

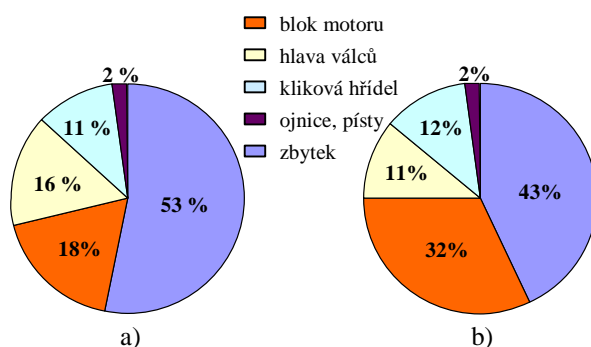
# Trendy ve výrobě bloků motorů osobních automobilů.

Marko Grzinčič

Podle údajů Světové banky se má celosvětově do roku 2030 produkce osobních automobilů zdvojnásobit! V zemích EU a USA představuje nárůst 15 %. Podstatným cílem ve vývoji automobilových motorů je výrazná redukce hmotnosti. Tim je umožněno splnit požadavky v oblasti spotřeby pohonných hmot (snížení hmotnosti vozidla o 100 kg přináší snížení spotřeby pohonných hmot o 500 ml na 100 km), snižování emisí, ovladatelnosti a chování vozidla a jeho pružnosti. Z těchto důvodů mají technologie redukcující hmotnost velký význam. V současné době činí podíl hliníkových odlitků v osobním vozu průměrně 60 kg. Zároveň však hrají důležitou roli další dva aspekty – náklady na výrobu dílů a stoupající mechanická zatížení při provozu motoru, tj. zatížení odlitků. Slévarenské odborníci se musí snažit o predikci dalšího možného vývoje v oblasti výroby náročných dílů pro automobilový průmysl. Problematice výroby komplexního, náročného odlitku bloku motoru je věnován tento článek, který čtenáři na konkrétních příkladech zpřehledňuje současný stav.

Objem motoru a princip spalování (zážehové a vznětové motory) jsou určující při konstrukci a technologii výroby dílů motoru. V úvahu přichází slévarenské slitiny železné a neželezné.

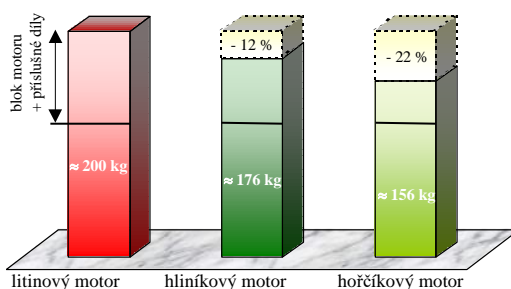
Autori analýzy potenciálů lehké konstrukce bloku motoru [15, 23] graficky znázorňují hmotnostní podíly jednotlivých částí na celkové hmotnosti motoru. Z obr. č. 1 je vidět, že blok motoru z GJL tvoří 32%ní podíl na celkové hmotnosti a proto tento díl stojí v popředí zájmu. U zážehových motorů je tento podíl menší – přibližně 18%.



OBR. 1. Hmotnosti komponentů zážehového (a) a vznětového (b) motoru osobního vozidla.

Blok motoru je díl, jehož části jsou velmi různorodě namáhány. Jako celek slouží k přenosu sil mezi hlavou válců a klikovou hřídelí. V oblasti spalovacího prostoru tvoří funkční tribosystém, ohraničuje mazací a chladicí okruh a slouží jako montážní základna pro velké množství dalších dílů. Slévači jsou postaveni před problém technicky zvládnout výrobu velmi komplexního dílu. Např. pro zabránění zpěnění velkého množství mazacích olejů jsou v bloku motoru a hlavě válců vytvořeny kanály sloužící k jejich vedení a usměrnění. Těmito konstrukčními prvky se docílila i vyšší vertikální tuhost bloku a nižší akustická emise.

V literatuře se často uvádí konkrétní hodnoty rozdílů hmotnosti motorů na různé materiálové bázi, příkladem je obrázek č. 2.



OBR. 2. Možnosti snížení celkové hmotnosti motoru na příkladu 5válcového vznětového motoru [29].

Z pohledu současné situace se hodnotí existující možnosti výroby poněkud více z pohledu typu technologie ve vazbě na použitý materiál (lehké slitiny nebo litiny) s tím, že jsou uvažovány vzájemné specifické vazby. Právě proto se stále častěji uplatňují při stavbě motorů materiály s vysokým poměrem E-modul/hustota ( $\text{MPa} / \text{kg m}^{-3}$ ) nebo specifické meze únavy při střídavém ohybu/hustota ( $\text{MPa} / \text{kg m}^{-3}$ ). Při volbě materiálu se dále musí zohlednit geometrie a způsob namáhání daného dílu, případně jeho části.

Poněvadž je dnes kladen takový důraz na volbu materiálu pro blok motoru, je článek rozdělen nikoliv podle slévarenských technologií, ale dle používaných materiálů, včetně kombinovaných řešení. Zvláštní postavení zaujímá technologie výroby pracovních ploch válců.

Při volbě slévarenské technologie hrají roli následující kritéria:

- kvalitativní požadavky na odlitek
- velikost série
- hospodárnost
- investiční objem
- vliv na životní prostředí
- kompatibilita s materiálovými toky v rámci celého chodu výroby

- vyplývající prostorové nároky (např. oblast formování)
- stupeň automatizace

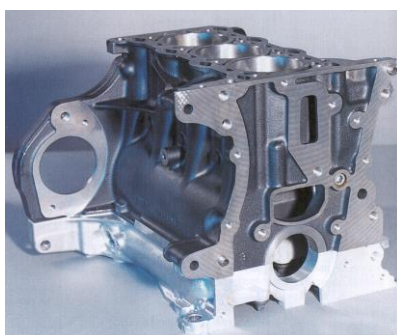
Paleta použitelných slévárenských technologií je široká:

- gravitační lití do pískových forem spojených na bázi jílu
- gravitační lití do pískových forem – jádrových paketů
- nízkotlaké lití do pískových forem spojených na bázi jílu
- nízkotlaké lití do jádrových paketů
- lití metodou Lost-foam
- gravitační lití do kokil
- nízkotlaké lití do kokil
- tlakové lití
- Squeeze-Casting

### Bloky motorů z železných kovů

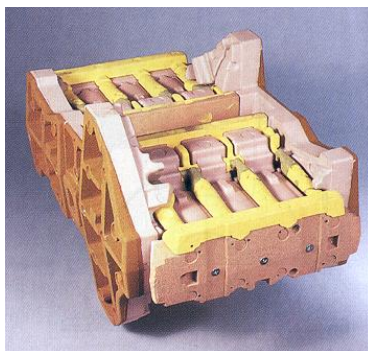
Slévárny působící na americkém kontinentě disponují moderně zařízenými slévárnami železných kovů a snaží se optimalizací svých technologií držet výrobní ceny velmi nízko a tím mít své produkty v konkurenci s hliníkovými odlitky stále atraktivní.

Litina GJL-250 stále nachází uplatnění ve velkosériové výrobě bloků motorů nejrůznějších výrobců. V případě bloku motoru pro jednorázový motor Ecotec od Opel Adam AG (obr. 3) odlévaného v Halberg-Guss dle [8] platí, že by hliníková verze byla o 80 až 120 % dražší.



OBR. 3. 2-dílný blok motoru 1,0 l Ecotec Opel.

V této kalkulaci jsou započteny i náklady na obrábění. Propracovanou konstrukcí se podařilo přiblížit litinový odlitek hmotnosti hliníkové verze. Není náhodou, že se jedná právě o automobilku Opel, která je součástí koncernu GM. Tenkostěnná stavba bloku motoru s mnoha konstrukčními zpevňujícími prvky vyžaduje úzké tolerance při výrobě a montáži jádrového paketu, obr. 4.



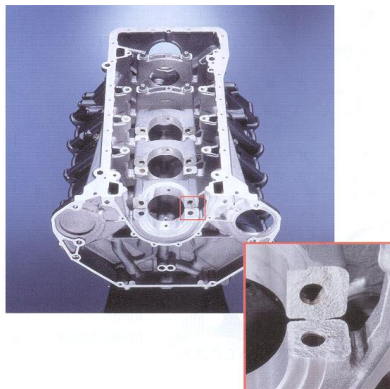
OBR. 4. Jádrový paket pro výrobu motorů 1,0 l Opel ve slévárně Halberg-Guss (2 bloky odlévané najednou v rámu).

V oblasti vznětových motorů, kde je důsledkem vývoje neustálé zvyšování spalovacích tlaků a navíc při uspořádání válců do tvaru „V“ je nutné hledat nové cesty, jak vyhovět stoupajícím požadavkům. Audi za účelem dosažení vyšších mechanických hodnot známého materiálu GJL-250 (blok motoru V6-TDI) zvolila dolegování chromem a niklem, což tyto hodnoty zvýšilo o 20% [3].

Eisenwerk Brühl GmbH je s roční produkcí 3,5 miliónů kusů největším evropským nezávislým výrobcem litinových bloků motorů. Tato společnost odlévá ze speciální vysokopevnostní litiny bloky o hmotnosti 57 kg a se stěnami o tloušťce nad 4 mm pro 6válcové motory Audi s konstrukcí válců do V a dvěma turbodmychadly.

Začátkem 90. let se začíná prosazovat jako materiál pro bloky motorů šedá litina s červíkovitým grafitem, např. sportovní verze benzínového motoru pro Opel Calibra nebo sportovní V6 motory BMW. Tento stav byl podmíněn schopností kvalitativního posouzení tekutého materiálu těsně před litím. Prvním výrobcem takového zařízení byla firma SinterCast. Pevnost v tahu a mez únavy při střídavém namáhání v ohybu materiálu GJV-500 jsou proti GJL-250 dvojnásobné a E-modul je vyšší o 50%, přičemž zůstávají částečně zachovány dobré tlumicí schopnosti, dobré slévárenské vlastnosti a vysoká tepelná vodivost původního materiálu GJL. Při konstrukci a technologii lití je však nutno zohlednit větší choulostivost materiálu na rychlost ochlazování při tuhnutí. Velkosériová výroba vyžaduje dobrou opracovatelnost materiálu. Při třískovém obrábění GJV je opotřebení nástrojů velmi intenzivní, což např. mělo za následek neúspěšné zavedení GJV pro bloky motorů 1,6 l Opel [38].

V literatuře [20] popisují autoři spolupráci slévárny Fritz Winter Eisengießerei GmbH & Co. KG se švédskou firmou NovaCast při řešení výroby bloků motorů z GJV-500 pro vznětové motory V8 BMW. Materiál GJV umožnil konstrukci s velmi tenkými motorovými přepážkami, které nesou ložiska klikového hřídele. Originální je současné odlití hlavních ložisek klikového hřídele jako jednoho kusu při odlévání bloku motoru. Po celkovém opracování dílu jsou ložiskové mosty přeraženy („Crack-technika“) a tím je umožněna montáž klikové hřídele, viz. obr. 5. Celkově je tím výroba zjednodušena a dosahuje se větší přesnosti při montáži.



OBR. 5. Blok vznětového motoru V8 BMW odlitý z GJV (73 kg) s detailem lomové plochy.

Dalšími příklady použití litiny s červíkovitým grafitem GJV-500 je vznětový motor 3,3 l V8 Audi (slévárna Halberg-Guss, hmotnost bloku je 74,4 kg).

Ve slévárně Eisenwerke Brühl používají při lití bloků pro řadový pětiválcový vznětový motor VW a dvoulitrový vznětový motor Ford-Zetec OxyCast-technologie, vyvinutou belgickým slévárenským institutem WTCM. Metoda využívá znalosti vlivu koncentrace volného kyslíku před a po skončení zpracování tekutého kovu a vlivu dat z termické analýzy na stav metalurgické kvality litiny [33].

Litinové bloky motorů lze najít i u sportovních vozů. Příkladem může být vůz BMW M3.

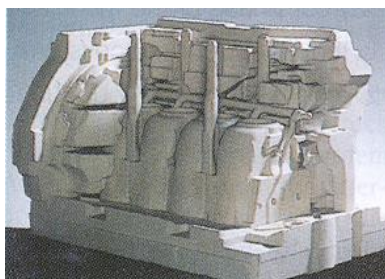
### **Bloky motorů z hliníkových slitin**

V zemích EU je 50 % všech motorů vyrobeno právě z hliníkových slitin.

Bloky motorů z Al-slitin jsou známy v letectví již v 30. letech. Původně se takto lily pouze válce k dvou- a čtyřtaktním, vzduchem chlazeným motorům. První uplatnění u automobilů nacházel hliník u závodních vozů. Hliníkové slitiny jsou samozřejmě materiálem bloků motorů sportovních vozů dodnes, např. i u Bugatti EB118 s motorem W18.

V roce 1978 byla ve Velké Británii pro lití bloků motorů a hlav válců pro speciální a závodní motory v malých sériích vyvinuta technologie Cosworth. Na lince firmy Cosworth Castings ve Worcesteru se lily hlavy válců a bloky motorů s roční kapacitou 1 mil. kusů. Jedním z produktů je blok motoru pro Ford Mondeo 2,5 l V6. Jádřový Cold-Box-paket (Ashland- nebo SO<sub>2</sub>-proces, zirkónový písek) je plněn spodním vtokem elektromagnetickou pumpou. Dlouhý výrobní takt (4 až 5 min) se odstranil technologií Cosworth-Roll-Over-Proces, která využívá zaústění vtoku z boku formy a po otočení formy o 180° se kontakt s licím zařízením přeruší. Pískové formy ale nazaručují dostatečnou rychlost ochlazování. Tento nedostatek se dá řešit kombinovanou formou. Firma Comalco Ltd. vyvinula speciálně pro bloky motorů technologii Improved Low Pressure, kdy požadované hodnoty mechanických vlastností na dosedacích plochách s hlavou válců zajišťuje chlazená deska. Tuto technologii používá firma Intermet Corp. [24].

Technologie gravitačního lití do jádřového paketu jako technologie výroby bloků vysokovýkonných motorů v rámci velkých sérií myšlenkově vychází z technologie Cosworth. Firma VAWalucast GmbH začala v Dillingenu v r. 1995 s produkcí bloků motorů a hlav válců. Montáž jader je zcela automatizovaná, vložky válců jsou induktivně předehřívány a dutina formy je před litím plněna inertním plynem. V Dillingenu se takto lily bloky motorů Ford-Zetec, obr. 6. Technologie lití do jádřového paketu je klasickou technologií výroby prototypů bloků motorů a hlav válců.

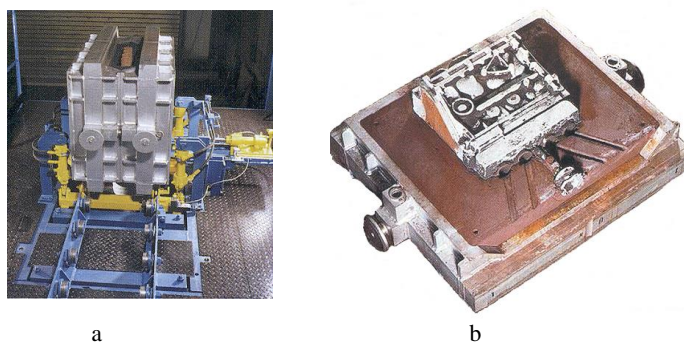


OBR. 6. Jádřový paket k výrobě bloků motorů Ford-Zetec [27].

Popov [25] na konkrétních údajích srovnává technologii lití do syrových forem, jádřových paketů na různé bázi a kokil, přičemž tato srovnání se týkají i nákladů. Ze srovnání vyplývá, že lití komponentů motorů do jádřových paketů je vedle technických předností i hospodárné.

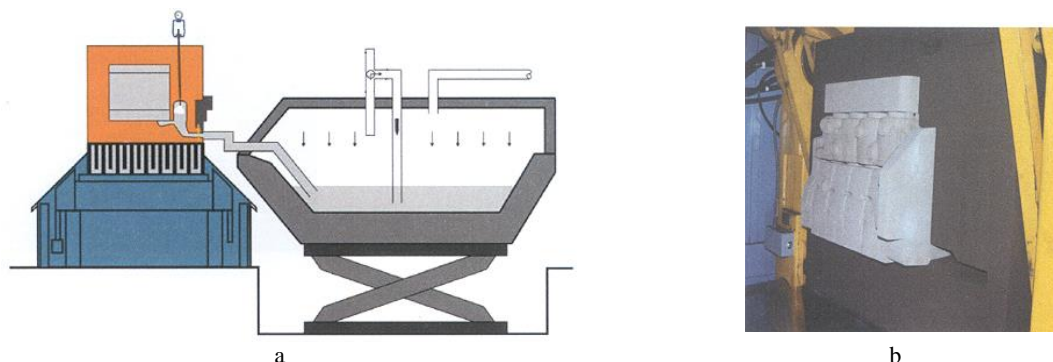
Firmy HWS, GF-Disa a VAW ověřily možnost nasazení nových, vysoce progresivních technologií na bázi nízkotlakého lití do pískových forem pro výrobu bloků motorů. První firma v Německu, která vůbec začala používat technologii nízkotlakého lití hliníkových slitin do pískových forem byla fa. Honsel.

Na obr. 7a je vidět pilotní lící zařízení firmy HWS, tj. za použití ramových forem. Obr. 7b znázorňuje odlitek bloku motoru po odlití.



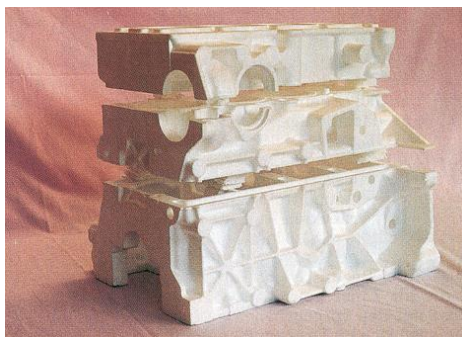
OBR. 7. MPS-technologie firmy HWS (a) a odlitý blok motoru (b) [13, 19].

V roce 1997 dánská firma DISA testovala možnost použití formovací linky DISAMATIC 2013 MK5A (nízkotlaké lití, aktivní doplňování kovu během tuhnutí, obr. 8a) pro výrobu bloků motorů [34]. Nyní prezentuje výsledky na lince DISAMATIC 2070 MK2-S na příkladu dvoulitrového bloku motoru [39]. Doba plnění je 16 s, hmotnost hrubého odlitku činí 34 kg a výrobní kapacita dosahuje 200 forem/hod. Při kombinaci s optimalizovaným tepelným zpracováním jsou dosažené hodnoty mechanických vlastností v rámci předepsaných požadavků. Na obr. 8b je záběr na otevřenou, bezrámovou, vertikálně dělenou formu s umístěným jádrem.



OBR. 8. Schematický náčrt lícího zařízení firmy DISA a), cold-boxové jádro umístěné v pískové, na bázi jílu pojené formě b).

Pro bloky motorů 1,6 a 1,8 l Audi bylo zvoleno (1996/1997) při výběru ze sedmi technologií jako nejhodnější tlakové lití [2]. Uvažovanými technologiemi byly kromě příkladů z obr. 11 nízkotlaké lití a technologie Rotacast<sup>®</sup>. V případě metody Lost-foam byl vyroben třídílný model ze Styroporu, obr. 9. S nástupem moderních technologií výroby běžných ploch válců se však dnes této slévárenské technologii otevírají nové možnosti. Jejimi přednostmi jsou nízká cena výrobního zařízení a forem, vysoká flexibilita pro různé varianty a nízké náklady v případě změn. Nákladnými zůstávají modelové nástroje. V případě používání této technologie může klesnout objem prací na obrábění až o 60 %. Metodou Lost-Foam se lijí bloky motorů ze slitiny AlSi6Cu4 pro nové motory 2,2 l Opel v centrální slévárně koncernu GM v Messina (USA). Také automobilky BMW, FIAT a CITROËN používají tuto technologii k výrobě bloků motorů či hlav válců.



OBR. 9. Model ze styroporu pro bloky motorů Audi 1,6 a 1,8 l řady 827.

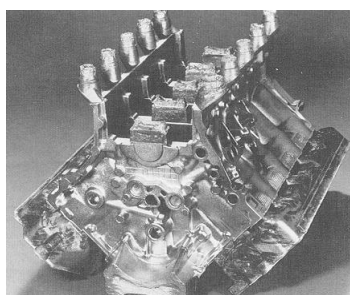
Fima Porsche již počátkem 70. let odlévala bloky vzduchem chlazených motorů nízkotlakým litím ze slitiny GK- $AlSi17Cu4Mg$  (Alusil<sup>®</sup>). Zajímavá je historie prosazování technologie nízkotlakého lití bloků motorů právě pro motory vyšších tříd vozů Mercedes, Audi a Porsche. V USA vznikla myšlenka lit tlakově nadeutektické slitiny pro motorové bloky V8 (konec 60. let). Poněvadž ale evropská poptávka po takovýchto odlitcích nebyla tak vysoká jako v Americe, prosadila se technologie nízkotlakého lití.

Technologie nízkotlakého lití neodpovídá trendům hospodárné výroby. Vedle již drahé technologie (např. výrobní takt u bloku válců V12 činí 12 min) jsou vyšší i materiálové náklady a problematická je i recyklace [34]. Tuto technologii začala obecně nahrazovat technologie tlakového lití s optimalizovanou dobou taktu.

Daimler-Benz zahájil sériovou výrobu bloků motorů V8 a V6 nízkotlakým litím slitiny GK-AlSi14Cu4Mg poprvé v roce 1978. Použití této slitiny je však problematické z následujících důvodů:

- sklon k tvorbě mikroporozity i v oblastech pracovních ploch válců,
- rozložení primárních Si-krystalů je v závislosti na podmínkách tuhnutí nerovnoměrné,
- relativně velké primární krystaly ( $20 \div 70 \mu\text{m}$ ) způsobují kvalitativní problémy při třískovém obrábění,
- mechanické vlastnosti slitiny jsou vlivem velmi heterogenní struktury relativně nízké (pevnost v tahu již od 165 MPa),
- nerovnoměrná struktura materiálu pracovních ploch válců vyžaduje náročná a nákladově intenzivní řešení systému píst – pístní kroužky,
- celkově je slitina těžko slévateľná, náklady jsou vysoké.

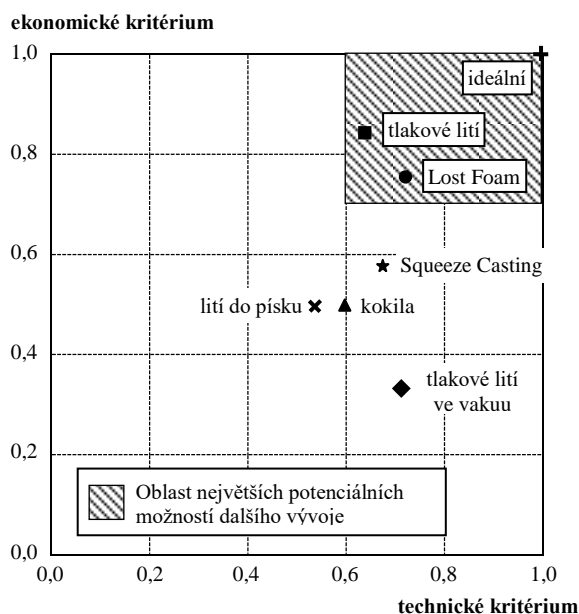
Audi se rozhodla pro materiálovou inovaci u víceobjemových motorů V8 [36]. Zde nahradil klasický litinový monoblok hliníkový materiál označený jako Silumal® (17% Si, 4,5% Cu, 0,5% Mg) s vyšším E-modulem a pevností za vyšších teplot. Tato slitina se odlévá nízkotlakým litím (0,3÷0,5 bar). Zajímavostí je naleptání již honovaného povrchu pracovních ploch válců, což způsobí „odkrytí“ tvrdých primárních Si-krystalů (velikost  $30 \div 80 \mu\text{m}$ , 1400 HV) [34]. Příklad nízkotlakově odlitého bloku motoru V8 je na obr. 10. Minimální tloušťka stěn jsou 4 mm, zřetelné jsou velké nálitky zajišťující dosazování kovu do partií pro uchycení upevňovacích šroubů pro hlavu válců. 8-válcové motory BMW objemu 3,6 a 4,2 l jsou taktéž vyrobeny technologií nízkotlakého lití materiálu AlSi17Cu4Mg.



OBR.10. Odlitek bloku válců motoru V8 s nálitky a vtoky, odlitý technologií nízkotlakého lití [34].

U bloků válců nižších objemů je tloušťka stěn v minimálně zatížených partiích redukována na technologické minimum. S pomocí počítačové simulace je z akustických důvodů minimalizováno žebrovaní stěn odlitku.

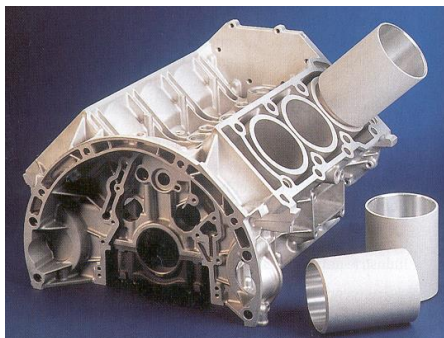
V roce 1995 přišel VW s novým konceptem motorů 1,4 a 1,6 l pro vozy Polo, které splňovaly hlavní cíle vývoje, totiž vyšší výkon při výrazném snížení hmotnosti. Při vývojových pracích byly srovnávány různé slévárenské technologie podle ekonomických a technických kritérií (dle VDI 2225) v závislosti na technologii výroby vložek válců; srovnání znázorňuje obr. 11. Zvolen byl koncept tlakového lití hliníkové slitiny se zaléváními tenkostěnnými vložkami válců ze šedé litiny, což v dané době představovalo nejehospodárnější způsob výroby. Přechodem z železného materiálu na nezelezný a mnoha konstrukčními úpravami se snížila hmotnost bloku o 50% [5].



OBR. 11. Srovnání slévárenských technologií pro lití dílů hliníkového motoru [6].

Nové bloky motorů Mercedes V6, obr. 12, se lijí v koncernovém závodě v Meschede na 4400 t licích strojích s licím tlakem do 1000 bar [6, 31]. Jedná se o první bloky s uspořádáním válců do tvaru V, které se lijí tlakovým litím. Do konce roku 2001 chce

Mercedes bloky všech svých zážehových motorů lit tlakovým litím. 50-tunová forma s 8 pohyblivými jádry je před litím temperována 20 olejovými okruhy a proces lití je kontrolován 45 vodními chladicími okruhy. Lící stroj umožňuje odlévat kusy do hmotnosti 70 kg. Odlitky jsou vyjímány při teplotě 300±380 °C. Metalický spoj vložek válců Silitec™ (AlSi25Cu4Mg) a odlitku (GD-AlSi9Cu3) je kontrolován na principu odražených ultrazvukových vln. K odrazům dochází na místech špatného spojení (vzduchová mezera nad 0,5 μm) a tyto defekty jsou barevně odlišeny v 3D geometrii kontrolovaného kusu. Výborná slévateľnost a obrobiteľnosť standardního materiálu GD-AlSi9Cu3 byly jedněmi z rozhodovacích kritérií při volbě slévateľské technologie tlakového lití.

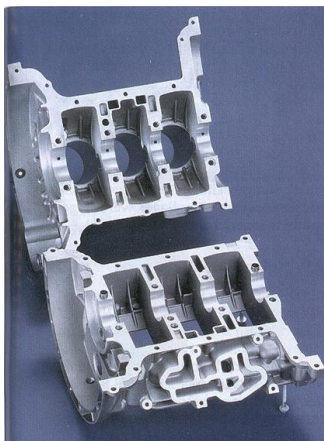


OBR. 12. Tlakový odlitek bloku motoru V6 Mercedes-Benz se zalévanými vložkami válců Silitec™.

Technologií tlakového lití se odlévají vůbec poprvé v historii bloky motorů také pro 12-válcové V-motory. Bloky motorů pro Mercedes-Benz o hmotnosti 33 kg se lijí ve slévárně Honsel Guss [37]. Jedním z problémů bylo dosažení kvalitního spoje materiálu odlitku s vložkami válců „Silitec“ v oblastech nejtenějších stěn, které dosahují díky velmi krátké rozteči válců 1,4 mm. Firmě Honsel se podařilo u tak náročného dílu a právě technologie tlakového lití dosáhnout doby 38 týdnů mezi CAD-návrhem a tlakově odlitým odlitkem. Na nové lince o třech lících strojích (3500t) je dosahována denní produkce 1400 bloků.

Porsche zvolil pro výrobu bloků motorů pro vozy Boxster technologii Squeeze-Casting, spojující hlavní výhody nízkotlakého a tlakového lití [4]. Při výrobě dochází k infiltraci konvenční slitiny AlSi9Cu3 do předem zahřátých (700 °C) vysoce porézních, dutých, válcových těles Lokasil™ z partikulárního kompozitu (tzv. Preforms) – vložek válců, při tlaku 700 bar. Mechanické vlastnosti slitiny GD-AlSi9Cu3 jsou dostačující. Výroba probíhá na plně automatizovaném lícím pracovišti – lící stroj, 2 roboty, 2 periferie. Stroj s vertikální plnicí komorou o kapacitě 40 kg má uzavírací sílu 18000 kN. 100% kontrola na zjištění nehomogenity v oblasti pracovních ploch válců je prováděna počítačem řízeným vícefrekvenčním systémem s vířivými proudy.

Hliníkové slitiny jako materiál bloku motoru nacházejí uplatnění i u **vznětových motorů**.



OBR. 13. 2-dílný tlakově odlitý blok vznětového motoru pro automobil Smart.

Prvním blokem zážehového motoru s přímým vstřikem z hliníkové slitiny byl blok pro 4válcový motor Mercedes 1,7 l. Blok motoru byl vyroben tlakovým litím, vložky válců z legované šedé litiny. Hmotnost odlitku bloku motoru se snížila o 45%, čímž se snížila celková hmotnost motoru o 13%.

Automobil Smart je vybaven motorem o hmotnosti pouhých 69 kg [32]. Blok motoru je vyráběn tlakovým litím slitiny GD-AlSi9Cu3, vložky válců jsou z šedé litiny. Vůbec poprvé je v sériově vyráběném vznětovém motoru spodní část bloku motoru též z tlakově odlitého hliníku, obr. 13. Dalším příkladem takto odlitého bloku pro nízkooobjemový vznětový motor je 1,2 l TDI – VW Lupo.

Pro nové vznětové motory 4,0 l V8 Mercedes-Benz se vyrábí bloky motorů litím slitiny G-AlSi7Mg do pískových forem, vložky válců jsou ze šedé litiny. Spodní díl bloku motoru je též hliníkový se zalitými ložiskovými mosty z GJG. Blok má hmotnost 56 kg a je o 17 % lehčí oproti svému předchůdci.

Konvenční gravitační lití do kokil je technologie, která byla u koncernu VW zvolena k výrobě hliníkových bloků motorů pro v současné době nejsilnější sériově vyráběný vznětový motor pro osobní automobil na světě – V10-TDI [14]! Na tomto odlitku jsou poprvé pracovní plochy válců vytvořeny plazmatickým nástřikem. Hliníkové slitiny se začínají prosazovat i u bloků motorů nákladních automobilů. Příkladem je blok motoru V12 ze slitiny G-AlSi10Mg o hmotnosti 320 kg.

## Bloky motorů z hořčkových slitin

Z hořčkových slitin se zatím vyrábějí v rámci automobilové techniky bloky motorů jen pro závodní vozy. Tyto slitiny nesou označení MCMgY4Re3Zr a MCMgY5Re4Zr a vynikají výbornými pevnostními vlastnostmi a odolností proti tečení za tepla. Jsou však velmi drahé, neboť obsahují yttrium a další prvky vzácných zemin. Slitiny MCMgAl8Zn1 a MCMgAl9Zn1 mají nedostatečnou pevnost za tepla a slitina MCMgZn6Cu3Mn je vzhledem ke špatné korozivzdornosti nasazována pouze u prototypů.

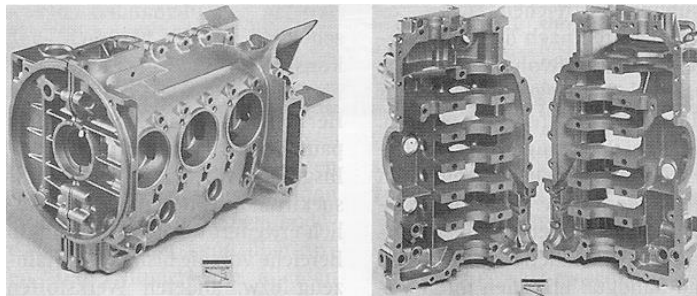
Důkazem realizovatelnosti použití hořčkového materiálu i v hromadné výrobě je praxe s litím bloků motorů pro VW „Brouk“ ze slitiny MCMgAl4Si koncem 60. let. Automobilový koncern Ford vyvíjí blok motoru z hořčkové slitiny /VDI-údaje/. Sériovému nasazení zatím brání vedle celé řady technologických problémů již zmiňované vysoké náklady. Na obr. 14 jsou tyto problémy uvedeny a je vždy zmíněna řada možných opatření k jejich odstranění nebo alespoň zmírnění důsledků.

Problematika	Řešení
↓ Koruze obecně	- další vývoj materiálů - zamezení kontakt koroze - nanášení vrstev
↓ Koruze ve spojení s dnes běžnými chladicími prostředky	- použití alternativních chladicích médií, např. glykol nebo olej - povlakování vnitřních ploch kanálů
↓ nízký E-modul / vysoký součinitel tepelné roztažnosti	- konstrukční úpravy - partikulární nebo vláknové vyztužení
↓ omezené hodnoty mechanických vlastností (mimo jiné odolnost proti tečení), především za vyšších teplot	- konstrukční úpravy - použití výztuh (viz. obr. 13 a 14) - partikulární nebo vláknové vyztužení

OBR. 14. Problematika nasazení hořčičku ve spalovacích motorech.

Hmotnost bloku 5-válcového motoru AE 42 HPDC Mercedes-Benz se použitím hořčkového materiálu snížila o 10 kg a cena tohoto provedení stoupla v porovnání s konvenčním hliníkovým řešením (G-AlSi8Cu3 / A226) o 70 Euro, tj. každý snížený kilogram hmotnosti stojí 7 Euro/odlitek [30].

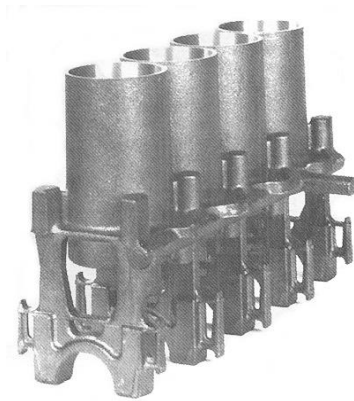
Na obr. 15 je ukázka hořčkového bloku motoru o hmotnosti 15,3 kg, výrobcem byla firma Mahle [27].



OBR. 15. Hořčková skříň bloku motoru a jeho poloviny.

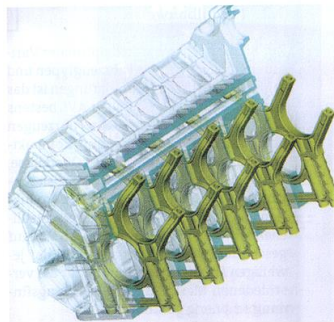
## Kombinovaná materiálová a technologická řešení

Společnost IAV GmbH přišla ve spolupráci se slévárnami Halberg-Guss a Mandl&Berger s originálním prototypem do písku odlitého bloku motoru ze slitiny G-AlSi9Cu3 [23]. Při výrobě se zakládá do formy kompaktní litinový odlitek vložek válců s motorovými přepážkami a hlavním olejovým kanálem obr. 16. Rovnoměrný předehev všech částí tohoto dílu z materiálu GJL-250 má mimořádný význam. Protože mezi oběma materiály dochází pouze k tvarové vazbě, jsou z důvodu zaručené těsnosti bloku motoru chladicí a mazací média vedeny pouze v jednom z materiálů. Víka ložisek jsou zakomponovaná do rámu, čímž vzniká místo jednotlivých dílů (5 vík) jeden odlitek. Tento rám se lije z materiálu GJS-400 do horizontálně děleného jádrového paketu. Tímto řešením vznikl blok motoru vyhovující požadavkům kladeným na moderní dieselmotory s úsporou 37 % hmotnosti. Víka ložisek integrovaná do jednoho dílu výrazně zvyšují pevnost ve zkrutu celého systému bloku motoru.



OBR. 16. Odlitek z GJL-250 jako nosná konstrukce bloku motoru [22].

Společnost AVL List GmbH vypracovala studii motoru pro sportovní limuzínu vyšší třídy budoucí generace – AVL Spectros V8 DGI [22]. Tímto mají být zodpovězeny otázky při řešení konfliktních cílů typických pro tuto třídu. Zvoleno bylo nízkotlaké lití a „Magnesium-Compound“ koncepce. Nosné jádro bloku motoru tvoří odlitky z GJV, jejichž umístění a tvar je patrný z obr. 17. Autoři koncepce vidí těžiště dalších výzkumných prací ve vývoji hořčkových slitin s vysokou pevností za vyšších teplot, přičemž se budou moci nahradit nákladné legující prvky cenově příznivějšími.



OBR. 17. Koncepce hořčkového bloku motoru s litinovými výztuhami firmy AVL List GmbH.

### Specifické požadavky na vložky válců

Při hmotnostní analýze hlavních funkčních částí bloku motoru z GJL 4-válcového vznětového motoru vyplývá, že 17% hmotnostní podíl mají vložky válců.

K vytvoření pracovních ploch válců motorů osobních automobilů je několik koncepcí:

- homogenní řešení
- homogenní řešení + galvanické pokovení
- homogenní řešení + laserová technologie
- homogenní řešení + PVD-technologie
- dodatečná montáž vložek válců
- zalévané vložky válců

Materiál vložek válců je buď šedá litina nebo kompozitní materiál na bázi hliníku. Hliníkový materiál se ve srovnání se zalévanými litinovými vložkami osvědčuje z těchto důvodů:

- snížení hmotnosti až 500g na jeden válec
- minimální tvorba mezery mezi vložkou a tělesem bloku (dobré vedení tepla)
- hladký pracovní povrch válců (tření, spotřeba oleje, emise)
- obdobná tepelná roztažnost materiálu pístu a vložky (hluk)
- odpadá společné obrábění 2 různých kovů na dosedací ploše hlavy válců
- optimální recycling

U vznětových motorů je ve třídě objemu válce do 0,5 l homogenní vložka z šedé litiny o tloušťce stěny 5÷6 mm, zalévané GJL-vložky do hliníkového bloku mají tloušťku stěny 2÷3 mm, vlisované 1,5 mm – oba typy jsou v bloku umístěny ve válcích o tloušťce stěny 7 mm.

Caspers [7] se zabývá rozborem charakteristických problémů při výrobě litinových vložek válců odstředivým litím.

Výsledkem vývojových prací firmy Porsche na technologii pracovních ploch válců (Lokasil<sup>®</sup>) jsou dvě varianty. První varianta s 5% vláken  $Al_2O_3$  a 15% Si-částic je vzhledem ke zpevnění vlákna vhodná do bloků motorů s malou roztečí válců nebo u vysokootáčkových motorů s většími výkony, neboť materiál splňuje vysoké nároky na mechanické hodnoty. Při takovém uspořádání vznikají vysoká termická zatížení v této oblasti. Druhá varianta bez vláken obsahuje 25% objemu Si-částic a malé množství pojiva. Tato druhá varianta je použita právě pro vozy Porsche Boxster [10]. Detailně se zabývají výrobou a popisem vlastností vložek válců Lokasil ve srovnání s jinými technologiemi pracovních ploch válců autoři v [18].

Výrobu vložek válců na principu práškové metalurgie popisují autoři v literatuře [31]. Materiál  $AlSi25Cu4Mg$  (patent DE 9422167) vykazuje po zpracování primární Si-kristaly do velikosti max. 10  $\mu m$ . Ve dvoustupňovém tvářecím procesu se získávají



tenkostěnné trubky o tloušťce stěny 10÷15 mm. Konečná úprava vložek válců obsahuje otryskávání vhodně zvoleným prostředkem a pracovními parametry za účelem získání definované struktury povrchu, což zlepšuje proces natavení při zalévání vložek. Firma Peak Werkstoff GmbH je jediným výrobcem, který produkuje tento hliníkový materiál (Silitec™ nebo též Dispal™) pro sériové užití nejen v automobilové technice. Takto vyrobené vložky válců jsou však doposud velmi drahé – přibližně 7 EU/kus.

Četné další patenty chrání materiálové složení vložek válců na Al-bázi. V patentu US 4938810 se jedná o slitinu AlSi23Ni8Cu3Mg, v patentu EP 367229 je uvedena slitina AlSi17Fe5Cu3Mg.

Použitím nekonvenčních technologií pro úpravu pracovních ploch válců se dosahuje opět snížení hmotnosti dílu (tato novinka představuje u bloku vznětového motoru V8 Mercedes-Benz 6,1 kg) a minimální rozteč válců je dána pouze hranicemi funkčnosti těsnění mezi hlavou válců a blokem motoru. U konvenčních metod je minimální tloušťka stěny mezi válci 5,5 mm, snahou je docílení tloušťky stěny 4,5 mm.

V případě galvanického pokovení pracovních ploch válců mluvíme o Ni-SiC-disperzní vrstvě, označené Nikasil™ [17]. Technologie Nikasil se používá u nejvýkonnějších motorů Porsche 911T, Maserati V8, Rover K-Engine, ale i u 2litrových motorů Ford Puma. Vedle nízké hmotnosti a krátké rozteče válců dochází i k nízkému tření při pohybu pístu a nižší spotřebě oleje. Při používání pohonných hmot obsahujících vysoký podíl olova a síry však dochází k vysokému koroznímu opotřebením. Dalším omezením je nevhodnost této technologie pro tlakově odlité bloky motorů, neboť se vyžaduje velmi kvalitní povrch na odlitých plochách válců.

Při laserové metodě se nejdříve na povrch nanese vrstva práškového materiálu, který se poté i s povrchem odlitku nataví a při rychlém ochlazení takto dolegovaného povrchu vzniká homogenní struktura s jemně rozloženými tvrdými fázemi [12, 20].

Použití PVD-technologie si vyžaduje velmi vysoké nároky na samotný substrát a vnitřní povrch válců odlitku [28]. Jednotlivé válce tvoří samostatné evakuované komory. Kovové nebo keramické materiály jsou nanášeny rotujícím plazmovým hořákem. Příkladem je plasmatický nástřik směsi molybdenu a oceli (Ferrmoly®) na perfektně připravený povrch válců bloku motoru FSI pro vozy VW Lupo. Tento Rota-Plasma-System vytváří vrstvu o tloušťce přibližně 0,1 mm, kdy plazma dosahuje teploty 10000°C. Technologie používaná ve VW od r. 2000 dosahuje účinnosti procesu 80%.

Nejnovější technologie je vysokorychlostní (300÷1200 ms<sup>-1</sup>) nanášení částic (1÷50 μm) na vnitřní válcovou plochu bloku. Firma Daimler-Chrysler, která tuto technologii technicky zvládla, použila obsah patentu US 5302414A. Prakticky se dá mluvit o vysokorychlostním nástřiku plamenem (HVOF – High velocity Oxyfuel), nebo o vysokorychlostním nástřiku v oblouku (Electric Wire Arc).

## Závěr

Dosahování hodnot kvalitativních parametrů předepsaných automobilovým výrobcem není a priori zárukou úspěšné budoucnosti slévárny. Slévárna musí hrát v procesu vývoje nových materiálů a technologie nebo minimálně jejich optimalizace významnou roli. Slévárenská technologie musí být zvládnuta v tom smyslu, že minimálně negativně ovlivní kvalitu připraveného tekutého kovu. Z velkého množství v článku uvedených příkladů jsou zřejmé tendence ve volbě materiálů a licích technologií pro nízkoobjemové a vysokoobjemové, zážehové i vznětové motory. Nejenom bloky pro nízkoobjemové motory, tj. motory vyráběné ve velkých sériích, ale i bloky vysokoobjemových motorů Mercedes se vyrábějí ve stále větší míře tlakovým litím. Trend použití lehkých slitin k výrobě bloků motorů je v Evropě výrazně progresivnější než v Americe. Především z nasazení lehkých slitin pro nejvýkonnější zážehové i vznětové motory vyplývá velký tlak automobilových výrobců na slévárny. Uplatněním inteligentní konstrukce se daří výrobcům litinových bloků motorů částečně konkurovat hliníkovým slévárnám i v oblasti výroby bloků pro nízkoobjemové motory. Vysokoobjemové vznětové motory se vyrábějí převážně z litiny s červíkovitým grafitem. Určitá neschopnost sléváren reagovat na nové technologie je patrná z nenasazení technologie nízkotlakého lití bloků motorů z hliníkových slitin do syrových forem, ať už rámových či bezrámových. Článek je doplněn i o přehled způsobů výroby pracovních ploch válců. Použití kompozitních materiálů a povlakování jsou technologie, které se již běžně používají v sériové výrobě.

## Literatura:

- [1] Arbeiter, E. – Brüggemann, H. – Fausten, H. – Reifenrath, H.-P. – Roth, H. – Weisbarth, M.: Der neue V8-Pkw-Dieselmotor von Mercedes-Benz. MTZ – Motortechnische Zeitschrift 6, 2000, s. 362 – 375.
- [2] Arndt, R. – Kusebauch, K. – Rösch, R. – Stenzel, M.: Das Aluminium-Kurbelgehäuse der Audi-Vierzylindermotoren mit 1,6 und 1,8 l Hubraum. MTZ – Motortechnische Zeitschrift 10, 1997, s. 600 – 606.
- [3] Bauder, R. – Franzke, G. – Hoffmann, H. – Mikulic, L. – Pölzl, H.-W.: Der neue V6-TDI-Motor von Audi mit vierventiltechnik. MTZ – Motortechnische Zeitschrift 6, 1997, s. 750 – 755.
- [4] Batzill, M. – Kirchner, W. – Korkemeier, H. – Ulrich, J.-G.: Der Antrieb für den neuen Porsche Boxster. ATZ/MTZ-Sonderausgabe, 1999, s.52 – 55.
- [5] Becker, N. – Lippert, E. – Szengel, R.: Neue Ottomotoren für den VW Polo. MTZ – Motortechnische Zeitschrift 9, 1996, s. 478 – 490.
- [6] Brungs, D. – Fuchs, H.: Leichtmetalle im Automobilbau – Trends und zukünftige Anwendungen. ATZ/MTZ-Sonderausgabe, 1999, s. 50 – 53.
- [7] Caspers, K.-H.: Prozess-Sicherheit am Beispiel einer Zylinderlaufbüchsenproduktion. MTZ – Motortech-nische Zeitschrift 1, 2000, s. 48 – 53.
- [8] Dieterle, U. – Junk, H. – Blum, D. – Lühr, H. – Wagner, T. – Schwaderlapp, M.: Zylinderkurbel-gehäuse aus Gusseisen – ein kostengünstiges Konzept für Pkw-Motorblöcke. MTZ – Motortechnische Zeitschrift 12, 1997, s. 770 – 774.
- [9] Eidenböck, T. – Stastny, J. – Lampic-Oplander, M.: Kurbelgehäuse aus Gusseisen mit Vermiculargraphit GGV für den BMW Achtzylinder-Dieselmotor. ATZ/MTZ-Sonderausgabe, 1999, s. 14 – 17.
- [10] Everwin, P. – Köhler, E. – Ludescher, F. – Munker, B. – Peppinghaus, D.: Eine neue Verbundwerkstoff-Lösung geht mit dem Porsche Boxster in Serie. Gießerei-Praxis 1, 1998, s. 8 – 11.
- [11] Fischer, A.: Aluminium-Motorblöcke für Hochleistungsmotoren, Anforderungen und Lösungen. Sborník k VDI-semináři „Gießtechnik im Motorenbau“ v Magdeburgu 1. - 2. 2. 2001, s. 111 – 127.
- [12] Fischer, A.: Laserlegieren zur Laufflächenbildung bei Aluminium-Motorblöcken. MTZ – Motortechnische Zeitschrift 3, 2001, s. 250 – 253.

- [13] Grolla, H.: Modulare Form- und Gießanlage für die Serienfertigung von Automobilkomponenten. Aluminium 6, 1999, s. 468 – 474.
- [14] Hadler, J. – Westphal, Ch. – Schmidt-Loose K. – Köhn S. – Scher U.: Der V10-TDI-Motor. Sonderausgabe der MTZ, 2001, s. 38 – 49.
- [15] Hick, H. – Langmayr, F.: Analyse des Leichtbaupotentials verschiedener Kurbelgehäuse-werkstoffe. VDI Berichte Nr. 1472, 1999, říjen, s. 35 – 47.
- [16] Kloft, M. – Krebs, R.: Wohin geht es – Anforderungen der Motorenentwicklung an die Gießerei. Sbornik k VDI-semináři „Gießtechnik im Motorenbau“ v Magdeburgu 1. - 2. 2. 2001, s. 199 – 210.
- [17] Kollmann, K. – Fortnagel, M. – Thom, R. – Wagner, D.: Die neue V-Motorenbaureihe von Mercedes-Benz mit Dreiventiltechnik und Doppelzündung. MTZ – Motortechnische Zeitschrift 6, 1997, s. 308 – 316.
- [18] Kühler, E. – Ludescher, F. – Niehues J. – Peppinghaus, D.: LOKASIL®-Zylinderlaufflächen – Integrierte lokale Verbundwerkstofflösung für Aluminium-Zylinderkurbelgehäuse. ATZ/MTZ-Sonderausgabe „Werkstoffe im Automobilbau“, 1996, s. 38 – 42.
- [19] Lambert, G.R.: Gießen von Fahrzeugkomponenten aus Aluminium auf kastengebundenen Hochleistungs-Formanlagen. Giesserei 8, 1998, s. 57 – 62.
- [20] Lampic, M. – Henkel, H.: BMW-V8-Dieselizeylinderblock – Tragholkonzept und Gusseisen mit Vermiculargraphit. Gießerei-Praxis 6, 1999, s. 296 – 301.
- [21] Lensch, G. – Bady, T. – Bohling M.: Verschleißbeständige Aluminiumoberflächen durch Leserlegieren mit speziellen Strahlwerkzeugen. Aluminium 3, 2000, s. 156 – 158.
- [22] Marquard, R. – Hilfried, S.: AVL Spectros – Ein Motorenkonzept für Leichtbau und Modulbauweise. MTZ – Motortechnische Zeitschrift 2, 2000, s. 80 – 87.
- [23] Neukirchner, H. – Kromer, B.: Leichtmetallkurbelgehäuse mit Grauguss-Stützstruktur. VDI Berichte Nr. 1472, 1999, říjen, s. 49 – 83.
- [24] Peters, D.-M. – Rodgers, R.-C.: INTERMET's big push into aluminium. Foundry management & technology. 1993, červen, s. 34 – 38.
- [25] Popov A.: Erfahrungen bei der Herstellung von Motorguss nach dem Kernpaketverfahren. Giesserei-Erfahrungsaustausch 8, 2000, s. 393 – 399.
- [26] Röhrig, K.: Innovative Eisengusslösungen beim neuen BMW-V8-Diesel. Gießerei-Praxis 3, 1999, s. 106 – 109.
- [27] Röhrle, M.D.: Gießereitechnik und Automobilindustrie – eine Partnerschaft mit Tradition. Aluminium 9, 1999, s. 689 – 732.
- [28] Sach, A. – Feikus, F.-J.: Laufflächenbildung in Aluminium-Motorblöcken. ATZ/MTZ-Sonderausgabe, 1998, s.72 – 74.
- [29] Schmidt, B. – Feldhege, M. – Rass. I.J.: Funktionsschichten auf Aluminiumkomponenten. Aluminium 4, 1999, s. 290 – 294.
- [30] Schommers, J. – Duvinage, F – Kemmler, R.: Entwicklungsperspektiven von Kraftfahrzeug-antrieben. VDI Berichte Nr. 1472, 1999, říjen, s. 3 – 32.
- [31] Stocker, P. – Rückert, F. – Hummert, K.: Die neue Aluminium-Silizium-Zylinderlaufbahn-Technologie für Kurbelgehäuse aus Aluminiumdruckguss. MTZ – Motortechnische Zeitschrift 9, 1997, s. 502 – 508.
- [32] Thiemann, W. – Finkbeiner, H. – Brüggemann, H.: Der neue Common-Rail-Dieselmotor mit Direkteinspritzung für den Smart. MTZ – Motortechnische Zeitschrift 11, 1999, s. 722 – 733.
- [33] Weber, R.: Eigenschaften und Anwendungsgebieten von GGv. Přednáška na CIATF-Technical Forum v rámci GIFA '99.
- [34] Weiss, F. – Fuchs, H.A.: Niederdruckgießen von Zylinderköpfen und Zylinderblöcken. Giesserei-Praxis 8, 1990, s. 129 – 137.
- [35] Formanlage mit aktiver Speisung für Aluminiumgußteile. Giesserei 21, 1997, s. 47 – 48.
- [36] Komponenten für die V8-Motoren von Audi. MTZ – Motortechnische Zeitschrift 1, 1999, s. 24.
- [37] Komponenten für den Mercedes-Benz Zwölfzylindermotor. MTZ – Motortechnische Zeitschrift 5, 2000, s. 292.
- [38] Zukunft aus einem Guss – Bericht zur GIFA 99 – 9. Internationale Gießereifachmesse. Gießerei-Praxis 8, 1999, s. 386 – 431.
- [39] Prospekty Georg Fischer DISA Group.

Slévárenské slitiny železné jsou v článku označené podle normy DIN EN 1560, hliníkové slitiny podle normy DIN 1725 a hořčíkové slitiny podle normy DIN EN 1753.