



NEDESTRUKTIVNÍ STRUKTUROSKOPIE SLOŽITÝCH AUTOMOBILNÍCH LITINOVÝCH ODLITKŮ

Břetislav Skrbek

TU Liberec, TEDOM Jablonec.

Abstract

Barrier strength of cylinders from various periods. This thesis deals with barrier strength of engines from various periods which the firm TEDOM s.r.o. produces presently. In the thesis, the data from the previous expert's reports are processed. The data are completed from destructive and non-destructive measuring. The processes of tensile tests on samples of cylinder barriers are written down with help of laser extensometer. Non-destructive investigation of structural mechanical features was carried out by the usage of method of magnetic pole with instrument DOMENA. Established values of structural mechanical features are evaluated from the point of time and they are discussed.

1. ÚVOD

Předmětem zkoumání jsou meziválcové přepážky spalovacího motoru, který prošel v průběhu své existence mnoha obměnami, ať již v souvislosti s použitím či následnými změnami organizací. Motor je používán jako hnací jednotka v nákladních automobilech a autobusech, nebo jsou nyní tyto motory využívány jako zdroje v kogeneračních jednotkách. V souvislosti se změnami na trhu po roce 1989 s nákladními automobily došlo v průběhu několika let k výraznému poklesu produkce s následnou obměnou organizací od národního podniku LIAZ až po současnou společnost TEDOM s.r.o., která motory dále produkuje.

Vznětový motor jako takový se skládá z mnoha součástí, mezi kterými mají podstatnou roli kovové díly vyrobené z polotovaru od hutí a sléváren. Jednou z nejdůležitějších částí je samotný blok válců (cca 400kg), který tvoří nosnou část motoru a s ohledem na mechanické vlastnosti v jednotlivých jeho částech do značné míry ovlivňuje životnost a spolehlivost motoru jako celku.

Odlitek bloku je relativně tenkostěnný (6 až 50mm) a krystalizační poměry při tuhnutí ve formě jsou poměrně složité. Z tohoto důvodu nelze na mechanické vlastnosti v jednotlivých partiích usuzovat jen z materiálového listu příslušné normy.

Užitné vlastnosti a životnost bloku mají výkyvy. Závisí na mnoha faktorech, kdy současný výskyt více nepříznivých odchylek může způsobit extrémní vybočení vlastností bloku motoru.

Z předchozích poznatků a jednotlivých předešlých výzkumů se jako zatím strukturně nejcitlivější na odchylky v metalurgii litiny projevují vnitřní meziválcové přepážky, kterými se tato práce dále zabývá. K mapování vlastností litiny v čase i vybraných míst bloků válců nedestructivní cestou lze použít pouze prostředků fyzikální strukturoskopie - metod UT a MT. Získané souvislosti s výrobními vstupy vedly k výraznému zkvalitnění produkce bloků válců..

Předmětem šetření byly stovky bloků válců z období 1971 – 2006!

Vzhledem k mimořádně velkému rozsahu původní práce [1] nezbytné zestručnění je na úkor přehledu.

2. NYNÍ PLATNÝ PŘEDPIS PRO BLOKY M4209

Blok válců M4209, litina s lupínkovým grafitem ČSN 42 2425, tvrdost měřena na desce hlav 180-240HB; Rm min. 250MPa, Eo 125GPa. Střední legování 0,22Cu; 0,22Ni; 0,3Cr.

3. PODMÍNKY MĚŘENÍ

OBECNÝ POSTUP PŘI STANOVENÍ STRUKTUNĚ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

1. Zkalibrovat Doménu na cejchovní kámen $M_c=180$ nebo $M_c=200$. Závisí, který kámen je k dispozici.
2. Přístrojem Doména 2 nebo 3 změřit v příslušném místě veličinu intenzity zbytkového magnetizmu M_i [-].
3. Dle etalonové hodnoty M_c stanovit převodní koeficient K_1 mezi Remagem a Doménou (rovnice 23).
4. Výpočet korigované hodnoty M_{ki} ze vztahu (24).
5. Korigovat hodnotu M_{ki} na tloušťku stěny M_{ksi} dle vztahu (25).
6. Výpočet modulu pružnosti E_o podle vztahu (17). Na stanovení zdánlivé tloušťky stěny L_u použít digitální defektoskop DIO 562 nebo ultrazvukový tloušťkoměr DC 2000. Skutečnou tloušťku L změřit posuvným měřítkem.

$$K_1 = \frac{M_c}{K} = \frac{180}{62,5} = 2,88 \quad (23) \quad [-]$$

$$M_{ki} = \frac{M_i}{K_1} \quad (24) \quad [-]$$

$$M_c = 180,200 \\ K = 62,5$$

$$M_{ksi} = \frac{M_{ki}}{81 \cdot L^{-2,91} + 1} \quad (25) \quad [-]$$

7. Výpočet tvrdosti dle vztahu (16, 20, 21).
8. Výpočet pevnosti dle vztahu (18, 22).
9. Výpočet množství feritu ve struktuře (19).

Aby se měření nemuselo u bloků starších r.1995 opakovat byla provedena zpětná korekce. Zpětná korekce spočívá vtom, že po skončení měření na daném bloku se opětovně provede měření na etalonový kámen a teprve z této hodnoty se spočítá převodní koeficient mezi Remagem (přístroj používaný 1981-1994) a Doménou K_1 . Hodnota L_u byla měřena ultrazvukovým tloušťkoměrem DIGICHECK 2000DC 2000B s natavením rychlostí zvuku 5925m/s.

3.1. POUŽITÉ VZTAHY

Individuální přístup byl zvolen u bloků, které byly proměřeny v rámci diplomové práce. Hnědou barvou jsou označeny tvrdosti, protože jsou počítány z korigovaného vztahu (20). Tato rovnice byla získána ze závislosti tvrdosti HBP – M_{ks} (viz. **Obr.3**) lineární regresí z velmi malého počtu vzorků a je nutné je takto vnímat. Vztah je použit z toho důvodu, že pro daný (malý) počet měření dává lepší výsledky než vztah (16).

$$HB = 2,57 \cdot M_{ks} + 98,1 \quad [-] \quad (16)$$

$$F = 145 - 2,8 \cdot M_{ks} \quad [\%] \quad (19)$$

$$E_o = \left(437,79 \cdot \frac{L}{L_u} \right)^2 \quad [\text{GPa}] \quad (17)$$

$$HB = 2,16 \cdot M_{ks} + 99,27 \quad [-] \quad (20)$$

$$R_m = 234 - 1,66 \cdot F \quad [\text{MPa}] \quad (18) \qquad \text{HB} = 0,599 \cdot \text{Mks} + 133,47 \quad [-] \quad (21)$$

$$R_m = 1,37 \cdot \left[7,211 \cdot \left(\frac{L}{Lu} \right)^{2,278} \cdot \text{HB}^{0,75} \right] - 72,5 \quad [\text{MPa}] \quad (22)$$

Vztah (20) je určen za pomoci lineární regrese programem Microsoft Excel.

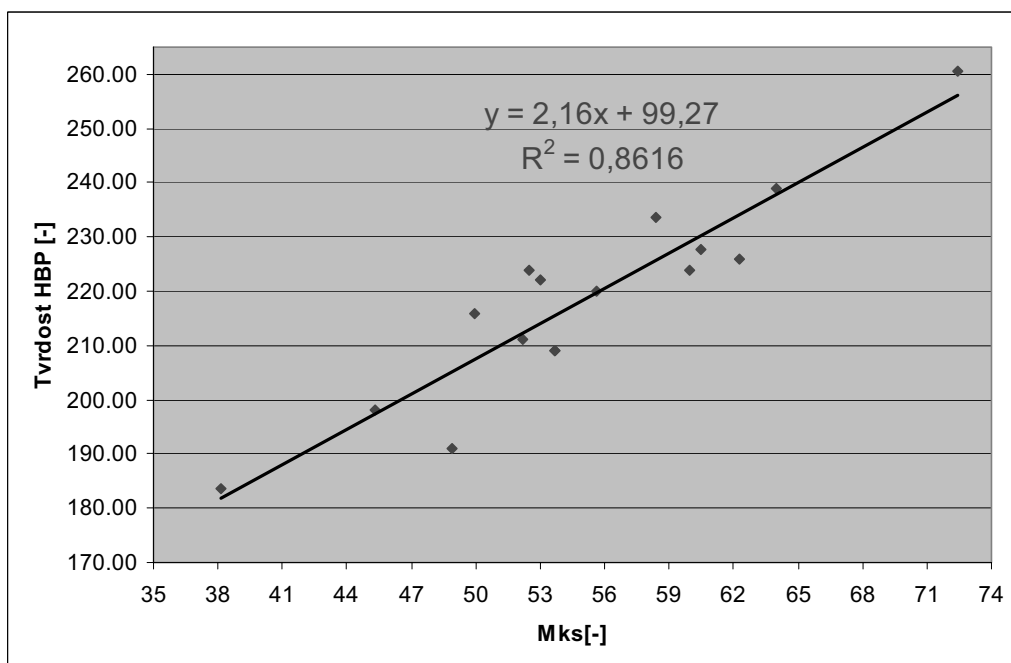
3.1.1. KORIGOVANÝ VZTAH PRO VÝPOČET TVRDOSTI BLOKU

Měření tvrdosti probíhala kladívkem Poldi HBP na výkresem předepsaném místě tj. v hlavové partii mezi třetím, čtvrtým válcem a navíc z důvodu vysoké tvrdosti byly u některých bloků ověřeny tvrdosti boků ložiskové partie pro uložení klikového hřídele. Tímto způsobem vzniklo 16 hodnot (viz. **Tab. 017**) ze kterých je určena korigovaná rovnice (20).

TAB. 017 NAMĚŘENÉ HODNOTY HBP A Mks

Počet m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
HBP	184	191	198	209	209	211	216	220	222	224	224	226	228	234	239	261
Mks	38	49	45	54	54	52	50	56	53	52	60	62	60	58	64	72
HB	182	205	197	215	215	212	207	219	214	213	229	234	230	225	237	256

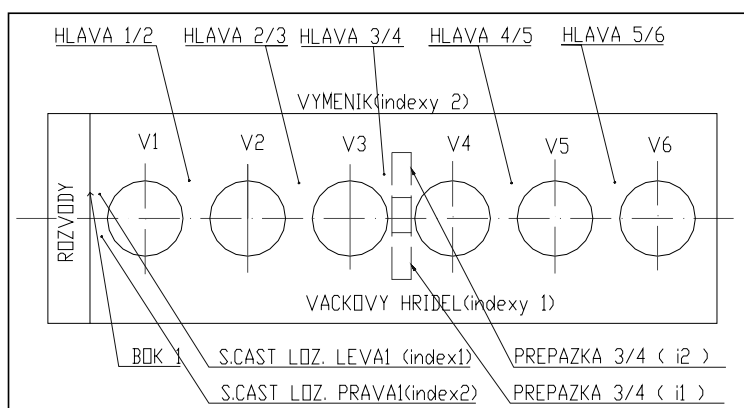
Hodnoty HB jsou počítány již ze vztahu (20).



OBR. 3 - ZÁVISLOST TVRDOSTI HBP - Mks

POZN: U všech bloků, které byly v této práci zkoumány jsou počítány hodnoty tvrdosti z rovnice (20). Absolutní hodnota korelace $K > 0,9$.

3.2. MĚŘENÁ MÍSTA BLOKU MOTORU



OBR. 1 MĚŘENÁ MÍSTA NA BLOKU MOTORU

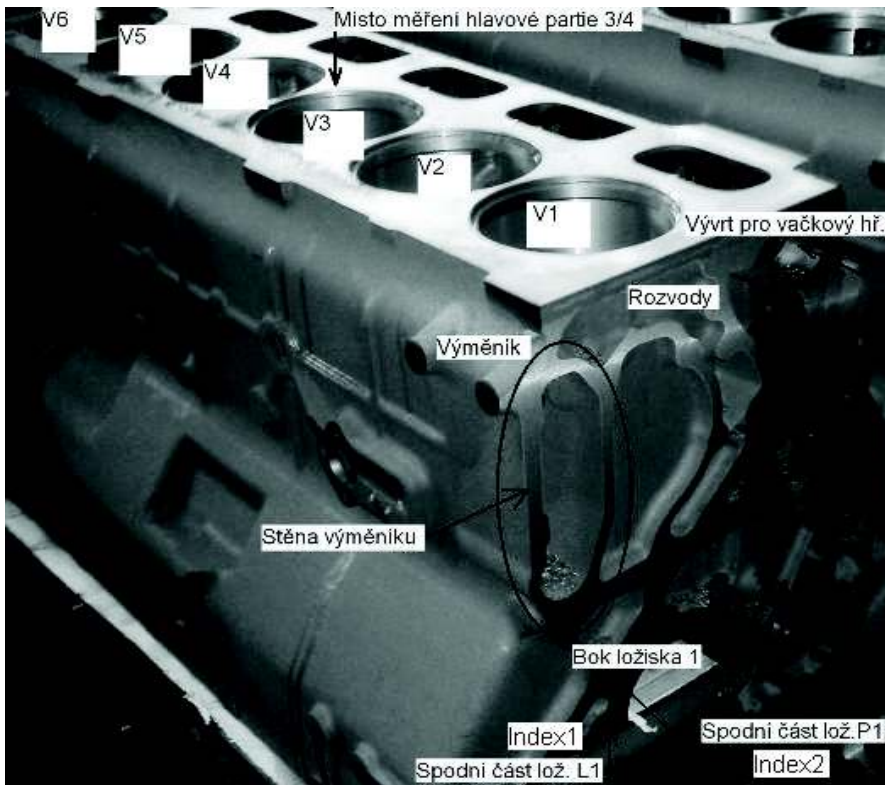
Na **obrázku 1 a 2** jsou znázorněna místa, která byla podrobena zkoumání. U modelu M4209 byla přístrojem Domena měřena přepážka 3/4 a hlavová partie mezi třetím a čtvrtým válcem. Válcové přepážky byly měřeny na dvou místech těsně nad otvory pro chladicí medium a to na straně blíže výměníku a straně protilehlé blíže k vývrtnu pro vačkový hřídel.

Model M4209 (nízkolegovaná GJL) nemá stejné uspořádání jako na **obrázku 2** znázorněný model M3341/2, a proto nelze měřit stěna výměníku. Místo výměníku je proměřena oblast uložení pro klikovou hřídel, bok ložiska a pravá či levá spodní část ložiska.

Při měření meziválcových přepážek je snahou zaznamenat rozdíly ve strukturně mechanických vlastnostech v samotné přepážce mezi vačkovým hřídelem a výměníkem. Pro rozpoznání jsou přepážky měřeny v části blíže k vačce indexovány číslem 1 a blíže k výměníku číslem 2 (viz. **OBR. 1**).



OBR.4- DIGICHECK 2000 DC 2000B



Obr.2 -MODEL M3341/II V1,V2,V3.....pořadí válců nabíhá vždy od rozvodů

Indexu 1 přísluší označení spodní části ložiska vlevo při pohledu od rozvodů motoru. Indexu 2 spodní část na pravé straně (viz. **OBR. 1, 2**).

3.3. POUŽITÉ PŘÍSTROJE

1. DOMENA B3 , FIRMA ELKOSO Brno, SONDA M.

Přístroj doména slouží k zjišťování intenzity zbytkového magnetického pole M_i , popřípadě lze přímo odečítat tvrdost při správném nastavení konstant A,B.

2. ULTRAZVUK DIO 562, STARMANS Praha s dvojitou sondou 5MHz

Tento přístroj slouží ke zjišťování modulu pružnosti na základě poměru mezi skutečnou tloušťkou stěny L a zdánlivou L_u .

3. ULTRAZVUKOVÝ TLOUŠŤKOMĚR DIGICHECK 2000 DC 2000B, PTS Solnař Ostrava.

Pro měření tloušťky stěn v terénu je tento přístroj (viz.**OBR.4**) výhodnější, neboť je snadnější na obsluhu je kompaktnější a výsledky se ukazují samostatně na digitálním display. Rychlost šíření zvuku lze nastavit mezi 1000-9999 m/s a měřicí rozsah standardní sondy PT-08 5 MHz je 1 až 200 mm. Přístroj je napájen dvěma alkalickými tužkovými bateriemi 1,5 V a včetně baterií je jeho hmotnost pouhých 150 g. Přístroj je kalibrován na přístrojové měřce tloušťky 4mm s přednastavenou rychlostí šíření zvuku 5925 m/s.

4. POLDI KLADÍVKO, POROVNÁVACÍ TYČKA, LUPA, TABULKY

5. POSUVNÉ MĚŘÍTKO

4. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY

Příklad jedné ze stovek tabulek výsledků měření pro konkrétní blok válců:

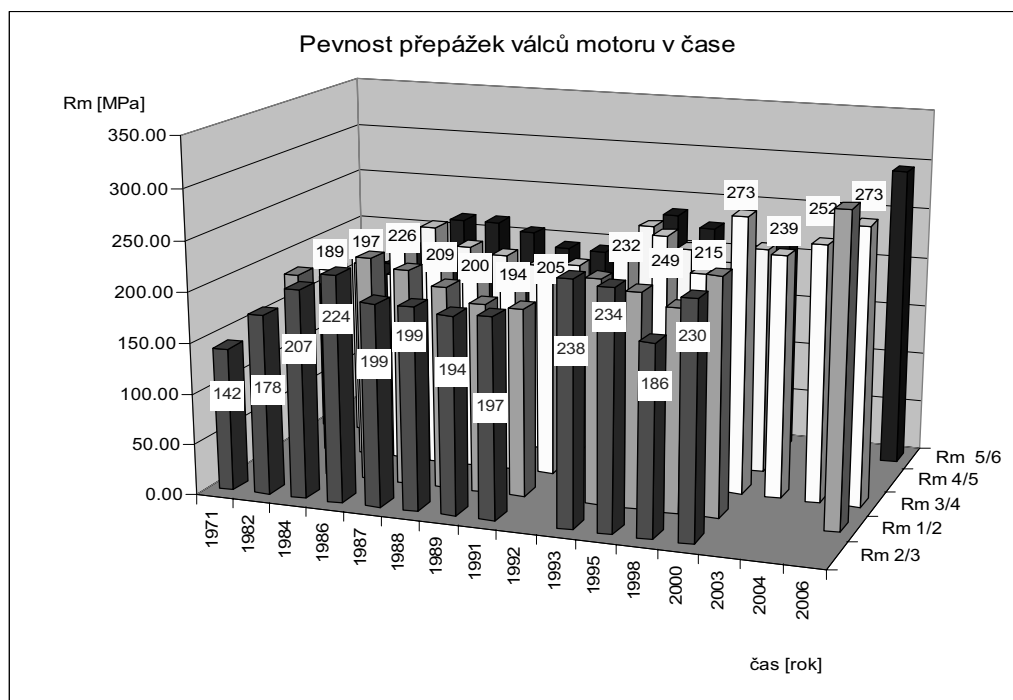
BLOK 0081/06 M4209

Mc=200 TAB.001		Přepážka	Ložisko			Hlava	
		3/4		7	bok 7	1/2	3/4
Naměřené h.	M1 DOMENA 3	170,00	0,0000	220,00	232,00	0,0000	208,00
	M2 DOMENA 3	176,00		212,00			
	Lu1 [mm]	11,63			67,00		23,00
	Lu2 [mm]	11,36					
	L1 [mm]	9,35			55,70		18,70
	L2 [mm]	9,20					
Vypočtené hodnoty	Mk1 [-]	53,13		68,75	72,50		65,00
	Mk2 [-]	55,00		66,25			
	Mks1 [-]	47,38			72,45		63,97
	Mks2 [-]	48,80					
	Tvrdość Poldi				260,50		239,00
	Eo1[Gpa]	123,81			132,46		126,69
	Eo2 [Gpa]	125,62					
	HB1	201,62			255,76		237,44
	HB2	204,68					
	Rm1 [Mpa]	248,85			342,32		300,43
	Rm2 [Mpa]	257,89					
	F1 [%]	12,33			0,00		0,00
	F2 [%]	8,36					

5. HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ V PŘEPÁŽKÁCH VÁLCŮ

Názorně uveden jeden z dílčích poznatků. Na **obrázku 5** je znázorněn sloupcový graf, kde bylo snahou graficky popsat zvyšování pevnosti přepážek od roku 1971 až do současné doby po celé délce bloku motoru. Pro posouzení velikosti jsou některé hodnoty číselně vyobrazeny.

Z obrázku jasně vyplývá, že v průběhu let docházelo ke zvyšování pevnosti přepážek. Jak je patrné do roku 1986 docházelo k plynulému zvyšování pevnosti. Po tomto roce dochází ke stagnaci až mírnému propadu. Tento stav trvá do roku 1993, kdy lze na sloupcovém grafu v tomto roce zaznamenat skokové zvýšení pevnosti. Po tomto roce dochází k mírným výchytkám až po maximum v roce 2006. Faktory, které způsobovaly výkyvy vlastností přepážek v jednotlivých letech budou dále diskutovány. Pohled na stejnou věc pod jiným úhlem předkládá **obr. 050 - příloha 52**, kde je vyjádřena dvojrozměrná struktura ze středních hodnot (HB,Eo) přepážek daných bloků v souvislosti s rokem výroby. **Obr. 050** bude též dále diskutován v **kapitole 4.1.2.**



OBR.5 PEVNOST PŘEPÁŽEK VÁLCŮ MOTORU V RŮZNÉM OBDOBÍ.

6. ZÁVĚRY

Na základě analýz a skutečností zjištěných v práci [1] lze vyslovit následující závěry:

- Provedené konstrukční a technologické změny od roku 1971 po současnost byly v globálním měřítku velkým přínosem pro všechny zkoumané oblasti, zejména pak pro oblast meziválcových přepážek u kterých hodnoty pevnosti vzrostly až na dvojnásobek.
- Za kritické místo pro obrábění a to jak z historického tak současného pohledu lze považovat partii ložisek klikové hřídele, kde tekutá litina tuhne již s minimální průtočností a vykazuje proto nejvyšší tvrdost.
- Hodnoty pevností získané pomocí destruktivní (platí pro litiny ČSN 422425) a nedestruktivní diagnostiky jsou téměř shodné. Z experimentálních vztahů tedy lze přibližně usuzovat na absolutní hodnoty pevností v daném místě odlitku.
- Současné kontrolní místo kvality litiny bloku na desce sezení hlav válců se ukazuje jako nedostatečné. Nelze spolehlivě usuzovat na kolísání strukturně-mechanických vlastností v odlitku.
- Rozptyl strukturně-mechanických vlastností vnitřních stěn (přepážek) je vyšší v základní kovové hmotě (ferit, perlit).
- Přes výrazné zlepšení strukturně-mechanických vlastností přepážek je stále nutné považovat tyto oblasti za kritická místa bloku motoru.
- Strukturně-mechanické vlastnosti přepážek v příčném směru jsou odlišné.
- Legování 0,6% Cu a 0,3% Cu; 0,15% (Cr Ni) vede k vysoké tvrdosti ložisek, ale vyrovnanosti vlastností míst HLAVA-PŘEPÁŽKA-LOŽISKO.

Po prostudování jednotlivých expertíz a na základě zjištěných skutečností, proto navrhuji:

- Co nejdříve aplikovat ucelený systém kontroly jakosti bloku motoru přímo ve slévárně FEREX, neboť měření POLDI kladívkem na hlavové desce nepřináší dostatečný popis pro hodnocení kvality bloku motoru. Je nutno nasadit nedestruktivní zmapování struktury v partiích, které svými vlastnostmi lépe vystihnou jakost bloku. Měření provádět na každém bloku ve střední partii přepážek 3/4. Pro kontrolu z hlediska obrobiteľnosti na každém pátém bloku proměřit první bok ložisek. Pro měření je zapotřebí aplikovat kombinovanou kontrolní metodu ultrazvukovým tloušťkoměrem a bodového magnetického pólu přístrojem DOMENA. Ultrazvukový tloušťkoměr DIO 562 má slévárna k dispozici a není tak nutné investovat finanční zdroje do nákupu tohoto zařízení. Na přístroj Domena je nutno zajistit volné finanční zdroje (Domena B3.b s nabíječem akumulátorů 73 350,- Kč bez DPH – cena platná v roce 2002). Zavedení a následná kontrolní činnost vyžaduje zodpovědný přístup pracovníků zejména při měření skutečné /L/ a zdánlivé /Lu/ tloušťky stěny. Aby byly eliminovány chyby pracovníků (ve výpočtech) předkládám na CD v souboru s názvem „Výpočet vlastností.xls“ tabulku s návrhem pro zadávání /L, M, Lu/ a výpočet hodnot /HB, Eo, Rm, F/.
- Pro optimalizaci obrábění navrhuji provádět legování 0,3%Cu 0,15%Ni, které nepřipustí maxima HB a dávají poměrně vysoké hodnoty pevnosti v přepážkách. Pro ověření této skutečnosti provést měření alespoň na dvaceti takto odlitých blocích.
- Vzhledem k tomu, že se tato práce nezabývala souvislostmi mezi dosahovanými strukturně-mechanickými vlastnostmi v přepážkách a vstupními parametry (chemickým složením), navrhuji provést hloubkové profilování s cílem odhalit příčiny značných rozptýlů vlastností mezi jednotlivými bloky motoru s ohledem na chemické složení.

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM4674788501 a project Academy of Sciences of Czech Republic no.1QS100100508.

Literatura:

- [1] Řezáč Zdeněk. Pevnost přepážek bloků válců motoru z různých období. Diplomová práce TU Liberec, KMT 220, leden 2007.