



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta Strojní

Ústav materiálového inženýrství

**Deformace kritických bodů výrobku a změna materiálové struktury polymeru
při různé produkční době chlazení**

**Deformation of critical point on product and change of material structure
influenced by changing of production cooling time**

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Zdeňka Jeníková Ph.D.

Konzultant: Ing. Jiří Valenta (společnost DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o.)

Štěpán Ježek

Praha 2015



Obsah

1. Úvod	3
1.1. Představení společnosti	3
1.2. Cíl práce	3
2. Experimentální část práce.....	5
2.1. Testovaná kritická oblast obalu klimatizační jednotky.....	5
2.2. Předpoklad výsledků	6
2.3. Použitý materiál.....	6
2.4. Výroba vzorků	7
2.5. Značení vzorků	10
2.6. Měření deformace vzorků na digitálním mikroskopu	11
2.7. Měření hustoty materiálu vzorků.....	16
2.8. Měření metodou DSC	22
3. Závěr.....	25
4. Zdroje:	26



1. Úvod

V práci se věnuji problematice krystalizace polymerů při sériové výrobě, vlastnostem materiálu a deformaci změřených bodů dosažených po jeho zpracování.

V práci se věnuji problematice vstřikování plastových obalů klimatizačních jednotek, jejichž materiálem je polypropylen (PP) plněný mastkem. Jejich testování bylo prováděno v laboratořích společnosti DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o. a Ústavu materiálového inženýrství ČVUT v Praze. Dosažené výsledky byly konzultovány s mým konzultantem a s vedoucí bakalářské práce.

Z řezů zvolených kritických oblastí, které jsem vedl pod různými úhly, jsem zjišťoval pomocí mikroskopu deformaci vnitřního funkčního tvaru, ke které mohlo dojít v průběhu upraveného produkčního cyklu. S deformacemi kritických bodů úzce souvisí pevnost budoucího vzniklého šroubového spojení, které by při velké deformaci zvolených bodů nemuselo být funkční a tím by mohlo ovlivnit bezpečnou a trvalou funkci klimatizační jednotky.

Jedním z testů prováděných v rámci této práce bylo také měření hustoty materiálu vybrané části obalu klimatizační jednotky. Hustotu materiálu ovlivňuje změna vnitřní struktury, ale také případné chyby technologického procesu (bubliny ve výrobku). Jedním z předpokladů před začátkem měření byla změna vnitřní struktury, kterou budeme moci sledovat již při měření hustoty a následně potvrdit měřením pomocí DSC metody.

1.1. Představení společnosti

Výsledky vznikly ve spolupráci se společností DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o., která se zabývá výrobou klimatizačních jednotek do osobních automobilů. Ve společnosti se kompletují klimatizační jednotky, vyrábějí se zde plastové obaly jednotek, dále hliníkové součásti včetně výměníků tepla a dalších důležitých hliníkových součástí klimatizačních jednotek.

Jsem rád, že svoji práci mohu zpracovat pro společnost DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o., neboť je to jedna z nejúspěšnějších společností na světě, která se zabývá vstřikováním plastů. V BP budu čerpat i z letitých zkušeností zaměstnanců společnosti DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o. a použiji je ve zhodnocení výsledků mé práce.

1.2. Cíl práce

Při zpracování polymeru, stejně jako ve všech dalších výroбах, je důležitá produktivita práce a počet kvalitně vyrobených kusů. Vedení každé firmy se snaží zrychlovat výrobu až na pokraj výrobních možností podniku, ale se vstřikováním plastů to není tak jednoduché. Potřebujeme, aby si polymer zachoval určité požadované vlastnosti tak, aby výsledný produkt splňoval plánované užité a kvalitativní vlastnosti. Jednou z nejdůležitějších fází výrobního cyklu stroje je proces chlazení výrobku ve formě, které významně ovlivňuje výsledný tvar a strukturu materiálu výrobku. Snižováním délky chlazení ve formě je jednou z možností úpravy času výrobního cyklu, avšak změna ovlivňuje další významné vlastnosti výrobku.

Tato práce má sloužit i jako podklad pro optimalizaci výrobních procesů ve společnosti DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o. pro zrychlení a zkvalitnění výroby. Všechny případné změny výrobních procesů budou podloženy experimentálními daty vzešlých z této práce. Byl bych rád, kdyby moje práce byla přínosem pro firmu, pomohla s ušetřením zdrojů v důsledku zrychlení výroby nebo alespoň potvrzením správnosti současného nastavení strojů. Cílem každé výroby je spokojený zákazník a každý výrobní podnik by se o to měl snažit.



Možnou úpravu výrobního procesu budu vyhodnocovat podle těchto kritérií:

- Deformace zvolené oblasti na klimatizační jednotce
- Zněna vnitřní struktury



2. Experimentální část práce

Nejdůležitější podmínkou zadanou při testech pro optimalizaci produkce bylo zachování současné kvality výrobků. Ve společnosti DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o. je kvalita na prvním místě a proto tuto podmínku zohledním v závěru práce

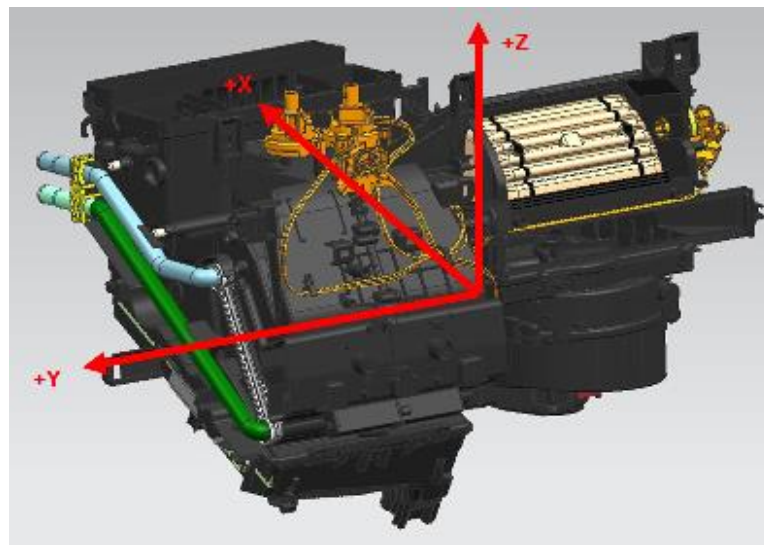
V této práci budu testovat:

- Změnu hustoty polymeru v závislosti na rychlosti a způsobu chlazení
- Změnu krystalického podílu ve zvolené oblasti metodou DSC
- Deformace vnitřního průměru kritických bodů

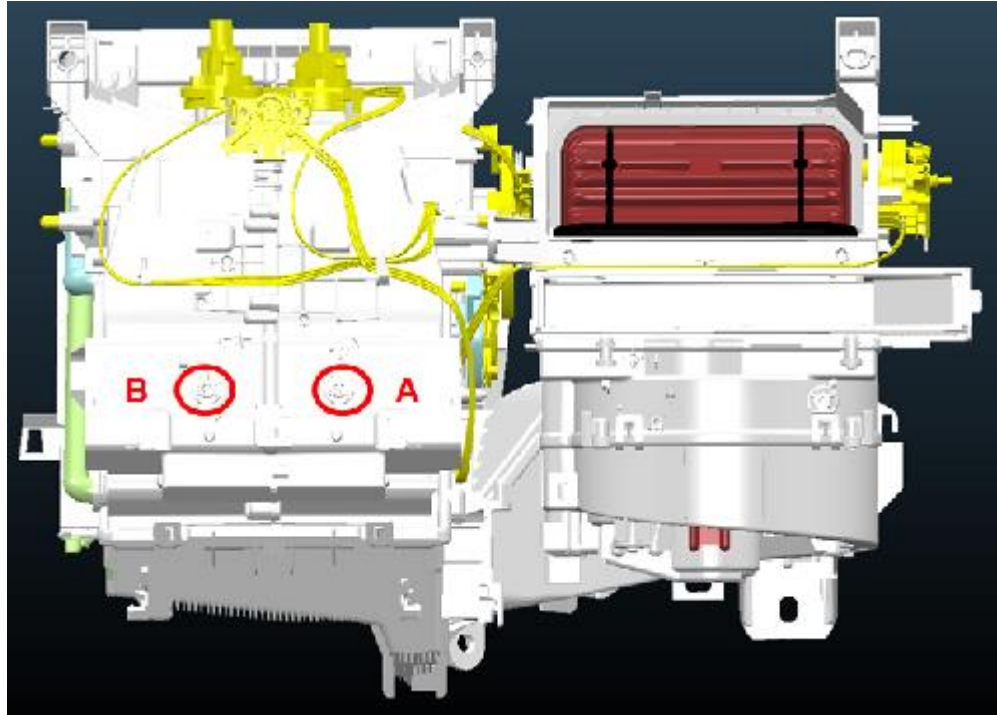
2.1. Testovaná kritická oblast obalu klimatizační jednotky

Zadaná kritická oblast výrobku (RPS bod), kterou se zabývám v této práci je součástí funkčních částí obalu klimatizační jednotky a jeho osa je přesně definovaný bod na klimatizační jednotce, na který je navázán souřadný systém jednotky.

Mnou sledované a měřené RPS body (Obrázek 2) plní upínací funkci, a proto je velice důležité z budoucího funkčního hlediska se vyvarovat deformaci vnitřního průměru a vzniku nevhodné makrostruktury, kterou bychom mohli negativně ovlivnit mechanické vlastnosti spoje.



Obrázek 1 Souřadný systém klimatizační jednotky



Obrázek 2 Zkoumané RPS body

2.2. Předpoklad výsledků

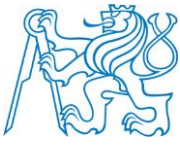
Z nastudovaných materiálů a ze zkušeností mých kolegů v DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o. jsem získal základní přehled pro optimalizaci výroby a pro správné nastavení strojů pro získávání vzorků. Z dříve získaných vzorků, připravených tak, že jsme produkční dobu chlazení zvýšili o 2 a poté 4 vteřiny, jsem věděl, že sktruktura plastového obalu klimatizace se s prodlužováním doby chlazení nemění, a proto jsem se rozhodl, že pro získávání vzorků pro BP budu snižovat čas chlazení až do extrému tj. na hranici soudržnosti materiálu. Doufám, že změnou chlazení (vzorky vyndané z formy na hranici soudržnosti materiálu do prostředí výrobní haly) vyvolám změnu struktury materiálu.

RPS body, kterým jsem se věnoval v této práci, jsou jedním z nejdůležitějších funkčních bodů na celé klimatizační jednotce. Pro uchycení se používají předepsané šrouby s daným průměrem a délkou. Deformací RPS bodu bychom se mohli dostat do situace, že uchycení v místě deformovaného RPS bodu bude nemožné a správně vyrobená a funkční klimatizační jednotka nepůjde upnout na správné místo a tím bude výrobek bezcenný. V práci jsem se pokoušel najít ideální kompromis mezi snížením času cyklu a udržením kvality a funkčnosti výrobku. (RPS bod bez tvarových deformací a strukturálních změn). V RPS bodu je teplotní extrém vstřikovaného kusu, takže na konci výrobního cyklu je to jedno z nejteplejších míst. Proto při snížení doby chlazení se RPS bod bude ovlivňován nejvíc a změny struktury a deformace by měly být dobře viditelné.

2.3. Použitý materiál

V této práci pracuji s semikrystalickým polymerem používaným ve společnosti DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o. pro výrobu obalu klimatizačních jednotek do osobních automobilů. Materiál má obchodní označení Hostacom T20H563 0907 a do společnosti je dopravován ve formě granulátu.

Použitý materiál je polypropylen s příměsí 20 hm. % mastku, který kladně ovlivňuje pevnost materiálu a snižuje rozměrové změny materiálu při chladnutí po zpracování a černé barvivo pro zlepšení optických vlastností a zvýšení praktičnosti. (V motorovém prostoru je černá barva výhodnější než základní bílá).



2.4. Výroba vzorků

2.4.1. Výroba vzorků na vstřikovacím stroji

Vzorky pro tuto práci jsem vyráběl ve společnosti DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o. na stroji pro vstřikování plastů, který se používá pro sériovou výrobu obalů klimatizací.

Snížení výrobního času jednoho cyklu jsem chtěl dosáhnout změnou délky chlazení výrobku ve formě, ovšem bez vlivu na celkovou kvalitu výrobku.

Po ukončení plánované produkce projektu a před změnou formy na jiný projekt jsem využil volný čas stroje a kolegu Miroslava Menšíka pro vytvoření potřebných vzorků. Pan Menšík mi pomohl s pře nastavením stroje do mnou požadovaného nastavení. Kvůli promítnutí technologických změn na výrobek jsem jako vzorek vždy bral až 6. vyrobený kus po změně výrobních parametrů stroje. Předchozích 5 kusů by mohlo být ovlivněno setrvačností stroje a změny v nastavení by se do výrobku vůbec nemusely promítnout. Při sériové výrobě se také prvních pět kusů při začátku výroby vyhazuje.

Kvůli opakovatelnosti měření jsem vytvořil pět sad. Každá sada obsahovala 6ks pro objektivnost měření.

Obal klimatizace se vstřikuje do vícenásobné formy, takže se najednou vyrábí levá i pravá část, ovšem tvar RPS bodu se podle strany obalu mění a tak je možné, že na každé straně dostanu jiné výsledky. Pokud by jedna strana při snížení chlazení byla v pořádku a druhá špatná, nelze doporučit snížení výrobního času.

Jako srovnávací vzorek jsem použil obal vytvořený v produkčním nastavení stroje, při kterém probíhá sériová výroba. Čas celého vstřikovacího cyklu při nastavení pro sériovou výrobu trvá 34,1 vteřiny a z toho chlazení výlisku zabere 16 vteřin. Jako extrémní vzorek jsem zvolil po poradě s technologem p. Hellem kvůli zachování materiálové soudržnosti zvolil minimální čas chlazení 8 sekund, a tím se pokusil snížit celkový čas cyklu o 8 vteřin. Kvůli vytvoření více sad vzorků a postupnému sledování změn jsem jako krok pro snížení doby chlazení zvolil 2 sekundy. Předpokládal jsem, že u vzorků, které v extrému mají rozdíl v délce chlazení 8 sekund, uvidíme rozdíl ve struktuře a tvaru RPS bodu a deformaci celého obalu.

Z důvodu přerušování výroby na stroji potřebném k výrobě vzorků, jsem i první vzorky odebíral až po vyřazení 5-ti prvních kusů. Pro vytvoření 2. sady vzorků jsem snížil čas chlazení na 14 vteřin, opět vyřadil prvních 5 kusů a poté odebral vzorky. Toto stejné jsem opakoval u 3. sady vzorků, kde jsem opět snížil čas chlazení na 12 vteřin. Při výrobě 4. sady vzorků jsme narazili na dříve nepředpokládaný problém. Celkový čas cyklu už nešlo snížit pouze chlazením, neboť rychlost plastifikace materiálu ve šneku uvnitř stroje nebyla dost rychlá pro plynulý cyklus při chlazení pouze 10 vteřin. Proto jsem se rozhodl, že vzorky vystříknu při produkčním nastavení, avšak cyklus nemohl být plně automatický, neboť jsme museli počkat na dostatečné natavení materiálu před čelem šneku. Při výrobě vzorků jsme ale pokračovali v předem zavedených pravidlech, opět jsme vyhodili prvních 5 kusů a až následující kusy jsme brali jako vzorky. Úplně stejnou metodou jsme pokračovali při extrémně krátké době chlazení, které trvalo pouze 8 vteřin.

V získávání vzorků v ručním režimu jsem pokračoval z důvodu možného využití v budoucnu. Pokud bych dokázal, že výlisky jsou plně funkční i při extrémně krátké době chlazení, mohl by mnou testovaný projekt v budoucnu vyrábět na jiném vstřikovacím stroji s vyšším výkonem plastifikace, a tím výrazně zvýšit objem výroby.



Obrázek 3 Vystříknuté obaly klimatizací před odběrem vzorků

2.4.2. Vyřezání a úprava vzorků

Pro získání vzorků na měření vnitřní deformace RPS bodu plastového obalu jsem musel všechny obaly rozřezat na pásové pile, tím jsem vyřízl měřený bod z obalu (Obrázek 4) i s malým množstvím okolního materiálu, z důvodu snížení obtížnosti vyřezání vzorku z obalu, ale i pro lepší následnou manipulaci při přípravě vzorků

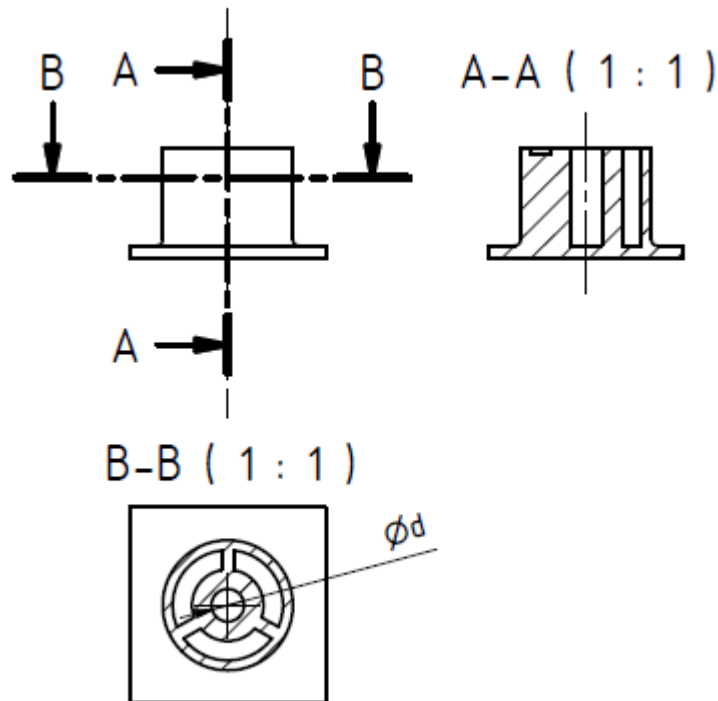


Obrázek 4 Vyříznuté části obalů

Před vyřezáváním částí obalů z obalu klimatizační jednotky, jsem si všiml výrazné deformace vnitřních částí u všech vzorků se změnou doby chlazení. U minimálního času chlazení byla deformace vnitřních částí tak výrazná, že by následná montáž součástí do jednotky mohla být obtížná, možná i nemožná. Tuto skutečnost budu brát v úvahu při konečném hodnocení výsledků testů.



Dále jsem upravoval vzorky podle potřeby testování. První dva vzorky ze stejné série jsem rozříznul rovnoběžně s osou RPS bodu (Obrázek 5, řez A-A) pro zkoumání vnitřní deformace. RPS body jsem rozříznul ruční pilou, pomocí pravítka posuvného měřítka jsem si na čelo RPS bosu naznačil osu a do osy jsem se poté dostal postupným broušením vzorků na brusce. Při broušení vzorků jsem používal chlazení vodou, abych při broušení teplotně neovlivnil vzorky. Pro broušení jsem používal 2 hrubosti brusných papírů, první na větší ubrání materiálu a druhý pro získání hladkého povrchu řezu.



Obrázek 5 Řezy RPS bodem



Obrázek 6 Opracovaný RPS bod rovnoběžně s osou



Druhé dva vzorky ze série jsem uříznul od obalu klimatizační jednotky kolmo na osu RPS bodu. (Obrázek 5, řez B-B) Využil jsem toho, že čelo RPS bodu je kolmé na osu a proto jsem z tohoto řezu schopný změřit vnitřní deformaci průměru (zvětšení či zmenšení). Odříznutou plochu jsem opět brousil stejným způsobem jako u předchozích vzorků. Otřepů na hraně díry jsem se zbavil odhraňovačem. Mírné sražení hrany neovlivňuje přesnost měření, neboť měřím vnitřní průměr, který se sražením nezmění.



Obrázek 7 Oddělený RPS bod kolmo na osu

Předposlední a poslední vzorek ze série jsem využil pro zvýšení množství naměřených hodnot při měření hustoty RPS bodu, protože hustotu bodu by mohly ovlivnit vzduchové bublinky uvnitř materiálu, jejichž objem je zjistit optickou metodou velice těžko.

Poslední vzorek jsem také využil pro měření materiálu metodou DSC. Jako vzorek pro toho měření jsem vybral místo, kde je na RPS bodu nejvíc materiálu, kde je dobou chlazení struktura ovlivňována nejvíce.

2.5. Značení vzorků

Z důvodu velkého množství vzorků jsem se rozhodl pro jednoduchý styl značení vzorků ,první číslo vždy znamená číslo série, druhé číslo kusu v sérii a třetí číslo stranu obalu klimatizační jednotky. Pro názornost přikládám Tabulku 1 a obrázek s vysvětlením.



Tabulka 1 Značení vzorků

	Doba chlazení [s]	Číslo v sérii	Označení bodu (obr.23)
1. série	16	1-6	Bod A = 1 Bod B = 2
2. série	14	1-6	Bod A = 1 Bod B = 2
3. série	12	1-6	Bod A = 1 Bod B = 2
4. série	10	1-6	Bod A = 1 Bod B = 2
5. série	8	1-6	Bod A = 1 Bod B = 2



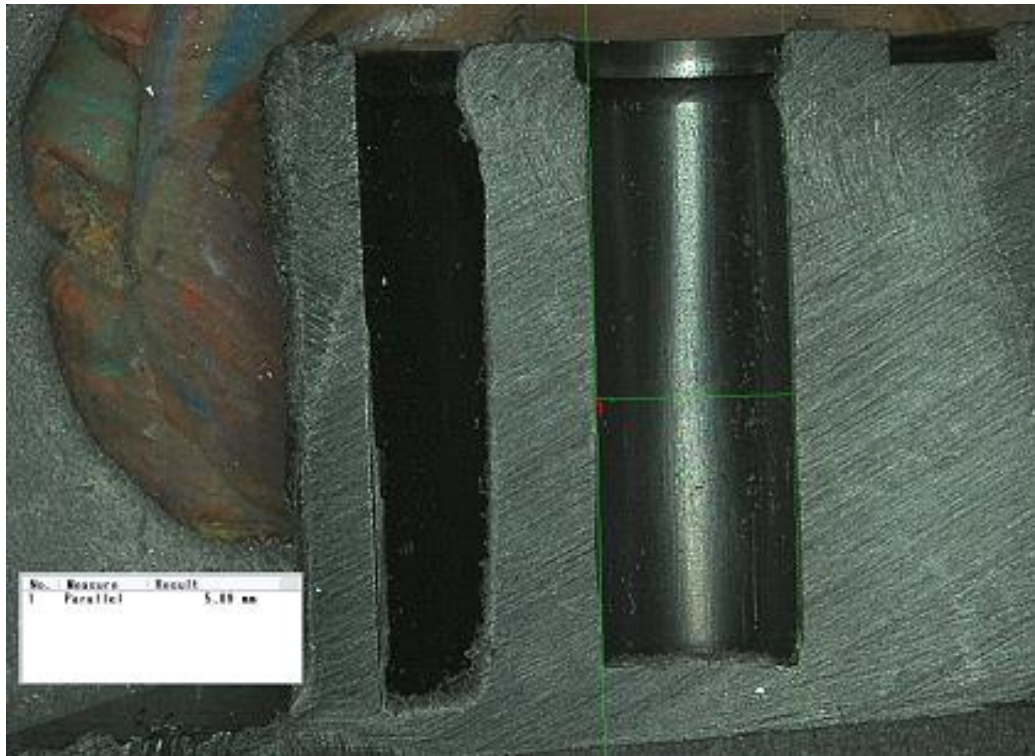
Obrázek 8 Příklad označení vzorku

2.6. Měření deformace vzorků na digitálním mikroskopu

2.6.1. Princip měření

Pro vyhodnocení hodnot deformace RPS bodu jsem využil digitálního mikroskopu s měřicím programem v laboratoři společnosti DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o..

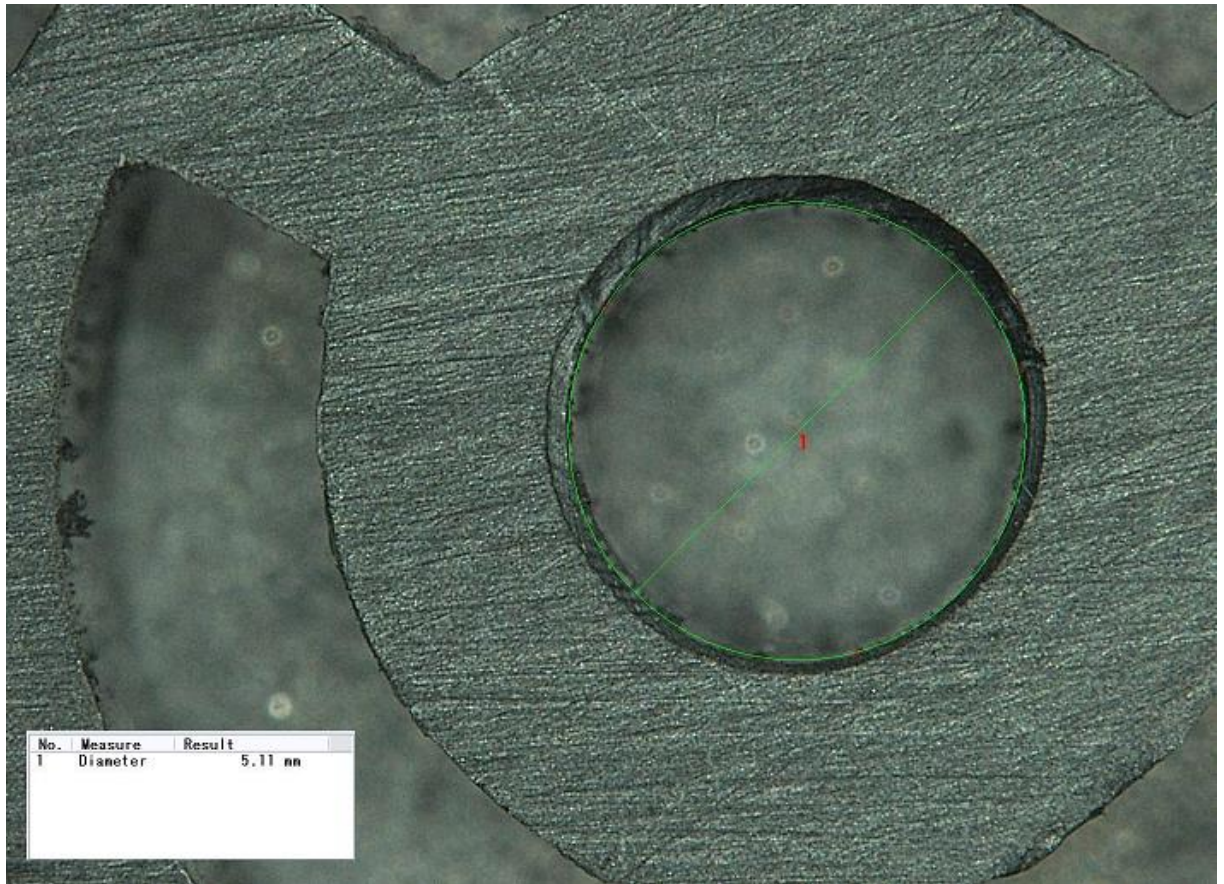
U vzorků rozříznutých rovnoběžně s osou RPS bodu jsem zkoumal viditelnou deformaci vnitřních stěn a rovnoběžnost těchto stran. Při tomto měření rovnoběžnosti přesnost měření ovlivňovala přesnost přípravy vzorků a správné umístění řezu do osy RPS bodu. Proto jsem naměřené hodnoty v programu nebral jako přesné, právě kvůli chybám vzniklým při vytváření vzorků. Vnitřní průměr jsem měřil z důvodů dvou rovnoběžných čar v programu na měření, které při měření názorně ukazovali viditelnou deformaci vnitřního průměru. Přesné hodnoty vnitřního průměru jsem měřil v druhém řezu.



Obrázek 9 vyhodnocování vzorků rozřízých rovnoběžně s osou RPS bodu

Jak je vidět z obrázků k žádné výrazné tvarové deformaci vnitřní stěny v důsledku stěny nedošlo i při extrémně krátké době chlazení a proto podle tohoto testu je snížení produkční doby chlazení možné.

U vzorků oddělených kolmo na osu jsem měřil vnitřní průměr RPS bodu. Toto měření jsem prováděl podle Obrázku (10), pro každý vzorek vždy 5x z důvodu zvýšení přesnosti měření.



Obrázek 10 Vyhodnocování vzorků oddělených kolmo na osu RPS bodu

2.6.2. Vyhodnocení naměřených hodnot

Ve výkresové dokumentaci obalu klimatizační jednotky je velikost vnitřního průměru předepsaná $5,1 \pm 0,1$ mm a tuto hodnotu беру jako závaznou pro vyhodnocování deformace vnitřního průměru

Před měřením vnitřního průměru jsem jeden vzorek oddělený kolmo na osu změřil 15x pro zjištění přesnosti měření. Z naměřených hodnot jsem vypočítal základní statistické veličiny (Tabulka 2) a jako chybu pro následující měření jsem volil $3 \times \sigma_s$

Tabulka 2 Přesnost měření mikroskopem

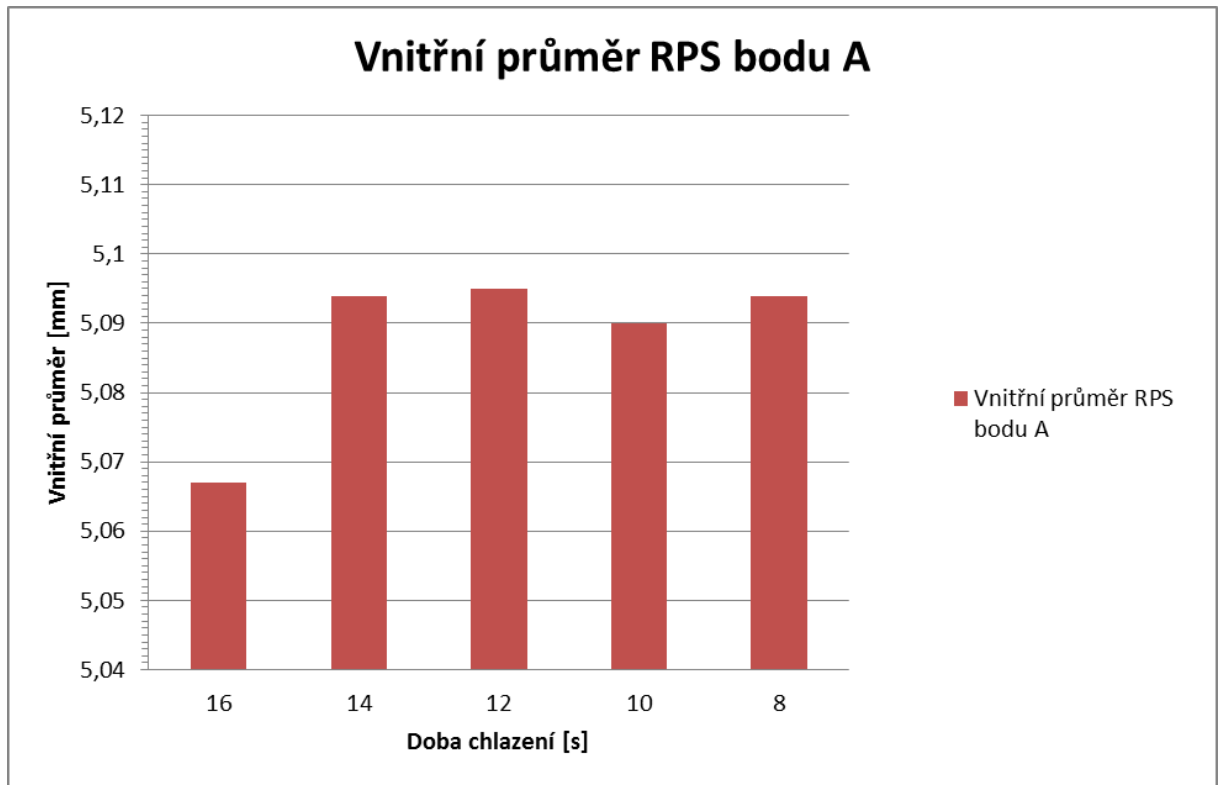
Naměřené hodnoty d [mm]			\bar{d} [mm]	σ_s [/]	Chyba měření mikroskopem [mm]
5,02	5,04	5,02	5,051	0,036	0,109
5,13	5,08	5,13			
5,04	5,01	5,05			
5,04	5,07	5,01			
5,03	5,06	5,04			

Naměřené hodnoty jsem rozdělil podle série a podle strany obalu klimatizační jednotky, pro názornost výsledků měření jsem vytvořil z průměrných hodnot v každé sérii sloupcový graf a poté porovnání výsledných hodnot z obou stran.

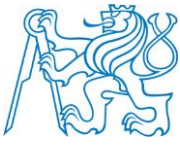


Tabulka 3 Hodnoty RPS bodu A

RPS bod A	vzorek	Naměřené hodnoty d [mm]					\bar{x}_{RPS} [mm]	$\bar{x}_{série}$ [mm]	Rozsah [mm]	
1. série	1/4/1'	5,06	5,05	5,02	5,08	5,08	5,058	5,067	0,028	
	1/5/1'	5,08	5,09	5,06	5,11	5,04	5,076			
2. série	2/4/1'	5,06	5,07	5,16	5,16	5,06	5,102			5,094
	2/5/1'	5,10	5,11	5,08	5,08	5,06	5,086			
3. série	3/4/1'	5,10	5,11	5,07	5,17	5,09	5,108			5,095
	3/5/1'	5,06	5,10	5,09	5,06	5,10	5,082			
4. série	4/4/1'	5,06	5,01	5,08	5,11	5,07	5,066	5,09		
	4/5/1'	5,11	5,11	5,12	5,11	5,12	5,114			
5. série	5/4/1'	5,13	5,10	5,08	5,11	5,14	5,112	5,094		
	5/5/1'	5,07	5,07	5,07	5,12	5,05	5,076			

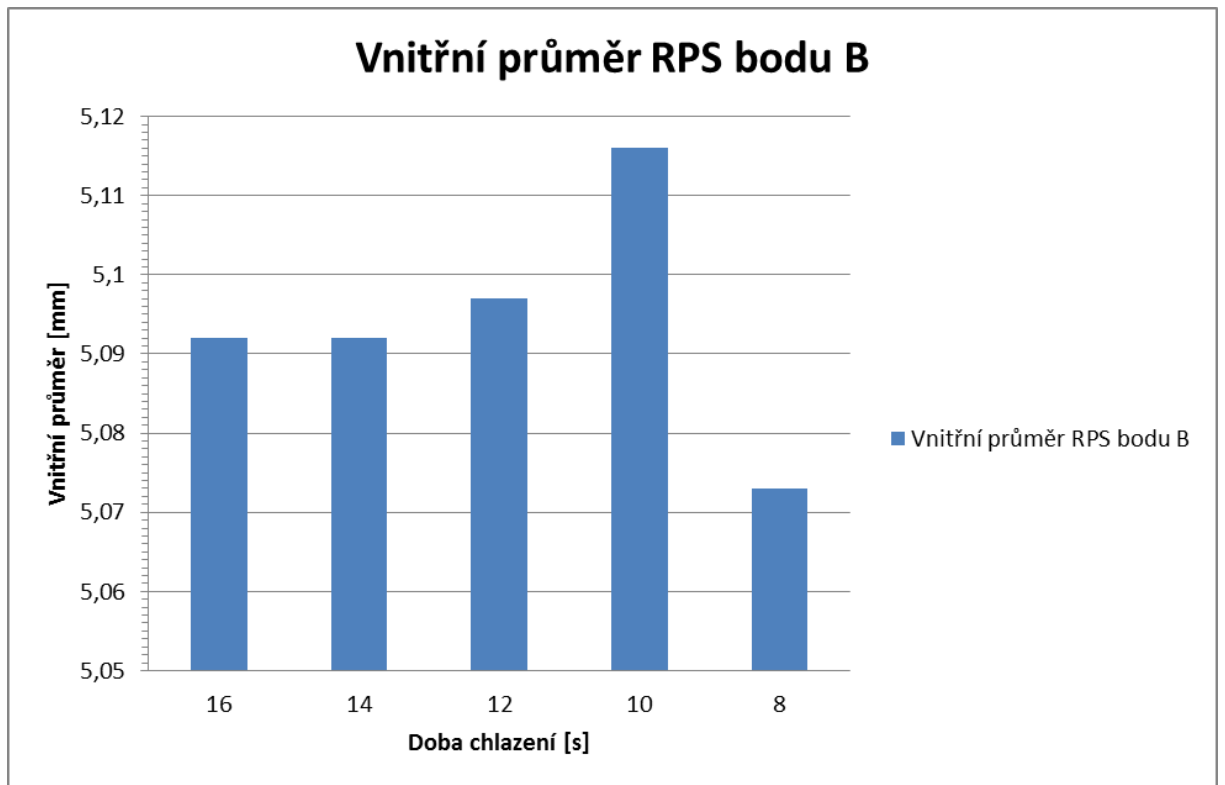


Graf 1 Výsledky měření RPS bodu A

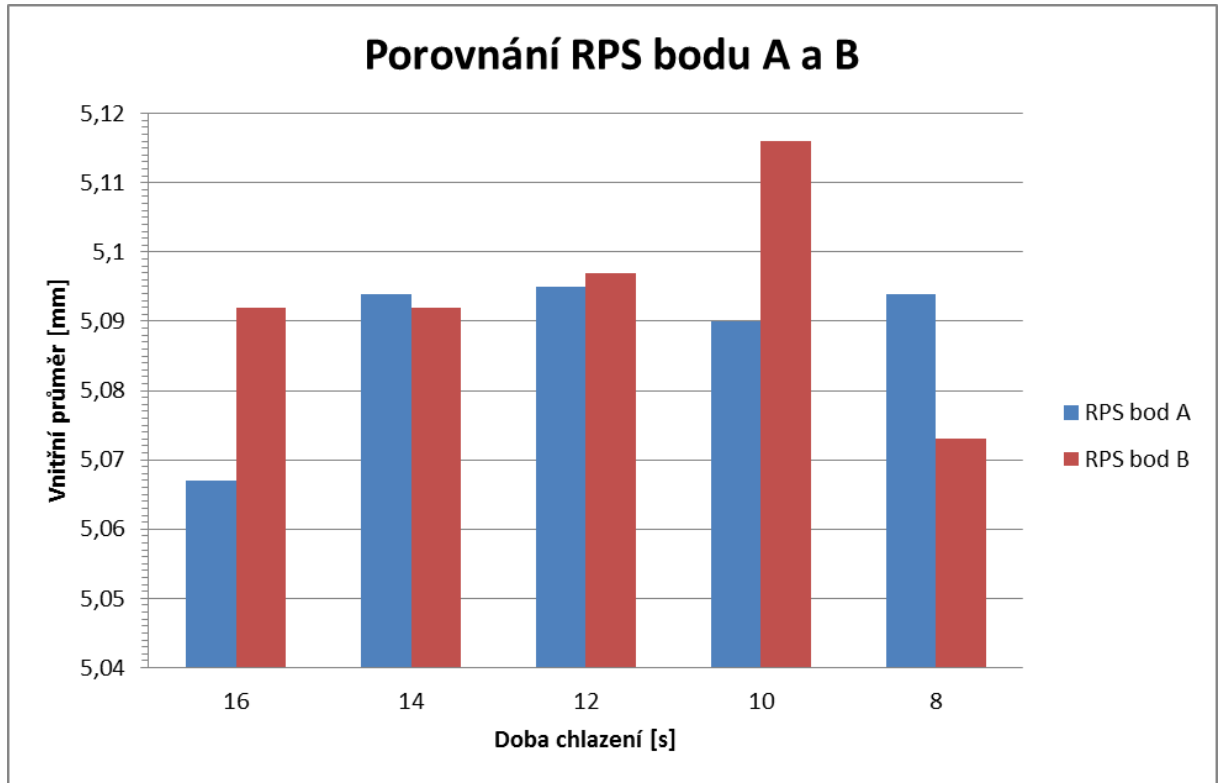
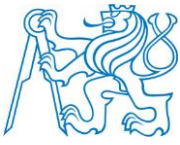


Tabulka 4 Hodnoty RPS bod B

RPS bod B	vzorek	Naměřené hodnoty d [mm]					\bar{x}_{RPS} [mm]	$\bar{x}_{série}$ [mm]	Rozsah [mm]
1. série	1/4/2'	5,06	5,14	5,14	5,06	5,08	5,096	0,043	
	1/5/2'	5,09	5,07	5,09	5,11	5,08	5,088		
2. série	2/4/2'	5,06	5,13	5,11	5,08	5,06	5,088		
	2/5/2'	5,09	5,09	5,13	5,11	5,06	5,096		
3. série	3/4/2'	5,02	5,09	5,03	5,11	5,06	5,062		
	3/5/2'	5,17	5,10	5,13	5,13	5,13	5,132		
4. série	4/4/2'	5,10	5,08	5,07	5,20	5,08	5,106		
	4/5/2'	5,14	5,14	5,08	5,13	5,14	5,126		
5. série	5/4/2'	5,06	5,03	5,05	5,07	5,09	5,06		
	5/5/2'	5,06	5,07	5,09	5,13	5,08	5,086		



Graf 2 Výsledky měření RPS bodu B



Graf 3 Porovnání RPS bodu A a B

Z naměřených hodnot a z porovnání obou stran je zřejmé, že k žádné veliké změně vnitřního průměru RPS bodu nedošlo ani na jedné straně a proto podle tohoto testu by bylo možné snížit produkční dobu chlazení na 8 vteřin. Rozsah průměrů je menší než zvolená chyba měření digitálním mikroskopem a vejde se do předepsané tolerance z výkresové dokumentace, takže vnitřní průměr se se změnou produkční doby chlazení nemění.

2.6.3. Použité vzorce

- Aritmetický průměr: $\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

- Směrodatná odchylka:
$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- Rozsah : $Rozsah = MAX - MIN$

2.7. Měření hustoty materiálu vzorků

Jeden z možných důsledků snížení doby chlazení je vznik bublin uvnitř materiálu. Proto jsem s pokusil vyvrátit tento předpoklad měřením hustoty vzorků. Pokud by se v měřené části obalu klimatizační jednotky vyskytly bubliny, hustota materiálu by se snížila a poté bych byl jednoduchým výpočtem schopný vyjádřit objemové zastoupení bublin.



2.7.1. Princip měření

Hustotu jsem měřil v laboratořích Ústavu materiálového inženýrství ČVUT v Praze v přístroji na měření hustoty materiálu. Před měřením hodnot hustoty vzorků jsem nejprve změřil 10x hustotu jednoho vzorku, abych zjistil přesnost měření hustoty přístrojem. Tuto naměřenou chybu budu brát v úvahu při vyhodnocování změn hustoty vzorků. (Tabulka 5)

Tabulka 5 Přesnost měření hustoty

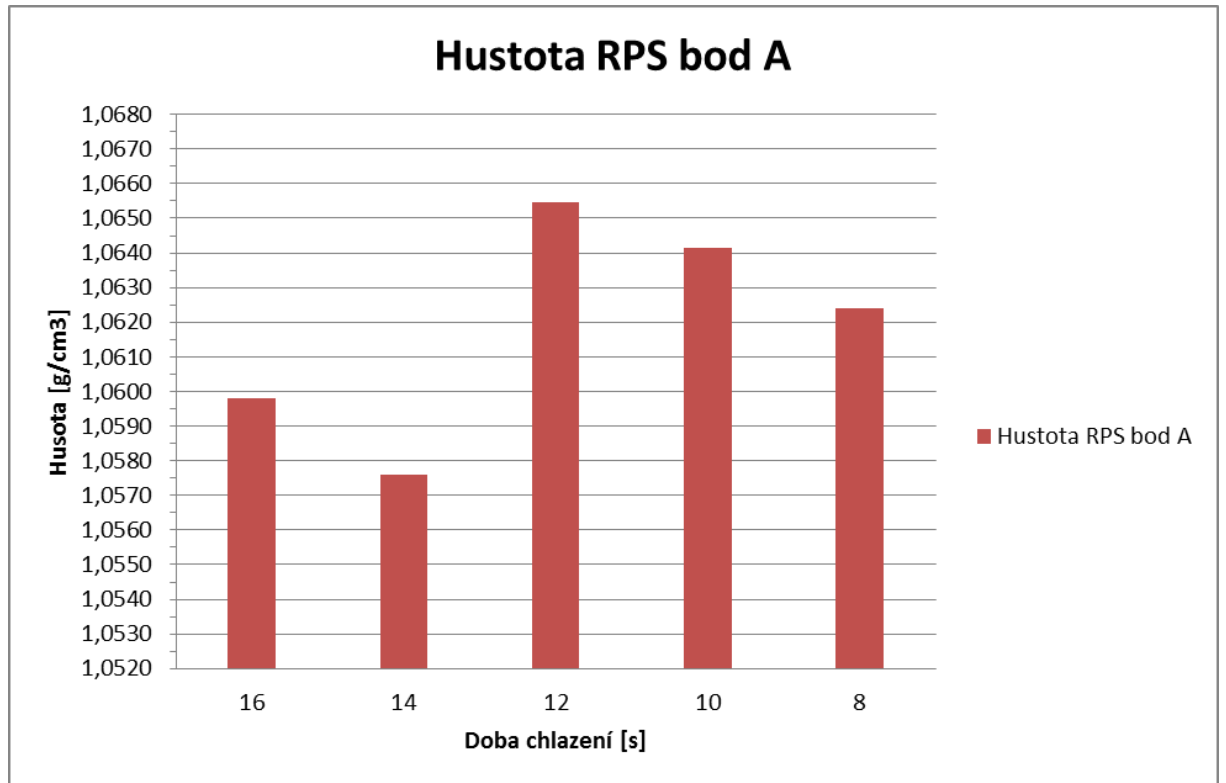
Číslo měření	Naměřené hodnoty [g/cm ³]	Průměr [g/cm ³]	Směrodatná odchylka [g/cm ³]	chyba měření [g/cm ³]
1	1,0701	1,0714	0,0007	0,0020
2	1,0721			
3	1,0720			
4	1,0707			
5	1,0711			
6	1,0713			
7	1,0720			
8	1,0719			
9	1,0715			
10	1,0711			

Měření vzorků jsem prováděl se všemi hotovými vzorky co jsem měl k dispozici z jedné série a strany. Oddělil jsem výsledky vzorků pro body A a B, neboť každá strana by mohla mít jiné vlastnosti. Následně jsem každý vzorek měřil 3x a ze všech naměřených hodnot udělal průměr. Naměřené hodnoty příkládám v Tabulce 6.



Tabulka 6 Hodnoty RPS bod A

RPS A	Doba chlazení [s]	naměřené hodnoty [g/cm ³]			$\bar{\rho}_1 [\frac{g}{cm^3}]$	$\bar{\rho}_2 [\frac{g}{cm^3}]$	σ_s
1.1.1.	16	1,0438	1,0461	1,0803	1,0567	1,0598	0,009176
1.2.1.		1,0447	1,0551	1,0670	1,0556		
1.3.1.		1,0657	1,0664	1,0612	1,0644		
1.4.1.		1,0534	1,0586	1,0575	1,0565		
1.5.1.		1,0687	1,0570	1,0605	1,0621		
1.6.1.		1,0656	1,0558	1,0690	1,0635		
2.1.1.	14	1,0664	1,0641	1,0632	1,0646	1,0576	0,005943
2.2.1.		1,0493	1,0490	1,0602	1,0528		
2.3.1.		1,0595	1,0531	1,0640	1,0589		
2.4.1.		1,0462	1,0606	1,0582	1,0550		
2.5.1.		1,0575	1,0634	1,0481	1,0563		
2.6.1.		1,0562	1,0598	1,0580	1,0580		
3.1.1.	12	1,0723	1,0515	1,0699	1,0646	1,0654	0,005554
3.2.1.		1,0563	1,0585	1,0588	1,0579		
3.3.1.		1,0680	1,0666	1,0707	1,0684		
3.4.1.		1,0630	1,0661	1,0635	1,0642		
3.5.1.		1,0696	1,0686	1,0680	1,0687		
3.6.1.		1,0675	1,0701	1,0690	1,0689		
4.1.1.	10	1,0704	1,0702	1,0694	1,0700	1,0641	0,005735
4.2.1.		1,0565	1,0582	1,0601	1,0583		
4.3.1.		1,0638	1,0614	1,0633	1,0628		
4.4.1.		1,0576	1,0673	1,0662	1,0637		
4.5.1.		1,0667	1,0673	1,0678	1,0673		
4.6.1.		1,0700	1,0692	1,0492	1,0628		
5.1.1.	8					1,0624	0,004815
5.2.1.		1,0569	1,0582	1,0651	1,0601		
5.3.1.		1,0635	1,0559	1,0608	1,0601		
5.4.1.		1,0668	1,0651	1,0692	1,0670		
5.5.1.		1,0631	1,0519	1,0633	1,0594		
5.6.1.		1,0572	1,0693	1,0697	1,0654		

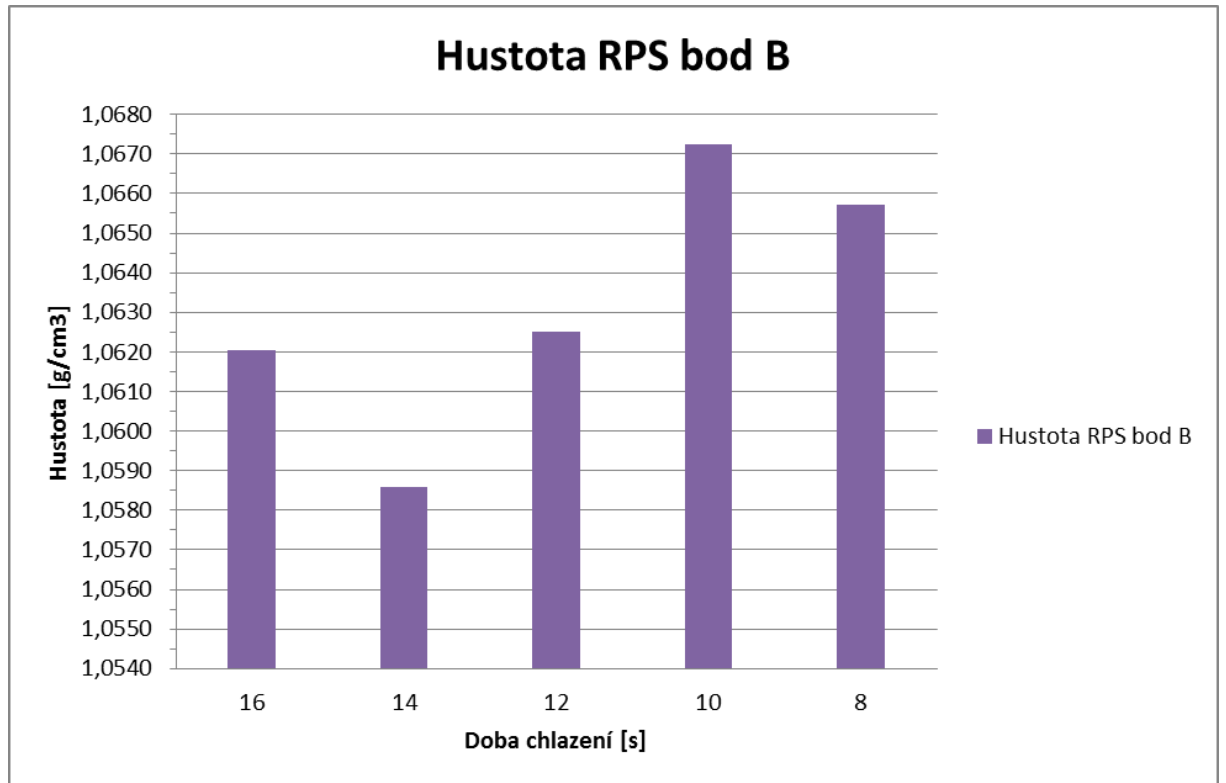


Graf 4 Hustota RPS bodu A

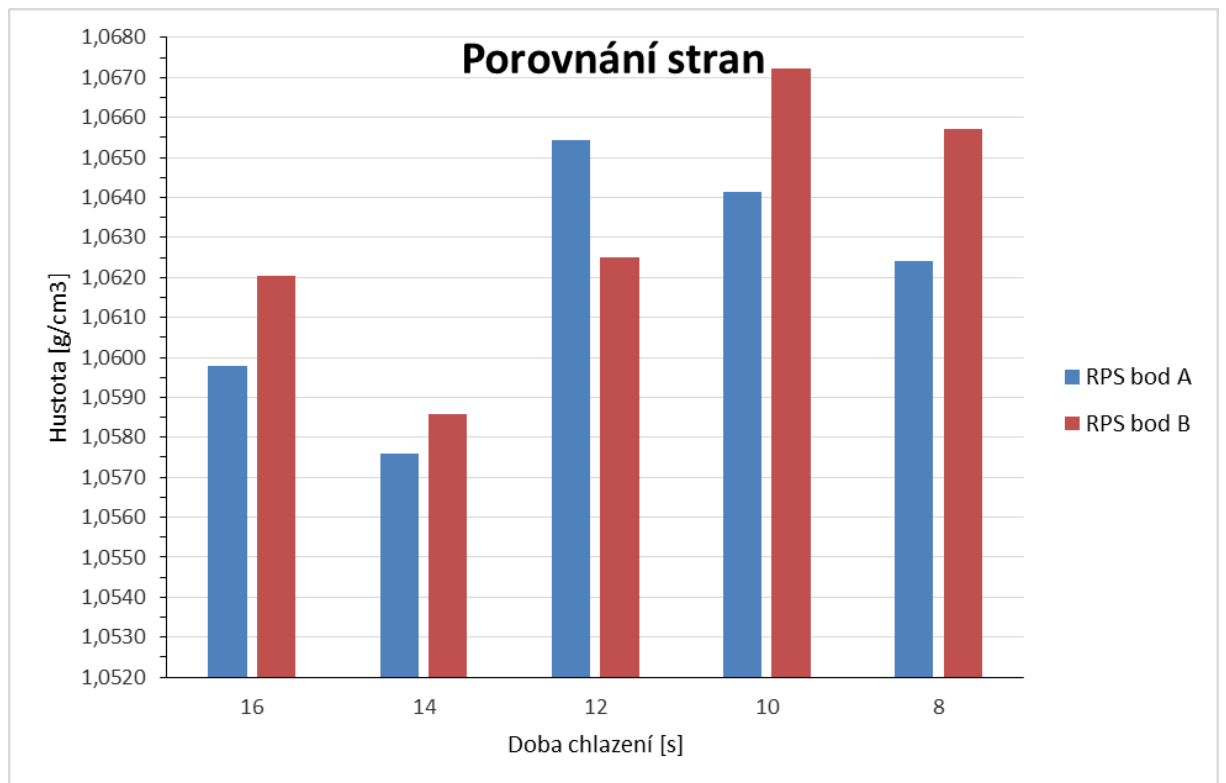


Tabulka 7 Hodnoty RPS bod B

RPS B	Doba chlazení [s]	naměřené hodnoty [g/cm ³]			$\bar{\rho}_1 [\frac{g}{cm^3}]$	$\bar{\rho}_2 [\frac{g}{cm^3}]$	σ_s
1.1.2.	16					1,0620	0,0044
1.2.2.		1,0624	1,0638	1,0681	1,0648		
1.3.2.		1,0628	1,0634	1,0673	1,0645		
1.4.2.		1,0549	1,0608	1,0602	1,0586		
1.5.2.		1,0545	1,0575	1,0614	1,0578		
1.6.2.		1,0682	1,0675	1,0577	1,0645		
2.1.2.	14	1,0582	1,0637	1,0607	1,0609	1,0586	0,004957
2.2.2.		plave	plave	plave			
2.3.2.		1,0544	1,0633	1,0524	1,0567		
2.4.2.		1,0595	1,0518	1,0555	1,0556		
2.5.2.		1,0600	1,0609	1,0656	1,0622		
2.6.2.		1,0483	1,0597	1,0649	1,0576		
3.1.2.	12	1,0568	1,0687	1,0698	1,0651	1,0625	0,006629
3.2.2.		1,0614	1,0426	1,0615	1,0552		
3.3.2.		1,0574	1,0644	1,0662	1,0627		
3.4.2.		1,0590	1,0653	1,0544	1,0596		
3.5.2.		1,0625	1,0649	1,0629	1,0634		
3.6.2.		1,0671	1,0701	1,0699	1,0690		
4.1.2.	10	1,0669	1,0683	1,0708	1,0687	1,0672	0,002501
4.2.2.		1,0659	1,0648	1,0682	1,0663		
4.3.2.		1,0644	1,0636	1,0692	1,0657		
4.4.2.		1,0645	1,0634	1,0670	1,0650		
4.5.2.		1,0646	1,0697	1,0704	1,0682		
4.6.2.		1,0681	1,0710	1,0694	1,0695		
5.1.2.	8	1,0673	1,0681	1,0684	1,0679	1,0657	0,004857
5.2.2.		1,0598	1,0635	1,0658	1,0630		
5.3.2.		1,0686	1,0678	1,0617	1,0660		
5.4.2.		1,0691	1,0695	1,0711	1,0699		
5.5.2.		1,0581	1,0560	1,0574	1,0572		
5.6.2.		1,0716	1,0699	1,0692	1,0702		



Graf 5 Hustota RPS bodu B



Graf 6 Porovnání stran

2.7.2. Vyhodnocení naměřených hodnot

Z naměřených hodnot vychází, že průběh změny hustoty obou stran obalu klimatizační jednoty je podobný, takže zvláštní průběh nemůže být ovlivněn chybou měření. Tento průběh je mimo mé předpoklady, očekával jsem že se zkracující se dobou chlazení ve stroji,



bude růst teplota výrobku a tím se zvyšovat vnitřní podíl krystalické fáze. Snížení hustoty při době chlazení 14 vteřin může být způsobeno vznikem bublin uvnitř materiálu.

Vůči produkčnímu času chlazení (16 vteřin) u RPS bodu A se hustota u doby chlazení 14 vteřin snížila o 0,2% a v maximu při době chlazení 12 vteřin se zvýšila o 0,53%. U RPS bodu B se u doby chlazení 14 vteřin snížila hustota o 0,32% a v maximu při době chlazení 10 vteřin se zvýšila o 0,49%. Z výsledků je vidět, že v důsledku změny délky chlazení ve stroji došlo k velmi malé změně hustoty materiálu. Proto z pohledu tohoto testu bych mohl doporučit snížení produkčního času chlazení, neboť změna hustoty měřené oblasti vzažená k prvnímu vzorku je pod 1%

2.7.3. Použité vzorce

Při vyhodnocování měření hustoty jsem použil stejné vzorce jako při měření deformace vnitřního průměru uvedené v kapitole 4.6.3. Použité vzorce

2.8. Měření metodou DSC

Měření metodou DSC jsem použil pro změření energie potřebné k roztavení krystalické fáze a tím i k určení jejího podílu. Podíl krystalické fáze a změna hustoty spolu souvisí, tak doufám, že z naměřených hodnot touto metodou bude patrná souvislost s měřením hustoty.

Tento test jsem prováděl v laboratoři na Ústavu materiálového inženýrství ČVUT v Praze.

2.8.1. Princip měření

Pro měření metodou DSC jsem zvolil vzorky 1/6/1, 5/6/1, 1/6/2 a 5/6/2 abych porovnal produkční vzorek s vzorkem s nejkratší dobou chlazení ve stroji (8 vteřin). Všechny vzorky byly poslední ze série, takže výrobní proces by měl být už ustálený a v měření by se měla promítnout změna nastavení stroje.

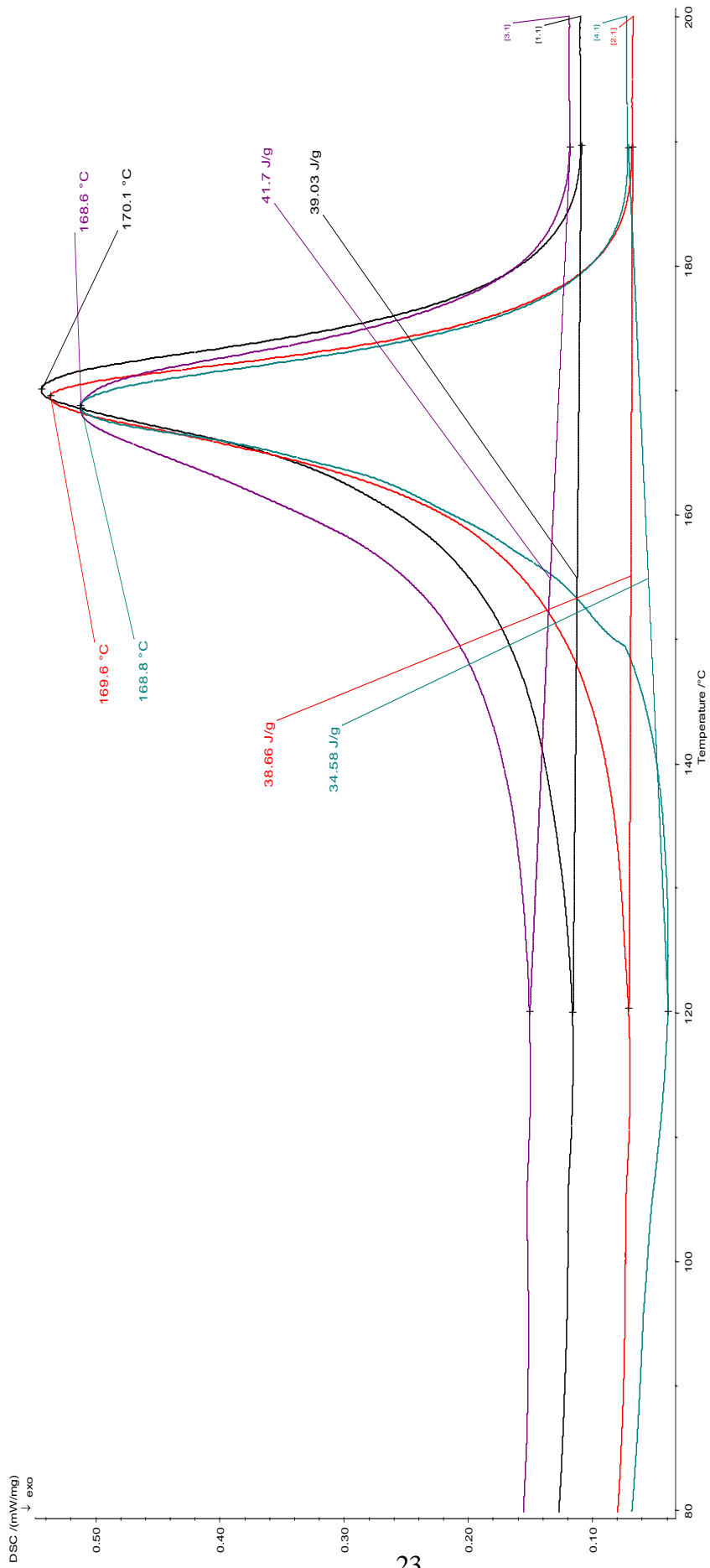
Vzorek o hmotnosti kolem 20 mg jsem bral z nejobjemnější části RPS bodu a z půlky výšky RPS bodu. Díky tomu jsem získal vzorek, který by podle předpokladů měl chladnout nejdéle a jehož teplota byla vždy při vyhození z formy nejvyšší.

2.8.2. Vyhodnocení naměřených hodnot

Naměřené hodnoty přikládám v grafu

Tabulka 8: Vysvětlivky pro graf DSC

barva	vzorek	doba chlazení [s]	RPS bod
Červená	1/6/1'	16	A
Zelená	5/6/1'	8	A
Fialová	1/6/2'	16	B
Černá	5/6/2'	8	B





Z naměřených hodnot vychází, že výrobek s produkčním časem chlazení má vyšší obsah krystalické fáze, i když i naměřených hodnot hustoty vychází, že by to mělo být naopak. Nižší naměřená hustota u doby chlazení 16 vteřin může být způsobena výskytem bublinek uvnitř materiálu.



3. Závěr

Z naměřených hodnot vyplývá, že změna vnitřního průměru zvolených RPS bodů je v předepsané toleranci, změna hustoty materiálů je proti produkčnímu času chlazení pod 1% a z měření metodou DSC vychází, že změna vnitřní krystalické struktury materiálů se také skoro nemění.

Díky těmto výsledkům můžeme tvrdit, že funkčnost upínacího šroubového spoje na klimatizační jednotce je zachovaná i při nejkratší době chlazení ve stroji. Proto podle měřených vlastností je možné zkrátit čas chlazení o 8 vteřin na dobu chlazení 8 vteřin.

V průběhu výroby testovacích vzorků jsem si všiml, že vnitřní části obalu důležité pro správné rozdělení toku vzduchu jsou u všech vzorků kromě produkčního v důsledku dřívějšího vyndání ze stroje zdeformované. V rovině sesazení obalu klimatizační jednotky je vůle, která by mohla snížit účinnost jednotky a také zvýšit hluk při používání.

Tento problém je velice závažný a z kvůli němu nemohu doporučit trvalé snížení produkčního času chlazení.

Po konstrukční či technologické změně, která by zamezila deformaci vnitřních částí obalu klimatizační jednotky, bychom mohli snížit produkční čas chlazení.



4. Zdroje:

- [1] MEISSNER B., ZILVAR V.. *Fyzika polymerů*. Nakladatelství technické literatury, n.p.. Praha 1987
- [2] ZEMAN L.. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. BEN - technická literatura. Praha 2009
- [3] PLAST FORM SERVICE. *Plasty - konstrukční materiály a jejich zpracování*. Praha 2009
- [4] PLAST FORM SERVICE. *Vstřikování plastů*. Praha 2009
- [5]http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [6]http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01-plasty%20uvod/18-tvar%20makromolekul.jpg
- [7]<http://www.petroleum.cz/vyroby/polypropylen.aspx>
- [8]<http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/8960-zdravotni-aspekty-zateplenych-a-pasivnich-budov>
- [9] HELL J. (technolog vstřikování plastů - DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o.) - konzultace
- [10] Menšík M. (Setter vstřikování plastů - DENSO MANUFACTURING CZECH s.r.o.) - konzultace