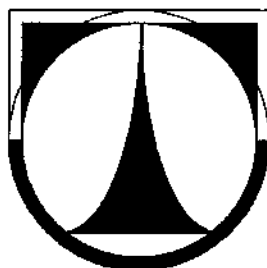


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



VÝUKOVÝ MODEL MOTORU PORSCHE

PORSCHE ENGINE TUTORIAL MODEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jiří Vinklář

Květen 2008

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor B2341

Stroje a zařízení

Zaměření

Dopravní stroje a zařízení

VÝUKOVÝ MODEL MOTORU PORSCHE

PORSCHE ENGINE TUTORIAL MODEL

Bakalářská práce

KVM – BP – 148

Jiří Vinklář

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Miroslav Myška, Petr Starý - KVM

Počet stran: 50

Počet obrázků: 38

Počet příloh: 6

Počet výkresů: 17

Květen 2008

Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci dne

.....

podpis

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Doc. Ing. Celestýnu Scholzovi, Ph.D., s kterým jsem celou bakalářskou práci konzultoval a který mi se všemi problémy vyšel vstříc.

Dále bych chtěl poděkovat Petru Starému a Miroslavu Myškovi, kteří mi pomáhali při výrobě stojanu a při obráběcích pracích. A katedře materiálů (KMT), která zajistila vyhodnocení vzorků válců a vložek válců. Dále děkuji všem, kteří mi pomohli a poradili, za podporu.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodičům za podporu po celou dobu studia.

Název

VÝUKOVÝ MODEL MOTORU PORSCHE

Anotace

Cílem bakalářské práce je vytvoření výukového modelu motoru (boxer). Vytvoření částečných řezů pro lepší názornost učební pomůcky. Pořízení podrobné fotodokumentace motoru a výkresové dokumentace k rámu.

V bakalářské práci jsou popsány jednotlivé části a komponenty motoru Porsche, postup a návrh částečných řezů, návrh stojanu a pohonné jednotky.

Klíčová slova:

Výukový model, motor Porsche, Porsche 987, Porsche M97/21, Boxster S, Cayman S.

Title

PORSCHE ENGINE TUTORIAL MODEL

Annotation

The target of this bachelor's thesis is the creation of tutorial engine model (boxer). Usage of partial cuts should have improved objective/graphic instructions. I have arranged for details photo documentation of this engine and also mechanical drawings for the frame.

In this thesis, there are all the parts and components of Porsche engine described. As well as procedure and partial cuts suggested. Also design of the supportive stand and drive unit.

Key words:

Tutorial model, Porsche engine, Porsche 987, Porsche M97/21, Boxster S, Cayman S.

Desetinné třídění: (př. 621.43.01 - Teorie spalovacích motorů)
Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
Dokončeno : 2008
Archivní označení zprávy: (nevyplňovat)

Obsah

Seznam symbolů a jednotek	5
1 Úvod	7
2 SBĚR DAT K MOTORU M97/21	8
2.1 VÝKONOVÉ PARAMETRY.....	9
2.2 POPIS MOTORU	10
2.2.1 BLOK VÁLCŮ, KLIKOVÁ SKŘÍŇ.....	11
2.2.2 KLIKOVÝ MECHANIZMUS, ROZVODY.....	14
2.2.3 PROMĚNNÉ ČASOVÁNÍ	16
2.2.4 OLEJOVÝ SYSTÉM	18
2.2.5 REZONANČNÍ SACÍ POTRUBÍ.....	19
2.2.6 VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA.....	20
2.2.7 VÝFUKOVÁ SOUSTAVA	21
2.2.8 PŘÍSLUŠENSTVÍ.....	22
2.2.9 VYVÁŽENÍ MOTORU.....	23
2.3 ZÁSTAVBA MOTORU VE VOZIDLE	24
2.4 JÍZDNÍ VLASTNOSTI.....	25
3 ČÁSTEČNÉ ŘEZY MOTOREM	25
3.1 NÁVRH ČÁSTEČNÝCH ŘEZŮ	26
3.2 REALIZACE ČÁSTEČNÝCH ŘEZŮ	27
4 STOJAN	35
4.1 KONSTRUKCE STOJANU	35
4.2 POHONNÁ JEDNOTKA.....	37
4.3 ZAPOJENÍ POHONNÉ JEDNOTKY	38
5 VYUŽITELNOST K VÝUCE.....	40
5.1 NÁVRH POSTUPU VYUŽITÍ V PŘEDMĚTU KMP	40
5.2 DISKUZE K NAVRŽENÉMU ŘEŠENÍ.....	43
6 ZÁVĚR.....	45
Seznam použité literatury.....	46
Seznam příloh	47

Seznam symbolů a jednotek

P_e	efektivní výkon motoru	[kW]
M_m	kroutící moment motoru	[Nm]
n	otáčky motoru	[1/min]
i	počet válců	[-]
V_M	zdvihový objem motoru	[cm ³]
p_e	střední efektivní tlak	[MPa]
P_L	litrový výkon	[kW/dm ³]
P_S	plošný výkon	[kW/dm ²]
ξ	součinitel poměru zdvihu k vrtání	[-]
V_K	kompresní objem motoru	[dm ³]
C_S	střední zdvihová rychlost	[m/min]
D	průměr vrtání válce	[mm]
Z	zdvih pístu	[mm]
ε	kompresní poměr	[-]
τ	součinitel 4-dobého motoru =4	[-]
m	hmotnost modelu	[Kg]
π	Ludolfovo číslo =3,1415	[-]
g	gravitační zrychlení =9,80665	[m/s ²]
S	průřez nosníku	[mm ²]
S_c	celkový průřez nosníku	[mm ²]
F	zatěžující síla	[N]
σ	napětí v tlaku	[MPa]
σ_D	dovolené napětí v tlaku	[MPa]
n_1	výstupní otáčky elektromotoru	[1/min]
n_2	otáčky modelu	[1/min]
i_p	převodový poměr převodovky	[-]
z	počet zubů řetězového kolečka	[-]
f	frekvence	[Hz]
P_j	jmenovitý výkon elektromotoru	[kW]
M_j	jmenovitý kroutící moment elektromotoru	[Nm]
M_{PJ}	výstupní kroutící moment pohonné jednotky	[Nm]
U	napětí	[V]

C	kapacita kondenzátoru	[μ F]
P _{EM}	výkon elektromotoru na jednu fázi	[kW]
M _{EM}	kroutící moment elektromotoru na jednu fázi	[Nm]
M _P	kroutící moment na výstupu přev. na jednu fázi	[Nm]
CO ₂	oxid uhličitý	[g/km]
Al	hliník	
Si	křemík	
Cu	měď	
Ni	nikl	
Mg	hořčík	

1 Úvod

Smyslem fyzických výukových modelů s částečnými řezy je jejich názornost při výuce funkcí výrobku. Jsou vhodné pro specialisty i pro laickou veřejnost. Tyto fyzické modely zvyšují atraktivnost studia.

S fyzickými modely se setkáváme ve vstupních halách či jednacích místnostech výrobců pro konkretizaci řešení dílčích problémů, dále na výstavách pro popularizaci veřejnosti a získání zákazníka, v muzeích pro uvedení možností řešení a v neposlední řadě i při specializované výuce a zpopularizování bakalářského studia.

Pístový spalovací motor je velice častým případem pro vytváření výukových modelů. Jedná se zde o poměrně složitý celek, skládající se z mnoha komponent jako je klikový mechanismus uzavřený ve skříni motoru, ventilových rozvodů a dalšího příslušenství jako jsou olejová a vodní čerpadla, olejové chladiče, kompresory, posilovače řízení, vstřikovací systémy a různá sací potrubí. Toto vše vytváří dostatečný prostor pro zviditelnění vnitřních pohybujících se částí, vhodně tvarovanými řezy za účelem vizuálního pochopení funkce.

Cílem bakalářské práce je zhotovit takový fyzický výukový model motoru, který svým uspořádáním a dílenskou úpravou maximálně zpřístupní pohled na vnitřní části motoru a jejich funkci. Jeden z hlavních požadavků je zpopularizovat bakalářské studium na katedře vozidel a motorů (KVM).

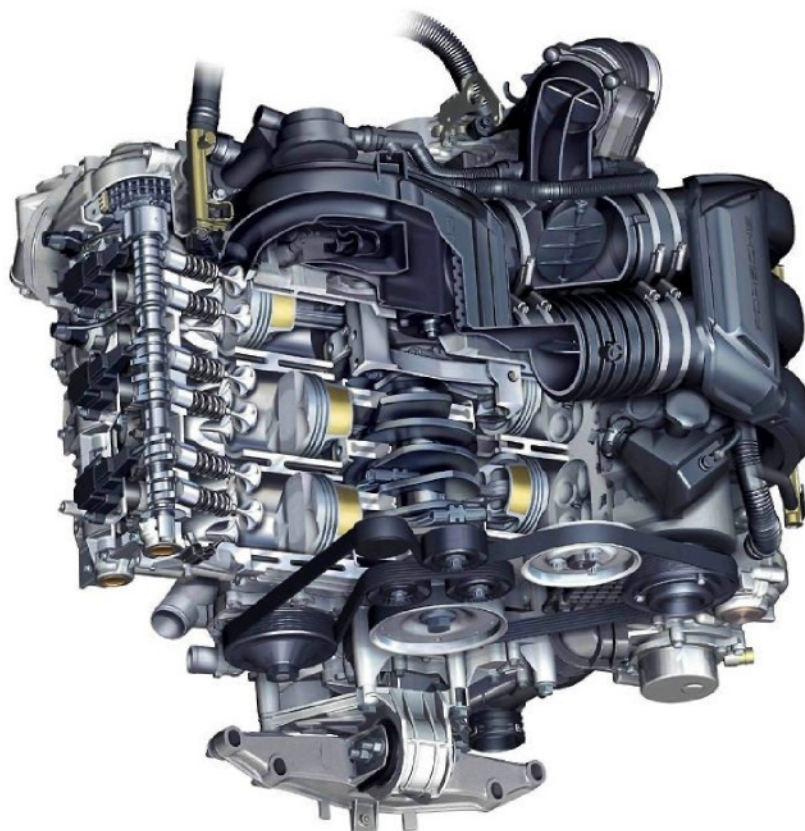
Realizace výukového modelu byla provedena na současně vyráběném motoru německé automobilky Dr. Ing. h.c. F. Porsche AktienGesellschaft typ 987 (Boxster S a Cayman S), motor do V 180° (boxer) M97/21, objemu 3,4 [litrů], rok výroby 2004. Motor byl plně funkční po testech, které na něm prováděla přímo automobilka Porsche.

2 SBĚR DAT K MOTORU M97/21

Předmětem výukového modelu je motor PORSCHE M97/21 viz obr. 1. Při sběru dat k motoru bylo použito odborné literatury [3, 4] a poznatků z demontáže motoru, případně metalografických výbrusů.

Jedná se o 4-dobý zážehový, 6-ti válcový motor s atmosférickým plněním o objemu 3,4 [litrů] uspořádaný do V180° (s protiběžnými písty typu boxer), chlazený kapalinou. Tento motor se vyrábí od roku 2004 do současnosti.

Motor má plynulou změnu časování sacích ventilů (VarioCam Plus), čtyř ventilovou techniku s hydraulickými zdvihátky a proměnnými zdvihy, rozvody DOHC, integrované mazání se suchou klikovou skříní, elektronické řízení motoru (Bosch Motronic ME 7.8 – 40), sekvenční vstřikování paliva (Multipoint), regulace klepání individuálně pro každý válec, dvoustupňové variabilní rezonanční sací potrubí. Jako příslušenství zde najdeme kompresor pro klimatizaci a posilovač řízení.

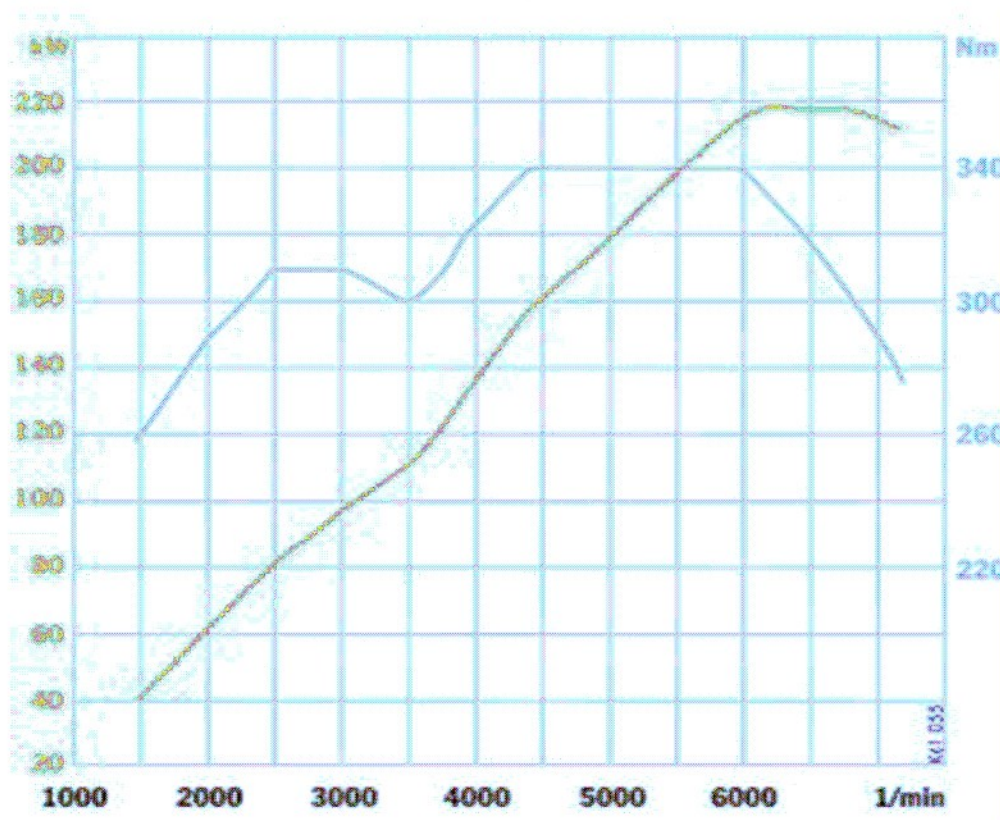


Obr. 1 Motor Porsche M97/21 [<http://auto.porsche.cz/modely/boxster/boxster-s/boxster-v-detailu/pohon>]

2.1 VÝKONOVÉ PARAMETRY

Typ	V 180° (boxer), zážehový, atmosférický, vodou chlazený
Počet válců / ventilů [ks]	6 / 24
Zdvihový objem [cm³]	3 387
Vrtání / Zdvih [mm]	96 / 78
Pořadí zapalování [-]	1-6-2-4-3-5
Výkon [kW/k při 1/min]	217 / 295 - 6250
Krouticí moment [Nm při 1/min]	340 - 4400-6000
Kompresní poměr [-]	11,1:1
Volnoběžné otáčky motoru [1/min]	670
Max. otáčky motoru [1/min]	7300
Hmotnost [Kg]	230

Tab. 1 Výkonové parametry | <http://auto.porsche.cz/modely/boxster/boxster-s/technicka-specifikace> |



Obr. 2 Výkonové parametry motoru M97/21
|<https://techinfo.porsche.com/techinfo/index.jsp>|

Dopočítané parametry motoru M97/21:

Střední efektivní tlak:

$$p_e = \frac{P_e \cdot 30 \cdot \tau}{V_M \cdot n} = \frac{217 \cdot 30 \cdot 4}{3,387 \cdot 6250} = 1,23 [\text{MPa}] \quad (1)$$

Litrový výkon:

$$P_L = \frac{P_e}{V_M} = \frac{217}{3,387} = 64,068 \left[\frac{\text{kW}}{\text{dm}^3} \right] \quad (2)$$

Plošný výkon:

$$P_s = \frac{P_e}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot i} = \frac{217}{\frac{\pi \cdot 96^2}{4} \cdot 6} = 49,973 \left[\frac{\text{kW}}{\text{dm}^2} \right] \quad (3)$$

Součinitel poměru zdvihu k vrtání:

$$\xi = \frac{Z}{D} = \frac{78}{96} = 0,813 [-] \quad (4)$$

→ podčtvercový

Kompresní objem:

$$V_K = \frac{V_M}{(\varepsilon - 1)} = \frac{3,387}{(11,1 - 1)} = 0,335 [\text{dm}^3] \quad (5)$$

Střední zdvihová rychlost:

$$C_s = \frac{Z \cdot n}{30} = \frac{78 \cdot 6250}{30} = 16250 \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] = 16,25 \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \quad (6)$$

2.2 POPIS MOTORU

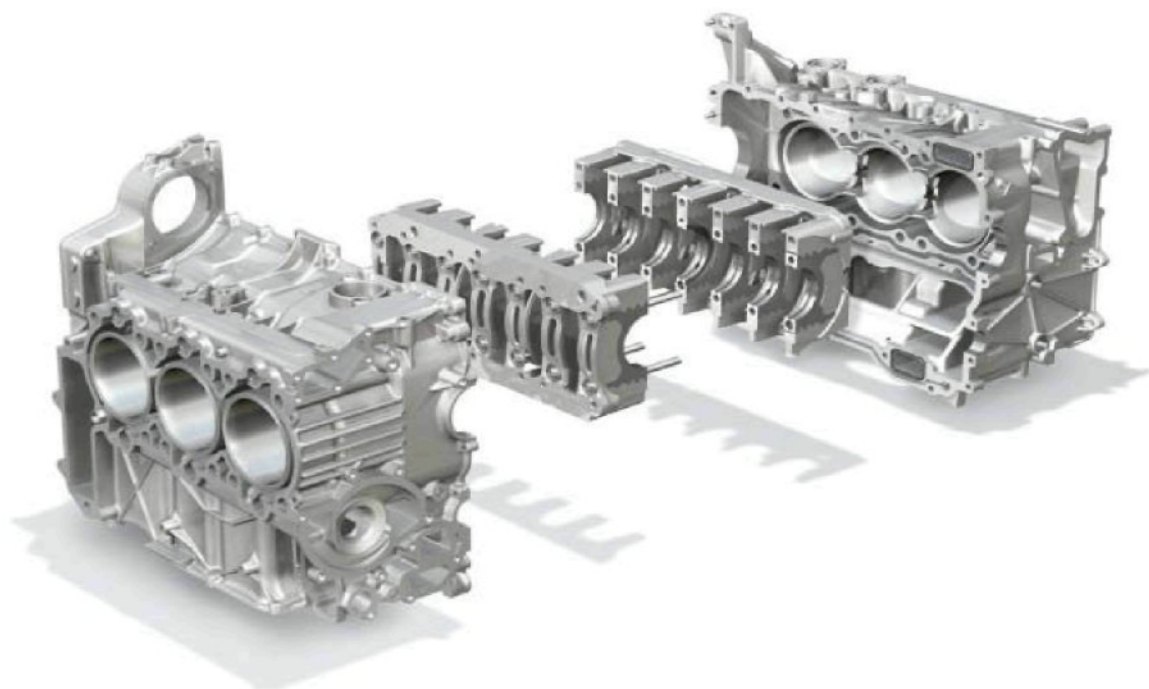
Jednotlivé díly a celky jsou podrobně nafoceny a zdokumentovány. V příloze na DVD nosiči najdeme i podrobnou dílenskou příručku s jednotlivými sestavami. Při popisu motoru bylo použito literatury [1, 3, 4, 5].

2.2.1 BLOK VÁLCŮ, KLIKOVÁ SKŘÍŇ

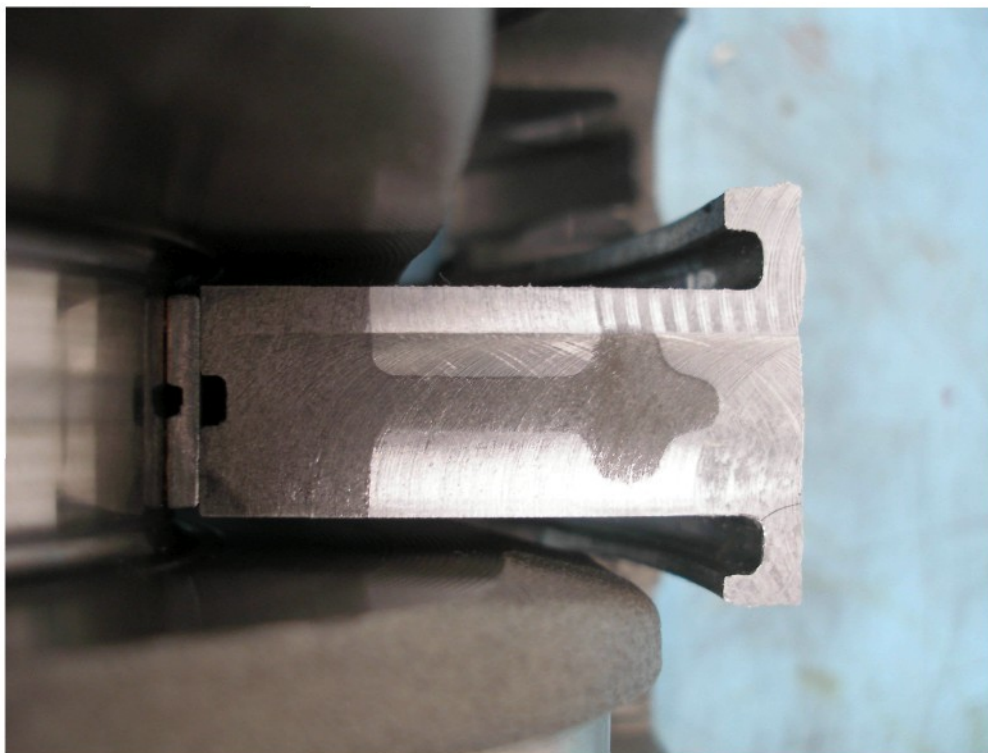
Blok válců je ze slitiny hliníku (AlSiCu) je vyráběný vysokotlakým litím. Bloky válce jsou dva a jsou děleny vertikálně v ose klikového hřídele.

Vložky jsou vytvořeny kvazimonoliticky, lokálním utvářením povrchu (vysokotlaká infiltrace částí formy - LOKASIL). Lokasil vytváří lokální materiál s vysokou koncentrací křemíku (Si) na kluzném povrchu válce viz obr. 7. Pro tento účel jsou ve formě vloženy vysoce pórovité vložky z křemíku, které jsou během lícího procesu pod vysokým tlakem infiltrovány do povrchu válců odlitku bloku viz obr. 5, 6. Výborné tribologické vlastnosti jsou způsobeny sražením primárního křemíku. Vzhledem k tomu, že jde o vysokotlaké lití levné základní hliníkové slitiny, je tento způsob vhodný pro sériovou výrobu.

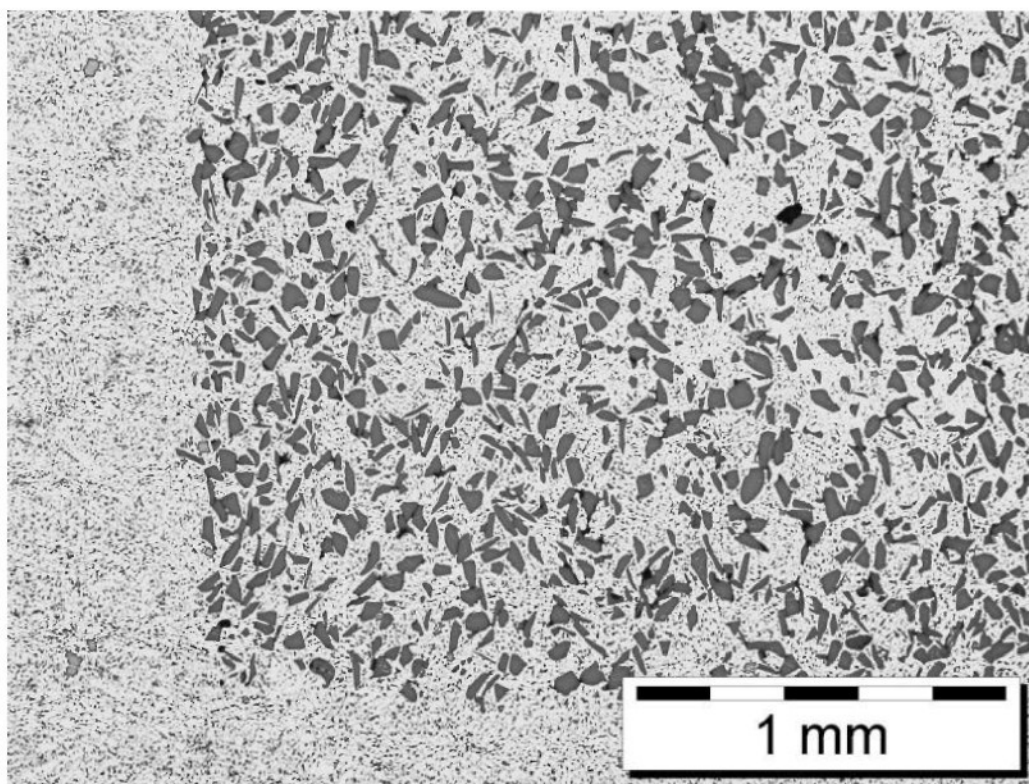
Oba dva bloky válců mezi sebou svírají klikovou skříň, viz obr. 3, která je vyrobena převážně ze slitiny hliníku se zalitými výztuhami z oceli pro zvýšení tuhosti skříně a v místech šroubových spojení viz obr. 4. Kliková skříň má sedm kluzných radiálních ložisek mazaných tlakovým olejem a jedno axiální ložisko uprostřed. Celek bloku válců a klikové skříně je centrován kolíky a stažen přes hlavy motoru šrouby.



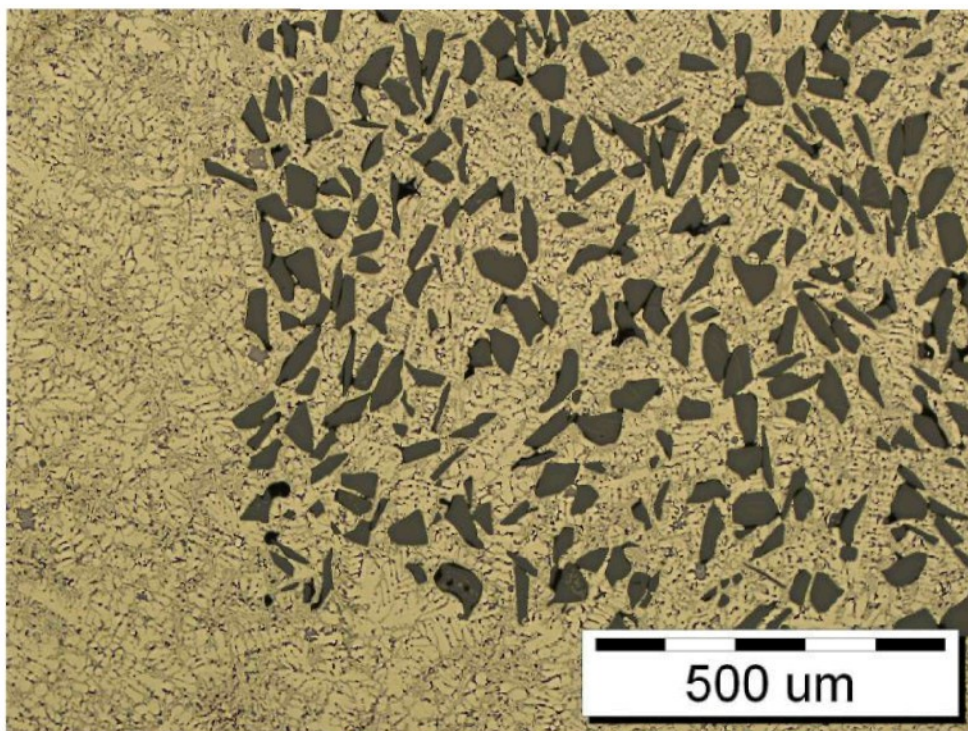
Obr. 3 Blok válců, kliková skříň | 26. Internationales Wiener Motorensymposium
2005 |



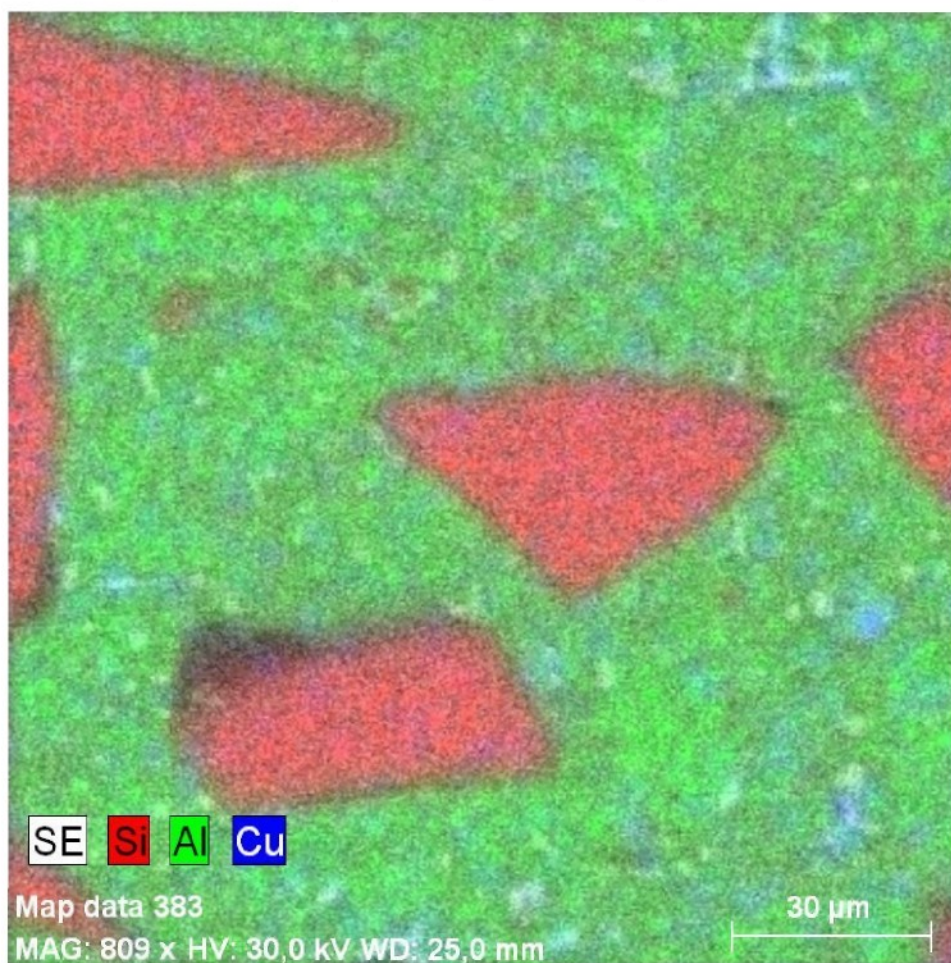
Obr. 4 Výztuhy klikové skříně |foto dokumentace autora|



Obr. 5 Metalografický výbrus přechodu bloku válců a LOKASILOVÉ vložky
|elektronový mikroskop|



Obr. 6 Metalografický výbrus přechodu bloku válců a LOKASILOVÉ vložky
[elektronový mikroskop]



Obr. 7 Detail slitiny LOKASIL [spektrální analýza]

2.2.2 KLIKOVÝ MECHANIZMUS, ROZVODY

Kliková hřídel je kovaná, sedmkrát zalomená s mazacími otvory pro mazání ojnicních ložisek, díky přirozenému vyvážení 6-ti válcového motoru nemá další vývažky či vyvažovací hřídele.

Písty jsou z eutektické slitiny hliníku (AlSi12CuNiMg). Mají tři pístní kroužky, dva těsnící a jeden stírací. První pístní kroužek od dna pístu, je ocelový vypouklý typu BALLIG tloušťky 1,3 [mm], jeho kluzná část je pokovená tvrdochromem. Těsní horké plyny ve spalovacím prostoru od klikové skříně, je v oblasti vysokých teplot a předává ze všech pístních kroužků 60 [%] tepla z pístu do stěn válce. Druhý pístní kroužek má vyšší účinek stírací, je nosový se zkosením tloušťky 1,5 [mm], bez povrchové úpravy pokovením pro zachování ostré hrany. Třetí pístní kroužek je stírací, odstraňuje přebytečné množství oleje. Je složen ze tří dílů, dva tenké kroužky, mezi nimiž je vložen zvlněný kroužek (expandér) je tlustší než ostatní kroužky, má tloušťku 2 [mm]. Drážka pro stírací kroužek má otvory skrz píst, kterými se odvádí přebytečný olej.

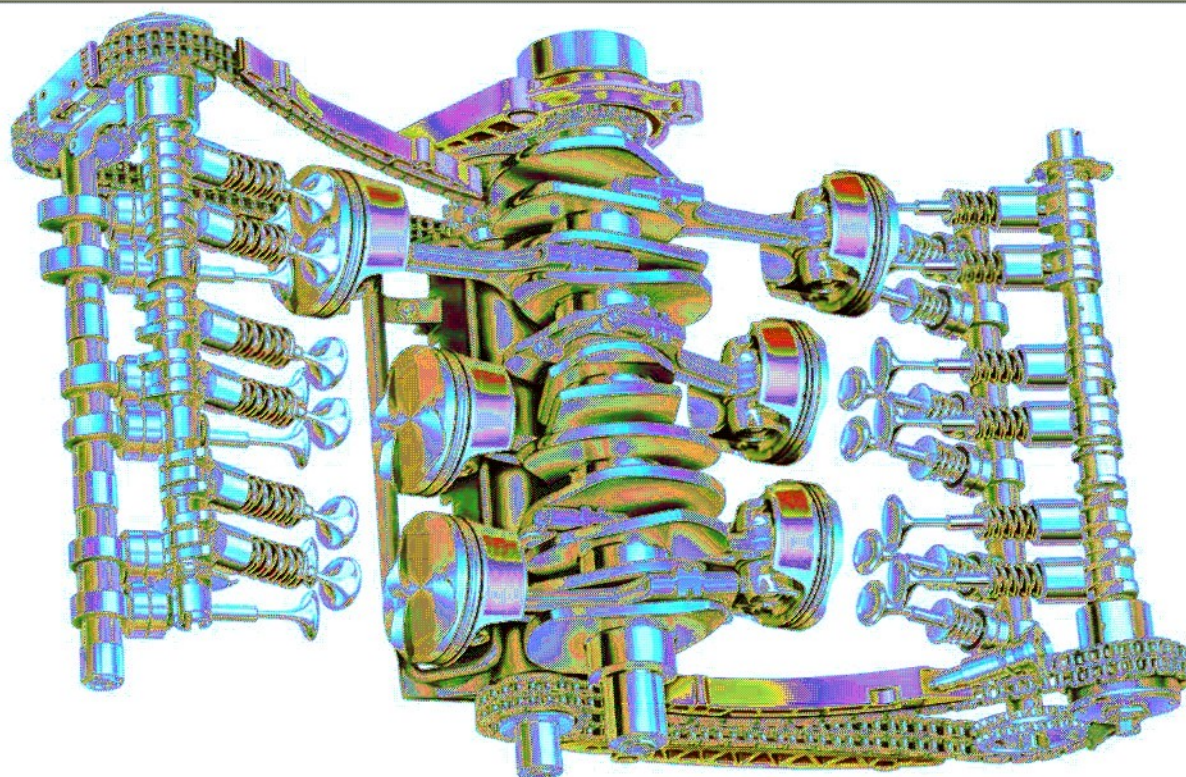
Ojnice jsou z oceli a mají trhané dosedací plochy. Pístní čep je plovoucí (volně uložený v pístu i ojnici) a zajištěn pojistnými kroužky.



Obr. 8 Zkompletovaný píst s ojnicí a pístními kroužky |foto dokumentace autora|

Motor má rozvody DOHC což znamená dva vačkové hřídele v hlavě válců, u motoru typu boxer se to znásobuje, protože má dvě hlavy válců. Vačkové hřídele jsou poháněny dvouřadým válečkovým řetězem. Rozvodové řetězy jsou vedeny na rozvodovou hřídel, která se nachází pod klikovou hřídelí, od které je poháněna přes článkový řetěz, viz obr. 9. Tato hřídel také pohání olejové čerpadlo, které je umístěno zvenčí motoru.

Hlavy motoru jsou ze slitiny (Si6Cu4).



Obr. 9 Klikový mechanismus, rozvody |26.Internationales Wiener Motorensymposium 2005 |

Za zmínku také stojí montáž klikového mechanismu, kdy je kliková hřídel vložena a smontována do klikové skříně spolu s ojnicemi 4,5,6 (pravé), poté je celá skříň chycena k bloku válců 1, 2, 3 (levý blok). Písty s ojnicemi 1, 2, 3 (levé) jsou vsunuty horem do válce a smontovány s klikovou hřídelí klasicky. Dále je přiložen blok válců 4, 5, 6 (pravý blok), vycentrován kolíky a chycen šrouby. Písty 4, 5, 6, jsou vsunuty do válců horem a skrz celý motor smontovány s ojnicemi pístními čepy a zajištěny pojistnými kroužky. Boční otvor

v bloku válců 4, 5, 6 (pravý blok) viz obr. 10 je zvenčí uzavřen šroubovací zátkou. Slouží pro vložení pístních čepů a pojistných kroužků.

Pro porovnání, motory boxer od Subaru nemají speciální skříň pro klikovou hřídel. Kliková křídél s ojnicemi je vložena mezi oba bloky motoru. Všechny písty jsou vsunuty do válců hore. Dále jsou bokem motoru nasunuty všechny pístní čepy do pístů a smontovány s ojnicemi.

Toto řešení vypadá jednodušeji, ovšem hlavní rozdíl je v uložení klikové hřídele, která je u Porscheho uložena v tuhé skříni a tím méně namáhá blok válců. U Subaru je kliková hřídel uložena přímo v bloku válců, který musí být robustnější.



Obr. 10 Otvory pro smontování pístních čepů | foto dokumentace autora |

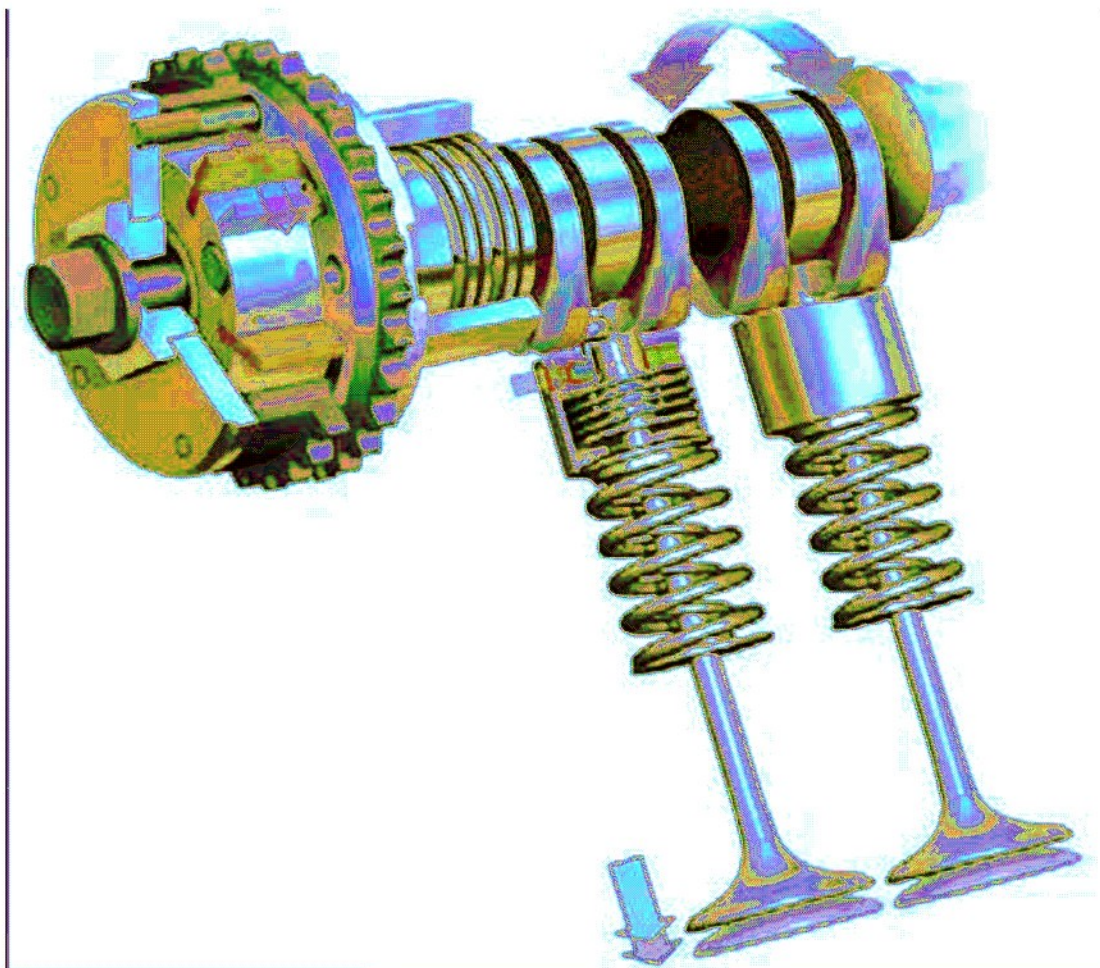
2.2.3 PROMĚNNÉ ČASOVÁNÍ

Proměnné časování VarioCam Plus je realizováno hydraulicky viz obr.11. Řídící jednotka vyšle signál hydraulickému ventilu. Ten pouští požadované množství tlakového oleje do bubnu na sací vačce, kde jsou 4 radiální lamely, které natáčejí rozvodové řetězové kolečko. Polohu vačky snímá Hallova sonda.

Čtyři ventily na válec jsou s přímým náhonem od vačky a jsou ovládány přes hydraulická zdvihátka, která vymezují vůli mezi ventilem a vačkou. Dva sací ventily jsou $\varnothing 40$ [mm] a dva výfukové $\varnothing 30$ [mm].

Proměnná výška zdvihu sacích ventilů je realizována zdvihátkem, které je dělené na dvě. Malé (střední) zdvihátko je pevně opřené o ventil a chodí podle malé (střední) vačky. Když je čep ve velkém zdvihátku hydraulicky posunut a zablokován s malým zdvihátkem, chodí ventil podle velké vačky (dvě po stranách) a má o 8,5 [mm] větší zdvih. Což se projevuje na lepším plnění válce a tím dochází k lepšímu průběhu točivého momentu v nižších otáčkách.

V příloze na DVD nosiči se nachází video se simulací proměnného časování i funkcí pro změnu zdvihu ventilu.



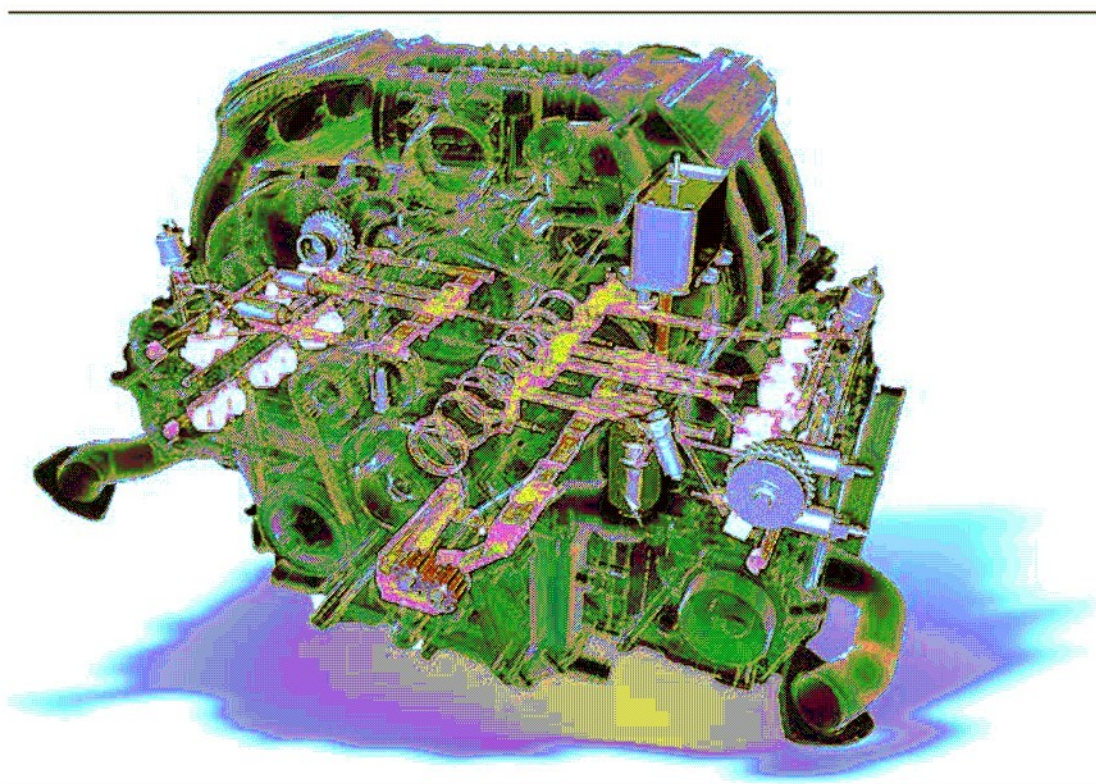
Obr. 11 VarioCam Plus |26.Internationales Wiener Motorensymposium 2005 |

2.2.4 OLEJOVÝ SYSTÉM

Motor je mazán tlakovým olejem z vany motoru obr. 12. Zubové čerpadlo s vnějším ozubením, tlačí olej přes soustavu kanálků ke všem potřebným místům v motoru. Tlakový olej je zde používán pro mazání a chlazení, ale i pro hydraulická zdvihátka, proměnné zdvihy a proměnné časování. Olejová soustava má také olejový chladič, který nejprve ohřeje olej od chladicí kapaliny a dále udržuje jeho provozní teplotu.

Olejový systém má dvě přečerpávací čerpadla s vnitřním ozubením (Gerotor). Pastorek s vnějším ozubením má o jeden zub méně než kolo s vnitřním ozubením. Při otáčení jsou zuby ve stálém styku, to zaručuje nízkou hladinu hlučnosti. Během jedné poloviny otáčky se olej nasává do jednotlivých mezer (mezery se zvětšují), v druhé polovině otáčky je olej vytlačován (mezery se zmenšují). Čerpadla jsou v hlavě válců a jsou poháněny od výfukové vačky, přivádějí olej z hlav motoru přes odpěňovač do olejové vany motoru.

Přečerpávací čerpadla jsou u motoru typu boxer nutností. Pro zajištění rychlé dopravy mazacího oleje do vany motoru, aby nedošlo k zavzdušnění sacího olejového koše.



Obr. 12 Olejový systém |26.Internationales Wiener Motorensymposium 2005 |

2.2.5 REZONANČNÍ SACÍ POTRUBÍ

Tento motor má atmosférické plnění, takže je velice důležité správné naladění sacího potrubí, aby se do válců dostalo co nejvíce vzduchu. O to se stará na dvě části rozdělené sací potrubí, které je zakončeno rezonanční klapkou viz obr. 13. Tu ovládá řídicí elektronika motoru (Bosch Motronic ME 7.8 – 40) v předem definovaných otáčkách tak, aby bylo pomocí cílených pulsací nasávaného vzduchu dosaženo účinnějšího plnění válců. Dvě rezonanční klapky v sání jsou ovládané podtlakovými ventily. Dlouhé potrubí je potřeba při nízkých otáčkách, kdežto při vysokých otáčkách je potřeba krátké sací potrubí.

Výsledkem je vyšší točivý moment v nízkých otáčkách, jeho mnohem plynulejší průběh a vysoký výkon ve vysokých otáčkách.



Obr. 13 Rezonanční sací potrubí |

<http://auto.porsche.cz/modely/boxster/boxster-s/boxster-v-detailu/pohon>



Obr. 14 Škrťací klapka a rezonanční klapka | foto dokumentace autora |

2.2.6 VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

Tvoření směsi je zajištěno vstřikováním paliva (benzín) přímo na sací ventily elektromagnetickým sekvenčním vstřikováním (MPI). Tímto způsobem je docíleno kvalitní stechiometrické směsi paliva se vzduchem, ale i co nejmenší spotřeby paliva. Palivo se vstřikuje pod tlakem 2,5 [MPa] pro každý válec zvlášť. Tento typ vstřikování je podobný vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail.



Obr. 15 Zásobník vstřikování paliva | foto dokumentace autora |



Obr. 16 Vstřikovací tryska | foto dokumentace autora |

2.2.7 VÝFUKOVÁ SOUSTAVA

O čištění výfukových plynů z motoru se starají dva tříložkové katalyzátory (reakční prvky: platina, rhodium a palladium), jeden pro každou řadu válců. Lambda sondy před a za každým katalyzátorem, hlídající účinnost katalyzátoru, měří obsah kyslíku ve výfukových plynech a komunikují zpětně s řídicí jednotkou motoru. Ta řídí přípravu palivové směsi. Řídicí jednotka také reguluje každou řadu válců zvlášť, aby se docílilo nízkých výfukových emisí.

Výfukové potrubí má okruh, kterým přisává do výfukového systému vzduch, tím se dosahuje větší účinnosti katalyzátoru a menších škodlivin ve výfukových plynech.

Tyto motory splňují evropské emisní normy EURO 4 i americké LEV 2 (emise $\text{CO}_2 = 254 \text{ [g/km]}$).



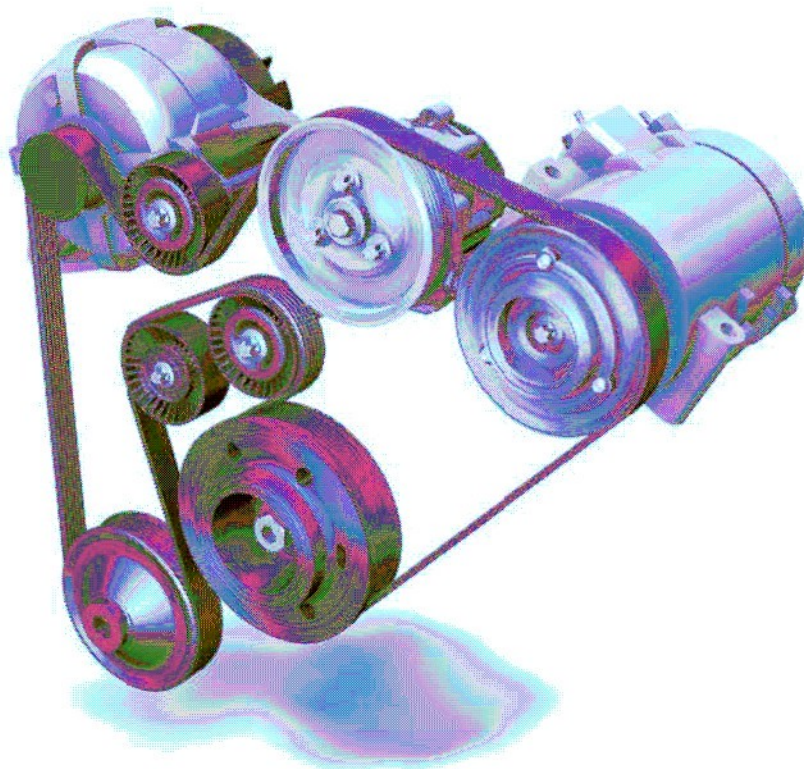
Obr. 17 Výfukové svody s katalyzátorem a lambda sondy | foto dokumentace autora |

2.2.8 PŘÍSLUŠENSTVÍ

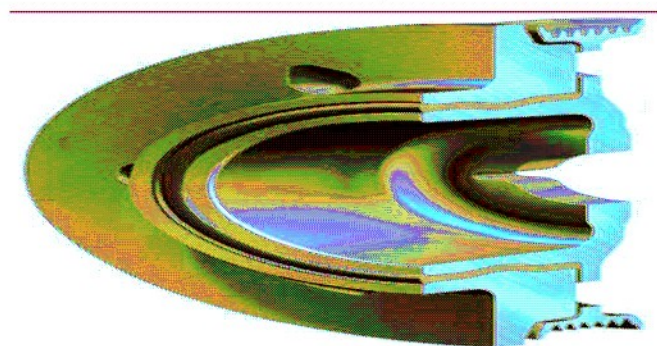
Na motoru je umístěno a přímo od klikové hřídele přes řemen poháněno příslušenství viz obr. 18. Alternátor 2.1 [kW] na obrázku vlevo nahoře, vodní čerpadlo (dole vlevo), posilovač řízení (uprostřed nahoře) a kompresor pro klimatizaci ve vozidle (vpravo).

Kompresor je na řemenici, která má elektromagnetickou spojku, takže když není klimatizace zapnutá, kompresor je odpojený a neodebírá motoru výkon.

Hnací řemenice (dole vpravo) má pružící prvky pro tlumení torzních vibrací viz obr. 19.



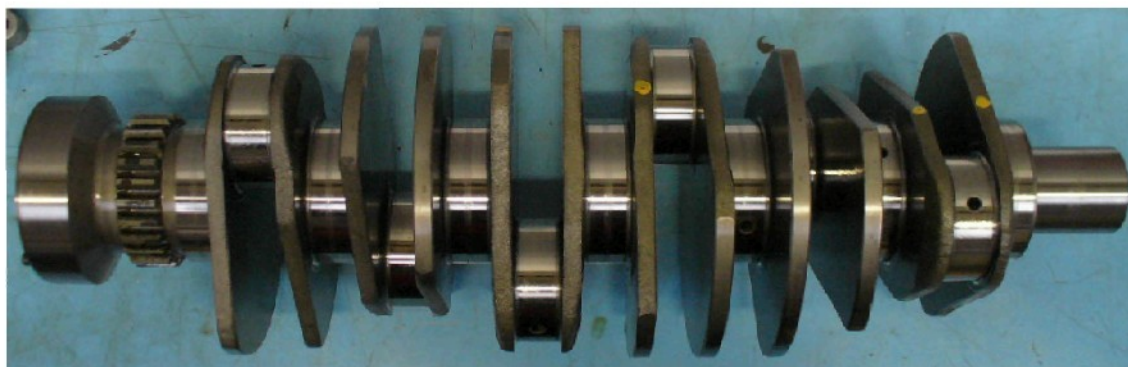
Obr. 18 Příslušenství motoru | 26.Internationales Wiener Motorensymposium 2005 |



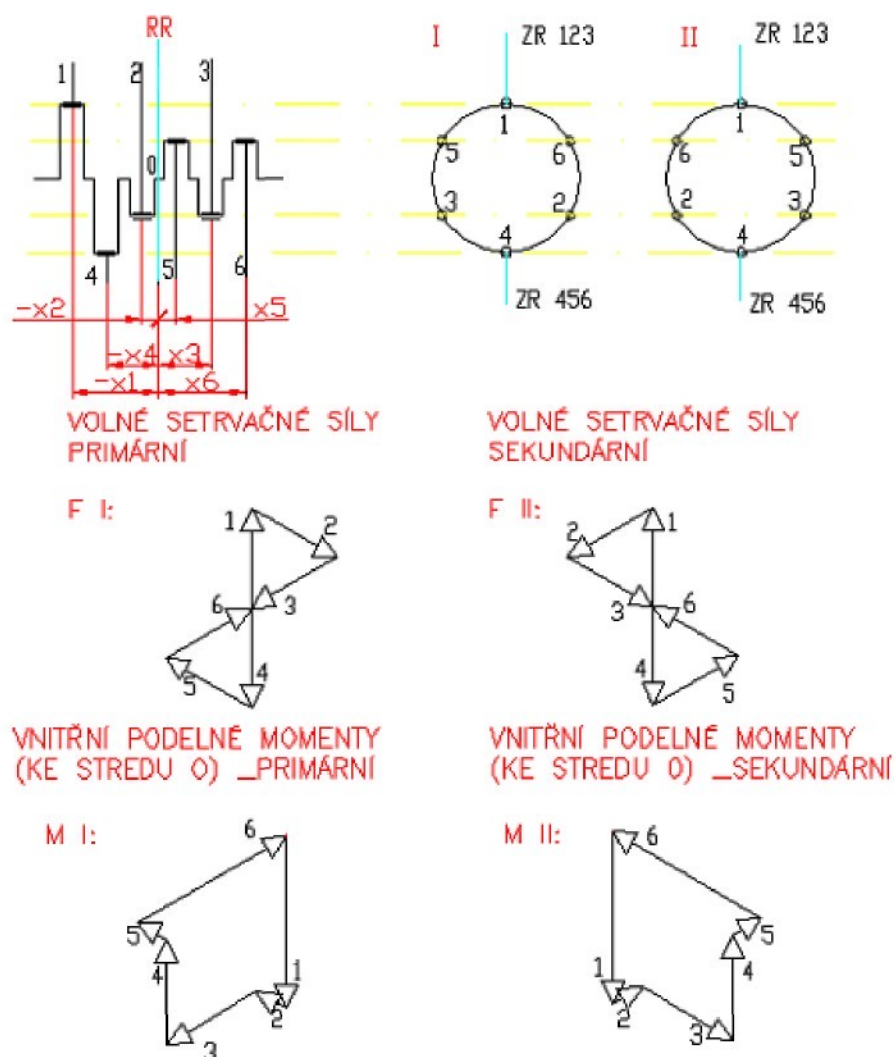
Obr. 19 Hnací řemenice | 26.Internationales Wiener Motorensymposium 2005 |

2.2.9 VYVÁŽENÍ MOTORU

Ploché motory s protiběžnými písty, obzvláště šesti válců jsou přirozeně velice dobře vyvážené a tak tento motor nepotřebuje žádné vývažky či vyvažovací hřídele. Z grafické metody viz obr. 21 je jasné vidět přirozená vyváženost 1. a 2. řádu motoru od posuvných a rotačních hmot.



Obr. 20 Kliková hřídel | foto dokumentace autora |



Obr. 21 Grafická metoda vyvážení motoru | autor |

2.3 ZÁSTAVBA MOTORU VE VOZIDLE

Tento motor se používá v silnějších verzích roadsteru Boxster S a sportovního coupé Cayman S viz obr. 22 a 23. Motor je uložen uprostřed před zadní nápravou, převodovka je umístěna za zadní nápravou. Toto řešení ve výsledku znamená skvělé vyvážení vozidla a tím i jeho dobré jízdní vlastnosti. Nevýhodou je absence druhé řady sedadel, ale zavazadlový prostor je na sportovní typ vozidla velký, u Boxsteru S je zmenšen skládací střechou.



Obr. 22 Zástavba vozidla Boxster S

| <http://auto.porsche.cz/modely/boxster/boxster-s/servis-individualizace> |



Obr. 23 Zástavba vozidla Cayman S

| <http://auto.porsche.cz/modely/cayman/cayman-s/servis-individualizace> |

2.4 JÍZDNÍ VLASTNOSTI

Boxster S i Cayman S jsou nejmenší modely od automobilky Porsche. Jsou postaveny pro užitek z jízdy, tomu odpovídá jak vybavení vozidla tak jeho jízdní vlastnosti. Ty jsou, jak už je u automobilky Porsche zvykem nadprůměrné.

Vozidlo	Boxster S	Cayman S
Délka [mm]	4 329	4 341
Šířka [mm]	1 801	1 801
Výška [mm]	1 295	1 305
Rozvor [mm]	2 415	2 415
Počet míst	2	2
Zavazadlový prostor [l]	280	410
Pohotovostní hmotnost [Kg]	1 345	1 350
Koeficient odporu vzduchu Cx [-]	0,30	0,29
Max. rychlost [km/h]	272	275
Zrychlení 0-100 [s]	5,4	5,4
Komb. spotřeba [l/100km]	10,6	10,6

Tab. 2 Jízdní vlastnosti. | Porsche Engineering Services, s.r.o. |

3 ČÁSTEČNÉ ŘEZY MOTOREM

Motor má sloužit jako výukový model, proto jsou částečné řezy motorem a jeho příslušenstvím z celé práce nejdůležitější. Požadavek na částečné řezy se odvíjel od typu motoru (boxer) a jeho zvláštností od ostatních motorů, což jsou hlavně protiběžné písty, proměnné zdvihy sacích ventilů, proměnné časování, rezonanční sací potrubí, dvě vačky v hlavě válců (DOHC) a další.

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit výukový model a ukázat z motoru Porsche co nejvíce věcí, ale i zachovat alespoň polovinu motoru v původním stavu.

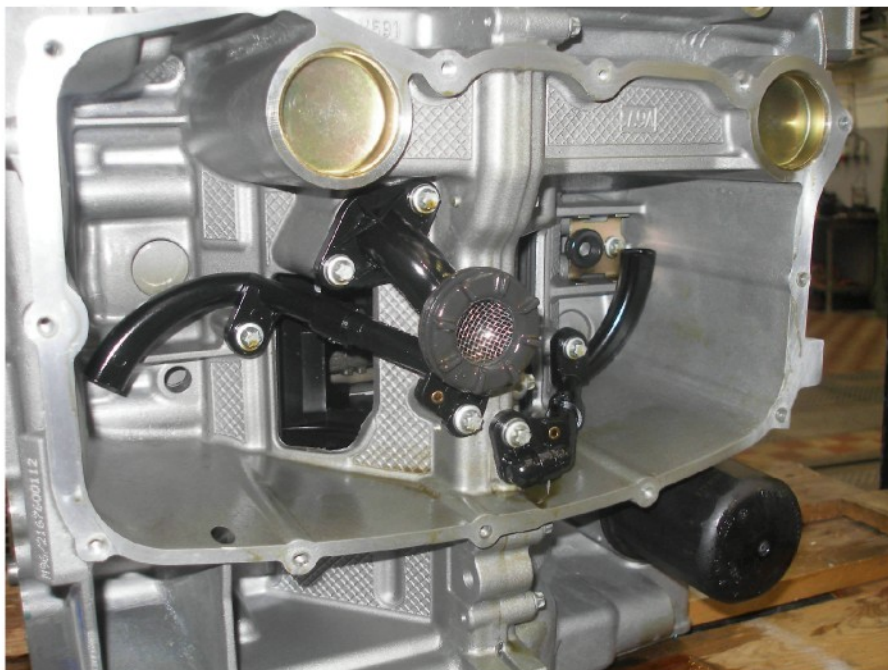
3.1 NÁVRH ČÁSTEČNÝCH ŘEZŮ

Při návrhu částečných řezů šlo hlavně o ukázání všech důležitých částí a příslušenství motoru, ale také o to zachovat z motoru co nejvíce součástí. K jejich návrhu bylo k dispozici pár fyzických modelů motorů a fotografií z různých řezů motorů ostatních automobilek. Většinou se jednalo o stojaté řadové motory s počtem válců od čtyř do šesti, což se nedalo dost dobře použít pro ležatý motor V180° s protiběžnými písty (boxer). Tyto fotografie pomohly, při vyvarování se chyb, kterých se na nich dopustili jejich autoři. Zejména šlo o dílenské zpracování částečných řezů, které nebyly začištěny s viditelnými dráhami po nástrojích. Také barevná úprava řezů a jednotlivých sekcí (chladící kapalina, tlakový olej, sací a výfukové potrubí) byly často přepřelávané všemi možnými barvami a provedení nátěrů odfláknuté. Zajímavé řešení bylo nechat jednotlivé díly pokovit chromem. Toto řešení je vhodné pro modely na výstavy pro oslovení zákazníka. Kdežto jako učební pomůcka je vhodnější ponechat z jednotlivých dílů co nejvíce a tedy i vzhled. Je tu sice nebezpečí koroze, ale model je nutné kvůli možnosti pohonu udržovat namazaný olejem, tím se omezuje riziko koroze. Žádný z prostudovaných modelů motorů nebyl poháněn, proto nebylo možno využít jejich řešení, jak nejvíce zmenšit pasivní odpory. Z toho důvodu jsou odstraněny všechny nepotřebné součásti, které tvoří pasivní odpory. Jako například: kluzná ložiska na klikovém hřídeli, pístní kroužky, píst číslo 6, který není vidět, pružiny napínáku rozvodových řetězů, hydraulická zdvihátka, která nejsou vidět.

Problém představovalo zachování řemenu pro pohon příslušenství. Ten je veden přes pět řemenic a tři napínací kladky. Řemenice patří alternátoru, posilovači řízení, kompresoru a vodnímu čerpadlu. Tyto součásti jsou rozměrné a komplikují pohled do řezu motoru. Všechny komponenty motoru musely i po řezech držet po hromadě, což dost ovlivňovalo vedení řezů.

Sací potrubí vede přes celý motor. Proto bylo nutné jej říznout tak, aby z něj zůstala podstatná část pro názornost, ale také tak, aby nepřekáželo pro náhled na ostatní řezy motorem. I tak je ale pohled na všechny řezy omezený.

Řezy olejovou vanou motoru jsou zbytečné, protože uchycení motoru ve stojanu a výfukové svody by je zakryli natolik, že by z nich nebylo nic vidět, jde jen o sací koš oleje, viz obr. 24.



Obr. 24 Olejová vana se sacím košem | foto dokumentace autora|

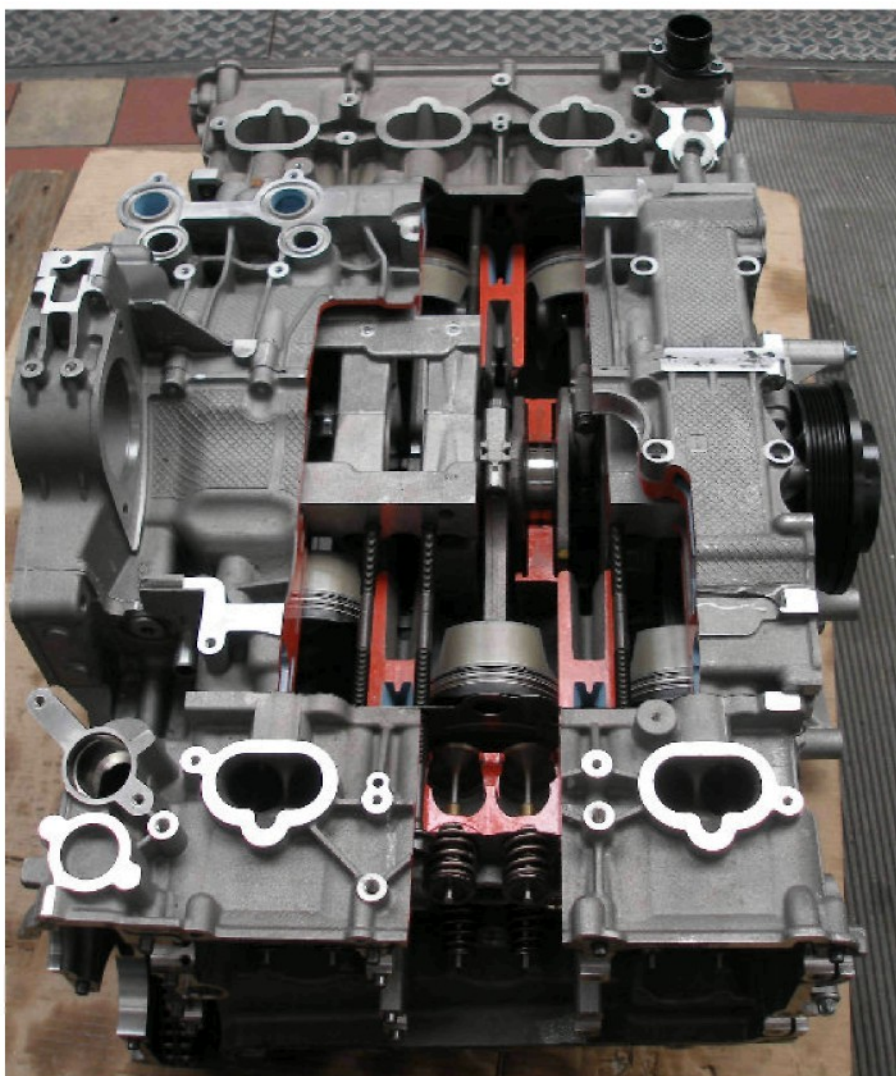
3.2 REALIZACE ČÁSTEČNÝCH ŘEZŮ

Řezy byly většinou prováděny na vertikální konzolové frézce s použitím běžných obráběcích fréz z nástrojové oceli. Jednoduché a malé řezy byly zhotoveny na pásové pile a začištěny pilníkem. Kvůli velkým rozměrům a nemožnosti ideálního upnutí jednotlivých částí motoru jsou především na hlavě válců vyfrézované schody, což neovlivňuje názornost učební pomůcky.

Všechny provedené řezy jsou označeny červenou barvou, aby bylo zřejmé, co se na motoru obrábělo. Pro orientaci v dutinách motoru jsou kanály pro chladicí kapalinu natřeny světle modrou barvou. Jsou použity modelářské barvy AGAMA, které se dají pořídit ve spoustě odstínů.

Pro názornost bylo částečně vyfrézováno pět ze šesti válců a jedno ložisko z klikové skříně viz obr. 25. Takže je vidět pět pístů, z kterých ovšem

byly odstraněny pístní kroužky (kvůli zmenšení pasivních odporů), šestý píst chybí. Pro názornost jsou na druhý píst zpět dolepeny všechny pístní kroužky, respektive jejich části. V modelu motoru zůstaly všechny ventily, až na šestý válec, který není v řezu. Vidět je též víc jak polovina klikového hřídele a jeho kluzná ložiska i s mazacími drážkami.



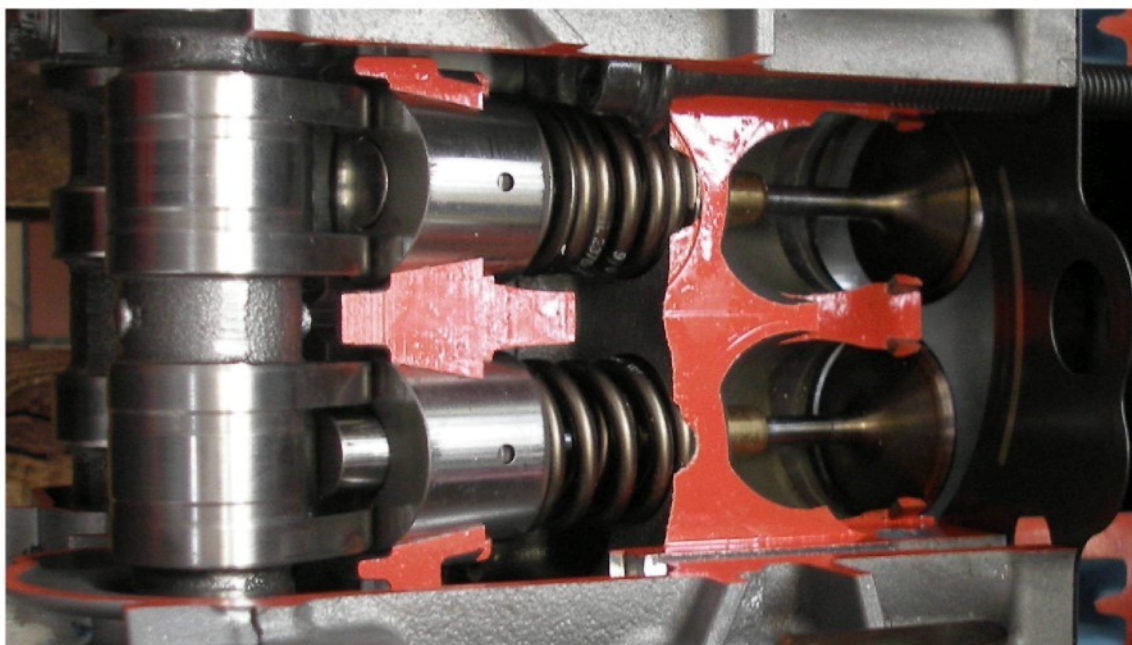
Obr. 25 Hlavní řezy motorem | foto dokumentace autora |

Z hlav motoru byla jedna ponechána kompletní, aby byla vidět mohutnost motoru a druhá hlava byla na druhém (prostředním) válci říznuta až k sacím ventilům. Kde je vidět vedení ventilů, sedla ventilů i hydraulická zdvihátka.

Kvůli zmenšení pasivních odporů jsou vyndána ventilová zdvihátka, která nejsou vidět. Tím došlo k znehybnění ventilů, až na válce 2 a 3, které byly ponechány ve funkci. Jedno sací zdvihátko ve druhém válci je zablokováno na

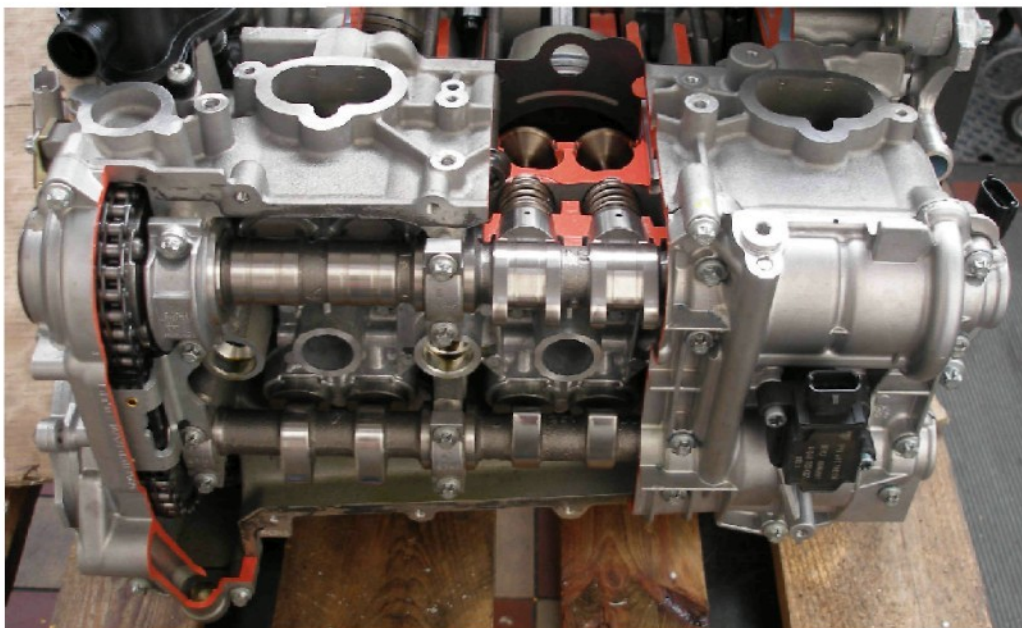
velký zdvih. Druhé je ponecháno volně, aby znázornilo rozdíl zdvihů sacích ventilů.

V provozu jsou zdvihátka napojena kanálky na rozvod tlakového mazacího oleje, kterým se vymezuje vůle ventilu a vačky. Na modelu nelze udržet tlakový olej, proto jdou zdvihátka zhruba 1 [mm] naprázdno. Až potom se opřou o ventil a tím jsou zdvihy ventilů zmenšeny o vůli ve zdvihátku. Tlakovým olejem je přes řídící ventil posouván čep v sacím zdvihátku. Tím se spojí obě části děleného zdvihátka a ventil má větší zdvih, viz obr. 26.



Obr. 26 Zdvihátka na sacích ventilech | foto dokumentace autora |

Na hlavě válců (1, 2, 3) byl také rozříznut kryt vaček. Ten částečně plní funkci uložení vaček, proto je z něj odstraněna jen ta část, která slouží jako kryt. To stačí pro náhled na rozvodový řetěz, vačkové hřídele a otvory pro elektrohydraulické rozvaděče viz obr. 27.



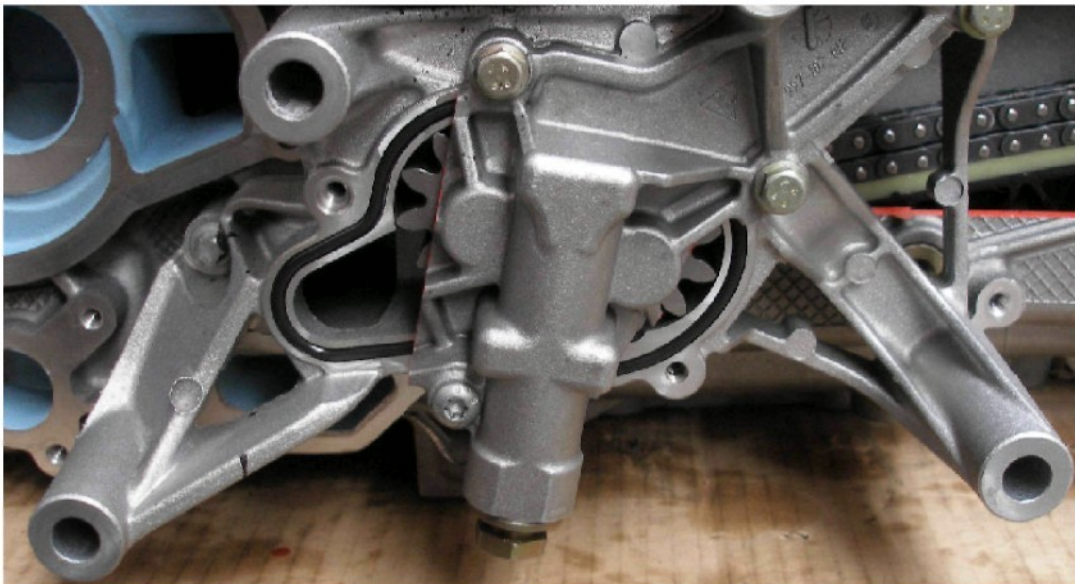
Obr. 27 Řez víkem hlavy | foto dokumentace autora |

Rozvodový řetěz a vodící lišty napínáku řetězu jsou vidět z boční strany bloku motoru pro válce (4, 5, 6) viz obr. 28. Tímto otvorem je vidět i kanálek pro dopravu oleje z přečerpávacího čerpadla do vany motoru.

Dva malé řezy jsou též na hlavním olejovém čerpadle s vnějším ozubením, kde jsou vidět obě ozubená kola. Po roztočení motoru je vidět i smysl jejich otáčení a tím i směr dopravy oleje viz obr. 29.

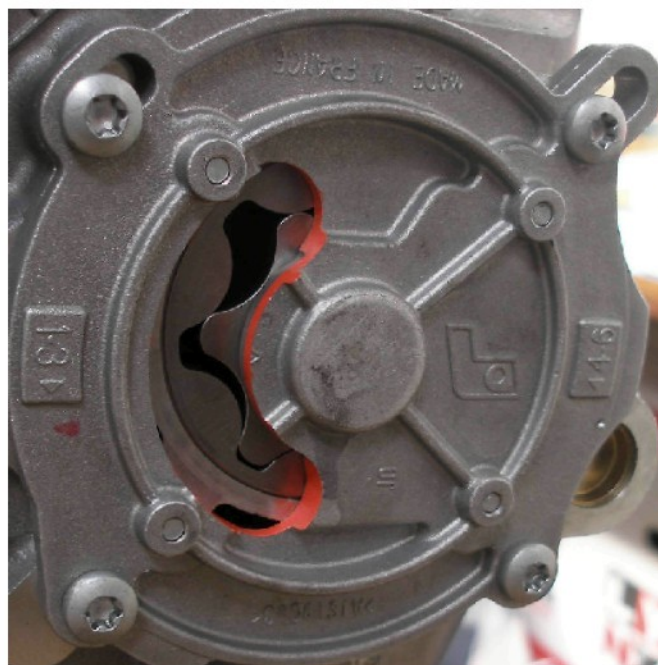


Obr. 28 Řez bokem motoru | foto dokumentace autora |

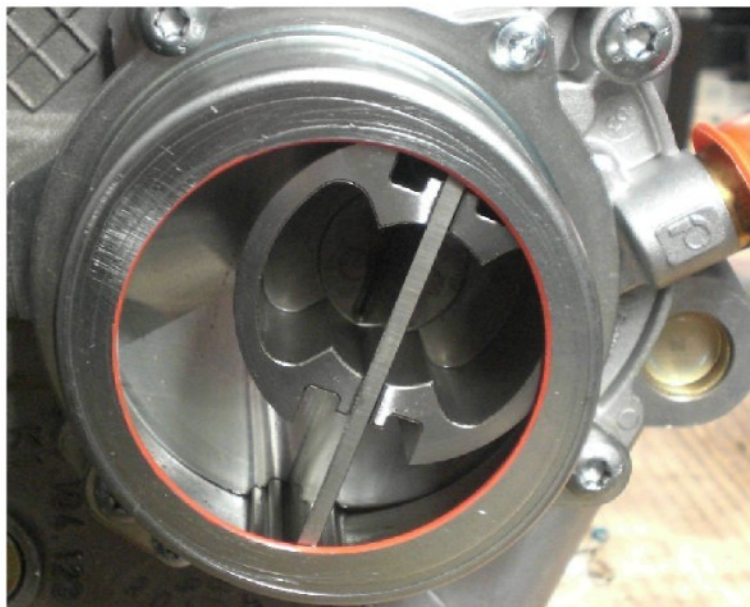


Obr. 29 Řez hlavním olejovým čerpadlem | foto dokumentace autora |

Další částečné řezy jsou na přečerpávajícím čerpadle viz obr. 30 a na lopatkovém čerpadle viz obr. 31. Přečerpávací čerpadlo je v každé hlavě a slouží pro rychlejší přesun mazacího oleje z hlav válců do vany motoru. Lopatkové čerpadlo je pouze jedno, byla z něj odstraněna celá čelní plocha. Je poháněno od přečerpávacího čerpadla na hlavě válců 4, 5, 6. Za upozornění stojí elipsovitý tvar lopatkového čerpadla a řešení utěsnění třecích ploch. Obě čerpadla se při pohonu modelu otáčejí jako při provozu.



Obr. 30 Řez víkem přečerpávacího čerpadla | foto dokumentace autora |



Obr. 31 Řez lopatkovým čerpadlem | foto dokumentace autora |

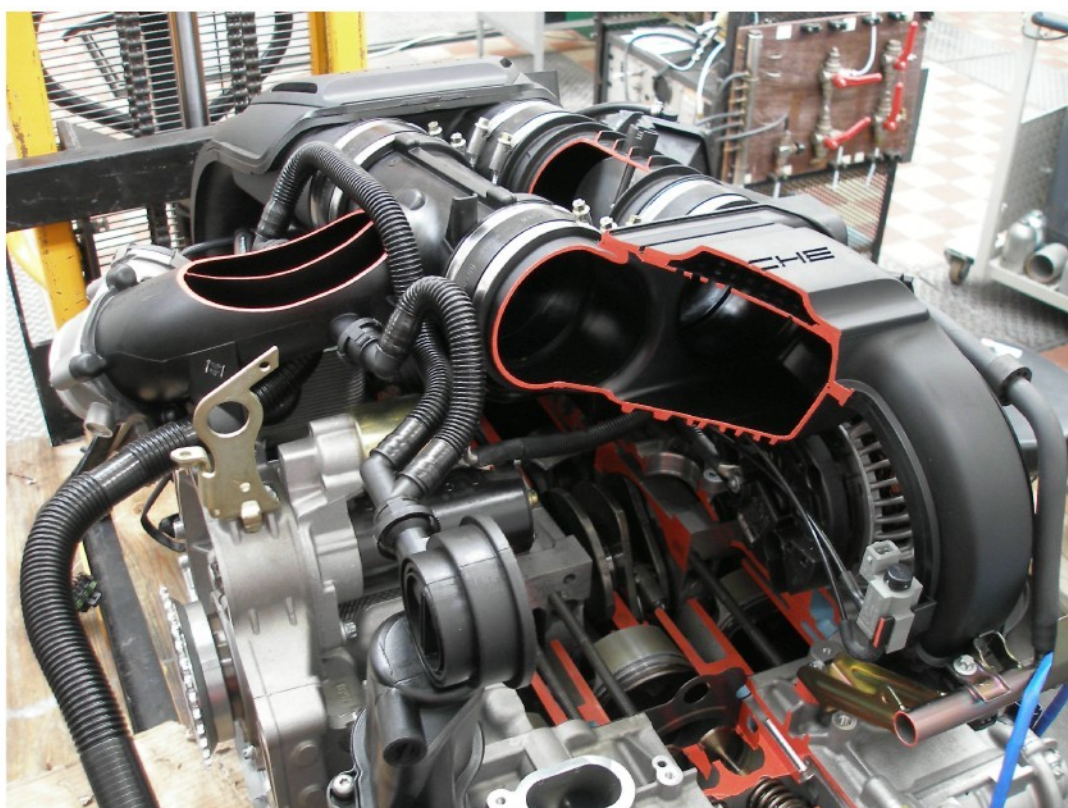
Přímo na motoru je umístěn olejový chladič, který je napojen na chladící kapalinu. Celý chladič, až na dno a víko, je vyroben z lisovaných hliníkových plechů, které dobře vedou teplo. Tímto chladičem byl veden svislý řez pro ukázkou velikosti teplosměnné plochy a složitosti chladiče. Také zde jsou natřeny dutiny pro chladící kapalinu.



Obr. 32 Řez olejovým chladičem | foto dokumentace autora |

Elektroinstalace byla zachována pro jednu hlavu motoru kompletní. Na druhé hlavě je ponechána pouze cívka pro první válec. Kabeláž motoru jde v poměrně složitém svazku přes celý motor, proto byla většina kabeláže odstraněna, aby bylo vidět do řezů. Jednotlivé senzory a čidla jsou na modelu zachovány, i když nejsou připojeny na elektroinstalaci motoru.

Jedny z největších řezů jsou na sacím potrubí. Tyto řezy byly komplikované díky tomu, že sací potrubí jde přes celý motor a tím zakrývá skoro všechny řezy na motoru. Jedna strana motoru (hlava válců 4, 5, 6) zůstala kompletní a tak jsou na ní zachovány celé sací kanály ke každému válci. Na druhé hlavě 1, 2, 3 zůstal jeden sací kanál k prvnímu válci, aby sání drželo pohromadě. Obě části sání jsou spojeny trubicemi s rezonančními klapkami, tyto klapky jsou vidět dalšími průřezy v sání, viz obr. 33.



Obr. 33 Řez rezonančním sacím potrubím | foto dokumentace autora |

Palivový systém je velice jednoduchý, jedná se o dva zásobníky kapalného paliva (benzín) na každé hlavě válců. Tyto zásobníky jsou spojeny palivovou hadicí, do které ústí i přívod paliva. Na konci každého zásobníku paliva je odvzdušňovací ventilek. Palivový systém byl ponechán kompletní pro

válce 4, 5, 6. Pro druhou hlavu válců je rozříznut za prvním válcem viz obr. 34, jedná se o tenkostěnnou trubku. Při podrobnějším pohledu je vidět i vstřikovací tryska, která je ovládána elektromagnetem.



Obr. 34 Řez palivovým zásobníkem | foto dokumentace autora |

Z výfukového systému motoru jsou na modelu zachovány kompletní svody z každé hlavy válců zvlášť a dva třicestné katalyzátory. Katalyzátor na hlavě 1, 2, 3 má naříznutý obal, aby bylo vidět tvar kanálků katalyzátoru, které jsou čtyřhranného průřezu v keramickém nosiči. Tímto otvorem je vidět i lambda sonda před katalyzátorem. Lambda sonda za katalyzátorem je vidět přírubou na konci výfukových svodů.



Obr. 35 Řez obalem katalyzátoru | foto dokumentace autora |

4 STOJAN

Požadavky na stojan plynou ze zadání bakalářské práce. Má jít o reprezentativní model i se stojanem, který bude nejspíše stát na veřejném místě (např. menza), proto musí být co nejstabilnější, tuhý a estetický. Kvůli váze motoru a jeho snadnější manipulaci je stojan pojízdný. Dále je v něm umístěna pohonná jednotka. Jde o elektromotor se šnekovou převodovkou, která slouží k pohonu klikového mechanismu, ventilových rozvodů a příslušenství motoru.

Konstrukce stojanu není náročná na výrobu ani na potřebné vybavení. Proto byl skoro celý stojan vyroben v dílnách KVM (katedra vozidel a motoru). Tvarové plechy byly řezány jemnou plazmou, ve firmě JINOVA s. r. o.

4.1 KONSTRUKCE STOJANU

Stojan je vyroben z klasických normalizovaných ocelových profilů TR 4HR 30x30x2 [mm] a TR OBD 50x30x2 [mm] z dobře svařitelné oceli 11 373, kvůli snížení váhy celého modelu jsou tenkostěnné.

Aby se zvýšila tuhost má rám čtyři stojky nahoře i dole svázané svařenými profily, dolní základna TR OBD 50x30x2 [mm] má prodloužené nohy pro uchycení koleček. Kolečka jsou nábytková jejich nosnost je cca 100 [kg]. Jsou čtyři na otočných čepech s axiálními ložisky. Konstrukce pojezdových koleček je vyrobena z plechu tloušťky 2[mm], osa koleček je ocelová stejně jako ráfek, na kterém je pryžový plášť. V místech uložení koleček je rám vyztužen ocelovými pouzdry, která jsou zavařena do konstrukce. Pro demontáž stačí vytáhnout kolečka z pouzder. Jsou v nich zajištěny rozpěrnými kroužky. Otevřené konce profilů jsou zaslepeny normalizovanými plastovými záslepkami.

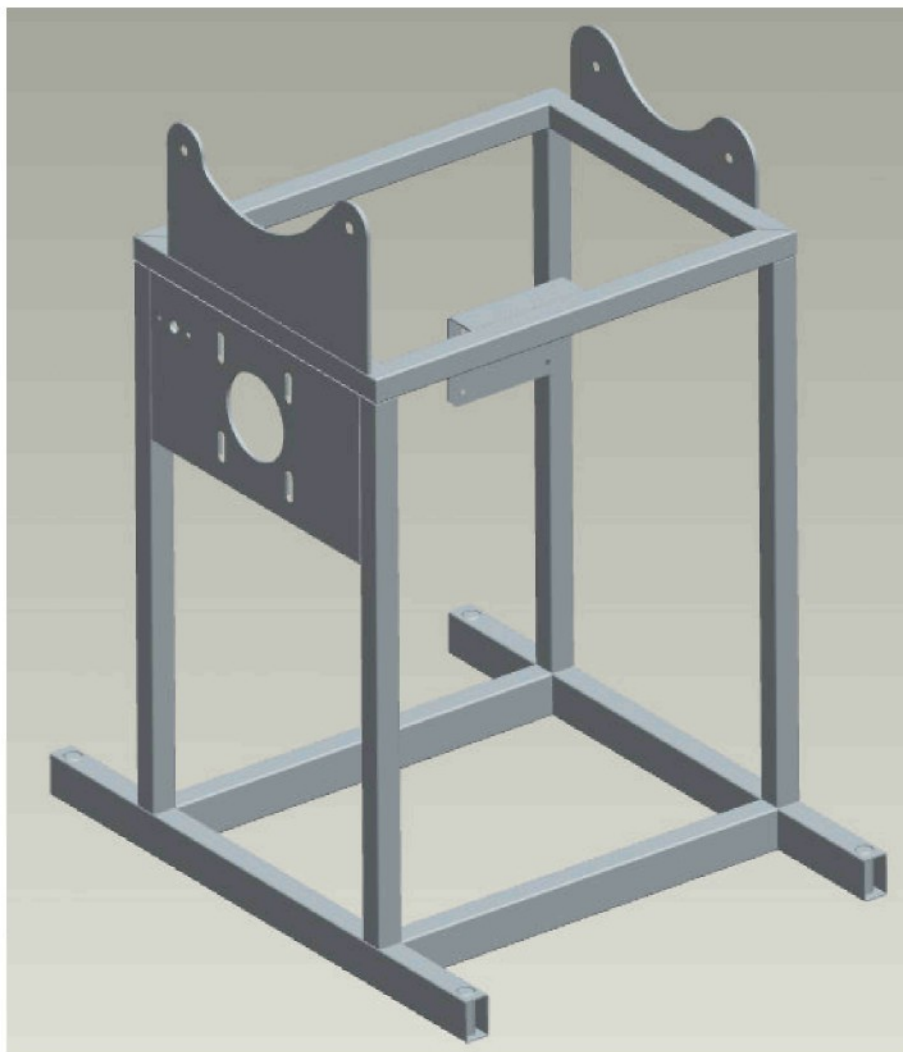
Motor je k rámu uchycen čtyřmi šrouby přes tvarově vypalované plechy tloušťky 5 [mm], které jsou k rámu přivařeny. Pro upnutí jsou použity dvě závitové díry z příruby pro uchycení převodovky M10 a M12x1,5. Na druhé straně je upevněn přes dvě závitové díry M10, kterými byl původně uchycen silentblok. Ten drží motor ve vozidle. Silentblok není součástí modelu, protože by clonil výhledu na olejové čerpadlo.

Pohonná jednotka, elektromotor se šnekovou převodovkou, od firmy TOS Znojmo, je umístěna uvnitř rámu. To díky její váze cca 25 [kg] snižuje těžiště modelu. Je posuvně upnuta na plechu tloušťky 5 [mm], čtyřmi šrouby M10x30 v drážkách pro napínání řetězu, kterým je spojena s klikovou hřídelí.

Dále je k rámu přivařen plech tloušťky 2[mm], na který je umístěna izolovaná krabice pro rozběhový kondenzátor a motorový jistič. Na čelní ploše rámu je umístěn tahový vypínač, kterým se celý pohon spouští a vypíná.

Zezadu čelního plechu je přivařen háček na umístění smotaného napájecího kabelu, který má délku 3[m].

Celý rám je nastříkán černou lesklou barvou, aby působil nerušícím dojmem.



Obr. 36 Konstrukce stojanu (svařenec) | 3D model v Pro/ENGINEERU |

Konstrukce rámu stojanu je kontrolována na tlak:

$$m = 250[\text{kg}]$$

$$g = 9.81[\text{m/s}^2]$$

$$S = 208.7[\text{mm}^2]$$

$$\sigma_D = 300[\text{MPa}]$$

$$S_c = S \cdot 4 = 208.7 \cdot 4 = 834.8[\text{mm}^2] \quad (7)$$

$$F = m \cdot g = 250 \cdot 9.81 = 2452.5[\text{N}] \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{F}{S_c} = \frac{2452.5}{834.8} = 2.938[\text{MPa}] \quad (9)$$

$$\sigma \leq \sigma_D \Rightarrow 2.938 \leq 300 \Rightarrow \text{vyhovuje} \quad (10)$$

4.2 POHONNÁ JEDNOTKA

Model je pohyblivý z důvodu větší názornosti učební pomůcky. To sebou nese řadu problémů, jako například tření a nutnost dobrého mazání styčných ploch. Z toho důvodu je také zvolena nízká rychlost pístu. Kliková hřídel se otočí jednou za čtyři sekundy, tj. $n_2=15$ [1/min].

Pro pohon modelu byl zvolen elektromotor s přídatnou šnekovou převodovkou. Elektromotor je od firmy Siemens 1LA7083-6AA12, je to tří-fázový šesti pólový asynchronní motor s otáčkami $n_1=910$ [1/min], frekvencí $f=50$ [Hz], jmenovitým výkonem $P_j=0,55$ [kW] a kroutícím momentem $M_j=3,683$ [Nm]. Šneková převodovka od firmy TOS Znojmo MRT80A-60-FF-R/V1 je použita kvůli velkému převodovému poměru $i_p=60$ [-]. Výstupní otáčky jsou $n_2=15$ [1/min], proto už další převod není potřeba. Řetězová kolečka na výstupu pohonné jednotky a klikového hřídele mají stejný počet zubů $z=35$. Výstupní kroutící moment pohonné jednotky je $M_{pj}=221$ [Nm]. Přenos momentu z výstupní hřídele převodovky na motor je realizován přes válečkový jednořadý řetěz, původně z motocyklu Simson.

. Šneková převodovka je v uzavřené skříni se stálou náplní mazacího oleje, takže bez údržbová. Celý komplet je prodáván jako stavebnice takže není problém oba komponenty smontovat.

Řetězová kolečka jsou ke klikové a k výstupní hřídeli převodovky uchyceny přes ocelové příruby, které jsou povrchově upraveny poniklováním.



Obr. 37 Pohonná jednotka | foto dokumentace autora |

4.3 ZAPOJENÍ POHONNÉ JEDNOTKY

Aby bylo možné spouštět model i v běžných učebnách je potřeba napájet pohonnou jednotku jedno-fázovým napětím $U=230$ [V]. Elektromotor těchto parametrů se nevyrábí a tak je zvolen tří-fázový elektromotor, který je napájen pouze jednou fází a při chodu mu pomáhá rozběhový kondenzátor. Tyto kondenzátory jsou dva, zapojeny paralelně s celkovou kapacitou $C=65$ [μ F]. Takto zapojený elektromotor je schopen chodu pouze na jednu fázi ovšem s nižším výkonem, který se pohybuje okolo $2/3$ jmenovitého výkonu.

$$P_{EM} = P_j \cdot \left(\frac{2}{3}\right) = 0,55 \cdot \left(\frac{2}{3}\right) = 0,367[kW] \quad (11)$$

Kroutící moment je také nižší a neměl by být nižší než ½ kroutícího momentu elektromotoru.

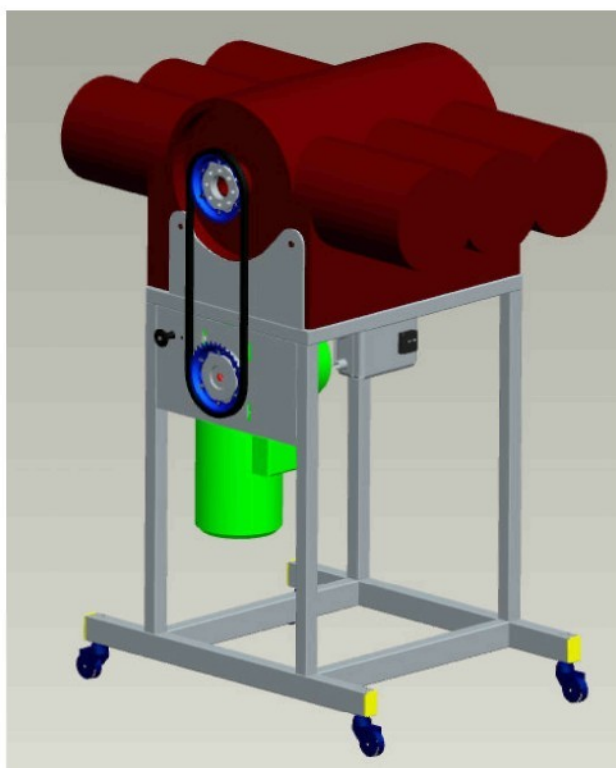
$$M_{EM} = M_j \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 3,683 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 1,842[Nm] \quad (12)$$

$$M_p = M_{pj} \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 221 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 110,5[Nm] \quad (13)$$

Při měření odporu modelu motoru bylo naměřeno momentovým klíčem, nejvíce 67 [Nm] při záběru vačky do sacího ventilu. Při záběru do výfukového ventilu bylo naměřeno pouze 50 [Nm]. Z toho vyplývá, že je výkon i potřebný kroutící moment dostačující.

Takto zapojený elektromotor se bude více zahřívat než při běžném zapojení na tři fáze. To nevadí vzhledem k tomu, že je motor chlazen vestavěným ventilátorem. Jeho doba chodu by neměla přesáhnout víc jak 10 [min], což je dostatečná doba k názornému ukázání funkcí.

Schéma zapojení elektroinstalace je zobrazeno v příloze č. 2.



Obr. 38 Kompletní rám s pohonnou jednotkou | 3D model v Pro/ENGINEERU |

5 VYUŽITELNOST K VÝUCE

Navržený výukový model motoru Porsche je vhodný k výuce bakalářského studia v předmětu KMP (konstrukce motorů a převodovek) a rovněž magisterského studia v zaměření PSM (pístové spalovací motory), předmětu PSM (pístové spalovací motory) a KPI (konstrukční projekt I.)

5.1 NÁVRH POSTUPU VYUŽITÍ V PŘEDMĚTU KMP

V bakalářském předmětu KMP (konstrukce motorů a převodovek) se probírají základní funkce a konstrukce pístových spalovacích motorů a ostatního příslušenství. Ty jsou na výukovém modelu dobře zřetelné a díky pohonné jednotce, také dobře názorně pochopitelné.

Jsou zde k vidění běžné součásti, které najdeme ve všech pístových spalovacích motorech, jako je například:

Klikový mechanismus,

kliková hřídel je kovaná, sedmkrát zalomená bez větších vývažků díky přirozenému vyvážení šesti válcového motoru.

Pístní sada,

písty jsou hliníkové, odlehčené s opláštěváním kluzným povlakem (zlatavá barva), pro zachycení normálové síly. Má tři pístní kroužky, první pístní kroužek je těsnicí typu BALLIG (vypouklý) s pokovením kluzné plochy tvrdochromem. Druhý pístní kroužek je také těsnicí s vyšším účinkem stíracím, typu nosový (zápich a zkosení) bez pokovení, pro zachování ostré hrany. Třetí pístní kroužek je stírací, je složen ze dvou tenkých kroužků, mezi nimiž je vložen zvlněný kroužek tzv. expandér. Pístní čep je volně uchycen v pístu i oku ojnice a je zajištěn dvěma pojistnými kroužky. Ojnice jsou ocelové s trhanými dosedacími plochy a kluznými ložisky.

Ventilové rozvody DOHC,

(double overhead camshafts) dva vačkové hřídele v hlavě motoru, jedna vačka pro sací ventily a druhá pro výfukové ventily s přímým náhonem přes hydraulická zdvihátka na ventily.

Čtyři ventily na válec,

dva sací ventily, průměru 40 [mm] a dva výfukové ventily, průměru 30 [mm] na jeden válec. Ventily jsou odlehčené s dříkem průměru 6 [mm]. Sací ventily mají dvě vinuté pružiny pro zavírání ventilů, výfukové ventily jsou zavírány kuželovými vinutými pružinami.

Olejoyé čerpadlo s vnějším ozubením,

mazací olej je do potřebných míst tlačěn soustavou kanálků z olejové vany motoru přes sací koš olejovým čerpadlem s vnějším ozubením. Jde o dvě spolu zabírající ozubená kola s velkým modulem. Olej je nasáván do zubových mezer a po obvodě kol vytlačován do soustavy kanálků a olejového filtru k mazacím místům.

Katalyzátory,

jsou to klasické třísložkové katalyzátory pro čištění výfukových plynů u zážehových motorů se stechiometrickou směsí. Mají reakčními prvky platinu, rhodium a palladium.

Také je možno vidět součásti, které už nejsou tak obvyklé u běžných motorů, ale najdeme je u výkonnějších a dražších motorů. Jde zejména o:

Variabilní časování sacích ventilů,

systém VarioCam Plus natáčí sací vačkovou hřídel a tím mění časování sacích ventilů. Tato změna časování je plynulá, řízena elektronickou řídicí jednotkou.

Proměnné zdvihy sacích ventilů,

jsou realizovány přes dvoudílná hydraulická zdvihátka. Na vačkové hřídeli jsou dvě vačky na každý ventil, které se opírají o dvoudílná zdvihátka, která mohou být volně axiálně uchyceny. Malý zdvih podle malé vačky anebo jsou axiálně zajištěny čepem s velkými zdvihátky a tak je zdvih podle velké vačky větší o 8,5 [mm].

Rezonanční sací potrubí,

je plastové a klene se přes celý motor, má jednu škrtící klapku ovládanou přes řídicí jednotkou od řidiče a dvě rezonanční klapky ovládané podtlaky, které zkracují nebo prodlužují sací potrubí a tím zajistí optimální plnění válců palivovou směsí.

Vícebodové vstřikování paliva s tlakovým zásobníkem,

stechiometrická směs je tvořena vícebodovým vstřikováním paliva z tlakového zásobníku přes vstřikovací otvorové trysky přímo na sací ventily.

Přísávání vzduchu do výfukové soustavy (z modelu odstraněno),

motor má systém přísávání vzduchu do výfukového systému, pro optimální funkci katalyzátorů a tím nižší výfukové emise. Emisní normy splňují požadavky pro evropské EURO 4 i americké LEV 2.

Přečerpávací čerpadla s vnitřním ozubením,

přečerpávací olejová čerpadla jsou nutná pro rychlé přemístění mazacího oleje z hlav válců do olejové vany. Ty jsou zde potřeba kvůli typu motoru boxer s ležatými válci, kvůli přemístění mazacího oleje do vany motoru. Aby nedošlo k zavzdušnění sacího olejového koše a tím i celého olejového systému.

Lopátkové čerpadlo,

je zvláštní typ čerpadla s radiálně posuvnou lopatkou v elipsovitě nádobě s excentricky uloženým náhonem.

Z jednotlivých řezů je vidět konstrukční řešení, umístění i způsob montáže jednotlivých dílů a celků. Podrobnější popis funkcí jednotlivých dílů a jejich konstrukce je popsán v kapitolách 2.2 POPIS MOTORU a 3.2 REALIZACE ČÁSTEČNÝCH ŘEZŮ.

Všechny tyto součásti jsou dobře přístupné a viditelné, proto je vhodné je názorně ukazovat při výuce probírané problematiky. Mohou zde být popsány všechny uvedené součásti po konstrukční stránce a po uvedení modelu do chodu i po stránce funkčnosti.

Odstraněné části a komponenty motoru jsou přiloženy k modelu a měly by sloužit jako názorná a detailní pomůcka při výuce. Jedná se o kompletní píst, pístní kroužky, ventily s pružinami, ventilová zdvihátka, zapalovací cívky, olejové ventily, vstřikovací trysky, částečná kabeláž, upínací silentblok a kompletní mechanismus přísávání vzduchu do výfukového potrubí.

5.2 DISKUZE K NAVRŽENÉMU ŘEŠENÍ

Stojan motoru je díky prostorové konstrukci dosti tuhý a stabilní. Model motoru je umístěn ve výšce 800 [mm], což se ukázalo jako optimální umístění pro náhled do všech řezů a částí motoru. Všechny potřebné komponenty pro pohon modelu jsou umístěny uvnitř stojanu, takže nepřekázejí při užívání modelu. Jediná volná část stojanu je napájecí kabel, který je možno smotat na připravený háček uvnitř stojanu. Řezy názorně ukazují všechny důležité a zajímavé součásti motoru a jeho řešení. Problematický je náhled do řezů hluboko pod sacím potrubím, které se klene přes celý motor, ovšem i tak jde do všech řezů vidět a názorně je popsat.

Umístění a tvary částečných řezů byly dosti závislé na předpokladu, že se bude výukový model pohánět a tak musí všechny části držet pohromadě a být provozuschopné. To se podařilo, až na systém přísávání vzduchu do výfukového potrubí, který je z modelu odstraněn. Všechny řezy se povedlo zrealizovat, dle představ o výukovém modelu. Kromě řezu hlavou motoru, která se nedala upnout pod úhlem a tak je tento řez řešen odskočením (zubem).

Slabé místo stojanu jsou pojízdná kolečka, která se pod váhou modelu deformují, a valení je obtížnější. To ovšem paradoxně pomáhá ke stabilitě modelu. Zdeformovaná kolečka nahrazují zajišťovací brzdu, která na nich chybí. Na modelu zvláště při pohonu jsou nebezpečná místa s otáčejícími se součástmi, u kterých je nutno dbát zvýšené opatrnosti, jako například: řetěz pohonu, řetězová kolečka, vačky, klikový mechanismus, řemen, olejová čerpadla.

Fyzický model je plně funkční pro výuku. Jsou zde i další možnosti inovací učebních pomůcek. Například jde o světelné značení zážehu a nasávání čerstvé směsi ve válcích. Tento systém je ve fázi přípravy a bude do modelu přidán v nejbližším možném čase. Další úpravy by se měly týkat zakrytování nebezpečných míst na modelu. Při umístění modelu na veřejně přístupné místo také umístění celého modelu do prosklené uzamykatelné skříně, aby se zamezilo poškození nebo neodbornému zacházení s modelem. Tento kryt by také zamezil znečištění modelu a tím zjednodušil údržbu a prodloužil životnost všech dílů.

Důležité upozornění pro obsluhu modelu:

Před uvedením modelu do chodu je nutné všechny pohyblivé části očistit a namazat přiloženým mazacím olejem ve spreji WD-40. Všechny části by měly být naolejované i z důvodů ochrany před korozí, ta může postihnout všechny ocelové součásti, které nejsou natřeny.

Model by neměl běžet více jak pár minut (cca 10 [min]) z důvodů zahřívání součástek a jejich kluzných částí, mohlo by dojít k zadření motoru.

Pozor také na odkryté součásti modelu a jeho pohonného ústrojí, obzvláště řetězu a řetězových koleček.

6 ZÁVĚR

Fyzický výukový model je ideální způsob jak studentům i laické veřejnosti názorně ukázat funkci pístových spalovacích motorů. Specialisti se zde mohou více seznámit s problematikou konstrukce i řešení dílčích problémů, obzvláště při přímé diskuzi, kterou výukový model nabízí.

Výukový model je zhotoven z motoru od známé automobilky Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG s dlouholetou tradicí i úspěchy v závodním sektoru, to přidává celé práci na atraktivnosti.

V bakalářské práci je popsán celý motor a tak přiblíženo konstrukční řešení veřejnosti. Jsou zde objasněny funkce jednotlivých dílů a celků, které se dají využít při výuce v bakalářském i v části magisterského studia. V přiložené fotodokumentaci je zaznamenáno kompletní rozebrání motoru a jeho postupné opracování a smontování do podoby výukového modelu. Je zde také uvedena problematika pohonu těchto modelů s jednou vypracovanou variantou, kterou se podařilo i přes počáteční nezdary uvést do finální podoby. Celý model tím získal na hodnotě.

Bakalářská práce mi dala hodně vědomostí o konstrukci a řešení pístových spalovacích motorů. Zvláště řešení vidlicových motorů s úhlem válců $V180^\circ$ (boxer), které používají automobilky, jako německé Porsche a japonské Subaru. Navrhnutý stojan splnil mé očekávání o tuhosti, stabilitě a estetičnosti. Také jsem si prakticky vyzkoušel montáž kompletního pístového spalovacího motoru, která se mi bude hodit v praxi i v dalším studiu. Jsem spokojen, že se podařilo splnit cíle bakalářské práce a tím zpřístupnit ostatním problematiku pístových spalovacích motorů.

Seznam použité literatury

1. Bartoníček, L.: Konstrukce pístových spalovacích motorů, druhé přepracované vydání, Liberec 1992
2. Alois a Ondřej Pavlůskovi :Autosalon/ Porsche, Computer Press Praha 2004
3. Porsche: dílenská příručka Boxster 987,
(<https://techinfo.porsche.com/techinfo/index.jsp>)
4. Schulz Celestýn.: Konstrukční projekt pístového spalovacího motoru, první vydání, Liberec 1999
5. Beroun S., Cerha J.:Příslušenství pohonných jednotek, druhé vydání, Liberec 1989
6. Vávra P.: Strojnické tabulky, upravené a doplněné vydání, Scientia Praha 2000
7. časopis: MTZ Motortechnische Zeitschrift 63 2002 ,Wiesbaden 2002
8. časopis: ATZ Autotechnische Zeitschrift, V. 2001, VII a XI 2003, II a XII 2005, Wiesbaden

Seznam příloh

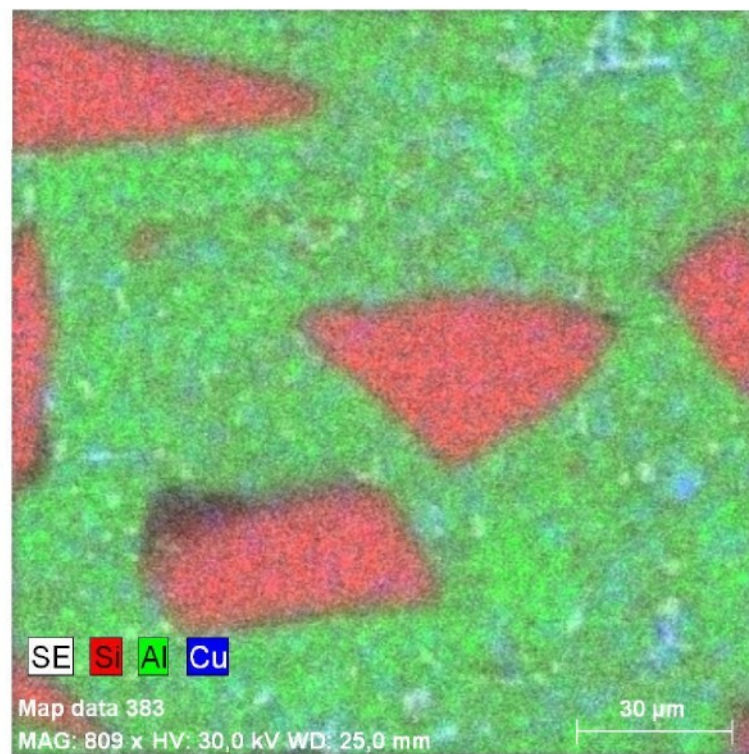
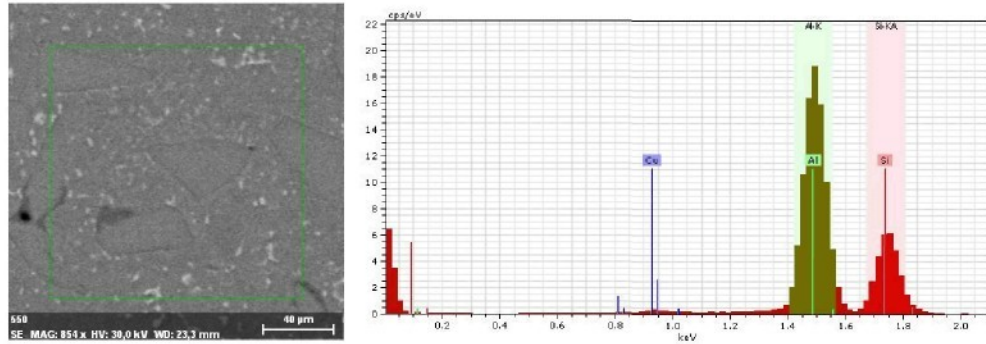
1. Rozbor materiálu vložky válce
2. Rozbor materiálu bloku válců
3. Rozbor přechodu vložky a bloku válců
4. Rozbor materiálu vložky válce na okraji
5. Elektrické schéma zapojení pohonné jednotky
6. Výkresová dokumentace stojanu

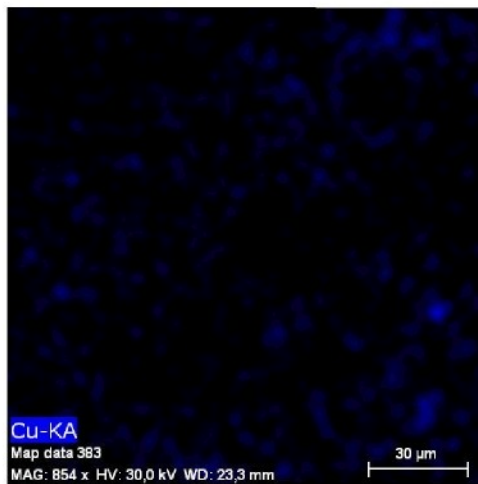
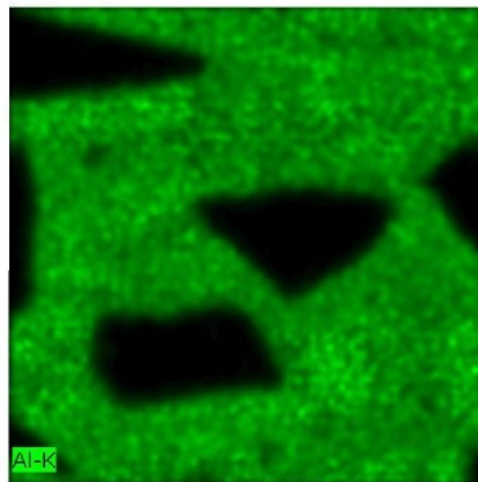
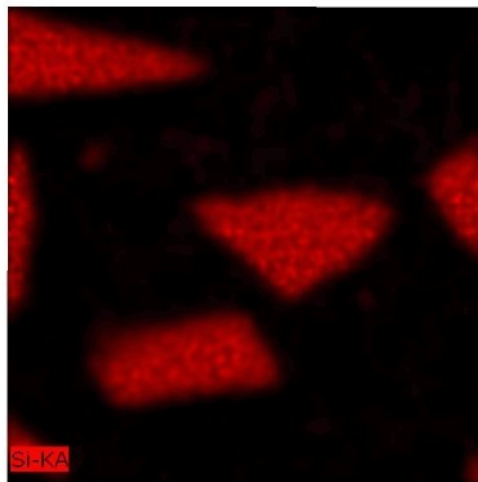
Poznámka:

Označování výkresů - KVM - BP – 148

1. Rozbor materiálu vložky válce (LOKASIL)

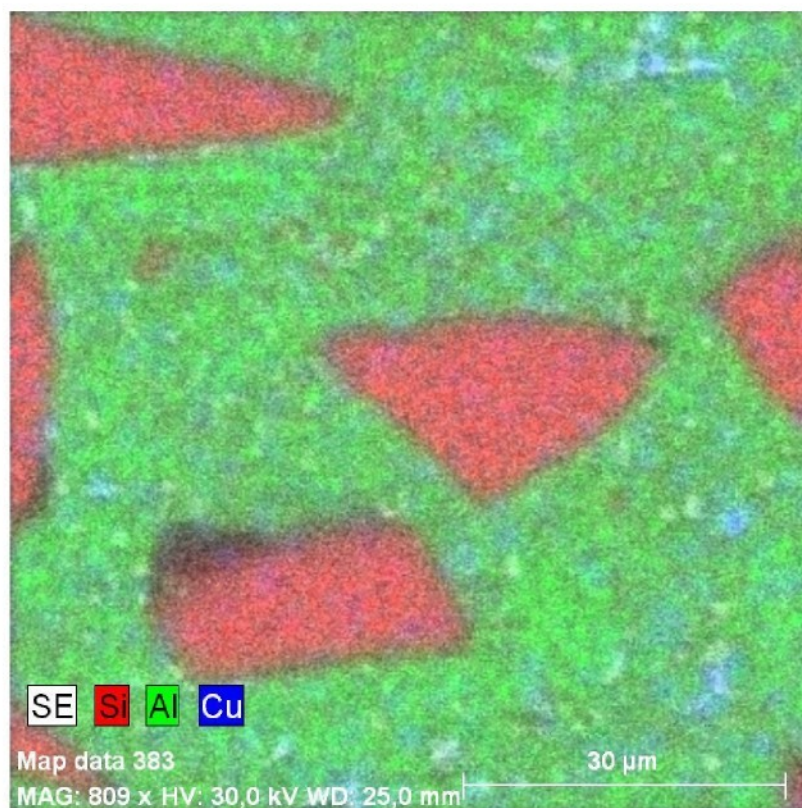
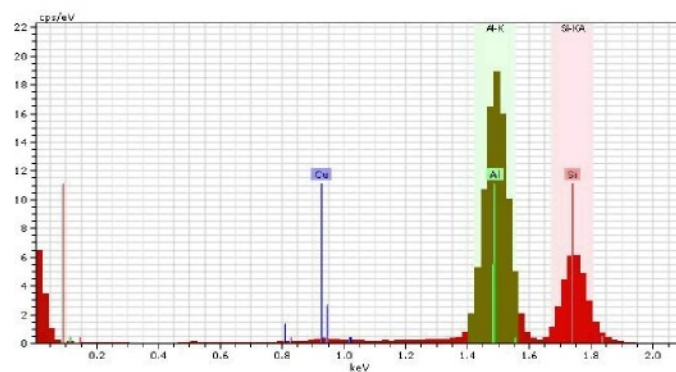
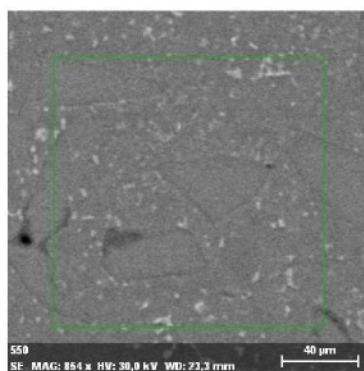
Application Note

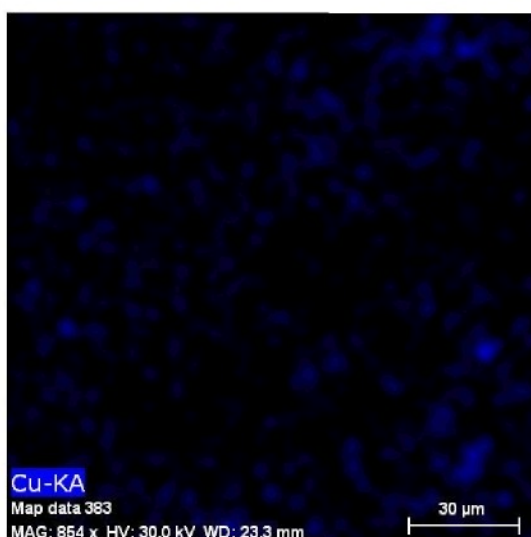
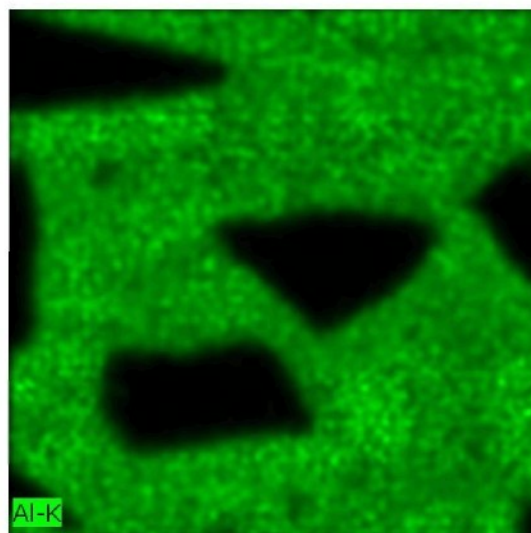
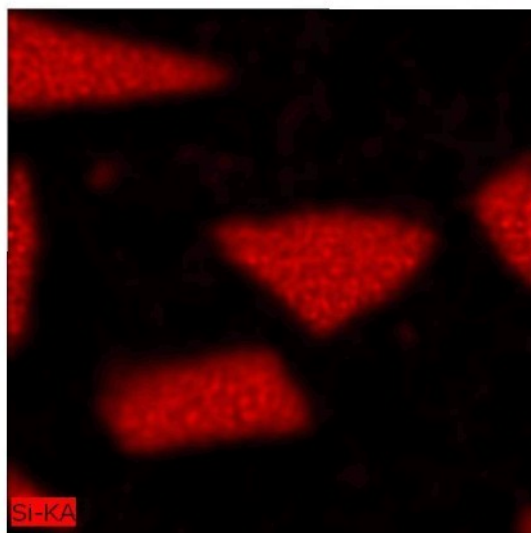




Si-KA, Al-K, Cu-KA Date 3.4.2008 9:59:54
Image size: 384 x 384
Mag: 853.540887x
HV: 30.0kV

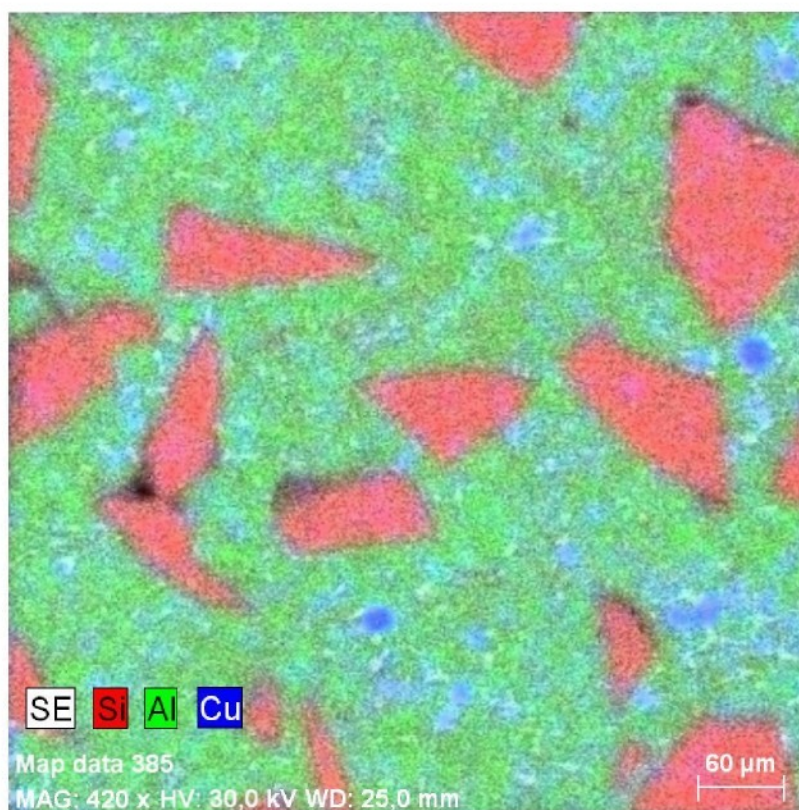
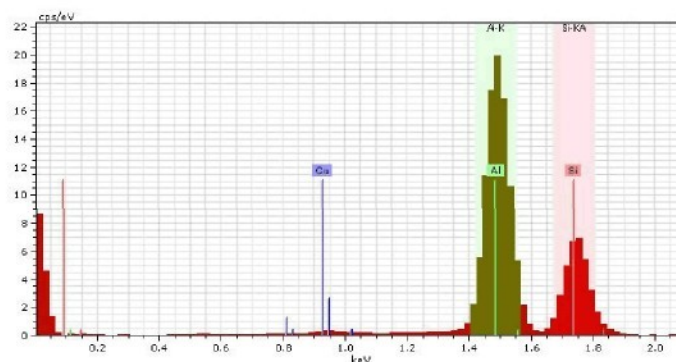
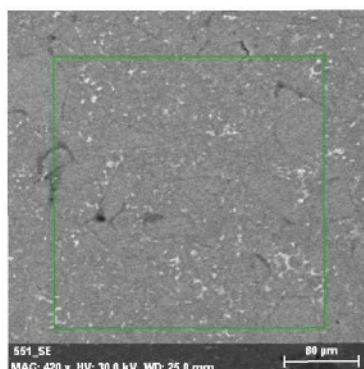
Application Note

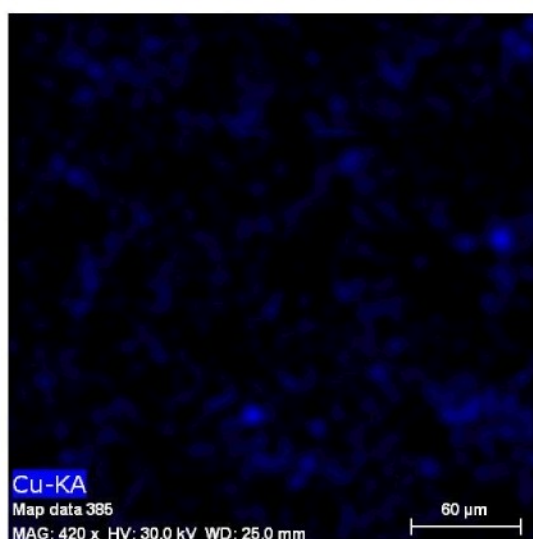
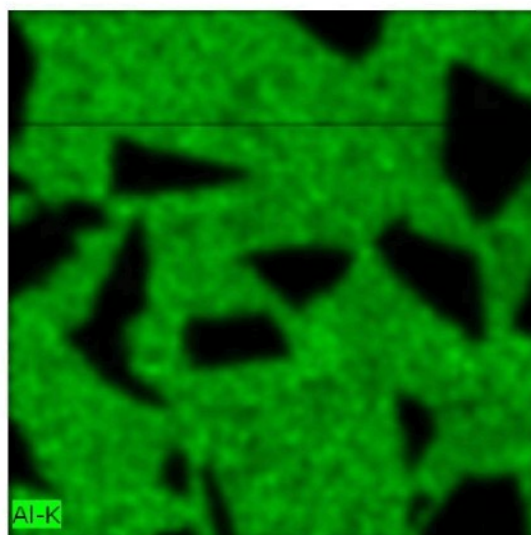
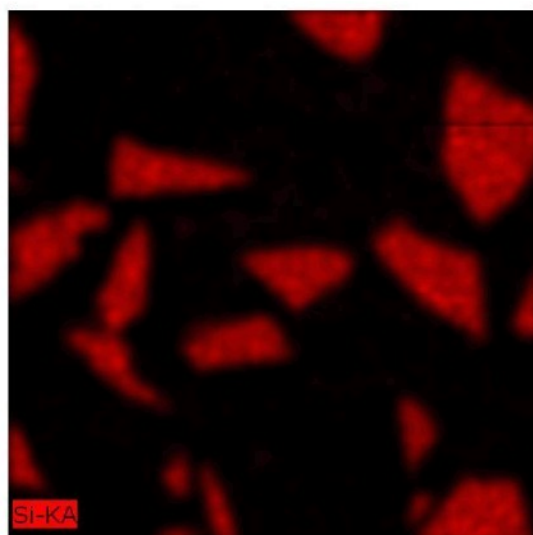




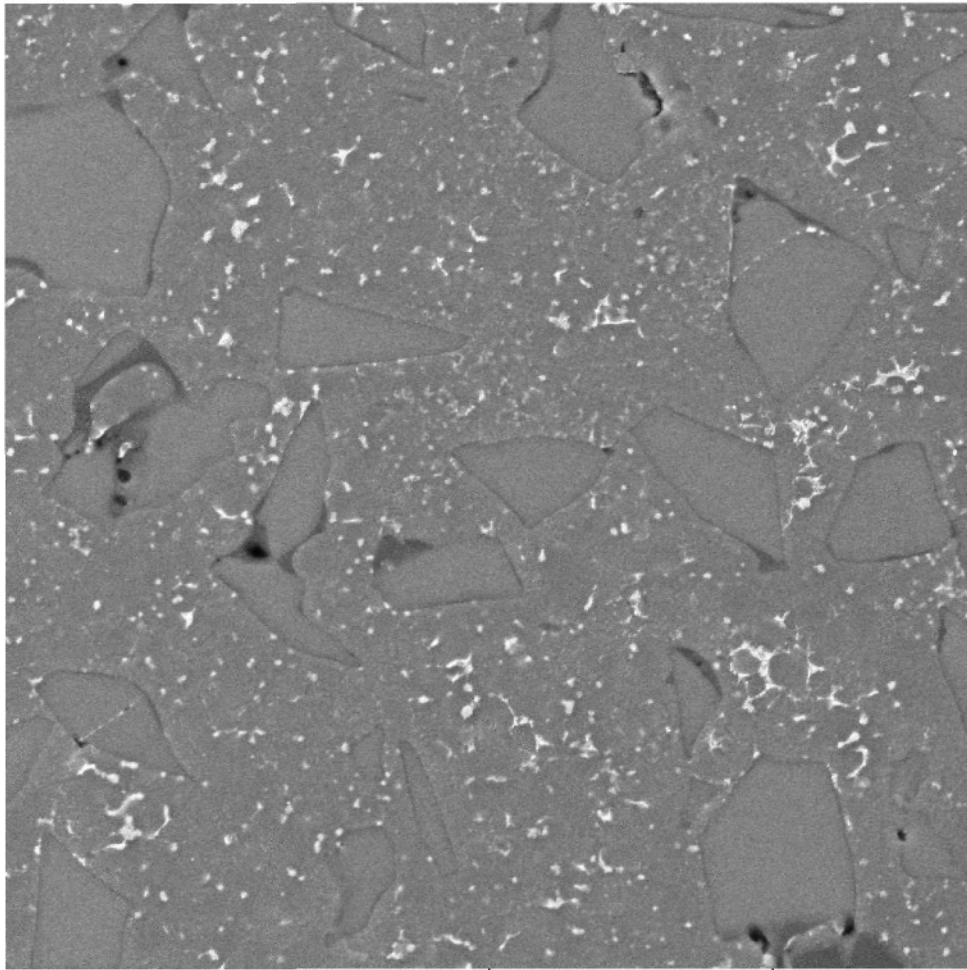
Si-KA, Al-K, Cu-KA Date: 3.4.2008 10:00:03
Image size: 384 x 384
Mag: 853,540887x
HV: 30,0kV

Application Note





Si-KA, Al-K, Cu-KA Date 3.4.2008 10:10:45
Image size: 384 x 384
Mag: 419,58308x
HV: 30,0kV

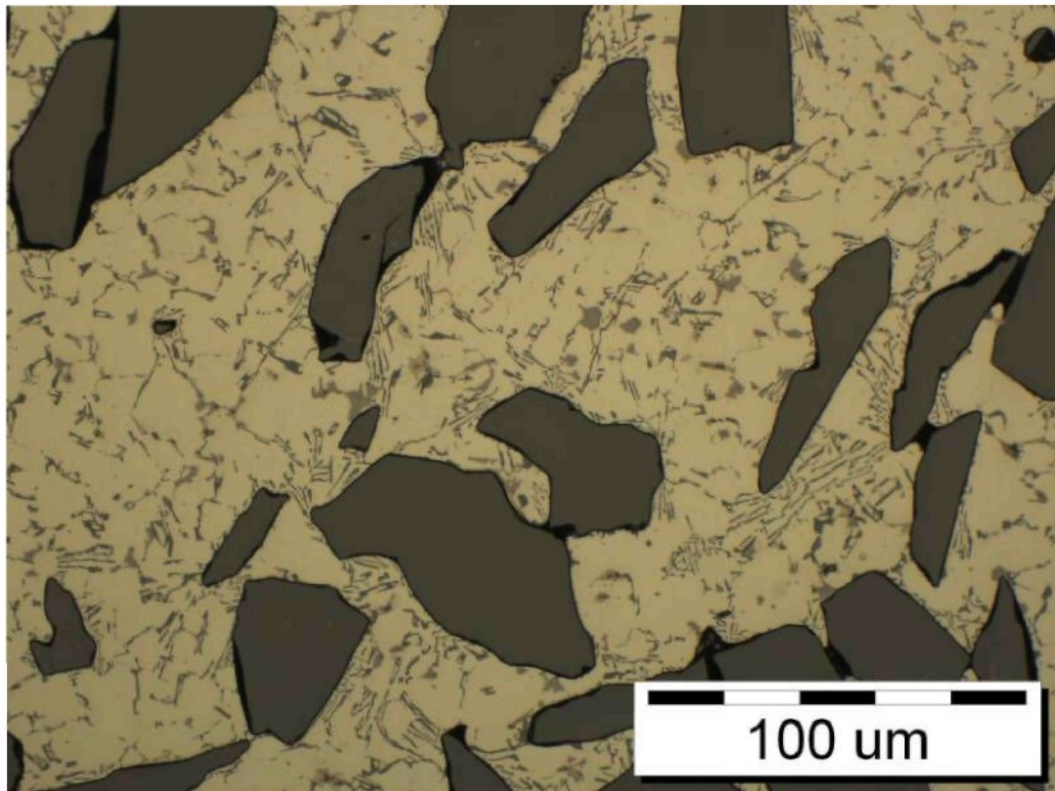


SEM HV: 30.00 kV
SEM MAG: 852 x
Date(m/d/y): 04/03/08

WD: 24.5300 mm
Det: SE Detector
honza

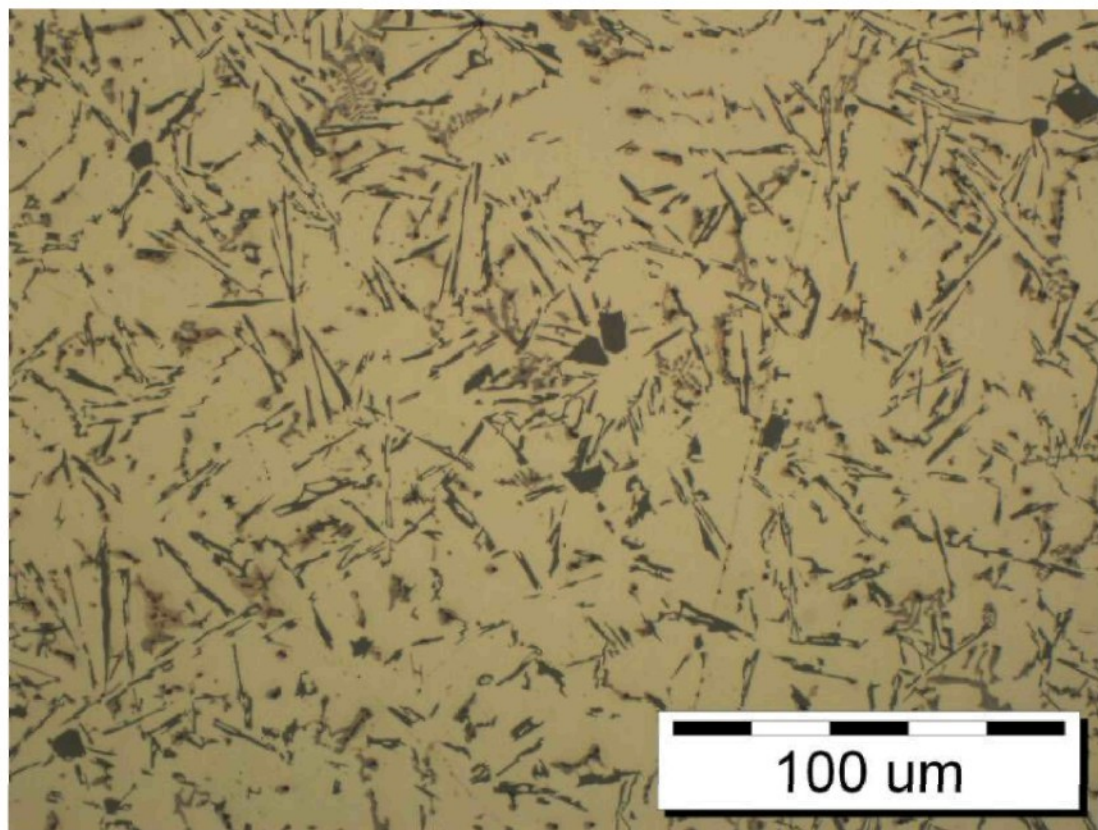
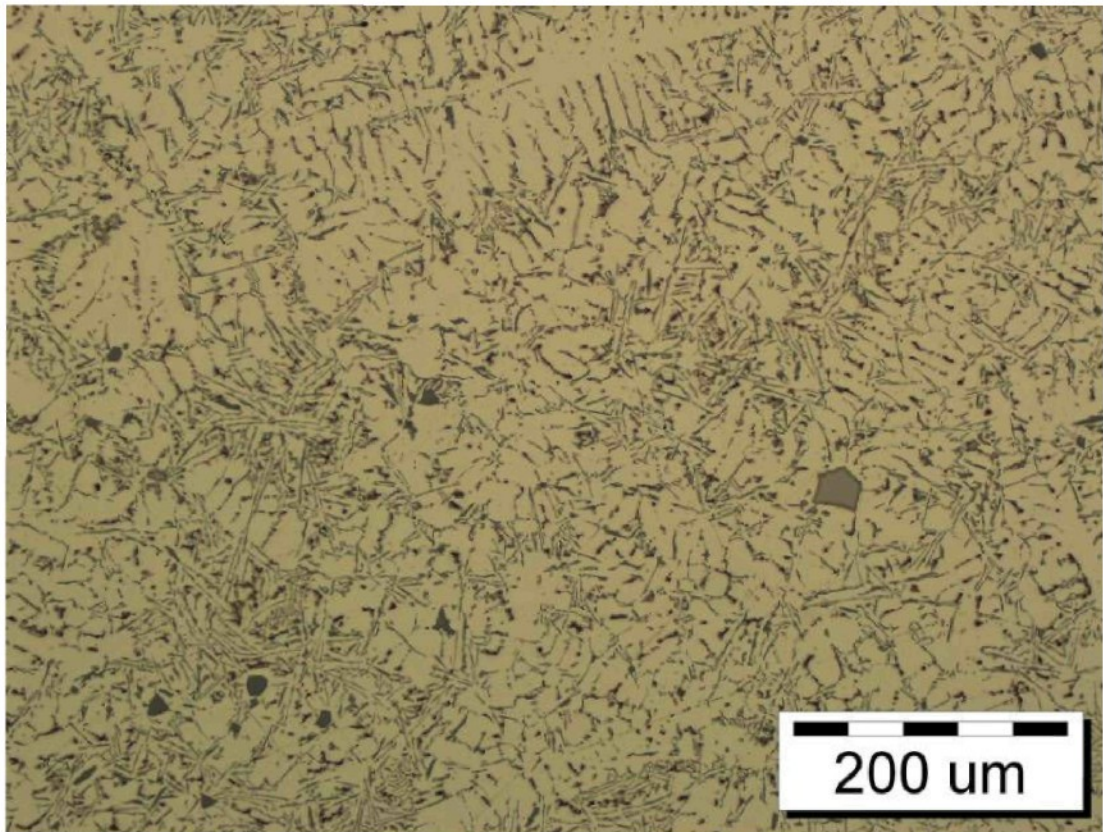
100 μ m

VEGA\\ TESCAN
Digital Microscopy Imaging

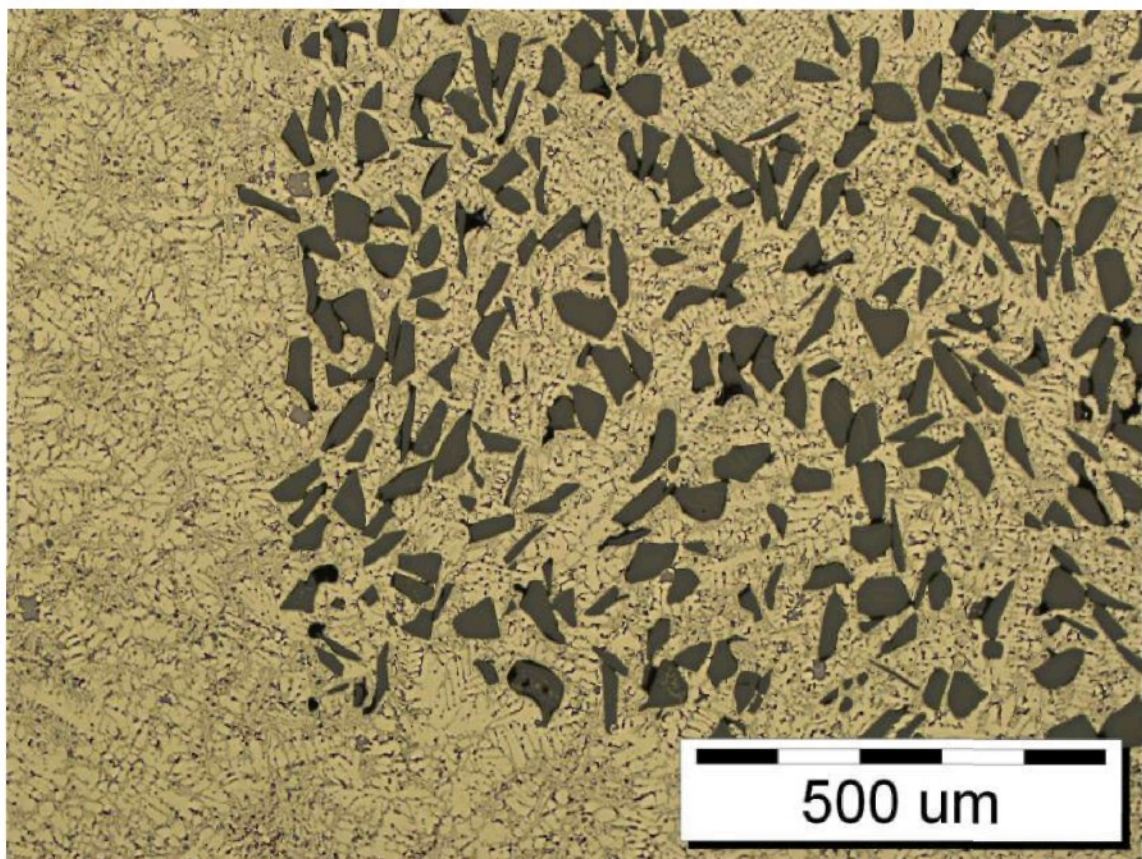
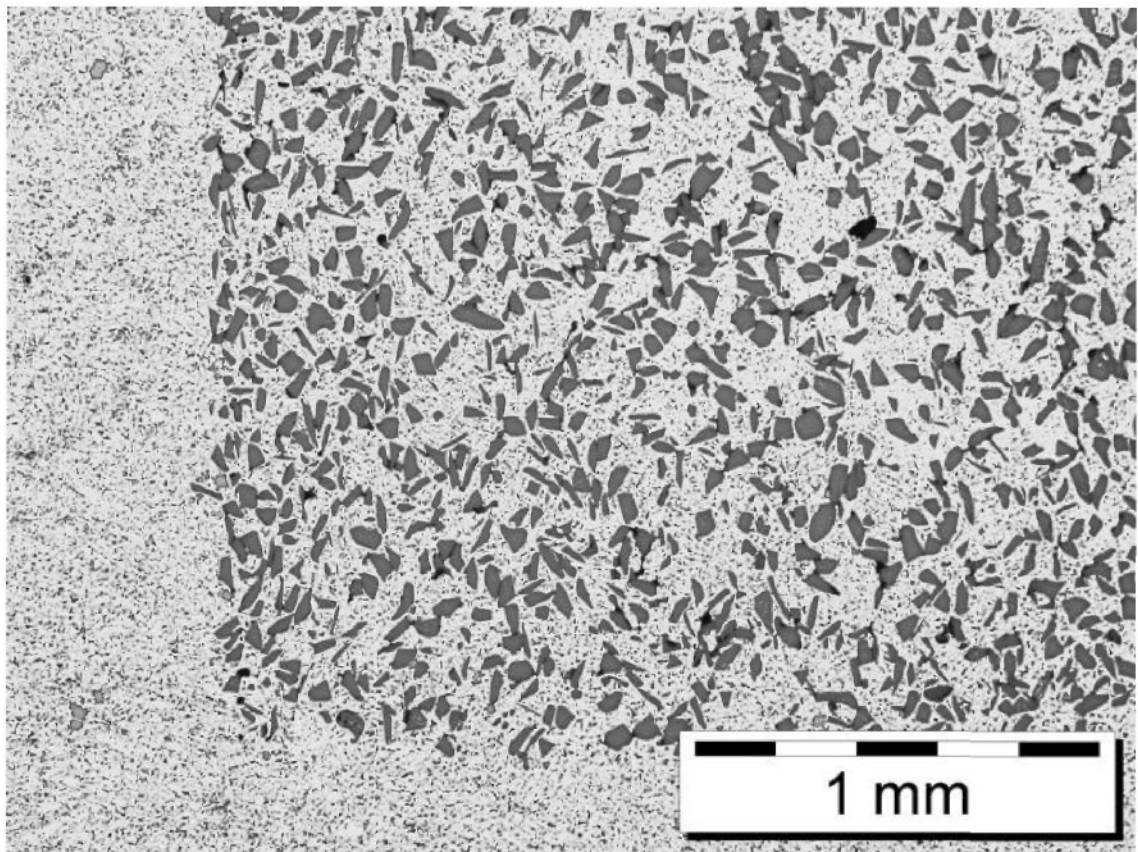


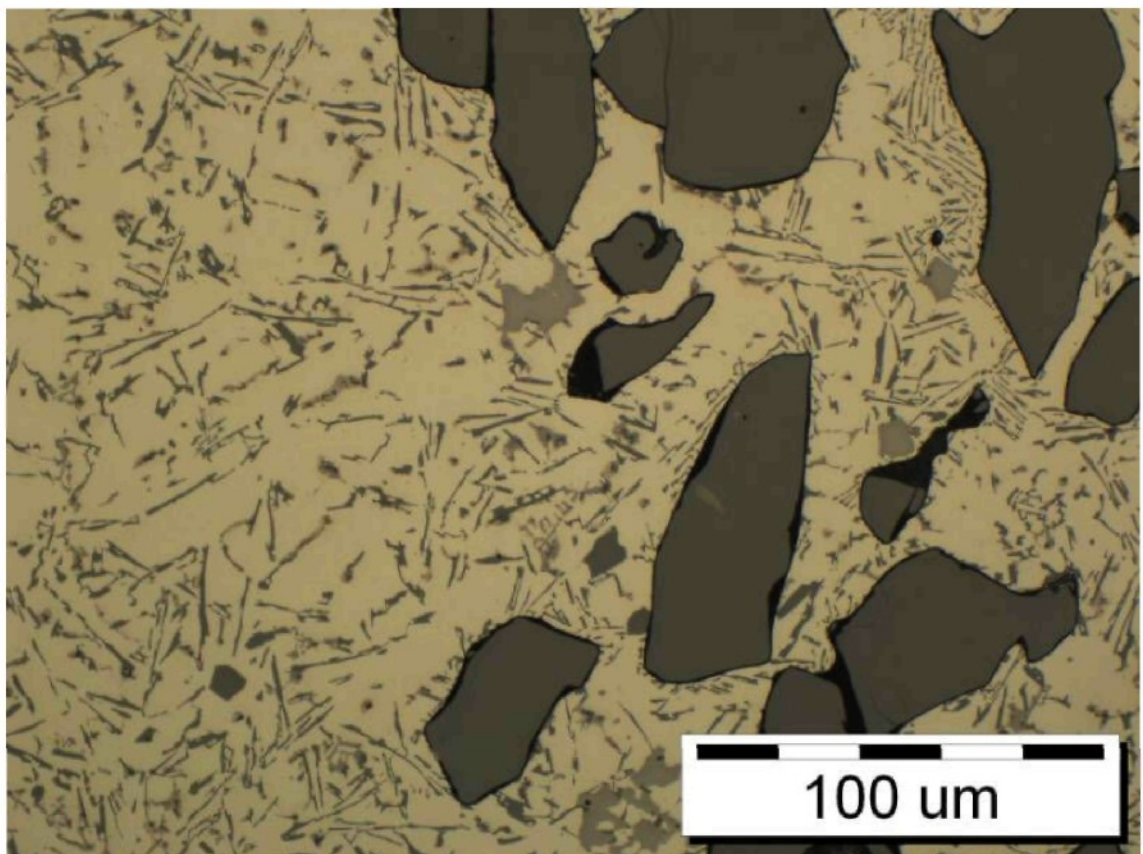
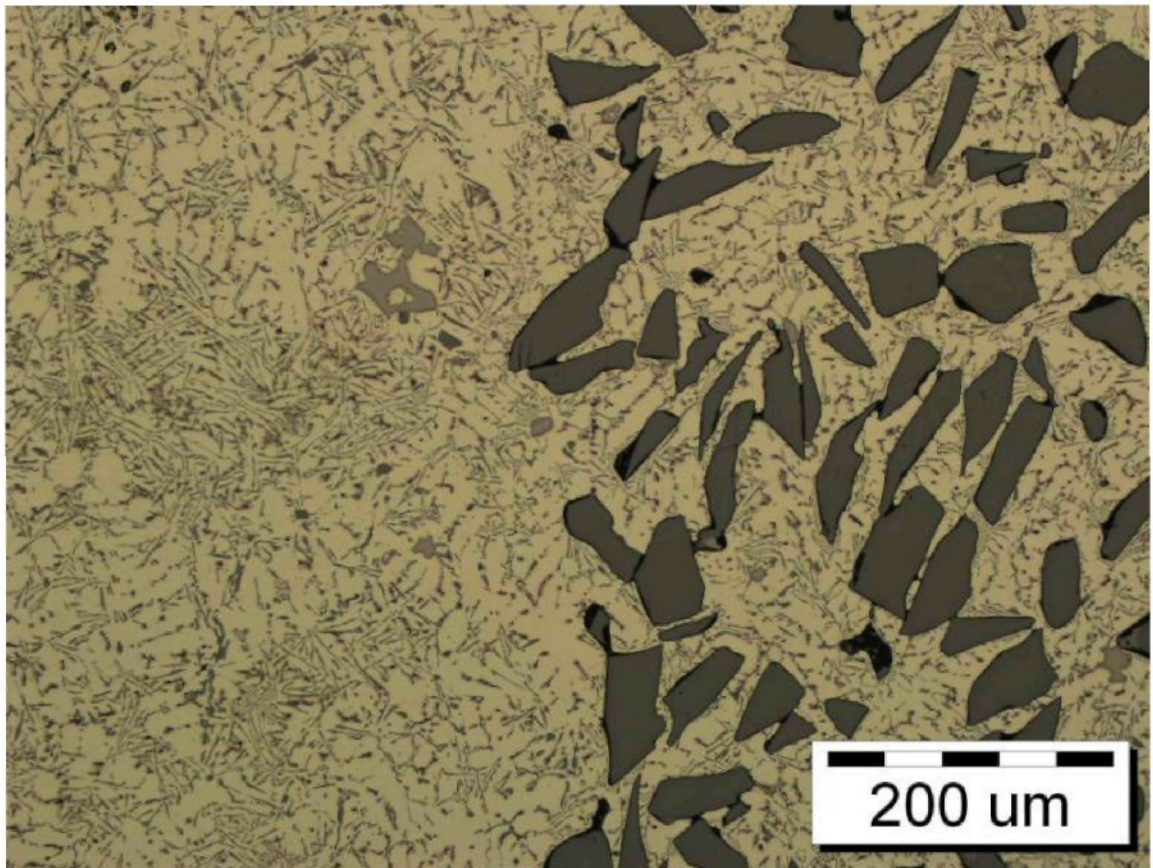
100 μ m

2. Rozbor materiálu bloku válců

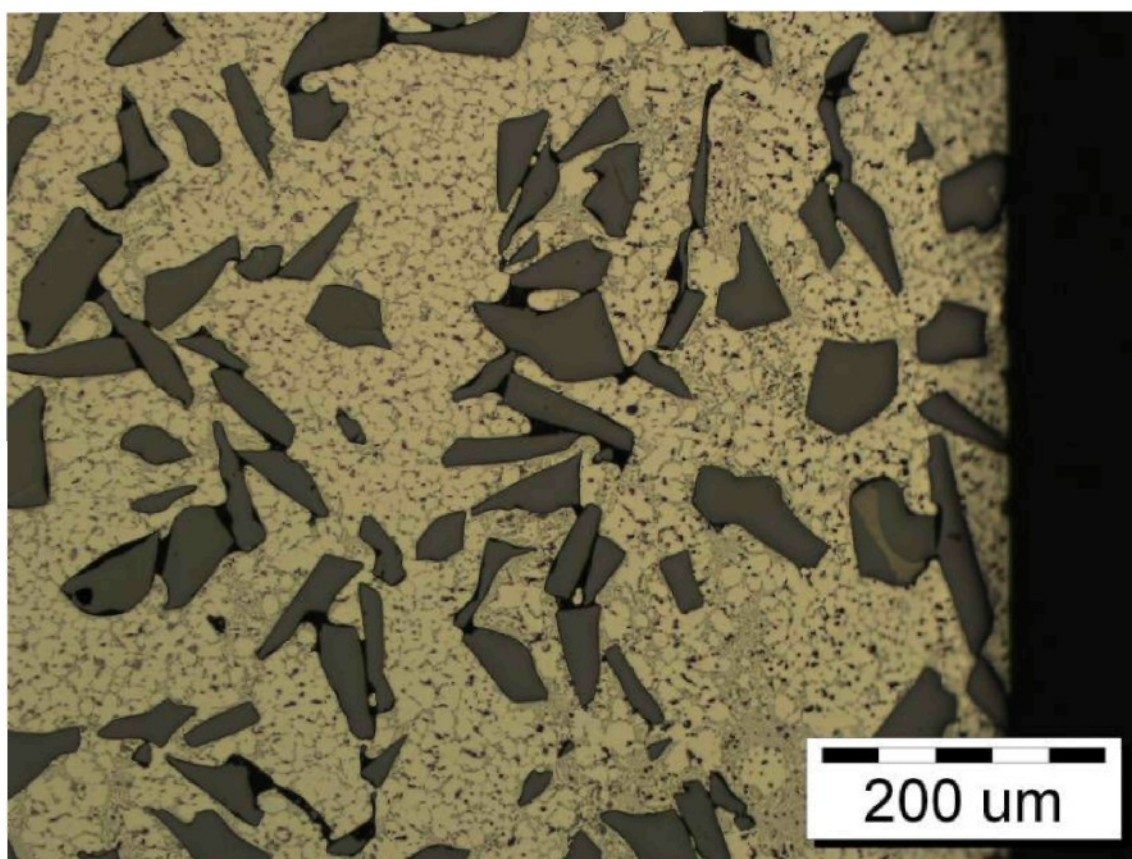
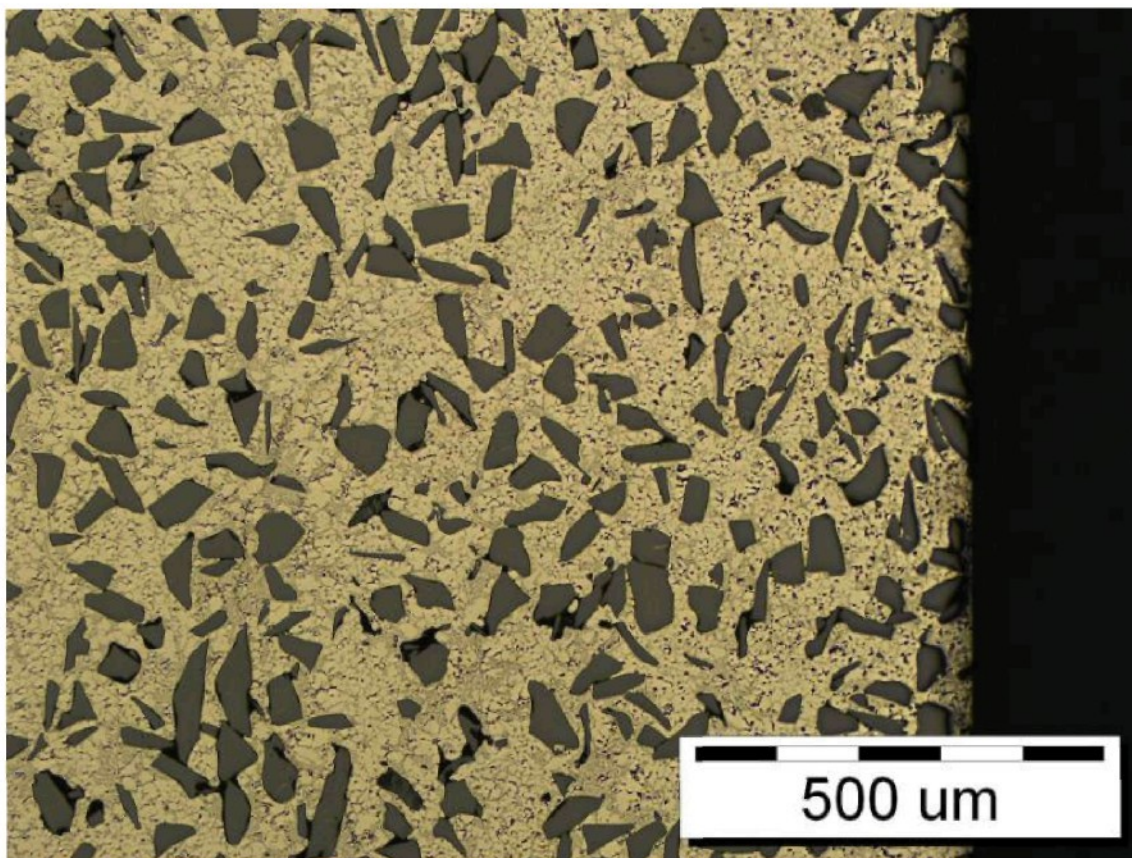


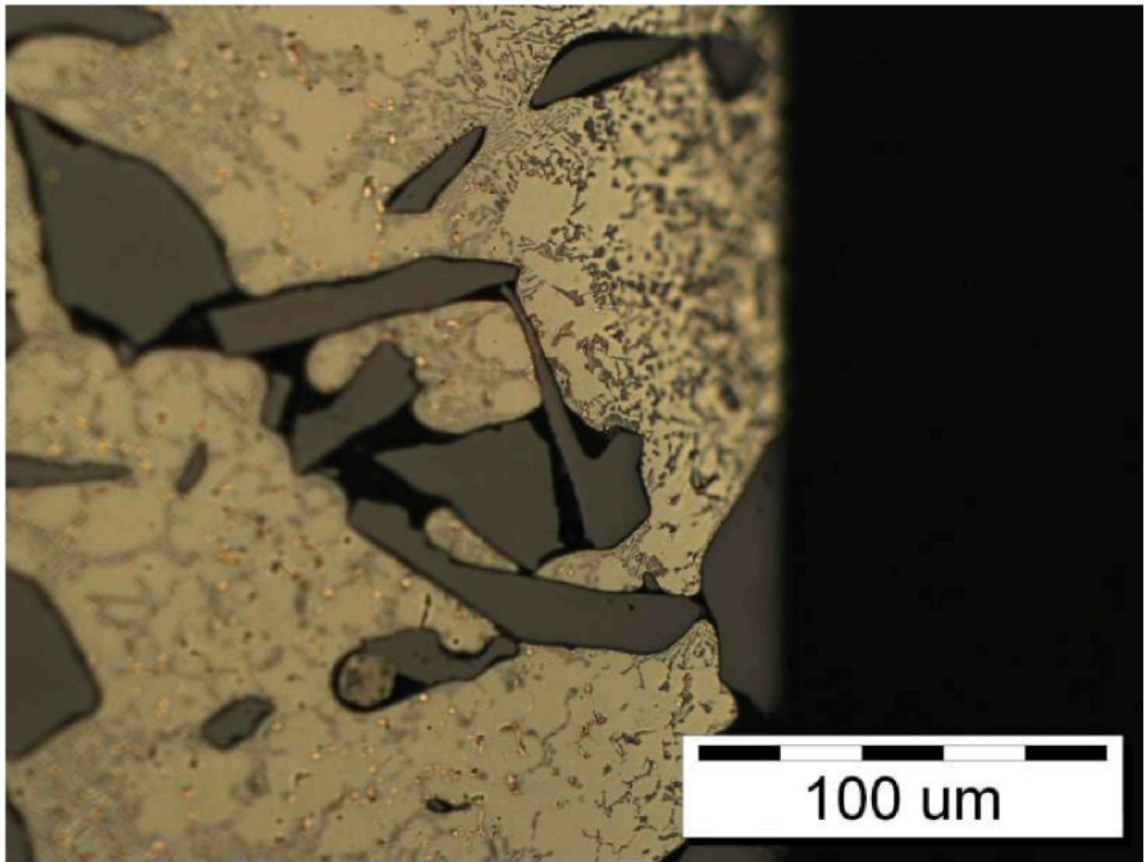
3. Rozbor přechodu vložky a bloku válců



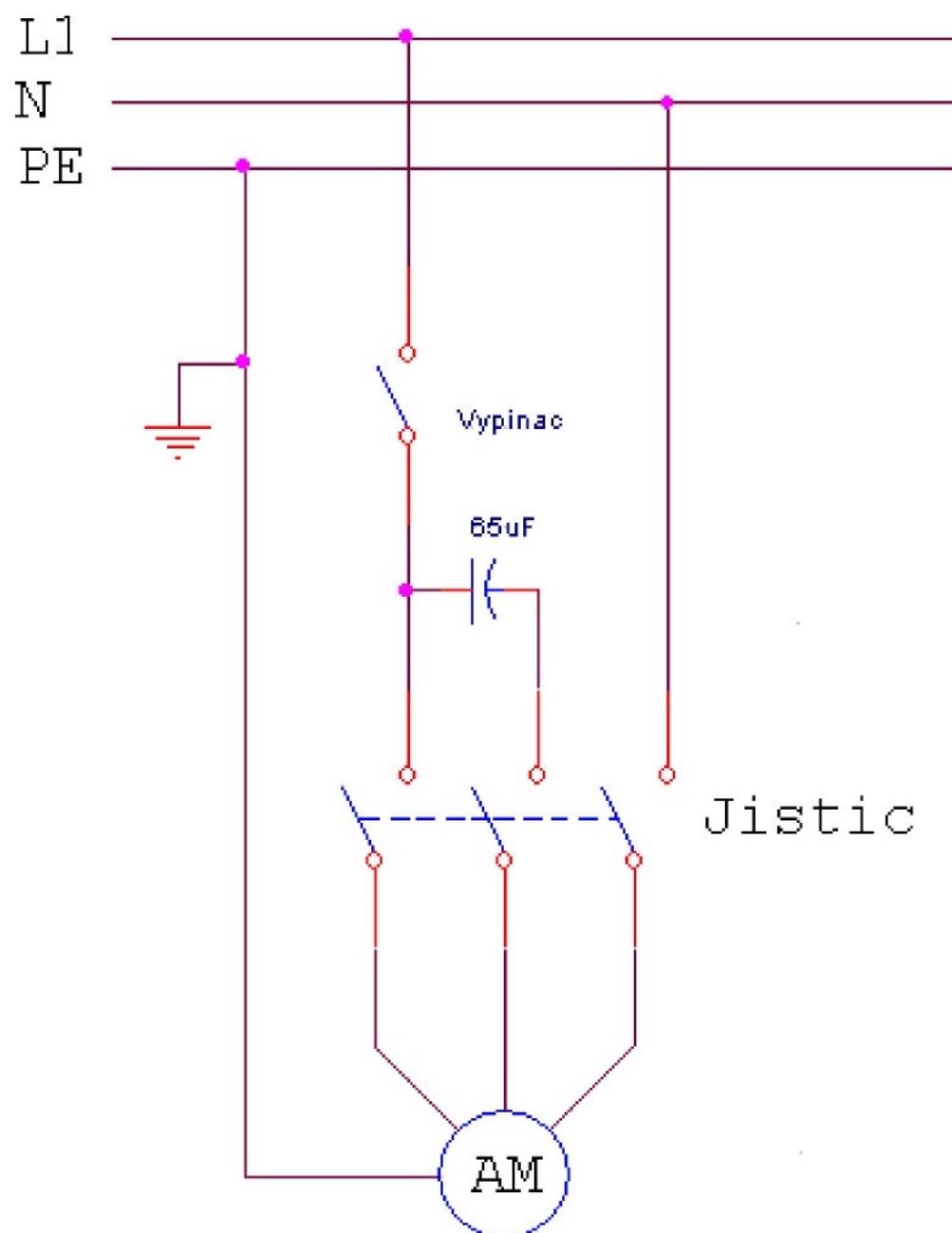


4. Rozbor materiálu vložky válce na okraji





5. Elektrické schéma zapojení pohonné jednotky



6. Výkresová dokumentace stojanu