VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA REPLIKY MOTORU LAURIN-KLEMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE **Bc. Kamil Krejčí**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE **Doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.**
SUPERVISOR

BRNO 2008

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je výroba funkční repliky motoru Laurin&Klement, model TB z roku 1902. Práce je zaměřena a výrobu litých součástí. Při kusové výrobě motoru se vycházelo z dochovaných originálních součástí, chybějící součásti byly vyrobeny podle dobových fotografií a prospektů. Tímto postupem se mohou vyrábět chybějící nebo díly motorů historických motocyklů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Replika motoru, Laurin&Klement, model TB, výroba repliky

ABSTRACT

The goal of the graduation thesis is building of a working replica of the motorcycle engine Laurin&Klement, type TB from 1902. The thesis focuses on the manufacturing of cast parts. The piece production of the engine has been based on extant original pieces, missing pieces have been manufactured according to period photographs and leaflets. This method can be applied for production of missing or damaged pieces of historical motorcycles‘ engines.

KEY WORDS

Engine Replica, Laurin&Klement, Type TB, Building a Replica

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KREJČÍ, K. *Výroba repliky motoru Laurin-Klement.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 57s., doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba repliky motoru Laurin&Klement vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

29. 5.2009 ……

Kamil Krejčí

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Jaromíru Roučkovi, CSc. za cenné připomínky při vedení práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ondřeji Štočkovi za pomoc při výrobě a odlévání forem; Václavu Markovi, odborníku na motocykly L&K, za zapůjčení originálních součástí a poskytnutí praktických zkušeností; Aleši Mrázovi za pomoc při montáži motoru a zprostředkování svých znalostí; Josefu Vorlovi, který mi umožnil využívat své strojní zařízení a pomohl mi při soustružení odlitků.

Můj dík dále patří členům Veteránklubu Pardubice, kteří přispěli ke vzniku této práce, a mé rodině za podporu při studiu.

OBSAH

Abstrakt.....2
Prohlášení.....3
Poděkování.....4
Obsah.....5
1. Úvod.....7
2. Popis motocyklu.....10
2.1 Rám.....11
2.2 Motor.....11
2.3 Ovládací prvky.....13
3.Výroba litých součástí motoru.....16
3.1 Blok motoru.....17
3.1.1 Výroba modelu.....18
3.1.2 Formování.....19
3.1.3 Odlití.....21
3.1.4 Možnosti použití jiné technologie.....22
3.1.5 Obrábění.....23
3.2 Můstek.....24
3.2.1 Výroba modelu.....24
3.2.2 Formování.....25
3.2.3 Odlití.....25
3.2.4 Možnosti použití jiné technologie.....25
3.3 Válec.....26
3.3.1 Výroba modelu.....26
3.3.2 Výroba jádra.....28
3.3.3 Formování.....29
3.3.4 Odlití.....30
3.3.5 Možnosti použití jiné technologie.....31
3.3.6 Obrábění.....31
3.3.7 Oprava odlitku.....32
3.4 Píst.....33
3.4.1 Výroba modelu.....33
3.4.2 Výroba jádra.....35

3.4.3 Formování……... 36
3.4.4 Odlití……... 37
3.4.5 Možnosti použití jiné technologie……..37
3.5 Hlava válce.....38
3.5.1 Výroba modelu……38
3.5.2 Formování……....39
3.5.3 Odlití……39
3.5.4 Možnosti použití jiné technologie……..40
3.5.5 Obrábění……..41
3.6 Setrvačník klikové hřídele.....42
3.6.1 Výroba modelu……42
3.6.2 Formování……... 43
3.6.3 Odlití……....43
3.6.4 Obrábění……..44
3.7 Kryt želvy……..45
3.8 Držák zapalováku..... 46
4. Montáž…… 47
5. Odzkoušení funkčního motoru……52
Závěr…….. 54
Seznam použitých zdrojů……..55
Seznam použitých zkratek a symbolů……..56
Seznam příloh.....57

1. Úvod

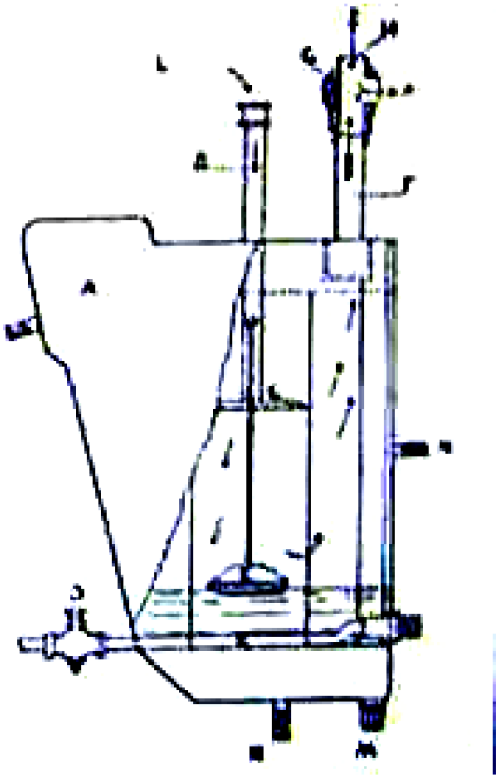
Motocykl je dnes běžným dopravním prostředkem, sloužící ke každodenní práci či zábavě. V tomto odvětví se již přes sto let výrobci předhánějí ve zvyšování výkonu, snižování hmotnosti, zlepšování jízdních vlastností, ergonomie atd. Vstřikování paliva, katalyzátor, elektrický startér či kotoučové brzdy patří dnes k běžné výbavě stroje. Jízdu na motocyklu, který je hnán plochým koženým řemenem, bez spojky a převodovky, s motorem o výkonu 1,5Ks si dnes těžko dovedeme představit, obzvlášť v dnešním provozu.

Počátky motorových dvoukolek, jak byly v Čechách motocykly označovány, sahají na přelom 19. a 20. století. V roce 1885 postavili Gottlieb Daimler s inženýrem Maybachem rychloběžný zážehový motor, který zabudovali do jednostopého vozidla s dřevěným rámem. Jejich záměrem nebyla výroba takového vozidla, nýbrž snaha ověřit vlastnosti nového motoru pro pohon vozidel. S myšlenkou vyrábět motocykly ve větších sériích přišli až v roce 1894 Hildebrant a Wolfmüller. Tito pánové si jako první nechali zaregistrovat název – das Motorrad – motorové kolo.V posledních letech 19. století vznikají v každé průmyslově vyspělé zemi první výrobci motocyklů.

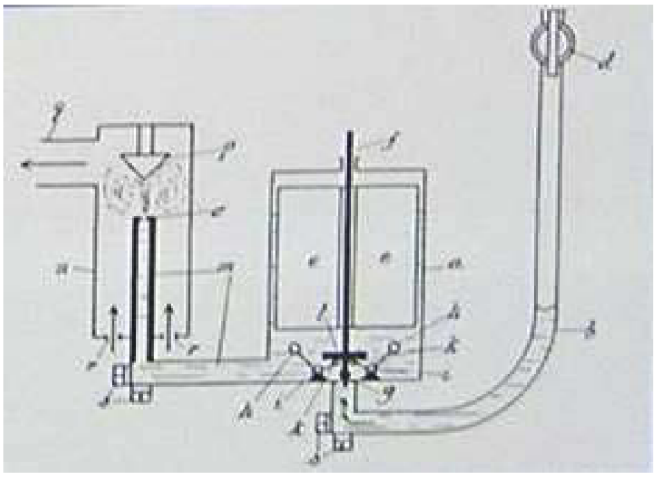
Pro nás může být potěšující, že v zemích Koruny české, jež byly součástí rakousko-uherské monarchie, vývoj motocyklu nijak nezaostával. Do úprav a vylepšení francouského motocyklu Werner se pustili mladoboleslavští výrobci jízdních kol Slavia Laurin a Klement. Od roku 1899 po dobu tří let jsou jedinými výrobci motocyklů v monarchii, v prvním desetiletí 20. století vzniká několik dalších. V první dekádě 20. století na našem území působí více jak 20 značek. Za připomenutí stojí Torpédo, Walter, Orion či brněnský Kohout. Jejich výroba byla kusová, či malosériová, pouze firma Laurin & Klement (dále L&K) v tomto odvětví expandovala a vyprodukovala v letech 1899-1912 na 4000 kusů.

Různá technická řešení z přelomu 19. století se dnešním konstruktérům mohou zdát těžko uvěřitelná. Například zapalování směsi ve válci žárovou trubkou, kdy lihový hořák nahříval měděnou trubičku, která svým převedeným teplem zapalovala uvnitř válce benzinovou směs. Podobně působí také princip odpařovací karburace (obr.1). Tento nejstarší způsob získávání zápalné směsi byl do roku 1902 nejrozšířenější. Systém využíval prostého odpařování benzínu z hladiny nádrže montované nad nebo za motor. Optimální mísící poměr benzínových par se vzduchem zajišťoval směšovací ventil a kohout v přívodním potrubí.

Odpařovací systém byl u většiny výrobců brzy nahrazen karburátory rozprašovacími (obr.2), avšak firma L&K od tohoto systému neupouští a používá ho téměř po celou dobu výroby motocyklů.



Obr. 1: Odpařovací systém



Obr. 2: Rozprašovací karburátor

Stroje L&K se zúčastnily několika velkých soutěží, např. v roce 1901 závodu Paříž – Berlín. O rok později bylo dosaženo velkého úspěchu v závodě Paříž – Vídeň, který se jel 29. května 1902 jako III. ročník automobilového Gordon-Bennetova poháru za účasti 137 automobilů a 17 motocyklů. Naši závodníci Riegel (obr.3) a Podsedníček dojeli na třetím a čtvrtém místě, více motocyklů tento 1450 km dlouhý závod nedokončilo. Podsedníček měl smůlu, když jako jediný vyjel vlastní silou na pověstný kopec Arlberg, ale daný úsek byl anulován a závodník přišel o vavříny.

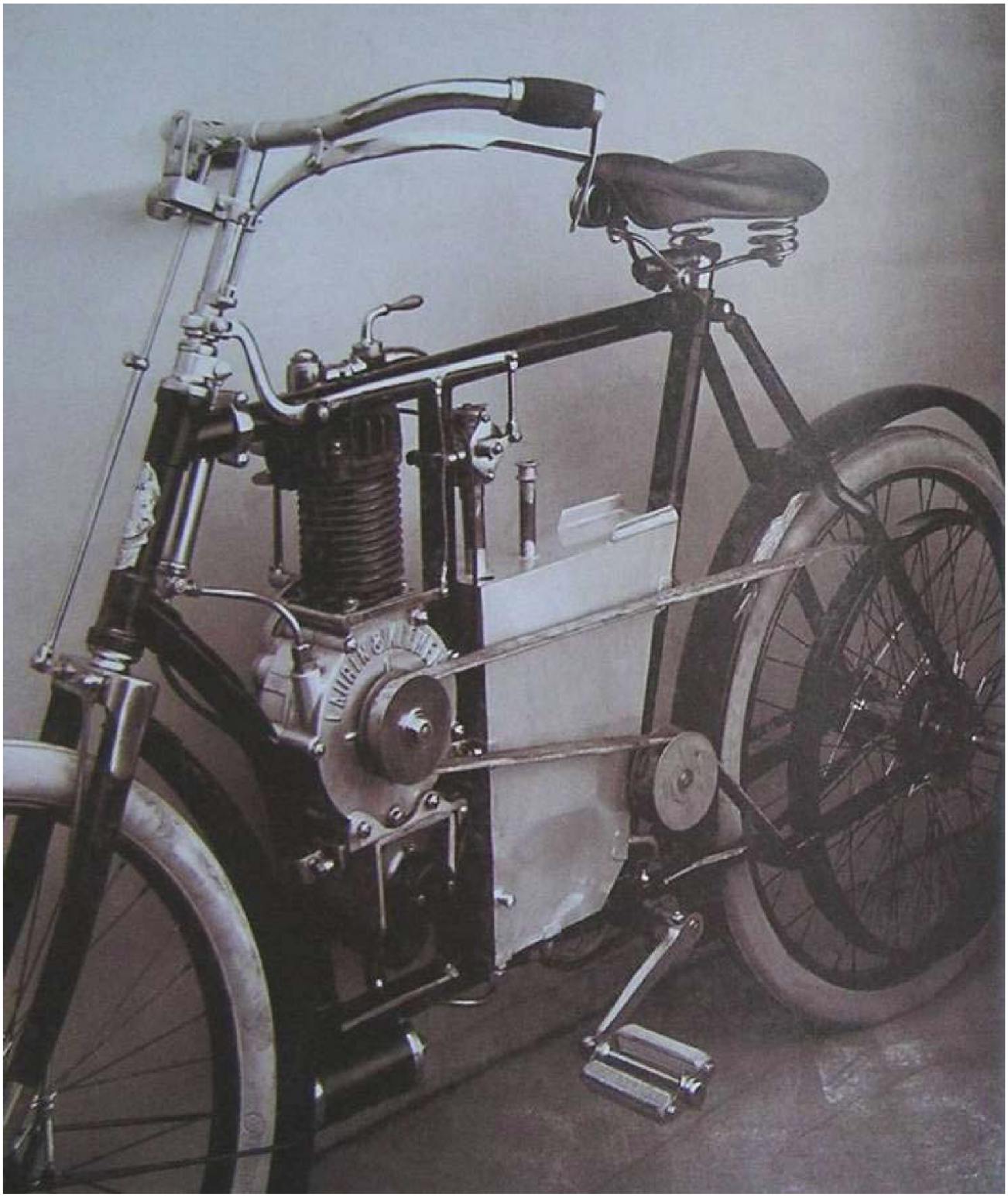
Obr. 3: Antonín Čeněk Riegel – první Čech v závodě Paříž – Vídeň

Největšího triumfu bylo dosaženo v roce 1905, kdy na neoficiálním mistrovství světa ve Francii vyhrál Václav Vondřich. Roku 1905 ve firmě L&K vrcholí vývoj motocyklů. Poté se motocykl stává vedlejším produktem, jelikož továrna přechází na výrobu automobilů. Během svého působení firma vyvinula na desítku modelů jedno-, dvou- a čtyřválcových vzduchem či vodou chlazených motorů.

Toto období motocyklového "pravěku" mě poprvé uchvátilo po přečtení povídky Adolfa Branalda „Cestující kovář" v hodině literatury na základní škole. Shlédnutí filmu Dědeček automobil režiséra Alfréda Radoka o několik let později mně doslova učarovalo. V tomto filmu shodou okolností účinkuje několik strojů členů Veteránklubu Pardubice - nejstaršího veteránklubu v České republice, který byl založen již v roce 1960. V Pardubicích jsem tyto stroje vídal na městských slavnostech a klubových akcích a měl jedinečnou možnost seznámit se s jejich majiteli, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout!

Diplomová práce se zabývá výrobou repliky motoru L&K modelu TB z roku 1902. Tento typ je považován za první slavný model firmy L&K vzhledem k úspěchu v již zmíněném závodě Paříž – Vídeň v roce 1902.

2. Popis motocyklu



Obr. 4: Motocykl L&K model TB z roku 1902

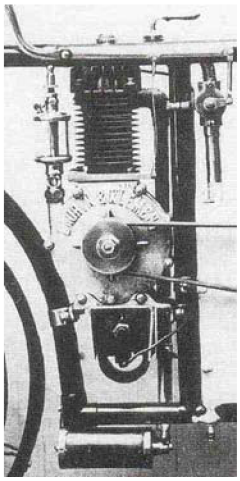
2.1 Rám

Rám z ocelových bezešvých trubek svou koncepcí připomíná jízdní kolo. Přední vidlice bez odpružení. Vodorovná rámová trubka pod motorem (obr. 5) je poznávacím znamením tohoto modelu. P o roce 1902 je trubka pod motorem prohnuta do písmene U (obr. 6) z důvodu zlepšení jízdních vlastností snížením těžiště.

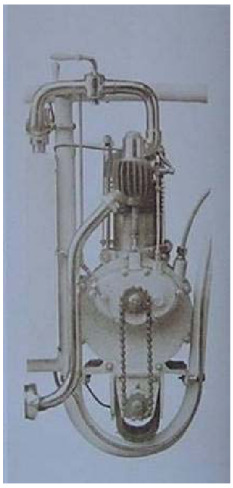
rozvor	1325mm
hmotnost motocyklu	55kg

kola: rozměry pneumatik 26x 2 – falcové pláště

brzda: pásová brzda o průměru 115mm s úhlem opásání 270° je umístěna pouze na předním kole.



Obr. 5: Vodorovná trubka pod motorem

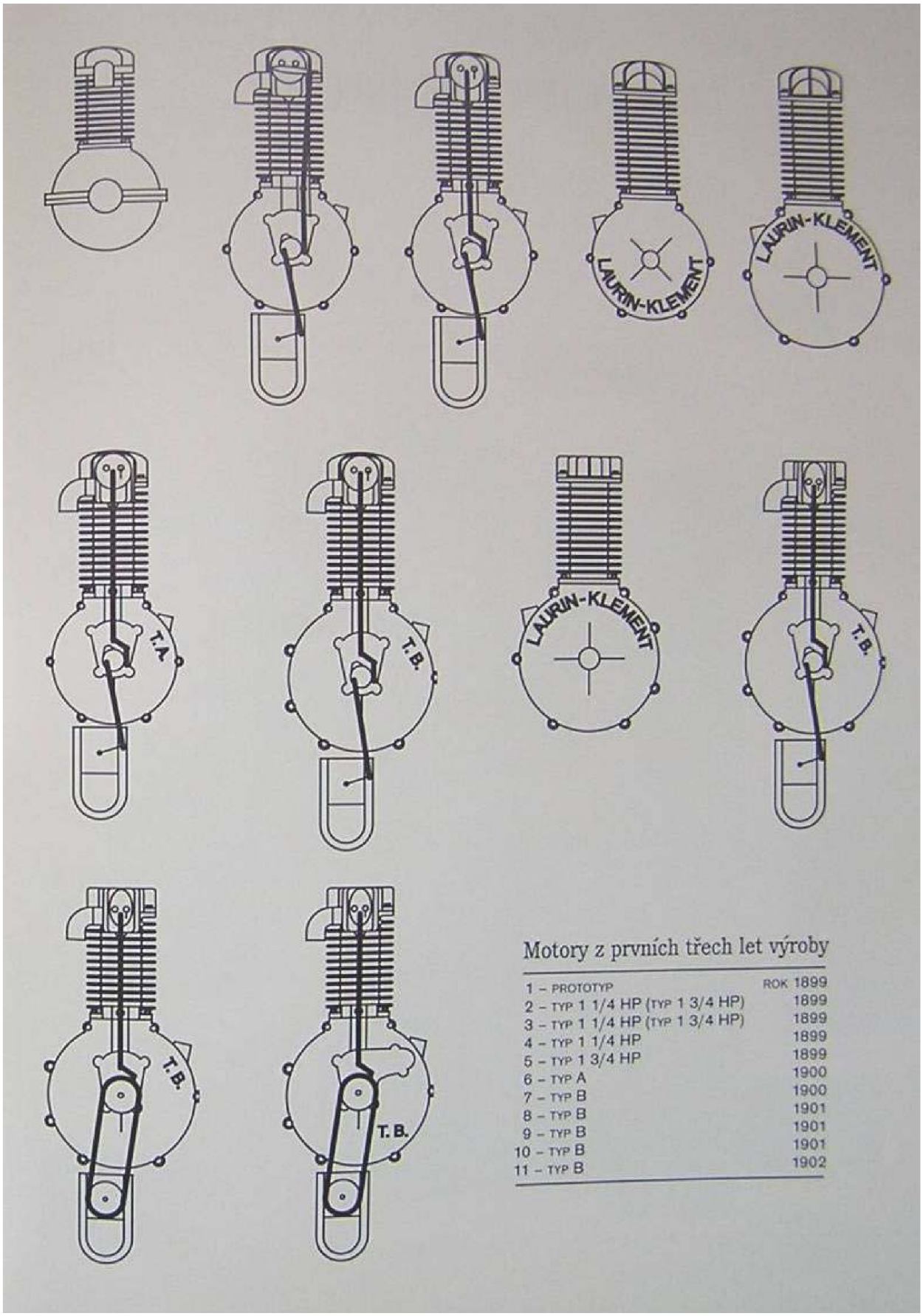


Obr. 6: Prohnutá trubka pod motorem

2.2 Motor

Motor je čtyřdobý, zážehový, vzduchem chlazený, stojatý jednoválec s automatickým sacím a postraním řízeným výfukovým ventilem (rozvod SV)

vrtání x zdvih	66 x 70mm
zdvihový objem	240ccm
maximální výkon	1,5kW (2 k)
maximální rychlost	40km/h
otáčky motoru při maximální rychlosti	2600ot/min



Obr. 7: Změny tvaru motoru do roku 1902

mazání motoru: ztrátové, s kapací olejovou maznicí. Mazání motoru rozstřikem oleje v motorové skříni.

zapalování: s elektromagnetickým induktorem o nízkém napětí a s odtahovačem ve válci

karburace: odpařovací

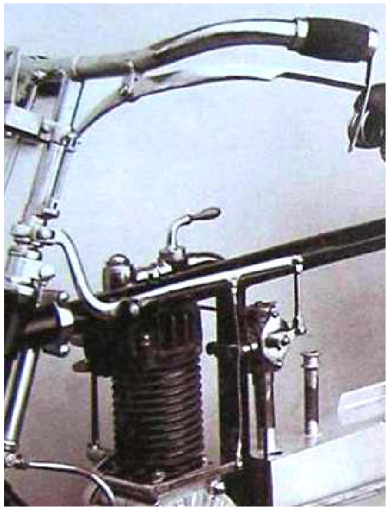
převodové ústrojí: motocykl bez převodovky a spojky, pohon zadního kola plochým koženým řemenem přímo od motoru, startovací a pomocný převod řetězem od pedálů na zadní kolo.

2.3 Ovládací prvky

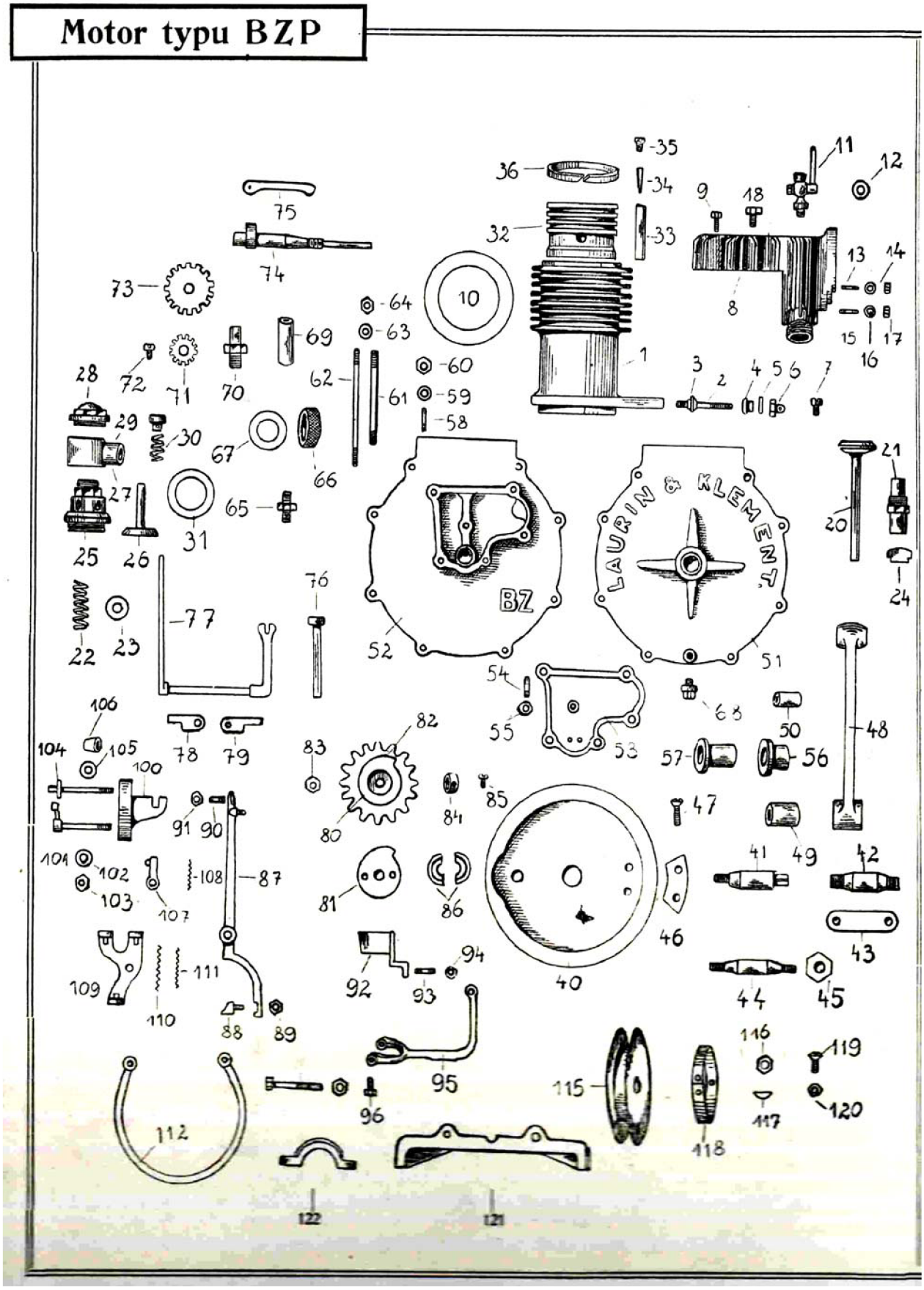
Motocykl se ovládá dvěma pákami na řidítkách a ventilem umístěným přímo na potrubí spojujícím nádrž a sací ventil.

Obr. 8: Ventil

Pravá páka na řidítkách ovládá přední brzdu, levá páka (obr.9) slouží k nadzvednutí výfukového ventilu (dekompresor) a zároveň k uzavření přívodu par z nádrže. Ventilem (obr.8) regulujeme množství par přiváděného k sacímu ventilu.



Obr. 9: Pohled na systém táhel levé páky



Obr. 10: Rozkreslení motoru typu BZ – oproti TB pouze zvětšený objem na 331 ccm

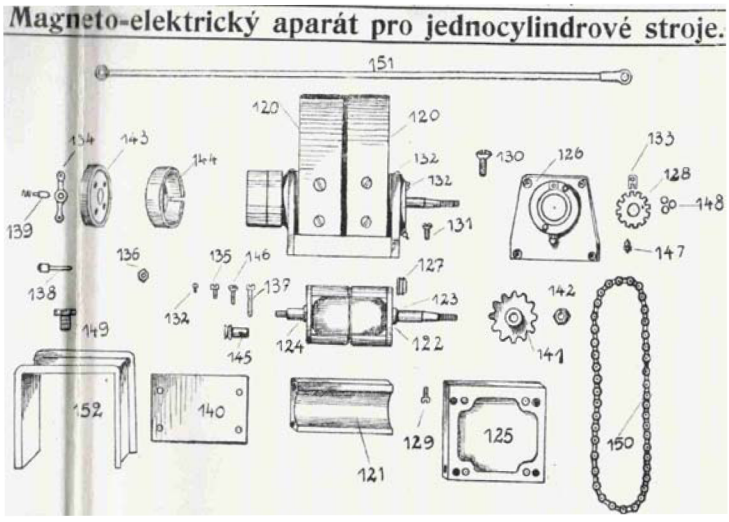
	K	h
1. **Cylindr**	25	—
2. Šroub (svornik) pro páku zapalovací	—	90
3. Konus pevný	—	50
4. » se závitem } ku 2.	—	60
5. Podložka } ku 2.	—	06
6. Matka charnýrová } ku 2.	—	10
7. Šroubek } ku 2.	—	10
8. **Hlava na cylindr**	18	—
9. Šroub k upev. hlavy	—	25
10. Těsnící kroužek k 8	—	55
11. Kohoutek petrolejový	2	40
12. Těsnící kroužek k 11	—	20
13. Šroubky k upevnění zapalováku	—	20
14. Matičky k 13	—	12
15. Šroub k upev. třinožky	—	20
16. Podložka » »	—	10
17. Matička » »	—	12
18. Šroub do hlavy k upevnění motoru	—	25
20. **Ventil výfukový (kuželka)**	7	—
21. Vedení pro ventil	2	20
22. Péro } ku 20	—	60
23. Podložka } ku 20	—	12
24. Klínek } ku 20	—	28
25. **Ventil ssací (tělisko)**	3	80
26. Kůželka	2	80
27. Plášť	2	40
28. Matka k 25	1	80
29. Kroužek stavěcí	—	30
30. Pérko k 26	—	30
31. Kroužek těsnící k 26	—	35
32. **Píst**	6	80

	K	h
33. Čep do pístu	2	—
34. Závlačka	—	12
35. Šroubek pojistný k 33	—	12
36. Kroužek pístový	1	—
40 **Setrvačníky** 1 kus	6	—
41. Osa hlavní krátká	3	50
42. » » dlouhá	4	—
43. Protichůdná matka plochá k 41 a 42	—	25
44. Čep klikový	3	80
45. Protichůdná matka šestihranná k 44	—	70
46. Vývažky	—	60
47. Šroubky do něho	—	15
48 Ojnice (táhlo)	6	80
49. Vložka pro čep klikový k 33	1	50
50. Vložka pro čep pístový k 44	2	50
51. **Kastlík** (půlka rovná)	35	—
52. » půlka se želvou	40	—
53. Deklík na želvu	7	—
54. Šroubky do želvy k 53	—	24
55. Matičky k 54	—	12
56. Ložisko (vložka) hlavní krátké	2	10
57. Ložisko (vložka) hlavní delší	2	50
58. Šrouby k upevnění cylindru	—	30
59. Podložky } k 58	—	10
60. Matičky } k 58	—	16
61. Šrouby k spojení kastlíku (kratší)	—	60
62. Šrouby k spojení kastlíku (delší)	—	70
63. Podložky } k 61 a 62	—	06
64. Matičky } k 61 a 62	—	12
65. Nipel pro přítok oleje	—	75
66. Mosazná matka ucpáv.	—	80

	K	h
67. Kroužek ucpávkový k 66	—	20
68. Šroubek k vypouštění oleje	—	14
69. Vedení pro houbu	—	90
70. **Ventilek vzduchový**	1	10
Mechanismus výfukový		
71. Ozub. kolečko 16 zubů	2	20
72. Šroubky k upev. téhož	—	06
73. Ozub. kolečko 32 zubů	3	20
74. Hřídelka s vačkou výfukovou	4	20
75. Páčka výfuková	3	—
76 Houba nadzvedávací	2	—
77. Vidlička k nadlehčení ventilu	3	20
78. Ložisko k ní (levé)	—	90
79. » » » (pravé)	—	90
Mechanismus zapalov.		
80. Vačka zapalovací	4	—
81. » variační	2	50
82. Kolečko řetězové	2	80
83. Matka k upev. vačky	-	15
84. Stavěcí kroužek	—	25
85. Šroubek do téhož k 84	—	07
86. Půlové ložisko do vidličky	2	30
87. Páka přerušovací	5	—
88. Ocelový ozub k 87	1	—
89. Matka k 88	—	12
90. Stavěcí šroubek naráž.	—	15
91. Matička protichůdná	—	10
92. Maznička	1	50
93. Šroubek k upev. } k 92	—	20
94. Matička } k 92	—	10
95. Páka k posunování vačky variační	2	80
96. Stavěcí šroubek k 86	—	09
100. Zapalovák	5	—

	K	h
101. Zapalovací jehla s kladívkem	1	50
102. Podložka } k 101	—	07
103 Matička } k 101	—	10
104. Jehla isolovaná	—	70
105. Podložka } k 104	—	07
106. Isolační kůžel } k 104	—	30
107. Páčka odrážecí k 101	1	20
108. Pérko slabé	—	15
109. Držák pérek (3nožka)	2	—
110. Péro silné (horní)	—	20
111. » » (contra spodní)		15
112. Chránítko zapalováku	1	40
115. **Řemenice** 65 mm.	4	40
115. a) » 75 »	5	—
116. Matka contra	-	25
117. Klínek k 115	-	14
118. Řemen k obložení	—	70
119. Šroubky k upev.) ku	—	08
120. Matičky contra) 118		10
121. **Můstek hliníkový**	6	—
122. Spona k upevnění motoru	—	90
123. Šroubky k upevnění motoru ku 122	—	15
124. Matičky k upevnění motoru ku 122	—	12

Obr. 11: Pozice k obrázku 10



Magneto-elektrický aparát.*)

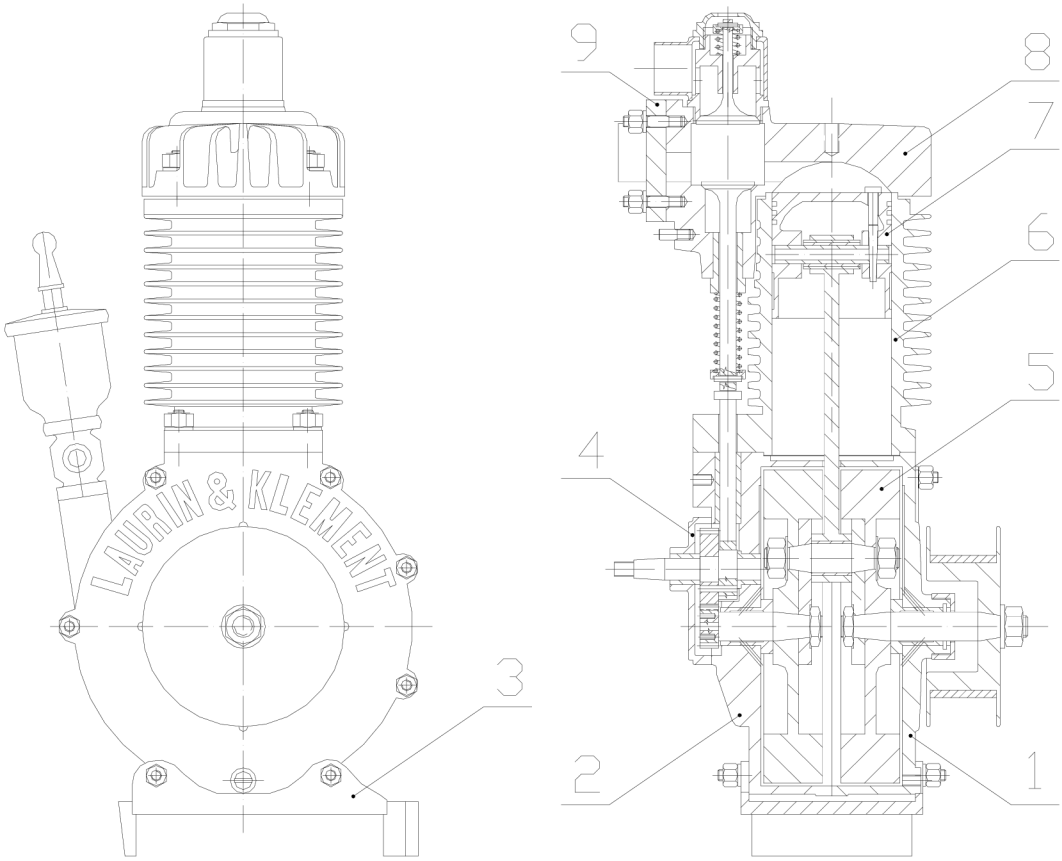
Magnetoel. app. A kompl.
» B »

120. Magnety (1 kus)
121. Pólový segment
122. Špulka
123. Plotnička špulková s osou hlavní
124. Plotnička špulková s osou dutou
125. Základní deska
126. Postranní plotny
127. Konus (kůžel)
128. Miska šroubovací
129. Šroubky do základní desky
130. Šroubky do magnetů
131. » » postranní plotny a do špulky
132. Šroubky k upevnění plechu a hřebínku
133. Hřebínky pojišťovací
134. Můstek odjímací
135. Šrouby do můstku
136. Matička k zakotvení zap. šňůry
137. Šroubky do spodní isolace
138. Isolovaný svodič
139. Čipek odjímací
140. Chránící plech (vrch.)
141. Ozubené kolečko řetězové
142. Matka k 141
143. Isolace pod odjímací můstek
144. Isolace vrchní (víčko)
145. Isolační rourka v duté ose
146. Šroubky do isolač. víčka
147. Maznička
148. Kuličky
149. Šroubky k upevnění aparátu
150. Řetízek
151. Vodící drát (kabel) s víčkem
152. Ochranný plech

Obr. 12: Zapalování

3.Výroba litých součástí motoru

Motor se skládá celkem z devíti odlitků (obr. 13). Pokud je rozdělíme podle materiálu je to hliníkový blok motoru a můstek. Válec, hlava válce, píst, setrvačník a kryt želvy jsou z litiny s lupínkovým grafitem. Držák zapalováku z mosazi. Všechny tyto součásti byly formovány a odlity ve školí slévárně Vysokého učení technického v Brně.



Obr. 13: Řez motorem

Pozice k obrázku 13:

1. blok motoru – levá polovina	(51) – číslo pozice obr.10
2. blok motoru – pravá polovina	(52)
3. můstek	(121)
4. kryt želvy	(53)
5. setrvačník klikové hřídele	(40)
6. válec	(1)
7. píst	(32)
8. hlava	(8)
9. držák zapalováku	(100)

3.1 Blok motoru

Blok motoru (dále také karter, kliková skříň) je vertikálně dělen a skládá se z levé části (obr.13 – pozice 1) a pravé části (obr.13 – pozice 2). V pravé polovině je umístěn mechanismus rozvodů – vačka, ozubená kola, zdvihátko a pomocné raménko. V horní části levé poloviny je umístěn nápis Laurin&Klement a nálitek pro umístění kapací maznice. Levá a pravá polovina jsou k sobě sesazeny na zámek (osazení v dělící rovině) a sešroubovány sedmi svorníky. V bloku motoru je na dvou kluzných ložiscích uložen klikový hřídel.

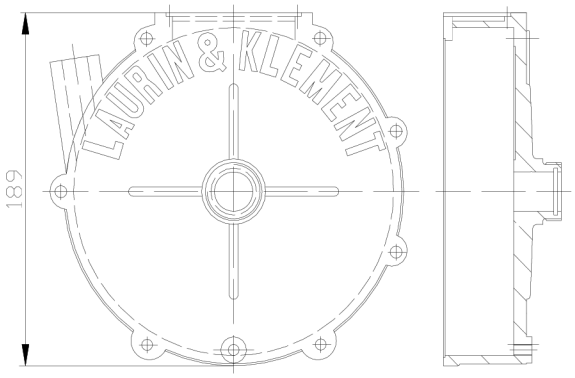
Obr. 14: Dochovaný blok motoru

Kliková skříň je vyrobena z hliníku. Historie používání hliníku a jeho slitin je velmi krátká. Laboratorně se hliník poprvé získal v roce 1825 chemickou redukcí draslíkem. V roce 1886 je patentována metoda elektrolytické výroby hliníku z bauxitu která se používá dodnes.V letech 1887-8 byly postaveny první hutě, které znamenaly začátek prudkého rozvoje průmyslové výroby hliníku. V roce 1897 byl použit hliníkový plech při stavbě vzducholodí. Na přelomu století začaly pokusy s využitím hliníku v konstrukci motorů, zejména klikových skříní. Moderní lehké hliníkové bloky využívala továrna L&K u všech svých modelů motocyklů. Jiní výrobci, jako například firma Magnet Berlin, používali v první dekádě 20 století jako materiál k výrobě bloků litinu (obr.15).

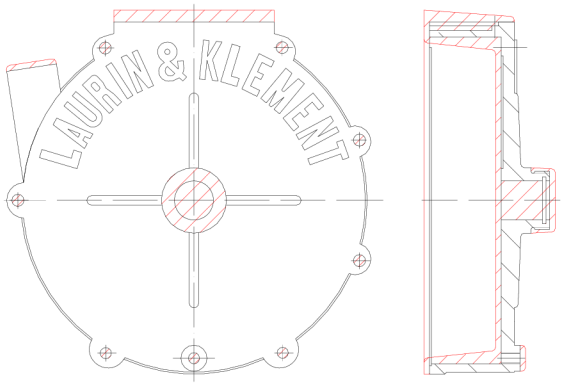
Obr. 15: Dochovaný litinový blok motoru Magnet z roku 1907

3.1.1 Výroba modelu

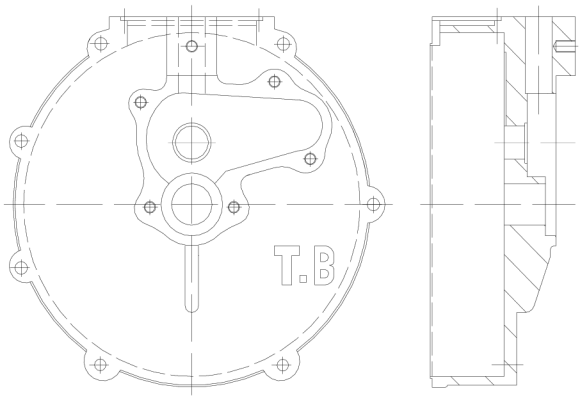
K výrobě modelu byl použit originální karter s výrobním číslem 731. Míru smrštění kovu 1,5%. S touto hodnotou počítám při úpravě rozměrů modelu. Např. smrštění největšího rozměru karteru (obr.16) 189mm má velikost 2,8mm. O tuto hodnotu byl zvětšen model, tzn. výška modelu bez přídavků na obrábění a úkosů bude 191,8mm. Dále jsou zohledněny přídavky na obrábění a úkosy, které jsou získány z norem pro přídavky na obrábění ploch odlitků ČSN 01 4980 a slévárenské úkosy modelů a odlitků ČSN 04 2021. Model byl upraven nanášením dvousložkového polyesterového tmelu stěrkou. Tím jsou získány potřebné přídavky, úkosy a zároveň vyrovnán povrch poničeného originálního karteru. Model je přebroušen brusným papírem zrnitostí 240 – 600. Povrch modelu má po přebroušení dostatečně hladký povrch, proto model nebyl natřen modrošedou barvou, která označuje modely pro slitiny hliníku. Z důvodů kusové výroby se nepředlévají žádné otvory.



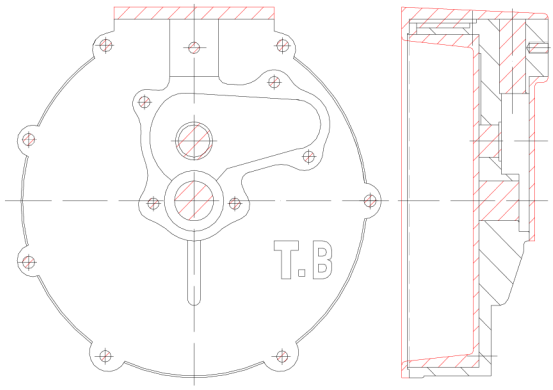
Obr. 16: Levá polovina bloku motoru



Obr.17: Umístění přídavků,úkosů



Obr 18: Pravá polovina bloku motoru

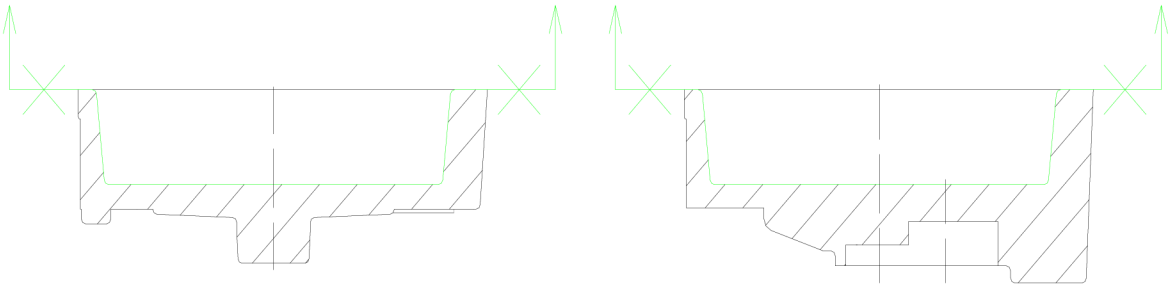


Obr.19: Umístění přídavků,úkosů

Obr. 20: Připravený model karteru

3.1.2 Formování

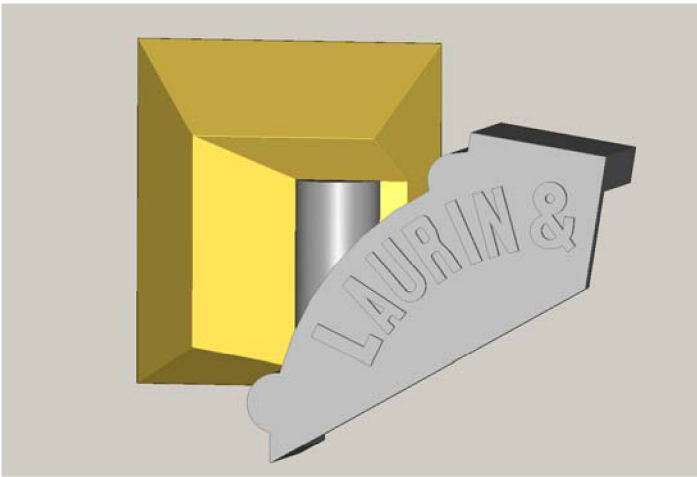
Připravený model zaprášený dělícím práškem (mletý vápenec impregnovaný voskem) se ručně formuje do bentonitvé směsi. Bentonitová směs byla připravena v kolovém mísiči, přidáním 4% vody vznikne tvárná formovací směs. Poloha modelu ve formě a tvar dělící roviny je patrný z obr.21. Model je zaformován do spodního rámu. Vzhledem k výšce modelu se spodní část formy skládá ze dvou rámů (obr.22). Ze snahy o co nejlepší povrch, je model orientován neobráběnou (pohledovou) částí dolů. Nevýhodou je, že vměstky vyplouvají do obráběných ploch, na kterých je dostatečný přídavek.



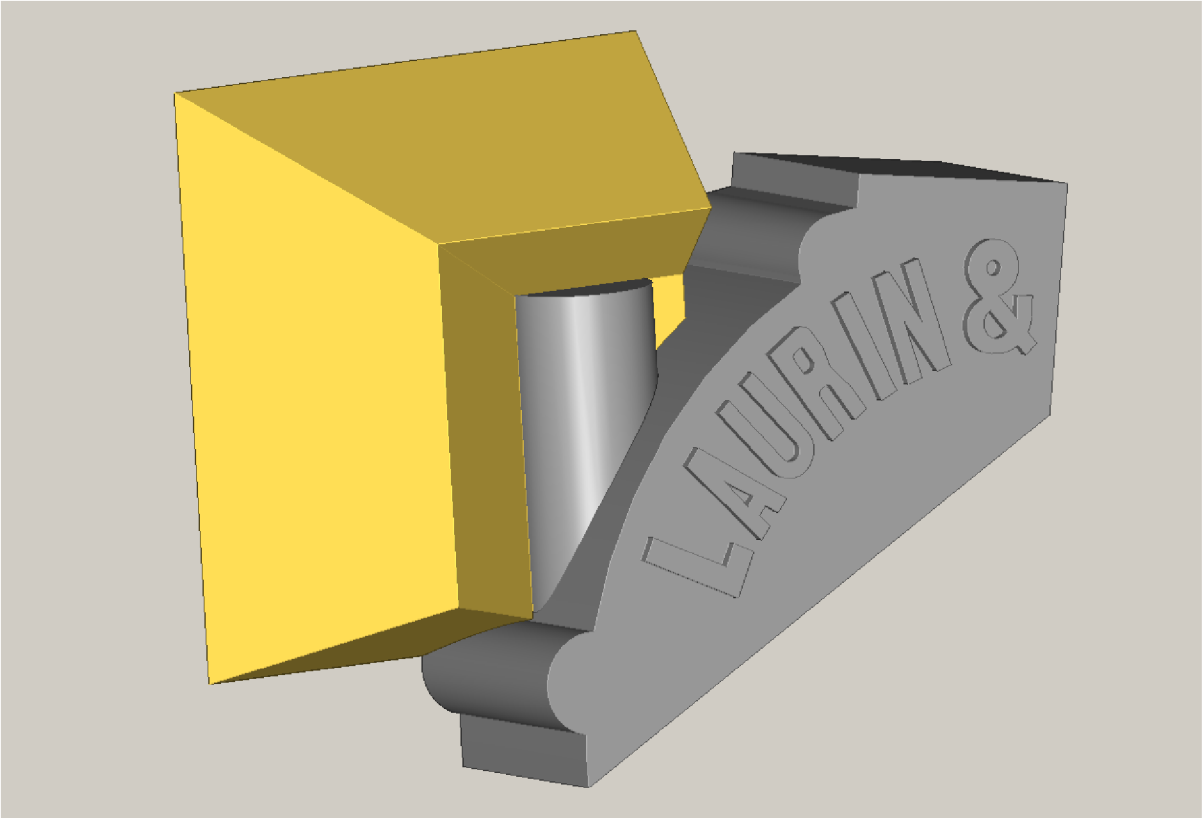
Obr. 21: Dělící rovina

Obr. 22. Zaformování spodní části formy

Samotné formování vyžaduje zkušenost formíře. U nálitku na kapací maznici levého karteru je nutné použít nepravé jádro (klín) (obr.23, 24). Nepravé jádro z bentonitové směsi je zpevněno pískováčky. Model s nepravým jádrem je zaprášen dělícím prostředkem a po té formován do bentonitové směsi. Při vyndávání modelu je nejprve vyjmuto nepravé jádro, po rozklepnutí vyjmut model a nepravé jádro vráceno zpět do známky.



Obr. 23. Tvar a poloha nepravého jádra



Obr. 24. Tvar a poloha nepravého jádra

V horní části formy je umístěna vtoková jamka a kůl. Zářez je umístěn na karteru do obráběné plochy v místě uchycení válce. Po složení formy byl rám zatížen úkladky.

3.1.3 Odlití

Na výrobu karterů byl použit materiál AlSi8Cu3 který byl taven na elektrické odporové peci LAC.

Fyzikální a chemické procesy při tavení hliníku nebyly v roce 1902 známy na takové úrovni jako dnes. S rafinací taveniny, filtrací či odplyňováním se začalo mnohem později. Například až v roce 1921 objevil Pacz metodu zjemnění eutektika slitin Al-Si modifikací sodíkem. To vedlo k výraznému zlepšení mechanických vlastností, zvláště zvýšení tažnosti. Z tohoto důvodu nebyla při výrobě repliky bloku motoru prováděna žádná úprava nataveného kovu. Před odlitím je pouze stažena struska, liji z teploty 710°C.

Vzhledem k nedostatku zkušeností s formováním se byl první odlitek nepoužitelný. Forma nebyla dostatečně zhutněna, povrch odliku je příliš hrubý a je na něm patrný rozplavený písek. Druhý odlitek má již požadovanou kvalitu (obr.25).

Obr 25: Levý blok motoru

Využití kovu:

$$\eta_k = \frac{m_{hr}}{m_{sur}}.100 = \frac{2,7}{4,2}.100 = 64\%$$

Hmotnost surového odlitku – m_{sur} = 4,2kg

Hmotnost hrubého odlitku – m_{hr} = 2,7kg

3.1.4 Možnosti použití jiné technologie

Při kusové výrobě karteru je nejjednodušší ručně zaformovat model do bentonitové směsi. Při použití modelového písku získá odlitek dostatečně hladký povrch a ušetří se cídírenské práce. Jako modelový písek se používá červený olejový písek. Z ekonomických důvodů nebyl použit. Přesné lití na vytavitelný model je vhodné pro hromadnou výrobu. Tímto způsobem dnes někteří menší motocyklový výrobci vyrábí bloky motorů. Výhodou je vysoká přesnost, tenké stěny a možnost použití záporných úkosů. Pro velkosériovou výrobu se používá tlakové lití. Tento způsob zajišťuje kvalitní povrch a dobré mechanické vlastnosti, nevýhoda je ve vysoké investici při výrobě kovové formy.

3.1.5 Obrábění

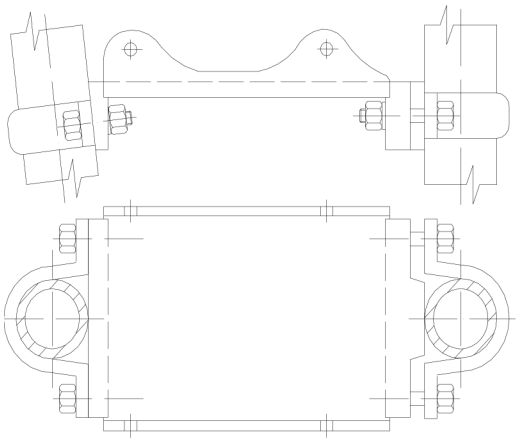
Odlitek bloku motoru byl obráběn na univerzálním soustruhu SV 18, nástrojařské frézce FN 32 a sloupové vrtačce PH 32.

Obr. 26: Obrábění karteru

3.2 Můstek

Můstek (obr.13 – pozice 3) je k motoru připevněn dvěma ze sedmi svorníků spojujících kartery. Objímkami přišroubovanými k můstku je motor upevněn k rámu (obr.28). Na spodní části můstku je připevněn zapalovací magnet. Pro výrobu můstku byl použit materiál AlSi8Cu3. Na některých modelech motocyklů L&K byl můstek bronzový.

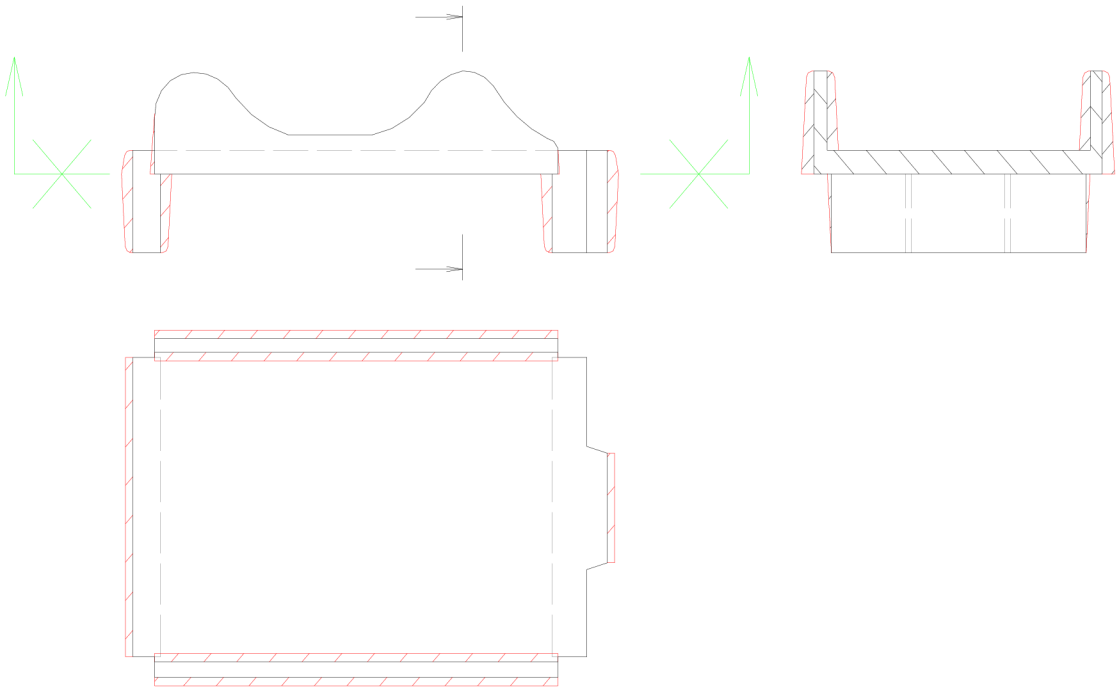
Obr.27: můstek



Obr.28: upevnění můstku k rámu

3.2.1 Výroba modelu

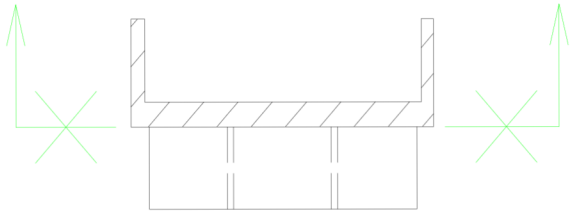
Model můstku byl vytvořen z originálního dílu stejným způsobem jako model karteru v kapitole 3.1.1. Smrštění kovu zvoleno stejné jako v předchozím případě 1,5%.



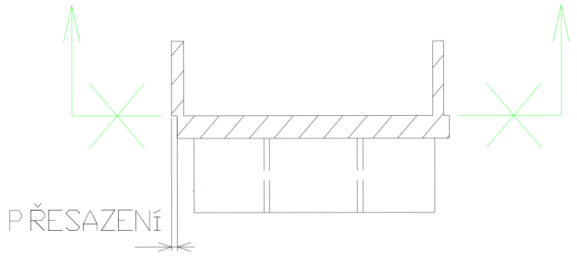
Obr.29: Umístění přídavků na obrábění, úkosů

3.2.2 Formování

Model je ručně formován do bentonitové směsi. Zvolená poloha dělící roviny je na obr. 30. V tomto případě je znemožněno přesazení odliku v tenkých průřezech (obr.31).



Obr. 30: Zvolená poloha dělící roviny



Obr. 31: Přesazení odlitku

3.2.3 Odlití

Odlití formy provedeno stejně jako v bodě 3.1.3. Na model nebyl použit modelový písek, odlitek má hrubý povrch – obr.32.

Obr. 32: Odlitý můstek

3.2.4 Možnosti použití jiné technologie

Původní technologii výroby můstku se nepodařilo zjistit. Domnívám se že můstek byl odléván do kovové kokily. Tím by se získala jemnozrnná struktura a dobré mechanické vlastnosti..
Z ekonomických důvodu pro jeden kus se kovová kokila nevyrábí, můstek byl odlit do bentonitové směsi.

3.3 Válec

Válec (obr.13 – pozice 6) je jedna z nejdůležitějších součástí motoru. Kvalita jeho funkční plochy zajišťuje požadovanou kompresi, ovlivňuje chod motoru a spotřebu oleje. Jako materiál pro výrobu válce byla použita litina s lupínkovým grafitem. Válec není řešen litinovou vložkou zalitou v hliníkovém odlitku, ale funkční plocha válce je vybroušena přímo v těle litinového odlitku. Vzduchem chlazený válec je žebrován po celé své délce.

Originální válec jsem viděl pouze na motocyklu ve Škoda Auto Muzeu v Mladé Boleslavi. Bohužel jsem dosud neměl k dispozici samotný válec. Z tohoto důvodu byly rozměry válce určeny z dobových fotek a z rozměrů protikusu – hlavy a karteru.

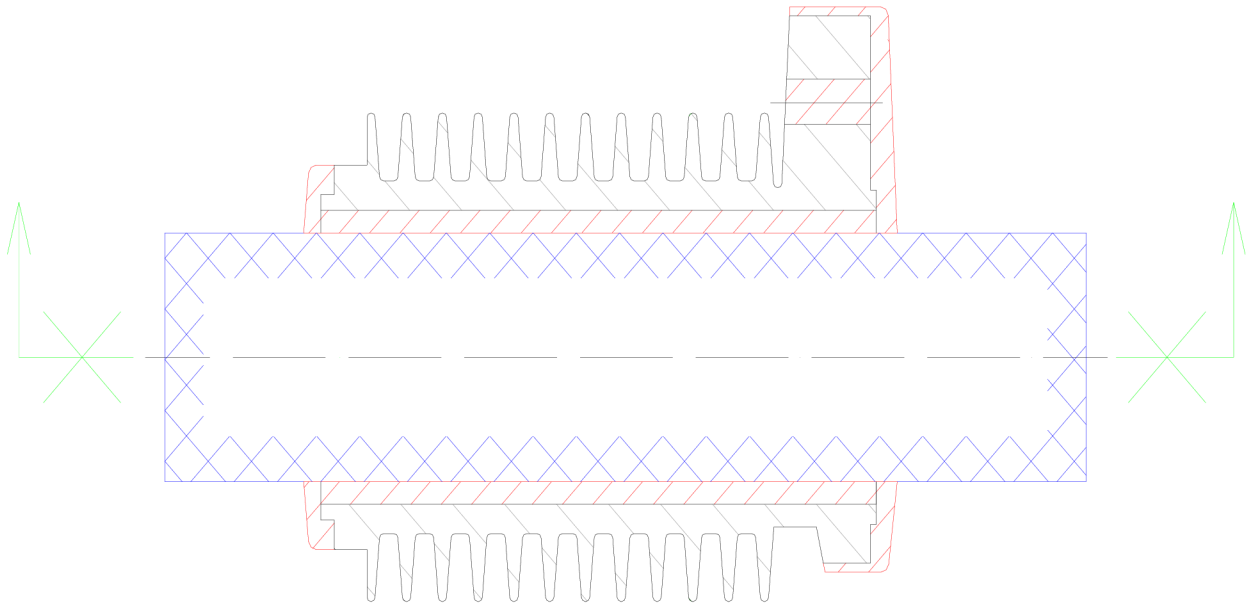
3.3.1 Výroba modelu

Při výrobě modelu válce se vycházelo ze dvou možností. První varianta je na obrázku 33, kdy se válec odlije bez chladících žeber a ta se dodatečně obrobí na soustruhu. O této variantě by se uvažovalo pouze při výrobě kusu, u kterého nejsou požadavky na kvalitu materiálu. Ručně zaformovat model bez žeber do bentonitové směsi je jednodušší a rychlejší než zaformovat model s žebry. Nevýhodou je odlití silné stěny, která může způsobit zapečení jádra, hrubozrnnou strukturu odlitku, mikrostaženiny a řediny. Z tohoto důvodu byl použit model s žebry (obr 34, 35).

Obr.33: Model bez žeber

Obr.34: Model s žebry

Jedná se o dělený trvalý model s jaderníkem. U modelu s žebry, která mají malý úkos, je velmi důležitá hladkost povrchu žeber. Dostatečné hladkosti povrchu se nejlépe dosáhne u kovových modelů. Povrch žeber se vyleští. Na výrobu kovových modelů se používá bronz, hliník, litina.

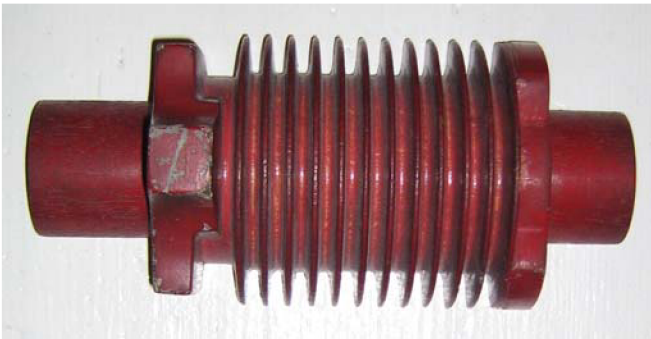


Obr. 35: Tvar a poloha jádra, přídavky, úkosy

Model slouží pouze pro výrobu jediného kusu odlitku, proto není uvažováno o opotřebení modelu a jako materiál pro výrobu je použito dřevo, volím dub. Pro dřevěné modely s vyšší třídou opotřebení je vhodný javor, ořech, olše. Příprava dřevěného modelu je jednodušší a levnější než příprava kovového modelu. Dva hranoly se na sebe přilepí klihem přes noviny, po vysoustružení žeber (obr.37) se model rozebere v místě slepení opět na dvě části. Ostatní části modelu byly vyrobeny ze dřeva a dolepeny na model. Materiál odlitku válce je litina s lupínkovým grafitem, proto byl model nastříkán světle červenou barvou. Přelakováním bylo dosaženo dostatečné hladkosti povrchu žeber.

Obr. 36: Výroba modelu

Obr. 37: Vysoustružená žebra



Obr. 38: Připravený model

3.3.2 Výroba jádra

Velikost nepředlévaného otvoru u litinového odlitku se určí ze vztahu:

$$d_{\min} = 0{,}3.h + 10 = 0{,}3.145 + 10 = 53{,}5mm$$

d_{min}… minimální průměr jádra $[mm]$

h……. výška válce - 145 mm

Minimální průměr jádra je 53,5mm.

Průměr obrobeného válce je 65mm. Průměr jádra zvolen 55mm, přídavek na obrábění stěny válce je 5mm. Pro výrobu jádra byla použita metoda CO_2. Suché křemenné ostřivo z lokality Šajdíkovi Humence SH 32 se smíchá s čtyřmi procenty vodního skla Be 50. Do připraveného jaderníku (obr.39) byla směs upěchována a po té vytvrzena CO_2. Jádro se proti zapečení opatřilo zirkoniovým nátěrem.

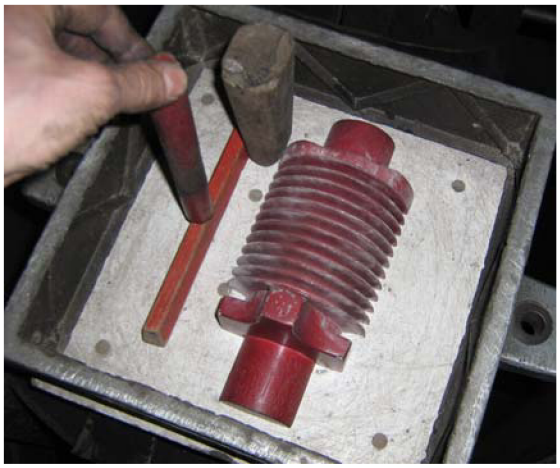
Obr. 39: Jaderník

Obr. 40: Jádro

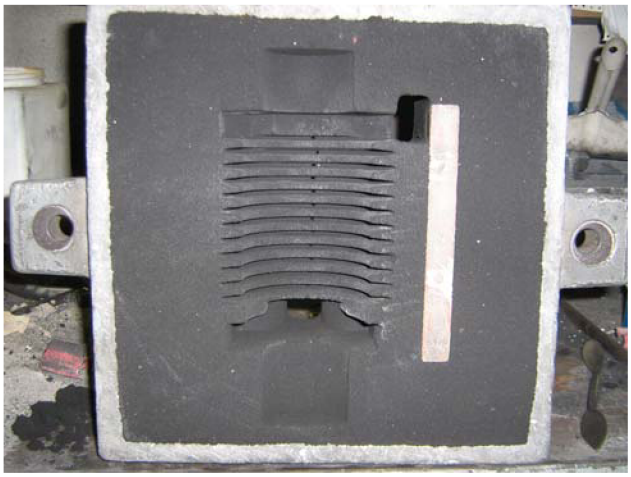
Obr. 41: Zirkonový nátěr

3.3.3 Formování

Tvar vtokové soustavy je patrný je z obrázku 42 a 44. Přetlaková vtoková soustava je zaústěna dvěma zářezy. Poloha a tvar nálitků je patrný z obr. 45.



Obr. 42: Příprava vtokové soustavy



Obr. 43: Zaformovaná horní polovina

Obr. 44: Připravené formy

Připravený model zaprášený dělícím práškem je zasypáván vrstvami přesité bentonitové směsi. Jednotlivé vrstvy jsou pěchovány tak, aby se do sebe provázaly a při vyndávání modelu se žebra nezatrhla. Formování žeber vyžaduje zkušenost formíře. Poloha modelu ve formě a tvar dělící roviny je patrný z obr.34. Vyndávání modelu z formy by usnadnilo použití modelové desky. V každém žebru v horním polovině formy propichuji výfuk pro odvod plynů.

3.3.4 Odlití

Požadovaný materiál na výrobu válce je EN-GJL-200S. Matriál byl taven na elektrické indukční peci. Jako vsázka byl použit litinový odpad očkovaný 0,5% FeSi65 do licí pánve. Teplota lití 1430°C. Byla odlita zákalková zkouška, materiál ztuhl šedě. Chemická analýza nebyla provedena.

Využití kovu:

$$\eta_k = \frac{m_{hr}}{m_{sur}}.100 = \frac{5}{10,1}.100 = 49\%$$

Hmotnost surového odlitku – m_{sur} = 10,1kg

Hmotnost hrubého odlitku – m_{hr} = 5kg

Obr. 45: Surový odlitek válce

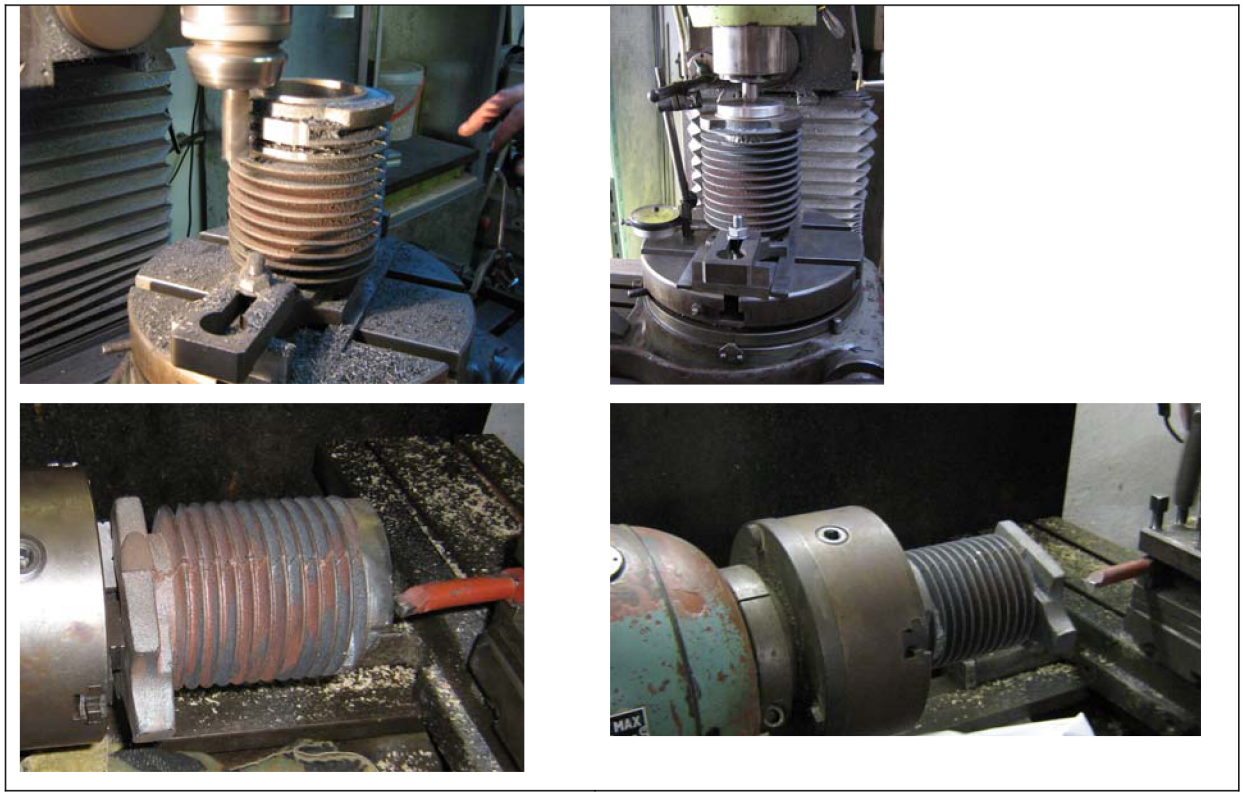
Obr. 46: Surový odlitek válce

3.3.5 Možnosti použití jiné technologie

Při kusové výrobě válce se z ekonomických důvodů nenabízí jiná možnost než válec ručně formovat do bentonitové směsi. Pro hromadnou a velkosériovou výrobu je možné řešit výrobu válce metodou spalitelného modelu, nebo metodou croning.

3.3.6 Obrábění

Odlitek válce byl obráběn na univerzálním soustruhu SV 18, nástrojařské frézce FN 32m sloupové vrtačce PH 32, svislé honovačce BV 240.



Obr. 47: Obrábění válce

Obr. 48: Povrch válce po honování

Obr. 49: Pohled na funkční plochu válce

3.3.7 Oprava odlitku

Při neopatrné manipulaci s válcem během obrábění došlo k poškození žeber odlitku – obr.50. Při následné opravě bylo uražené žebro dovařeno elektrodou (nikelitkou) a tvar žebra vybroušen úhlovou bruskou (obr.52).

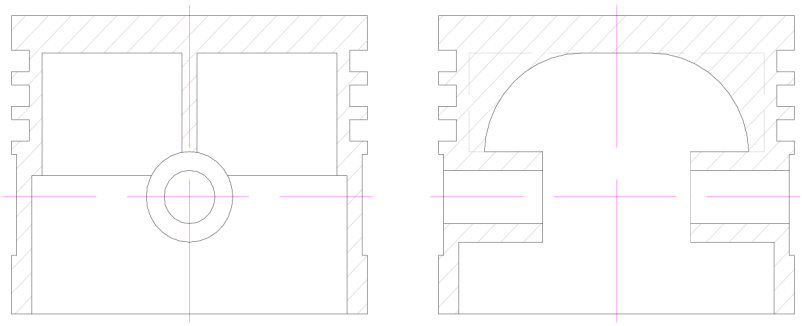
Obr. 50: Uražené žebro

Obr. 51: Dovařený materiál

Obr. 52: Vybroušené žebro

3.4 Píst

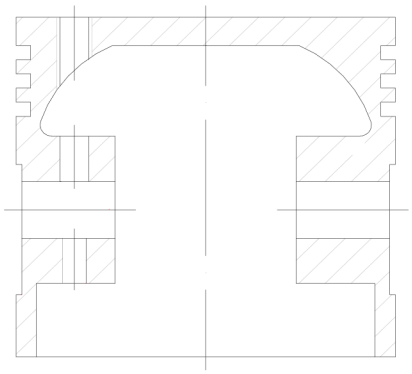
Píst (obr.13 – pozice 7) vratným pohybem ve válci zajišťuje plnění motoru zápalnou směsí. Vůli mezi válcem a pístem utěsňují pístní kroužky. Písty u dnešních spalovacích motorů jsou z nadeutektického siluminu, např. AlSi13CuNiMg. U motorů z přelomu 20 století byly písty výhradně litinové.



Obr. 53: Tvar pístu z motoru typu CCD

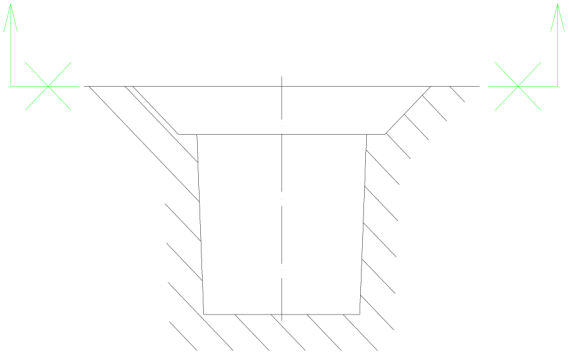
3.4.1 Výroba modelu

Originální píst z motoru typu TB se nedochoval. Při výrobě modelu se vychází z tvaru dochovaného pístu pro dvouválcový motocyklový motor L&K model CCD (obr.53). Tento píst má tři pístní kroužky vysoké 4mm a osazení v místě pístního čepu. Z důvodu špatné dostupnosti pístních kroužku průměru 66mm bylo u repliky motoru změněno vrtání válce na průměr 65mm. Pro tento průměr jsou kroužky běžně v prodeji. Tímto krokem se snížil objem motoru z 240ccm na 232ccm.

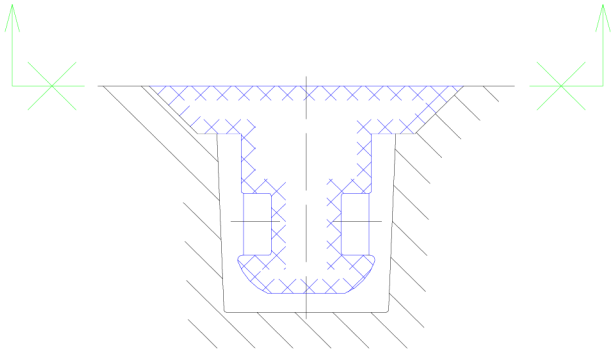


Obr. 54: Navrhnutý tvar pístu

Při návrhu tvaru modelu se nabízely dvě možnosti. U první varianty je celý model zaformovaný ve spodním rámu (Obr.55) a jádro zavěšené svisle v jedné známce (Obr.56).

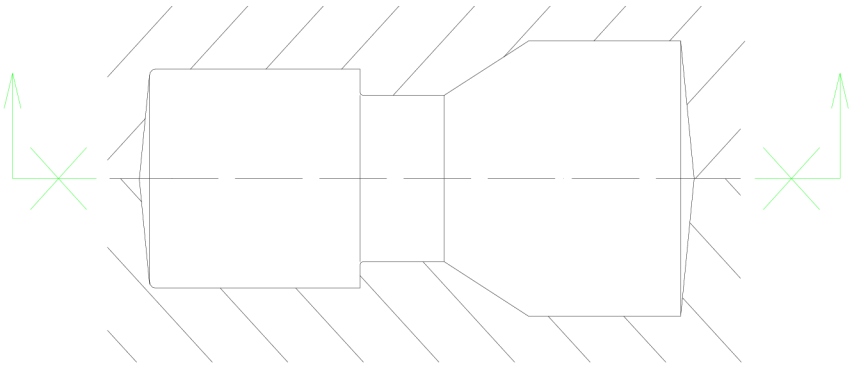


Obr. 55: Poloha modelu první varianty

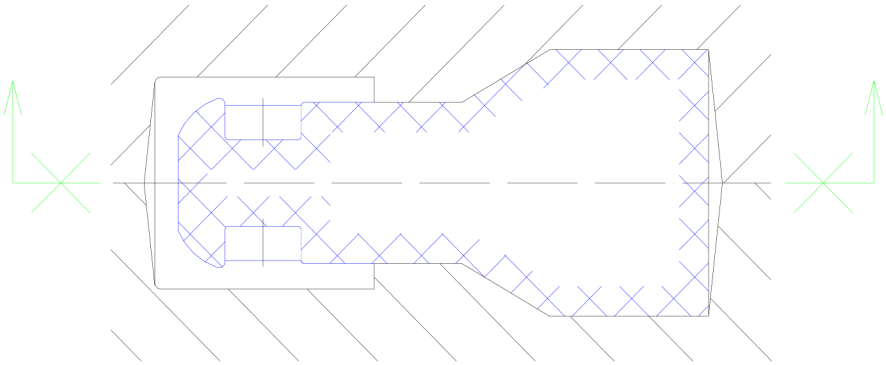


Obr. 56: Svisle zavěšené jádro

U druhé varianty prochází dělící rovina osou modelu, který je zaformován v obou rámech (obr.57). Jádro je uloženo v jedné známce vodorovně (obr.58).

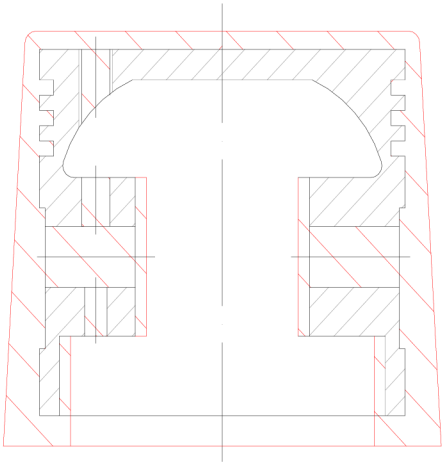


Obr. 57: Poloha modelu druhé varianty

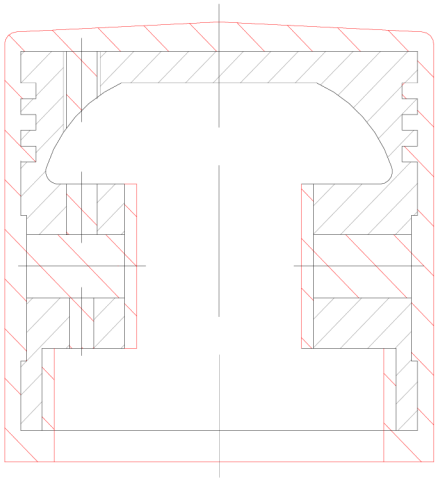


Obr. 58: Vodorovně uložené jádro

Úkosy pro svislý model jsou na obvodě (obr.59), pro vodorovný na čele (obr.60). Z důvodu menších rozměrů, jednodušší výroby neděleného modelu je k výrobě zvolena první varianta se svisle založeným jádrem. Připravený model je na obrázku 61. Na materiál modelu byl použit dub.



Obr. 59: Úkosy pro svislý model

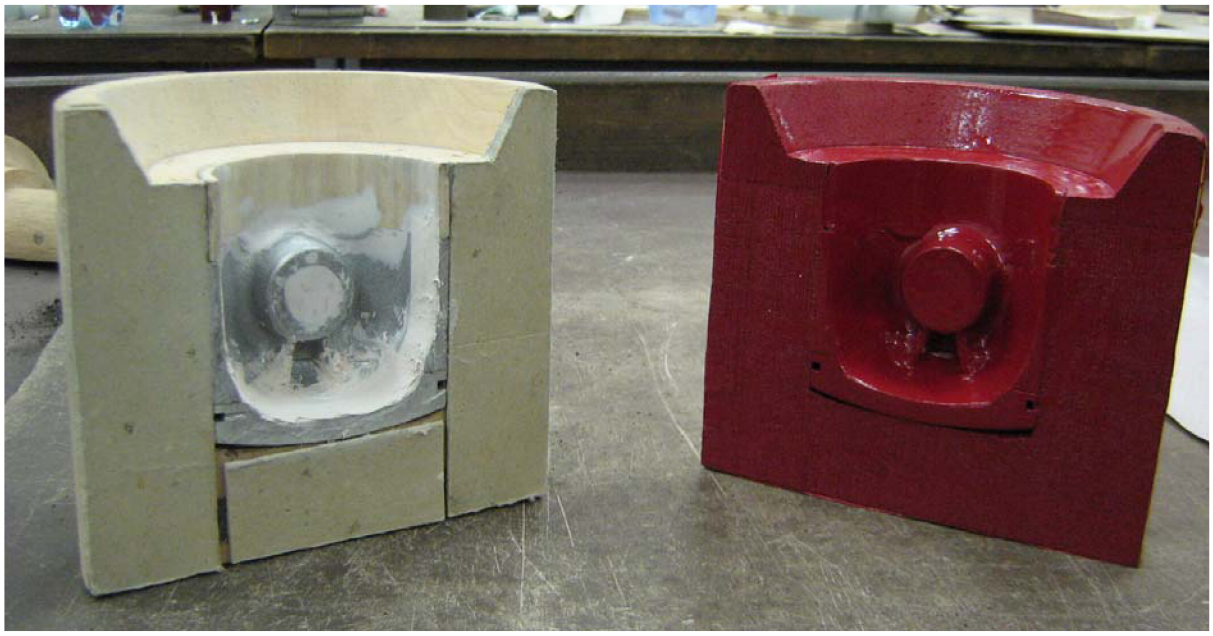


Obr. 60: Úkosy pro vodorovný model

Obr. 61: Připravený model pístu

3.4.2 Výroba jádra

K výrobě jaderníku byl použit píst z motocyklu Jawa 250. Tento píst o průměru 65mm byl svisle rozříznut na dvě části. Tyto části byly vlepeny do připraveného dřevěného jaderníku a dál upravovány dvousložkovým polyesterovým tmelem do požadovaného tvaru (obr.62).
K výrobě jádra je použita metoda CO_2. Do připraveného jaderníku byla upěchována připravená směs s vodním sklem a po té vytvrzena CO_2. Připravené jádro je na obrázku 63.



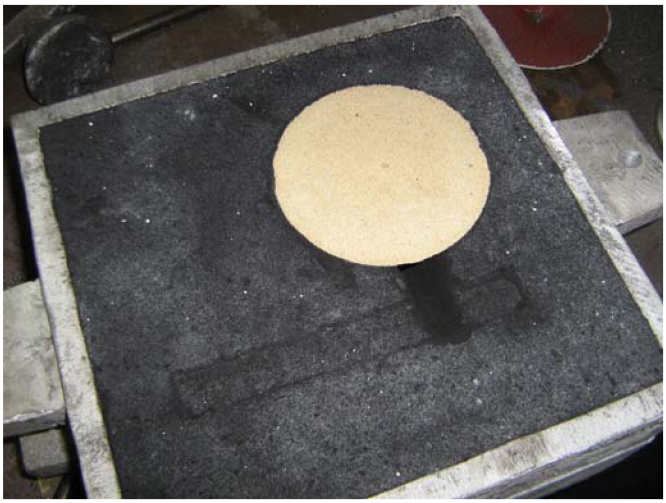
Obr. 62: Příprava jaderníku

Obr. 63: Jádro

3.4.3 Formování

Z důvodu výšky modelu byla spodní část formy složena ze dvou rámů (obr.64). Model byl zaformován do bentonitové směsi. Tvar a zaústění vtokové soustavy je patrný z obrázku 65, 67. Byla zvolena přetlaková vtoková soustava, řídící průřez je zářez.

Obr. 64: Zaformovaný model



Obr. 65: Založení jádra do spodního rámu

3.4.4 Odlití

Matriál byl taven na elektrické indukční peci. Jako vsázka byl použit litinový odpad očkovaný 0,5% FeSi65 do licí pánve. Teplota lití 1430°C. Chemická analýza nebyla provedena.

Využití kovu:

$$\eta_k = \frac{m_{hr}}{m_{sur}}.100 = \frac{1,1}{1,9}.100 = 57\%$$

Hmotnost surového odlitku – m_{sur} = 1,9kg

Hmotnost hrubého odlitku – m_{hr} = 1,1kg

Obr. 66: Surový odlitek pístu

Obr. 67: Surový odlitek pístu

3.4.5 Možnosti použití jiné technologie

Jiná technologie pro kusovou výrobu než odlití do bentonitové směsi s jádrem pojeným CO_2 s vodním sklem by byla náročná jak časově, tak ekonomicky. Litinové písty se dnes používají pouze u lodních motorů.

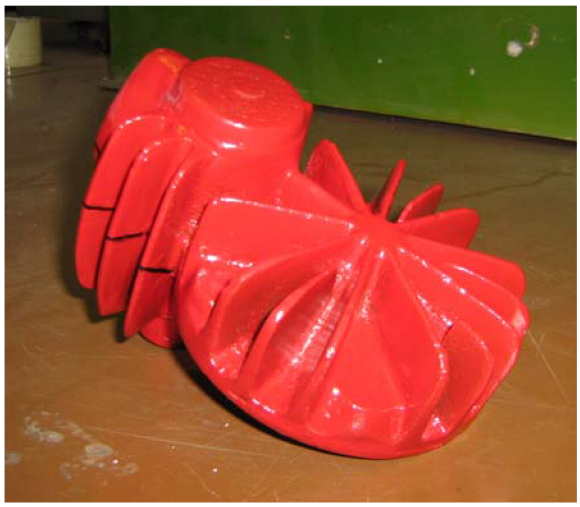
3.5 Hlava válce

V hlavě válce je umístěno těleso sacího ventilu, výfukový ventil s vodítkem a mechanická část zapalování. Výfukový ventil dosedá do sedla, které je vyfrézováno přímo v těle odlitku. Vodítko ventilu je v hlavě zašroubované. Hlava (obr.13 – pozice 8) je po obvodě žebrovaná. Za hlavu je motor upevněn v rámu.

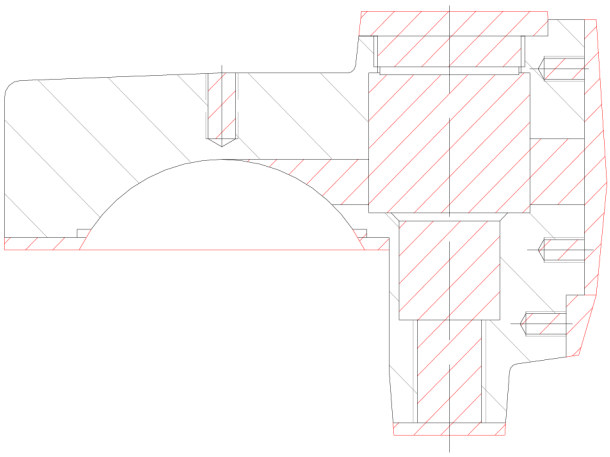
3.5.1 Výroba modelu

K výrobě modelu byla použita originální hlava motoru. Polyesterovým tmelem byl vyrovnán hrubý povrch hlavy, vytvořeny přídavky na obrábění a úkosy. Po přebroušení byl model opatřen světle červeným nátěrem. Umístění přídavků a úkosů je na obrázku 70. Kulový spalovací prostor je pro zachování tenkých stěn předlit (obr.75). Ventilová komora nebyla z důvodu kusové výroby předlita.

Obr. 68: Příprava modelu hlavy



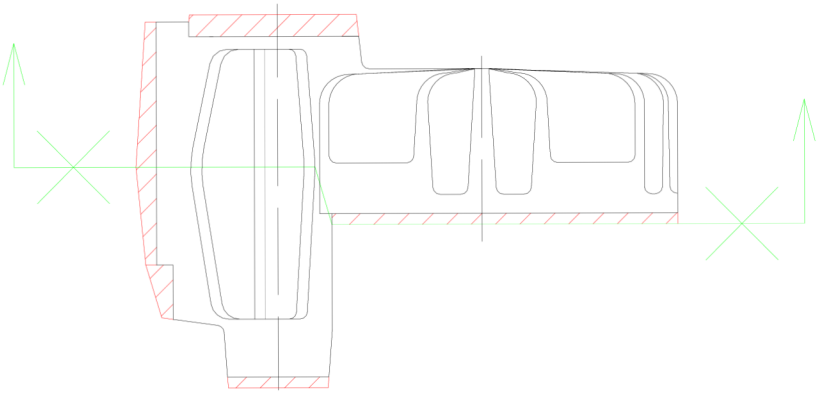
Obr. 69: Model hlavy motoru



Obr. 70: Vyznačení přídavků, úkosů

3.5.2 Formování

Model hlavy byl formován do bentonitové směsi. Při formování byla žebra zpevněna pískováčky. Průběh dělící roviny je vyznačený na obr.71. Nad ventilovou komorou byl z důvodu tepelného uzlu umístěn nálitek. Tvar a zaústění vtokové soustavy je patrné z obr. 74. Průřezy částí přetlakové vtokové soustavy jsou v poměru $S_{kůl}$: $S_{struskovák}$: $S_{zářezy}$ = 1,5 : 1,3 : 1.



Obr. 71: Průběh dělící roviny

Obr. 72: Dutina formy

3.5.3 Odlití

Odlití formy provedeno stejně jako v bodě 3.4.4.

Využití kovu:

$$\eta_k = \frac{m_{hr}}{m_{sur}}.100 = \frac{4,9}{7,2}.100 = 68\%$$

Hmotnost surového odlitku – m_{sur} = 7,2kg

Hmotnost hrubého odlitku – m_{hr} = 4,9kg

Obr. 73: Vyhražená vtoková jamka

Obr. 74: Surový odlitek hlavy

Po odlití byly odlitky tryskány ve stolovém tryskači.

Obr. 75: Pohled na předlitý spalovací prostor

Obr. 76: Otryskaný odlitek hlavy

3.5.4 Návrh jiné technologie

Při kusové výrobě hlavy válce se z ekonomických důvodů nenabízí jiná možnost než model ručně formovat do bentonitové směsi. Odstranění tepelného uzlu ve ventilové komoře by vyřešilo jádro. Pro hromadnou a velkosériovou výrobu je možné řešit výrobu hlavy válce metodou spalitelného modelu, nebo metodou croning.

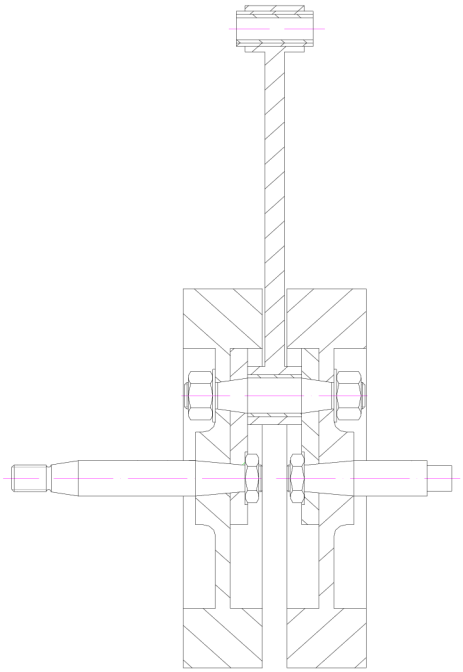
3.5.5 Obrábění

Odlitek hlavy motoru byl opracován na univerzálním soustruhu SV 18, nástrojařské frézce FN 32 a sloupové vrtačce PH 32.

Obr. 77: Obrábění odlitku hlavy motoru

3.6 Setrvačník klikové hřídele

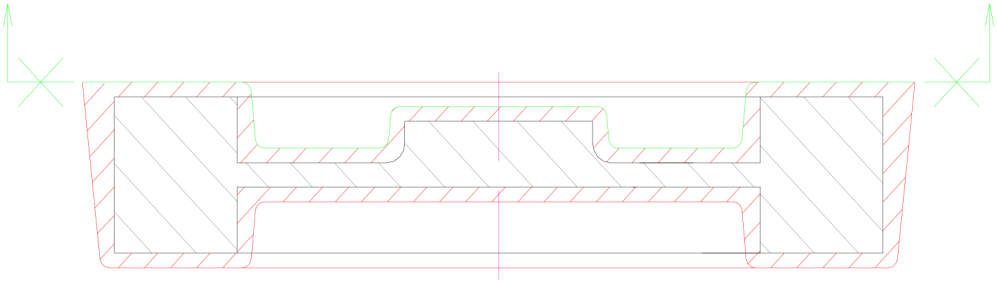
Kliková hřídel se skládá z ojnice, čepů a setrvačníků (obr.13 – pozice 5). Pomocí klikové hřídele se mění posuvný pohyb pístu na výstupní rotační. Na levém klikovém čepu je umístěna řemenice, která pomocí plochého řemene pohání zadní kolo motocyklu.



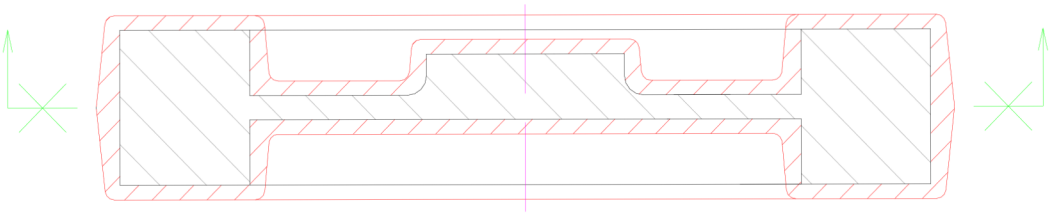
Obr. 78: Kliková hřídel

3.6.1 Výroba modelu

Tvar a rozměry setrvačníku klikové hřídele byly zjištěny z dobové fotografie rozebraného motoru. Z důvodu velmi špatné kvality není v práci fotografie uvedena. Pro smrštění odlitku z litiny s lupínkovým grafitem bylo uvažováno 1%. Při návrhu průběhu dělící roviny se nabízela možnost zaformovat model do spodního rámu, nebo formovat dělený model do obou rámů. Při formování do spodního rámu (obr.79) se zabrání přesazení na obvodu odlitku, nevýhodou je větší přídavek o úkos. Rozdílné úkosy jsou patrné z obrrázku 79, 80. K výrobě byla zvolena varianta formování do obou rámů (obr.80). Na materiál modelu bylo použito smrkové dřevo.



Obr. 79: Tvar modelu pro formování do spodního rámů



Obr. 80: Tvar modelu pro formování do obou rámů

Obr. 81: Připravený model setrvačníku

3.6.2 Formování

Při formování modelu do obou rámu byl místo děleného modelu použit model nedělený. Tento model byl formován pomocí šněrovačky do bentonitové směsi. Průřezy částí přetlakové vtokové soustavy jsou v poměru $S_{kůl} : S_{struskovák} : S_{zářezy} = 1,5 : 2 : 1$. Poloha nálitků patrna z obr. 82. Zaústění vtokové soustavy je provedeno jedním zářezem do obvodu odlitku pod nálitek věnce.

3.6.3 Odlití

Odlití formy provedeno stejně jako v bodě 3.4.4.

Využití kovu:

$$\eta_k = \frac{m_{hr}}{m_{sur}}.100 = \frac{5,2}{7,1}.100 = 73\%$$

Hmotnost surového odlitku – $m_{sur} = 7,1kg$

Hmotnost hrubého odlitku – $m_{hr} = 5,2kg$

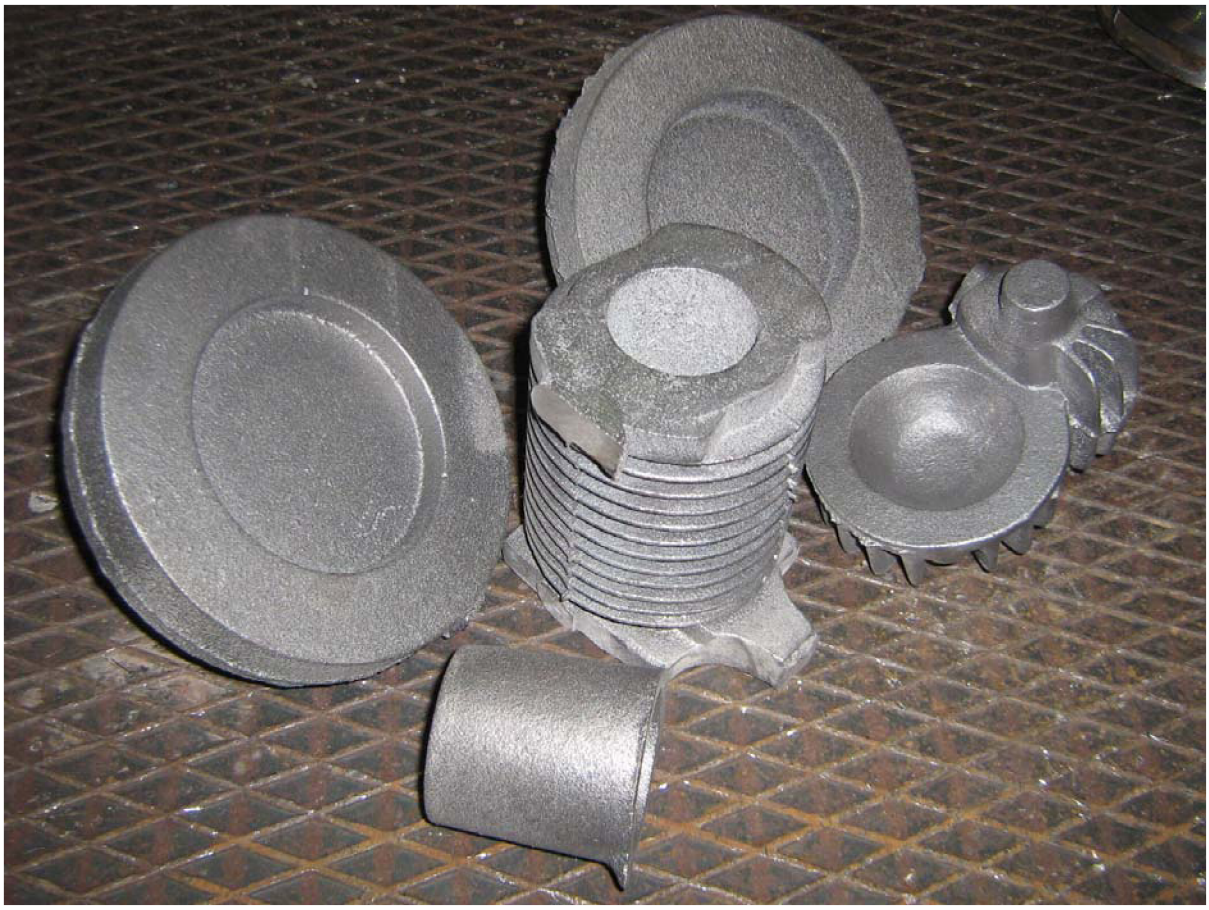
Obr. 82: Surový odlitek setrvačníku

3.6.4 Obrábění

Odlitek setrvačníku byl opracován na univerzálním soustruhu SV 18, a sloupové vrtačce PH 32.

Obr. 83: Obrobené setrvačníky

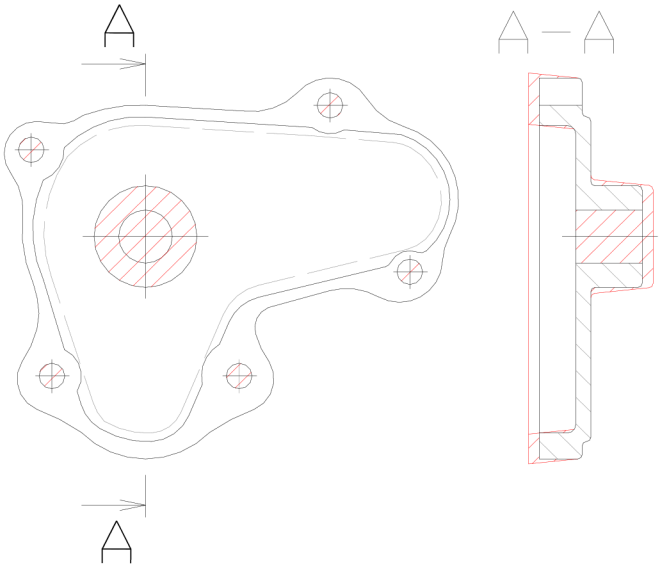
Obr. 84: Kliková hřídel



Obr. 85: Surové odlitky z LLG

3.7 Kryt želvy

Kryt želvy (obr.13 – pozice 4) z litiny s lupínkovým grafitem uzavírá mechanizmus rozvodu výfukového ventilu. Krytem želvy prochází čep vačkové hřídele který je uložen v kluzném ložisku. Řetězovým kolem nasazeným na čepu je poháněné zapalování.

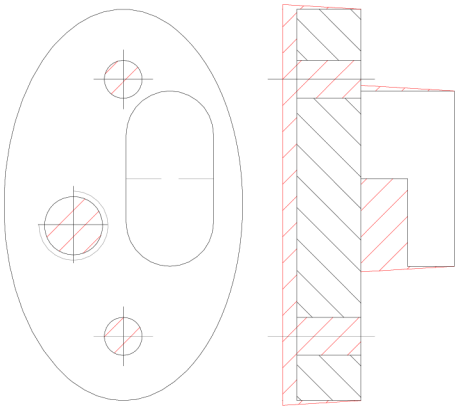


Obr. 86: Přídavky na obrábění, úkosy

Model byl vyroben dle tvaru uchycení na pravém karteru a dobových fotografií. Na materiál modelu bylo použito smrkové dřevo. Model byl zaformován do bentonitové směsi. Forma byla odlita stejně jako v bodě 3.4.4. Odlitek byl obroben na nástrojařské frézce FN 32 a sloupové vrtačce PH 32. Povrch obrobeného odlitku byl leštěn a niklován.

3.8 Držák zapalováku

Tímto bronzovým držákem (obr.13 – pozice 9) je k hlavě motoru připevněn mechanický odtrhovač nízkonapěťového zapalování. U repliky motoru bylo použito vysokonapěťové zapalování se svíčkou. Svíčka je upevněna v držáku zapalováku závitem M10x1.



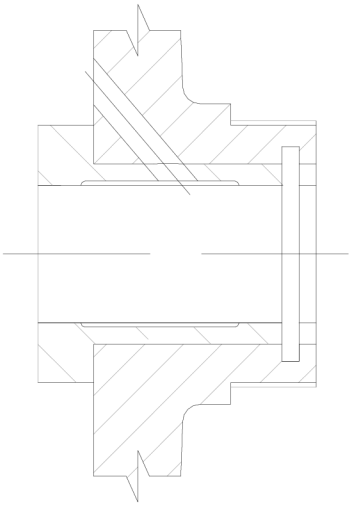
Obr. 87: Přídavky na obrábění, úkosy

Model držáku byl vytvořen z originální součásti natmelením přídavků a úkosů polyesterovým tmelem.Modely pro bronz a mosaz jsou označeny žlutou barvou. Model byl zaformován do bentonitové směsi, na povrch modelu byl použit olejový písek. Materiál CuSn10 byl taven na elektrické odporové peci. Teplota lití 1100°C

4. Montáž

Do ohřáté (80°C) klikové skříně byla s přesahem 0,03mm zalisována bronzová kluzná ložiska z matriálu 423136 (obr.88). Po sesazení a sešroubování levé a pravé části bloku motoru byla obě kluzná ložiska vystružena na ¢ 16H6. Vystružením obou pouzder v sešroubovaném karteru bylo dosaženo požadované souososti kluzných pouzder. Mazání kluzných ložisek zajišťují mazací kanálky (obr.89).

Obr. 88: Zalisované kluzné ložisko



Obr. 89: Mazací kanálek

Čepy klikové hřídele (obr.90) byly vyrobeny z materiálu 14220, cementovány a kaleny na HRC 60. Čepy byly vyrobeny s přídavkem 0,1mm, broušeno na průměr 16j6. V setrvačníku je čep uložen v kuželovém otvoru a pojištěn maticí M12x1. Svařenec ojnice má klikové i ojniční ložisko kluzné, opatřené mazacími drážkami.

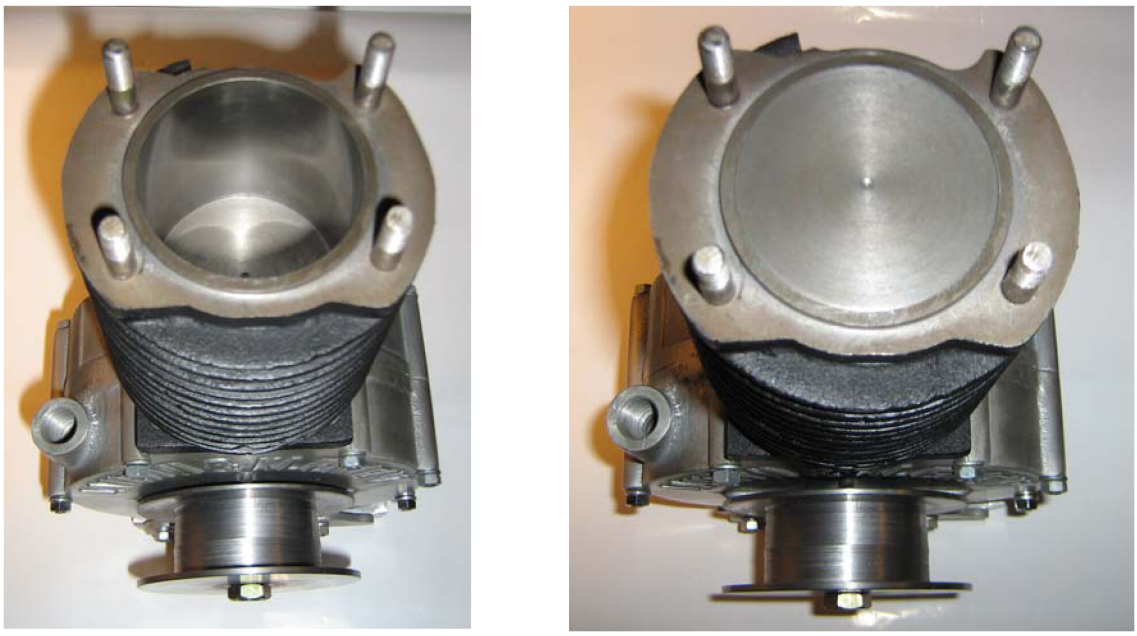
Obr. 90: Čepy klikové hřídele

Vycentrovaná kliková hřídel je uložena v bloku motoru (obr.91). Po vyúhlování ojnice byl nasazen píst (obr.92).

Obr. 91: Kompletace motoru

Obr. 92: Píst

Válec vybroušený na rozměr 65,01mm byl osazen pístem o rozměru 64,95mm. Pístní čep z materiálu 14220 byl cementován a kalen na HRC 60. Hlava a válec byly opatřeny silikonovou barvou odolávající teplotě 650°C.



Obr. 93: Píst v horní a dolní úvrati

V hlavě válce je uložen koš sacího ventilu z šedé litiny. Sací i výfukový ventil je vracen do uzavřené polohy pružinou. Na hlavě je uchycen držák zapalováku a nalévací kohoutek. Vačka, ozubená kola, raménko a zdvihátko jsou vyrobeny z materiálu 19312. Tepelným zpracováním dosaženo tvrdosti HRC 62. Součásti jsou uloženy v pravém karteru pod krytem želvy.

Obr. 94: Replika motoru Laurin&Klement

Obr. 95: Replika motoru Laurin&Klement

5. Odzkoušení funkčního motoru

Mimo rámec diplomové práce byla s pomocí p. Václava Marka vyrobena replika celého motocyklu. Díky tomu bude motor odzkoušen, stejně jako před sto sedmi lety, 1430km dlouhou cestou z Paříže do Vídně. Tato cesta se uskuteční v srpnu 2009.

Obr. 96: Rám s motorem

Obr. 97: Vidlice

Obr. 98: Torzo stroje

Obr. 99: Vysoustružené středy kol

Obr. 100: Poměděné středy, připravené k niklování

Obr. 101: Povrchová úprava - Ni

Závěr

V diplomové práci byla vypracována kompletní funkční replika motoru historického motocyklu. Všechny součásti byly odlity ve školní slévárně Vysokého učení technického v Brně. Při výrobě motoru se vycházelo z dochovaných originálních součástí, chybějící součásti byly vyrobeny podle dobových fotografií a prospektů. Tento výrobní postup by mohl sloužit muzeím a sběratelům k výrobě chybějících dílů, které se jim i přes moderní možnosti internetu a inzerování po celém světě nepodaří sehnat. Výrobou kompletních replik motocyklů tyto stroje ztrácí hodnotu. Pro laika jsou repliky těchto strojů k nerozeznání od originálu! Proto varuji se před případnou výhodnou koupí motocyklu z přelomu století, může to být z historického hlediska bezcenná replika.

Seznam použitých zdrojů

1. ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných slitin.* 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.

2. ROUČKA, J. *Metalurgie litin.* 1.vyd. Brno: PC-DIR Real, s.r.o.,1998. 166 s. ISBN 80 – 214 – 1263 – 1.

3. SVOBODA, J. *Veteráni na start*. Česká Lípa: Geodezie-On-Line, 2005. 220 s. ISBN 80-86782-42-5.

4. HAMPL, A. *Pacov a motorismus.* Pacov: Městské muzeum Antonína Sovy v Pacově, 2006. 88 s. ISBN 80-239-6942-0.

5. KOŽÍŠEK, P. *L&K – Škoda 1895-1995.* Praha: MOTORPRESS Praha, 1995. 249 s. ISBN 80-901749-1-4.

6. MARČÍK, L. *Naše motocykly I. Díl Rakousko-Uhersko 1899-1918.* Jinočany: Nakladatelství Marčík. 2005. 279 s. ISBN 80-238-7362-8.

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
μ_k	%	využití kovu
m_{sur}	kg	hmotnost surového odlitku
m_{hr}	kg	hmotnost hrubého odlitku
d_{min}	mm	minimální průměr jádra
h	mm	výška válce