

# Návrh řešení pro zvýšení tvrdosti na odlitku bloku motoru

Barbora Vaňková

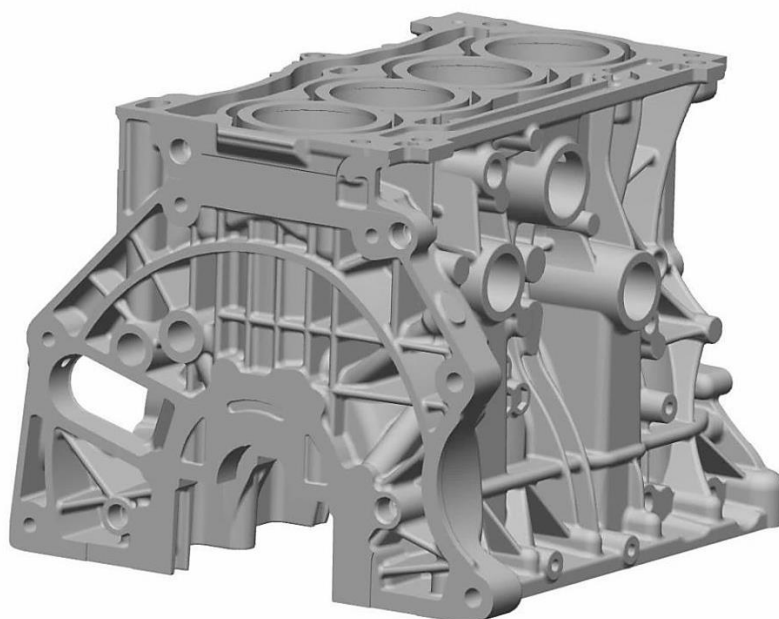
Vedoucí práce: Ing. Petr Zikmund

## **Abstrakt:**

*Práce se zabývá návrhem řešení pro zvýšení tvrdosti na odlitcích bloků motorů o objemu 1,4 l. Vzhledem k požadavku na zvýšení tvrdosti odlitků bylo nutné nalézt řešení a aplikovat jej v sériové výrobě slévárny hliníku Škoda Auto a. s. v Mladé Boleslavi. V práci jsou představeny jednotlivé návrhy řešení a především realizace experimentu, který prokázal účinnost těchto navržených opatření.*

## **1. Úvod**

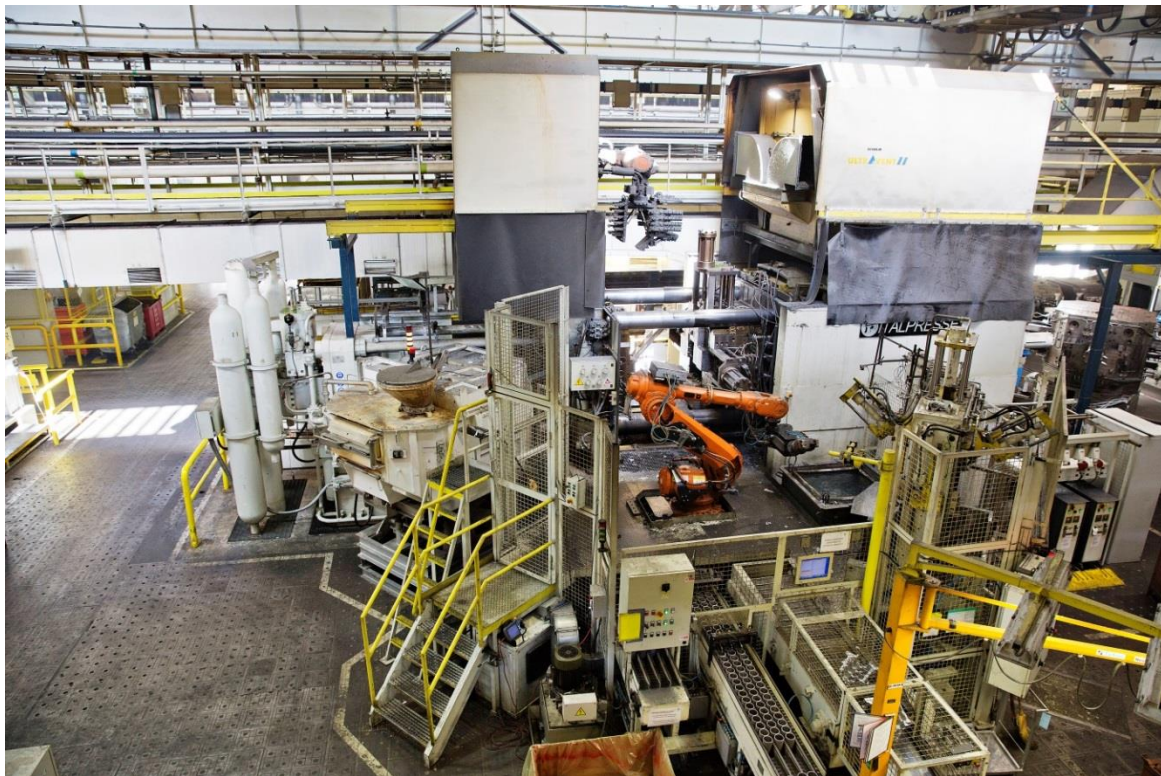
Čtyřválcový blok motoru o objemu 1,4 l, na kterém jsou prováděna měření a zkoušky, se řadí do nové řady motorů EA211 (interní označení koncernu Volkswagen - zkratka německého slova *Entwicklungsauftrag*), které uplatňují všechny nové konstrukční prvky. Jedná se o benzinový motor o maximálním výkonu 103 kW, síle 140 koní a točivém momentu 250 Nm. Přesný objem motoru je 1395 cm<sup>3</sup>. Motor lze kombinovat s manuální šestistupňovou převodovkou nebo sedmistupňovou automatickou. Spotřeba motoru je v případě manuální převodovky 5,3 l/100 km. Tento motor splňuje exhalační normu Euro 5 a hodnoty CO<sub>2</sub> emisí se pohybují kolem 128 g/km. Motor 1,4 l TSI 103 kW se řadí do celosvětového trendu vývoje motorů - tzv. downsizingu. Downsizing představuje snížení objemu motoru, ale získání stejného či vyššího výkonu. Pro zvýšení výkonu se používají například technologie přeplňování či přímé vstřikování paliva. Vývoj motorů dle zásad downsizingu přispívá především ke zvýšení efektivity motoru a zároveň i snížení emisí. [1,8,9]



**Obr. 1.** Čtyřválcový blok motoru 1,4 l TSI EA211[1]

## 2. Slévárna Al v Mladé Boleslavi

ŠKODA AUTO v Mladé Boleslavi vlastní slévárnu hliníku (dále jen slévárna Al), která je součástí hutních provozů. Na slévárně Al v Mladé Boleslavi se nachází 16 vysokotlakých licích strojů. Pro odlévání bloků motorů se používá deset licích strojů - sedm strojů Idra o uzavírací síle 2000 t, jeden stroj Italpresse 2000 t, jeden stroj Müller Weingarten a jeden Frech o uzavíracích silách 1600 t. Licí stroje Idra, které mají větší uzavírací sílu, se používají především pro odlévání čtyřválcových bloků motorů, menší stroje MW a Frech pro bloky tříválcové. Zbývajících šest strojů MW 1600 t se užívá pro odlévání skříní spojek a převodovek. V příštím roce by tento počet měl být navýšen o dva další vysokotlaké licí stroje. Celý sortiment odlitků slévárny Al je odléván technologií vysokotlakého lití do trvalých kovových forem. Tato technologie je založena na principu vstřikování roztaveného kovu do trvalé kovové formy za vysokého tlaku a rychlosti. [2,6]



*Obr. 2. Ukázka tlakového licího stroje ITALPRESSE [1]*

## 3. Materiál odlitku

Odlévaným materiálem bloků motorů ve slévárně Al v Mladé Boleslavi je slitina hliníku  $AlSi9Cu3(Fe)$ . Slitiny Al-Si-Cu jsou nejvíce používaným typem, rozšířeným od 20. a 30. let 20. století, kdy se začala věnovat pozornost recyklaci hliníkových slitin a v souvislosti s tím vznikly právě tyto slitiny, které tvoří zhruba polovinu produkce odlitků ze slitiny hliníku. Jsou dominantní hlavně v automobilovém průmyslu, zejména pro svou vysokou rozměrovou stálost a malou pohltivost plynů. Slitina  $AlSi9Cu3(Fe)$  je slitinou podeutektickou a řadí se mezi žárupevné slitiny, které jsou schopné pracovat za pracovních teplot 200 – 350 °C. Přítomnost mědi výrazně zlepšuje obrobitelnost, ale naopak snižuje korozivzdornost. Třísky jsou dobře lámavé a dosahuje se kvalitního povrchu odlitku. Má střední mechanické vlastnosti, stejně jako odolnost proti korozi. Slitina má dobrou zabíhavost a malý sklon ke vzniku soustředěných staženin. Přidáním křemíku je podporována především slévateľnost. [3,5,7]

Chemické složení slitiny AlSi9Cu3(Fe) je dáno normou EN 1706. V tabulce 1. je uvedeno skutečné chemické složení, ze kterého je vyroben odlitek bloku motoru na slévárně Al ŠKODA AUTO v Mladé Boleslavi. Tyto hodnoty byly získány pomocí měření na spektrálním analyzátoru v metalurgické laboratoři. [1]

**Tabulka 1.** Chemické složení slitiny hliníku AlSi9Cu3(Fe)

Naměřené hodnoty [%]												
Al	Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Bi+Ca+Cd+Li+B+Be
85,76	9,47	0,86	2,32	0,25	0,25	0,031	0,054	0,86	0,073	0,014	0,055	0,003

#### 4. Mechanické vlastnosti

U hliníkových slitin se nejčastěji zařazují zkoušky tahem a měření tvrdosti. Definici těchto mechanických vlastností uvádí normy ČSN EN 10 002-1 a ČSN EN 10 003-1 resp. ČSN EN 10 045-1. Mez pevnosti běžných hliníkových slitin se v litém stavu pohybuje v rozmezí 150-250 MPa. Pevnostní vlastnosti se velmi podstatně zvyšují vytvrzováním, stejně tak tvrdost, která se v litém stavu pohybuje kolem 60 - 80 HB, po vytvrzení až 100 HB. Měření tvrdosti hliníkových slitin se velmi často používá měření tvrdosti podle Brinella. Tvrdost dle Brinella se pohybuje od hodnoty 15 v případě čistého hliníku až po 140 u vysokopevných vytvrzovatelných slitin typu Al-Zn-Mg-Cu. [5,7]

**Tabulka 2.** Mechanické vlastnosti slitiny hliníku AlSi9Cu3(Fe) [3]

Mechanické vlastnosti slitiny AlSi9Cu3(Fe)	
Litý stav (tlakové liti)	
Pevnost v tahu (min.) [MPa]	240
Pevnost na mezi Rp0,2 (min.) [MPa]	140
Tažnost A <sub>5</sub> (min.) [%]	1
Tvrdost HBS	80
Youngův modul pružnosti E [MPa]	71 000

#### 5. Vytvrzování slitin hliníku

Vytvrzování všeobecně je nejdůležitějším způsobem tepelného zpracování hliníkových slitin. U slitin hliníku se vytvrzováním dosahuje podstatně vyšší meze pevnosti R<sub>m</sub>, meze R<sub>p0,2</sub> a tvrdosti. Tažnost se po vytvrzení obvykle snižuje. Podmínkou pro vytvrzení slitiny hliníku je přítomnost přísadového prvku, který má dostatečně výraznou změnu rozpustnosti v tuhém roztoku α (Al). Příkladem těchto přísadových prvků mohou být především měď a hořčík, popřípadě nikl nebo zinek. Další podmínkou uskutečnění procesu vytvrzení je obsah těchto prvků. Ve slitině musí být vyšší, než je jejich rozpustnost při normální teplotě, ale nižší než je maximální rozpustnost v α (Al) při eutektické teplotě. [3,4,5,7]

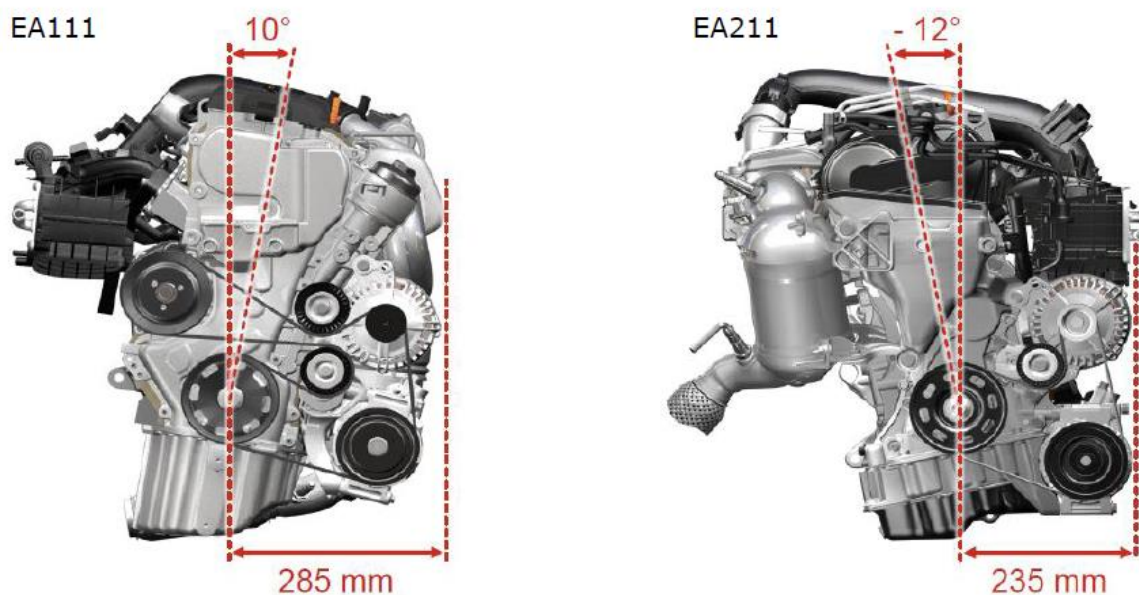
Účelem tepelného zpracování hliníkových slitin je získat určitý nerovnovážený stav struktury, který zajišťuje požadované vlastnosti výrobku. Skládá se z:

- rozpouštěcího žíhání - získává se homogenní tuhý roztok α (Al)
- rychlého ochlazení - výsledkem je přesycený tuhý roztok α (Al)
- vytvrzování (stárnutí) - dochází k tvorbě precipitátu a zpevnění struktury.

Odlitky ze slitin Al-Si-Cu se mohou používat i v tepelně nezpracovaném stavu, protože díky přítomnosti mědi případně i zinku dochází k určitému stupni samovolného vytvrzení odlitků. Efekt samovolného vytvrzení je tím silnější, čím rychleji se odlitek ochlazuje při tuhnutí, a tím mohl vzniknout více přesycený tuhý roztok  $\alpha$  (Al). U tlakového lití je teplota odlitků v okamžiku, kdy opouští odlitky formu, relativně vysoká. Pokud je tato teplota u vytvrzovaných slitin v oblasti teplot, kdy jsou legující prvky v tuhém roztoku, lze při dostatečně rychlém ochlazení odlitku uchovat legující prvky v tuhém roztoku a následnou operaci žíhání už pak jen zahřátím podpořit proces vytvrzování. [3,4,7]

## 6. Důvody realizace zkoušky

Hlavní důvod pro realizaci zkoušky zachlazení je rychlý vývoj inovace a především neustálé zvyšování kvality produktů. Již v úvodu je popsáno, že blok, na kterém se provádí experiment je členem skupiny EA211, tudíž nároky na tyto motory jsou vyšší než na starou výrobu motorů EA111. Je několik důvodů, proč došlo k vývoji této nové řady motorů, mezi nejdůležitější z nich by se dalo zařadit snižování emisí CO<sub>2</sub>, kdy je nutné plnění budoucích cílů spotřeby a limit emisí, které se budou nadále zvyšovat, a především snížení provozních nákladů relevantních z pohledu zákazníka. Dalším důvodem je snížení nákladů na výrobu, např. snížení spotřeby materiálu na základě odlehčené konstrukce a sdružování funkcí dílů díky modulárnímu řešení. Výhodou nové generace jsou i kompaktnější rozměry motoru, které přináší nové možnosti v designu.



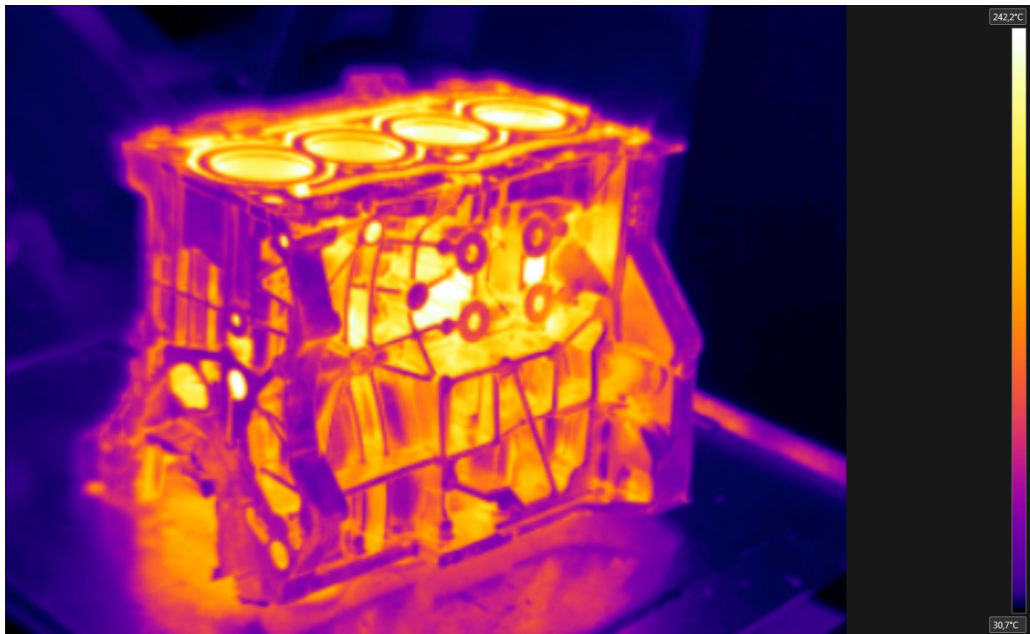
**Obr. 3.** Ukázka vývoje benzinových motorů 1,4 l TSI

Hlavním rozdílem mezi tzv. rodinami motorů EA111 a EA211 je především váha, kdy díky inovativní konstrukci součástí motoru, došlo ke snížení hmotnosti celého motoru až o 22 kg. Další změny nastaly u víka hlavy válců, které nově může obsahovat řízení ventilů (tzv. ACT = Active Cylinder Timing - systém aktivního vypínání válců), dále u modulu olejové vany s přidavným rámem a integrovanou filtrací oleje. Změna konstrukce motoru 1,4 l TSI je patrná i u konstrukce ojníc, kde došlo k zúžení profilu, optimalizaci tvaru a zkrácení délky šroubů. Další změny nastaly v konstrukci klikových hřídelů, chladicích okruzích, rozvodovém mechanismu, palivové soustavě, rozmístění elektronických komponentů a mnoho dalšího. Pro běžného uživatele vozu je rozdíl mezi jednotlivými generacemi patrný především otočením celého agregátu v motorovém prostoru o 180° a naklopením do záporného úhlu, viz. Obr 3. [1,8]

Modelová řada motorů EA 211 koncernu Volkswagen zahrnuje tři a čtyřválcové benzinové motory ve čtyřech objemových variantách od 1,0 do 1,6 litru. Benzinové motory 1,2 a 1,4 TSI řady EA 211 vyrábí ŠKODA už od konce roku 2012.

I díky všem těmto konstrukčním změnám a inovacím bylo nutné zasáhnout i do vývoje bloku motoru. Z toho důvodu byla zvýšena hodnota požadavku na tvrdost v předpisu výkresové dokumentace z 80+20 HB na 90+20 HB. Bylo tedy nutné vyvinout taková opatření, aby bylo této hodnoty vždy dosahováno a norma splněna. V porovnání 3 -válcových a 4 -válcových bloků se měřená tvrdost pohybuje lépe u menších 3 -válcových bloků, proto se opatření týkala primárně bloků 4 -válcových.

Dalším neméně důležitým důvodem pro provedení experimentu je neustálé zlepšování pracovních podmínek pro zaměstnance slévárny z hlediska ergonomie. V dnešní době jsou všechny odlitky bloku motoru ručně apretovány u tlakového licího stroje hned po odlomení vtoku a technologických přetoků. Hmotnost ručně apretovaných bloků se pohybuje od 16 kg do 24 kg. Teplota odlitku, jak je vidět na obr. 4, se pohybuje kolem 285°C. Obsluha stroje provádí kontrolu celistvosti odlitku, průchodnost otvorů, předlitých jader a apretaci blan a otřepů na odlitku. Pracovník, který ruční apretaci provádí, je tak vystaven velkému riziku a vlivu sálavého tepla, nejen proto je tato práce fyzicky velmi náročná.



**Obr. 4.** Termosnímek bloku motoru 1,4 l

Inspirací pro tuto zkoušku se stala výroba odlitků skříní spojek a převodovek, které jsou zachlazovány do vodní lázně z důvodu nutnosti frézování do materiálu ihned po zachlazení a ruční apretaci tvarově velmi složitěho dílu. Pracoviště tudíž byla již v minulosti koncipována se zachlazovací vanou integrovanou do periferie stroje. Tak tomu však není u strojů Idra určených k produkci bloků motorů, z toho vyplývá problém s nedostatkem prostoru pro umístění těchto van.

## 7. Zkouška zachlazení

Zkouška zachlazení bloku motoru 1,4 l byla realizována na vysokotlakém licím stroji IDRA o maximální uzavírací síle 2000 t. Jedná se o stroj, kde je uzavírání řešeno kloubovým mechanismem. Součástí pracoviště tlakového licího stroje je manipulační robot firmy ABB, který zajišťuje zakládání litinových vložek, které jsou do motoru bloku zalévány, vyjímání odlitku z dutiny formy, kontrolu celistvosti a transport odlitku na ostříhovací lis, kde dochází k ostřížení vtokové soustavy a technologických přetoků. Dávkování tekutého kovu do plnicí komory tlakového licího stroje je realizován pomocí udržovací pece Striko Westofen.

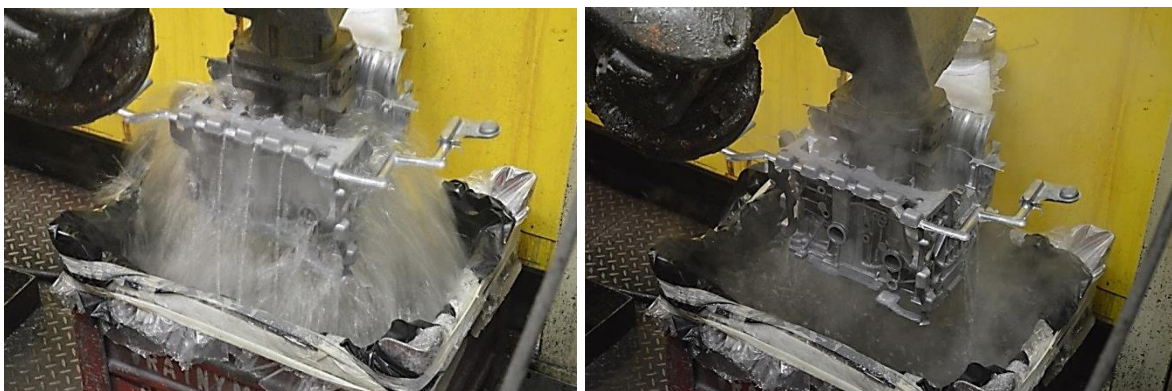
Vzhledem k tomu, že v periférii tohoto stroje není zakomponována zachlazení vana, bylo nutné vytvořit provizorní nádobu, do které by byly jednotlivé díly ponořovány do vody a zachlazeny. Do provizorní zachlazení vany byla napuštěna voda o teplotě 30°C, ale protože ponořováním odlitků o teplotě až 300°C dochází k rychlému ohřevu vody, bylo nutné po každém stupni zachlazení (dáno dobou ponoření) vanu vylít a napustit znovu chladnější vodou. V praxi sériové výroby se používají zachlazení vany s automatickým chlazením.



*Obr. 5. Provizorní nádoba na zachlazení odlitků*

Pro správné provedení zkoušky bylo nutné upravit dráhu robota, který po vyjmutí odlitku z dutiny formy zkontroluje celistvost odlitku pomocí senzorů a místo odložení do apretačního zařízení, ponoří odlitek do zachlazení vany. Po stanové době odlitek vyjme a odloží do ostříhovacího lisu, kde dojde k primární apretaci.

Odlitky jsou postupně zachlazené v časových intervalech 10, 20, 30 a 52 s. Zkouška je provedena tak, že pro každý časový interval bylo odlito pět kusů bloků motoru. Maximální hodnota 52 s je zvolena jako maximální možná doba, po kterou by mohl být díl zachlazen, aniž by došlo k prodloužení taktu. Toto prodloužení se předpokládá jen při skutečnosti, že by robot odlitek vyjmul z formy, zkontroloval celistvost odlitku a následně ho odložil do přípravku, který by zajistil automatické zachlazení odlitku v zachlazení vaně. Robot by mohl nabrat nové vložky a založit je do stroje. Při zkoušce v provizorní nádobě toto není možné, proto dochází k úměrnému prodloužení licího taktu stroje a tím i navýšení celkového času výroby odlitku. Při zkouškách je toto navýšení celkového času pro výrobu odlitku bloku motoru samozřejmé, pro sériovou výrobu je tato skutečnost však krajně nepřijatelná. Trendem moderního vývoje v rámci konkurenceschopnosti je nutné se zaměřovat na snižování nákladů výroby, a to především zvyšováním kapacit, snižováním prostojů a zvyšováním kvality produktů.

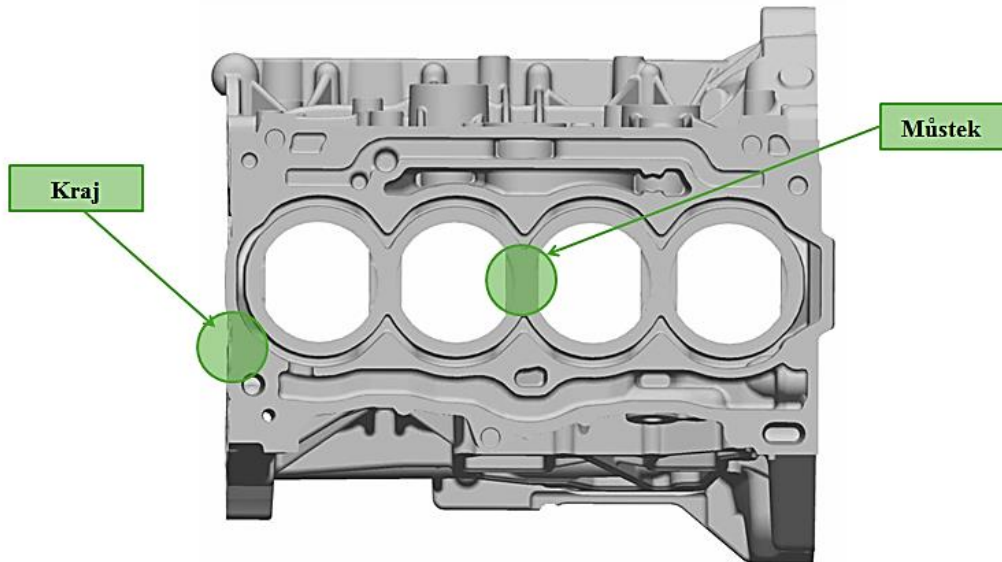


*Obr. 6. Zkouška zachlazení*

## 8. Měření tvrdosti

Tvrдость byla měřena v metalurgické laboratoři, ve kterém jsou prováděny zkoušky pro sériovou výrobu. Součástí metalurgické laboratoře je chemická laboratoř, kde je zajištěn nepřetržitý provoz kontroly nataveného kovu a spektrální analýza dodávaných materiálů. Druhou laboratoří je metalograficko-mechanická, kde jsou prováděny zkoušky mechanických vlastností (např. pevnost, tvrdost atd.) a metalografie (např. struktury, analýzy vad atd.)

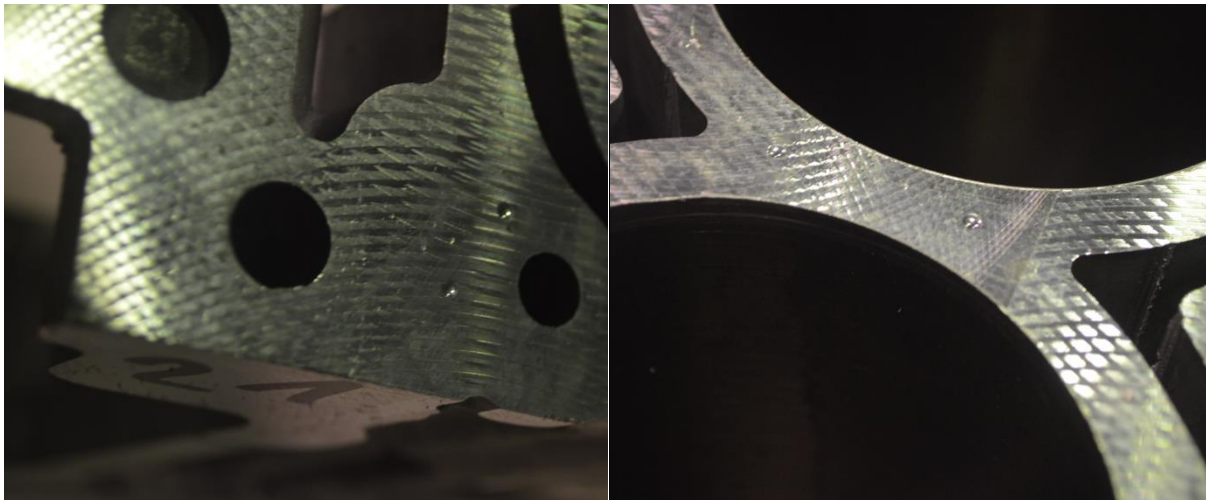
Konkrétně na čtyřválcovém bloku motoru předepisuje výkresová dokumentace měření tvrdosti po tepelném zpracování na okraji bloku motoru a v oblasti mezi druhým a třetím válcem na tzv. můstku. Tyto dvě popsané oblasti jsou vyznačeny na obr. 7.



*Obr. 7. Oblasti měření tvrdosti na čtyřválcovém bloku motoru*

Zkoušky tvrdosti musí být prováděny v souladu s EN ISO 6506-1 na bezpórovitém povrchu odlitku nebo na části zlomeného zkušební tělesa, které nebylo vystaveno napětí. Při měření tvrdosti slitiny hliníku AlSi9Cu3(Fe) byla použita kulička z tvrdokovu o průměru 5 mm. Zatížení zkušební tělesa bylo vypočteno dle rovnice (1)

$$F = 10 \times D^2 = 250 \text{ N} \quad (1)$$



*Obr. 8. Měřené vpichy na okraji a můstku - měření po obrobení*

První měření tvrdosti proběhlo na odlitcích po odlití v průběhu cca 5 hodin. Druhé měření proběhlo po tepelném zpracování. Jedná se o stabilizační žihání v průběžné žihací peci Realistic, kde dochází k ohřevu na žihací teplotu 250°C, následné výdrži na teplotě po dobu třech hodin a postupnému ochlazení v peci na teplotu cca 40°C. Cílem žihání je stabilizace struktury, rozměrů, mechanických, fyzikálních a chemických vlastností odlitku. Stabilizační žihání se užívá v případech, kdy má součást pracovat v provozu při zvýšených teplotách jako je tomu u bloku motoru. Třetí měření bylo provedeno po předobrobení odlitků v automatickém obráběcím centru GROB, kde dochází k obrobení stanovených ploch, než je odlitek dále expedován ke konečnému obrobení či k zákazníkovi. Každé měření bylo provedeno dvakrát v obou oblastech.

*Tabulka3. Naměřené hodnoty tvrdosti HBW*

Odlitky nezachlazené																		
č.	Po odlití						Po TZ (250°C)						Po opracování					
	Můstek		Kraj				Můstek		Kraj				Můstek		Kraj		r	
1	90,4	90,8	<b>90,6</b>	93,7	93,1	<b>93,4</b>	91,9	89,9	<b>90,9</b>	105	101	<b>102,9</b>	90,5	88,4	<b>89,5</b>	97,8	99,1	<b>98,5</b>
2	89,1	90,6	<b>89,9</b>	92,4	91,3	<b>91,9</b>	90,7	91,0	<b>90,9</b>	104	99	<b>101,6</b>	91,1	88,1	<b>89,6</b>	98,3	100	<b>99,2</b>
3	90,3	90,3	<b>90,3</b>	94,1	90,1	<b>92,1</b>	88,9	91,3	<b>90,1</b>	105	101	<b>103,0</b>	88,0	88,5	<b>88,3</b>	96,0	99,5	<b>97,8</b>
4	89,4	90,7	<b>90,1</b>	96,7	92,0	<b>94,4</b>	92,0	91,4	<b>91,7</b>	104	100	<b>102,1</b>	89,0	87,9	<b>88,5</b>	98,4	100	<b>99,2</b>
5	90,1	90,2	<b>90,2</b>	90,8	91,3	<b>91,1</b>	94,2	92,0	<b>93,1</b>	107	102	<b>104,2</b>	88,7	91,0	<b>89,9</b>	95,4	95,9	<b>95,7</b>
<b>Prům.</b>	90,2		92,6				<b>91,3</b>		<b>102,7</b>				89,1		98,0			

Odlitky zachlazené 10 s																		
poř.č.	Po odlití						Po TZ (250°C)						Po opracování					
	Můstek		Kraj				Můstek		Kraj				Můstek		Kraj			
6	92,4	93,9	<b>93,2</b>	94,0	96,9	<b>95,5</b>	100	102	<b>101,0</b>	108	104	<b>105,9</b>	95,6	99,3	<b>97,5</b>	101	101	<b>101,1</b>
7	90,0	92,0	<b>91,0</b>	94,3	93,6	<b>94,0</b>	103	104	<b>103,5</b>	108	104	<b>105,9</b>	97,8	97,7	<b>97,8</b>	94,6	102	<b>98,3</b>
8	91,1	93,2	<b>92,2</b>	95,2	92,5	<b>93,9</b>	101	103	<b>101,9</b>	106	103	<b>104,2</b>	96,3	95,9	<b>96,1</b>	101	102	<b>101,2</b>
9	92,2	92,9	<b>92,6</b>	91,5	94,1	<b>92,8</b>	97,9	102	<b>100,1</b>	108	104	<b>105,6</b>	95,7	98,3	<b>97,0</b>	100	102	<b>101,0</b>
10	93,7	92,9	<b>93,3</b>	95,1	89,4	<b>92,3</b>	103	102	<b>102,8</b>	107	102	<b>104,7</b>	99,5	99,6	<b>99,6</b>	98,5	99,4	<b>99,0</b>
<b>Prům.</b>	92,4		93,7				<b>101,8</b>		<b>105,2</b>				97,6		100,1			



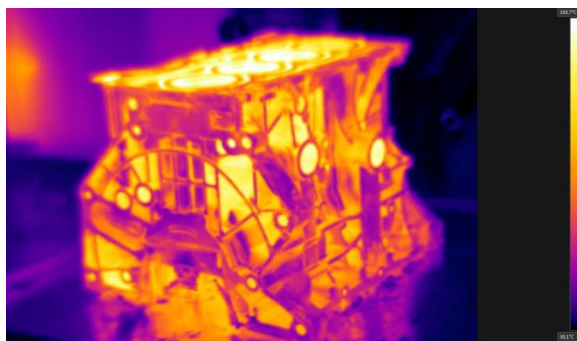
Odlitky zachlazené 20 s																		
poř.č.	Po odlití						Po TZ (250°C)						Po opracování					
	Můstek		Kraj				Můstek		Kraj				Můstek		Kraj			
11	92,0	92,1	<b>92,1</b>	94,3	92,6	<b>93,5</b>	103	104	<b>103,6</b>	104	103	<b>103,7</b>	99,4	97,8	<b>98,6</b>	101	99,1	<b>100,0</b>
12	94,1	95,3	<b>94,7</b>	96,4	95,3	<b>95,9</b>	102	106	<b>104,2</b>	108	104	<b>106,1</b>	98,4	97,4	<b>97,9</b>	104	101	<b>102,6</b>
13	95,3	92,1	<b>93,7</b>	97,4	94,1	<b>95,8</b>	101	103	<b>101,7</b>	106	103	<b>104,4</b>	96,9	97,4	<b>97,2</b>	98,0	102	<b>99,9</b>
14	93,5	93,4	<b>93,5</b>	94,7	91,3	<b>93,0</b>	102	100	<b>100,7</b>	108	102	<b>104,6</b>	98,7	97,4	<b>98,1</b>	97,3	102	<b>99,8</b>
15	93,4	91,9	<b>92,7</b>	96,2	92,4	<b>94,3</b>	102	104	<b>102,8</b>	108	103	<b>105,5</b>	96,1	95,8	<b>96,0</b>	101	99,9	<b>100,4</b>
<b>Průměr</b>	93,3		94,5				<b>102,6</b>		<b>104,8</b>				97,5		100,5			

Odlitky zachlazené 30 s																		
poř.č.	Po odlití						Po TZ (250°C)						Po opracování					
	Můstek		Kraj				Můstek		Kraj				Můstek		Kraj			
16	93,1	94,9	<b>94,0</b>	92,8	93,5	<b>93,2</b>	104	103	<b>103,3</b>	105	102	<b>103,5</b>	97,7	101	<b>99,5</b>	99,0	101	<b>99,8</b>
17	91,8	92,5	<b>92,2</b>	97,6	94,7	<b>96,2</b>	104	107	<b>105,0</b>	105	104	<b>104,3</b>	94,7	97,6	<b>96,2</b>	104	99,3	<b>101,5</b>
18	93,2	94,8	<b>94,0</b>	93,1	93,7	<b>93,4</b>	103	104	<b>103,8</b>	103	102	<b>102,3</b>	93,7	99,6	<b>96,7</b>	96,5	93,9	<b>95,2</b>
19	92,0	93,2	<b>92,6</b>	97,0	91,3	<b>94,2</b>	103	102	<b>102,4</b>	106	103	<b>104,3</b>	98,2	102	<b>100,0</b>	102	99,7	<b>100,9</b>
20	93,9	91,5	<b>92,7</b>	94,1	92,0	<b>93,1</b>	99,3	102	<b>100,7</b>	104	102	<b>103,2</b>	100	96,6	<b>98,4</b>	101	99,7	<b>100,6</b>
<b>Průměr</b>	93,1		94,0				<b>103,0</b>		<b>103,5</b>				98,1		99,6			

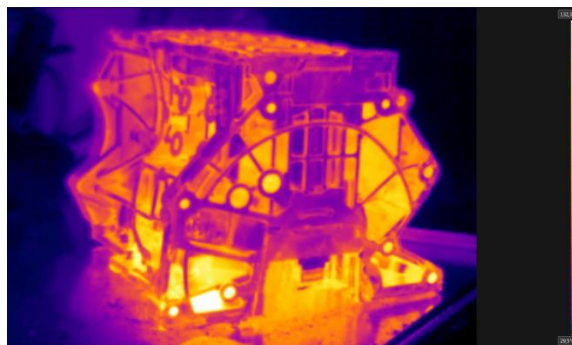
Odlitky zachlazené 52 s																		
poř.č.	Po odlití						Po TZ (250°C)						Po opracování					
	Můstek		Kraj				Můstek		Kraj				Můstek		Kraj			
21	95,2	93,5	<b>94,4</b>	96,8	93,0	<b>94,9</b>	103	104	<b>103,6</b>	106	103	<b>104,5</b>	96,9	97,5	<b>97,2</b>	102	102	<b>102,0</b>
22	92,2	93,4	<b>92,8</b>	94,2	91,9	<b>93,1</b>	100	102	<b>101,3</b>	105	103	<b>104,1</b>	95,3	101	<b>98,3</b>	103	97,5	<b>100,1</b>
23	91,5	93,8	<b>92,7</b>	94,3	95,8	<b>95,1</b>	103	104	<b>103,4</b>	107	105	<b>105,9</b>	97,0	98,1	<b>97,6</b>	97,7	102	<b>99,9</b>
24	95,4	96,4	<b>95,9</b>	98,2	92,7	<b>95,5</b>	104	104	<b>103,5</b>	106	105	<b>105,4</b>	99,4	103	<b>101,3</b>	99,0	101	<b>100,0</b>
25	93,3	96,4	<b>94,9</b>	95,9	92,1	<b>94,0</b>	105	106	<b>105,1</b>	109	103	<b>106,3</b>	96,6	102	<b>99,1</b>	102	101	<b>101,3</b>
<b>Průměr</b>	94,1		94,5				<b>103,4</b>		<b>105,2</b>				98,7		100,6			

## 9. Teplota odlitků

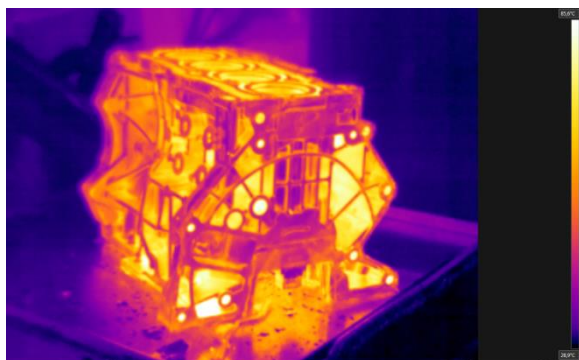
Na všech zachlazených odlitcích byla provedena termická analýza a změřena teplota odlitku (jednotlivé průměrné teploty odlitku jsou uvedeny u příslušného obrázku). Výsledky byly důležité také pro ergonomické posouzení pracoviště.



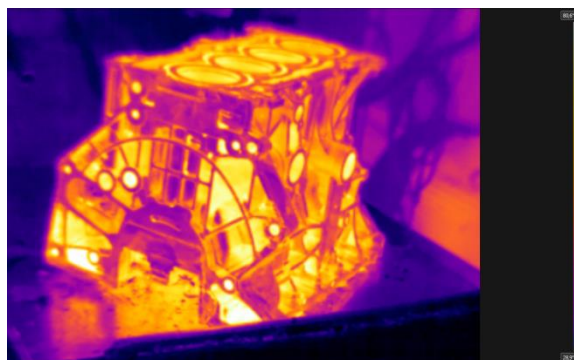
Obr. 9. Zachlazení 10 s - 68°C



Obr. 10. Zachlazení 20 s - 66°C



*Obr. 11. Zachlazení 30 s - 56°C*



*Obr. 12. Zachlazení 52 s - 55°C*

## 9. Závěr

Dle naměřených hodnot lze konstatovat, že zkouška zachlazení proběhla úspěšně. Tvrdost odlitků nezachlazených vychází z této zkoušky těsně nad stanovený předpis, z dlouhodobého hlediska však tyto hodnoty často nevyhází. U zachlazení odlitků 10 s už hodnoty tvrdosti vychází lépe, ale stále je značný rozdíl v hodnotách tvrdosti mezi oblastí můstku a kraje. Pro sériovou výrobu tedy doporučuji zachlazení na 20 s až 30 s, kdy dojde k dostatečnému zachlazení celého dílu, a po změření tvrdosti vychází k vyrovnání oblastí. Větší rozdíl mezi těmito dobami zachlazení než u tvrdosti nastává u teploty odlitku, kdy teplota odlitku na zachlazeném díle 30 s klesne až na 56°C. Doba zachlazení 52 s prokazuje, že nenastává markantní rozdíl v porovnání se zachlazením 30 s. Rozhodující vliv na konečnou dobu zachlazení je však takt licího stroje, který musí být udržen v sériové výrobě na minimální hodnotě. U všech měření tvrdosti i teploty je nutné zahrnout i možnost chyby výsledku.

Na zachlazených odlitcích byla také provedena komplexní rozměrová kontrola dílu (cca 1200 měřených bodů) na zařízení ZEISS Prismo 7, kde dochází k porovnávání rozměru odlitku s 3D modelem CAD. V porovnání rozměrů s díly nalitými v sériové výrobě byly odlitky hodnoceny velmi kladně.

Rozhodujícím závěrem pro tuto práci je fakt, že nákup zachlazovacích van je nezbytný, protože přinese požadovaný výsledek hodnot tvrdosti. S nákupem zachlazovacích van je samozřejmě spojená nutnost investice. Zachlazovací vana může být chlazená chladicí spirálou nebo průtočným systémem, kde dochází k cirkulaci vody v okruhu, která je ochlazována. Při řešení vany s chladicí spirálou je ve většině případů nutné doplnit zařízení o vzduchovou hadici pro lepší ochlazování odlitku probublávajícím vzduchem. Pro sériovou výrobu odlitků se zachlazením je tedy lepší druhá varianta s průtočným systémem. Nedílnou součástí těchto zařízení je i hlídání hladiny např. plovákem a záchytný koš pro odpadlé části (hliníkové blány, technologické přetoky apod.)

Zachlazovací vana, vhodná pro odlitek čtyřválcového bloku motoru, s výtahem pro automatické zachlazení se pohybuje až kolem 25 000 €. Protože se tedy jedná o tak velkou investici, bylo nutné provést realizaci zkoušky jako podklad, který by investici obhájil či vyvrátil. Provedená zkouška a výsledky z ní mohou být použity pro obhájení investice a realizaci změny technologie přidáním zachlazovacích van pro získání požadovaných hodnot tvrdosti na odlitcích a splnění výkresového předpisu.

### ***Seznam použité literatury***

- [1] Interní materiály ŠKODA AUTO, a. s. Mladá Boleslav
- [2] RAGAN, Emil a kolektiv *Liatie kovov pod tlakom*. Prešov: Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity, 2007, 383 s., ISBN 978-808-0739-799.
- [3] BOLIBRUCHOVÁ, D. a TILLOVÁ. E. *Zlievarenské zliatiny Al-Si*, Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2005. ISBN 80-8070-485-6.
- [4] ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných slitin*. Akademické nakladatelství CERM, Brno : 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
- [5] NOVÁ, Iva a kolektiv; *Charakteristika, vlastnosti, metalurgie a použití slévarenských slitin hliníku*. Liberec, 2006.
- [6] Studijní materiály: *Grundlagen der Gießereitechnologie*; Volkswagen AG; AutoUni Gießerei Technologie Aalen; 15. - 16. 11. 2007
- [7] MICHNA, Štefan; *Encyklopedie hliníku. 1. vyd.* Prešov: Adin, 2005. 699 s. ISBN 80-89041-88-4.
- [8] *Konfigurátor vozů Škoda Auto, a.s.* [online]. [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://cc-cloud.skoda-auto.com/cze/cze/cs-cz>
- [9] *Trend Downsizingu ve světě* [online]. [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/downsizing-motoru/>