

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ
Ústav strojírenské technologie

**NÁVRH ŘEŠENÍ KE ZVÝŠENÍ
TVRDOSTI ODLITKU
BLOKU MOTORU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:	Bc. Barbora Vaňková
Studijní obor:	Výrobní a materiálové inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Petr Zikmund
Rok:	2015

Prohlášení o autorství:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady (literaturu, projekty, software, atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze, dne 14. 6. 2015

Podpis:

ANOTACE

Jméno autora:	Barbora Vaňková
Ústav:	Strojírenská technologie
Obor:	Výrobní a materiálové inženýrství
Název tématu:	Návrh řešení ke zvýšení tvrdosti odlitku bloku motoru
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Petr Zikmund
Konzultanti ve ŠKODA AUTO:	Ing. David Kvapil Jiří Slabý
Rozsah práce:	stran: 68 obrázků: 41 tabulek: 12 příloh: 0
Akademický rok:	2014/2015

Diplomová práce je zaměřena na navržení takových opatření, která by vedla ke zvýšení tvrdosti odlitků bloků motorů ve slévárně hliníku ŠKODA AUTO v Mladé Boleslavi. Řešení spočívá v analýze navrhovaných opatření a následné aplikaci do praxe sériové výroby a porovnání výsledků s teoretickými znalostmi.

V úvodu teoretické části je popsána inovace a vývoj konstrukce motorů, kterých jsou odlitky bloků součástí. Konkrétně se jedná o popsání téma downsizingu a dalších technologií zabývajících se snižováním hmotností jednotlivých částí automobilu. Dále je v diplomové práci popsán provoz tlakové slévárny, celkový výrobní proces a materiál, ze kterého jsou odlitky vyráběny.

Experimentální část obsahuje návrhy řešení problému s tvrdostí odlitků. Jednotlivé návrhy opatření jsou postupně realizovány v praxi sériové výroby. V kapitolách jsou tyto realizace detailně popsány, zdokumentovány a zapsány naměřené hodnoty tvrdosti po provedených zkouškách. V závěru práce jsou pak všechna navržená opatření vyhodnocena.

ABSTRACT

Name of the autor:	Barbora Vaňková
Department:	Engineering technology
Field:	Production and Material Engineering
Name of the topic:	The Proposal of Solution for Increase of the Hardness on the Cast of Cylinder Block
Leader of diploma thesis:	Ing. Petr Zikmund
Tutors in ŠKODA AUTO:	Ing. David Kvapil Jiří Slabý
Scope of the thesis:	Number of Pages: 68 Number of Pictures: 41 Number of Tables: 12 Enclosure: 0
Academic Year:	2014/2015

This diploma thesis focuses on suggesting of such measures that could lead to the increase of the temper of the engine cast in the aluminum foundry of SKODA AUTO in Mlada Boleslav. The solving lies in the analysis of suggested measures followed by their application into the practice of serial production and comparing of the results with theoretical knowledge.

In the introduction to the theoretical part the innovation and development of the engine construction is described, to which belong also the engine casts. Specifically covers the description the topic of downsizing and other technologies focusing on reduction of the weight of individual car parts. Further is in the diploma thesis described the operation of a pressure foundry, the production process as a whole and the material, from which the casts are produced.

The experimental part contains the suggestions for solving the problem with the temper of the casts. Individual suggested measures are one after another carried out in the practice of serial production. In the individual chapters these measures are described in detail, the measured temper values are documented and recorded after the tests were performed. In the conclusion of the diploma thesis all of the suggested measures are evaluated.

PODĚKOVÁNÍ

V úvodu diplomové práce bych ráda poděkovala třem významným pánům, kterým vděčím za předání jejich vlastních zkušeností v oboru slévárenství a také za trpělivost, kterou mi věnovali při mém studiu. Učili mě samostatnosti a vedli k vlastnímu řešení úloh, v případě potřeby však byli nápomocni a vždy mi ukázali směr cesty, kterým se vydat. Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce z fakulty strojní ČVUT, Ing. Petru Zikmundovi, za vedení veškerých mých prací a článků. Stejně tak patří velké díky Ing. Davidu Kvapilovi, vedoucímu práce ze ŠKODA AUTO, kterému vděčím za cenné rady a motivaci při vypracování diplomové práce. Za odborné vedení a podporu při realizaci diplomové práce na slévárně ve ŠKODA AUTO děkuji také panu Jiřímu Slabému.

Hromadné poděkování patří také všem mým rodinám, kterým děkuji za morální podporu po celé délce mého studia a mým rodičům za toleranci, péči a důvěru, kterou do mě vkládali a také za možnost studia, která mi přinesla nejen vzdělání, zkušenosti, velké množství cenných informací, ale i spousty setkání se zajímavými lidmi, přátel, zážitků a také práci, která mě baví.

Velké díky patří i celému kolektivu slévárny hliníku, který mi pomáhal při realizaci všech zkoušek, a především panu Pietrzykovi za jeho technickou podporu při realizaci zkoušek zachlazování a panu Patkovi, kterému vděčím za pomoc při vyhodnocování zkoušek. Samozřejmě nemohu opomenout poděkování panu Aleši Balounovi za možnost účasti na odborně vzdělávacích akcích a celému oddělení technologie slévárny Al.

Poslední a neméně důležité poděkování za velkou morální podporu patří dámám Janě Mikulové a Anně Tryznové a pánům Vojtovi Tryznovi a Michalu Samkovi.

1. Úvod.....	9
2. Historie výroby odlitků v Mladé Boleslavi.....	10
2. 1. Vývoj modelových řad koncernových motorů	11
2. 2. Nová generace čtyřválcového motoru 1,4 l TSI	12
2. 2. 1 Snížení hmotnosti agregátu.....	14
2. 2. 2. Radikální změny u hlavy válců.....	14
2. 3. Downsizing	15
3. Materiály pro výrobu odlitků a jejich tepelné zpracování	18
3. 1. Siluminy.....	19
3. 1. 1. Hliníková slitina ve ŠKODA AUTO	20
3. 2. Tepelné zpracování hliníkových slitin	21
3. 2. 1. Rozpouštěcí žíhání	22
3. 2. 2. Rychlé ochlazení.....	22
3. 2. 3. Vytvrzování (stárnutí).....	23
4. Slévárna hliníku ŠKODA AUTO	24
4. 1. Tavírna	26
4. 1. 1. Rafinace taveniny	26
4. 2. Proces lití pod vysokým tlakem.....	27
4. 2. 1. Formy pro technologii lití pod tlakem	28
4. 3. Vyjímání odlitku	31
4. 4. Ruční apretace dílů	33
4. 5. Žíhání	33
4. 6. Automatická apretace a předobrobení odlitků	34
4. 7. Praní a sušení dílů	34
4. 8. Kontroly odlitků ve výrobním procesu	34
4. 8. 1. Rozměrová kontrola.....	34
4. 8. 2. Kontrola vnitřní kvality odlitků	34

4. 8. 3. Kontrola těsnosti	35
4. 8. 4. Konečná kontrola	35
4. 9. Kontroly a měření laboratoře	36
4. 9. 1. Tvrdost materiálu	36
4. 9. 2. Tvrdost dle Brinella	37
5. Realizace zkoušek	40
5. 1. Důvody realizace zkoušky	40
5. 1. 1. Zvýšení výkresového předpisu tvrdosti	40
5. 1. 2. Ergonomické posouzení pracoviště	40
6. Zvýšení tvrdosti	42
6. 1. Metody zvyšování tvrdosti u odlitků	42
6. 1. 1. Změna tepelného zpracování	42
6. 1. 2. Úprava chemického složení	42
6. 1. 3. Zachlazování odlitků do vodní lázně	43
7. Měření tvrdosti na odlitcích bloku motoru	44
8. Experimenty prováděné ve slévárně AI ŠKODA AUTO	46
8. 1. Popis jednotlivých experimentů	46
8. 2. Zkouška zachlazování pro zjištění doby ponoření odlitku	47
8. 2. 1. Realizace zkoušky	47
8. 2. 2. Jednotlivé zachlazovací časy	48
8. 2. 3. Naměřené hodnoty tvrdosti	49
8. 2. 4. Vyhodnocení zkoušky z hlediska doby zachlazování	51
8. 2. 5. Ergonomické vyhodnocení zkoušky	51
8. 3. Zkouška zachlazování (20 s) s rozdílným režimem žíhání	53
8. 3. 1. Realizace zkoušky	53
8. 3. 2. Naměřené hodnoty tvrdosti	56
8. 3. 3. Vyhodnocení zkoušky	56

8. 4. Úprava chemického složení materiálu	57
8. 4. 1. Podmínky realizace zkoušky	57
8. 4. 2. Realizace zkoušky.....	58
8. 4. 3. Naměřené hodnoty tvrdosti.....	58
8. 4. 4. Vyhodnocení zkoušky.....	59
8. 5. Úprava chemického složení materiálu s realizací zachlazení.....	60
8. 5. 1. Realizace zkoušky.....	60
8. 5. 2. Naměřené hodnoty tvrdosti.....	61
8. 5. 3. Vyhodnocení zkoušky.....	61
8. 6. Celkové vyhodnocení zkoušek	63
9. Závěr	65
Použitá literatura	66

1. Úvod

Neustálé zvyšování nároků na snižování emisí CO₂ a zvyšování kvality výrobků má za následek nejen v automobilovém průmyslu neustálé investování do inovačních technologií. Evropský automobilový průmysl je v celosvětovém měřítku považován za lídra ve výrobních technologiích. Podle návrhů Evropské unie by se emise z nových osobních automobilů měly od roku 2020 snížit na 95 g CO₂/km z nynějších 133 g CO₂/km. Toto opatření má nebývale velký rozsah, jedná se nejen o zlepšení klimatických podmínek snížením automobilových emisí, ale také stimulace výrobců automobilů a dodavatele dílů k dalším inovacím a vývoji. V důsledku potřeby nových technologií vyplývá i velké množství nových pracovních příležitostí a podpora růstu ekonomiky.

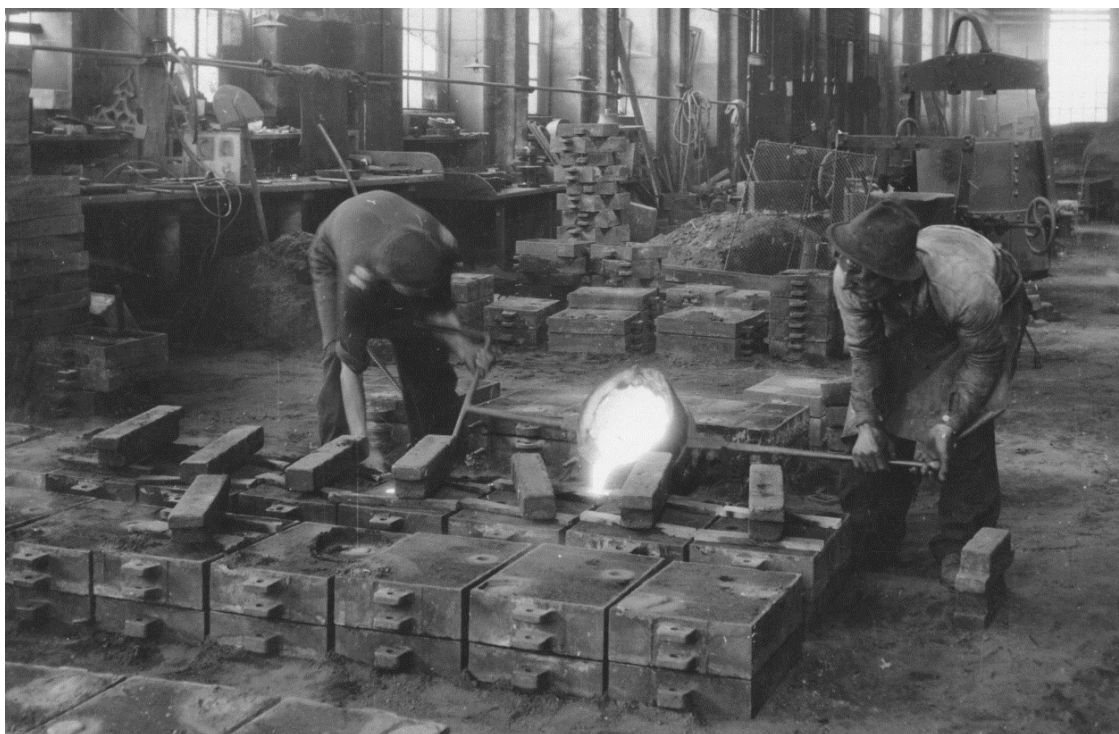
Na zvyšující se požadavky Evropské unie i celé společnosti reagují všechny automobilky, včetně koncernu Volkswagen, který se zabývá vývojem a inovací jak celé karoserie vozu, tak pohonným agregátem. S tématem snižování emisí CO₂ v rámci motorové jednotky úzce souvisí i téma *downsizingu* motoru, který je dále v práci popsán. Vývoj kvalitnějších a inovačních konstrukcí motorů, znamená i vyšší nároky na mechanické vlastnosti materiálu, např. tvrdost u odlitků bloků motorů, která je hlavním tématem této práce. Do inovačních zásahů v oblasti celé karoserie vozu by se dále řadilo rozšíření strukturálních dílů ze slitin hliníku či hořčíku, které plně nahrazují klasické svařované konstrukce a profily.

Hlavním cílem diplomové práce bylo navrhnout řešení, která by vedla ke zvýšení tvrdosti odlitku bloku motoru. Experimenty jsou primárně prováděny na odlitcích bloku motoru 1,4 l TSI, protože je to největší možný odlitek, který slévárna hliníku v Mladé Boleslavi vyrábí a je tedy nejvíce náročný na proces tuhnutí, chladnutí a následně i na tvrdost. Zkouška materiálu je však prováděna i na odlitcích 1,0 l TSI a MPI a 1,2 l TSI.

2. Historie výroby odlitků v Mladé Boleslavi

Výroba motorů začala v Mladé Boleslavi již v roce 1899. Čtyři roky po založení podniku, který se zpočátku věnoval výrobě jízdních kol, vybavili jeho zakladatelé Václav Laurin a Václav Klement (L&K) poprvé jízdní kolo pomocným motorem: vznikla takzvaná motocykleta. Pro pohon těchto jednostopých vozidel se tehdy vyráběly jednoválcové motory o výkonu 1,25 nebo 1,75 koňských sil.

První slévárna v Mladé Boleslavi byla postavena také v roce 1899 do staré části závodu, ale nebyla součástí továrny L&K. Orientovala se na výrobu odlitků litých do pískových forem. Vlastníkem této slévárny byl Antonín Dobrý, který začínal jako drobný řemeslník s povolením k zámečnické a strojnické živnosti. Slévárna Dobrý se stala partnerem továrny L&K pro výrobu motocyklů. [1]



Obr. 1 Slévárna Antonína Dobrého [3]

Se stoupající poptávkou po hliníkových dílech pro český automobilový průmysl, ale i v rámci tehdejšího „východního bloku“ vznikla potřeba výstavby nových hutních provozů. Práce na stavbě metalurgických provozů byly zahájeny na jaře 1961 na zelené louce. Rozpočet na halu o čtyřech lodích činil 45 milionů korun. Metalurgické provozy tvořily slévárna šedé a temperované litiny, zápusťková kovárna a tlaková slévárna barevných kovů. [2]

Slévárna hliníku, jako jedna ze tří částí hutních provozů, začala svou sériovou výrobu koncem roku 1963. Plná sériová výroba se rozeběhla v roce 1965. Původní slévárna disponovala třemi slévárenskými technologiemi výroby. Jednalo se o gravitační, kokilové lití s pískovými jádry, nízkotlaké lití s pískovými jádry do kovových forem a lití pod vysokým tlakem. Stěžejním dílem byly od prvopočátku hliníkové, tlakově odlévané bloky válců s vložkami, vkládanými po opracování, které se montovaly například do populárního vozu Škoda 1000 MB. [1]

V prvních letech sériové produkce slévárny hliníku tvořil sortiment zhruba 50 různých odlitků. Na konci osmdesátých let čítal sortiment zhruba 45 druhů odlitků, ale rapidně se zvedal objem produkce. Tehdejší sortiment nebyl tvořen díly pouze pro automobilku, ale i pro nábytkářské a elektrotechnické firmy či zemědělce. Se stoupající potřebou automobilových dílů se postupně vyčlenila nebo byla ukončena výroba nesouvisejícího sortimentu a zároveň se radikálně změnila skladba licích strojů. Původní stroje s uzavírací silou 400 až 1000 tun s ruční obsluhou byly odprodány a nahrazeny stroji s uzavírací silou 2000 tun s roboty a manipulátory. [2]

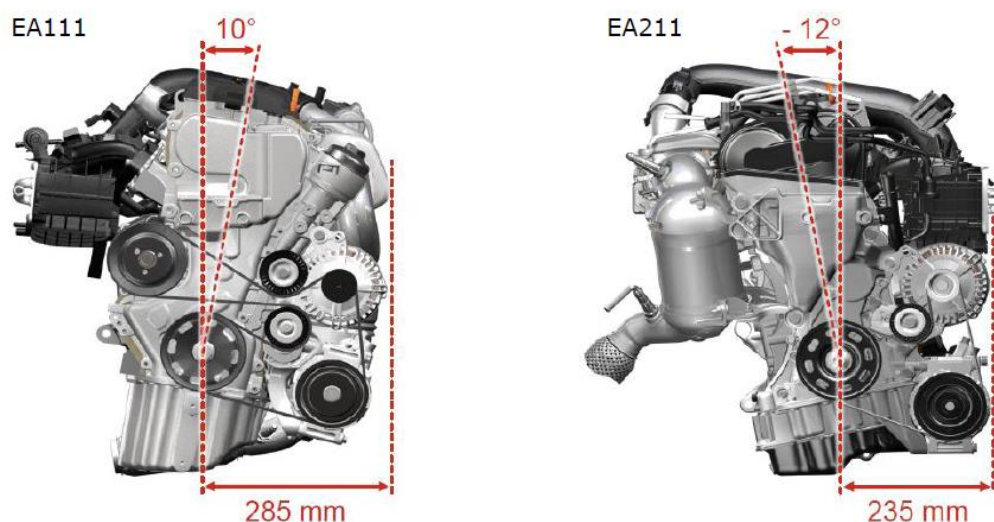
V roce 1991 byla podepsána dohoda mezi vládou a koncernem Volkswagen a ŠKODA AUTO se stala jeho součástí. Tato dohoda měla na slévárnu hliníku velký vliv již o čtyři roky později. V roce 1995 bylo rozhodnuto, že slévárna automobilky ŠKODA bude odlévat koncernový blok motoru modelové řady EA111 o objemu 1,4 l MPI. Poprvé v historii výroby bloků motorů se motory z Mladé Boleslavi objevily nejen ve vozech Škoda, ale i v koncernových modelech VW, Seat a Audi. [4]

Všechny licí stroje pro výrobu motorových dílů jsou od roku 2000 vybaveny technologií vakuování dutiny formy pomocí centrální vakuovací jednotky, s rozvodem po hale slévárny. Od roku 2001 byla také pro podporu kvality odlitků zavedena, plošně u motorových dílů, technologie lokálního squeeze. Díky technologii lokálního squeeze se zpevňují kritická místa odlitků, u nichž jsou požadovány vyšší mechanické vlastnosti, u bloku motoru např. uložení ložisek u klikových hřídelů. [1,2]

2. 1. Vývoj modelových řad koncernových motorů

Jak již bylo zmíněno v kap. 1., koncernové motory se řadí do tzv. modelových řad nebo také skupin motorů. První motory starší řady EA111 se začaly v koncernu vyrábět již v polovině 80. let., a to nejdříve do vozů Audi 50 s motorem o výkonu 37 kW nebo 44 kW

a později i do VW Polo. Novější skupina motorů EA211 začala na konci května 2012 výrobou benzinových motorů 1,2 l a 1,4 l. Nyní celá modelová řada motorů EA211 koncernu Volkswagen zahrnuje tři a čtyřválcové benzinové motory ve čtyřech objemových variantách od 1,0 do 1,6 litru. 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 2. Hlavním rozdílem mezi tzv. rodinami motorů EA111 a EA211 např. u čtyřválcového motoru 1,4 l TSI, je především váha, kdy díky inovativní konstrukci součástí, došlo ke snížení hmotnosti celého agregátu. [3]



Obr. 2 Ukázka vývoje benzinových motorů 1,4 l TSI [3]

2. 2. Nová generace čtyřválcového motoru 1,4 l TSI

Čtyřválcový blok motoru o objemu 1,4 l TSI, na kterém jsou prováděna měření a zkoušky, je součástí nových motorů řady EA211 (interní označení koncernu Volkswagen - zkratka německého slova *Entwicklungsauftrag*), které uplatňují všechny nové konstrukční prvky. Navíc je o plných 22 kilogramů lehčí než jeho předchůdce. Hlavní podíl na snížení hmotnosti celého motoru má především nová konstrukce hliníkového bloku, který sám ušetřil 16 kilogramů hmotnosti, protože dřívější generace byla vyrobena z litiny. Jedná se o benzinový motor o maximálním výkonu 103 kW, síle 140 koní, a točivém momentu 250 Nm. V porovnání se starší řadou se nepatrně zvýšil objem válců. Původní jednotka měla 1390 cm³ kdežto nová má 1395 cm³ a to i přes 2 milimetry, o které byl zmenšený průměr válců. Na zvětšení objemu má velký podíl zvětšení zdvihu o téměř 5 milimetrů. [7]

Motor lze kombinovat s manuální šestistupňovou převodovkou nebo automatickou sedmistupňovou (dvouspojkovou). Spotřeba motoru je v případě manuální převodovky 5,3 l/100 km. Tento motor splňuje exhační normu Euro 5 a hodnoty CO₂ emisí se pohybují kolem 128 g/km. Od května 2015 byl dokonce výkon motoru zvýšen na 110 kW a motor již splňuje exhační normu Euro 6. [7]

Zkratka TSI označuje přeplňované benzinové motory s technologií přímého vstřiku paliva. Tato motorová řada je používána prakticky u všech značek koncernu Volkswagen. První motor s označením TSI byl vyroben již v roce 2005, jednalo se o objem 1,4 l TSI. Tento zážehový agregát s přímým vstřikem paliva a dvojitým přeplňováním byl vybaven do série zapojeným turbodmychadlem a Rootsovým kompresorem. Od roku 2008 se v nabídce objevily motory se stejným písmenným označením (TSI), ale jiné konstrukce. Tato generace motorů již neměla dvojitě přeplňování, ale pouze jedno turbodmychadlo a díky přímému vstřikování paliva mohl mít motor vyšší kompresi (účinnost). [5,6]



Obr. 3 Čtyřválcový blok motoru o objemu 1,4 l TSI [5]

2. 2. 1 Snížení hmotnosti agregátu

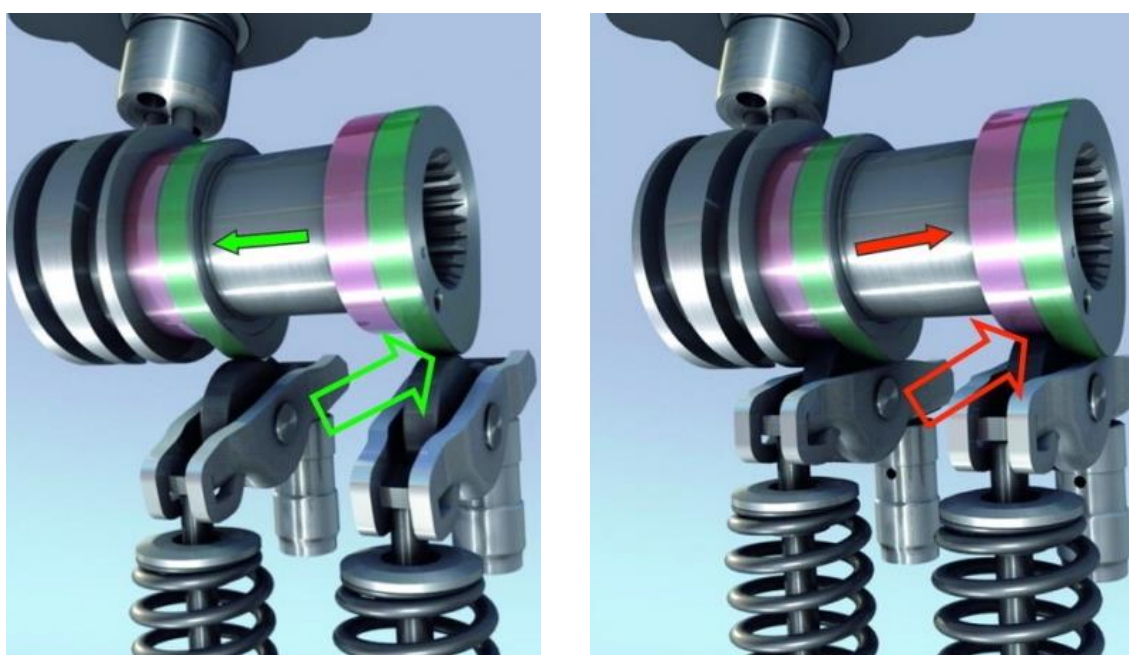
Kromě nižšího zatížení přední nápravy se toto odlehčení pozitivně projevilo i na průměrné spotřebě paliva. Kompletní motor 1,4 l váží 114 kg, největší úsporou hmotnosti je především změna materiálu použitého při výrobě bloku motoru. Stejně jako u tříválcových bloků motorů je i čtyřválcový blok vyroben z hliníkové slitiny. Na snížení hmotnosti se podílí i řada dalších změn jako například menší průměr hlavních ložisek (z původních 54 mm na 48 mm), nová konstrukce pístů (nově mají ploché dno), klikové hřídele (lehčí o 20%), ojnic (lehčí o 25%). Dále u modulu olejové vany s přídavným rámem a integrovanou filtrací oleje. Změna konstrukce motoru 1,4 l TSI je patrná i u konstrukce ojnic, kde došlo k zúžení profilu, optimalizaci tvaru a zkrácení délky šroubů. Další změny nastaly v konstrukci klikových hřídelů, chladicích okruhů, rozvodovém mechanismu, palivové soustavě, rozmístění elektronických komponentů a mnoho dalšího. [7,9]

2. 2. 2. Radikální změny u hlavy válců

Větší změna nastala také u konstrukce hlavy válců. Stejně jako blok je vyrobena z hliníkové slitiny a nově je rozdělena na dvě části. V té horní, která je zároveň ventilovým víkem, jsou uloženy oba vačkové hřídele. Ve spodní se pak nachází celý ventilový mechanismus. Ozubený řemen pohání pouze vačkové hřídele. Dřívější proměnné časování sacích ventilů je nově doplněné také o variabilní časování těch výfukových. Součástí spodního dílu hlavy válců je i výfukové potrubí ženoucí spaliny přes lopatky malého turbodmychadla. [9]

Další změny nastaly u víka hlavy válců, které nově může obsahovat řízení ventilů (tzv. ACT = Active Cylinder Timing - systém aktivního vypínání válců). Odpojování části válců bylo ve směřování k omezování spotřeby benzínu běžnou metodou u víceválcových, velkoobjemových motorů již od 80. let minulého století. V dnešní době systém odpojování válců není už jen výsada víceválcových motorů s velkým objemem. Nový motor 1,4 l TSI umí při nízkém zatížení odpojit dva prostřední válce. Mechanické připojování nebo odpojování válců 2 a 3 zajišťují posuvné vačky. V závislosti na otáčkách trvá celý proces změny provozního stavu 13 až 36 ms (tzn. zhruba půl otáčky vačkového hřídele). Systém odpojování válců pro motor 1,4 TSI váží necelé 3 kg. [8,9,15]

Vypínání válců se dnes používá i v motorech F1 a stále častěji se uplatňuje také v sériových vozech. A to především za účelem snížení spotřeby paliva, a tím i emise, maximalizací tepelné, mechanické a čerpací účinnosti (plyn v uzavřených válcích funguje jako plynová pružina). V sériových vozech se případné změny ve zvukovém projevu a vibrační charakteristice kompenzují změnou výfukového traktu, optimalizací lůžek motoru (včetně používání aktivních systémů) nebo dokonce aktivním potlačováním nežádoucího nízkofrekvenčního hluku v interiéru prostřednictvím reproduktorů. Nejvyššího efektu se dosahuje při pomalé jízdě ustálenou rychlostí. Vypínání válců je funkční v rozsahu od 1400 do 4000 min^{-1} . [9,10,15]

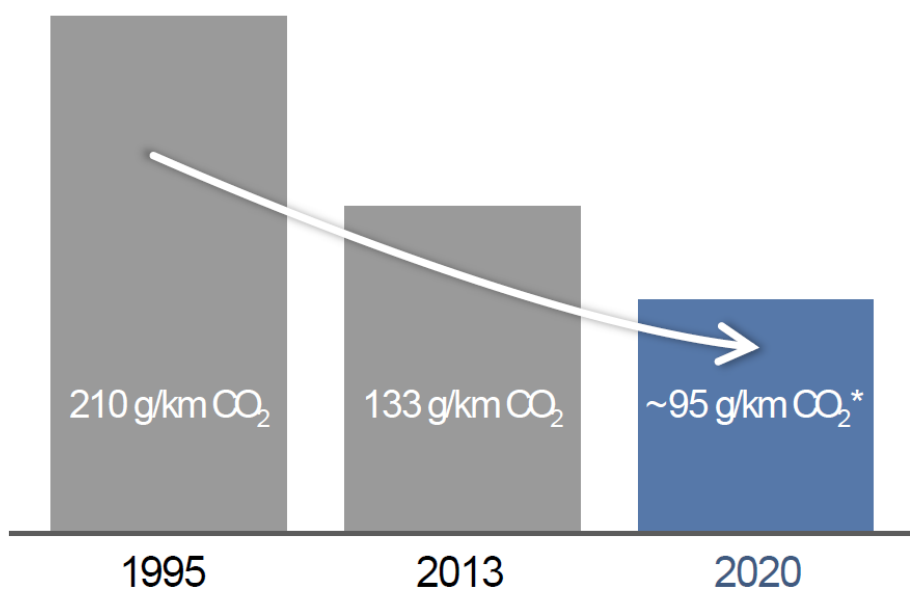


Obr. 4 Systém aktivního vypínání válců - ukázka systému aktivních válců (vlevo) a neaktivních válců (vpravo) [15]

2. 3. Downsizing

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 nebo přímé vstřikování paliva. Vývoj motorů dle zásad downsizingu přispívá především ke zvýšení efektivity motoru a zároveň i snížení emisí. [12]

Rozšíření vývoje downsizingu reaguje na stále se zvyšující limity emisí výfukových plynů. Od roku 2021 bude limit pro průměrné emise oxidu uhličitého u nových aut prodávaných v Evropské unii činit 95 gramů na kilometr. První krok ke snížení emisí zvolili jednotlivé automobilky snížením hmotnosti automobilu. Ve většině případů totiž větší objem motoru znamená i větší a především těžší motor. Čím větší je tedy celková hmotnost motoru, tím je větší i odpor setrvačnosti, ale i větší třecí odpory. Ke snížení tření v celém motoru dochází k velkému pokroku a vývoji jak v oblasti materiálů a materiálových povlaků s lepšími třecími vlastnostmi, tak v oblasti olejů a maziv, ale také v konstrukci. Optimalizují se velikosti ložisek či tvary a rozměry těsnících kroužků. Jako příklad se uvádí nahrazení motoru o objemu 2,5 litru motorem s objemem 2 litry, při srovnatelných parametrech klesne spotřeba paliva o cca 9 %. [12,13,14]



Obr. 5 Graf s ukázkou snižování limit emisí výfukových plynů (* cíl EU) [16]

U atmosférických motorů znamená objem množství směsi, kterou dokáže motor nasát během každého sacího zdvihu. Konkrétně u motoru 1,4 l TSI je tento sací zdvih 80 mm. Řešením zvětšení objemu nasáté směsi je turbodmychadlo. To je použito pro zvýšení tlaku vzduchu na vstupu do motoru a umožní tak nasátí většího množství paliva. Mezi další technologii navýšení výkonu motoru se řadí přímé vstřikování paliva, které umožní přesné řízení spalování paliva ve válci. [7,12]

Fakt, že téma downsizingu je důležité pro většinu automobilek, potvrzuje mimo jiné i slévárenské kolokvium odborných přednášek konaných v květnu 2015 v německém městě Aalen na půdě technické univerzity. Automobilka BMW na této konferenci popisovala svou strategii zvyšování počtu odlitků v karoserii vozu, jedná se o tzv. strukturální díly. V konceptu celého vozu se do budoucna počítá s navyšováním těchto dílů, které jsou charakteristické vysokou pevností a nízkou váhou. Zástupci automobilové značky Audi dokonce představili i novou koncepci části karoserie v motorovém prostoru. Svařovanou sestavu 9 konvenčně lisovaných dílů optimalizovali na pouhý jeden strukturální odlitek ze slitiny hliníku, na kterém došlo k úspoře 10,7 kg materiálu.

Downsizing však dovoluje ještě radikálnější změny, a to v redukci pohyblivých dílů. Konkrétně se snižuje počet válců a potažmo tedy počet pístových skupin, ojníc, ložisek či ventilů. Důležitým aspektem volby motoru a jeho výkonu je samozřejmě i kategorie vozu, který má motorová jednotka pohánět. [11]

3. Materiály pro výrobu odlitků a jejich tepelné zpracování

Základním předpokladem pro použití správné slitiny na daný odlitek je znalost fyzikální metalurgie hliníku a jeho slitin, z toho vyplývá znalost a využití možnosti vlivu chemického složení, tváření a tepelného zpracování na mechanické, fyzikální, chemické a technologické vlastnosti.

Vyjmenované vlastnosti se upravují především pomocí změny chemického složení, nejčastěji využívanými zlepšeními vlastností jsou:

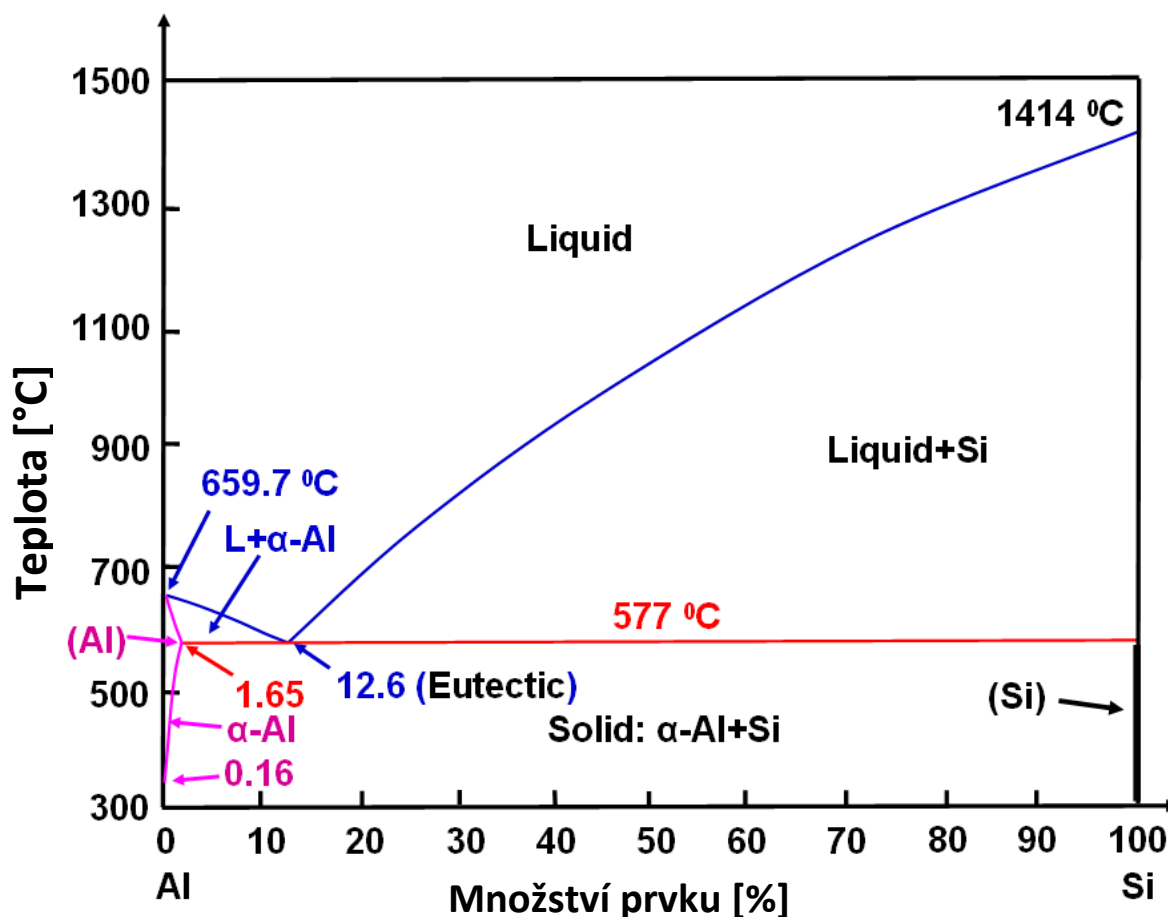
- pevnostní - zlepšení např. pomocí Cu a Mg
- chemické - legování (např. Ag) výrazně zvyšuje korozní odolnost slitin za napětí
- technologické - zlepšení slévárenských vlastností (např. Si), svařitelnosti (např. Sr)
- fyzikální - zvýšení elektrické vodivosti technicky čistého hliníku (např. B).

Vzhledem k vlastnostem čistého hliníku lze konstatovat, že v průmyslové praxi se nejvíce využívá zvyšování pevnostních vlastností vzhledem ke skutečnosti, že samotný hliník má pevnostní vlastnosti velmi nízké. Pro představu se tyto hodnoty u hliníku vyšší čistoty než 99,999 % ve stavu žíhaném pohybují $R_m = 40 - 50 \text{ MPa}$ při $A = 70 - 90 \%$.

Slévárenské slitiny hliníku mají větší obsah legujících prvků než slitiny hliníku vhodné ke tváření a obvykle se vyznačují dvoufázovou oblastí. Při chladnutí dochází k segregaci prvku do taveniny. Charakter segregace i způsob vyloučení závisí především na chemickém složení slitiny a podmínkách ochlazování. Vyloučené prvky vždy zpevňují slitinu, zvětšují tvrdost a zhoršují plasticitu. Optimální slévárenské vlastnosti mají slitiny blízko eutektického složení, které jsou dobře tekuté a mají malou smršťovací schopnost. [21, 22, 23]

3. 1. Siluminy

Mezi významné slévárenské slitiny hliníku se řadí Al - Si, tzv. siluminy, zejména pro jejich vysokou zabíhavost, nízký sklon k tvorbě staženin při lití. Z hlediska rovnovážného diagramu Al - Si vyplývá, že hliník s křemíkem tvoří eutektické složení s omezenou rozpustností křemíku v hliníku. Eutektikum představuje v binárních soustavách směs substitučního tuhého roztoku α a krystalů téměř čistého hliníku. Základním prvkem této slitiny je hliník, který má nízkou teplotu tavení (660°C), nízkou měrnou hustotu a velmi dobrou tepelnou a elektrickou vodivost. Naopak druhý prvek křemík se vyznačuje vysokou teplotou tavení (1414°C), křehkostí a také nízkou měrnou hmotností. Hliník a křemík spolu vytváří binární eutektikum $\alpha + \text{Si}$, eutektický bod je definovaný teplotou 577°C a koncentrací 11,7 % Si. [21]



Obr. 6 Rovnovázný diagram Al - Si [22]

3. 1. 1. Hliníková slitina ve ŠKODA AUTO

Používaným materiálem na slévárně Al ve ŠKODA AUTO je slitina hliníku $AlSi9Cu3(Fe)$, zpracovávaný litím pod vysokým tlakem. Tato slitina je jedna z nejpoužívanějších slitin v oblasti tlakového lití. Její využití je značné při výrobě odlitků pro automobilový průmysl - např. bloky motorů, skříně spojek a převodovek apod. Odlévají se z ní také např. ložiskové štíty pro elektromotory. Mimo tuto oblast použití se tato slitina aplikuje také při výrobě odlitků pro vakuová čerpadla. Slitina $AlSi9Cu3(Fe)$ bývá také často uváděna dle německé normy DIN 226.



Obr. 7 Sklad materiálu slitiny hliníku $AlSi9Cu3(Fe)$ ve ŠKODA AUTO [3]

Chemické složení slitiny $AlSi9Cu3(Fe)$ je dáno normou EN 1706 a je uvedeno v tab. 1, v tab. 2 je pak 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.

Nepoužívá se očkování ani modifikace, protože primární tuhý roztok a eutektikum jsou díky rychlému chladnutí dostatečně jemnozrnné.

Tab. 1 Chemické složení AlSi9Cu3(Fe) – požadavek ŠKODA AUTO pro dodavatele

Chemické složení slitiny AlSi9Cu3(Fe) - předpis											
Prvek	Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Zn	Ni	Sn	Cr	Ti	Pb
Obsah [%]	8,5 - 10	2 - 3,5	0,15 - 0,50	0,10 - 0,40	0,60 - 0,90	max. 1,0	max. 0,30	max. 0,10	max. 0,05	max. 0,15	max. 0,20

Tab. 2 Chemické složení slitiny AlSi9Cu3(Fe) – skutečné složení ve ŠKODA AUTO

Chemické složení slitiny AlSi9Cu3(Fe) - skutečnost											
Prvek	Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Zn	Ni	Sn	Cr	Ti	Pb
Obsah [%]	9,47	2,32	0,25	0,25	0,86	0,86	0,054	0,014	0,031	0,055	0,073

Jedná se o podeutektickou slitinu, která má střední mechanické vlastnosti, stejně jako odolnost proti korozi. Dále se vyznačuje dobrou pevností za vyšších teplot a díky Cu dobrou obrobiteľnosť, ale nižší korozivzdorností. Slitina má dobrou zabíhavost a malý sklon ke vzniku soustředěných staženin. Přidáním Si je podporována především slévateľnosť, přítomnost Cu v této slitině zlepšuje mechanické vlastnosti a velmi výrazně zlepšuje obrobiteľnosť.

Odlitky ze slitin Al - Si - Cu se mohou používat i v tepelně nezpracovaném stavu, protože díky přítomnosti mědi dochází k určitému stupni samovolného vytvrzování odlitků. Efekt samovolného vytvrzení je tím silnější, čím rychleji se odlitek ochlazoval při tuhnutí, a tím vznikl více přesycený tuhý roztok α (Al). Samovolné vytvrzování bez použití tepelného zpracování probíhá při normální pokojové teplotě 20°C po dobu několika dní. [20,24,25]

3. 2. Tepelné zpracování hliníkových slitin

Účelem tepelného zpracování hliníkových slitin je především zvýšení mechanických vlastností, snížení vnitřního pnutí v odlitcích a ovlivnění způsobu rozložení prvků ve struktuře.

Pevnostní vlastnosti se z pohledu fyzikální metalurgie zvyšují pomocí:

- substitučního zpevnění mřížky Al vytvořením tuhého roztoku α ,
- precipitačního zpevnění (Guinier - Prestonovy zóny, koherentní precipitáty)
- disperzního zpevnění (nekoherentní precipitáty).

V praxi nejčastěji využívané je získávání pevnostních vlastností pomocí principu precipitačního zpevnění. Precipitační vytvrzování je způsob tepelného zpracování, ve kterém se využívá precipitační rozpad přesyceného tuhého roztoku.

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

- a) rozpouštěcího žihání - získává se homogenní tuhý roztok α (Al)
- b) rychlého ochlazení - výsledkem je přesycený tuhý roztok α (Al)
- c) vytvrzování (stárnutí) - dochází k tvorbě precipitátu a zpevnění struktury. [21,22]

3. 2. 1. Rozpouštěcí žihání

Tímto pojmem se rozumí ohřev a dostatečná výdrž na takové teplotě, při které dojde k maximálnímu rozpuštění přísady do tuhého roztoku hliníku. Při volbě teploty rozpouštěcího žihání se vychází z fázového diagramu slitiny a z přesnosti regulace teploty v peci. Při homogenizačním ohřevu nesmí dojít k překročení teploty solidu, aby nedošlo k natažení hranic zrn slitiny. V takovém případě dochází k degradaci mechanických vlastností materiálu. [20,23]

3. 2. 2. Rychlé ochlazení

Provádí se nejčastěji do vody. Cílem je vznik přesyceného tuhého roztoku při teplotě okolí, u kterého je obsah rozpuštěné příměsi vyšší než odpovídá její rovnovážné rozpustnosti při dané teplotě. Veškerá manipulace se slitinou se musí provádět co nejrychleji, aby nedocházelo k částečnému rozpadu tuhého roztoku hliníku. Rychlost ochlazování má i značný vliv na vznik bublin. Pokud dochází k pomalému ochlazování, difunduje vodík do bublin na poměrně dlouhé vzdálenosti, a tím dochází k tvorbě velkých bublin a k vyplouvání na povrch. Zde dochází k nahromadění jednotlivých bublin z důvodu tvorby tzv. licí kůry na odlitcích a tyto vady jsou po obrobení nežádoucí. Tento jev je charakteristický především pro odlitky s větší tloušťkou stěny a lité do písku. Naopak rychlým ochlazováním se vytvoří přesycený tuhý roztok a do taveniny se vylučuje menší množství vodíku z tuhé fáze. Navíc dochází k tvorbě menších bublin, protože vodík proniká v tavenině na mnohem menší vzdálenosti. Bubliny se brzy obalí vrstvou tuhého kovu, aniž by mohlo difuzí vodíku v tavenině dojít k jejich dalšímu růstu. Výsledkem rychlého ochlazení odlitku po vyjmutí z formy je tedy vznik malých kulovitých nebo protáhlých bublin (tzn. mikrostaženin), které jsou však uzavřené v mezidendritických prostorech kovu. [23, 24, 25]

3. 2. 3. Vytvrzování (stárnutí)

Přesycený tuhý roztok je termodynamicky nestabilní, dochází k jeho rozpadu. U některých slitin dochází k rozpadu přesyceného tuhého roztoku již při teplotě okolí, tento pochod se označuje jako přirozené stárnutí. Při umělém stárnutí se proces urychlí ohřevem. Obecně je rozpad přesyceného tuhého roztoku difúzní proces, který začíná nukleací a vznikem koherentních precipitátů tzv. Guinierových-Prestonových zón. Výsledkem je pnutí v mřížce hliníku v okolí zón, které je překážkou pro pohyb dislokací, s čímž je spojený vytvrzovací efekt. Tyto zóny postupně rostou a ztrácejí koherenci. Proces končí vznikem nekoherentního rovnovážného precipitátu. Vznik rovnovážného precipitátu je spojen s poklesem tvrdosti. Při delší výdrži na teplotě stárnutí dochází k nežádoucímu hrubnutí rovnovážného precipitátu, klesá tvrdost. Toto stádium je označováno jako přestárnutí. [23]

Vytvrzování všeobecně je nejdůležitějším způsobem tepelného zpracování hliníkových slitin. U slitin hliníku se vytvrzováním dosahuje podstatně vyšší meze pevnosti R_m , meze $R_{p0,2}$ a tvrdosti. Co se týče tažnosti, ta 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. [24,25]

Hliníkové slitiny se vyznačují přítomností určitého množství intermetalických částic, které dle svého množství, velikosti a distribuce ovlivňují pevnostní, chemické, technologické i fyzikální vlastnosti. Intermetalické fáze tvoří částice různorodé velikosti a z hlediska vlivu na pevnostní vlastnosti se rozdělují na:

- intermetalické fáze podílející se na procesu vytvrzování a zvyšující pevnostní vlastnosti Al slitin,
- intermetalické fáze nepodílející se na vytvrzování, a které negativně ovlivňují především plastické a únavové vlastnosti. [20,21]

4. Slévárna hliníku ŠKODA AUTO

Slévárna hliníku sídlí v Mladé Boleslavi v automobilce ŠKODA AUTO. Byla založena roku 1963 a společně s kovárnou a bývalou halou slévárny litiny s lupínkovým grafitem tvoří komplex hutních provozů. Slévárna Al zajišťuje výrobu odlitků jak pro potřeby své, tzn. potřeby montáže motorů nacházející se také v závodě, tak i pro celý koncern.

Na slévárně Al v Mladé Boleslavi se nachází 16 vysokotlakých licích strojů. Pro odlévání bloků motorů se používá deset licích strojů - 7 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 Bühler Carat o uzavírací síle 3500 t, pro zvýšení kapacity lití bloků motorů a na vývoj technologie lití strukturálních dílů.



Obr. 8 Ukázka tlakového licího stroje ITALPRESSE [3]

Současný sortiment slévárny tvoří odlitky:

Výroba starší generace motorů skupiny EA111:

4- válcový blok motoru 1,2 l TSI

3- válcový blok motoru 1,2 l MPI - horní díl a spodní díl

Výroba nové generace motorů skupiny EA211:

3- válcový blok motoru 1,0 l MPI a TSI

4- válcový blok motoru 1,2 l TSI

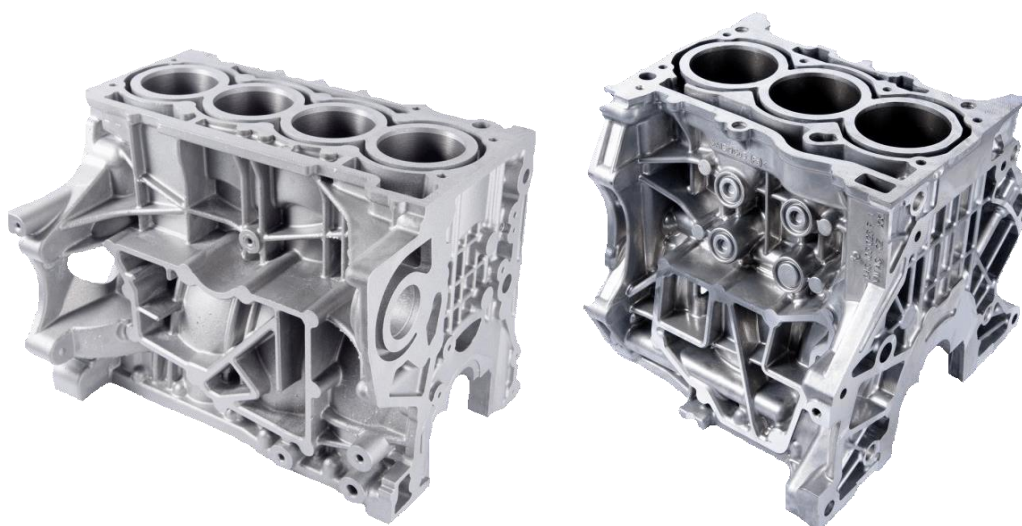
4- válcový blok motoru 1,4 l TSI

Skříně spojek a převodovek:

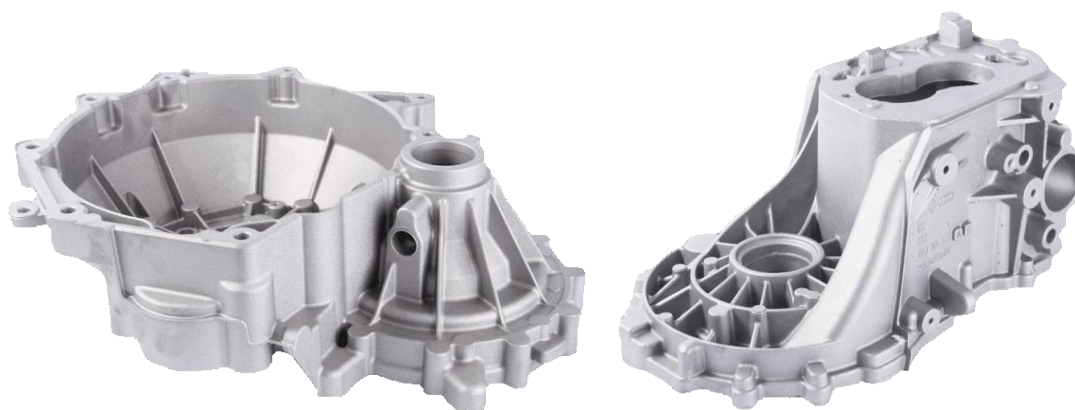
Skříně spojek MQ 100

Skříně spojek MQ 100

Skříně převodovek MQ 200



Obr. 9 Čtyřválcový blok motoru 1,2 l TSI starší řady EA111 (vlevo) a tříválcový blok motoru 1,0 l TSI nové řady EA211 (vpravo) [3]



Obr. 10 Skříň spojky[3]

Obr. 11 Skříň převodovky[3]

4. 1. Tavírna

Celý výrobní proces začíná v tavírně, kde dochází k natavení vstupního materiálu slitiny hliníku $AlSi9Cu3(Fe)$. Součástí tavírny jsou čtyři tavicí plynové šachtové pece Striko Westofen o objemu 5000 kg, tavicí výkon se pohybuje kolem 2500 kg za hodinu. Do těchto pecí se vkládá 50% nového materiálu dodávaného v tzv. houskách a 50% vratného materiálu, ve kterém jsou zahrnuty neshodné díly, odlomené vtoky odlitků a technologické přetoky. Teplota tavení se pohybuje mezi 800 až 820°C. Po natavení tohoto materiálu dochází k přelití do přepravní pánve o objemu 450 kg, která je dále dopravena do rafinačního boxu, kde dochází k rafinaci taveniny speciální rafinační solí firmy Ecosal.

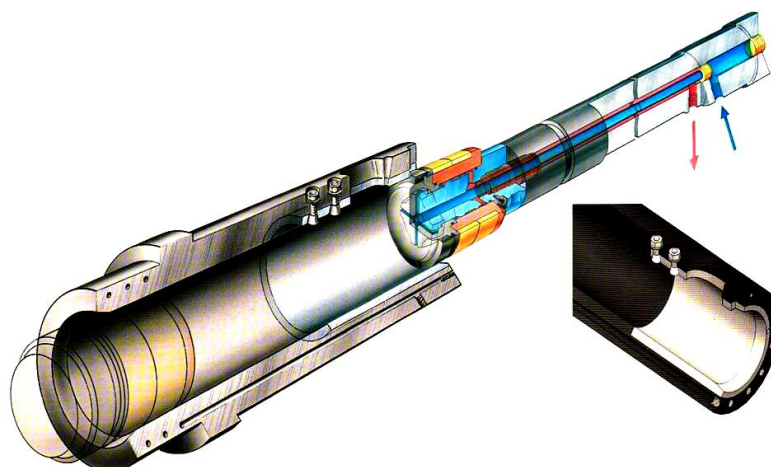
4. 1. 1. Rafinace taveniny

Hlavním cílem rafice solemi je odstranění nekovových vměstků a odplynění tak taveniny. Odplyňováním slitin hliníku se rozumí odstranění vodíku z taveniny. Po natavení bývá obvykle jeho objem 0,2 až 0,8 $cm^3/100$ g. Protože maximální přípustné množství vodíku může být pouze 0,1 $cm^3/100$ g, je nutno odplyňovat. Cílem odplyňování není rozpuštěný plyn zcela odstranit, ale snížit jeho koncentraci v tavenině právě pod hodnotu maximálního přípustného množství. Podstatou provedení rafinace solemi je přechod vměstků do strusky v důsledku jejich pohlcení rafinačním médiem. Ve většině případů jsou vměstky v tavenině nerozpustné, proto je účinek rafinace charakterizován jako adheze vměstku k tavenině v prostředí taveniny. Dokonalost odplyňování je závislá na rychlosti tuhnutí odlitku. Čím je tuhnutí odlitku pomalejší, tím musí být množství rozpuštěného vodíku v tavenině nižší. [23, 26]

Odplynění pomocí rafinace solí se rozděluje do třech základních etap. V první etapě dochází k přemístování vměstků v objemu taveniny. Intenzivním pohybem taveniny je zajištěn přesun většího množství vměstků do oblasti, v které začínají působit přitažlivé síly, a může se uskutečnit adheze vměstků solí. V druhé etapě je nejdůležitější veličinou rychlost vměstků v tavenině. Čím větší mají vměstky rychlost, tím mají větší zásobu kinetické energie, která je důležitá pro překonání energetické bariéry. Třetí etapou je pak pohlcení vměstků rafinační solí. [23]

4. 2. Proces lití pod vysokým tlakem

Z rafinačního boxu se tavenina dále přepravuje do udržovací pece Striko Westomat o objemu 1700 kg. Teplota taveniny při transportu v přepravní pánvi je cca 680°C. V udržovací peci se pak teplota pohybuje mezi 650 - 670 °C. Z udržovací pece je pomocí pístu dopraven do lící formy. Píst je součástí lisovacího mechanismu. Jeho úkolem je dopravit definovanou rychlostí roztavený kov do formy a po dobu tuhnutí na něj působit předepsaným tlakem. Hlavními součástmi lisovacího mechanismu jsou lící komora, již zmiňovaný lící píst s pístními kroužky, držáku pístu a pístnice (viz. *Obr. 11*). Rychlost lisovacího pístu musí být regulovatelná v širokém rozmezí, přičemž požadované maximální rychlosti především u strojů s horizontální komorou jsou až 6 m.s⁻¹ i více. [17]



Obr. 12 Lisovací mechanismus s ukázkou chlazení pístu [3]

Pohyb lisovacího pístu je možné rozdělit do tří fází:

I. fáze: Předplnění lící komory

Tato fáze nastává po naplnění lící komory taveninou. Píst se pohybuje velmi pomalou rychlostí kolem 0,2 m.s⁻¹ až do polohy nalévacího otvoru. Tato rychlost je nízká, aby se hladina ustálila a tavenina nevystříkla ven z nalévacího otvoru. Poté nastává pohyb rovnoměrně zrychlený až do rychlosti 0,9 m. s⁻¹.

II. fáze: Plnění formy

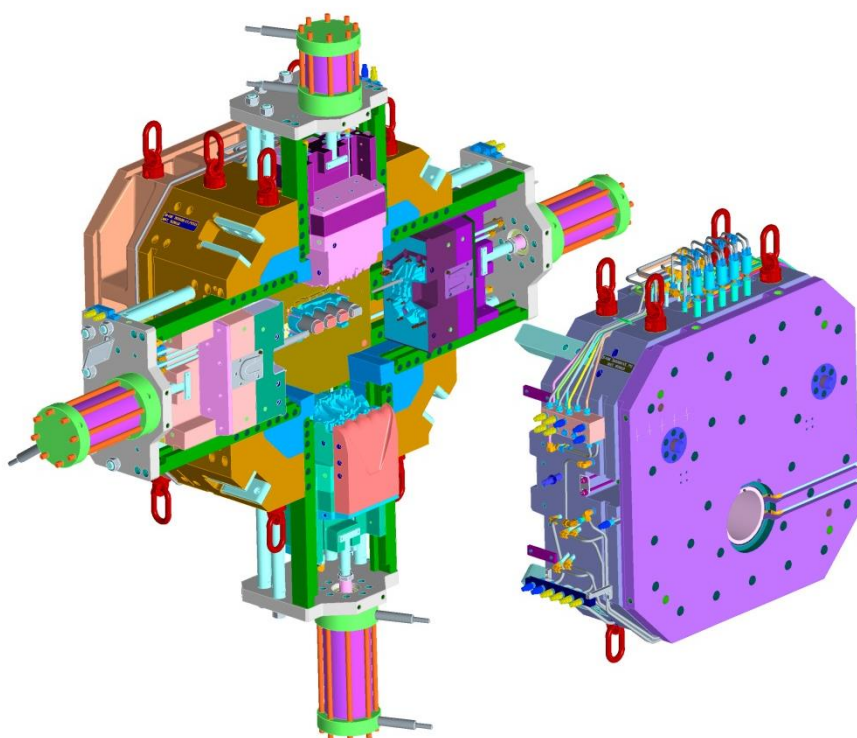
Plnění formy začne v okamžiku, kdy kapalným kov dosáhne zářezu formy. V této poloze nastává prudké zrychlení až do rychlosti nastavené řídicí jednotkou. Samotné plnění se děje konstantní rychlostí kolem 5 m/s.

III. fáze: Dotlak

Kapalný kov, který vyplnil formu je vytlačovaný velkou silou až do nejvzdálenějších míst formy. Velikost tlaku v této fázi, a tím i velikost lisovací síly, je možno nastavovat na regulátorech tlaku. [18,19,30]

4. 2. 1. Formy pro technologii lití pod tlakem

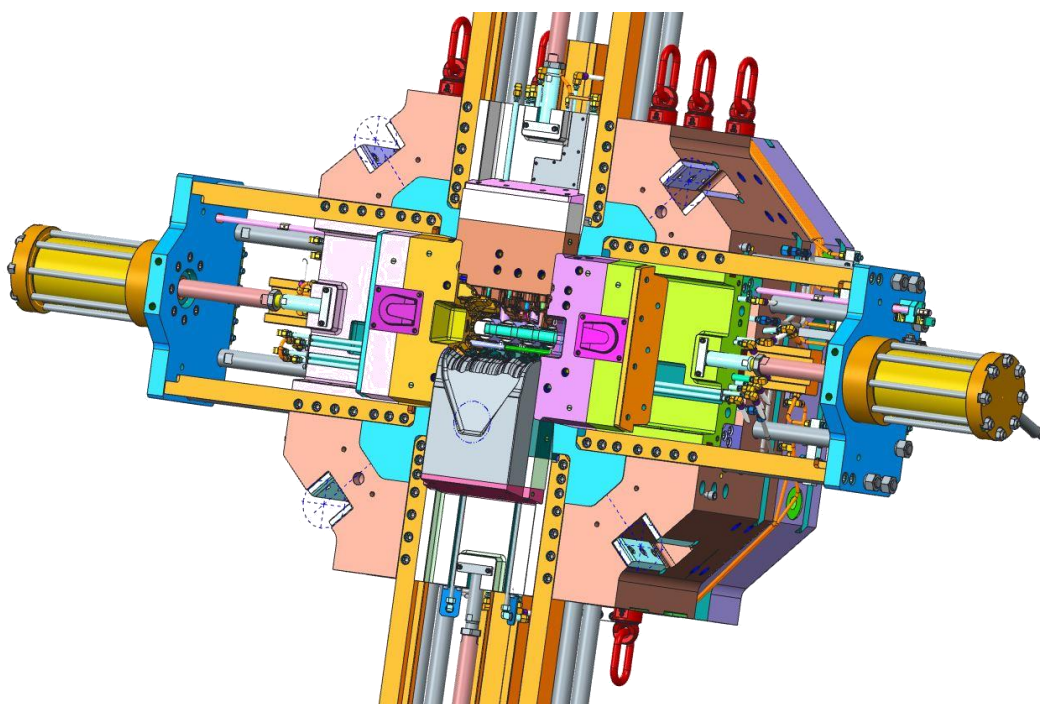
Formy pro tlakové lití se skládají ze dvou částí. První částí je pevný díl, který je upnutý na pevném nosiči forem a je nepohyblivý, do této části je umístěn otvor pro lici komoru s pístem a ústí zde vtok. Druhou částí je díl pohyblivý, ten zajišťuje přesné složení obou dílů při lití. Tento díl se pohybuje po horizontálních vodicích sloupech a díky uzavírací síle je zajištěna pozice dílů při samotném odlévání.



Obr. 13 3D model rozložené vysokotlaké lici formy – pohyblivá část (vlevo) a pevná část (vpravo) [3]

Licí forma je vyrobena z více druhů materiálů. Tvarové vložky, jádra, deska vtoku, razníky, vložka squeeze a například šoupata jsou vyrobena z nástrojové oceli pro práci za tepla 1.2343 (ČSN 19 552, X38CrMoV5-1). Na rámy, ve kterých jsou tvarové vložky a jádra uložena, se používá legovaná ocel k zušlechťování 1.8159 (ČSN 15 260, 51CrV4). Nejméně namáhané části jako rozvodné kostky, desky nebo příruby tahače jsou vyrobeny z nelegované konstrukční jemnozrné oceli 1.0570 (ČSN 15 260, St 52-3).

Jednotlivá jádra dutiny formy jsou namáhána několika mechanismy. Zejména se jedná o erozi způsobenou proudícím tekutým hliníkem a nalepování hliníkových slitin na povrch forem, ke kterému dochází v důsledku chemické afinity mezi hliníkem a železem. Vlivem cyklického tepelného namáhání v průběhu tlakového lití, zejména ohřev při vstřikování tekutého hliníku a následující chladnutí povrchu při ochlazování formy, na povrchu pak v důsledku tepelné únavy dochází k rozvoji trhlin, které vedou až k destrukci nástroje. [28]

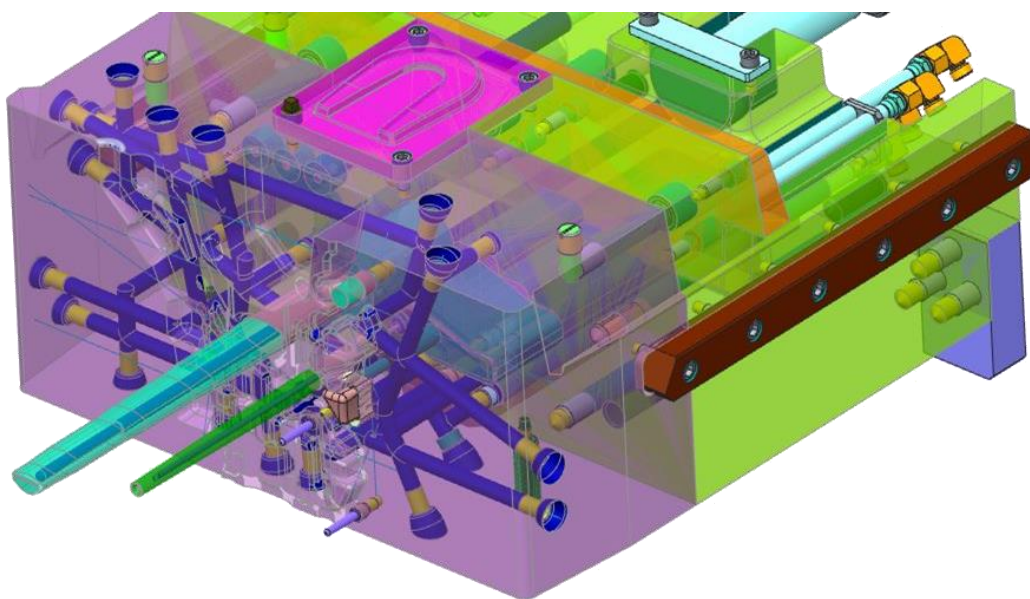


Obr. 14 Detailní 3D model pohyblivé části formy pro výrobu čtyřválcového bloku motoru [3]

Nalepování hliníkových slitin na povrch jednotlivých dílů forem znamená nejen zkrácení životnosti formy, ale také vysoké náklady při odstávce a čištění formy. Nalepený hliník je ve většině případů odstraňován mechanicky, a dochází tedy k postupnému zmenšování rozměrů jednotlivých jader. Pro zamezení nalepování hliníkových slitin na formu se obvykle používá tepelné zpracování či povlaky. Vhodným ošetřením povrchu lze

výrazně zvýšit životnost celé formy a snížit náklady na jejich údržbu. Kromě tepelného zpracování a nitridace povrchu je povlakování jader a forem tvrdými povlaky technologií PA CVD velmi efektivní metodou pro zvýšení životnosti, omezení nalepování Al na povrch formy a pro omezení chemického působení roztaveného hliníku. Povlakování také silně omezuje tvorbu a šíření tepelných trhlin. [28]

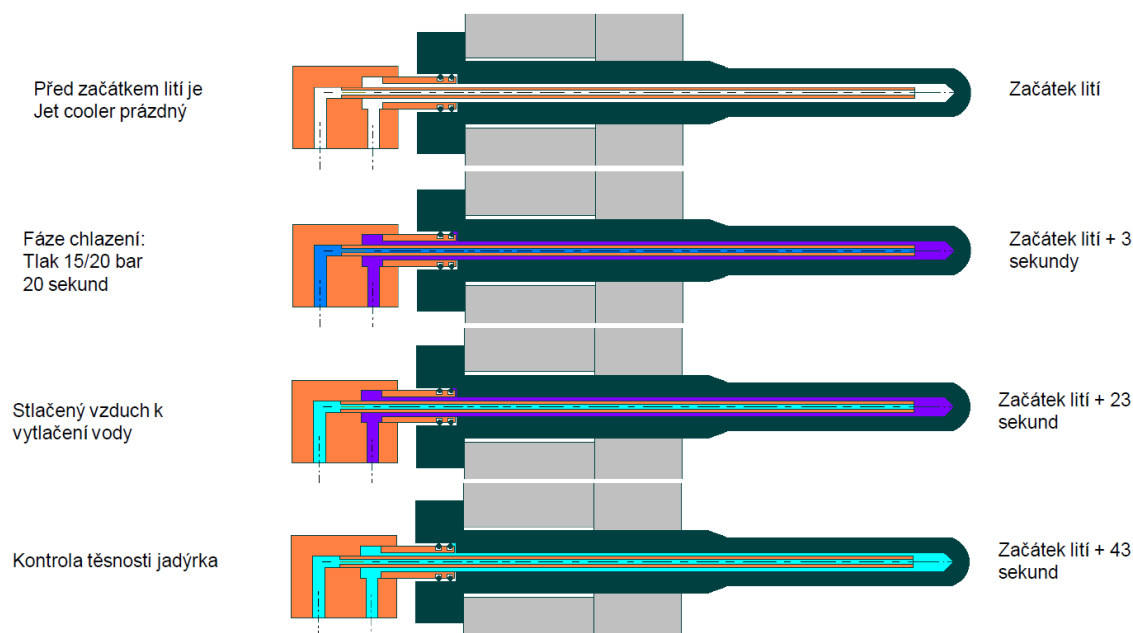
Nedílnou součástí formy jsou chladicí a temperovací okruhy. Temperace formy je zajištěna pomocí zařízení Thermobiehl. Jedná se o zařízení pro vnitřní ohřev formy průtokem horké vody. Voda je ve formách rozváděna vrtanými kanály o průměru 14 mm. Aby docházelo ke správnému chlazení odlitku, musí být kanály umístěny co nejbližší kontuře odlitku. Zařízení Thermobiehl na slévárně ŠKODA AUTO se používají dvouokruhová, tzn. každý přístroj je napojen na dva nezávisle regulovatelné okruhy. Systém zařízení pro vnitřní ohřev forem funguje na principu přetlakové cirkulace vody okruhem nebo odsátí vody z okruhu formy. Veškerá nastavení přístroje jsou realizována pomocí mikroprocesoru, který dále řídí pracovní cyklus zařízení. Voda v okruzích se pohybuje od 80°C do 160°C.



Obr. 15 Ukázka 3D modelu chladicích kanálů integrovaných do formy [3]

Chlazení tenkých dlouhých jader je realizováno pomocí technologie Jet Cooling. Jedná se o vodou chlazená jádra malých průměrů, minimální vnější průměr 4 mm a vnitřní 2 mm. Tato technologie se obecně používá u jader, která nelze chladit konvenčně. Naopak jádra větších průměrů by bylo takto chladit neekonomické.

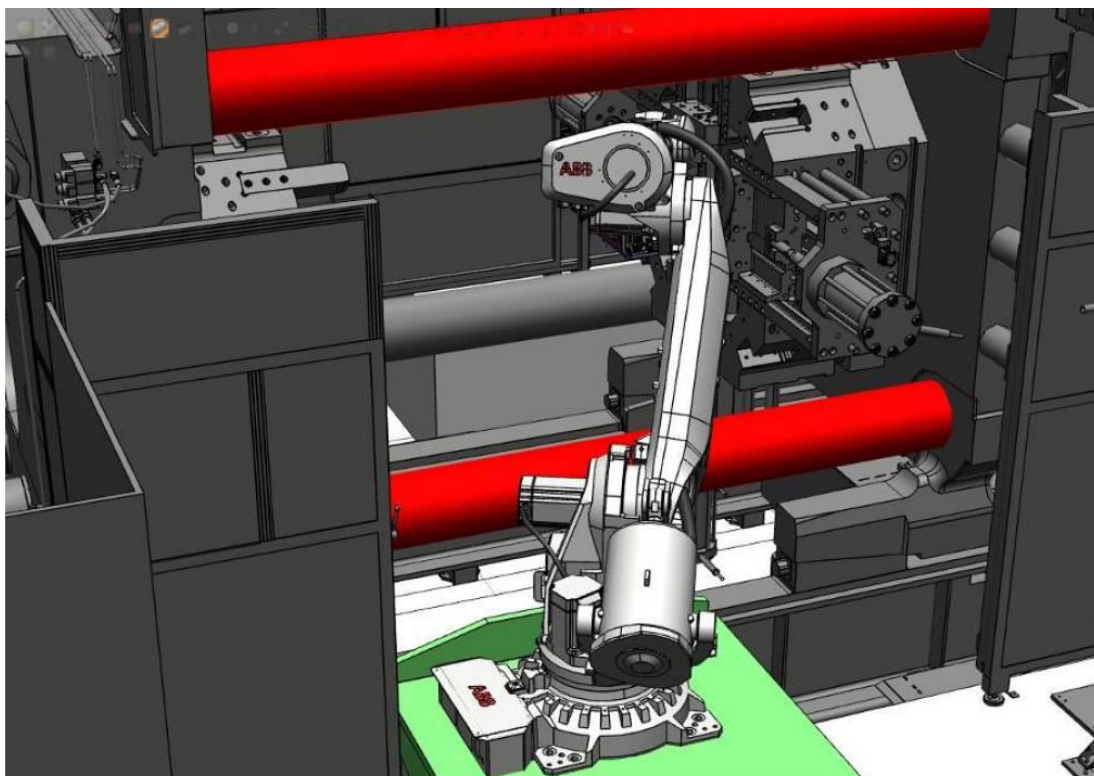
Maximální délka vrtaného jádra je 200 mm, pro průměr vrtání 2 mm. Princip výroby spočívá v přesném navrtání a vycentrování otvoru, do kterého je zaveden tzv. jet-cooler, jímž se po dobu několika sekund přivádí pod velkým tlakem chladicí voda. Doba chlazení činí podle potřeby a nastavení cca 5 až 10 sekund. Maximální tlak zařízení Jet – Cooling dosahuje 20 bar a průtoku 20 l/min. Zařízení Jet Cooling HDK4 ve ŠKODA AUTO disponuje čtyřmi chladicími okruhy s pěti coolery, tzn. dohromady je možné chladit až 20 tenkých jader. [27]



Obr. 16 Princip technologie Jet Cooling – chlazení tenkých jader [3]

4. 3. Vyjímání odlitku

Po vyjmutí odlitku je očištěna forma od nečistot z předchozího zalisování a osušena tlakovým vzduchem. Dále je forma ošetřována pomocí pohyblivého zařízení s aplikační hlavou a tryskami, kterými je nanášen dělicí prostředek. Po ošetření se forma automaticky uzavře a z dutiny je pomocí podtlakového systému odčerpán veškerý vzduch. Tento proces slouží ke zlepšení vnitřní čistoty formy a jako prevence tvorby slévárenských vad ze zbytkového vzduchu v dutině. V době, kdy je forma ošetřována, musí robot s odlitkem projít kontrolou celistvosti. Tento krok zabraňuje poškození formy v případě, že by ve formě byla uzavřena určitá část odlitku nebo odvzdušňovacího kanálu. Zařízení pro kontrolu celistvosti pracuje na principu buď dotykovém, nebo optickém. U optického principu se využívá nejčastěji infračervených čidel.



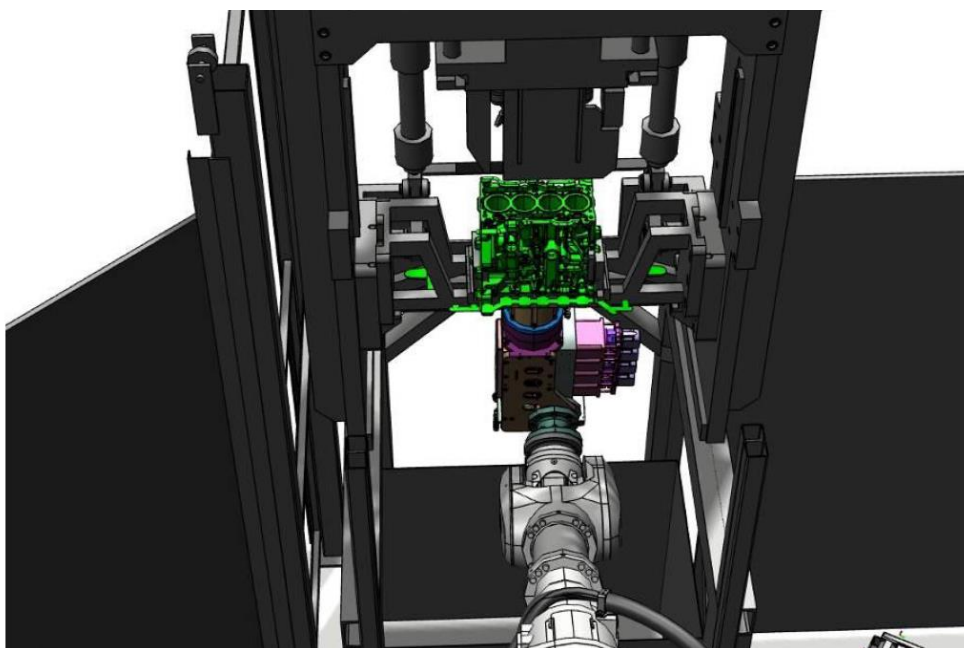
Obr. 17 Obrázek ze simulace pohybu robota v dutině formy [29]

Pro manipulaci s odlitkem se používají manipulátory či roboty. Manipulátory se dělí na dvouosé nebo tříosé. Proti robotům jsou značně jednodušší, méně náročné na zastavěnou plochu a levnější. Roboty je výhodné použít tam, kde se vykonává kromě vyjmutí odlitku ještě další operace. Například kontrola odlitku, ochlazení odlitku, založení a vyjímání z ostříhovacího lisu, uložení do palety nebo do pracovního prostoru dalšího stroje a k ošetření formy. Pro roboty jsou vyvíjeny speciální technologické hlavice podle druhu činnosti, kterou vykonává.

Ve slévárně AI ŠKODA AUTO se používají roboty ABB typ IRB 6400 s chapadlem pro uchycení odlitku mezi ložisky a s chapadlem na 3-4 litinové vložky. V každé periférii stroje se nachází jeden robot, který zajišťuje, jak zakládání litinových vložek, které jsou do bloku motoru zalévány, tak vyjímání odlitku a usazování do olamovadla a veškerou manipulaci. Litinové vložky jsou ke stroji přepravovány pomocí dopravníku, na který obsluha stroje jednotlivé vložky vkládá z přepravní palety.

4. 4. Ruční apretace dílů

Poté co proběhne strojní apretace odlitku v olamovadle, což zahrnuje automatické odlomení vtokové soustavy a ostřížení technologických přetoků (ledvinky a vakuový labyrint), je odlitek pomocí skluzu dopraven k obsluze stroje. Ta provede ruční apretaci, kde očistí celý díl, kontroluje průchodnost otvorů a provádí vizuální kontrolu odlitku na přítomnost slévárenských vad. Po této operaci vloží obsluha stroje odlitek do žíhací palety.



Obr. 18 Ukázka ze simulace strojní apretace odlitku v olamovadle [29]

4. 5. Žihání

Paleta s 50 kusy odlitků se dále vloží do průběžné elektrické žíhací pece REALISTIC. Operací žihání prochází 100% objemu výroby odlitků bloků motorů. Celková doba prováděného stabilizačního žihání vychází na cca 6 hodin. V první části pece dochází k postupnému ohřevu na žíhací teplotu 250°C (cca 1 až 1,5 hodiny). V další části probíhá prodleva na žíhací teplotě po dobu tří hodin a v další 1,5 hodině jsou odlitky v peci postupně ochlazovány až na teplotu 40°C.

4. 6. Automatická apretace a předobrobení odlitků

Po operaci žihání pokračuje blok motoru na operaci předobrobení, kdy je díl ručně založen na dopravník k apretační buňce REIS, kde dojde k automatickému odstranění blan a ořepů pomocí ostříhu a odfrézování. Dále je odlitek automaticky založen do obráběcího centra GROB, kde dojde k hrubování dílu. Celá obráběcí linka složená ze čtyř dvouvřetenových obráběcích center. Transport obrobku mezi jednotlivými obráběcími centry je realizován pomocí manipulačního portálu. Obrobky jsou upnuty v upínacích přípravcích s kontrolou založení a upnutí.

4. 7. Praní a sušení dílů

Po operaci hrubování je zařazen oplach dílu. K tomu slouží prací stroj Aktivit, kde jsou odlitky ze vstupního válečkového dopravníku automaticky překládány na krokovací dopravník. Na pozicích krokovacího dopravníku jsou provedeny jednotlivé operace jako oplach dílu, cílené praní specifikovaných ploch dílu vodou pod tlakem o teplotě 30 - 70°C, sušení dílu ofukováním a vakuové sušení zbytkové vlhkosti dílu, konečnou činností u pracího zařízení je chlazení dílu v tunelu na výstupní kontrole.

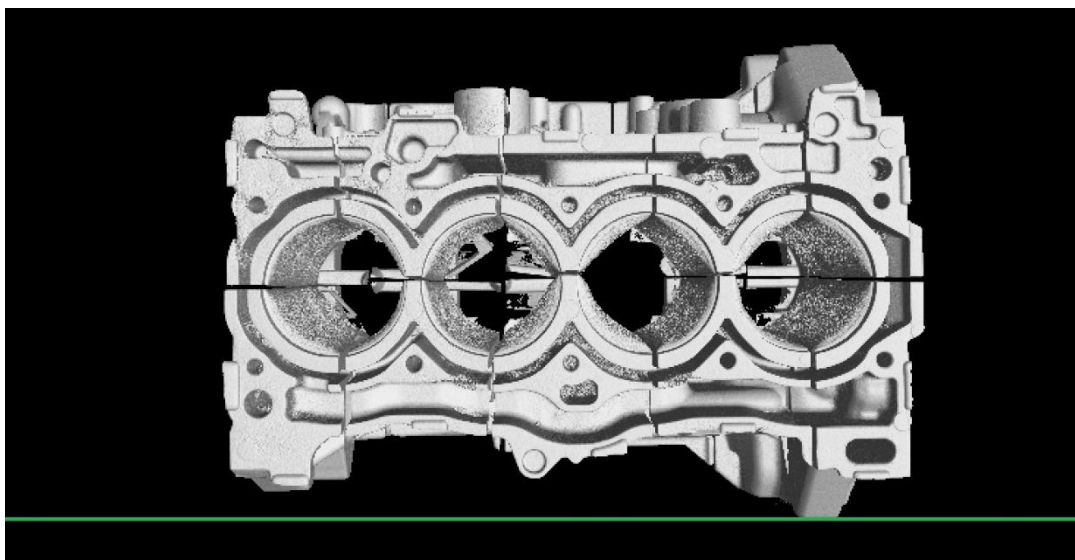
4. 8. Kontroly odlitků ve výrobním procesu

4. 8. 1. Rozměrová kontrola

Jedenkrát za směnu jsou díly kontrolovány na třísouřadnicovém měřicím stroji GAGE MAX. Toto zařízení slouží k rozměrové kontrole odlitků po odlití. Rozměrová kontrola se provádí porovnávací metodou s 3D modelem. Před vstupem na měřicí zařízení je nutné zbavit díly veškerých nečistot z předchozích operací, k tomu dochází jako u sériové výroby v pracím stroji Aktivit.

4. 8. 2. Kontrola vnitřní kvality odlitků

Mimo rozměrovou kontrolu odlitků se provádí ještě kontrola vnitřní kvality odlitku pomocí průmyslového rentgenu GE X-CUBE. Každý odlitek je na kontrolu RTG rozřezán pomocí strojní pily na určitý počet dílů. Tříválcový blok motoru se rozřezává na čtvrtiny, čtyřválcový blok pak na pětiny. Kontrola jednoho odlitku trvá zhruba 10 minut a provádí se 2x za osmihodinovou směnu z každého stroje. Pokud je potřeba důkladnější kontroly z hlediska vnitřních vad, odváží se díl na pracoviště CT, kde je celý odlitek naskenovaný. Kontrola jednoho odlitku pomocí CT trvá zhruba 5 hodin.



Obr. 19 CT snímek čtyřválcového bloku motoru rozřezaného na 10 dílů [3]

4. 8. 3. Kontrola těsnosti

Na každém dílu je prováděna kontrola těsnosti v jednotlivých prostorech bloku válců, pokud odlitek nesplňuje předepsané podmínky, je automaticky vyřazen z výrobního toku a pokračuje na operaci impregnace. Při této operaci dochází k utěsnění netěsných prostorů pomocí impregnační látky na bázi pryskyřice. Tlaková zkouška se provádí u každého odlitku bloku motoru. Tlakují se tři oddělené prostory pomocí tlakového vzduchu. Doba plnění prostoru se pohybuje mezi 4 až 6 vteřinami na jeden prostor. Kontrola v těsnosti spočívá ve sledování dávkování tlakového vzduchu a následném hodnocení naměřeného úniku. Výstupem zkoušky mohou být tři varianty výsledku: těsný, netěsný (opravitelný impregnací) a neshodný díl.

4. 8. 4. Konečná kontrola

Poslední operací na slévárně hliníku je pracoviště konečné kontroly, kde dochází k začištění všech prostřihovaných otvorů, včetně odstranění odlomitelných otřepů a nedostatků po opracování a následné kontrole povrchové kvality součásti, správnost opracování dle technické dokumentace, kontrole kritických míst a celkového stavu odlitku. Všechny díly jsou následně odváženy do skladu a expedovány k zákazníkovi.

4. 9. Kontroly a měření laboratoře

Z důvodu zajištění co nejlepší kvality procesu výroby je nutné provádět různá kontrolní měření. Pro slévárnu hliníku ve ŠKODA provádí veškerá měření metalurgická laboratoř. Primární kontrola spočívá v určení chemického složení vstupního materiálu (housek) pomocí spektrální analýzy. Dalším krokem je kontrola nataveného materiálu v peci. Laboratorní vzorky jsou odlévány do kokilky již na tavírně a na pracovišti laboratoře je vyhodnoceno chemické složení pomocí přístroje SPEKTROMAT-750. Pokud chemické složení souhlasí s předepsanou dokumentací, je materiál dále uvolněn do výroby. Mezi další činnosti metalurgické laboratoře patří také materiálové hodnocení veškeré produkce hliníkových odlitků, jako hodnocení mikrostruktury, porezity a především hodnocení tvrdosti, na kterou je tato práce zaměřena a bude dále popsána v kap. 4. 9. 2.

4. 9. 1. Tvrdost materiálu

Obecně je tvrdost definována jako vlastnost, která se projevuje odporem proti pružné a plastické deformaci určitého tělesa nebo také odolnost povrchové oblasti materiálu proti místnímu porušení cizím tělesem. V dnešní době existuje více jak 100 zkušebních metod zkoušení tvrdosti. Základní rozdělení těchto zkušebních metod je především na zkoušky tvrdosti vnikací a odrazové. [31]

Zkoušky vnikací

Odolnost proti vnikání cizího tělesa je dána velikostí sil, jimiž jsou atomy kovu navzájem vázány. Při vazbě kovové, umožňující plastickou deformaci, vznikají deformace tím snáze, čím jsou vazební síly vyrovnanější. Rozhodujícími činiteli jsou především:

- tvar krystalových elementů
- jemnost krystalizace (jemnozrná struktura má v objemu více krystalografických rozhraní, které více odolávají vnikání cizích těles, proto vykazuje jemnozrná struktura větší tvrdost)
- teplota (čím větší teplotu má materiál, tím se vlivem roztahování stávají vazby méně pevné a kov je měkčí)
- cizí příměsi (všechny příměsi snižující plasticitu kovu zvyšují tvrdost materiálu)

- vnitřní pnutí (tvrdost zvětšují různá pnutí, způsobená např. tvářením za studena, tepelná pnutí od nestejného ochlazování, pnutí způsobená nestabilními fázemi atd.).

4. 9. 2. Tvrdost dle Brinella

Tvrdost dle Brinella je označována normou ČSN 42 0371. Jedná se o měření tvrdosti, kdy je vtlačována ocelová kalená kulička o průměru D do zkušebního tělesa silou F , která směřuje kolmo k povrchu tělesa po stanovenou dobu. Po této době následuje odlehčení a změření průměru vtisku d .

Průměr D bývá 1 mm, 2,5 mm, 5 mm a 10 mm. Průměr kuličky závisí na tloušťce t měřeného materiálu. Platí, že minimální tloušťka materiálu je desetinásobek hloubky vtisku. V opačném případě by se mohla projevit tvrdost podložky. [32,33]

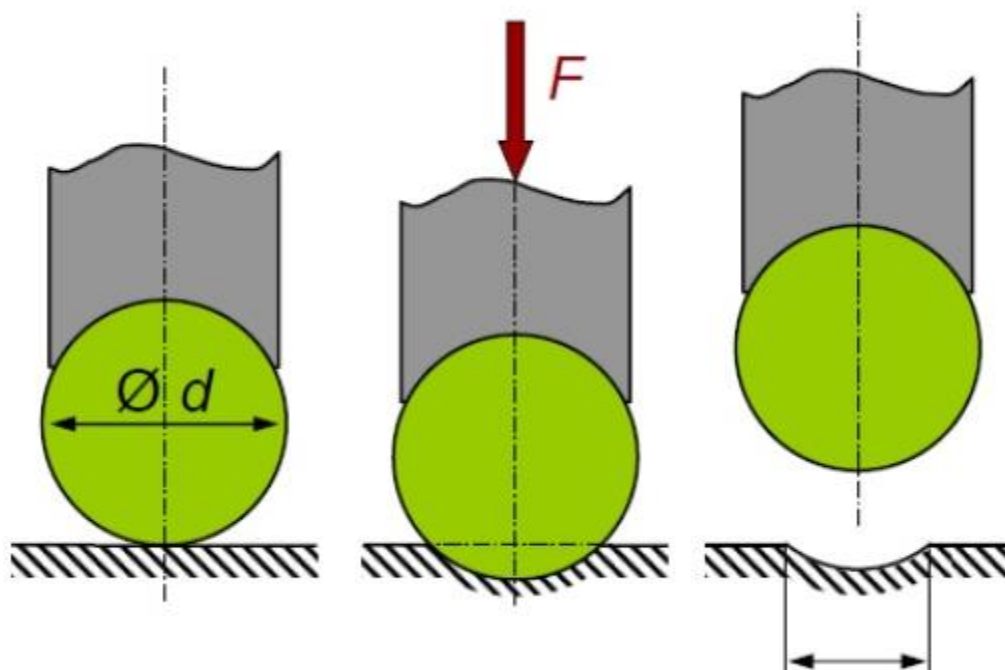
Tvrdost podle Brinella HB je definována jako poměr působícího zatížení F k ploše povrchu kulového vtisku A dle vztahu 1.

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

Zkoušený předmět musí být rovný a hladký, nejlépe broušený. Při úpravě povrchu musí být vyloučeny změny vlastností ohřevem nebo tvářením za studena. Vzhledem k tomu, že plocha vtisku není přímo úměrná zatížení, je tvrdost podle Brinella závislá na zatížení. [36]

Doba působení síly o dané velikosti závisí na struktuře materiálu. Měkčí materiály se zatěžují delší dobu. U slitin železa je zatížení od 10 do 15 s. U neželezných slitin od 10 do 180 s.

Přesnost měření závisí na správném proměření vtisku. Na průměr vtisku má velký vliv vtážení materiálu po kraji vtisku (u materiálu nezpevněného) nebo naopak vytlačení obvodového valu (u materiálu zpevněného). Příčinou další chyby může být deformace použité vtlačované kuličky (z kalené oceli). Pro materiály tvrdší než HB=400 není ocelová kulička vhodná a používají se kuličky ze slinutých karbidů. [35]



Obr. 20 Schematické znázornění měření tvrdosti dle Brinella [37]

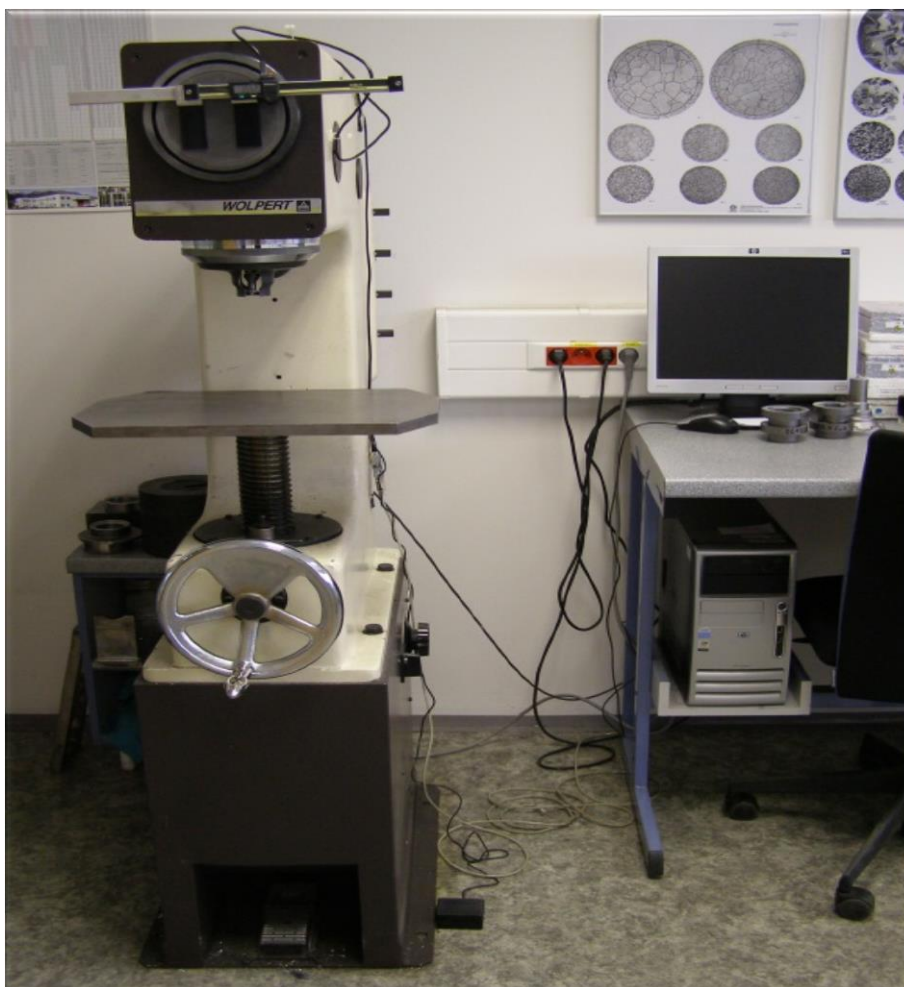
Provedení zkoušky

- Obvykle se zkouška provádí při teplotě 10 – 35 °C, v arbitrážních případech při teplotě 23 ± 5 °C.
- Při zkoušce musí být použito zkušební zatížení odpovídající zkoušenému materiálu a velikosti kuličky.
- Zkoušení zatížení musí být vybráno tak, aby průměr vtisku d byl v rozmezí hodnot od $0,24 D$ do $0,6 D$.
- Vzorek musí být při zkoušce položen na tuhé podložce. Styčné plochy musí být čisté a bez cizích tělísek. Je důležité, aby vzorek ležel na podložce tak, aby se při zkoušce nepohnul.
- Vnikací tělísko se zatlačuje do povrchu zatížením směřujícím kolmo k jeho povrchu, bez rázů a chvění. Doba od začátku zatěžování do dosažení zkušební síly nesmí být menší než 2 s a delší než 8 s.
- Doba působení zkušební síly je v rozmezí 10 až 15 s. Pro některé materiály mohou být použity delší časy, ty však musí být dodržovány s tolerancí ± 2 s.
- Vzdálenost středu vtisku od okraje vzorku musí být minimálně 2,5násobek vtisku (platí pro ocel, litinu, měď a její slitiny) a minimálně 3násobek průměru vtisku při zkoušení lehkých kovů, olova, cínu a jejich slitin.

- Vzdálenost středů dvou sousedících vtisků musí být nejméně 4násobek průměru vtisku (platí pro ocel, litinu, měď a její slitiny) a minimálně 6násobek průměru vtisku při zkoušení lehkých kovů, olova, cínu a jejich slitin.
- Po zkoušce se změní průměr každého vtisku ve dvou na sebe kolmých směrech. Pro stanovení tvrdosti se vypočítá průměrná hodnota velikosti vtisku. [34,35]

Brinellův tvrdoměr

Pro zkoušku se používá Brinellův tvrdoměr. Kulička vytvoří na zkušební vzorku kulovitý vtisk. Tvrdost se určuje aritmetickým průměrem změřených průměrů vtisku měřených dvakrát kolmo na sebe.



Obr. 21 Brinellův tvrdoměr v laboratoři ŠKODA AUTO[3]

5. Realizace zkoušek

5. 1. Důvody realizace zkoušky

Hlavním důvodem realizace zkoušek, které by měly vést ke zvýšení tvrdosti, je rychlý vývoj inovace a především zvyšování kvality produktů. Jak je již uvedeno v teoretické části, zkuškové bloky se řadí do nové výroby skupiny EA211, tudíž nároky na vlastnosti a kvalitu novější řady jsou vyšší než na předchozí starou výrobu skupiny EA111. Jednotlivé rozdíly mezi těmito skupinami jsou již popsány v kap. 2. 2., důležitým bodem, ze kterého vyplývají další zásahy do výrobního toku pro slévárnu hliníku, je vývoj samotného bloku motoru.

5. 1. 1. Zvýšení výkresového předpisu tvrdosti

Z důvodu konstrukčních změn a inovací, které jsou popsány v kap. 2. 2., bylo nutné zasáhnout do vývoje bloku motoru, a proto v předpisu výkresové dokumentace byla zvýšena hodnota požadavku na tvrdost z 80+20 HB na 90+20HB. Z toho důvodu je tedy nutné navrhnout taková opatření, při kterých by bylo možné této hodnoty vždy dosáhnout. Co se týče 3 -válcových bloků vychází hodnoty tvrdosti v předepsaných mezích, primárně tedy bylo nutné zaměřit se na 4 - válcové bloky motorů.

5. 1. 2. Ergonomické posouzení pracoviště

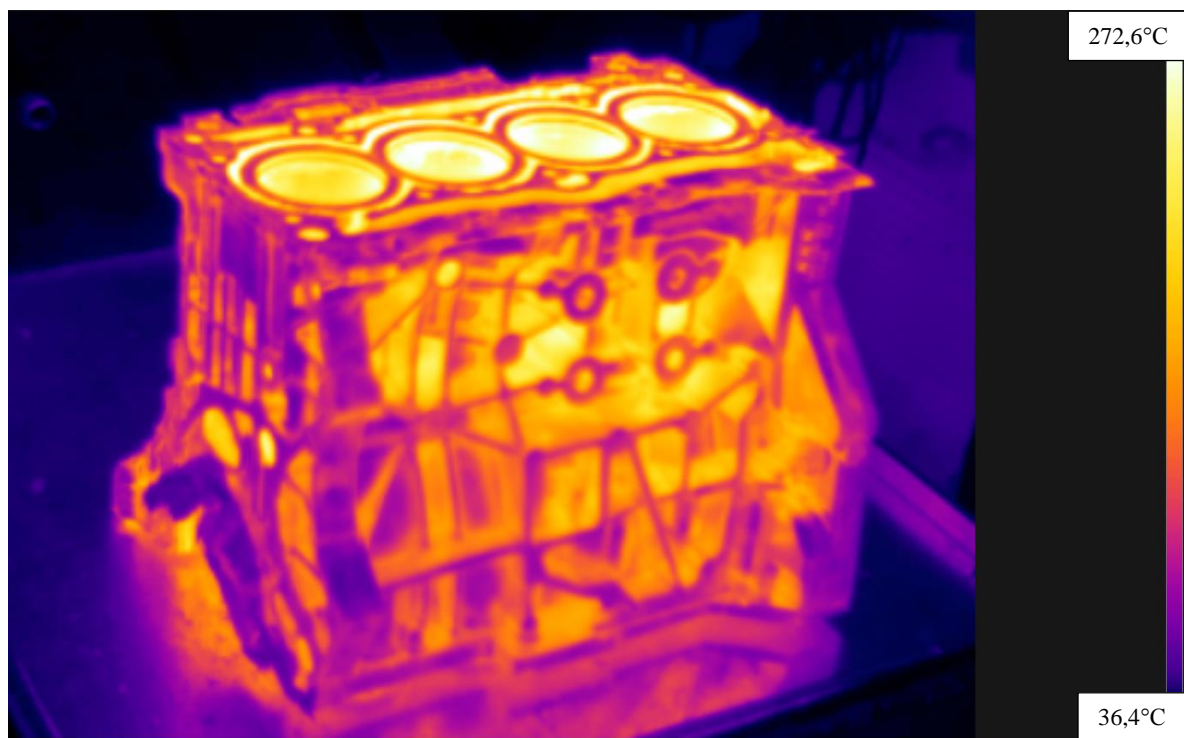
Dalším neméně důležitým důvodem pro provedení experimentu je neustálé zlepšování pracovních podmínek pro zaměstnance slévárny z hlediska ergonomie. V dnešní době jsou všechny odlitky bloku motoru ručně apretovány u tlakového licího stroje hned po odlomení vtoku a technologických přetoků. (viz. obr. 22)

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. 22 Ukázka ruční apretace odlitku slévačem [3]

Hmotnost ručně apretovaných bloků se pohybuje od 16 kg do 24 kg. Teplota odlitku, jak je vidět na obr. 23, se pohybuje kolem 272°C.



Obr. 23 Fotka bloku motoru z termokamery [3]

6. Zvýšení tvrdosti

Všeobecně všechny mechanické vlastnosti výrobků z hliníkových slitin závisí na řadě parametrů. Liší se významně nejen v závislosti na typu slitiny a typu výrobku, ale závisí i na stavu tepelného zpracování a tloušťce výrobku. Obecně lze říci, že mechanické vlastnosti s rostoucím obsahem legujících prvků rostou. Výrazné rozdíly mezi jednotlivými slitinami z hlediska pevnosti jsou dány různým stupněm zpevnění.

6. 1. Metody zvyšování tvrdosti u odlitků

6. 1. 1. Změna tepelného zpracování

Nejúčinnějšího zpevnění se dosahuje u hliníkových slitin precipitačním zpevněním při tepelném zpracování, které se skládá z rozpouštěcího žihání, rychlého ochlazení a přirozeného nebo umělého stárnutí viz. kapitola 3. 2. Konkrétně slitina hliníku $AlSi9Cu3(Fe)$ se však většinou používá v tepelně nezpracovaném stavu, popř. se provádí pouze stabilizační žihání pro zajištění stability rozměrů a lepší obrobiteľnosti. V diplomové práci je proto zkouška změny tepelného zpracování zařazena, ale pouze jako změna teplot u stabilizačního žihání.

6. 1. 2. Úprava chemického složení

K další metodě zlepšení zpevňovacích procesů se řadí změna chemického složení. Konkrétně u hliníkové slitiny $AlSi9Cu3(Fe)$ se jedná především o zvýšení procenta křemíku a mědi. Jako legující prvky podporující precipitační zpevnění a zvyšující nejen mechanické vlastnosti, ale i vlastnosti únavové, lomové, korozní a technologické, se používají Li (do 2%), Ag a Sc (v desetinách procenta). U podeutektických slitin, do kterých se řadí i slitina Al ve ŠKODA AUTO, se s rostoucím obsahem křemíku zvyšuje obsah eutektika. Křemík samotný zlepšuje téměř všechny slévárenské vlastnosti, zužuje interval tuhnutí a především zvyšuje pevnost a tvrdost. Měď je nejběžnějším přísadovým prvkem. Měď v silumínech též zvyšuje pevnost a tvrdost, snižuje tažnost a zhoršuje korozní odolnost a také velmi významně zlepšuje obrobiteľnost. [3,21]

6. 1. 3. Zachlazování odlitků do vodní lázně

Zvýšení tvrdosti odlitků zchlazením do vodní lázně je jedním z několika důvodů, proč se tato operace do výrobního toku zařazuje. Dalšími důvody realizace zchlazení dílů jsou především lepší podmínky pro odstranění vtokové soustavy a technologických přetoků a také ergonomické podmínky na pracovišti ruční apretace (viz. kap. 5. 1. 2.)

Co se týče tvrdosti, jsou odlitky ze slitiny $AlSi9Cu3(Fe)$ zchlazovány do vody z důvodu aktivace procesu samovolného vytvrzování, který je následkem rychlého ochlazení odlitku v lázni. Proces samovolného vytvrzení nastane díky přítomnosti mědi a částečně i křemíku, protože tyto prvky vlivem rychlého ochlazení odlitku ve vodě vytvoří přesycený tuhý roztok α (Al), který se během několika dnů rozpadne a tím dojde k nárůstu pevnosti a tvrdosti odlitku.

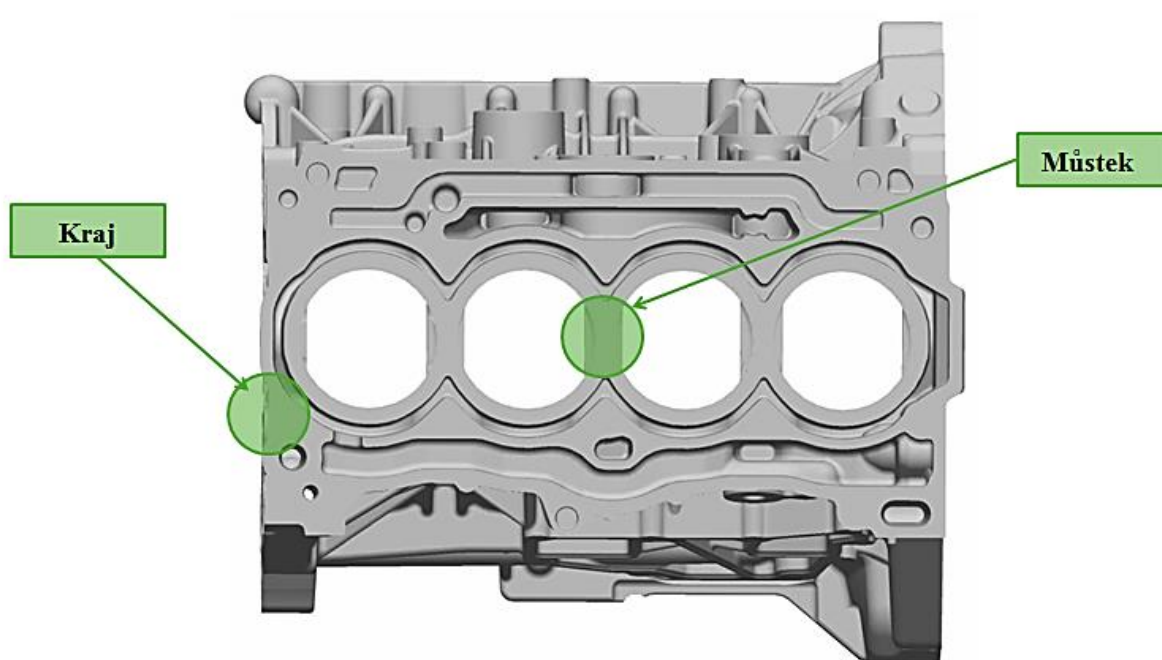
7. Měření tvrdosti na odlitcích bloku motoru

Tvrdost byla měřena v metalurgické laboratoři, ve kterém jsou prováděny zkoušky pro sériovou výrobu. Detailní popis měření tvrdosti i pracovní náplň metalurgické laboratoře je popsán v kapitole 4. 9.

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 (2).

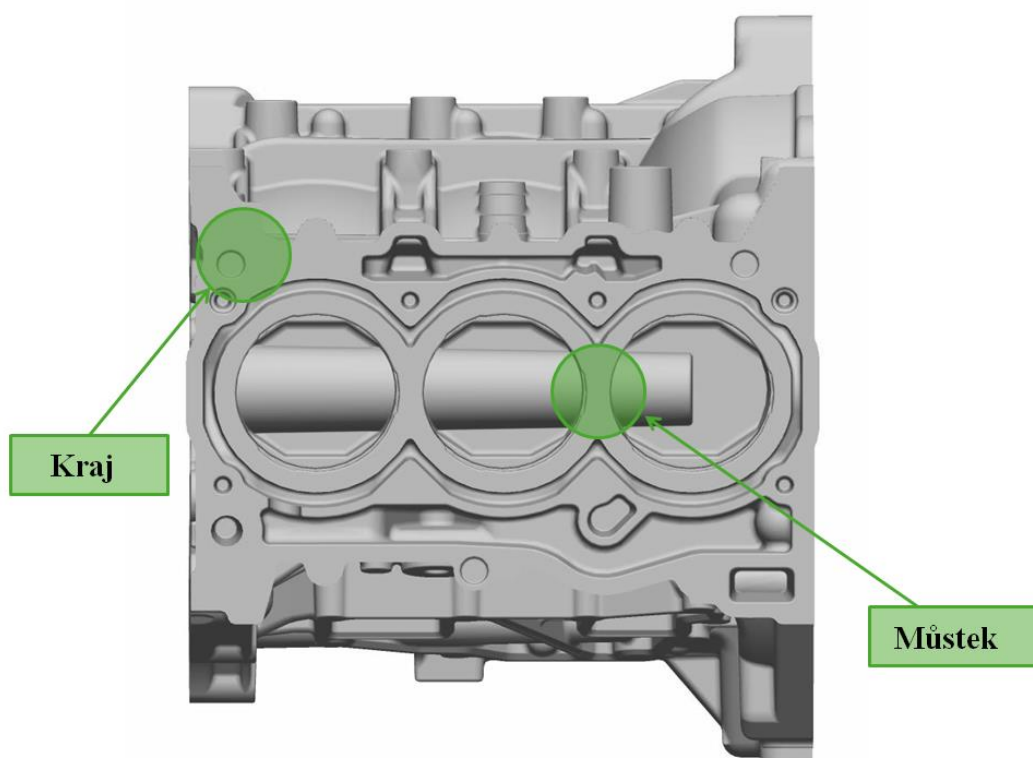
$$F = 10xD^2 = 250 \text{ N} \quad (2)$$

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. 24.



Obr. 24 Oblasti měření tvrdosti na čtyřválcovém bloku motoru[3]

U tříválcového odlitku bloku motoru, na kterém je prováděna zkouška materiálu se zúženým rozsahem obsahu mědi a křemíku, jsou oblasti měření tvrdosti na hlavové přírubě vyznačeny na obr. 25.. Stejně jako u čtyřválcového bloku byl i tento tříválcový blok motoru zachlazen. Předpis stanovený výkresovou dokumentací určuje opět dvě oblasti měření tvrdosti, a to v oblasti můstku mezi prvním a druhým válcem a v oblasti kraje, jak je vyznačeno na obr. 25.



Obr. 25 Oblasti měření tvrdosti na tříválcovém bloku motoru[3]

8. Experimenty prováděné ve slévárně AI ŠKODA AUTO

8. 1. Popis jednotlivých experimentů

První experiment, který byl prováděn na slévárně hliníku ve ŠKODA AUTO, byla zkouška zachlazování odlitků do vody. Vzhledem ke skutečnosti, že v technologickém toku výroby odlitků bloků motorů v sériové výrobě není zařazena operace zachlazování do vody, bylo nutné vyzkoušet různé varianty doby ponoření odlitku. 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.

Z této primární zkoušky dále vyplývá doba ponoření, která je pro zachlazení odlitku nejvhodnější. Rozhodujícími aspekty pro volbu vhodné doby ponoření je navýšení délky lícího cyklu a konečná teplota odlitku. Na základě výsledků z první zkoušky, byla provedena zkouška druhá, kde byly již všechny odlitky zachlazeny na stejnou dobu ponoření a následně byla změřena tvrdost po odlití. Z důvodu zjištění vlivu tepelného zpracování, konkrétně teploty žíhání, byly všechny odlitky žíhány pouze na 210°C.

Třetím experimentem byla zkouška s upraveným rozsahem chemického složení materiálu. Konkrétně se jednalo o zúžení rozmezí obsahu křemíku a mědi. Zkouška měla odhalit, zda-li definované vyšší procento křemíku a mědi bude vést k lepšímu vytvrzení materiálu a tím vyšší tvrdosti.

Posledním experimentem, který je zahrnutý v praktické části diplomové práce, je zkouška zachlazení odlitků, které měly již zmiňované zúžené rozmezí obsahu křemíku a mědi. Poslední zkouška byla prováděna za účelem zjištění, zda-li zvýšené procento křemíku při zachlazení povede k vyloučení většího množství intermetalických částic tuhého roztoku a tím k intenzivnějšímu vytvrzení struktury odlitku, které by vedlo ke zvýšení tvrdosti.

8. 2. Zkouška zachlazování pro zjištění doby ponoření odlitku

8. 2. 1. Realizace zkoušky

Zkouška zachlazování 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 zachlazovací vana, bylo nutné vytvořit provizorní nádobu, do které by byly jednotlivé díly ponořovány do vody a zachlazeny. Do provizorní zachlazovací 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 zachlazovací vany s automatickým chlazením.



Obr. 26 Provizorní nádoba na zachlazování odlitků[3]

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 zachlazovací vany. Po stanovené době odlitek vyjme a odloží do ostříhovacího lisu, kde dojde k primární apretaci.

8. 2. 2. Jednotlivé zachlazovací časy

Odlitky byly postupně zachlazovány v časových intervalech 10, 20, 30 a 52 s. 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 zachlazován, aniž by v sériové výrobě 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 zachlazovací 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. 27 Zkouška zachlazení odlitku[3]

8. 2. 3. Naměřené hodnoty tvrdosti

Tab. 3 – 6 Naměřené hodnoty tvrdosti na odlitcích

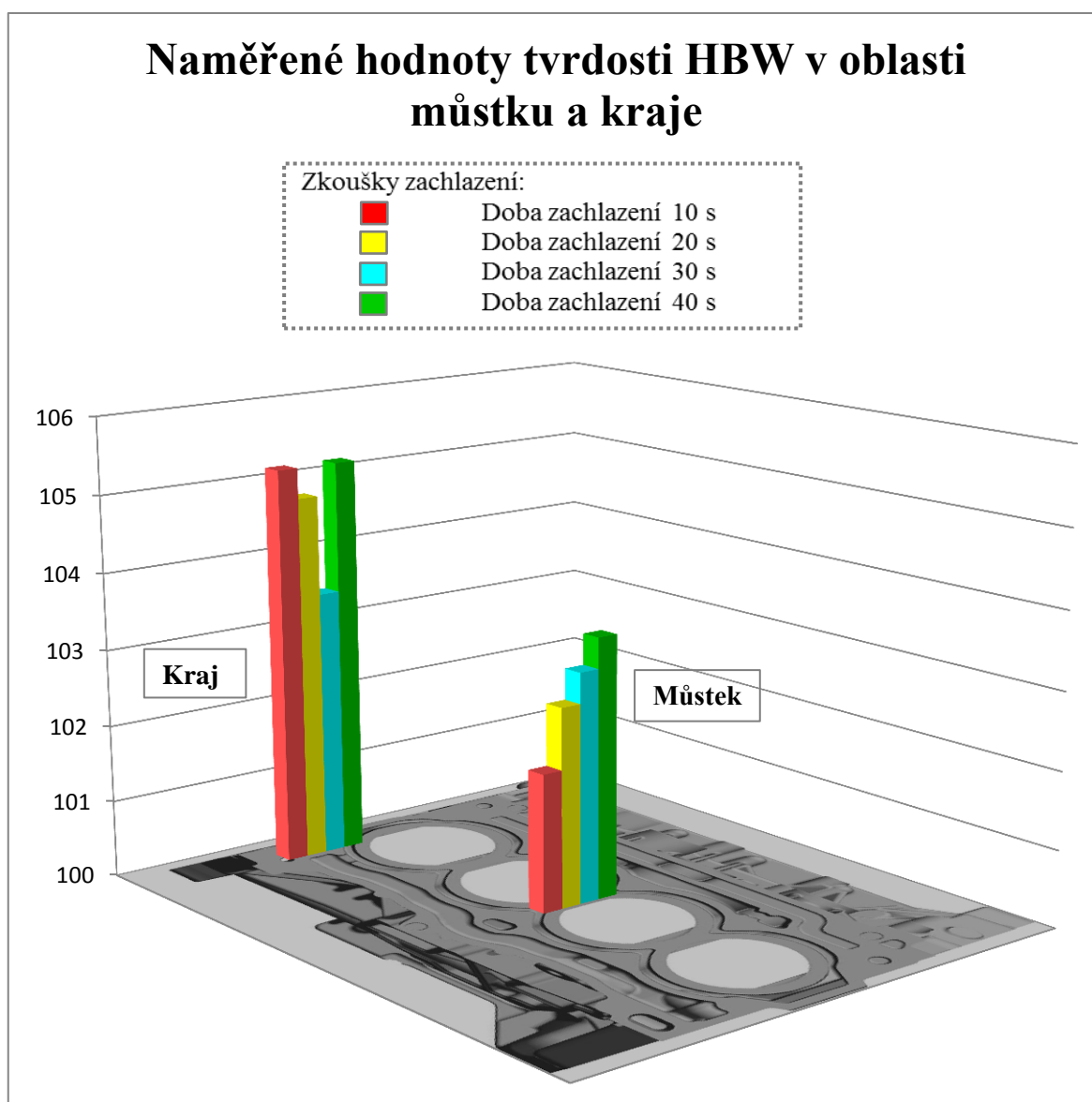
TVRDOT HBW - Odlitky zachlazené 10 s																		
č.	Po odlití				Po TZ (250°C)				Po opracování									
	Mústek	Ø	Kraj	Ø	Mústek	Ø	Kraj	Ø	Mústek	Ø	Kraj	Ø						
1	92,4	93,9	93,2	94,0	96,9	95,5	100	102	101,0	108	104	105,9	95,6	99,3	97,5	101	101	101,1
2	90,0	92,0	91,0	94,3	93,6	94,0	103	104	103,5	108	104	105,9	97,8	97,7	97,8	94,6	102	98,3
3	91,1	93,2	92,2	95,2	92,5	93,9	101	103	101,9	106	103	104,2	96,3	95,9	96,1	101	102	101,2
4	92,2	92,9	92,6	91,5	94,1	92,8	97,9	102	100,1	108	104	105,6	95,7	98,3	97,0	100	102	101,0
5	93,7	92,9	93,3	95,1	89,4	92,3	103	102	102,8	107	102	104,7	99,5	99,6	99,6	98,5	99,4	99,0
Ø	92,4		93,7		101,8		105,2		97,6		100,1							

TVRDOT HBW - Odlitky zachlazené 20 s																		
č.	Po odlití				Po TZ (250°C)				Po opracování									
	Mústek	Ø	Kraj	Ø	Mústek	Ø	Kraj	Ø	Mústek	Ø	Kraj	Ø						
6	92,0	92,1	92,1	94,3	92,6	93,5	103	104	103,6	104	103	103,7	99,4	97,8	98,6	101	99,1	100,0
7	94,1	95,3	94,7	96,4	95,3	95,9	102	106	104,2	108	104	106,1	98,4	97,4	97,9	104	101	102,6
8	95,3	92,1	93,7	97,4	94,1	95,8	101	103	101,7	106	103	104,4	96,9	97,4	97,2	98,0	102	99,9
9	93,5	93,4	93,5	94,7	91,3	93,0	102	100	100,7	108	102	104,6	98,7	97,4	98,1	97,3	102	99,8
10	93,4	91,9	92,7	96,2	92,4	94,3	102	104	102,8	108	103	105,5	96,1	95,8	96,0	101	99,9	100,4
Ø	93,3		94,5		102,6		104,8		97,5		100,5							

TVRDOT HBW - Odlitky zachlazené 30 s																		
č.	Po odlití				Po TZ (250°C)				Po opracování									
	Mústek	Ø	Kraj	Ø	Mústek	Ø	Kraj	Ø	Mústek	Ø	Kraj	Ø						
11	93,1	94,9	94,0	92,8	93,5	93,2	104	103	103,3	105	102	103,5	97,7	101	99,5	99,0	101	99,8
12	91,8	92,5	92,2	97,6	94,7	96,2	104	107	105,0	105	104	104,3	94,7	97,6	96,2	104	99,3	101,5
13	93,2	94,8	94,0	93,1	93,7	93,4	103	104	103,8	103	102	102,3	93,7	99,6	96,7	96,5	93,9	95,2
14	92,0	93,2	92,6	97,0	91,3	94,2	103	102	102,4	106	103	104,3	98,2	102	100,0	102	99,7	100,9
15	93,9	91,5	92,7	94,1	92,0	93,1	99,3	102	100,7	104	102	103,2	100	96,6	98,4	101	99,7	100,6
Ø	93,1		94,0		103,0		103,5		98,1		99,6							

TVRDOT HBW - Odlitky zachlazené 52 s																		
č.	Po odlití				Po TZ (250°C)				Po opracování									
	Mústek	Ø	Kraj	Ø	Mústek	Ø	Kraj	Ø	Mústek	Ø	Kraj	Ø						
16	95,2	93,5	94,4	96,8	93,0	94,9	103	104	103,6	106	103	104,5	96,9	97,5	97,2	102	102	102,0
17	92,2	93,4	92,8	94,2	91,9	93,1	100	102	101,3	105	103	104,1	95,3	101	98,3	103	97,5	100,1
18	91,5	93,8	92,7	94,3	95,8	95,1	103	104	103,4	107	105	105,9	97,0	98,1	97,6	97,7	102	99,9
19	95,4	96,4	95,9	98,2	92,7	95,5	104	104	103,5	106	105	105,4	99,4	103	101,3	99,0	101	100,0
20	93,3	96,4	94,9	95,9	92,1	94,0	105	106	105,1	109	103	106,3	96,6	102	99,1	102	101	101,3
Ø	94,1		94,5		103,4		105,2		98,7		100,6							

První měření tvrdosti proběhlo na odlitcích po odlití v průběhu cca 5 hodin. Druhé měření proběhlo po tepelném zpracování. Jedná se o stabilizační žíhání v průběžné žíhací peci Realistic, kde dochází k ohřevu na žíhací teplotu 250°C, následné výdrži na teplotě po dobu třech hodin a postupnému ochlazení v peci na teplotu cca 40°C. Cílem žíhání je stabilizace struktury, rozměrů, mechanických, fyzikálních a chemických vlastností odlitku. Stabilizační žíhání 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.



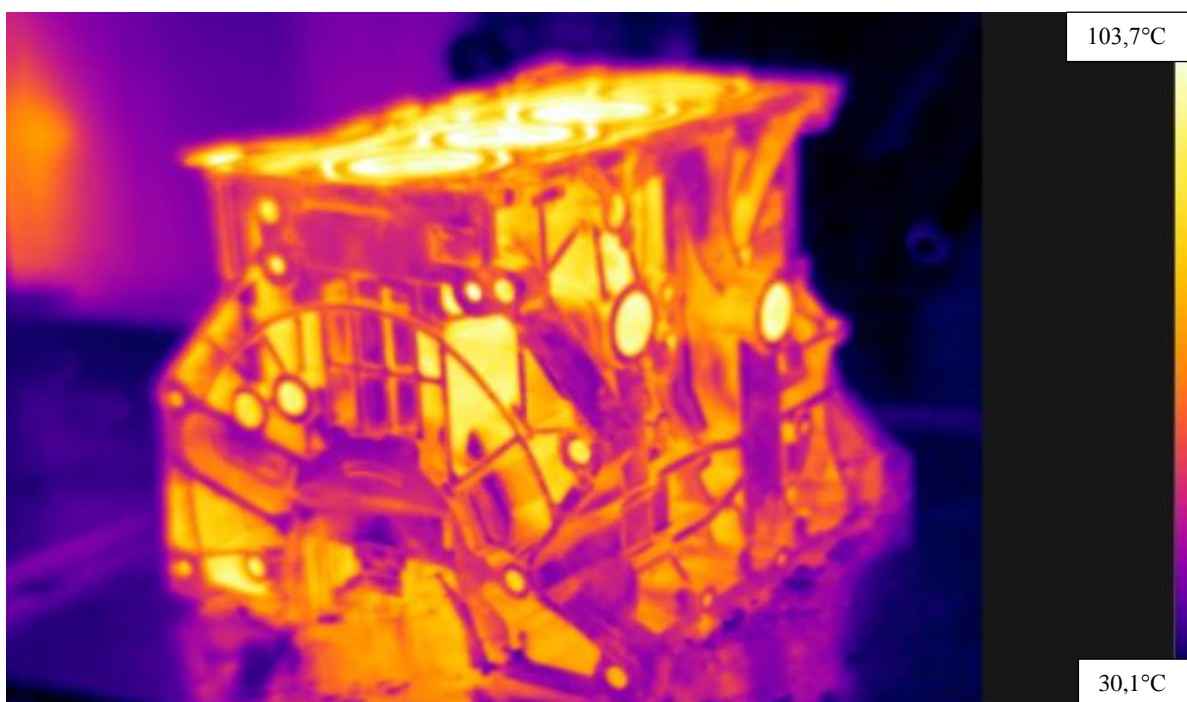
Obr. 28 Graf vyhodnocení primární zkoušky zachlazení pro zjištění doby ponoru

8. 2. 4. Vyhodnocení zkoušky z hlediska doby zachlazení

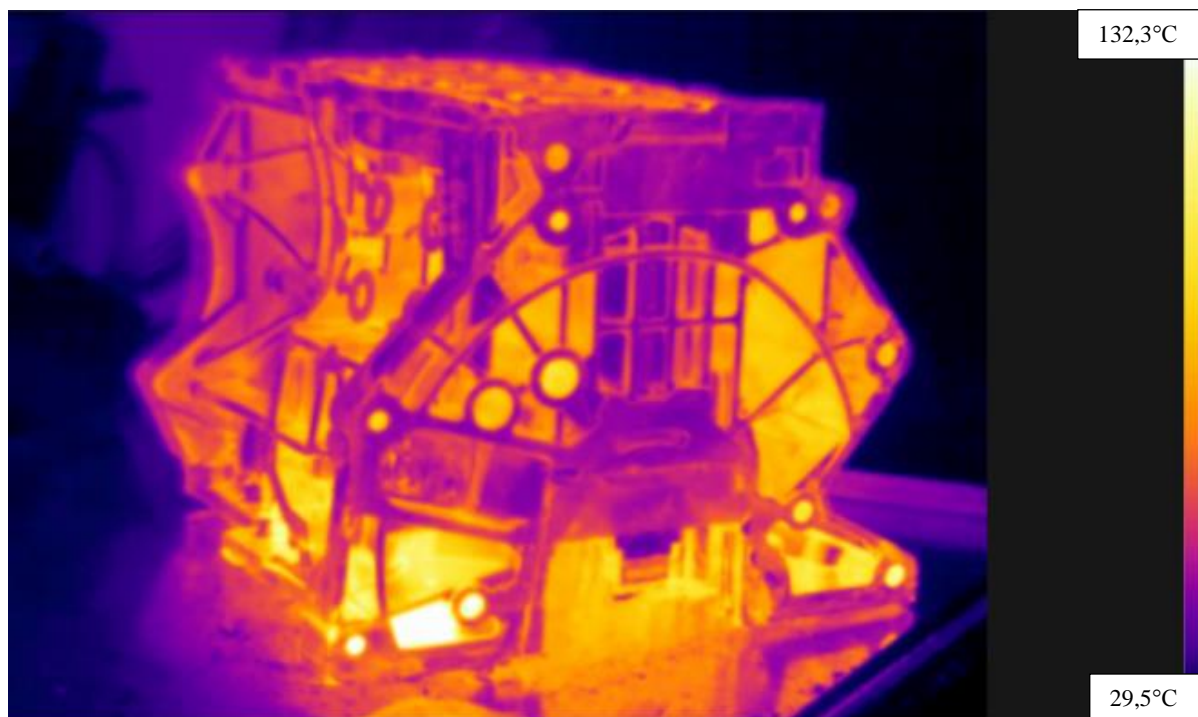
Dle naměřených hodnot lze konstatovat, že zkouška zachlazení proběhla úspěšně. U zachlazení odlitků na dobu 10 s vychází hodnoty tvrdosti lépe, ale stále je značný rozdíl v hodnotách tvrdosti mezi oblastí můstku a kraje. Pro sériovou výrobu tedy doporučuji zachlazení na 20 s až 30 s, kdy dojde k dostatečnému 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.

8. 2. 5. Ergonomické vyhodnocení zkoušky

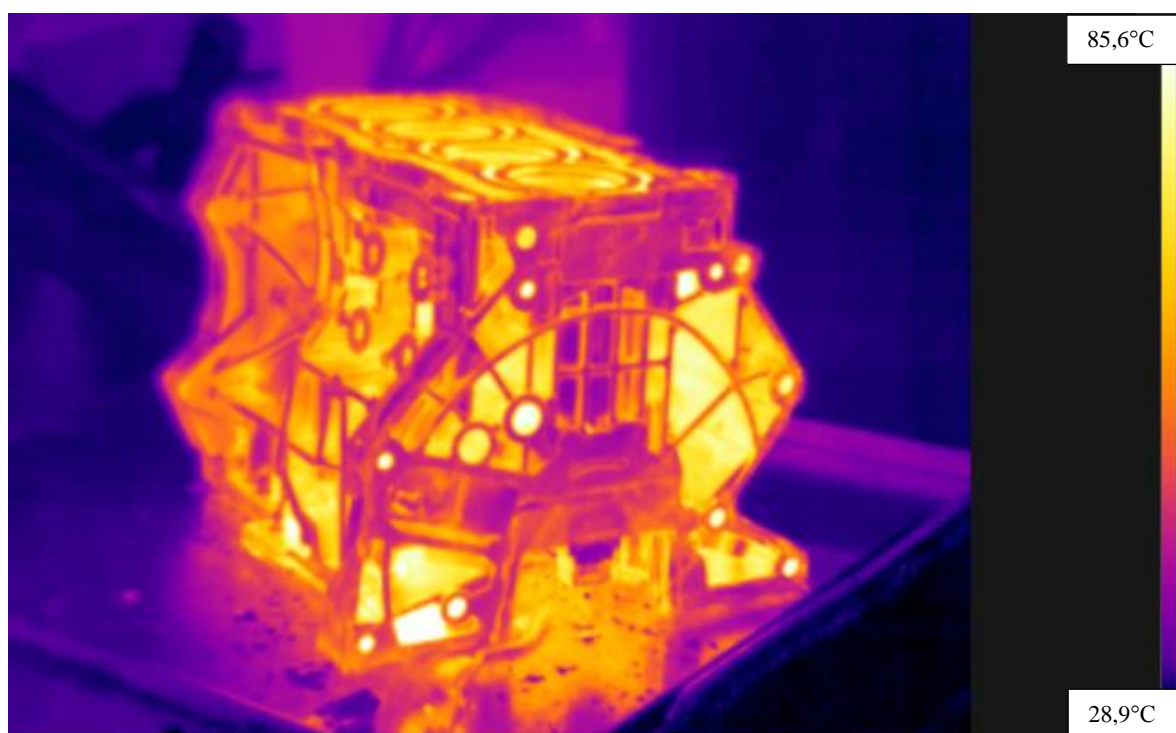
Na všech zachlazovaných odlitcích byla provedena analýza teploty odlitku pomocí termokamery (jednotlivé průměrné teploty odlitku jsou uvedeny u příslušného obrázku). Výsledky byly důležité také pro ergonomické posouzení pracoviště.



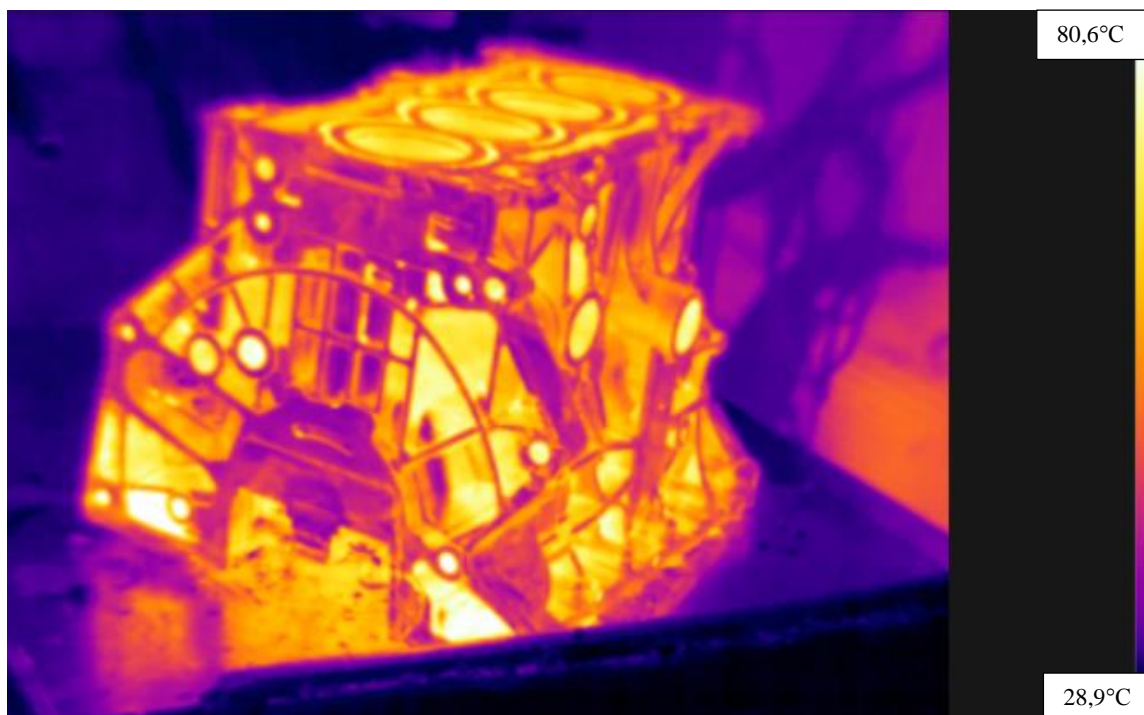
Obr. 29 Zachlazení 10 s - 68°C[3]



Obr. 30 Zachlazení 20 s - 66°C[3]



Obr. 31 Zachlazení 30 s - 56°C[3]



Obr. 32 Zachlazení 52 s - 55°C[3]

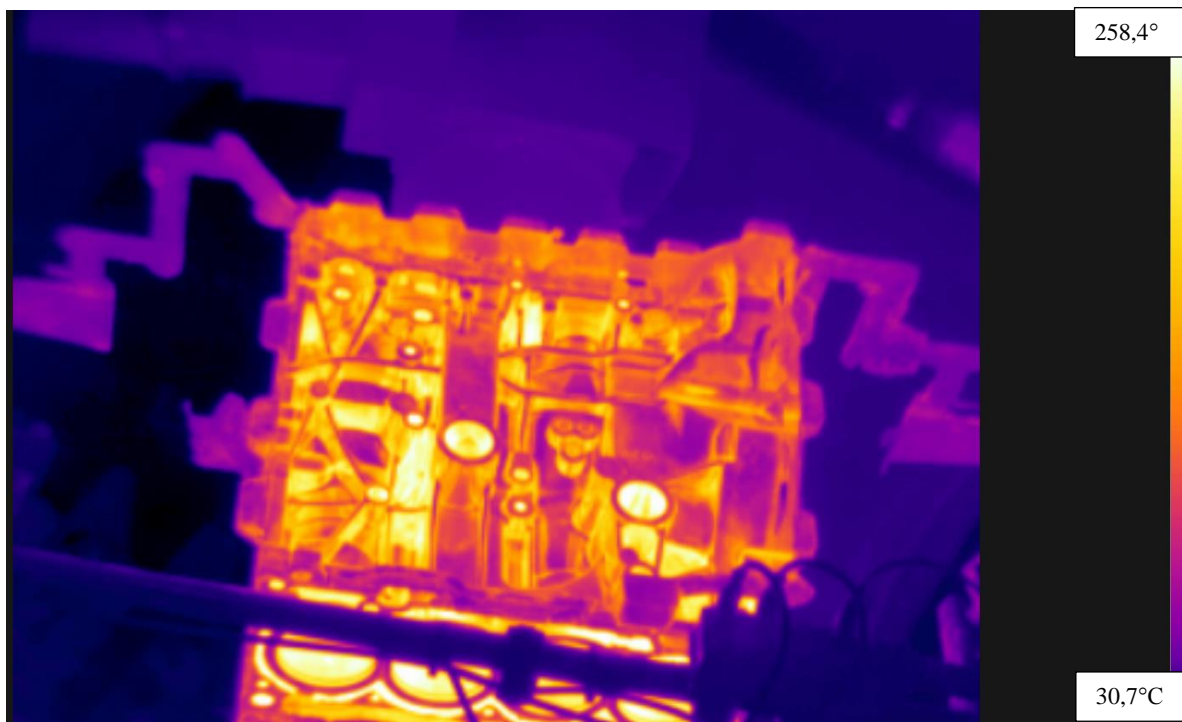
Jednotlivé snímky mohou být zkresleny individuálním měřítkem - stupnicí. Z tohoto důvodu jsou pod snímky vždy uvedeny průměrné hodnoty zachlazených dílů.

8. 3. Zkouška zachlazování (20 s) s rozdílným režimem žihání

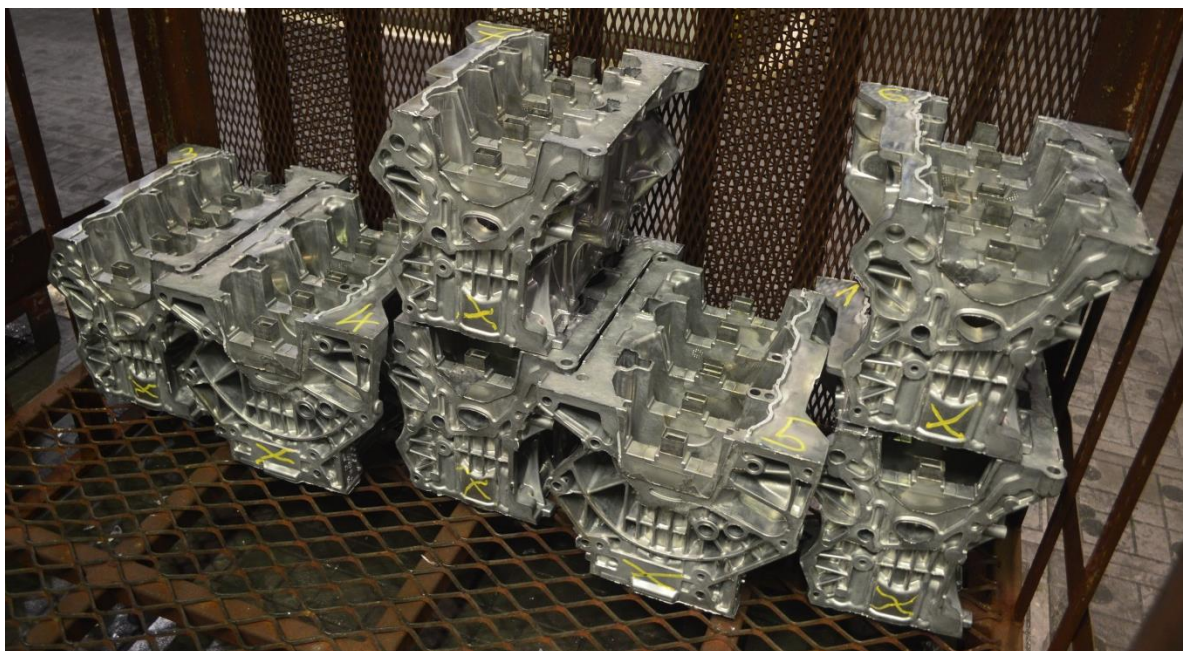
8. 3. 1. Realizace zkoušky

Z výsledků první zkoušky vyplynulo, že nejvýhodnější doba pro zachlazení odlitku je 20 s až 30 s. V rámci úspory doby licího cyklu, z důvodu klasické zachlazovací vany bez automatického výtahu, který by odlitek zachladil bez pomoci robota, byla pro další zkoušku zvolena doba zachlazování 20 s. Oproti prvotní zkoušce se zlepšily podmínky zachlazování, protože již byla vyrobena zachlazovací vana s automatickou cirkulací vody. Zkouška proběhla na licím stroji Idra, na stejném odlitku bloku motoru 1,4 l TSI EA211, i na stejné formě jako zkouška první. Jedná se o zachlazení celkového počtu 12 kusů. Teplota vody v zachlazovací vaně se pohybovala v rozmezí 30°C – 57°C, postupem času se voda zahřívala i když pomocí čerpadla cirkulovala a ochlazovala se sekundárním okruhem. Teplota odlitků při ruční apretaci slévačem se pohybovala od 51°C do 55°C.

Stejně jako u sériové výroby byla zachována i kontrola celistvosti, na obrázku 33. Z tohoto obrázku lze vyhodnotit i teplotu odlitku po vyjmutí z formy ještě před samotným zachlazením. Tato teplota se pohybuje kolem 260°C.



Obr. 33 Snímek z termokamery při kontrole celistvosti[3]

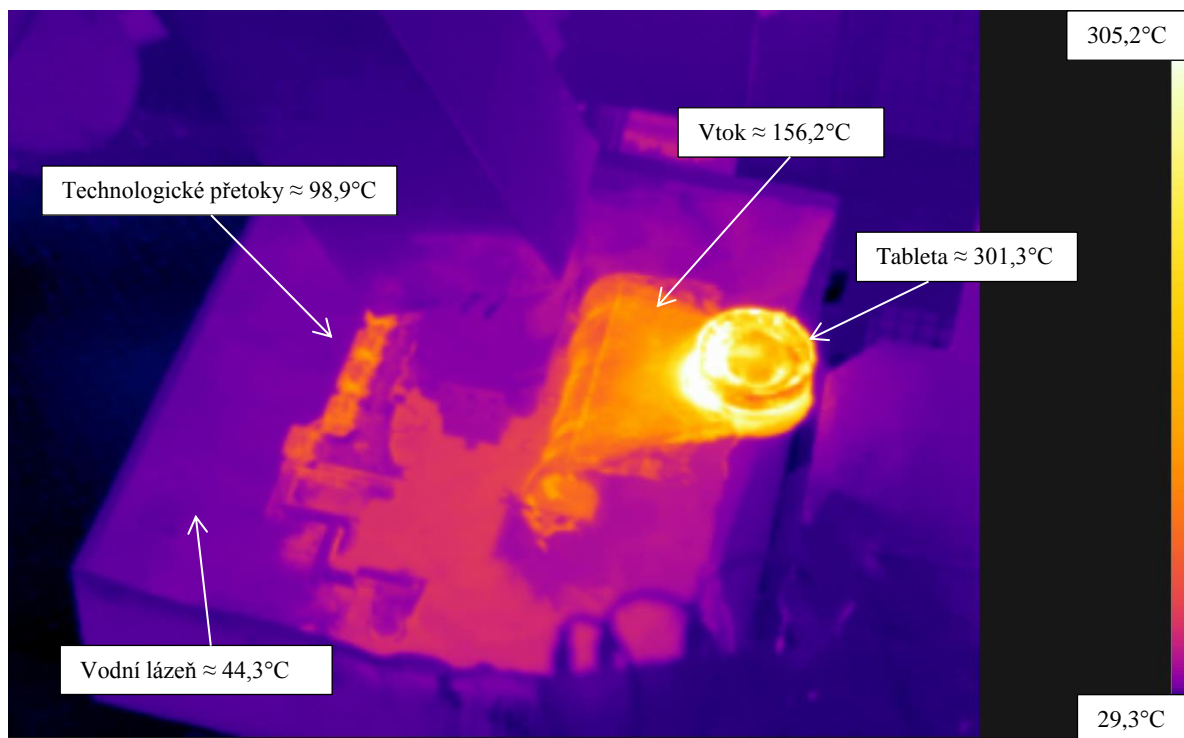


Obr. 34 Ukázka označování dílů uložených v žíhací paletě [3]

Na obrázcích 35 a 36 je dále vidět samotný proces zachlazování, obr. 36 snímán pomocí termokamery, obr. 35 focen klasickým fotoaparátem.



Obr. 35 Snímek při zachlazování odlitku ve vodní lázni [3]



Obr. 36 Snímek z termokamery při zachlazování odlitku ve vodní lázni [3]

Odlišnými výrobními kroky oproti sériové výrobě je pouze dráha robota, kde je zařazena operace ponoření dílu do vody a zkrácena doba, kterou odlitek stráví v olamovadle a je pomocí vzduchového ventilátoru chlazen. Jednotlivé kusy byly očištěny jako v sériové výrobě, označeny číslem a značkou a vloženy do žíhací palety, ve které byly odvezeny od stroje do laboratoře, kde proběhlo první měření tvrdosti. Všechny kusy pokračovaly na operaci žíhání, ale oproti sériové výrobě byla nastavena teplota žíhání na 210°C. Na tuto teplotu byly žíhány díly staré výroby EA111, pouze do května 2015, poté bylo provedeno sjednocení žíhací teploty na 250°C. Teplota výdrže na teplotě zůstala stejná, tj. 3 hodiny a 3 hodiny ochlazování. Po operaci žíhání proběhlo na všech dílech opět měření tvrdosti.

8. 3. 2. Naměřené hodnoty tvrdosti

Tab. 7 Naměřené hodnoty tvrdosti na odlitcích žíhaných na 210°C

TVRDOST HBW - Odlitky žíhané na 210°C																		
č.	Po odlití						Po TZ (210°C)						Po opracování					
	Můstek		Ø	Kraj		Ø	Můstek		Ø	Kraj		Ø	Můstek		Ø	Kraj		Ø
1	99,7	97,8	98,8	99,6	94,0	96,8	105	106	106	107	104	106	101	101	101	101	104	103
2	98,0	98,8	98,4	98,6	95,4	97,0	104	105	105	109	102	106	102	99,4	101	103	101	102
3	97,4	96,0	96,7	98,0	95,3	96,7	106	104	105	105	103	104	99,1	104	102	102	103	103
4	98,4	96,3	97,4	100	96,5	98,3	103	106	105	108	102	105	100	103	102	102	104	103
5	97,2	100	98,6	95,5	99,9	97,7	105	107	106	105	102	104	101	102	105	102	104	103
6	95,0	98,0	96,5	97,2	94,7	96,0	106	103	105	109	101	105	106	103	100	101	101	101
7	98,2	97,4	97,8	95,8	94,6	95,2	108	109	109	106	101	104	99,2	101	100	101	104	103
8	96,7	98,9	97,8	99,9	94,8	97,4	106	107	107	108	103	106	98,0	102	101	101	101	101
9	95,9	101	98,5	96,3	95,3	95,8	105	108	107	108	104	106	99,8	103	101	100	102	101
10	98,2	98,2	98,2	98,5	94,2	96,4	106	102	104	106	101	104	103	104	104	100	98,6	99,3
11	96,8	96,3	96,6	97,8	95,9	96,9	107	104	106	106	102	104	101	102	102	102	102	102
12	97,0	96,2	96,6	94,7	95,7	95,2	105	107	106	105	101	103	102	101	102	102	104	103
Ø	97,7			96,6			105,9			104,8			101,8			102,0		

8. 3. 3. Vyhodnocení zkoušky

Realizace zkoušky zachlazení po dobu 20 s a následné žíhání na teplotu 210°C potvrdilo pozitivní výsledky z předchozí zkoušky. Tím, že tato zkouška proběhla na větším počtu kusů, je prokazatelné, že ke zvýšení hodnot tvrdosti dle Brinella po zachlazení kusů dojde. Výsledky této zkoušky také prokazují nárůst tvrdosti při režimu žíhání 210°C, oproti žíhání na teplotu 250°C, která se standardně provádí v sériové výrobě. Při pravidelném měření tvrdosti v sériové výrobě u dílů, které nejsou zachlazeny a žíhání na 250°C, vychází hodnoty tvrdosti 82 - 85 HBW.

8. 4. Úprava chemického složení materiálu

8. 4. 1. Podmínky realizace zkoušky

Hlavním cílem zkoušky se zúženým chemickým složením materiálu bylo ověření vlivu zvýšeného obsahu křemíku a mědi na výsledné hodnoty tvrdosti bloku motoru. Jedná se o chemické složení dle normy EN 1706, ale rozsah prvků Si a Cu je zúžen dle tab. 8.

Tab. 8 Zúžení rozsahu obsahu křemíku a mědi ve slitině AlSi9Cu3(Fe)

	Si [%]	Cu [%]
Předpis	8,5 - 10	2 - 3,5
Zkouška	9,8 - 10,8	2,8 - 3,5

Jednalo se o dodávku 96 t materiálu se zúženým obsahem Si a Cu. Tato dávka byla tavena v jedné tavicí šachtové peci Striko, a vsázka se skládala z nového materiálu a vratu, který obsahoval pouze technologické přetoky, vtoky a neshodné díly ze zkouškového materiálu. Tavicí pec i pec udržovací musely být před zahájením zkoušky vyprázdněny na minimum a vyčištěny, aby výsledky ze zkoušky byly co nejméně zkreslené. Do zpracovávání nataveného materiálu byly zapojeny celkem čtyři vysokotlaké licí stroje. Dva stroje Idra, na kterých byly odlévány čtyřválcové bloky motorů 1,2 l TSI. A dva stroje pro výrobu tříválcových bloků motorů 1,0 l MPI a 1,0 l TSI, Frech a Müller Weingarten. Veškeré zkušební odlitky se řadí do nové výroby skupiny EA211.



Obr. 37 Tavicí šachtová plynová pec Striko Westofen [3]

8. 4. 2. Realizace zkoušky

V každé osmihodinové směně byly odebrány dva kusy. První kus byl odebrán po dvou hodinách a druhý kus po pěti hodinách od začátku směny. Jednotlivé díly byly separovány, označeny číslem stroje a pořadovým číslem a odvezeny k měření tvrdosti do laboratoře. Jakmile došlo ke změření tvrdosti na odlitcích, pokračovali dále ve standardním výrobním procesu na operaci žíhání. Odlitky byly společně se sériovými odlitky skupiny EA211 žíhány na 250°C s výdrží na teplotě 3 hodiny a následně pomalým ochlazením po dobu 3 hodin. Po operaci žíhání proběhlo opět měření tvrdosti na předepsaných místech a odlitky pokračovaly na předobráběcí linku, kde došlo ke stejnému obrobení, jako se provádí v sériové výrobě. Následně došlo opět ke změření tvrdosti a všechny naměřené hodnoty jsou v tab. 9 a 10.

8. 4. 3. Naměřené hodnoty tvrdosti

Tab. 9 Naměřené hodnoty tvrdosti na 3- válcovém bloku motoru 1,0 l TSI

TVRDOST HBW (3 – válcové bloky motoru 1,0 l TSI)																		
č.	Po odlití					Po TZ (250°C)					Po opracování							
	Můstek	Ø	Kraj	Ø		Můstek	Ø	Kraj	Ø		Můstek	Ø	Kraj	Ø				
1	98,3	99,6	99,0	99,0	101	100	93,9	95,7	94,8	96,5	99,1	97,8	91,3	92,9	92,1	99,3	97,1	98,2
2	95,0	100	97,5	98,1	99,7	98,9	92,9	90,7	91,8	96,8	93,9	95,4	88,8	91,3	90,1	95,0	95,4	95,2
3	92,3	95,1	93,7	95,8	97,3	96,6	90,2	88,5	89,4	94,7	95,0	94,9	89,3	88,1	88,7	95,6	94,6	95,1
4	95,2	96,1	95,7	95,9	96,1	96,0	91,1	90,3	90,7	94,3	96,4	95,4	88,3	88,1	88,2	95,7	92,2	94,0
5	96,9	94,3	95,6	101	98,1	99,6	91,5	92,0	91,8	94,1	95,7	94,9	90,6	91,7	91,2	95,1	93,9	94,5
6	96,0	94,9	95,5	103	97,6	100	92,5	91,0	91,8	98,5	99,3	98,9	89,1	93,4	91,3	98,0	94,5	96,3
7	91,6	93,3	92,5	100	97,8	98,9	89,1	89,4	89,3	94,4	96,2	95,3	88,4	92,5	90,5	99,0	94,6	96,8
8	91,9	94,4	93,2	102	97,4	99,7	89,6	91,1	90,4	99,1	99,0	99,1	88,7	91,8	90,3	97,0	97,0	97,0
9	94,7	96,2	95,5	100	98,3	99,2	91,7	90,5	91,1	98,2	97,6	97,9	88,5	89,8	89,2	95,3	92,4	93,9
10	92,4	94,0	93,2	95,9	101	98,5	90,4	90,9	90,7	96,5	98,2	97,4	89,0	90,3	89,7	96,5	94,4	95,5
11	96,3	93,8	95,1	101	100	101	91,0	89,9	90,5	93,9	93,6	93,8	88,2	91,2	89,7	95,8	93,1	94,5
12	92,8	94,2	93,5	101	99	100	88,0	88,7	88,4	97,1	95,1	96,1	87,4	92,6	90,0	95,3	92,3	93,8
13	93,3	96,0	94,7	101	101	101	91,6	90,7	91,2	94,3	95,2	94,8	85,6	87,7	86,7	92,9	91,1	92,0
14	91,5	93,9	92,7	96,0	101	98,5	88,7	89,4	89,1	95,2	94,0	94,6	84,1	85,5	84,8	91,9	89,8	90,9
15	92,5	93,3	93,0	99,5	103	101	90,8	89,7	90,3	97,9	94,1	96,0	83,7	88,0	85,9	92,0	90,4	91,2
16	95,2	93,2	94,2	106	104	105	88,3	90,6	89,5	97,6	95,7	96,7	83,8	85,8	84,8	93,4	92,1	92,8
Ø	94,7		99,6				90,7		96,2			88,9		94,5				

Tab. 10 Naměřené hodnoty tvrdosti na 4- válcovém bloku motoru 1,2 l TSI

TVRDOST HBW (4 – válcové bloky motoru 1,2 l TSI)																		
č.	Po odlití						Po TZ (250°C)						Po opracování					
	Můstek		Ø	Kraj		Ø	Můstek		Ø	Kraj		Ø	Můstek		Ø	Kraj		Ø
1	88,6	90,1	89,4	97,7	99,9	98,8	88,2	89,1	88,7	95,2	95,6	95,4	84,2	85,6	84,9	90,6	92,7	91,7
2	92,7	96,5	94,6	96,8	101	98,9	89,4	88,0	88,7	98,4	96,9	97,7	87,2	87,4	87,3	93,2	93,8	93,5
3	91,6	91,9	91,8	94,0	98,0	96,0	91,0	86,4	88,7	97,3	98,8	98,1	85,1	86,4	85,8	96,6	95,2	95,9
4	91,6	91,6	91,6	95,6	96,0	95,8	87,6	88,1	87,9	97,3	95,3	96,3	84,7	87,7	86,2	93,6	94,2	93,9
5	93,3	91,3	92,3	98,6	101	99,8	87,8	89,8	88,8	96,4	96,7	96,6	85,6	84,3	85,0	94,4	94,7	94,6
6	89,8	91,9	90,9	102	103	103	88,8	88,3	88,6	97,4	97,2	97,3	84,0	87,4	85,7	95,5	96,8	96,2
7	90,5	92,4	91,5	96,4	101	98,7	89,3	88,2	88,8	94,9	95,4	95,2	86,2	86,1	86,2	93,4	92,0	92,7
8	90,9	93,2	92,1	95,9	98,1	97,0	87,1	87,9	87,5	92,5	92,7	92,6	84,3	84,6	84,5	91,2	90,5	90,9
9	92,5	94,4	93,5	96,5	101	98,8	89,6	91,0	90,3	97,7	97,3	97,5	83,9	84,4	84,2	96,1	95,4	95,8
10	89,6	89,2	89,4	98,3	97,6	98,0	87,1	85,9	86,5	95,5	94,9	95,2	85,4	84,6	85,0	93,4	94,3	93,9
11	93,9	94,7	94,3	105	105	105	91,7	90,9	91,3	99,3	99,0	99,2	87,9	87,8	87,9	95,4	93,3	94,4
12	91,3	89,2	90,3	96,6	98,1	97,4	86,5	85,9	86,2	91,5	92,3	91,9	81,3	82,1	81,7	88,6	90,9	89,8
13	89,4	87,5	88,5	95,1	95,9	95,5	85,7	86,1	85,9	90,7	93,3	92,0	80,8	87,1	84,0	89,7	91,2	90,5
14	88,3	89,3	88,8	93,6	96,4	95,0	85,9	84,9	85,4	93,9	92,3	93,1	83,3	83,1	83,2	88,2	88,8	88,5
15	89,2	90,7	90,0	93,5	96,5	95,0	84,9	86,0	85,5	91,3	92,7	92,0	83,0	83,0	83,0	87,7	86,9	87,3
16	90,5	91,0	90,8	101	102	102	85,6	86,9	86,3	94,9	92,0	93,5	81,6	87,6	84,6	92,4	93,1	92,8
Ø	91,2		98,4				87,9		95,3		84,9		92,6					

8. 4. 4. Vyhodnocení zkoušky

Pro zkoušku se zúženým rozsahem obsahu chemického složení u prvků křemíku a mědi bylo nakoupeno 96 tun materiálu. Jak lze vidět z naměřených výsledků tvrdosti, vliv samotného zvýšení prvků Si a Cu nemá výrazný vliv na zvýšení tvrdosti materiálu. Tento jev je pravděpodobně způsobený faktem, že nedojde k takovému stupni samovolného vytvrzení, jako je tomu u odlitků ze stejného materiálu, které jsou rychle ochlazený pomocí vodní lázně.

8. 5. Úprava chemického složení materiálu s realizací zachlazení

8. 5. 1. Realizace zkoušky

Podmínky zkoušky materiálu se zúženým rozsahem obsahu chemického složení jsou identické a zkouška je rozšířena pouze o přidání operace zachlazování do vodní lázně. Realizace zachlazování dílů ze zkouškového materiálu proběhla pouze na dvou strojích. Na stroji Idra se jednalo o zachlazování čtyřválcového bloku 1,2 l TSI a na stroji Frech zachlazování tříválcového bloku 1,0 l TSI. Zkouška zachlazení probíhala na obou strojích tři směny a od každého typu bloku motoru se zachlazovalo pět kusů po dobu 20 s. Tvrdost byla vyhodnocována stejně jako u předchozí zkoušky, tj. po odlití, po žihání a po předobrobení viz. tab. 11 a 12. Licí takt byl oproti sériové výrobě navýšen ze 157 s na 180 s u tříválcového bloku motoru na stroji Frech a ze 155 s na 182 s na licím stroji Idra. Licí takty jsou samozřejmě závislé i na rychlostech robotů u jednotlivých strojů.



Obr. 38 Zachlazování tříválcového bloku motoru 1,0 l TSI [3]

8. 5. 2. Naměřené hodnoty tvrdosti

Tab. 11 Naměřené hodnoty tvrdosti na zachlazeném 3- válcovém bloku motoru 1,0 l TSI

TVRDOST HBW (3 – válcové bloky motoru 1,0 l TSI)																		
č.	Po odlití					Po TZ (250°C)				Po opracování								
	Můstek		Ø	Kraj		Ø	Můstek		Ø	Kraj		Ø						
1	104	101	102,5	104	106	105	96,6	97,1	96,9	98,3	97,6	97,8	91,8	96,6	94,2	91,2	93,5	92,4
2	101	99,5	100,2	102	107	104,5	96,8	97,6	97,2	98,3	98,7	98,5	94,3	95,0	94,7	92,7	93,5	93,1
3	103	99,3	101,2	103	102	102,5	98,0	97,6	97,8	98,8	98,2	98,5	93,7	94,7	94,2	91,8	94,7	93,3
4	97,5	96,9	97,2	96,8	102	99,4	95,8	95,6	95,7	96,8	97,5	97,2	93,2	93,6	93,4	91,5	93,2	92,4
5	98,5	97,9	98,2	93,6	97,3	95,6	95,0	97,8	96,4	96,2	98,5	97,4	91,2	95,4	93,3	90,5	94,3	92,4
Ø	99,9		101,4			96,8		97,9		94,0		92,7						

Tab. 12 Naměřené hodnoty tvrdosti na zachlazeném 4- válcovém bloku motoru 1,2 l TSI

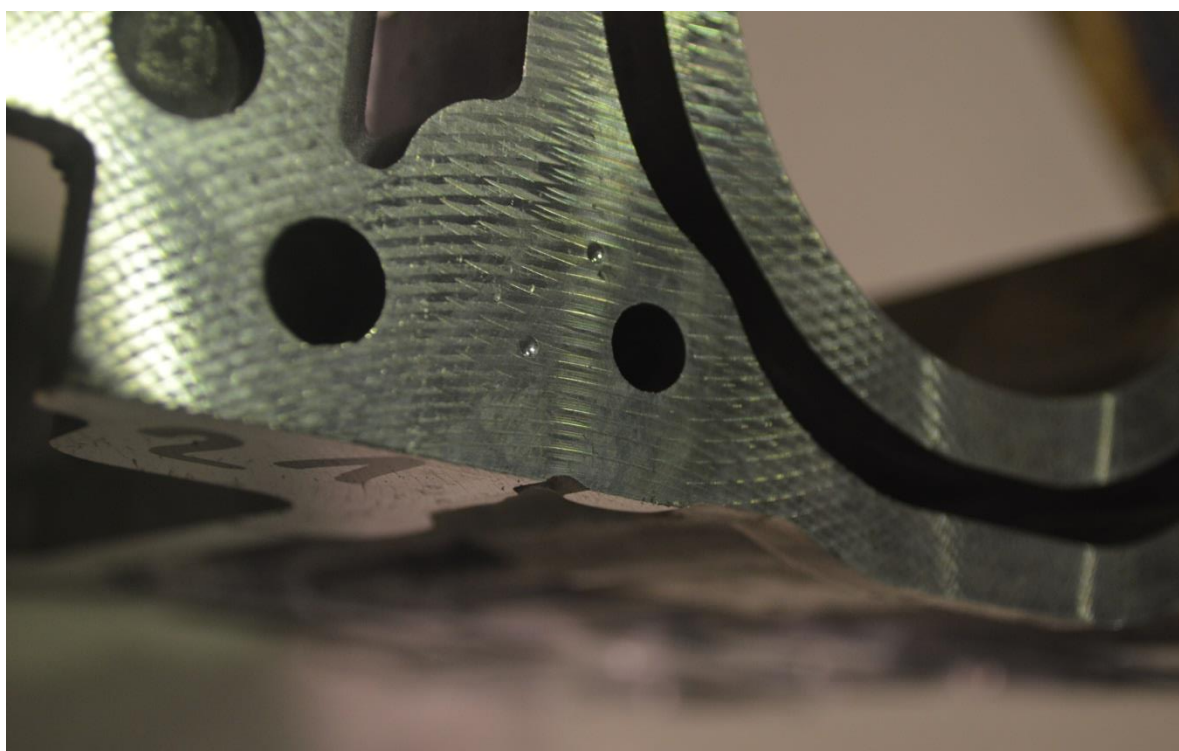
TVRDOST HBW (4 – válcové bloky motoru 1,2 l TSI)																		
č.	Po odlití					Po TZ (250°C)				Po opracování								
	Můstek		Ø	Kraj		Ø	Můstek		Ø	Kraj		Ø						
1	99,9	102	101	105	104	105	97,1	99,0	98,1	98,7	101	99,9	94,8	94,4	94,6	94,2	95,6	94,9
2	97,0	99,1	98,1	103	98,2	101	93,7	95,7	94,7	98,6	97,7	98,2	84,1	83,4	83,8	92,4	92,0	92,2
3	98,6	96,8	97,7	106	108	107	95,8	97,6	96,7	99,6	100	99,8	93,9	93,3	93,6	94,4	91,8	93,1
4	93,1	91,8	92,5	105	105	105	90,6	91,7	91,2	97,0	99,4	98,2	89,9	91,9	90,9	94,5	97,1	95,8
5	91,2	90,5	91,0	104	104	104	88,1	89,0	88,6	99,4	96,5	98,0	86,1	86,4	86,3	91,6	92,9	92,3
Ø	96,1		104,4			93,9		98,8		89,8		93,7						

8. 5. 3. Vyhodnocení zkoušky

Výsledky zkoušky změny materiálu se zachlazením jsou poněkud pozitivnější než výsledky zkoušek tvrdosti bez zachlazení. Oproti zkouškám na bloku 1,4 l došlo k zajímavé změně mechanismu vytvrzování, kdy u odlitků bloku motorů 1,0 l a 1,2 l jsou naměřené hodnoty tvrdosti po odlití vyšší než hodnoty tvrdosti po žihání. U bloku 1,4 l jsou hodnoty tvrdosti po odlití nižší a až v důsledku tepelného zpracování dojde k aktivaci procesu vytvrzování a hodnoty tvrdosti po žihání jsou pak vyšší. Tato skutečnost může být způsobena teplotou vodní lázně při zachlazování nebo dobou měření tvrdosti po odlití.

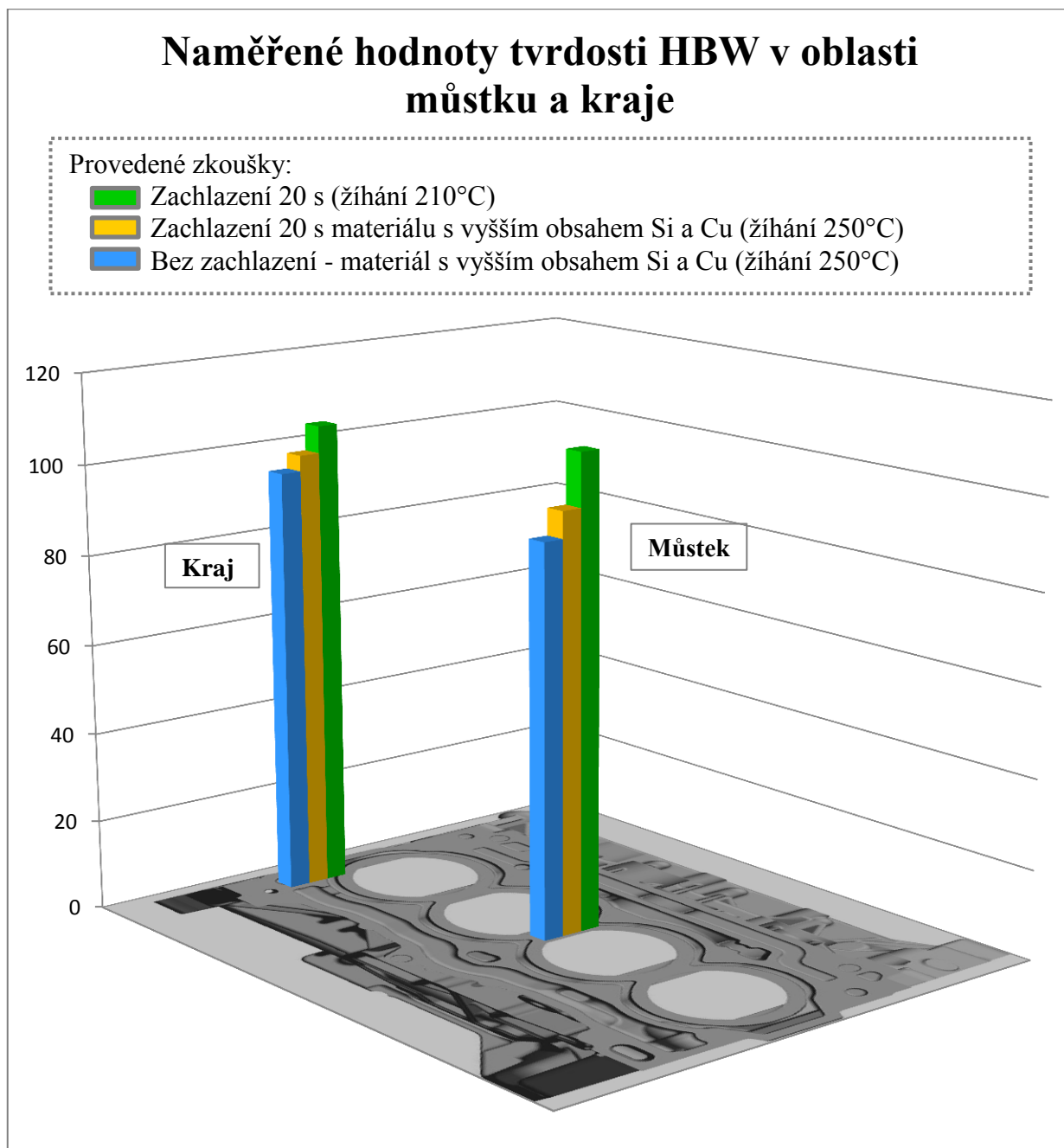


Obr. 39 Měřené vpichy v oblasti můstku mezi válci- měření po odlití a žíhání[3]



Obr. 40 Měřené vpichy v oblasti kraje bloku motoru - měření po obrobení[3]

8. 6. Celkové vyhodnocení zkoušek



Obr. 41 Graf znázorňující hodnoty tvrdosti po provedení jednotlivých zkoušek [3]

V rámci diplomové práce proběhly celkem čtyři zkoušky navržených opatření. Z primární zkoušky zachlazení dílů ve vodní lázni vzešel optimální čas ponoření odlitku, tj. 20 s. Tento čas byl využit při realizaci zkoušky druhé, kdy bylo zachlazen 12 dílů po dobu 20 s a následně byly vyžháný při teplotě 210°C, což je teplota o 40°C nižší než se používá u sériové výroby. V grafu jsou zaznamenány pouze hodnoty po žihání, jak udává předpis.

Výsledky naměřené po této zkoušce byly jednoznačně nejlepší, tvrdosti značně přesahovaly požadovanou hranici a ve všech jednotlivých měřeních byla dodržena hodnota 90+20 HBW. Obě tyto zkoušky proběhly na odlitcích bloků motorů 1,4 l EA 211.

Třetí zkouška proběhla z hlediska pozorování vlivu zvýšené hranice křemíku a mědi v chemickém složení. Tato zkouška jako jediná neobsahovala operaci zchlazení dílu do vody. Výsledky zkoušky však byly negativní a výsledná tvrdost odlitků se zvýšila pouze minimálně. Oproti tomu zkouška zchlazení se zkouškovým materiálem se zvýšeným obsahem křemíku a mědi přinesla pozitivní výsledky. Naměřené hodnoty tvrdosti se pohybují těsně nad hranicí požadavku. Tyto dvě zkoušky se změnou materiálu byly provedeny pouze na blocích 1,0 l MPI a TSI a 1,2 l TSI z kapacitních důvodů. Velikost čtyřválcových odlitků 1,2 l a 1,4 l je však srovnatelná, proto i výsledky je možné porovnat.

I když u zkoušky materiálu se zvýšeným obsahem křemíku a mědi došlo k nepatrnému zlepšení, není tato varianta příliš výhodná, protože požadavek zvýšení procenta jmenovaných prvků neúměrně navyšuje cenu výrobku. Nákup materiálu s tímto chemickým složením je velmi nákladný, a proto toto opatření není vhodné ani pro další zkoušky jako např. změny teplot u tepelného zpracování

Na zchlazených 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 odlitými v sériové výrobě byly odlitky hodnoceny velmi kladně.

Zkoušky zchlazování už v minulosti na bloku motoru byly prováděny, ale z důvodu přilnavosti litinových vložek měla tato zkouška negativní výsledky. Hlavní příčinou špatné přilnavosti zalévaných vložek byl povrch, který byl v minulosti soustružený. V dnešní době se však používají vložky s hrubým litým povrchem a spojení zalisovaného hliníku s litinovými vložkami je nyní bez problému.

Z hlediska konstrukce může být zchlazovací vana chlazena 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 zchlazením je tedy lepší druhá varianta s průtočným systémem.

9. Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo nalézt taková opatření, která by vedla ke zvýšení tvrdosti na odlitcích bloků motorů. V teoretické části jsou popsány důvody vedoucí ke zvyšování nároků na kvalitu dílů slévárny hliníku ve ŠKODA AUTO. Rozhodující vliv má především tlak Evropského parlamentu na zlepšování podmínek životního prostředí prostřednictvím snižování výfukových plynů z osobních automobilů, což má za následek širokou vlnu zájmu z řad automobilek o vývoj nových technologií a materiálů, které povedou ke snižování hmotnosti automobilu, a tím snížení ekologické stopy.

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, vhodná pro odlitek čtyřválcového bloku motoru, s výtahem pro automatické zchlazení se pohybuje až kolem 25 000 €. Protože se tedy jedná o tak velkou investici, bylo nutné provést realizaci zkoušek jako podklad, který by investici obhájil či vyvrátil. Provedené zkoušky 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 předpisu.

Nutnost zachlazovacích van vyplývá i z výsledků zkoušek z hlediska ergonomie, kdy teplota ručně opracovávaných dílů slévačem se pohybuje přibližně kolem 50°C, oproti 250°C v dnešních podmínkách. Slévárna hliníku se řadí do nepřetržitého provozu a pracovníci se zde střídají po osmihodinových směnách. Pokud je cílem slévárny zajistit kvalitní výrobky, je na místě přihlížet i k pracovním podmínkám. Především v letním období jsou podmínky na slévárně velmi náročné a pracovníci jsou vystaveni velkému riziku a námaze. Z ergonomického hlediska tedy jednoznačně vyplývá nutnost realizace zachlazovacích van.

Závěrem práce bych ráda shrnula, že zvýšení hodnot tvrdosti na odlitcích bloků motorů, je dosaženo pouze při zachlazování dílů. Při žíhacích teplotách 210°C bylo dosaženo lepších výsledků, ale je nutné přihlídnout i na rozhodnutí pracovníků z vývoje a konstrukce motorů, kteří jasně předepsali hodnotu žíhání na 250°C, protože při práci motoru a maximálním zatížení by mohla být hodnota žíhání 210°C nedostatečná.

Na realizaci všech zkoušek v diplomové práci bylo použito 74 odlitků bloků motorů a dohromady bylo provedeno 888 změření tvrdosti dle Brinella.

Použitá literatura

- [1] KRÁLÍK, Jan *Publikace 50 let metalurgie ve ŠKODA AUTO*. Praha: Motorpress, 2013
- [2] KOŽÍŠEK, Petr a KRÁLÍK Jan *L&K - Škoda, I. díl: Cesta vzhůru: 1895 - 1995*. Praha: Motorpress, 1995, 249 s. ISBN 80-901-7491-4.
- [3] Interní dokumentace ŠKODA AUTO, a. s. Mladá Boleslav
- [4] Výroba motorů ve Škoda Auto, a. s. Mladá Boleslav. *Automobilové novinky* [online]. 2014 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://ptext.mobi/nachrichten/skoda-produziert-dreizylinder-benzinmotoren-foto-789831>
- [5] Mezinárodní motor roku - 1,4 l TSI. *Novinky koncernu Volkswagen* [online]. 2013 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/de/news/2013/06/tsi.html
- [6] Motory TSI. *Auto lexikon* [online]. 2013 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/tsi-twincharger-stratified-injection/>
- [7] Automobily s motory 1,4 l TSI. *Konfigurátor vozů ŠKODA* [online]. 2015 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://cc-cloud.skoda-auto.com/cze/cze/cs-cz>
- [8] Technické údaje motorů 1,4 l TSI. *Novinky - automobily* [online]. 2013 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/auto/289055-skoda-potvrdila-osm-motorizaci-pro-octavii-zakladem-je-1-2-tsi.html>
- [9] Systém Activ Cylinder Timing. *Nové technologie v automobilech* [online]. 2012 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://ifaster.cz/novy-motor-vw-14-tsi/>
- [10] Technologie vypínání válců. *Trendy ve vývoji VW motorů* [online]. 2012 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: http://www.vwgenuineparts.co.uk/vw_act_active_cylinder_technology_explained.shtml
- [11] Trend downsizingu motoru. *Auto lexikon* [online]. 2011 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/downsizing-motoru/>
- [12] Budoucnost trendu downsizing. *Inovace motorů* [online]. 2010 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://www.sustainable-mobility.org/resource-centre/month-issue/downsizing-or-the-future-of-the-thermic-engine.html>
- [13] Trend downsizingu motoru. *Automobilový magazín* [online]. 2013 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://www.tipcars.com/magazin-automobilovy-konstrukter-downsizing-zakaznici-se-desi-6119.html>

- [14] Zvyšování emisního limitu. *Automobilový magazín* [online]. 2014 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/emisni-limity-0d8-/automoto.aspx?c=A140226_121854_automoto_fdv
- [15] Systém vypínání válců. *Novinky v automobilech* [online]. 2012 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: http://www.autorevue.cz/vwaudi-14-tsi-odpojovani-valcu-realne-video#utm_medium=selfpromo
- [16] Trend downsizing bez zmenšování objemu. *Novinky v automobilech* [online]. 2012 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: http://www.autorevue.cz/vypinani-valcu---downsizing-bez-zmensovani#utm_medium=selfpromo&utm_source=autorevue&utm_campaign=copylink
- [17] Studijní materiály: Grundlagen der Gießereitechnologie; AutoUni Gießerei Technologie Aalen; 15. – 16. 11. 2007
- [18] STREET, A. Ch. *The Diecasting book*. Redhill: Portcullis Press, 1986, 786 p. ISBN 09-019-9498-7.
- [19] HASSE, S. *Giesserei Lexikon. 19. Auflage*, Schiele & Schön Berlin, 2008, S. 341-346, Stichwort: Erstarrung
- [20] MICHNA, Š. *Encyklopedie hliníku. 1. vyd.* Prešov: Adin, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
- [21] NOGOWIZIN, B. *Theorie und Praxis des Druckgusses*, Schiele & Schön Verlag, Berlin, 2011, 45-98.
- [22] Hliník a jeho slitiny. *Studijní materiály FS VUT Brno* [online]. 2013 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databazepredmetu/BUM/bum2008/bum-2008-hlinik-a-jeho-slitiny.pdf>
- [23] BOLIBRUCHOVÁ, D. a TILLOVÁ, E. *Zlievarenské zliatiny Al-Si*, Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2005. ISBN 80-8070-485-6.
- [24] VINARCIK, E. J. *High integrity die casting processes*. New York: John Wiley, 2003, 223 s. ISBN 04-712-0131-6.
- [25] ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných slitin*. Akademické nakladatelství CERM, Brno : 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
- [26] SCHINDELBACHER, G., *Einfluss unterschiedlicher Porosität auf die mechanische Eigenschaften der Legierung GD-AlSi9Cu3*, Gießerei-Praxis, 1993, Nr. 19, 381-392.
- [27] AMBOS E., BESSER W., HONSEL C., SCHULZE M. *Jetcooling – Arbeitsweise, Wirkung und Ergebnisse*, Giesserei-Rundschau, 2011, Nr. 58, 57-61.

- [28] Opravy tlakových licích forem. *Technický týdeník MM Průmyslové spektrum* [online]. 2013 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/povlakovani-a-repase-forem-pro-tlakove-liti-hliniku.html>
- [29] Interní dokumentace ŠKODA AUTO, a. s. Mladá Boleslav - simulace pracoviště vytvořena firmou Bühler
- [30] RAGAN, E. a kolektiv *Liatie kovov pod tlakom*. Prešov: Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity, 2007, 383 s., ISBN 978-808-0739-799.
- [31] Brinellova zkouška tvrdosti. *Metody měření tvrdosti* [online]. 2013 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: http://www.metrotest.cz/files/zkousky_tvrdosti.pdf
- [32] Zkoušky tvrdosti. *Metrotest - zkoušky tvrdosti* [online]. 2010 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: http://www.metrotest.cz/files/zkousky_tvrdosti.pdf
- [33] Zkoušky tvrdosti. *ZČU - zkoušky tvrdosti* [online]. 2012 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/Zkousky_tvrdosti.pdf
- [34] Tvrdost dle Brinella. *Laboratorní zkoušky mechanických vlastností* [online]. 2013 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: http://www.metrotest.cz/files/zkousky_tvrdosti.pdf
- [35] Postup měření tvrdosti. *Informace o měření tvrdosti* [online]. 2011 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://www.merenitvrdosti.cz/tvrdost.html>
- [36] Měření tvrdosti. *Laboratorní měření - mechanické zkoušky VŠCHT* [online]. 2014 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_mechanicke_zkouseni/teorie.htm
- [37] Zkoušky mechanických vlastností materiálů. *Technická encyklopedie* [online]. 2014 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2076