

Základní pojmy

Prohlídky, údržbové a opravárenské plány vozidel

Každý z nás, kdo provozuje motorové vozidlo, ví, že výrobce v určitých intervalech předepisuje jeho pravidelné prohlídky. V rámci těchto prohlídek zároveň předepisuje soubor kontrolních úkonů, které se na vozidle mají provést, přitom řadovému motoristovi utkvívají v povědomí především tím, že se při nich zpravidla mění olejová náplň motoru. Celá problematika pravidelných prohlídek je však poněkud obsáhlejší a my se ji nyní pokusíme objasnit jako celek.

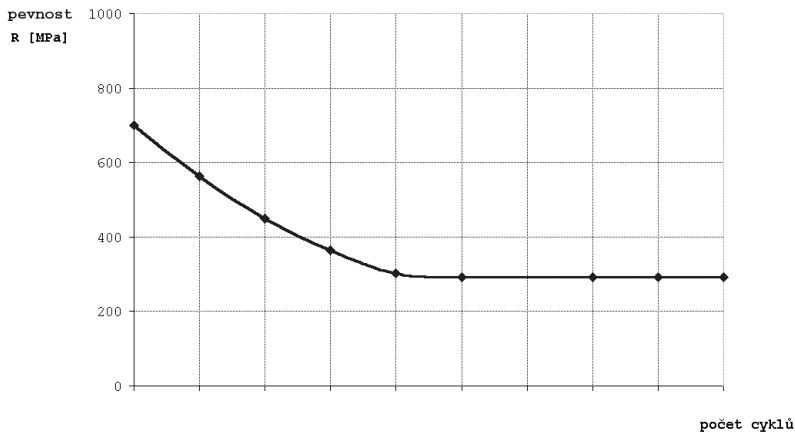
Princip „bezpečného života“

Při konstrukci technického výrobku budeme mít jistě za cíl, aby měl co nejvyšší životnost a aby riziko poruchy bylo pokud možno co nejmenší. Při znalosti mechaniky bychom byli teoreticky schopni vyrobit řadu součástí či celé konstrukční skupiny tak, aby jejich životnost byla neomezená. To je i v praxi skutečně možné a v minulosti se takový přístup hojně využíval. My si jej nazvěme „konstrukcí s ohledem na bezpečný život“ a v principu spočívá v tom, že se snažíme dosáhnout co nejvyšší životnosti součásti. Samozřejmě je zde určité riziko poruchy, to se však snažíme udržet co nejnižší. Při konstrukci můžeme využít např. únavových charakteristik materiálu – Wöhlerových křivek.

Přístup, který jsme si uvedli, s sebou přináší zbytečné plýtvání materiálem. Strojní součásti vycházejí velmi masivní a svojí hmotou se potom často podepisují na negativních vlastnostech výrobku, v oboru motorových vozidel bychom mohli vzpomenout např. spotřebu paliva či ovladatelnost celého vozidla. Jako typický příklad tohoto nevhodného způsobu konstruování bychom si mohli uvést obor letectví, kde v případě, že bychom konstruovali letadla na nekonečnou životnost, bychom dosáhli snadno toho, že by nikdy nevzlétla – neodlepila by se díky velké hmotnosti od země.

Princip „bezpečného lomu“

Princip bezpečného lomu naopak vychází z toho, že s určitou pravděpodobností definujeme a tím i plánujeme vznik porušení součásti po určité době provozu. Součásti a celky nemusí být zbytečně masivní a výrobek může mít daleko lepší užitné vlastnosti. Tento přístup nás však zavazuje stanovit soubor pravidelných inspekčních prohlídek, stanovit maximální přípustnou dobu použití dané součásti či konstrukčního celku v provozu a nakonec i povolený charakter provozu. Po uplynutí této doby nebo při případném nedodržení stanovených podmínek provozu (vznik tzv. mimořádné situace) se musí součásti bezpodmínečně vyměnit za nové.



Příklad Wöhlerovy únavové křivky a meze únavy nekonečné životnosti

S takovýmto přístupem se tedy můžeme setkat v již zmíněném letectví a v oblasti motorismu potom u závodních automobilů a motocyklů. V oblasti běžné produkce uplatňujeme kombinaci obou těchto principů neboli plánujeme porušení, ale až na výjimky po poměrně dlouhé době provozu.

Životnost a spolehlivost

Na základě dosud získaných poznatků bychom mohli dojít k závěru, že životnost a spolehlivost vozidla (motoru) máme konstrukčně a výrobně dánu. Jistě, toto hledisko se na ní podílí nejvýznamnějším způsobem, nicméně nezanedbatelným dílem se projeví i další faktory, jmenujme alespoň některé:

- provozní podmínky
 - zatížení
 - teploty
 - prašnost
 - vlhkost
 - vibrace
- garážování
- používané palivo
- pečlivost a frekvence údržby
- použité materiály

Prohlídky a údržba

S ohledem na konstrukčně limitovanou životnost dílů a na existenci vnějších vlivů, způsobujících jejich porušování, provádíme jednak pravidelné prohlídky motoru, jednak plánované výměny součástí. Krom toho na motoru existuje řada celků, které ze svého principu mají omezenou životnost a u nichž po jejím uplynutí nemusí sice dojít nutně k jejich porušení, ale v každém případě dojde, přinejmenším dočasně, ke ztrátě funkce – např. různé filtry.

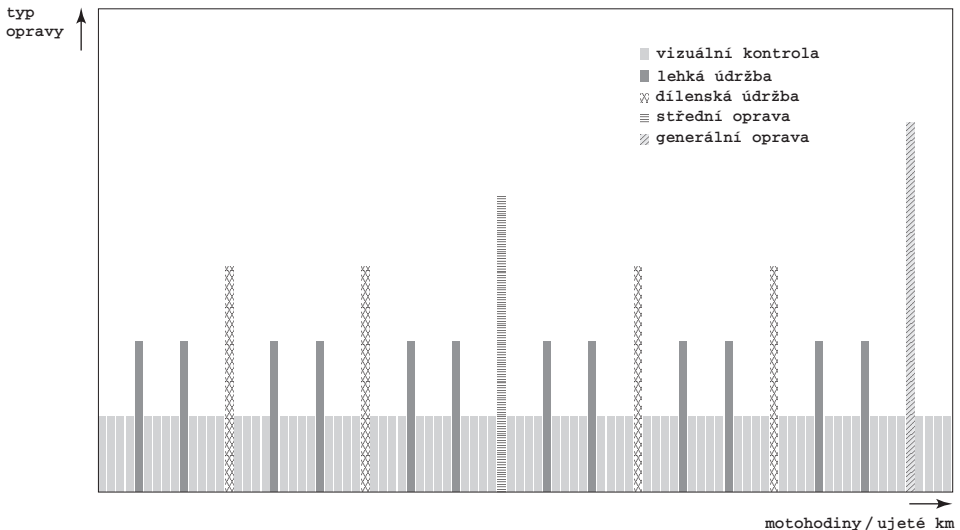
Frekvence provádění prohlídek je tak odvozena od součástí s nejkratší životností (např. různé pryžové díly, zmíněné filtry apod.) a často ji zároveň limituje životnost provozních kapalin, zejména olejových náplní (i zde existují výjimky, o nich však později). Tuto základní frekvenci předepisuje výrobce na základě zkoušek a jejich statistického vyhodnocení; podle skutečných provozních podmínek se však může, zejména u užitkových vozidel, měnit. Základními referenčními kritérii pro provedení prohlídky jsou:

- ujeté kilometry
- odpracované motohodiny

Aby byly náklady na prohlídku a vzniklé prostoje co nejnižší, snažíme se provádět jak vlastní preventivní prohlídku, tak i výměny klíčových součástí, provozních kapalin a plánovanou údržbu najednou. Podle jejich rozsahu můžeme pak definovat následující druhy oprav a údržby:

- **Neplánovaná oprava** – oprava prováděná v důsledku vzniklé závady. Svým rozsahem může nabývat jak charakteru lehké, tak i dílenské údržby.
- **Plánovaná oprava** – všechny druhy oprav a výměn prováděné na základě doporučení výrobce nebo na základě analýzy provozu vozidla. Jsou navázané na životnost jednotlivých součástí nebo konstrukčních skupin.
- **Lehká údržba** – údržba a opravy, které je možné vykonat bez větších demontáží s použitím běžného nářadí. Často se provádí v terénu, přímo při provozu vozidla, bývá též spojena s doplněním či výměnou provozních kapalin a součástí spotřebního charakteru.

- **Dílenská údržba** – údržba, při které již musíme použít dílenského vybavení a nevystačíme si s použitím běžného nářadí. Není proveditelná při provozu vozidla, vozidlo se musí na dobu nezbytně nutnou stáhnout do dílny, kde je k dispozici i nezbytné diagnostické vybavení.
- **Střední oprava** – plánovaná a zpravidla časově náročná oprava, při které dochází k výměně či opravě stěžejních součástí a konstrukčních celků. Po jejím provedení dochází ke značnému prodloužení životnosti motoru, resp. vozidla. Pokud bychom měli střední opravu provést opakovaně, je vhodné zvážit provedení opravy generální.
- **Generální oprava** – plánovaná, finančně i časově náročná oprava, po jejímž provedení získáme výrobek plně srovnatelný s výrobkem novým. Často se provádí ve specializovaných dílnách výměnným způsobem.



Příklad plánu oprav motoru podle ujetých kilometrů nebo motohodin

Opotřebení motoru

Při provozu technického zařízení, v našem případě spalovacího motoru, dochází průběžně k fyzickému opotřebování jednotlivých součástí, ať již viditelnému (měřitelnému), nebo i neviditelnému.

Mezi neviditelné opotřebení patří typicky dynamické namáhání součástí do doby vzniku iniciačních trhlin (mez únavy materiálu) či počáteční stavy tzv. mezikrystalické koroze. Tato

opotřebení jsou velice nebezpečná a čelíme jim vhodnou konstrukcí, použitými materiály a plánovanými výměnami kritických součástí.

Viditelné opotřebení na sebe průběžně upozorňuje řadou vnějších projevů. Může to být jak snížení výkonu motoru, tak i např. zvýšená spotřeba oleje či změna spektra vyzářovaného hluku. S ohledem na tyto vnější příznaky tak můžeme toto opotřebení průběžně diagnostikovat a plánovat potřebné opravy.

Posledním typem opotřebení, o kterém se zmíníme pouze okrajově, je opotřebení morální. To nemá žádný vliv na funkčnost zařízení, může však mít vliv na prodejnost či investice do dalšího vývoje motoru. Velikost morálního opotřebení a nutnost případných inovací musí zvážit výrobce při rozhodování se o případné změně výroby.

Druhy opotřebení

V našich úvahách se dále budeme zabývat především viditelným fyzickým opotřebením. Toto opotřebení můžeme co do charakteru rozdělit do řady skupin. Definujme tedy následující základní charakteristiky opotřebení:

• **Mechanické opotřebení**

Otěr – časté opotřebení, vyskytující se u vzájemně pohyblivých součástí, které po sobě kloužou; dochází při něm k obrušování povrchu součástí. Jeho velikost je dána vzájemnou rychlostí pohybu a silovým působením. Mezi typické případy můžeme zařadit opotřebení kluzných ložisek nebo opotřebení pístové skupiny.

Otlačení – další časté opotřebení, které vzniká pouze vzájemným silovým působením. Dochází při něm k prolomení povrchové vrstvy součásti, změně mechanických vlastností této povrchové vrstvy, vzniku vůlí a tak i dalšího rázového namáhání. Součásti nejsou ve vzájemném kluzném pohybu, velice často však dochází k odvalování jedné součásti po druhé. Mezi typické případy patří různé čepy, valivá ložiska či ozubená soukolí.

Pitting – zvláštní případ opotřebení otlačení. Vznikne při silném přetížení, kdy dojde ke značnému prolomení povrchových vrstev, jejich vzájemnému pohybu vůči sobě, vzniku tepla a jejich mikroskopickému svaření. Po následném oddálení součástí od sebe dojde k roztržení povrchových vrstev a zhoršení kvality povrchu. Toto opotřebení se typicky vyskytuje u ozubených kol, eventuálně u valivých ložisek při jejich přetížení.

Kavitace – zvláštní druh opotřebení, které bychom mohli do jisté míry zařadit i do kategorie chemických. Vzniká tam, kde dochází k narušení tlakových poměrů při proudění kapalin. Lokálně tak může vzniknout téměř vakuum, které však obsahuje stopy par kapalin. Toto vakuum vzápětí vymizí. Při jeho vzniku i vymizení vznikají tlakové rázy, které spolu s chemickým působením (koroze) silně narušují povrch součástí. Mívá lokální charakter a můžeme ji nalézt nejčastěji na lopatkách vodních čerpadel, hydraulických spojkách a měničích, zřídka potom na hlavách válců (zde nejčastěji v souvislosti s poškozeným těsněním mezi prostorem válce a vodním prostorem).

• Chemické opotřebení

Koroze – specifický případ oxidace materiálu. Může vznikat buďto pouze působením vnějšího prostředí (chemická), nebo za pomoci elektrického pole (elektrochemická). Dle její povahy ji můžeme rozdělit na povrchovou, důlkovou a mezikrystalovou. Poslední případ je nejnebezpečnější, neboť se zjevně prakticky neprojevuje až do doby, kdy dojde ke ztrátě únosnosti součásti.

Oxidace – změna vlastností vlivem působení kyslíku. U pevných materiálů ji označujeme jako korozi, můžeme se s ní však setkat i u kapalin, např. olejů, které jejím působením ztrácí své původní vlastnosti.

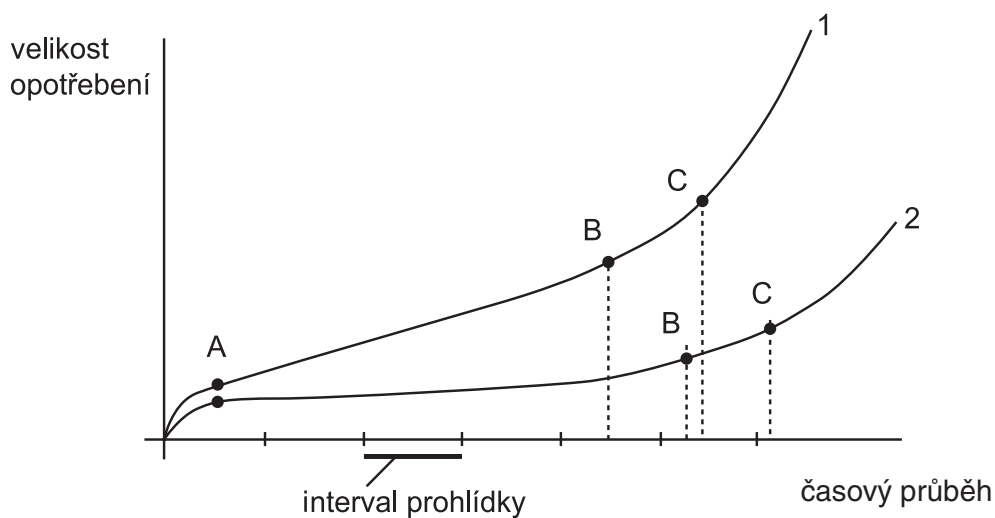
- **Tepelné opotřebení** – tepelným působením dochází jednak k urychlení již zmíněných dějů, jednak k výrazné změně mechanických vlastností materiálů. Nejčastěji se uplatní jako následný stav při vzniku nějaké poruchy, kdy např. lokálním přehřátím může dojít až k vyžhání materiálu a změknutí jeho povrchových vrstev. U vysokopevnostních a tepelně zpracovaných materiálů potom dochází k výrazným změnám jejich mechanických vlastností (mez pevnosti, mez kluzu, houževnatost, tvrdost...).
- **Radiační opotřebení** – působením radioaktivního záření dochází postupem času k dlouhodobým změnám mechanickým vlastností materiálů. Vzhledem k tomu, že tyto změny se velmi obtížně dopředu odhadují a spuštěné jaderné zařízení v podstatě nemůžeme v aktivní zóně rozebrat a přezkoušet, bývají součástí takových zařízení i speciální komory, ve kterých ukládáme vzorky použitých materiálů. Tyto vzorky postupně v plánovaných časových intervalech z komor vyjímáme a zkoumáme změnu jejich vlastností. Pokud bychom zjistili nadměrnou degradaci materiálových vlastností těchto vzorků, odstavíme jaderné zařízení z provozu. Dodejme ovšem, že s tímto druhem opotřebení se v běžné automobilové praxi nesetkáme, připadalo by v úvahu snad pouze u speciální vojenské techniky v případě nasazení.

Mezní a havarijní opotřebení

Abychom mohli správně stanovit plán údržby a oprav, musíme nejprve definovat stav, při kterém příslušná součást již přestává bezchybně plnit svoji funkci. Vezmeme-li si přitom na pomoc např. měření funkčních rozměrů vybrané součásti, můžeme sestavit tzv. křivku opotřebení (viz obr.), kdy vynášíme závislost velikosti opotřebení na čase nebo kilometrickém proběhu.

Z uvedeného grafu vidíme, že po počáteční době záběhu opotřebení vzrůstá přibližně lineárně, rovnoměrně s časem. Rychlost tohoto opotřebení závisí na podmínkách, při jakých součást (zařízení) provozujeme. Od určité doby se velikost opotřebení již prudce zvyšuje. Tento okamžik můžeme označit za tzv. opotřebení mezní. Při jeho překročení začne riziko porušení prudce (a často nekontrolovatelně) vzrůstat. Budeme-li sledovat křivku opotřebení přesto dál, dostaneme se až do bodu tzv. havarijního opotřebení – dojde k neopravitelnému poškození či dokonce k úplné ztrátě funkce sledované součásti.

Skutečné opotřebení se při provozu zařízení musí nacházet pod bodem mezního opotřebení, který můžeme též nazvat životností součásti. Pro praktické kontroly však definujeme ještě jednu hodnotu – tzv. dovolené opotřebení, které se nachází pod opotřebením mezním. Při periodických prohlídkách potom můžeme rozhodnout, zda součást ještě ponecháme v provozu (nachází se pod bodem dovoleného opotřebení) či zda ji opravíme (součást překročila dovolené opotřebení, nedosáhla však ještě opotřebení mezního). Pokud by součást překročila i hodnotu opotřebení mezního, nebudeme ji opravovat a bezodkladně ji vyřadíme z provozu.



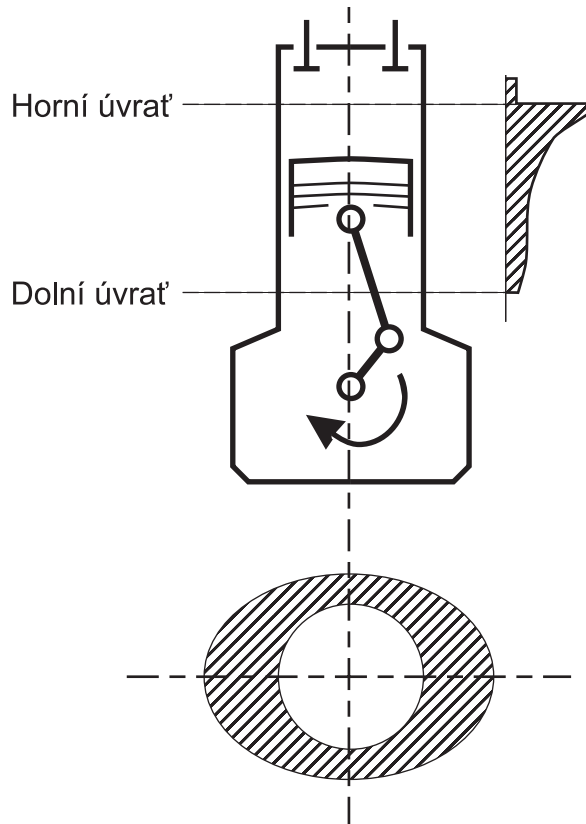
Křivky opotřebení: 1 – rychlé opotřebení, 2 – pomalé opotřebení, A – bod konce záběhu, B – dovolené opotřebení, C – mezní opotřebení, následuje havarijní opotřebení/lom.

Typická opotřebení spalovacího motoru

Řada součástí motoru má své charakteristické opotřebení, které je dáno jejich činností a provozem. Uvedme si vybrané z nich a připojme malý komentář. Předpokládejme zároveň, že opotřebení odpovídá přirozenému stavu, tzn. motor nebyl provozován s nějakou závadou.

Válec, vložka válce – typické opotřebení si znázorníme na následujícím obrázku. Vidíme, že v horní úvratí je opotřebení největší, zatímco směrem dolů se progresivně snižuje. Je to dáno průběhem tlaků ve válci, rozložením teplot i působením spalín. Stejně tak bude opotřebení největší v rovině kolmé k ose klikové hřídele, zatímco v rovině jdoucí s její osou bude menší. To je způsobeno setrvačnými silami ojnic, které zachytává píst.

Píst, pístní čep – u pístu se nám setrvačnými silami vytluče otvor pro pístní čep. Samotný čep většinou zůstává téměř nepoškozen, neboť je vyroben z řádově pevnějšího materiálu než píst nebo pouzdro horního ojnicího oka. Píst bude dále opotřeben otěrem na vnějším plášti, největší opotřebení bude opět v rovině kolmé na osu klikové hřídele, často zde vidíme předřené oblasti. Důvod nerovnoměrnosti opotřebení je stejný jako u opotřebení válce. Mimo to bude docházet k vytloukání drážek pro pístní kroužky.

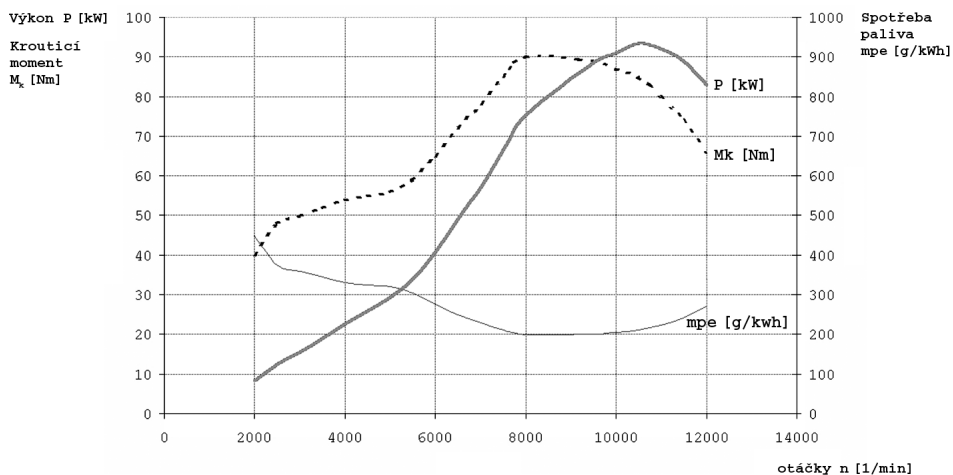


Typické opotřebení válce motoru. Opotřebení bude větší v rovině kolmé na osu klikové hřídele z důvodu působení setrvačných sil ojnic.

Pístní kroužky – otírají se po vnější válcové ploše, mizí úkoso, na krajích se v mezních případech tvoří otřepy. Při jejich vytlučení v drážce pístu bude navíc opotřebení po obvodu nerovnoměrné a vnější plocha může být soudečková. Stejně tak se první příznaky budou projevovat v oblasti zámků vlivem nerovnoměrnosti přítlaku.

Ojniční a hlavní ložiska – kluzná ložiska se opotřebovávají otěrem, jejich opotřebení je zpravidla rovnoměrné. Pokud zjistíme měřitelnou nerovnoměrnost (ovalitu), jedná se již o havarijní stav motoru, jehož příčinou bude v první řadě nedostatečné mazání. Opotřebení ložisek je největší při rozběhu motoru, kdy ještě v olejové soustavě není potřebný tlak. Tomuto jevu se čelí u velkých motorů (lokomotivní, lodní) tak, že se před vlastním startem motoru nejprve spustí pomocná olejová čerpadla, která vytvoří potřebný tlak oleje, zajistí tak jeho promazání a teprve poté se startuje vlastní motor.

Příslušenství – v principu dochází k opotřebení všude tam, kde dochází k vzájemnému pohybu součástí. Z příslušenství musíme věnovat patřičnou pozornost olejovému čerpadlu, které při velkém opotřebení není schopno vytvořit potřebný mazací tlak. Lopatky vodních čerpadel zase mohou být poškozeny kavitací. Rovněž tak věnujeme pozornost stavu rozvodu, zejména potom rozvodovým kolům, řetězu či řemenu. Viditelnému opotřebení podléhá zejména rozvodový řetěz, jehož prasknutí či přeskočení je sice velmi zřídka, nicméně je zdrojem značného hluku a sekundárně může dojít k jeho styku se skříní motoru a jejímu poškození – probroušení.



Výkonová charakteristika spalovacího motoru

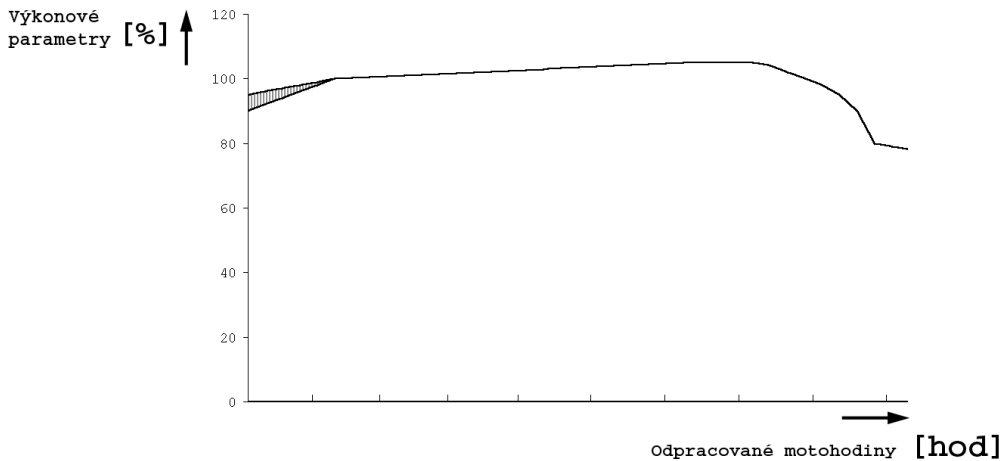
Technické parametry

Během opotřebení motoru nebo při vzniku závad dochází ke změnám jeho vnějších technických parametrů. Budeme-li tyto parametry měřit a analyzovat, mohou nám tyto výsledky posloužit jako jeden z diagnostických parametrů pro pravidelné rutinní kontroly i pro

neplánované posouzení technicko-provozního stavu motoru. Mezi reprezentativní měřitelné veličiny potom můžeme zařadit:

- výkon motoru
- spotřebu paliva
- vyzařované hlukové spektrum

Ostatní veličiny (rozměrové, teplotní, tlakové) budeme řadit mezi vnitřní parametry. Přibližně si nyní jednotlivé veličiny podrobněji:



Závislost výkonu motoru na odpracovaných motohodinách. Šrafovaná část vyjadřuje kolísání parametrů v době záběhu.

Výkon motoru

Správně bychom místo pojmu „výkon motoru“ měli použít oficiálního názvu „vnější otáčková charakteristika“ a budeme jí rozumět průběh výkonu, točivého momentu a měrné spotřeby paliva při plně otevřené škrtkové klapce (maximální stanovené přípustí paliva u dieselových motorů) v závislosti na otáčkách motoru. Příklad takové charakteristiky můžeme vidět na připojeném obrázku na str. 20.

Budeme-li sledovat výkon motoru v určitém bodě v závislosti na kilometrickém proběhu vozidla (odpracovaných motohodinách), můžeme vysledovat přibližně závislost znázorněnou na obrázku na této straně.

Zpočátku bude výkon motoru stoupat a zároveň dojde k jeho stabilizaci, mezi jednotlivými měřeními se budou snižovat rozdíly v naměřených hodnotách. Toto můžeme označit za oblast záběhu. Poté následuje oblast běžného provozu, při které bude nejprve docházet

opět k velmi mírnému nárůstu výkonu, což můžeme připsat postupnému zvětšování vřelí a snižování mechanických ztrát. V určitém okamžiku však začne docházet nejprve k mírnému a postupně se progresivně zvyšujícímu poklesu, což je již neklamný projev celkového opotřebení.

Spotřeba paliva

Spotřebu paliva můžeme také zahrnout mezi základní diagnostické parametry a její sledování bude v praxi daleko častější než sledování výkonu. Takto můžeme sledovat provoz motoru průběžně (tankování versus počty ujetých kilometrů) a prakticky ihned odhalit případný problém, neboť řada závad se téměř okamžitě projeví zvýšenou spotřebou paliva.

Časový průběh velikosti spotřeby paliva podle kilometrického průběhu je obdobný jako u výkonu. Zpočátku se bude spotřeba paliva snižovat (záběh motoru), posléze bude velmi mírně klesat, aby ke konci životnosti motoru došlo opět k jejímu navýšení.

Hlukové spektrum

Pracující motor je zdrojem hluku. Tento hluk můžeme rozdělit podle jeho zdroje do následujících hlavních skupin:

- hluk spalování
- hluk klikového mechanismu
- hluk rozvodového mechanismu a odvozených pohonů
- hluk pulzacemi sání
- hluk výfuku
- hluk kompresorů a turbodmychadel

Nastane-li na motoru nějaká závada, hlukové spektrum se změní. Potíž však může nastat se správnou interpretací výsledků, která bude vyžadovat dostatek zkušeností. Co se týká časového průběhu, můžeme konstatovat, že celková intenzita hluku se bude průběžně s opotřebením zvyšovat, navíc bude docházet ke změnám rozložení hlukového spektra.

Emise škodlivin

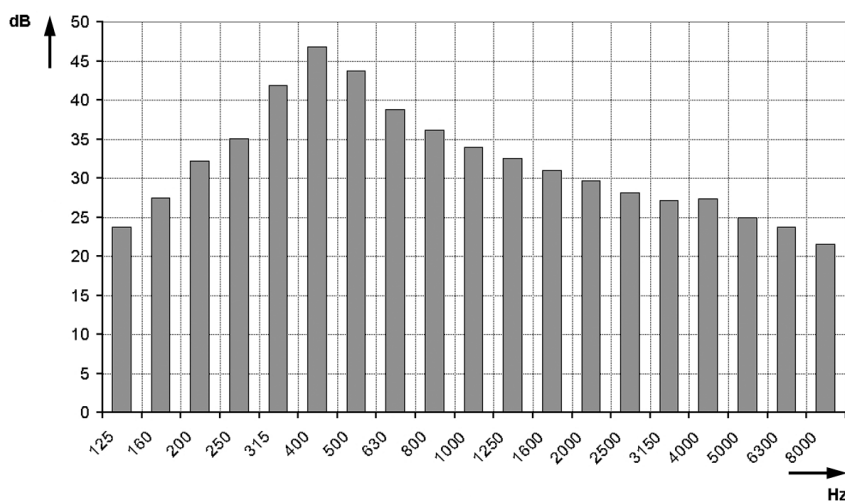
Pod pojmem emisí škodlivin rozumíme soubor několika měřitelných parametrů, které můžeme rozdělit do několika hlavních skupin:

- emise z výfuku
- emise z klikové skříňe
- emise ze stojícího vozidla (motoru)

Z celkového spektra emisí z výfuku sledujeme zpravidla pouze vybrané veličiny, jako jsou CO, CO₂, HC, NO_x, u vznětových motorů potom navíc kouřivost, emise pevných částic

a eventuálně akroleinů. Nutno poznamenat, že ke kompletní analýze potřebujeme poměrně složité a drahé zařízení a pouhé měření koncentrací může být v obecné rovině zavádějící. Přesto je můžeme při určité míře zodpovědnosti použít. O jejich měření a analýze pojednáme později v samostatné kapitole.

Emise z klikové skříně vznikají vířením vzduchu, tlakovými pulzacemi a profukem spalin skrze kroužky při expanzním zdvihu. V tomto případě nebudeme analyzovat jejich složení, ale pouze změříme jejich množství, není-li nadměrné, což je v praxi poměrně dobře proveditelné. To provedeme např. tak, že k otvoru pro olejovou měрку nebo k nalévacímu hrdlu oleje připojíme sáček z PVC. Pokud se sáček začne nafukovat, znamená to, že množství spalin je buďto nadměrné, nebo je poškozené odvětrání klikové skříně.



Příklad hlukového spektra motoru (tzv. třetinooktávová analýza)

Poslední druh emisí vzniká odparem HC ze stojícího motoru (vozidla). Projeví se zde jak jakákoli netěsnost v celé palivové soustavě, tak i např. poškozené sání motoru. K celkové analýze tohoto druhu emisí bychom opět potřebovali poměrně drahé zařízení (zařízení pro tzv. SHED testy), nicméně lokalizaci případných úniků můžeme úspěšně provést i s pomocí běžného servisního analyzátoru výfukových plynů. V tomto případě budeme přikládat sondu analyzátoru k vytipovaným zdrojům netěsností (spoje, víčka atd.) a sledovat údaj HC. V případě zjištěné netěsnosti potom přístroj ukáže řádově od desítek až po tisíce ppm vyšší hodnoty, než je hodnota pozadí.