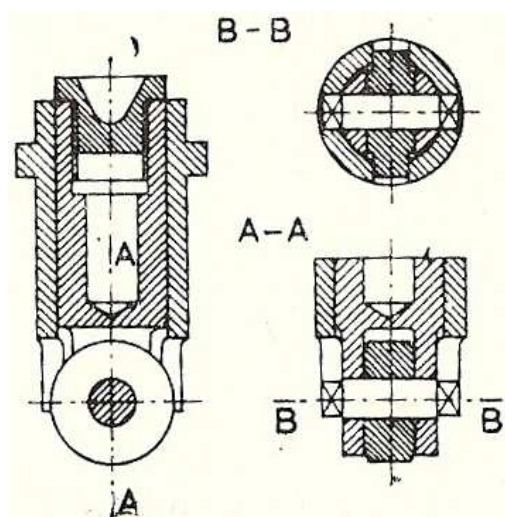
4.4 Konstrukční prvky souvislé se ztrátami

4.4.1 Valivá ložiska

Konstrukční řešení uložení vačkových hřídelí v kluzných ložiscích je v poslední době nahrazováno valivými ložisky. Obecně valení tělesa po ploše vykazuje menší tření než mezi tělesem, které se po ploše smýká. Této výhody se dá využít při uložení vačkové hřídele do valivých ložisek, kdy třecí ztráty jsou menší než u ložisek kluzných. Styčná plocha u valivých ložisek má malou velikost, proto je v místech dotyku větší napětí, než u kluzných ložisek a vzniká v kontaktu i smykové tření [27]. Ve valivém ložisku jsou ztráty způsobeny valivým třením, smykovým třením a broděním v oleji. Výhodou použití valivých ložisek je, že nemusí být přiváděno takové množství maziva jako u ložisek kluzných. To vede ke snižování průtoku olejového čerpadla, které může být použito u menších výkonů. Ztráty způsobené dodáváním oleje jsou menší.

4.4.2 Valivá tělíska

K zajištění vzniku menších třecích sil se jako konstrukční řešení používají kladky, které jsou umístěny na některých částech ventilového rozvodu. Kladka může být umístěna na zdvihátku, nebo vahadle. Umístění kladky na zdvihátku je na konci, který je v dotyku s plochou vačky. V místě dotyku vzniká valení a tření je menší než při dotyku zdvihátka bez kladky s vačkou. Toto řešení může snížit ztráty. Při této konstrukci je důležité, aby se zdvihátko nepootáčelo z důvodu nesprávné funkce kladky. Druhý způsob umístění kladky je na vahadlo. Kladka se uloží na čep jako ve zdvihátku. Umístění kladky bývá na konci dotyku vahadla s vačkou, i když by se mohlo použít i na konci dotyku s ventilem, ale to by nemělo takový efekt. Opět na styku kladky vahadla s vačkou dochází k valení a to způsobí, že ztráty třením jsou menší.



Obrázek 20: Zdvihátko s kladkou [3]

4.4.3 Rozměry a počty součástí

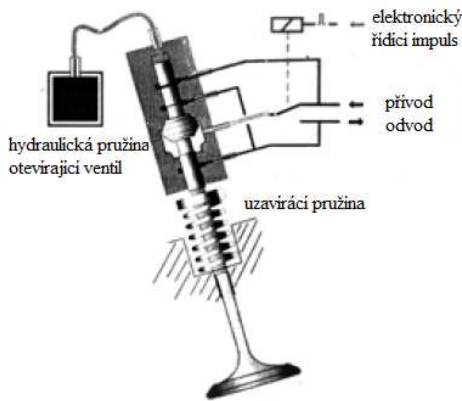
S vývojem pevnějších materiálů dochází ke konstrukčním návrhům menších součástí. Výhodou menších rozměrů je, že na součásti působí menší setrvačné momenty a síly, což vede k nižším ztrátám. Pokud nelze rozměry nějakým způsobem upravit, tak dochází k náhradám běžných materiálů za lehčí slitiny, na které nepůsobí tak velké setrvačné momenty a síly i při zachování původního rozměru součásti.

Ztráty lze snížit omezením počtu pohybujících se dílů v rozvodu, nebo naopak zvýšením počtu dílů. U dnešních typů motorů se používají čtyři ventily na válec. Důvodem užití čtyř ventilů je kromě zlepšení plnění a výfuku z válce také to, že ventily mají menší rozměr a hmotnost, na které jsou závislé setrvačné síly. Tyto síly jsou touto úpravou menší a motor může pracovat s většími otáčkami. Čím víc je v rozvodu částí, tím více je třecích ploch,

na kterých dochází ke ztrátám. Už jenom volbou druhu rozvodu se počet pohyblivých částí dá ovlivnit.

4.4.4 Jiné způsoby vracení ventilů

Jedním ze způsobů vracení ventilů jsou tzv. Desmodromické rozvody. Jedná se o speciální mechanismus s vačkovou hřídelí, která má dvě pracovní plochy vačky. Jedna vačka slouží k otevírání ventilu a druhá k zavírání. Tento systém není u běžných motorů užíván. Společnost Ducati těchto rozvodů užívá od roku 1972 na svých motocyklech [28].

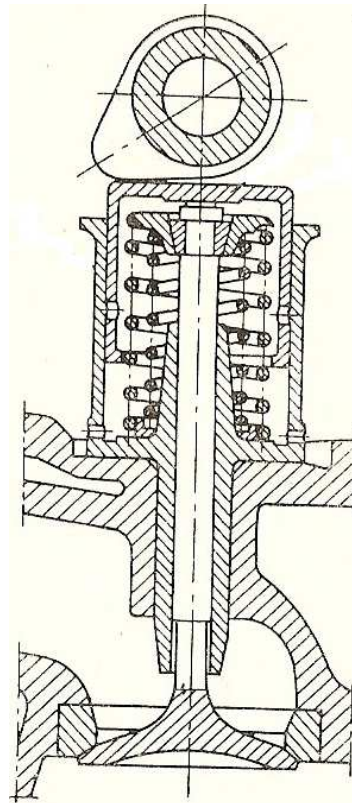


Obrázek 21: Hydraulické ovládání ventilu [29]

typů ovládání musíme dodávat kapalinu u hydraulického ovládání a vytvořit elektrický obvod u magnetického ovládání, což může být problém a vede to ke ztrátám. Výhodou těchto ovládání je, že se může se změnou otáček regulovat zdvih ventilu [29]. U běžných motorů se tyto způsoby náhrady pružin zatím nevyskytují, protože jsou ve stádiu ověřování [29].

4.4.5 Druhy ventilového rozvodu

Jednotlivé druhy rozvodů mají jiný počet třecích ploch. Volbou konstrukčního řešení rozvodu lze ovlivnit ztráty. Např. při užití rozvodu OHV, který má značně vyšší počet stykových ploch, se zvyšují mechanické ztráty. Nejvýhodnějším konstrukčním řešením je z hlediska ztrát rozvod OHC, kdy je pohyb z vačky přenášen přímo na ventil obrázek 22. Tímto uspořádáním zmizí třecí ztráty na vahadle, a rozvodových tyčkách jako jsou u rozvodu OHV. V dnešní době se začíná užívat různých druhů variabilních rozvodů, které umožňují přizpůsobit zdvih a načasování ventilů tak, že to vede k úspoře paliva a zvýšení výkonu. Avšak počet částí ventilových rozvodů se v některých případech zvýší a vede to k větším mechanickým ztrátám.



Obrázek 22: Rozvod OHC [3]

Závěr

Mechanické ztráty ovlivňují výkon motoru a jeho konstrukci. V práci bylo ukázáno, ve kterých místech dochází ke ztrátám a jakým faktorem to je v mnoha případech způsobeno. Hlavním faktorem je tření, které způsobuje značné ztráty ve ventilovém rozvodu. Pozorováním typu a způsobu vzniku jednotlivých ztrát, lze tyto ztráty ovlivňovat a značně snížit. K eliminaci ztrát napomáhají různá výzkumná pracoviště, která daný problém řeší vývojem technologických úprav a konstrukčních řešení.

Významným pracovištěm je výzkum maziv. Vývojem maziv dochází ke zlepšování vlastností olejů. Důležitou vlastností je viskozita maziva, na které je tření závislé. Další metody pro snižování ztrát jsou různé druhy povlaků a tepelných zpracování, kdy je snaha nanést na povrch součásti určité kovy a jejich kombinace. Tyto povlaky mají dobré kluzné vlastnosti a pokud součásti nepracují zrovna v kapalném mazání, ztráty nejsou tak velké jako při užití součástí bez úpravy.

Nejen úpravou povrchu i konstrukčním řešením lze docílit snížení ztrát. Např. použitím valivých ložisek, kladek na zdvihátku a daným druhem ventilového rozvodu. Jsou i metody, které se zatím ověřují jako jiné způsoby vracení pružin. Vývoj součástí postupuje dopředu a je možné, že v budoucnu dojde k náhradě kluzných ložisek za magnetická. V magnetických ložiscích žádné tření není v případě, že je zde vytvořeno silné magnetické pole. Zásadním problémem je získat takovou energii, která by vytvořila silné magnetické pole v motoru.

Snižování mechanických ztrát v rozvodu je tedy ovlivněno mnoha faktory. Vývojem dnešních motorů užívaných v běžném provozu, je snaha všechny faktory zkombinovat takovým způsobem, aby rozvod nezpůsobil velké ztráty a zároveň nebyla cena příliš vysoká. K vývoji konstrukčních řešení napomáhají vývojová centra závodních monopostů, která musí přicházet stále s nějakými novinkami, aby při závodech uspěla. Jenže metody užívané na závodních motorech, jako např. leštění povrchy a jiné způsoby vracení pružin, jsou k užití na motorech v běžných provozech značně finančně náročné.

Seznam použité literatury:

- [1] Kolektiv VÚNM a ČKD. *Naftové motory čtyřdobé*, 1. díl. Státní nakladatelství technické literatury, n.p., Druhé vydání, Praha, 1962. L123-B3-IV-41/2490
- [2] KOŽOUŠEK, Josef. *Výpočet a konstrukce spalovacích motorů II*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1983. 488 s.
- [3] KLÚNA, Jindřich, KOŠEK, Jiří, et al. *Příručka opraváře automobilů*. 3. dopl. vyd. Brno : LITERA, 1995. 502 s. ISBN 80-85763-06-0.
- [4] ŠULC, Jan, et al. *Technologická a strojnická měření : pro SPŠ strojnické*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1980. 420 s. ISBN 04-218-80.
- [5] ZELENÝ, Jiří. *Stavba strojů strojních součástí : Učebnice pro střední průmyslové školy*. 1. vyd. Brno : Computer Press, 2003. 157 s. ISBN 80-7226-311-0.
- [6] BERNARD, Ivo. *Automechanik : Technologie pro 1., 2. a 3. ročník OU a UŠ*. 4. vyd. Praha : SNTL, 1980. 416 s. ISBN 04-205-80.
- [7] SVOBODA, Pavel, BRANDEJS, Jan, PROKEŠ, František. *Základy konstruování*. 4. přeprac. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 199 s. ISBN 80-7204-458-3.
- [8] KLIMEŠ, Pavel. *Části a mechanismy strojů II : Tribologie, ložiska, převody*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2003. 70 s. ISBN 80-214-2422-2.
- [9] PTÁČEK, Luděk, et al. *Nauka o materiálu II*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-30-4.
- [10] KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [11] *Dílenská příručka : Tatra 815-2 EURO I, EURO II*. 1. vyd. Kyjov : Interpreter, 1996. 446 s.
- [12] *Motory a pohony* [online]. 2004-2009 [cit. 2009-04-16]. Dostupný z WWW: <https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/79988/cviceni/motory_a_pohony.pdf>.
- [13] ČERNÝ, Jaroslav. *Vlastnosti motorových olejů : Základní funkce olejů. AUTOEXPERT* [online]. 2006, č. 1 [cit. 2009-04-16], s. 28-29. Dostupný z WWW: <http://www.znalec.tym.cz/01_zakl.pdf>.
- [14] ČERNÝ, Jaroslav. *Vlastnosti motorových olejů : Viskozita. AUTOEXPERT* [online]. 2006, č. 3 [cit. 2009-04-16], s. 36-37. Dostupný z WWW: <http://www.znalec.tym.cz/03_visk.pdf>.
- [15] ČERNÝ, Jaroslav. *Vlastnosti motorových olejů : HTHS viskozita a lehkoběžné oleje. AUTOEXPERT* [online]. 2006, č. 4 [cit. 2009-04-16], s. 22-23. Dostupný z WWW: <http://www.znalec.tym.cz/04_HTHS.pdf>.
- [16] *Povlaky BALINIT* [online]. 2006 [cit. 2009-04-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bcz/cze/01-products-services/02-balinit-coatings/indexW3DnavidW261.php>>.

- [17] *Technologie povlakování* [online]. 2006 [cit. 2009-04-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bcz/cze/01-products-services/03-coating-technology/indexW3DnavidW261.php>>.
- [18] HARTL, Martin. *Řetězové převody* [online]. 2008 [cit. 2009-04-16]. Přednáška. Dostupný z WWW: <<https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?id=61210>>.
- [19] HULTMANOVÁ, Anna. *DLC : Uhlíkové povlaky tvrdé jako diamant* [online]. 2003 [cit. 2009-04-16]. Dostupný z WWW: <http://technik.ihned.cz/c4-10015300-12139350-800000_d-dlc-uhlikove-povlaky-tvrde-jako-diamant>.
- [20] LEDRAPPIER, F, et al. *Tenké povlaky pro snížení ztrát třením : Tribologie povlaků typu DLC* [online]. 2008 [cit. 2009-04-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.metal2009.com/sbornik/Lists/Papers/091.pdf>>.
- [21] *Laser Surface Texturing – LST* [online]. [cit. 2009-04-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.advancedsealingsolutions.com/laser.html>>.
- [22] POKORNÁ, Jana. *Cílené modifikace třecích povrchů snižující tření a opotřebení* [online]. Brno VUT-FSI : 2007, 30 s. [cit. 2009-04-16]. Bakalářská práce. Dostupný z WWW: <http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=262>.
- [23] <http://www.mlpc.com/laser_surface_texturing_applications.php>.
- [24] HARTL, Martin. *Tření, mazání, opotřebení* [online]. 2008 [cit. 2009-04-16]. Přednáška. Dostupný z WWW: <<https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?id=49221>>.
- [25] BEYER, Rudolf. *Výroba vačkových hřídelí pro osobní automobily. MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, č. 9 [cit. 2009-04-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-vackovych-hrideli-pro-osobni-automobily>>.
- [26] *Honovací a superfinišovací kameny* [online]. 2005 [cit. 2009-04-16]. Dostupný z WWW: <http://www.atlantic-bonn.de/uploads/media/Honing_stones_Czech_04.pdf>.
- [27] SÁMKOVÁ, . *Model tření jako nástroj pro konstruktéry. MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, č. 11 [cit. 2009-04-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/model-treni-jako-nastroj-pro-konstruktery>>.
- [28] *Případová studie : Ducati při výrobě unikátních vačkových hřídelí spoléhá na detekci poškození nástroje* [online]. 2005-2009 [cit. 2009-04-16]. Dostupný z WWW: <[http://resources.renishaw.com/download/\(a5f4a7a6245944fa89f39e3a271cd4fb\)](http://resources.renishaw.com/download/(a5f4a7a6245944fa89f39e3a271cd4fb))>.
- [29] RAUSCHER, Jaroslav. *Vozidlové motory : Studijní opory* [online]. 2004-2009 [cit. 2009-04-16]. Dostupný z WWW: <https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/79988/cviceni/vozidlove_motory.pdf>.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Části ventilového rozvodu: 1 vačková hřídel, 2 zdvihátko, 3 zdvihová tyčka, 4 vahadlo, 5 můstek, 6-7 stavěcí šroub, 8 miska ventilové pružiny, 9 pružina, 10 ventil [35]...	17
Obrázek 2: Třecí plocha dřívku v hlavě motoru Tatra 805.....	18
Obrázek 3: Ventil, na kterém je vidět třecí plocha dřívku.....	18
Obrázek 4: Znázornění dotykových ploch mezi vahadlem, koncem dřívku, vačkou a čepep vahadla u motorů Škoda 110R a Citroen AX.....	19
Obrázek 5: Třecí plochy mezi vačkovou hřídelí a zdvihátky z motoru Škoda 120L.....	20
Obrázek 6: Části řetězu [13].....	22
Obrázek 7: Řemenový převod [3].....	22
Obrázek 8: Ventilové pružiny z motoru Škoda 120L.....	24
Obrázek 9: Motorová brzda pro měření výkonu [3].....	25
Obrázek 10: Drsnost povrchu, R_a - střední aritmetická odchylka, R_{max} - maximální výška nerovnosti [4].....	26
Obrázek 11: Znázornění nakloněné roviny pro získání součinitele tření. F_t -třecí síla, F_N -normálová síla, G -gravitační síla, T - těžiště, α -úhel sklonu roviny.....	27
Obrázek 12: Viskozimetr pro měření kinematické viskozity [10].....	27
Obrázek 13: Průběh viskozity motorových olejů různých viskozitních tříd při jejich provozu [10].....	29
Obrázek 14: Stribeckova křivka [11].....	29
Obrázek 15: Schéma olejové soustavy, 1 – Hrubý čistič, 2 – Jemný čistič,.....	30
Obrázek 16: Graf závislosti součinitele tření a parametru mazání.....	31
Obrázek 17: Broušení vačkového hřídele na stroji Jucenter 6L [25].....	32
Obrázek 18: Povrch s texturou, průměr důlků 0,050mm [20].....	34
Obrázek 19 Velikost povlaku [12].....	34
Obrázek 20: Zdvihátko s kladkou [3].....	35
Obrázek 21: Hydraulické ovládání ventilu [29].....	36
Obrázek 22: Rozvod OHC [3].....	36

Seznam tabulek

Tabulka 1: Podíl ztrát jednotlivých skupin motoru zážehového a vznětového v (%) ztrátového výkonu [7].	26
Tabulka 2: Vybrané povlaky pro části ventilových rozvodů [12].	34

Seznam příloh

Příloha č. 1: Motor Lada s rozvodem OHC [3]	
Příloha č. 2: Motor Tatra 815 s rozvodem OHV [11]	

Seznam vzorců

Rovnice 1: Stanovení efektivního výkonu [12]	25
Rovnice 2: Stanovení mechanické účinnosti [12]	25
Rovnice 3: Stanovení podílu ztráty z celkových ztrát	25
Rovnice 4: Stanovení součinitele smykového tření	27
Rovnice 5: Stanovení kvadratického profilu [24]	32

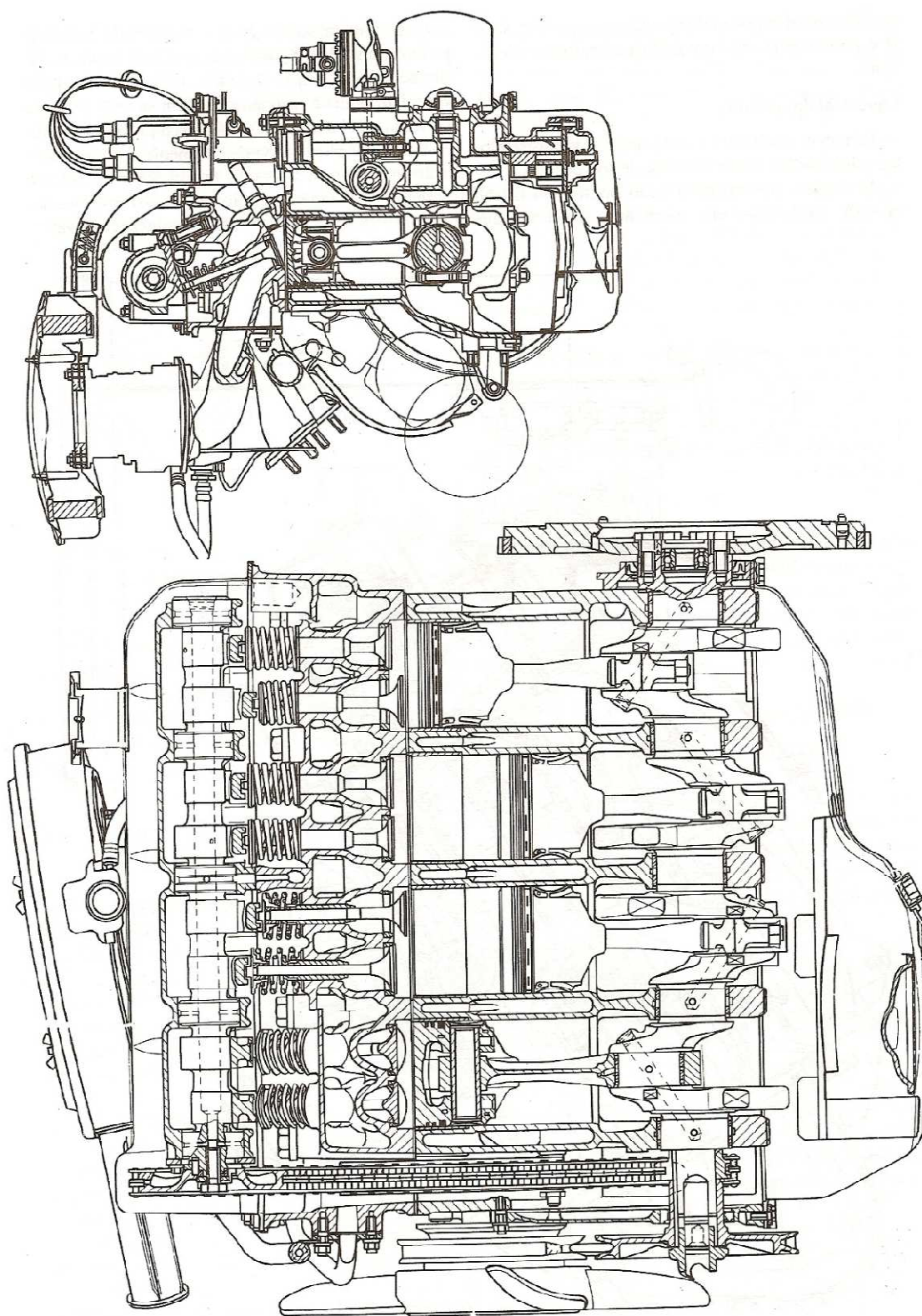
Seznam zkratek

OHV	Druh ventilového rozvodu
OHC	Druh ventilového rozvodu
SV	Druh ventilového rozvodu
F	Druh ventilového rozvodu
HTHS	Dynamická viskozita získaná při 150°C
R	Profil drsnosti
W	Profil vlnitosti
P	Základní profil
PECVD	Technologie nanášení povlaku hliníku
DLC	Metoda pro nanášení tenké vrstvy uhlíku
LST	Metoda úpravy povrchu miniaturními důlky
PVD	Technologie naprašování povlaků
P3e TM	Technologie naprašování povlaků

Seznam symbolů

P_e [kW]	Efektivní výkon
P_i [kW]	Indikovaný výkon
P_m [kW]	Ztrátový výkon
P_1 [kW]	Výkon naměřený při odpojení součásti
η_m [-]	Mechanická účinnost
R_a [μm]	Průměrná aritmetická úchylka povrchu
R_{max} [μm]	Maximální výška nerovnosti
R_q [μm]	Kvadratická úchylka profilu
f_s [-]	Součinitel smykového tření
μ [-]	Součinitel tření
η [Pa.s]	Dynamická viskozita
ω [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$]	Úhlová rychlost
Λ [-]	Parametr mazání
p [Pa]	Měrný tlak
α [$^\circ$]	Úhel nakloněné roviny

Příloha č. 1: Motor Lada s rozvodem OHC [3]



Příloha č. 2: Motor Tatra 815 s rozvodem OHV [11]

