



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE TECHNOLOGIE VÝROBY VOSKOVÝCH MODELŮ VE FIRMĚ FIMES

OPTIMIZATION OF VAX PATTERN TECHNOLOGY IN THE COMPANY FIMES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAROSLAV ŽUJA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MILAN HORÁČEK, CSc.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jaroslav Žuja

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Slévárenská technologie (2301T014)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Optimalizace technologie výroby voskových modelů ve firmě Fimes

v anglickém jazyce:

Optimization of wax pattern technology in the company Fimes

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pod pojmem optimalizace výroby voskových modelů se rozumí experimentální ověření několika typů voskových směsí používaných ve firmě Fimes jak pro výrobu vlastních modelů, tak vtokových soustav. V současnosti používaná regenerace voskových směsí přímo ve firmě Fimes, používaných poté na zhotovení vtokových systémů, je z hlediska dosahované kvality nevyhovující (výskyt nečistot a popelovin). Do provozu bude nutné zavést takové vosky, které zvyšujícím se nárokům na jejich kvalitu budou vyhovovat.

Cíle diplomové práce:

Experimentální ověření různých variant používaných vosků, tj. kombinací různých modelových a vtokových voskových směsí v provozních podmínkách firmy Fimes.

Porovnání jednotlivých voskových směsí jak po stránce jejich kvality tak i ekonomiky.

Seznam odborné literatury:

BEELEY, P.-R., SMART, R.-F. Investment Casting. Cambridge: The University Press, 1995. 486 p. ISBN 0 901716 66 9.

DOŠKÁŘ, J., GABRIEL, J., aj. Výroba přesných odlitků. Praha: SNTL, 1976. 315 s. DT 621.746.

CAMPBELL, J. Castings. Oxford: Butterworth – Heinemann, 1991. 288 p. ISBN 0 7506 1072.

HORÁČEK, M. Tradition, Present State and Perspectives of Foundry Industry. In: Proceedings of the World Technical Forum. Česká slévárenská společnost, Brno, 1.- 3.6.2009.

HORÁČEK, M., CILEČEK, J. Accurate and Complex NET-SHAPE Castings for Challenging Markets. Foundry Trade Journal. 2007, vol. 180, no. 3641, p. 32-35. ISSN 1758-9789.

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Milan Horáček, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 6.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce má za úkol zhodnotit v současné době používanou voskovou směs a porovnat ji s vlastnostmi nově zakoupených voskových směsí. Dále má zhodnotit, zdali se na kvalitě projevuje „převařovaná vosková směs“, která se využívá jako směs vtoková. Veškeré testy byly uskutečněny ve slévárně Fimes, a. s.

V první části této práce je stručný popis metody vytavitelného modelu. Dále následuje popis voskové směsi po stránce technologické. V experimentální části jsou popsány operace od výroby voskových modelů, přes jejich rozměrovou kontrolu, až do vytavení vosku ze skořepin. Zaznamenány jsou výsledky vytavování a jejich porovnání.

Klíčová slova

Přesné lití, technologie vytavitelného modelu, vosková směs, keramická skořepina, praskání, Fimes a. s., Blayson Olefines Ltd, Remet, voskový model, rozměry modelu

ABSTRACT

This thesis is to evaluate currently used wax and compare its properties with of newly purchased one. Further, it is to evaluate whether the quality is reflected by using "boiled wax", which is being used as a runner wax. All tests were carried out at the Fimes a. s.

In the first part of this thesis, there is a brief description of the lost wax method. This is followed by a decription of wax blends from technology point of view. The experimental part describes the operations from the production of wax patterns, through their dimensional inspection, up until dewaxing process. All the results are noted and compared.

Key words

Invesment casting, lost wax technology, vax, cemamic shell, cracking, Fimes a. s., Blayson Olefines Ltd, Remet, wax pattern, pattern dimensions

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽUJA, J. *Optimalizace technologie výroby voskových modelů ve firmě Fimes*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 84 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Milan Horáček, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma:

Optimalizace technologie výroby voskových modelů ve firmě Fimes

vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Jaroslav Žuja

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Ing. Milanu Horáčkovi, CSc za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	10
1 Teoretická část	11
1.1. Voskové směsi ve slévárenství	11
1.1.1. Historie metody vytavitelného voskového modelu	11
1.1.2. Popis metody vytavitelného voskového modelu	12
1.2. Voskové směsi a jejich složení	13
1.2.1. Fázové změny vosku	13
1.2.2. Složení jednotlivých vosků	13
1.2.3. Rozdělení vosků podle použití.....	15
1.2.3.1. Modelová směs.....	15
1.2.3.2. Voskové směsi na vtoky.....	15
1.2.3.3. Speciální vosky	16
1.3. Regenerace a rekonstituce voskových směsí.....	16
1.3.1. Regenerace	16
1.3.2. Rekonstituce	17
1.4. Zkoušení voskových směsí	18
1.4.1. Bod tuhnutí.....	18
1.4.2. Bod skápnutí	18
1.4.3. Viskozita	19
1.4.4. Penetrační zkouška.....	19
1.4.5. Zkouška ohybem	19
1.4.6. Diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC)	20
1.4.7. Infračervená spektroskopie (FTIR)	21
1.4.8. Oscilační zkouška	21
1.4.9. Zabíhavost	22
1.4.10. Obsah plniva	22
1.4.11. Množství vody ve vosku.....	22
1.4.12. Obsah popela	23
1.4.13. Smrštění	23
1.4.14. Objemová roztažnost.....	23
2 Praktická část	24
2.1. Zkoušené vosky	25
2.1.1. Blayson Recon FR/60	25

2.1.2. Blayson RunnerPlus - Unfilled wax	25
2.1.3. Blayson RunnerFilled.....	26
2.1.4. Remet HYFILL B478.....	27
2.1.5. Remet HYFILL RF1 478	27
2.2. Rozměrové zkoušky na tělese 007-F-053.....	28
2.2.1. Matečná forma.....	29
2.2.2. Vstřikování	29
2.2.2.1. Parametry pro vstřikování zkušebního tělesa 007-F-053.....	30
2.2.3. Porovnání rozměrových přesností.....	30
2.2.3.1. Rozměr A (40 mm).....	31
2.2.3.2. Rozměr B (50 mm).....	32
2.2.3.3. Rozměr C (140 mm)	33
2.2.3.4. Rozměr D (174 mm)	34
2.2.3.5. Porovnání rozměrů 007-F-053	35
2.2.3.6. Shrnutí rozměrových zkoušek na zkušebním tělese 007-F-053	35
2.3. Rozměrové zkoušky na tělese 031-A-014.....	36
2.3.1. Matečná forma 031-A-014	37
2.3.2. Vstřikování	37
2.3.2.1. Parametry pro vstřikování zkušebního tělesa 031-A-014	38
2.3.3. Porovnání rozměrových přesností.....	38
2.3.3.1. Rozměr A (239 mm).....	39
2.3.3.2. Rozměr B (154 mm).....	40
2.3.3.3. Rozměr C (180,5 mm).....	41
2.3.3.4. Porovnání rozměrů 007-F-053	42
2.3.3.5. Shrnutí rozměrových zkoušek na na voskových modelech 031-A-014	42
2.4. Testy praskání skořepin.....	43
2.4.1. Výroba vtokové soustavy	43
2.4.2. Sestavení stromečků	45
2.4.3. Obalování	45
2.4.4. Vytavování vosku v boilerklávu	46
2.4.4.1. Navrtávání skořepiny	47
2.4.4.2. Umístění skořepin na vsázkový vozík	47
2.4.4.3. Použitý boilerkláv	48
2.4.4.4. Operace po vytavení.....	48
2.4.5. Popis jednotlivých vytavovacích procesů	49
2.4.5.1. Vytavování č. 1	49
2.4.5.2. Vytavování č. 2	50
2.4.5.3. Vytavování č. 3	51
2.4.5.4. Vytavování č. 4	53

2.4.5.5. Vytavování č. 5	55
2.4.5.6. Vytavování č. 6	57
2.4.5.7. Vytavování č. 7	58
2.4.5.8. Vytavování č. 8	59
ZÁVĚR.....	62
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	64
SEZNAM OBRÁZKŮ	66
SEZNAM GRAFŮ.....	67
SEZNAM TABULEK	68
SEZNAM PŘÍLOH	69

ÚVOD

Metoda vytavitelného modelu, známá taky jako metoda ztraceného vosku, je technologie, která umožňuje vyrábět odlitky tvarově velmi složité, s malými rozměrovými tolerancemi a s velmi dobrou jakostí povrchu. Lze ji začlenit mezi technologie near-net shape, produkty blízké hotovým výrobkům, u kterých často není nutné dokončování obráběním. U ostatních ploch, které je potřeba obrábět, jsou přídavky na obrábění relativně malé a spotřeba času na jejich odstranění a s tím spojené náklady, jsou zřetelně nižší než u jiných způsobů lití.

Vosk se již ve starověku ukázal jako materiál mimořádně vhodný a využitelný jako termoplastický materiál. Ve středověku se hodně používal pro výrobu uměleckých předmětů. [1]. Po celou historii až do současnosti šlo o materiál omezeně dostupný, a proto tedy velmi drahý. Slovo vosk bylo dříve rezervováno pouze pro včelí vosk, ale postupem času byli lidé schopni vytvořit voskovou směs uměle, proto se nyní jako vosk označují směsi s podobnými vlastnostmi jako původní včelí vosk.

V současné době máme celou řadu vosků, rozdílných vlastností, které jsou upraveny přidáváním různých plniv, čímž se výrazně mění vlastnosti těchto voskových směsí. Snahou je dosáhnout požadovaných vlastností, co nejspolehlivěji a nejlevněji je reprodukovat a použité směsi zpětně recyklovat. [1]

Každá slévárna musí řešit problematiku výběru vhodných vstupních surovin. V případě technologie vytavitelného voskového modelu je vosk surovina naprosto klíčová. FIMES, a.s. jakožto dodavatel odlitků do leteckého průmyslu a držitel certifikace AS 9100 musí nejen používat kvalitní vstupní suroviny, ale u těchto klíčových surovin musí mít náhradního dodavatele.

V současné době slévárna používá na voskové modely směs vosků Remet (40% HYFILL B478 a 60% HYFILL RF1/B478) a vosk Blayson A7 FR/60 je voskem náhradním. Jelikož však Blayson A7 FR/60 je vosk panenský a náklady na 1 kg vosku jsou 5,16 €, vyvstal požadavek na možnost použití vosku Blayson A7 Recon FR/60, což je vosk rekonstituovaný. Náklady na tento rekonstituovaný vosk by se snížily o 50% a mohl by se používat jako primární surovina v sériové výrobě.

Rovněž vtokové vosky mají velkou důležitost a proto bylo do diplomové práce zařazeno ještě téma vlivu vtokových vosků na vytavování. Testovaly se vtokové vosky Blayson RunnerFilled a RunnerPlus.

Vzhledem k tomu, že testování probíhalo v době hlavního výrobního procesu ve firmě Fimes a. s., nebylo možné za účelem experimentu měnit či jinak upravovat parametry výroby. To je důvod, proč výsledky experimentů budou vztahovány k aktuálně používané technologii výroby. Rovněž některé výrobní postupy slévárny Fimes, a.s. budou pouze naznačeny, protože jsou součástí know-how a nemohou být zveřejněny.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1. Voskové směsi ve slévárenství

1.1.1. Historie metody vytavitelného voskového modelu

Metoda vytavitelného voskového modelu je nejstarší slévárenskou metodou. Její historie sahá až 4000 let před naším letopočtem. Podle archeologických nálezů se první odlitky vyráběli v zemích jako je Čína, Mezopotámie a Egypt.

Tehdy slévači používali včelí vosk pro zhotovení modelů, které obalili hlínou a následně vosk vytavili. Do takto připravené formy odlili natavený kov. Velký rozmach nastal v renesanční Itálii kolem roku 1620, kde umělci jako Benvenuto Cellini, produkovali sochy, a jiné ozdobné předměty. Jeden z nejznámějších výtvorů z té doby je Equestrian monument (viz obr 1.1.) v Římě, který vytvořil právě Benvenuto Cellini. [2]

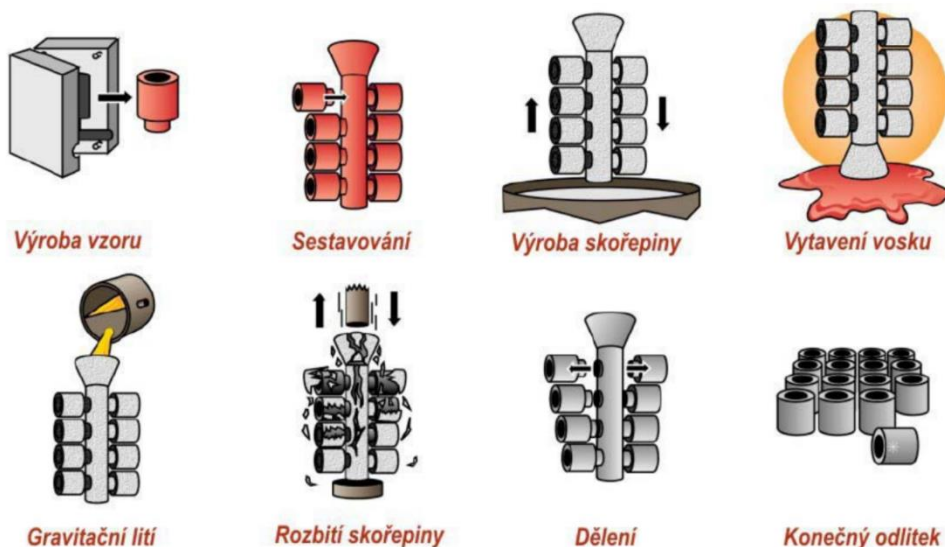
Také díky umění byly kladeny vysoké nároky na tvarovou složitost odlitku. Od té doby se metoda značně vyvinula a její proces byl automatizován. Přesto se tato metoda i v současné době neustále se rozvíjí a zdokonaluje.



Obr. 1.1 Equestrian monument, renesanční Itálie, bronz, rok 1620 [1]

1.1.2. Popis metody vytavitelného voskového modelu

Postup výrobního procesu je zobrazen na obrázku č. 1.2.



Obr. 1.2 Popis metody vytavitelného modelu

Pro proces vytavitelného voskového modelu se nejčastěji používají matečné formy, které jsou vyráběny obvykle z hliníku nebo oceli jako odlitek, obrobek, v některých případech galvanoplasticky, nebo metalizací. Voskový model může být odlitý gravitačně, nebo pomocí vstřikolisu.

Postup:

Nejprve se do připravené formy pomocí vstřikolisu vstříkne natavený vosk. Po ztuhnutí vosku se forma rozdělá a voskový model (vzor) se dále očistí od přetoků a jiných nedokonalostí. Matečná forma se očistí od zbytků vosku, poté se ošetří separačním přípravkem a následně se opět sestaví.

Vyrobené modely se po stabilizaci rozměrů přilepí nebo připájí k vtokové soustavě, která je obvykle vyrobena z vosku o nižší kvalitě, než je vosk modelový (obvykle z regenerovaného, nebo rekonstituovaného vosku). Tímto vznikne tzv. stromeček.

Takto vyrobený stromeček se ponoří do keramické suspenze, následně se posype pískem a dá se vysušit. Tento krok se několikrát opakuje, v závislosti na požadované pevnosti a prodyšnosti formy.

Pro vytavení vosku z keramické skořepiny se obvykle používají zařízení autokláv nebo bojlerkláv, které využitím vodní páry o zvýšeném tlaku a teploty, vosk tepelným šokem vytaví. Další způsob je ponoření skořepiny do vroucí vody. Tento způsob si našel využití při výrobě uměleckých odlitků.

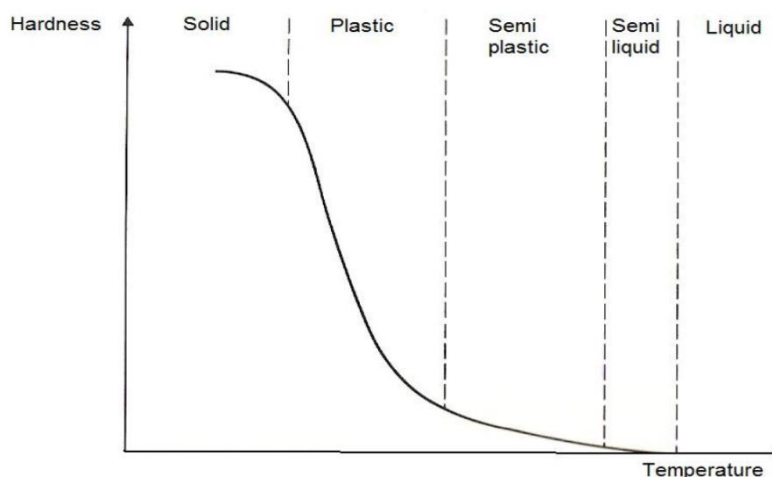
Takto vzniklá skořepinová forma se nechává vysušit, a nebo rovnou se nechá vyžít na teplotu 750 až 1500°C (v závislosti na druhu použitého ostřiva, a odlévaného kovu).

Následuje gravitační odlití kovu. Po ztuhnutí kovu se skořepina rozbije. Následně se vtok oddělí od odlitku, který se očistí, zabrousí, tepelně a rozměrově upraví.

1.2. Voskové směsi a jejich složení

1.2.1. Fázové změny vosku

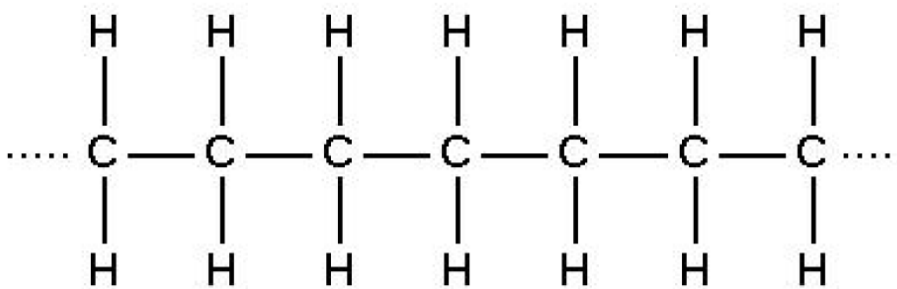
Vosk se netaví okamžitě při zahřátí, ale prochází několika přechodnými stavy. [1]



Obr. 1.3 Fázové změny ve voscích [1]

1.2.2. Složení jednotlivých vosků

1.2.2.1. Parafínové vosky [4], [5]



Obr. 1.4 Struktura parafínových vosků [4]

Parafín je bílá krystalická směs, tvořená z vyšších nasycených alifatických uhlovodíků (alkanů). Struktura parafínových vosků (viz. Obr. 1.4.) se skládá z krátkých přímých řetězcových molekul o 20 až 36 atomech. Typické tavicí rozhraní je v rozmezí od 32 do 66°C.

1.2.2.2. Mikrokrystalické vosky [4], [5]

Jsou vosky vyráběné petrochemicky, a na rozdíl od parafínových vosků se mikrokrystalické vosky skládají z rozvětvených uhlovodíků s mnohem jemnějšími krystaly. Teplota tavení je vyšší (60 až 93 °C).

1.2.2.3. Tvrdé vosky [4], [5]

Jsou to uhlovodíkové estery, které mají teplotu tání od 65 do 120°C. Jedná se o křehké směsi o malé viskozitě.

1.2.2.4. Pryskyřice [4], [5]

Pro přesné lití se používají 3 druhy pryskyřic:

- a) **Uhlovodíkové pryskyřice** - jsou to pryskyřice vyráběny petrochemicky. Mají komplexní, přímé, větvené řetězce kruhové struktury. Bod měknutí je v rozmezí teplot od 18 do 178 °C. Uhlovodíkové pryskyřice jsou hydrogenované, alifatické, aromatické a čisté monomery.
- b) **Syntetické pryskyřice** – jedná se o směs organických sloučenin. Mají komplexní přímé a větvené řetězce kruhové struktury. Bod měknutí je v rozmezí teplot 80 až 180 °C. Typické syntetické pryskyřice jsou modifikované pryskyřice, polymerizované pryskyřice a pryskyřičné estery.
- c) **Přírodní pryskyřice** - je to komplexní směs organických sloučenin, které mají přímé, větvené řetězce kruhové struktury. Bod měknutí u této pryskyřice je mezi teplotami 80 až 180 °C. Příkladem jsou modifikované pryskyřice a hydrogenované, polymerizované a kysele modifikované pryskyřičné estery.

1.2.2.5. Polymery [4], [5]

Podporují houževnatost, viskozitu a další vlastnosti. Nejpoužívanější je EVA (etylvinil acelát). Teplota tavení je 50 až 200°C. Jsou to inertní složky.

1.2.2.6. Plniva [4], [5]

Plniva jsou inertní látky, které chemicky nereagují s žádnými složkami voskových směsí. Slouží pro zlepšení vlastností vosku, jako je snížení množství bublin v tenkých částech formy, snižují kavitaci v silných částech formy, zvyšují tekutost směsí a zlepšují kvalitu povrchu.

Druhy plniv:

- Zesítný polystyren XLPS a XLMN
- Kyselina tereftalová
- Bisfenol A
- Voda

1.2.3. Rozdělení vosků podle použití

1.2.3.1. Modelová směs [4], [6], [7]

a) *Přímá, neplněná*

Jedná se o komplexní sloučeninu vosků a pryskyřic, která se používá pro přesné lití. Modely z tohoto vosku mají lesklý povrch, nízkou popelavost a je možné směs vstříkovat různými tlaky. Po ochlazení modelu dochází ke změně rozměrů. Tato směs může být regenerována nebo rekonstituována.

b) *Emulsifikovaná*

Emulsifikované vosky obsahují emulgátory s přísadou 7 až 12% vody. Voda se částečně chová jako plnivo. Její přítomnost omezuje stahování vosku a podporuje délkovou stabilitu. Emulsifikované vosky mají hladký povrch a je možné regenerovat a rekonstituovat.

c) *Plněný*

Tento vosk je oproti přímým voskům obohacen o práškové plnivo, které je z organického materiálu. Část tohoto plniva v průběhu vytavení shoří, a je důležité, aby zanechalo co nejmenší množství popelovin. Úkolem plniva je snížit stahování směsi. Vlastnosti plniva musí být zvoleny tak, aby nedocházelo ke zhoršování povrchu modelů vlivem separace částic plniva.

1.2.3.2. Voskové směsi na vtoky [4], [6], [7]

Voskové směsi používané pro výrobu vtokových soustav mají odlišné vlastnosti než směsi modelové. Neobsahují polymerové plniva a mají nižší teplotu tání než vosk modelový. Při vytavování vyteče ze skořepiny jako první a uvolní cestu vosku modelovému. Na voskové směsi pro výrobu vtokových soustav jsou kladeny menší nároky, než u vosků modelových, proto jsou často vyráběny z regenerovaných modelových voskových směsí.

➤ *Regenerované voskové směsi*

Vytavené vtokové a modelové vosky jsou následně regenerovány. Regenerace spočívá v přefiltrování vosku od keramických nečistot. Plnivo je vyčištěno a zpětně vmícháno do směsi. Kvalita regenerovaných vosků často neodpovídá požadavkům pro výrobu modelů, proto se využívají pro výrobu vtokových soustav.

➤ *Rekonstituované voskové směsi*

Rekonstituci provádí dodavatel voskové směsi. Vosková směs je po vytavení vyčištěna a smíchána s novými surovinami, které dají vosku požadované vlastnosti. Po rekonstituci se vrací směs zpět do slévárny, kde je použitelná jako modelová.

➤ *Sedimentace*

Funguje na základě rozdílu hustot voskové směsi a nečistot

➤ *Filtrace*

Roztavená vosková směs se filtruje přes textilní filtry

➤ *Odstředivý způsob*

Vysokorychlostní centrifuga oddělí voskovou směs od nečistot na základě měrné hmotnosti.

1.2.3.3. Speciální vosky

Tyto vosky slouží především pro opravy modelů, sestavování a další speciální aplikace. Mezi ně patří:

- Měkký opravovací vosk
- Tvrdý opravovací vosk
- Lepivý vosk
- Hluboce těsnící vosk
- Řetězový vosk
- Vodou rozpustný vosk

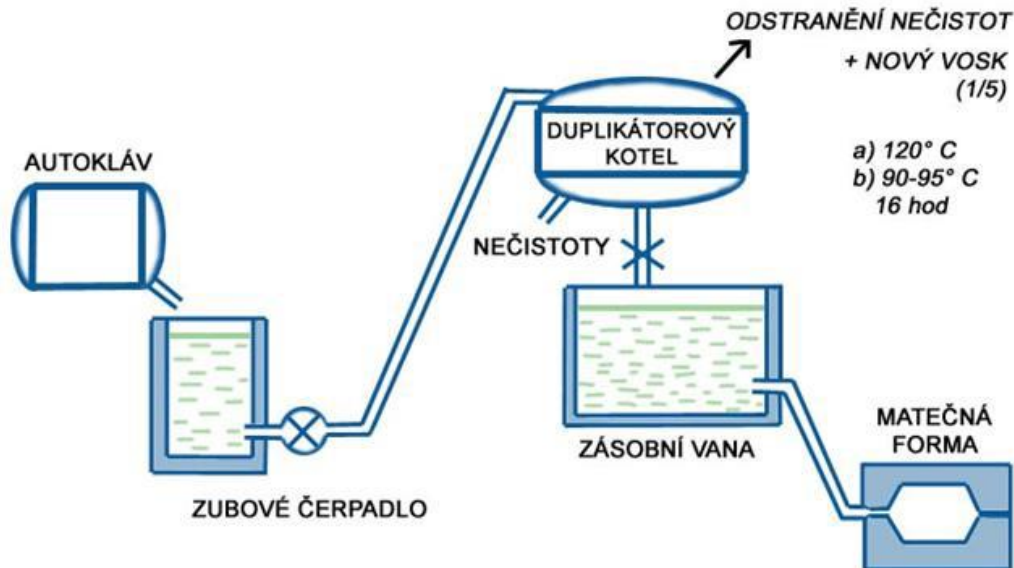
1.3. Regenerace a rekonstituce voskových směsí [2] [10]

Vosková směs po použití ztrácí požadované vlastnosti a nelze ji znovu použít. Proto je důležité jak z ekonomických, tak z ekologických důvodů ji znovu recyklovat, a obnovit její původní vlastnosti. Pro tento účel existují dva procesy:

1.3.1. Regenerace [2] [10]

Při regeneraci dochází pouze k částečné obnově technologických vlastností. Regenerovaný vosk se používá pouze jako vosk vtokový.

REGENERACE VOSKOVÉ SMĚSI



Obr. 1.5 Regenerace voskové směsi [10]

Sedimentace – spočívá v tom, že se vosk roztaví a drží se na určité teplotě. Voda, keramické nečistoty, ale i plnivo se usadí na dně, protože mají vyšší hustotu. Po definované době se vosk odlije a dá se znovu použít. Nevýhodou je časová náročnost.

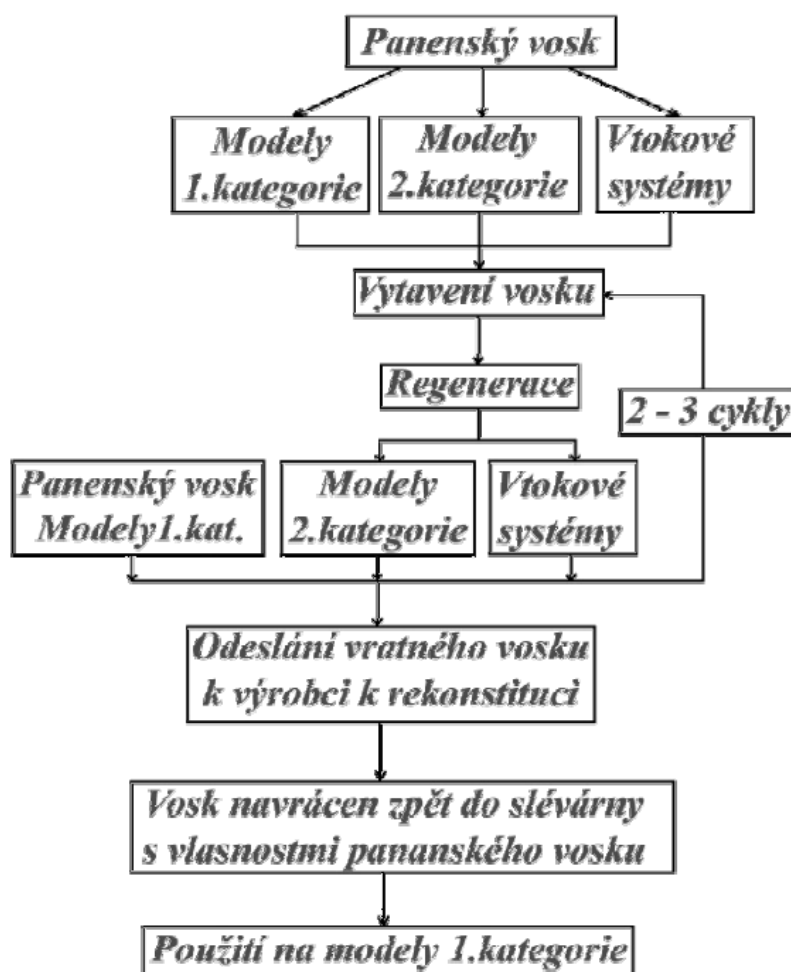
Filtrace – pro tuto metodu se využívá filtrační lis, do kterého se umístí použitý vosk. Tento vosk se lije přes filtrační textilii, na kterou se zachytávají keramické nečistoty, spaliny, ale i plnivo.

Odstředivý způsob – tento způsob se používá, pokud je ve voscích větší množství plniva. Roztavená směs se nalije do vysokorychlostní centrifugy a částice s větší hustotou, než má vosk, se oddělí. Zde je nevýhoda, že částice s podobnou hustotou ve voskové směsi zůstanou, což znamená, že při odstředivém způsobu ve vosku zůstane větší množství popelovin, než při způsobu filtračním [2]

1.3.2. Rekonstituce [10]

Jde o proces, při kterém se vosky známého složení vyčistí od nečistot, a následně se do nich přidají nové suroviny na dohodnutou specifikaci. Rekonstituovány mohou být všechny druhy vosků (plněný, neplněný, emulgovaný).

Rozměrové a technologické vlastnosti bývají až na úrovni vosku panenského, nebo trochu pod ním. Tento vosk je vhodný pro výroby modelů. Cena rekonstituovaného vosku bývá výrazně menší, než je tomu u vosku panenského.

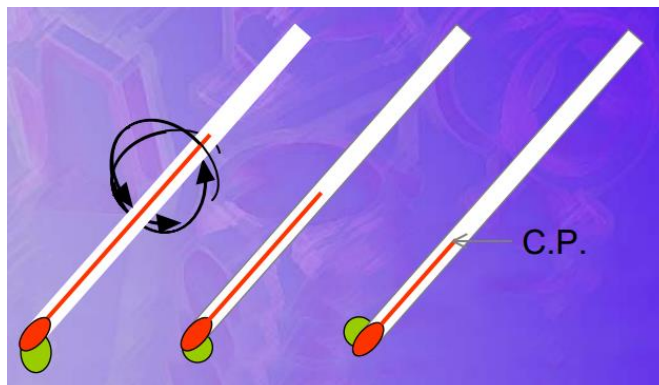


Obr. 1.6 Schéma rekonstituce vosků [17]

1.4. Zkoušení voskových směsí

1.4.1. Bod tuhnutí [4], [8]

Bod tuhnutí je teplota, při které přestává vosk téct vlivem gravitace. Tato teplota je závislá na celkovém složení směsi, což je jeden ze základních parametrů pro nastavení vstřikovacího procesu. Pro vstřikování tekutého skupenství se obvykle nastavuje teplota voskové směsi 4°C nad bodem tuhnutí. Pro vstřikování voskové směsi v kašovitém stavu se teplota nastavuje přibližně 4°C pod bodem tuhnutí. [9]



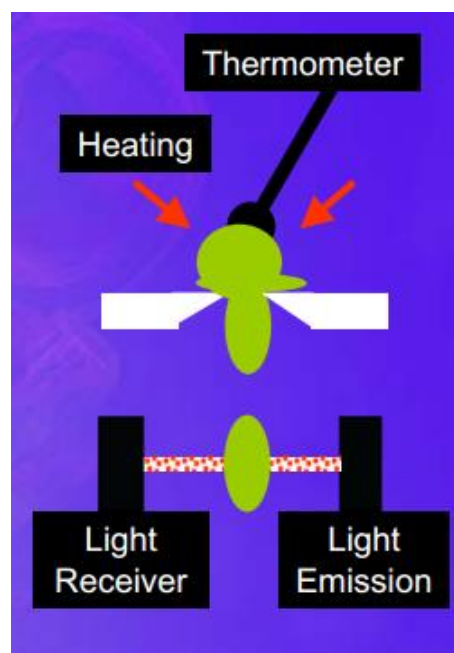
Obr. 1.7 Měření bodu tuhnutí [9]

Zkouška probíhá tak, že se vzorek vosku roztaví, tak aby se vosk nepřehřál. Následně se do vosku vloží teploměr, který se následně vyjme a zasune se do předehřáté zkumavky. Pak se nechá pomalu rotovat, tak aby vosk mohl sklouznout na špičku teploměru. V momentě kdy vosk přestane téct, na stupnici teploměru se odečte teplota tuhnutí. Průběh zkoušky je patrný na obrázku 1.5. [10]

1.4.2. Bod skápnutí [4], [8]

Bod skápnutí je teplota, při které se mění skupenství voskové směsi z pevného na kapalné. Je to důležitý faktor pro nastavení parametrů pro režim vytavování a kontroly kvality. Na jeho hodnotu má vliv jak druh voskové směsi, tak obsah plniva. [11]

Pro kontrolu se používají automatizované přístroje. Zkoumaný vzorek je roztaven a nalit do speciální misky, kde se nechá vychladnout. Následně se založí do komory, která se nechá pomalu vyhřívat. V momentě kdy první kapka vypadne z otvoru misky, tak optický snímač vyšle signál teploměru, který odečte naměřenou teplotu. Tuto označujeme jako teplotu skápnutí.

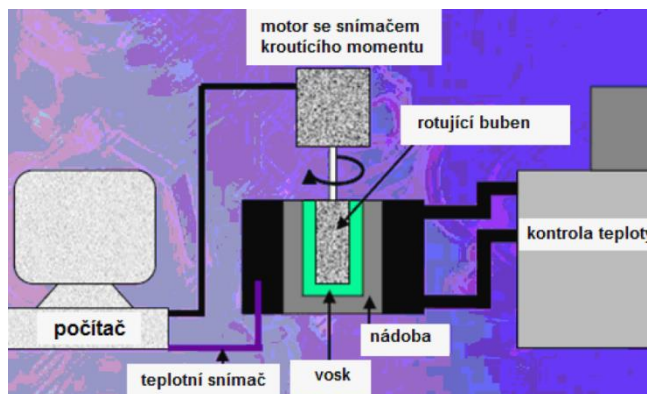


Obr. 1.8 Zkouška bodu skápnutí [9]

1.4.3. Viskozita [10]

Viskozita je závislost změny povrchového napětí a rychlosti pohybu kapaliny na teplotě. Její hodnota se se zvyšující teplotou zmenšuje. Obrácená hodnota viskozity se nazývá tekutost. Tahle vlastnost je důležitá při vstřikování a vytavování ze skořepiny.

Vosk zahřátý na teplotu 80°C se nalije do nádoby, kde se nechá stabilizovat. Následně se do vosku ponoří buben hnaný elektromotorem, který ho otáčí konstantní rychlostí. Vosk postupně chladne, a jeho viskozita se zvyšuje. Motor potřebuje vyvinout stále větší krouticí moment, aby udržel konstantní rychlost otáčení bubnu. Tento moment je zaznamenáván snímačem. Naměřená data se ukládají a následně vyhodnocují jako viskozita (nebo tekutost) vosku při dané teplotě a dané rychlosti otáčení bubnu.



Obr. 1.9 Měření viskozity voskové směsi

1.4.4. Penetrační zkouška

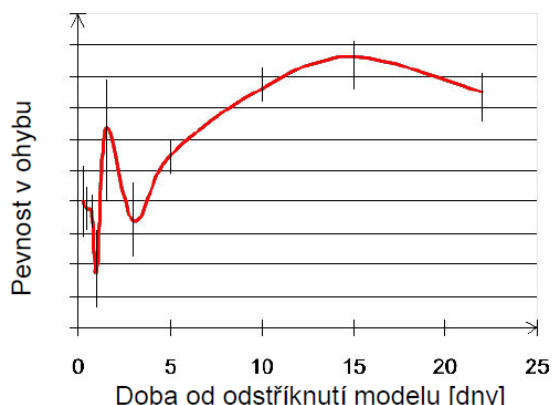
Penetrační zkouška zjišťuje tvrdost voskové směsi za určité teploty. Zkouška se provádí na penetrometrech. Voskový vzorek se zahřeje na předem definovanou teplotu a poté se umístí na penetrometr. Následně se k němu přiblíží jehla penetrometru tak, aby se právě dotýkala jeho povrchu. Po spuštění se uvolní závaží, které zatlačí na jehlu, která bude vtlačena do vosku. Po uvolnění se odečte hodnota na stupnici penetrace.

1.4.5. Zkouška ohybem [10]

Ohyb je jedno z nejvíce nebezpečných namáhání. Proto je důležité ho změřit, aby se mohlo určit chování voskových modelů v průběhu jejich manipulace. Vtokové vosky jsou namáhány nejvíce na ohyb zejména u sléváren, které používají automatizované linky. Na hodnotu ohybové pevnosti mají vliv především plniva, které zvyšují rozměrovou stabilitu na úkor pružnosti.

Pro zkoušku se používají tyče o různých rozměrech, odlitých gravitačně a nebo za zvýšených sil. Před zkouškou se tyče po určitou dobu ještě temperují ve vodní lázni. Podpory tyče jsou od sebe rozestaveny na určitou vzdálenost.

Pro zahájení zkoušky se spustí stroj, který dle programu začne namáhat vzorek na ohyb. Jakmile dojde k porušení vzorku anebo k dostatečnému průhybu, tak se podle zatížení, nebo deformace dopočítají ostatní veličiny.

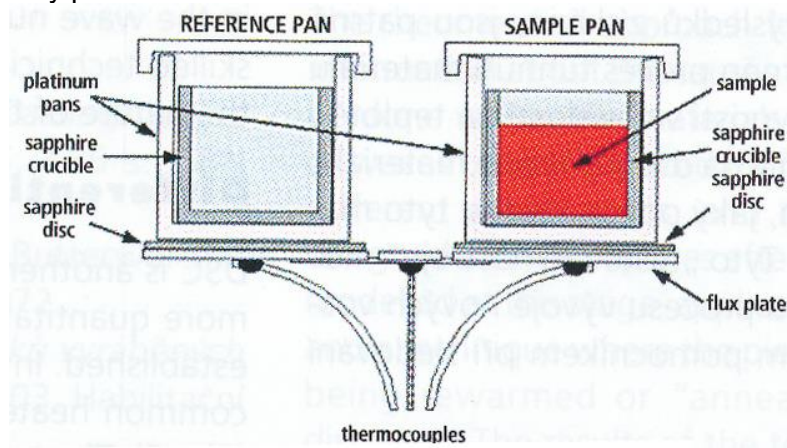


Obr. 1.10 Pevnost vosku v závislosti na stáří [10]

1.4.6. Diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC) [13]

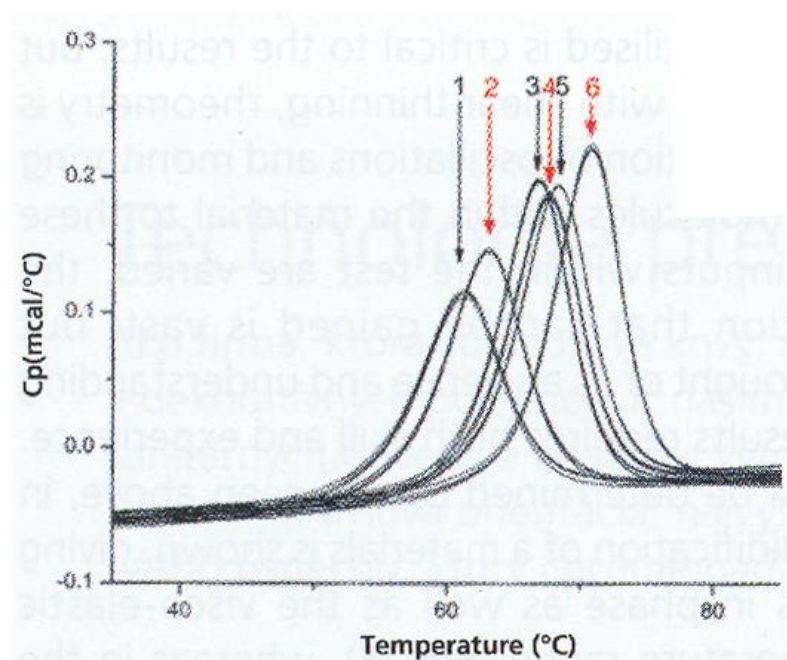
Je taky známá jako kalometrická zkouška. Jedná se o komparativní metodu, která má za úkol zjistit tepelné vlastnosti voskových směsí. Informace, které získáme DSC metodou jsou např. změna proudění tepla se změnou teploty, latentní teplo, teplotu tání jednotlivých složek směsi aj.

Zkouška započne přípravou zkoumaného vzorku, který se umístí do hliníkové misky. Dále se připraví další miska s referenčním voskem (o známých parametrech). Někdy se jako referenční vzorek používá prázdná miska. V tomto případě všechny tepelné rozdíly by byly způsobeny pouze voskem.



Obr. 1.11 Kelímky na společném ohříváči [13]

Obě misky jsou umístěny do kalorimetru, kde jsou jejich teploty měřeny neustále a jsou zahřívány stejnou intenzitou. Jejich změna teploty v čase je zaznamenána. Z těchto informací se přes počítač vypočítává a zaznamenává tepelný tok a jeho závislost na teplotě.

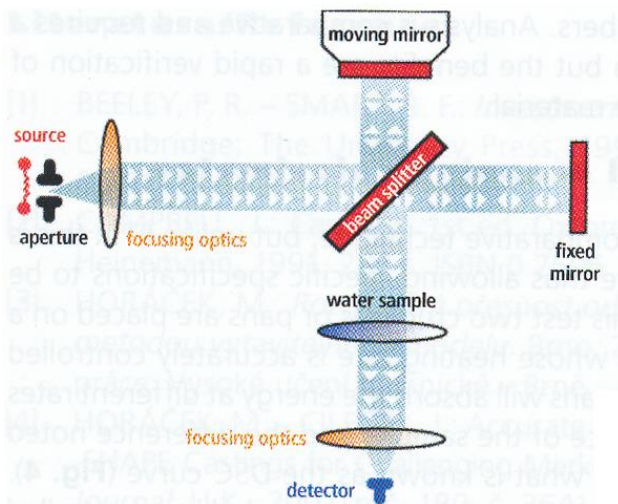


Obr. 1.12 Ukázka DSC křivky (závislost pohlcené energie na teplotě) [13]

1.4.7. Infračervená spektroskopie (FTIR)

FTIR, neboli Fourierovo transformační infračervené záření je analytická metoda určená pro identifikaci strukturních charakteristik.

Metoda je založena na absorpci infračerveného záření při průchodu vzorkem. Při zahájení měření se vyzařuje infračervené záření do děliče paprsku, kde se paprsek rozdělí na dva. Jeden paprsek jde přímo do přijímače. Druhý jde nejprve přes voskový vzorek, kde dojde k jeho částečné absorpci, a pak do přijímače. Program vyhodnotí rozdíl mezi jednotlivými paprsky a výsledek zaznamená. Tento rozdíl je typický pro každý typ materiálu. Metoda FTIR je velmi rychlá a dovoluje identifikovat jakýkoliv vosk, nebo jeho přísadu, pokud je v databázi programu.

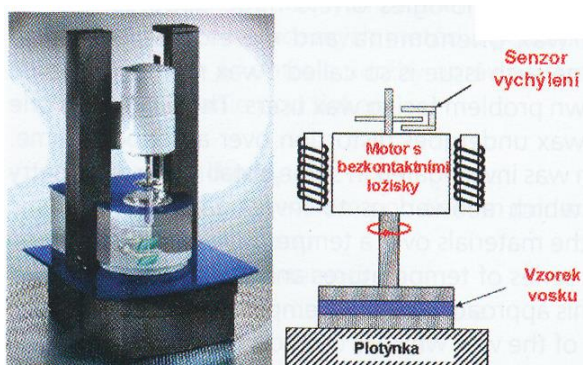


Obr. 1.13 Schéma metody FTIR [13]

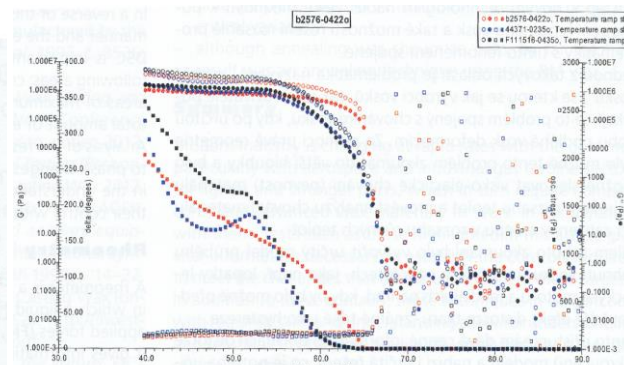
1.4.8. Oscilační zkouška [13]

Jedná se o metodu, která zjišťuje reologické vlastnosti - jakým způsobem vosky reagují na aplikované silové zatížení. Metoda je založená na aplikaci oscilačních zatížení a monitoringu odporu molekul v materiálu proti těmto silám.

Příprava začíná tak, že se roztavený voskový vzorek umístí v přístroji mezi vřetenou aplikující deformaci a vyhřívanou plotýnku, zajišťující správnou teplotu vosku (viz Obr. 1.13.). Po nastavení vstupních parametrů započne měření. Voskový model je vystavován deformaci sinusového průběhu a jeho teplota je postupně snižována. Senzor změří výchylku a počítač dopočítá rychlost. Na rozdíl od měření viskozity, kterému je měření velmi podobné, zůstává díky minimálním deformacím struktura skoro nedotčená.



Obr. 1.14 Obrázek reometru a jeho schéma [13]

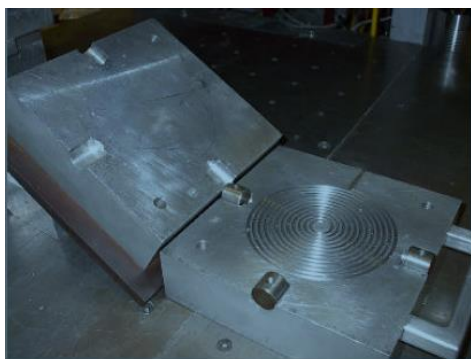


Obr. 1.15 Příklad výsledků z reometru [13]

1.4.9. Zabíhavost

Zabíhavost voskové směsi je kvantitativní vlastnost, která udává schopnost proudit a vyplnit celou dutinu matečné formy. Zabíhavost především závisí na viskozitě směsi, ale taky na tepelných vlastnostech vosku.

Zkouška se provádí na speciálních formách, které obvykle bývají unikátní a liší se dle výrobce vosku. Princip spočívá v tom, že se do formy vstříkne vosk za předem nadefinovaných podmínek jako je tlak vstříku, teplota vosku, teplota formy, rychlost plnění a času. Pak se forma otevře, a odečte se, jak daleko vosk do formy zaběhl.



Obr. 1.16 Forma pro zkoušku zabíhavosti Remet [14]



Obr. 1.17 Forma pro zkoušku zabíhavosti Blayson [15]

1.4.10. Obsah plniva [10]

Obsah plniva ve voskové směsi je důležité určit pro zjištění vztahu mezi změnou vlastností směsi a množstvím plniva. Tato informace je důležitá pro zachování reprodukovatelnosti. Vlastnosti, které se výrazně se zvyšujícím množstvím plniva nemění jsou: bod tuhnutí, bod skápnutí a obsah popela.

Obsah plniva se dá zjistit gravimetrickou zkouškou. Jde tedy o rozpuštění voskových složek s následnou filtrací plniva. Zvážením obou složek se zjistí procentuální zastoupení plniva ve voskové směsi.

1.4.11. Množství vody ve vosku [10]

Voda se do voskové směsi dostává z atmosféry, nebo při vytavování vosku z bojlerklávu. Voda je ve voskové směsi obvykle nežádoucí a zhoršuje vlastnosti jako tvrdost, pevnost a pružnost.

Test je prováděn použitím vlhkoměru. Vzorek vosku se zváží a následně zahřeje tak, aby se alespoň část vody odpařila. Vzorek se opět zváží a použitím vlhkoměru se zjistí rozdíl vlhkosti.

1.4.12. Obsah popela [1], [10]

Obsah popela je označován jako zastoupení nespalitelných anorganických látek ve voskové směsi. Popel se dostává do panenských směsí z plniv, nebo jiných složek. Jeho podíl se dá snížit důkladnou filtrací (rekonstitucí).

Popel voskových směsí je složen především z oxidů. Tyto oxidy se mohou přilepit na stěnu skořepiny při vytavování a následně vytvořit vměstek v odlitku.

Obsah popela se zjišťuje gravimetrickou analýzou. Podle BICTA (Britská obchodní asociace pro přesné lití) byl maximální obsah popela stanoven na 0,05%.

1.4.13. Smrštění [10], [16]

Smrštění je dáno jako pokles rozměrů s poklesem teploty. Smrštění je ovlivněno parametry vstřikování, tvarem a rozměry modelu a také složením voskové směsi (tj. plnivem). Se zvyšujícím se obsahem plniva se smrštění zmenšuje.

Laboratorně se určuje pouze volné smrštění, neboť každý tvar působí jinak.

1.4.14. Objemová roztažnost [1], [10]

Objemová roztažnost je opak smrštění, jde tedy o nárůst rozměrů se zvyšující se teplotou. Tato vlastnost je důležitá pro posouzení vytavování vosku ze skořepiny, kde jejich rozdílná objemová roztažnost může znamenat popraskání skořepiny.

K největší tepelné dilataci dochází mezi 20°C a bodem skápnutí voskové směsi.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem praktické části diplomové práce bylo porovnání vlastností současně používaných vosků Remet s konkurenčními vosky Blayson ve slévárně Fimes a. s. Klíčovými vlastnostmi pro slévárnu se rozumí smrštění vosku, rozměrová stálost voskových modelů a chování vosků při vytavování v boilerklávu.

Doposud používané vosky:

- Směs Remet HYFILL B478 a Remet HYFILL RF1/B478 - vosk modelový (vosky používány v poměru 3:2)
- Převařovaný výše uvedený vosk - vosk vtokový

Novými vosky jsou:

- Blayson Recon FR/60 - vosk modelový
- Blayson RunnerFilled - vosk vtokový (s plnivem)
- Blayson RunnerPlus – vosk vtokový (bez plniva)

Praktická část je rozdělena na 4 části:

- Přehled použitých vosků
- Rozměrové zkoušky na voskovém modelu 007-F-053
- Rozměrové zkoušky na voskovém modelu 031-A-014
- Zkoušky praskání skořepin na skořepinové formě 031-A-014

Hlavní zásadou praktické části této diplomové práce bylo dbát na to, aby všechny jednotlivé testy a měření probíhaly stejně, nebo alespoň co nejpodobněji testům, které již byly realizovány u obdobných projektů v minulosti. Důvodem této stahy bylo, aby všechny výsledky byly navzájem porovnatelné, a aby se mohl z jejich kombinace vytvořit nějaký závěr.



Obr. 2.1 Voskový model 007-F-053



Obr. 2.2 Voskový model 031-A-014

2.1. Zkoušené vosky**2.1.1. Blayson Recon FR/60**

Vlastnost	Specifikace	Výsledek
Teplota tuhnutí [°C]	63 až 67	66
Teplota skápnutí [°C]	70 až 73	73
Obsah popela [%]	max 0,05	0,03
Penetrace při 25°C [mm]	0,9 až 1,2	1
Viskozita (70°C) [Pa·s]	0,7 až 1,1	0,8
Obsah vody [%]	0	0
Obsah plniva [%]	30 až 32	30,4

Tab. 2.1 Parametry vosku Blayson Recon FR/60

Jedná se rekonstituovanou voskovou směs, která je výrobcem určena jako směs modelová.

2.1.2. Blayson RunnerPlus - Unfilled wax

Vlastnost	Specifikace
Teplota tuhnutí [°C]	62 až 66
Teplota skápnutí [°C]	68 až 73
Obsah popela [%]	0,05 max
Penetrace [mm]	0,9 až 1,3
Viskozita (70°C) [Pa·s]	0,1 až 0,5
Obsah plniva [%]	0
Teplota vstřikování – kašovitý stav [°C]	60 až 62
Teplota vstřikování – tekutý stav [°C]	68 až 72

Tab. 2.2 Parametry vosku Blayson RunnerPlus

Vosk Blayson RunnerPlus je neplněný vosk, který je vyráběn za účelem použití jako vtokový vosk. Vlastnosti tohoto vosku je možné obnovit rekonstitucí. Výrobce nedoporučuje ohřívat vosk na teplotu vyšší než 100°C. Při překročení této teploty hrozí riziko degradace vosku.

2.1.3. Blayson RunnerFilled

Vlastnost	Specifikace
Teplota tuhnutí [°C]	64 až 68
Teplota skápnutí [°C]	69 až 75
Obsah popela [%]	0,2 max
Penetrace [mm]	0,8 až 1,3
Viskozita (70°C) [Pa·s]	0,4 až 2,5
Obsah plniva [%]	12 až 24
Druh plniva	XLPS 0,04 – 0,1 mm
Teplota vstřikování – kašovitý stav [°C]	60 až 65
Teplota vstřikování – tekutý stav [°C]	69 až 73
Volné lineární smrštění [%]	1 až 1,3

Tab. 2.3 Parametry vosku Blayson RunnerFilled

Vosk Blayson RunnerFilled je plněný vosk, který je vyráběn za účelem použití jako vtokový vosk. Jedná se o panenský vosk nízko až středně viskózní. Výrobce garantuje vysokou rozměrovou stabilitu, širokou škálu vstřikujících teplot a odolnost proti praskání.

Je doporučeno vosk neohřívat po delší dobu nad teplotu vyšší než 85°C, jinak by mohlo dojít k degradaci vosku. Rychlost míchání tekutého vosku, by měla být spíše pomalá, aby nedošlo k separaci plniva. Vlastnosti tohoto vosku je možné obnovit rekonstitucí.

2.1.4. Remet HYFILL B478

Vlastnost	Specifikace	Výsledek
Teplota tuhnutí [°C]	62 až 67	64,5
Teplota skápnutí [°C]	-	73
Obsah popela [%]	0,03 max.	0,012
Penetrace při 25°C [mm]	0,2 až 0,7	0,1
Penetrace při 43,4°C [mm]	2,6 až 3,6	3,3
Viskozita (80°C) [Pa·s]	0,8 až 0,95	0,897
Viskozita (100°C) [Pa·s]	0,32 až 0,38	0,342
Obsah plniva [%]	28 až 32	31,9

Tab. 2.4 Parametry vosku Remet HYFILL B478

Tato panenská vosková směs je dodávána do slévárny ve formě pelet. Dodaná směs je testována, aby se dokázalo, že splňuje všechny svoje specifikace.

2.1.5. Remet HYFILL RF1 478

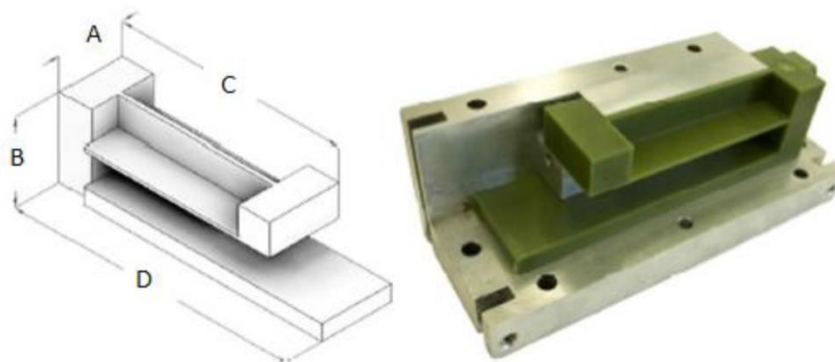
Vlastnost	Specifikace	Výsledek
Teplota tuhnutí [°C]	-	65
Obsah popela [%]	0,03 max.	<0,005
Penetrace při 25°C [mm]	-	0,3
Penetrace při 43,4°C [mm]	-	3,3
Viskozita (80°C) [Pa·s]	-	0,88
Viskozita (100°C) [Pa·s]	-	0,376
Obsah plniva [%]	-	29

Tab. 2.5 Parametry vosku Remet HYFILL RF1 478

Jedná se o rekonstituovanou směs Remet HYFILL B478

2.2. Rozměrové zkoušky na tělese 007-F-053

Zkušební těleso 007-F-053 (viz. Obr. 2.3) je navrženo tak, aby na něm bylo možné otestovat co nejvíce různých typů rozměrových změn. Rozměry A a B reprezentují objemové smrštění, rozměr C reprezentuje brzděné smrštění a rozměr D reprezentuje volné lineární smrštění. Výkres tělesa je k nalezení v příloze č. 3 této práce.



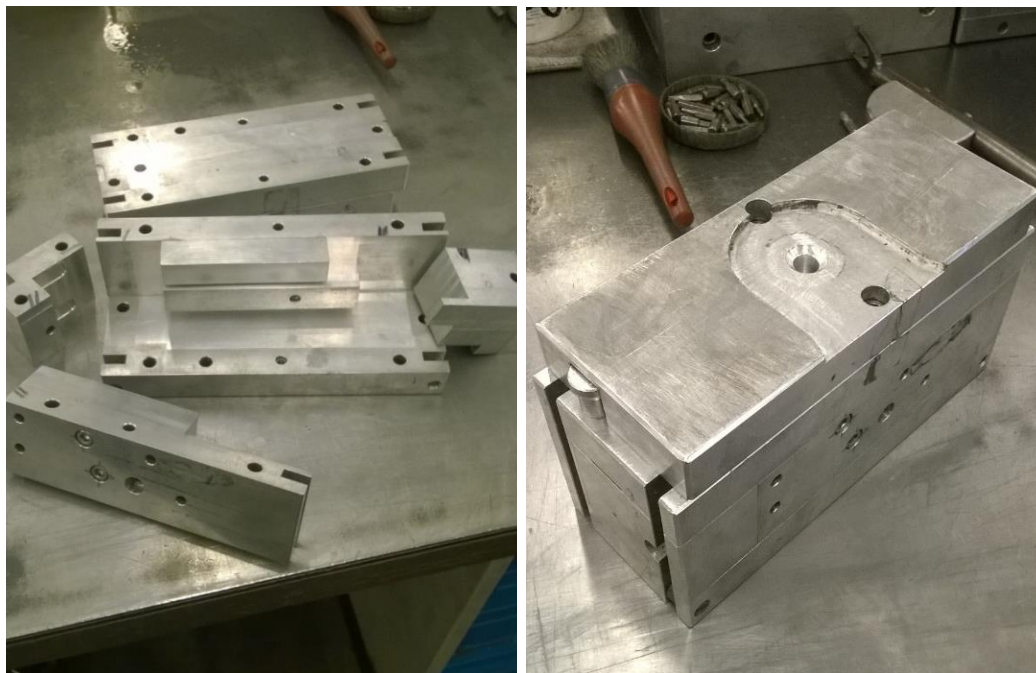
Obr. 2.3 Zkušební voskový model 007-F-053

Rozměr:	Hodnota rozměru:
A	40 mm
B	50 mm
C	140 mm
D	174 mm

Tab. 2.6 Jmenovité rozměry zkušebního tělesa 007-F-053

Bylo vyrobeno celkem 40 kusů zkušebních těles 007-F-053 ze 2 modelových vosků. Nejprve byla použita kombinace vosků Remet HYFILL B478 a Remet HYFILL RF1 478, ze které bylo vyrobeno 20 kusů. Po vyčerpání dávky vosku se následně očistil kondicionér, a natavil se vosk Blayson Recon FR/60, ze kterého bylo vyrobeno dalších 20 kusů.

2.2.1. Matečná forma



Obr. 2.4 Matečná forma 007-F-053

2.2.2. Vstřikování

Tento proces proběhl na vstřikolisu SHELL-O-MATIC 35t-20/28. Toto zařízení umožňuje výrobu voskových modelů ze dvou vosků, protože obsahuje dva kondicionéry a dvě vstřikovací trysky.

Typ	Shell-O-Matic 35T-20/28
Uzavírací síla [t]	34
Max. tlak vstřiku [MPa]	7-70
Objem jednoho vstřiku [l]	5
Zdvih	470
Světlná šířka	470
Světlná hloubka	470

Tab. 2.7 Parametry vstřikolisu SHELL-O-MATIC [4]



Obr. 2.5 Vstřikolis Shell-O-Matic

2.2.2.1. Parametry pro vstřikování zkušebního tělesa 007-F-053

Vstřikovaný vosk	Remet HYFILL B478 + Remet HYFILL RF1/B478	Blayson Recon RF/60
Tlak [MPa]	25	25
Průtok [-]	250	250
Čas vstřiku a dotlaku [s]	40	50
Teplota v plnicím válci [°C]	65±1	65±1
Teplota vosku v kondicionéru [°C]	67±1	67±1
Teplota v trysce [°C]	63±1	64±1

Tab. 2.8 Parametry pro vstřikování modelu 007-F-053

Při zkoušce nového vosku, nebo při spouštění zařízení vstřikolisu je nutné vždy zahřát trysku na provozní teplotu. Toho se dosáhne vyrobením několika zabíhacích kusů, které se následně recyklují.

Vstřikování probíhalo v intervalech po 15 minutách. Tento interval byl zvolen z toho důvodu, aby nedocházelo přehřívání matečné formy. Současně se na vstřikolisu vyráběl model 031-A-014.

Před opětovným složením formy se její dutina vyčistila a ošetřila separačním přípravkem Fast2Shell od firmy Remet, aby nedocházelo k nalepování.

2.2.3. Porovnání rozměrových přesností

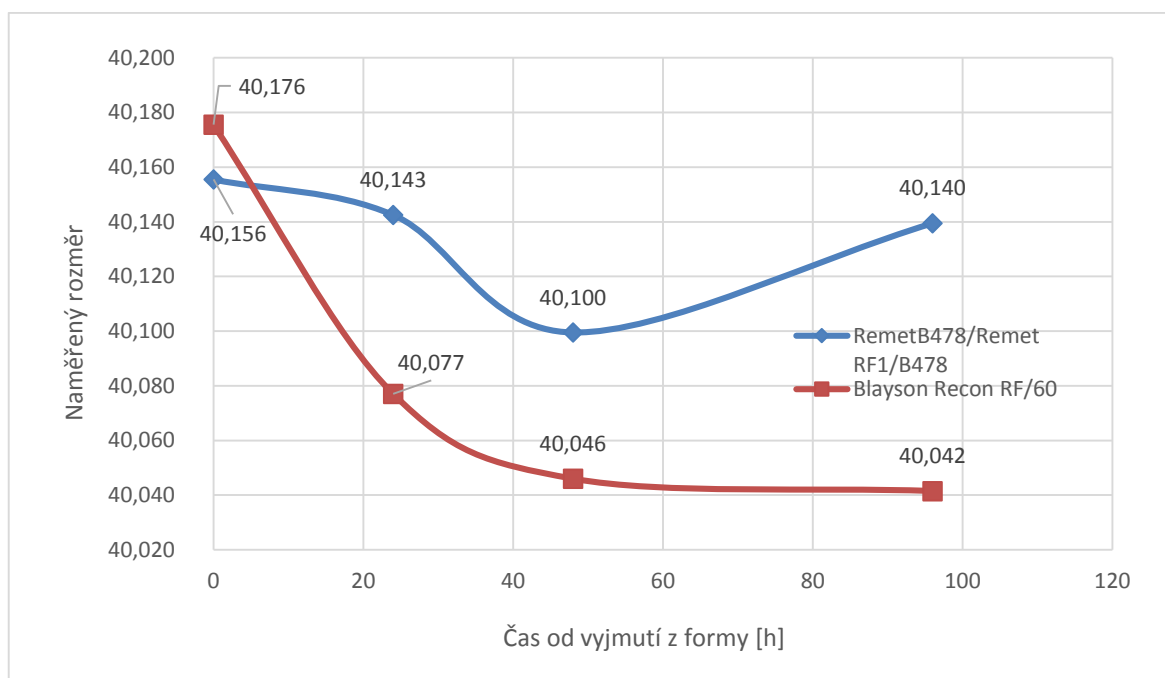
Úkolem bylo změřit charakteristické rozměry voskových modelů 007-F-053 v různých časových intervalech od vytažení z formy pro vosky Remet (Remet HYFILL B478 + Remet HYFILL RF1 478) a Blayson Recon RF/60, a navzájem je porovnat.

Měření rozměrů probíhala v následujících intervalech:

- ihned po vstříknutí a vytažení z formy
- po 24 hodinách
- po 48 hodinách
- po 96 hodinách

Všechny hodnoty byly tabelovány a jsou k nalezení v přílohách č. 2 této práce.

2.2.3.1. Rozměr A (40 mm)



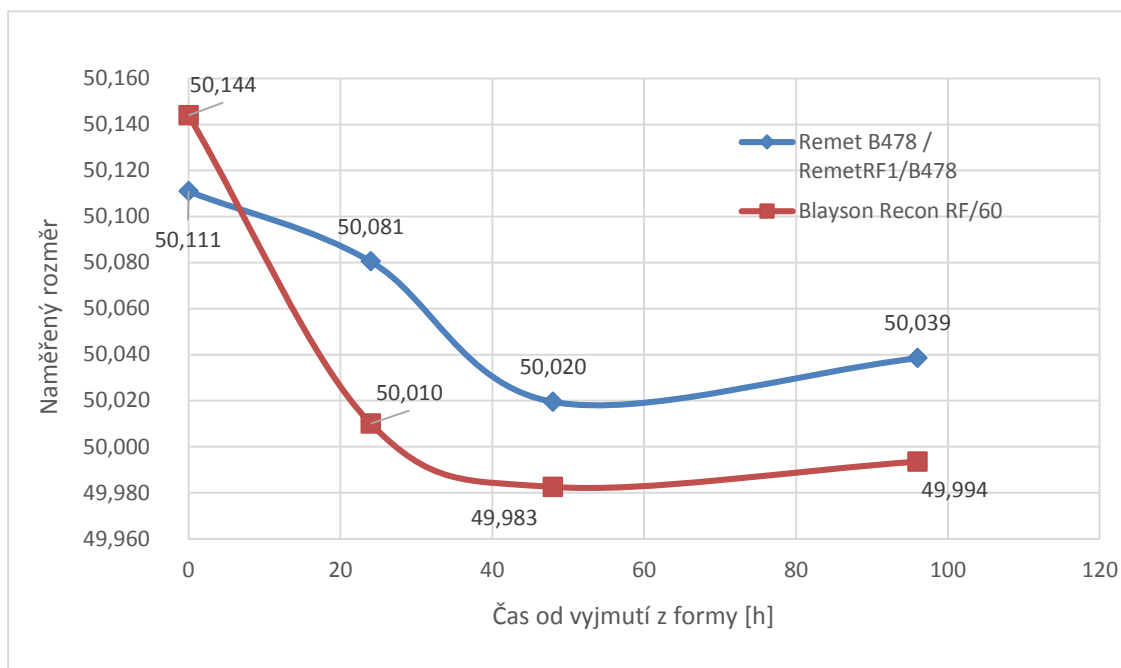
Graf 2.1 Průběh změny rozměru A v čase (007-F-053)

Remet B478 + RF1/B478	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,02645	0,03567	0,04762	0,03394
Průměrná hodnota:	40,16	40,14	40,10	40,14
Největší rozměr:	40,21	40,20	40,22	40,23
Nejnižší rozměr:	40,10	40,07	40,04	40,08

Tab. 2.9 Statistické parametry rozměru A (007-F-053- Remet)

Blayson RF/60	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,06151	0,04600	0,03015	0,03065
Průměrná hodnota:	40,18	40,08	40,05	40,04
Největší rozměr:	40,34	40,17	40,10	40,12
Nejnižší rozměr:	40,06	40,03	39,97	40,00

Tab. 2.10 Statistické parametry rozměru A (007-F-053 - Blayson)

2.2.3.2. Rozměr B (50 mm)

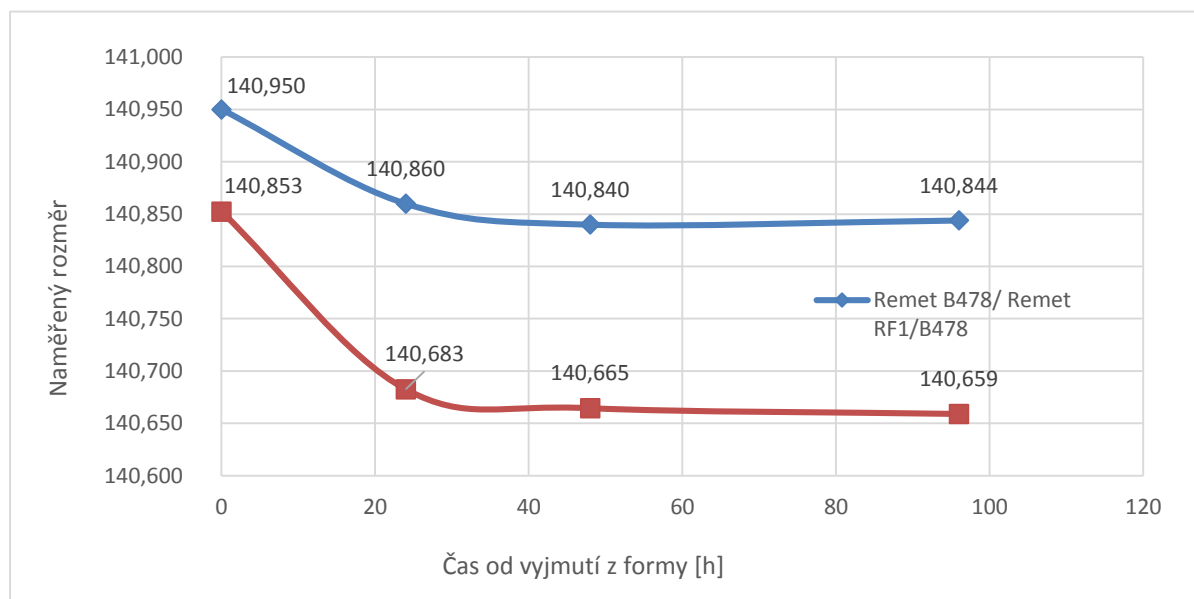
Graf 2.2 Průběh změny rozměru B v čase (007-F-053)

Remet B478 + RF1/B478	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,05821	0,03748	0,02089	0,02601
Průměrná hodnota:	50,11	50,08	50,02	50,04
Největší rozměr:	50,25	50,16	50,05	50,08
Nejnižší rozměr:	50,02	50,02	49,96	49,97

Tab. 2.11 Statistické parametry rozměru B (007-F-053 - Remet)

Blayson RF/60	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,10215	0,03627	0,03006	0,04815
Průměrná hodnota:	50,14	50,01	49,98	49,99
Největší rozměr:	50,36	50,09	50,03	50,09
Nejnižší rozměr:	50,01	49,96	49,93	49,92

Tab. 2.12 Statistické parametry rozměru B (007-F-053 - Blayson)

2.2.3.3. Rozměr C (140 mm)

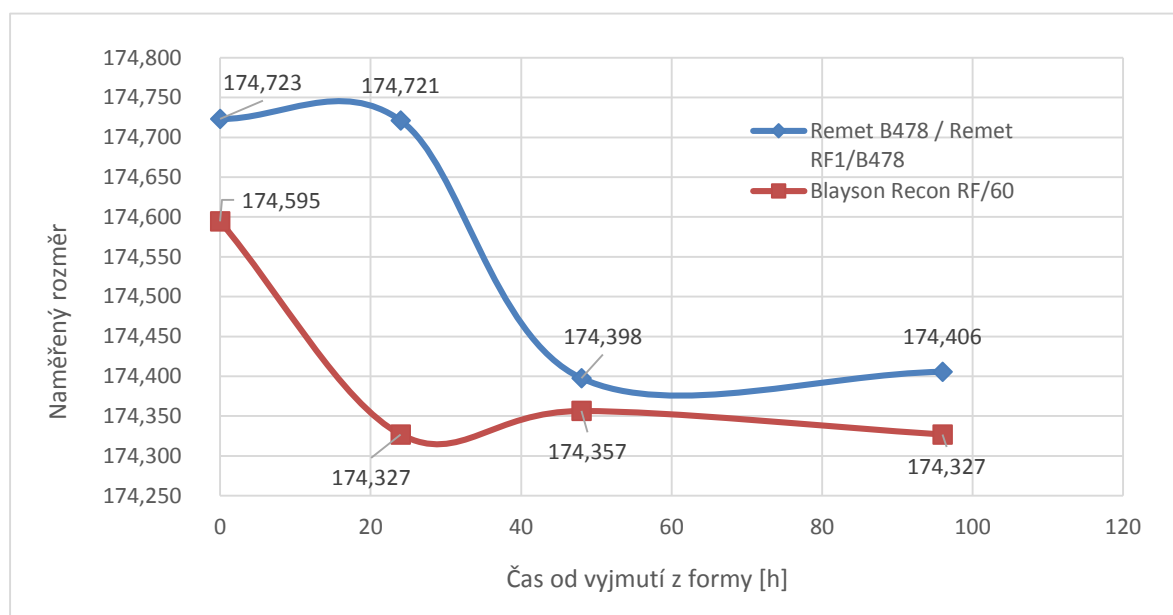
Graf 2.3 Průběh změny rozměru C v čase (007-F-053)

Remet B478 + RF1/B478	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,09055	0,16003	0,10105	0,08413
Průměrná hodnota:	140,95	140,86	140,84	140,84
Největší rozměr:	141,16	141,16	141,07	141,13
Nejnižší rozměr:	140,80	140,36	140,66	140,77

Tab. 2.13 Statistické parametry rozměru C (007-F-053 - Remet)

Blayson RF/60	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,14718	0,059725	0,06637	0,051901
Průměrná hodnota:	140,85	140,68	140,66	140,66
Největší rozměr:	141,32	140,82	140,79	140,80
Nejnižší rozměr:	140,65	140,61	140,57	140,58

Tab. 2.14 Statistické parametry rozměru C (007-F-053 - Blayson)

2.2.3.4. Rozměr D (174 mm)

Graf 2.4 Průběh změny rozměru D v čase (007-F-053)

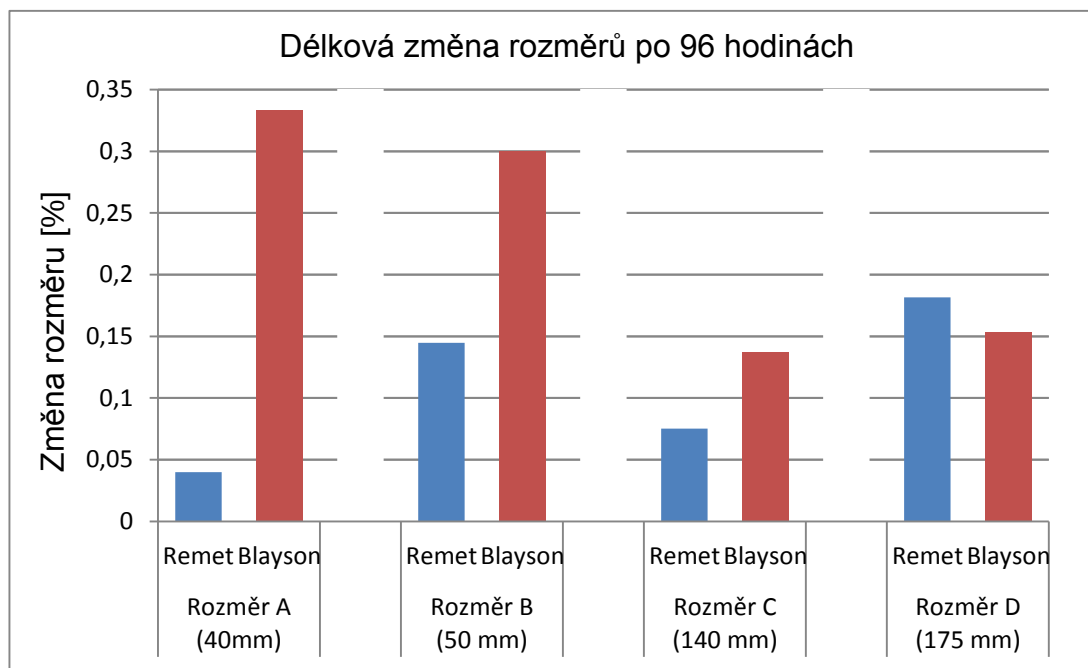
Remet B478 + RF1/B478	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,15994	0,12802	0,06512	0,07323
Průměrná hodnota:	174,72	174,72	174,40	174,41
Největší rozměr:	175,01	175,00	174,52	174,54
Nejnižší rozměr:	174,47	174,5	174,29	174,29

Tab. 2.15 Statistické parametry rozměru D (007-F-053 - Remet)

Blayson RF/60	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,15257	0,06959	0,06953	0,06408
Průměrná hodnota:	174,59	174,33	174,36	174,32
Největší rozměr:	174,91	174,52	174,43	174,50
Nejnižší rozměr:	174,37	174,20	174,22	174,22

Tab. 2.16 Statistické parametry rozměru D (007-F-053 - Blayson)

2.2.3.5. Porovnání rozměrů 007-F-053



Graf 2.5 Délková změna rozměrů po 96 hodinách na zkušebním tělese

2.2.3.6. Shrnutí rozměrových zkoušek na zkušebním tělese 007-F-053

Z naměřených výsledků a grafů je patrné, že změnu rozměrů modelu po vstříknutí zásadně ovlivňuje typ voskové směsi.

Je zřejmé, že stávající směs vosků Remet HYFILL B478 + Remet HYFILL RF1/B478 (v poměru 2:3) vykazovala menší rozměrovou změnu při objemových změnách (viz. rozměr A a B) a mírně lepší rozměrovou změnu při brzděném smrštění (viz. rozměr C). Naopak vosk Blayson Recon FR/60 vykazuje menší rozměrovou změnu v oblasti volného lineárního smrštění (viz. rozměr D).

Dalším poznatkem vyplývajícím z grafů 2.1 až 2.4 je fakt, že průběh rozměrové změny v čase je jednoznačně příznivější ve prospěch vosku Blayson Recon FR/60, protože po 24 hodinách jsou voskové modely již rozměrově stabilní a dochází k těmto změnám pouze minimálně. V případě vosků Remet tomu tak není.

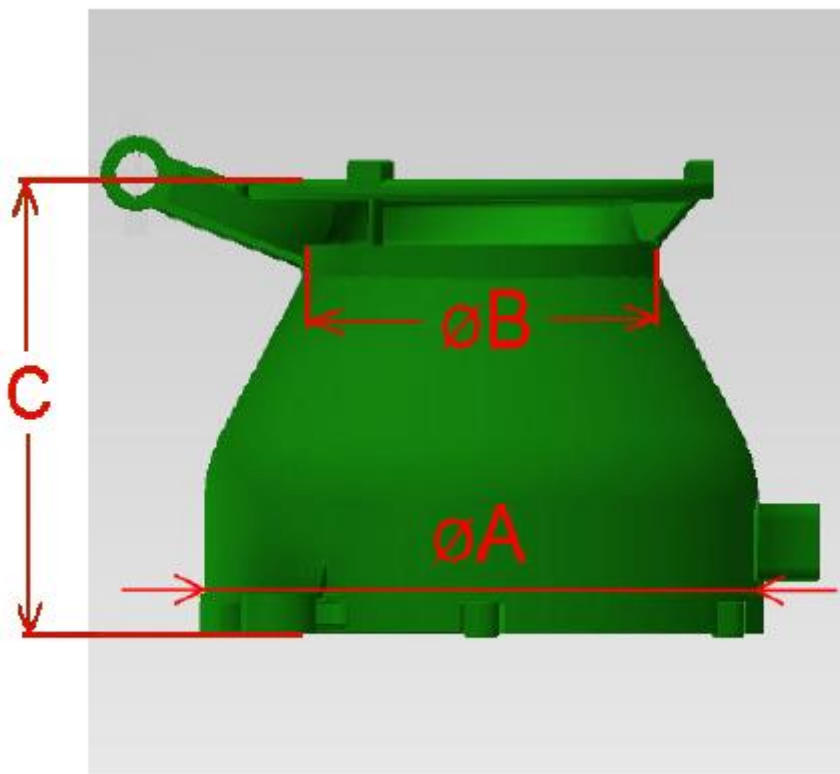
V kontextu toho, že Fimes, a.s. je dodavatelem odlitků převážně do leteckého a obranného průmyslu, což jsou odlitky tenkostěnné a velmi členité, můžeme považovat rozměry C a D z hlediska stability rozměrů voskových modelů za rozhodující.

Je možné tedy konstatovat, že rozměrové zkoušky voskových modelů na zkušebním tělese 007-F-053 potvrdily, že vosk Blayson Recon FR/60 je minimálně stejně vhodný jako směs vosků Remet HYFILL B478 + Remet HYFILL RF1/B478.

Z ekonomického hlediska je situace ještě výhodnější pro použití vosku Blayson, protože se jedná o rekonstituovaný vosk, ale směs vosků Remet obsahuje 40% vosku HYFILL B478 (vosk panenský) a 60% HYFILL RF1/B478 (vosk rekonstituovaný). Panenský vosk je nákladnější o cca. 40% než rekonstituovaný.

2.3. Rozměrové zkoušky na tělese 031-A-014

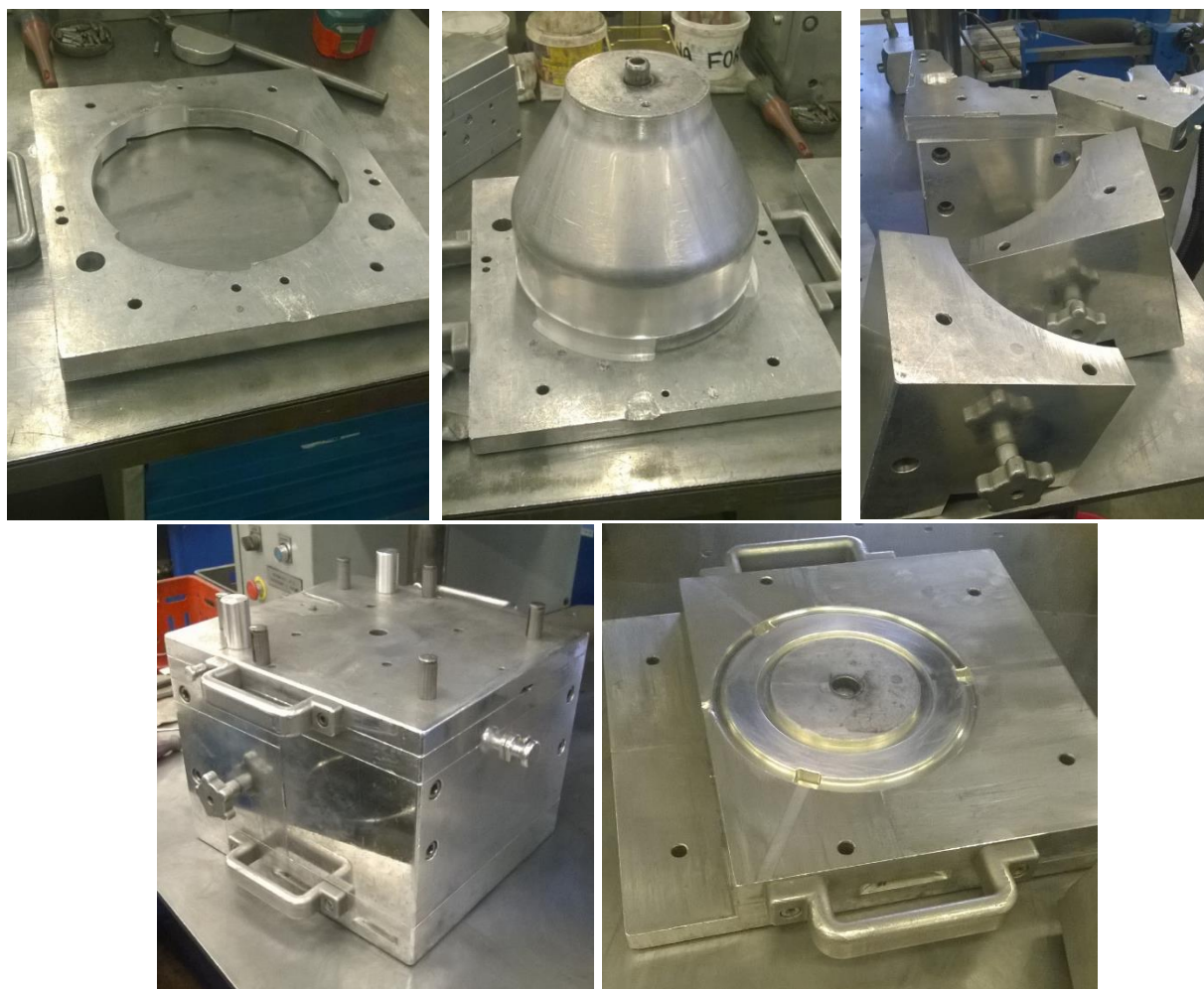
Odlitek 031-A-014 je jeden z nejčastěji vyráběných odlitků ve firmě Fimes, a. s. a také byly na tomto odlitku prováděny předešlé zkoušky a experimenty. Z tohoto důvodu byl vybrán jeho voskový model jako reprezentativní. Výkres odlitku je k dispozici v příloze č. 2 této práce.



Obr. 2.6 Voskový model 031-A-014

Rozměr:	Hodnota rozměru:
A	239 mm
B	154 mm
C	180,5 mm

Tab. 2.17 Jmenovité rozměry voskového modelu 031-A-014

2.3.1. Matečná forma 031-A-014

Obr. 2.7 Matečná forma 031-A-014

2.3.2. Vstřikování

Výroba voskového modelu 031-A-014 vstřikováním proběhla stejně jako u zkušebního tělesa 007-F-053 na vstřikolisu Shell-O-Matic 35T-20/28.

Typ	Uzavírací síla [t]	Max. Tlak vstřiku [MPa]	Objem jednoho vstřiku [l]	Zdvih [mm]	Světlá šířka [mm]	Světlá hloubka [mm]
Shell-O-Matic 35T-20/28	34	7-70	5	470	470	470

Tab. 2.18 Parametry vstřikolisu SHELL-O-MATIC [4]

2.3.2.1. Parametry pro vstřikování zkušebního tělesa 031-A-014

Vstřikovaný vosk	Remet HYFILLB478 + Remet HYFILL RF1/B478	Blayson Recon RF/60
Tlak [MPa]	250	250
Průtok [-]	330	380
Čas vstřiku a dotlaku [s]	50	50
Teplota v plnicím válci [°C]	65±1	65±1
Teplota vosku v kondicionéru [°C]	67±1	67±1
Teplota v trysce [°C]	63±1	64±1

Tab. 2.19 Parametry pro vstřikování modelu 031-A-014

Vstřikování modelů 031-A-014 z vosku Remet probíhalo společně se zkušebním tělesem 007-F-053. Takt vstřikování (15 minut) byl zvolen dle doporučení výrobce, tak že do jedné matečné formy se vstříkovalo a druhá měla možnost se ochladit, aby se nepřehřívala.

Dutiny formy byly také ošetřeny separačním přípravkem Fast2Shell od firmy Remet, aby nedocházelo k nalepování.

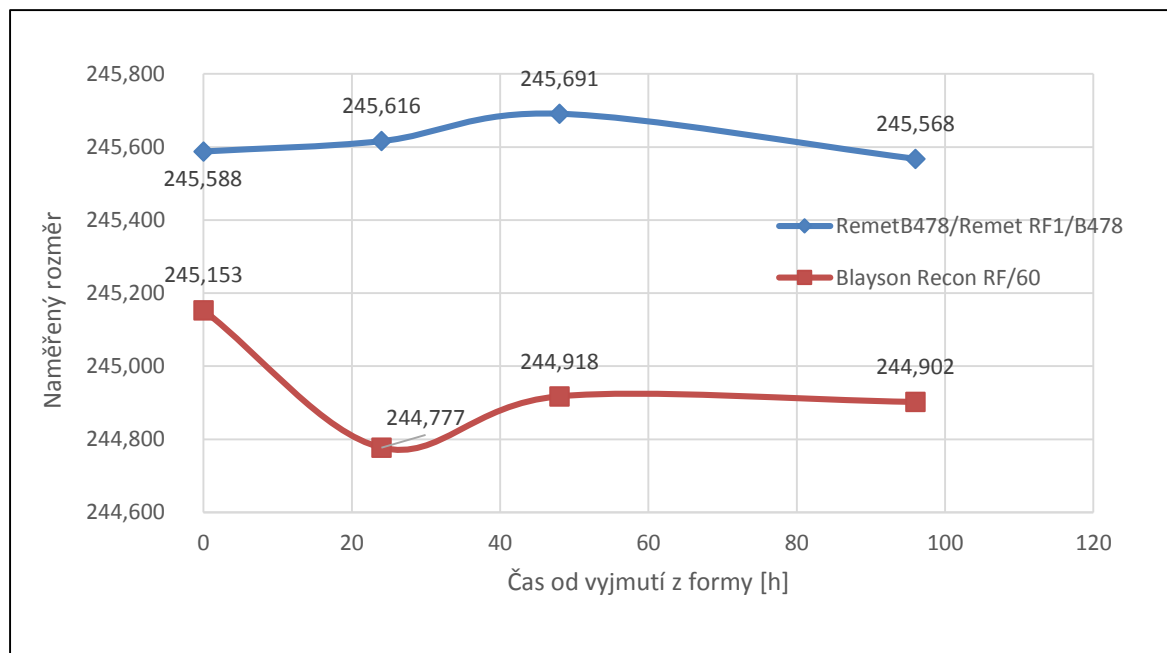
2.3.3. Porovnání rozměrových přesností

Úkolem bylo změřit charakteristické rozměry voskových modelů 031-A-017 v různých časových intervalech od vytažení z formy pro vosky Remet (Remet HYFILL B478 + Remet HYFILL RF1 478) a Blayson Recon RF/60, a navzájem je porovnat.

Měření rozměrů probíhala v následujících intervalech:

- ihned po vstříknutí a vytažení z formy
- po 24 hodinách
- po 48 hodinách
- po 96 hodinách

Všechny hodnoty byly tabelovány a jsou k nalezení v příloze č. 4 této práce.

2.3.3.1. Rozměr A (239 mm)

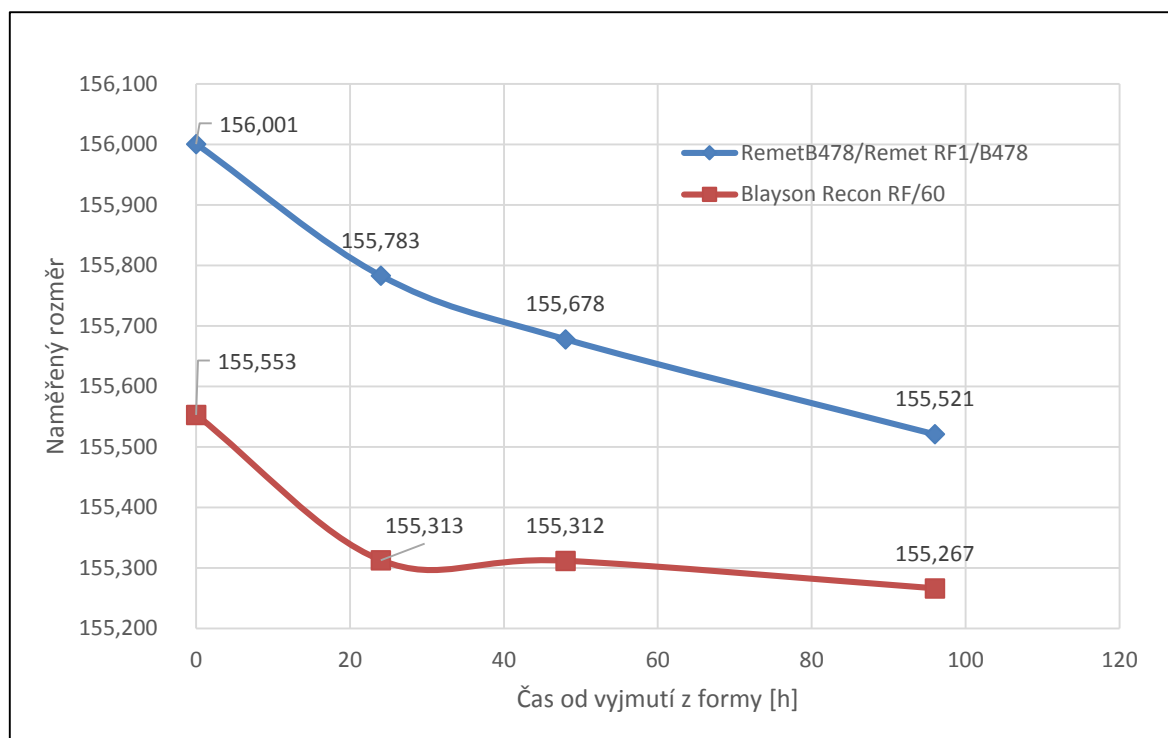
Graf 2.6 Průběh změny rozměru A v čase (031-A-014)

Remet B478 + RF1/B478	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,54282	0,54366	0,45401	0,40242
Průměrná hodnota:	245,59	245,62	245,69	245,57
Největší rozměr:	246,62	246,66	246,71	246,16
Nejnižší rozměr:	244,35	244,65	244,94	244,76

Tab. 2.20 Statistické parametry rozměru A (031-A-014 - Remet)

Blayson RF/60	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,60135	0,51921	0,49179	0,48898
Průměrná hodnota:	245,15	244,78	244,98	244,90
Největší rozměr:	246,31	245,78	245,92	245,76
Nejnižší rozměr:	244,25	244,02	244,27	244,05

Tab. 2.21 Statistické parametry rozměru A (031-A-014 - Blayson)

2.3.3.2. Rozměr B (154 mm)

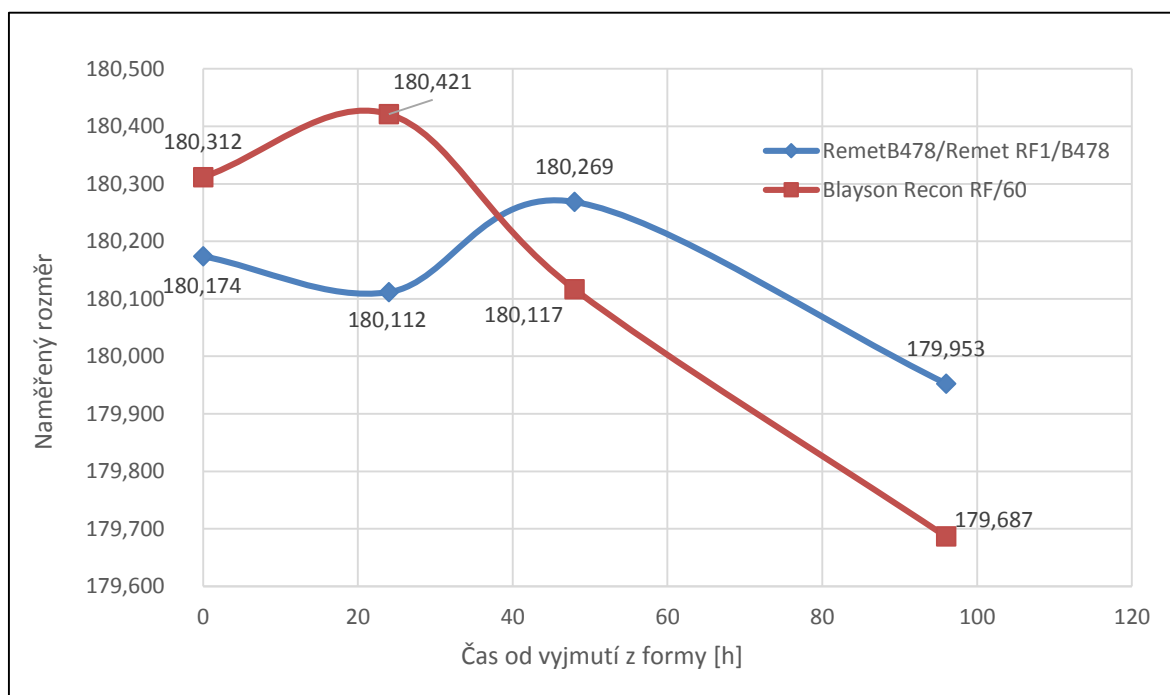
Graf 2.7 Průběh změny rozměru B v čase (031-A-014)

Remet B478 + RF1/B478	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,30722	0,12549	0,11400	0,13270
Průměrná hodnota:	156,00	155,78	155,68	155,52
Největší rozměr:	156,85	156,16	155,85	155,74
Nejnižší rozměr:	155,59	155,57	155,40	155,33

Tab. 2.22 Statistické parametry rozměru B (031-A-014 - Remet)

Blayson RF/60	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,18821	0,13079	0,11237	0,10038
Průměrná hodnota:	155,55	155,31	155,31	155,27
Největší rozměr:	155,87	155,64	155,56	155,45
Nejnižší rozměr:	155,21	155,07	155,13	155,08

Tab. 2.23 Statistické parametry rozměru B (031-A-014 - Blayson)

2.3.3.3. Rozměr C (180,5 mm)

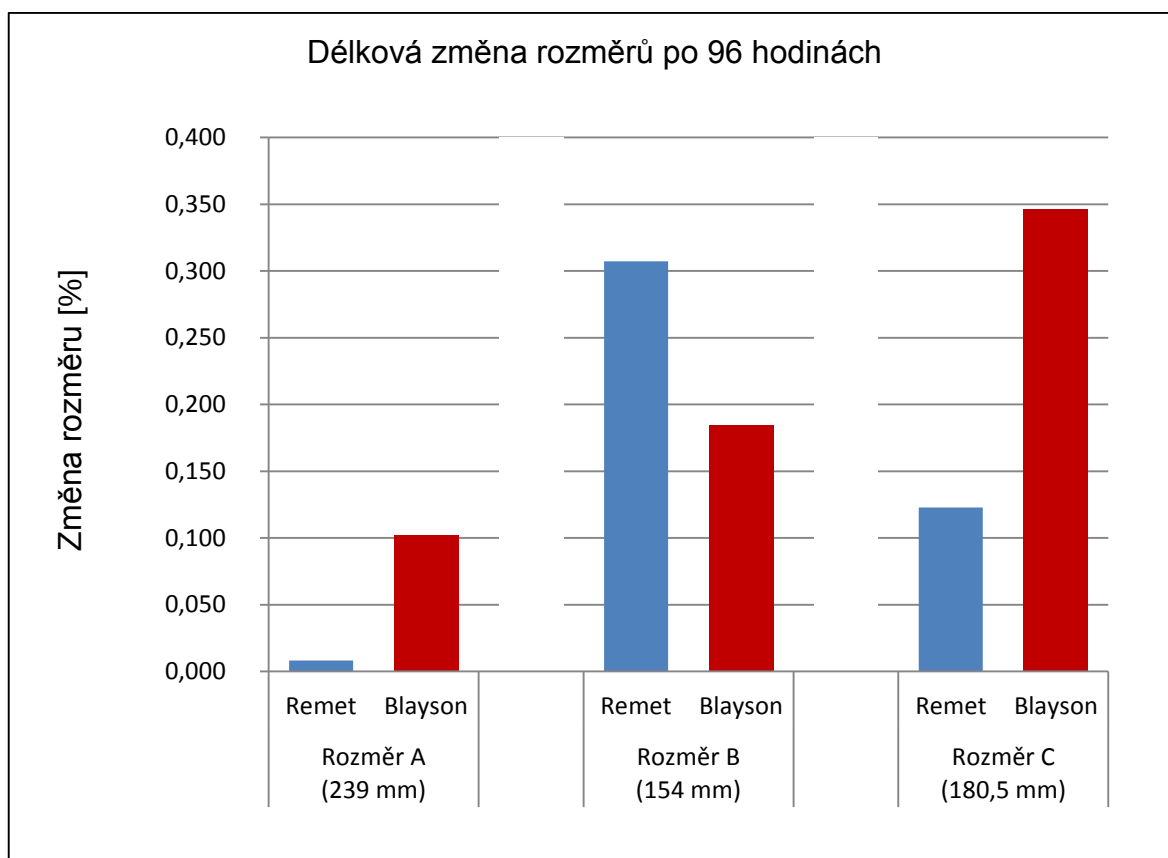
Graf 2.8 Průběh změny rozměru C v čase (031-A-014)

Remet B478 + RF1/B478	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,42557	0,31777	0,30112	0,53795
Průměrná hodnota:	180,17	180,11	180,27	179,95
Největší rozměr:	180,86	180,93	180,93	180,82
Nejnižší rozměr:	179,35	179,59	179,49	179,25

Tab. 2.24 Statistické parametry rozměru C (031-A-014 - Remet)

Blayson RF/60	Po vyjmutí	24 hodin	48 hodin	96 hodin
Směrodatná odchylka:	0,65328	0,63592	0,41124	0,39624
Průměrná hodnota:	180,31	180,42	180,12	179,69
Největší rozměr:	181,47	181,98	180,95	180,61
Nejnižší rozměr:	179,01	179,00	179,16	179,26

Tab. 2.25 Statistické parametry rozměru C (031-A-014 - Blayson)

2.3.3.4. Porovnání rozměrů 007-F-053

Graf 2.9 Délková změna rozměrů po 96 hodinách na modelu 031-A-014

2.3.3.5. Shrnutí rozměrových zkoušek na na voskových modelech 031-A-014

Podobně jako u předchozího měření na zkušební tělese, vykazovala kombinace vosků Remet HYFILL B478 + Remet HYFILL RF1/B478 užší interval změny rozměrů, ale pouze u dvou sledovaných rozměrů (rozměr A a C). U rozměru B tomu bylo naopak. Průběh rozměrové změny v čase, který byl v případě zkušební tělesa 007-F-053 jednoznačně příznivější ve prospěch vosku Blayson se tady nepodařilo jednoznačně potvrdit, protože rozměrové změny u rozměru C pokračovaly i po 24 hodinách a to ještě výrazněji než u vosků Remet.

Je třeba také vzít v úvahu, že na voskový model 031-A-014 je možno pohlížet jako na model silnostěnný. Ze závěrů kapitoly 2.2.3.6 je patrné, že objemové změny vyhovují spíše vosku Remet, což se částečně potvrdilo (rozměr A a C).

I přes to, že výsledky měření rozměrů nejsou jednoznačné ve prospěch některého z vosků, je možno konstatovat, že rozměry vyhovují pro oba typy vosků a jsou v tolerančních polích pro jednotlivé rozměry.

2.4. Testy praskání skořepin

Tato kapitola měla za úkol stanovit vliv použitých vosků (modelových i vtokových), na případné praskání skořepinových forem při jejich vytavování v boilerklávu.

Byly použity voskové modely 031-A-014 vyrobené z modelového vosku Remet (40% Remet HYFILL B478 a 60% Remet HYFILL RF1/B478) v počtu 20 ks a modelového vosku Blayson Recon RF/60 v počtu 60 ks.

Na vtokovou soustavu byly použity vtokové vosky Blayson Runnerplus, Blayson Runnerfilled, převařený vosk Remet a převařený vosk Blayson. Z každého vtokového vosku bylo vyrobeno celkem 20 ks vtokových soustav.

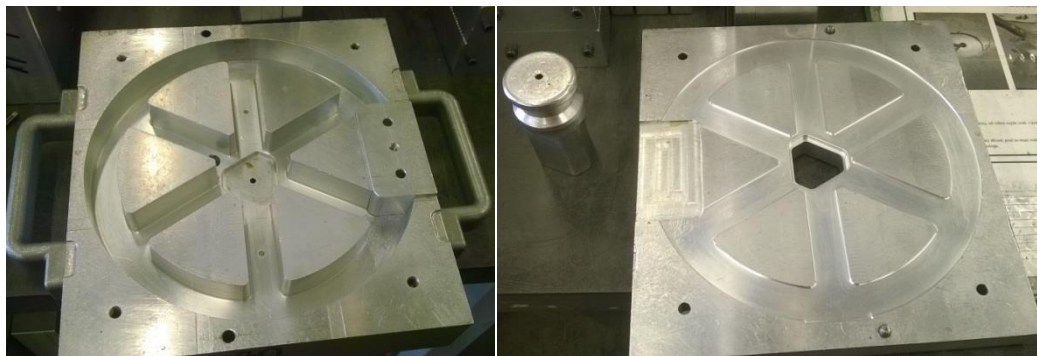
2.4.1. Výroba vtokové soustavy

Vtoková soustava je nedílnou součástí výroby odlitků a její role při vytavování skořepiny v boilerklávu je zásadní. Použité vosky pro výrobu vtokových soustav jsou uvedeny v Tab. 2.26.

Vtoková soustava pro odlitek 031-A-014 se skládá ze 3 částí:

- a) rozváděcí kanál
- b) vtokový kůl
- c) nálevka

add a) Rozváděcí kanál byl vyráběn na lisu Shell-O-Matic 35T-20/28



Obr. 2.8 Matečná forma pro výrobu rozváděcího kanálu



Obr. 2.9 Rozváděcí kanál

Vstřikovaný vosk	Blayson RunnerFilled	Převařovaný vosk Remet	Blayson RunnerPlus	Převařovaný vosk Blayson
Tlak [MPa]	7,5	7,5	7,5	7,5
Průtok [-]	230	220	230	220
Čas vstřiku a dotlaku [s]	90	80	90	80
Teplota v plnicím válci [°C]	65±1	65±1	65±1	65±1
Teplota vosku v kondicionéru [°C]	67±1	67±1	67±1	67±1
Teplota v trysce [°C]	64±1	64±1	64±1	64±1

Tab. 2.26 Parametry pro vstřikování vtokové soustavy



Obr. 2.10 Vstřikovací lis PVJ II s formou

Add b) Rozváděcí kanály se spolu s nálevky vstřikovaly na lisu



Obr. 2.11 Vtokový kůl s nálevkou

2.4.2. Sestavení stromečků

Vtoková soustava pro odlitek 031-A-014 se skládá z vtokového kúlu, rozváděcího kanálu a nálevky. Vtokový kúl má v sobě zastříknutý ocelový trn, který slouží pro upevnění do obalovací linky. Tento trn dále obsahuje čárový kód, který nese informaci o vyráběném odlitku pro potřeby řízení výroby pomocí informačního systému. Jednotlivé díly vtokové soustavy se spojují elektrickou pájkou a hotová vtoková soustava se zamáčí do měkkého vosku (parafín).

Namočení vtokové soustavy do měkkého vosku má dva důvody:

- zacetit spáry mezi jednotlivými díly vtokové soustavy
- vytvořit mezeru při vytavování mezi skořepinou a zbývajícím voskem (parafín se vlivem nízké tavicí teploty roztaví v bojlerklávu jako první)

Po vyrobení všech voskových modelů a příslušných vtokových soustav byly sestaveny stromečky pro odlitky 031-A-014 (viz. Obr. 2.12) tak, že jednotlivé voskové modely byly pájeny k vtokovým soustavám za pomoci nahřátých nožů.



Obr. 2.12 Dokončený stromeček

2.4.3. Obalování

Hotové stromečky se neobalují ihned po sestavení, ale nejdříve po 24 hodinách. Rovněž u samotných voskových modelů dochází v průběhu výroby ke stabilizaci rozměrů. V tomto případě se modely nechaly stabilizovat po dobu sedmi dnů.

Keramická suspenze je připravována ve Fimesu, a. s., a je založena na vodních pojivech a posypech z hlinitokřemičitanů (Mulgrain a Molochite). Problematikou obalování, přípravou keramické suspenze a hlavně složením jednotlivých obalů se Fimes, a.s. zabýval po dobu 3 let v dotačním projektu TAČR TA01010766.

Z hlediska obalování je třeba zdůraznit, že probíhalo na robotické obalovací lince od výrobce VA Technology Ltd., která je nejmodernější v ČR. Problematika obalování na lince je zásadně odlišná od obalování ručního a není zaměnitelná. Je to dáno objemem keramické suspenze v jednotlivých obalovacích tancích. Objem jednoho obalovacího tanku je 1,5 m³. Bližší informace o složení jednotlivých obalů jsou uvedeny v Tab. 2.27.

Číslo obalu	Použité pojivo	Použitá moučka	Hustota (Zahn č. 4) [s]	Použité ostrivo	Teplota okolí [°C]	Doba sušení [h]
1.	Primcote	Mulgrain 60 325#	28±1	Molochite 50/80	23±1	5
2.	Remasol SP Ultra 2408	Molochite 200#	16±1	Molochite 30/80	23±1	4,5
3.	Remasol SP Ultra 2408	Molochite 200#	16±1	Molochite 30/80	23±1	4,5
4.	Remasol SP Ultra 2408	Molochite 200#	16±1	Molochite 16/30	23±1	3,5
5.	Remasol SP Ultra 2408	Molochite 200#	16±1	Molochite 16/30	23±1	3,5
6.	Remasol SP Ultra 2408	Molochite 200#	16±1	Molochite 16/30	23±1	0,5

Tab. 2.27 Parametry obalování

Jednotlivé obaly byly sušeny v klimatizovaných sušárnách s těmito parametry: teplota $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ a vlhkost $50\pm 3\%$ pro primární i zpevňovací obaly.



Obr. 2.13 Sušící se voskové modely obalené skořepinou

2.4.4. Vytavování vosku v boilerklávu

Proces vytavování je velmi důležitý z hlediska budoucí kvality odlitku. Keramická skořepina není pružná, tzn., že pokud dojde v boilerklávu k prasknutí skořepiny, vždy se to projeví negativně na budoucím odlitku, protože dojde k částečnému vydutí stěny skořepiny v místě defektu. Stěna skořepinové formy se pak již nemůže vrátit do původního stavu. Ještě horší případ je ten, že se skořepina roztrhne úplně a dojde k destrukci některé části skořepinové formy. V takovém případě je skořepinová forma nepoužitelná.

2.4.4.1. Navrtávání skořepiny



Obr. 2.14 Navrtání skořepiny

Minimálně 24 hodin po zhotovení posledního obalu je možné začít s vytavováním vosku. Část testovaných skořepinových forem byla navrtána z důvodu snížení tlaku ve skořepině při vytavování, díky rychlejšímu odtoku roztaveného vosku ze skořepiny.



Obr. 2.15 Navrtaná skořepina

2.4.4.2. Umístění skořepin na vsázkový vozík

Skořepiny byly následně rozmístěny na vsázkový vozík, dle nákresu (viz obr. 2.17.). Číslice v nákresu korespondují s pořadovým číslem každé skořepiny, pro každé vytavování.



Obr. 2.16 Skořepiny na vsázkovém vozíku



Obr. 2.17 Rozmístění skořepin

2.4.4.3. Použitý boilerkláv

Vytavování probíhalo v boilerklávu LBBC - 06/10.

Maximální přetlak [MPa]	1,04
Maximální teplota [°C]	180
Objem [l]	890
Provozní přetlak [MPa]	0,65
Provozní teplota [°C]	180 °C

Tab. 2.28 Parametry boilerklávu LBBC – 06/10

Aby boilerkláv pracoval tak, jak je požadováno, musí náběh páry v boilerklávu vytvořit přetlak 0,5 MPa do 5 sekund. Tato kontrolní procedura zaručuje optimální práci tohoto zařízení a dává předpoklad správného vytavovacího cyklu.

Parametry vytavování jsou nastavené na 20 min a provozní přetlak na 0,65 MPa. Po 20 minutách dochází k řízenému vyrovnávání tlaku mezi tlakovou nádobou boilerklávu a okolní atmosférou, což trvá 2 minuty. Následně dojde k otevření komory a vylití tekutého vosku.



Obr. 2.18 Modely v boilerklávu

2.4.4.4. Operace po vytavení

Po vytavení vosku v boilerklávu, bylo potřeba zkontrolovat jednotlivé skořepiny, jestli nějaká napraskla. Případné praskliny, a navrtané otvory bylo třeba opravit slévárenským tmelem. Na každou skořepinu se dále připevňuje čárový kód na pásce se suchým zipem pro potřeby řízení výroby.



Obr. 2.19 Skořepiny označené čárovým kódem



Obr. 2.20 Opravování děr

2.4.5. Popis jednotlivých vytavovacích procesů

Celé vytavování bylo rozděleno do osmi částí, kde vždy na vsázkovém vozíku bylo pět kusů vrtaných a pět kusů nevrtaných skořepin z různých druhů vosků. Konkrétní kombinace modelového a vtokového vosku při vytavování jsou uvedeny v Tab. 2.29 až 2.36.

2.4.5.1. Vytavování č. 1

Pozice	Modelový vosk	Vtokový vosk	Úprava skořepiny	Výsledek
1	Remet B478 + Remet RF1 478	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
2	Remet B478 + Remet RF1 478	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
3	Blayson Recon	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
4	Blayson Recon	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
5	Remet B478 + Remet RF1 478	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
6	Remet B478 + Remet RF1 478	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
7	Blayson Recon	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
8	Blayson Recon	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-

Tab. 2.29 Popis 1. vytavování

Z důvodů porušení dvou kusů voskových modelů při obalování, se vytavovalo pouze osm modelů.

Rychlost náběhu páry při vytavování zkušebních skořepinových forem v boilerklávu bylo (dosažení přetlaku 0,5 MPa) za 4,764 s.

Vytavování proběhlo bez komplikací a nedošlo k žádným vadám na skořepinách.

2.4.5.2. Vytavování č. 2

Pozice	Modelový vosk	Vtokový vosk	Úprava skořepiny	Výsledek
1	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
2	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
3	Remet B478 + Remet RF1 478	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
4	Remet B478 + Remet RF1 478	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
5	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
6	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
7	Remet B478 + Remet RF1 478	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
8	Remet B478 + Remet RF1 478	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
9	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
10	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady

Tab. 2.30 Popis 2. vytavování

Rychlost náběhu páry při vytavování zkušebních skořepinových forem v boilerklávu bylo (dosažení přetlaku 0,5 MPa) za 3,99 s.

Vytavování proběhlo bez komplikací a nedošlo k žádným vadám na skořepinách.

2.4.5.3. Vytavování č. 3

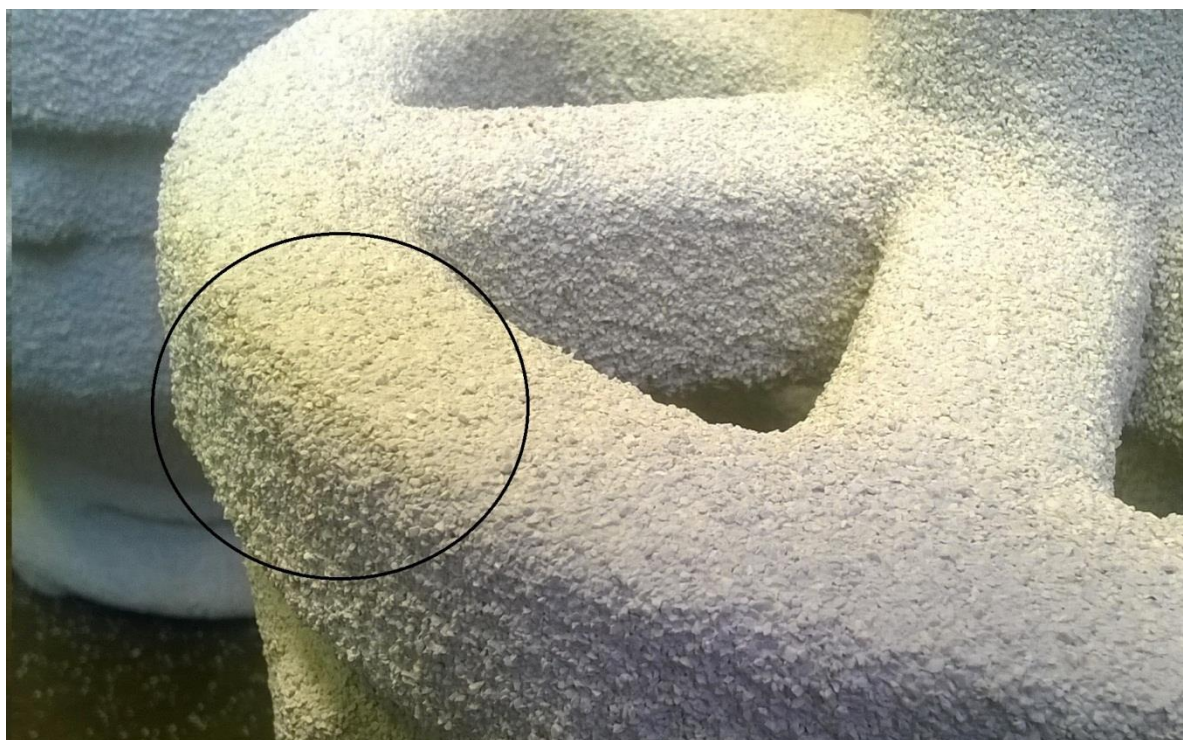
Pozice	Modelový vosk	Vtokový vosk	Úprava skořepiny	Výsledek
1	Remet B478 + Remet RF1 478	Blayson RunnerFilled	Vrtaná	Bez vady
2	Remet B478 + Remet RF1 478	Blayson RunnerFilled	Nevrtaná	Prasklý vrchní okraj skořepiny
3	Blayson Recon	Blayson RunnerFilled	Nevrtaná	Prasklý vrchní okraj skořepiny
4	Blayson Recon	Blayson RunnerFilled	Vrtaná	Bez vady
5	Remet B478 + Remet RF1 478	Blayson RunnerFilled	Nevrtaná	Prasklý vrchní okraj skořepiny
6	Remet B478 + Remet RF1 478	Blayson RunnerFilled	Vrtaná	Bez vady
7	Blayson Recon	Blayson RunnerFilled	Vrtaná	Bez vady
8	Blayson Recon	Blayson RunnerFilled	Nevrtaná	Prasklý vrchní okraj skořepiny
9	Remet B478 + Remet RF1 478	Blayson RunnerFilled	Vrtaná	Bez vady
10	Remet B478 + Remet RF1 478	Blayson RunnerFilled	Nevrtaná	Prasklý vrchní okraj skořepiny

Tab. 2.31 Popis 3. vytavování

Rychlost náběhu páry při vytavování zkušebních skořepinových forem v boilerklávu bylo (dosažení přetlaku 0,5 MPa) za 5,58 s.

U všech nenavrtaných skořepin došlo k prasknutí v jejích horních okrajích (viz obr. 2.21 a 2.22). Vada byla patrná v místě prosáklého vosku.

Tato vada nedělá skořepinu zmetkem, a pro další výrobu je nepodstatná, ale pro účely této práce bude považována jako podstatná informace.



Obr. 2.21 Prasklý vrchní okraj skořepiny č.2



Obr. 2.22 Prasklý vrchní okraj skořepiny č.8

2.4.5.4. Vytavování č. 4

Pozice	Modelový vosk	Vtokový vosk	Úprava skořepiny	Výsledek
1	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerFilled	Vrtaná	Bez vady
2	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerFilled	Nevrtaná	Prasknutí horního rohu skořepiny
3	Remet B478 + Remet RF1 478	Blayson RunnerFilled	Nevrtaná	Bez vady
4	Remet B478 + Remet RF1 478	Blayson RunnerFilled	Vrtaná	Bez vady
5	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerFilled	Nevrtaná	Prasklý vrchní okraj skořepiny
6	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerFilled	Vrtaná	Bez vady
7	Remet B478 + Remet RF1 478	Blayson RunnerFilled	Vrtaná	Bez vady
8	Remet B478 + Remet RF1 478	Blayson RunnerFilled	Nevrtaná	Prasklý vrchní okraj skořepiny
9	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerFilled	Vrtaná	Bez vady
10	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerFilled	Nevrtaná	Prasklý vrchní okraj skořepiny

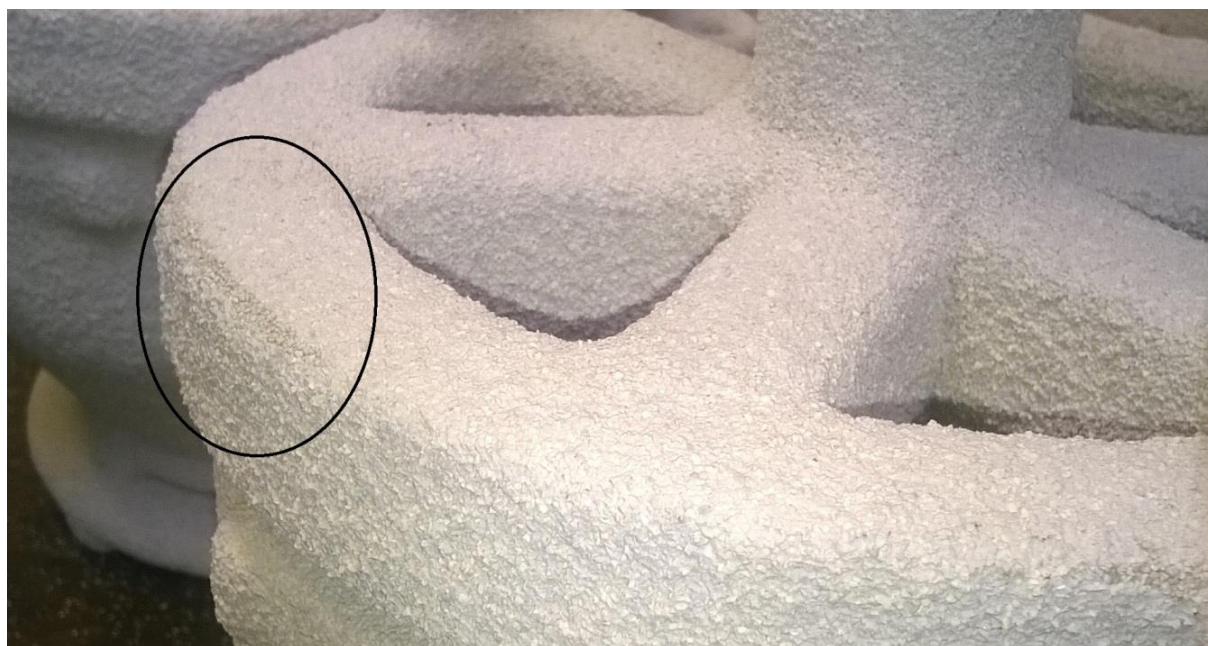
Tab. 2.32 Popis 4. vytavování

Rychlost náběhu páry při vytavování zkušebních skořepinových forem v boilerklávu bylo (dosažení přetlaku 0,5 MPa) za 5,632 s.

U nenavrtaných skořepin číslo 5., 8. a 10. došlo k prasknutí skořepiny na vrchním okraji (viz obr 2.23). Vada byla patrná v místě prosáklého vosku.

Tato vada nedělá skořepinu zmetkem, a pro další výrobu je nepodstatná, ale pro účely této práce bude považována jako podstatná informace.

U nenavrtané skořepiny číslo 2. došlo k prasknutí horního rohu (viz obr 2.23). Jednalo se o vadu podstatnou, a bylo nutné tuto prasklinu opravit slévárenským tmelem.



Obr. 2.23 Prasklý vrchní okraj skořepiny č.2



Obr. 2.24 Prasklý roh skořepiny č.8



Obr. 2.25 Opravená prasklina tmelem č.8

2.4.5.5. Vytavování č. 5

Pozice	Modelový vosk	Vtokový vosk	Úprava skořepiny	Výsledek
1	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
2	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
3	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Nevrtaná	Bez vady
4	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Vrtaná	Bez vady
5	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Prasknutí horního rohu skořepiny
6	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
7	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Vrtaná	Bez vady
8	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Nevrtaná	Prasklina na boku skořepiny
9	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
10	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Prasknutí horního rohu skořepiny

Tab. 2.33 Popis 5. vytavování

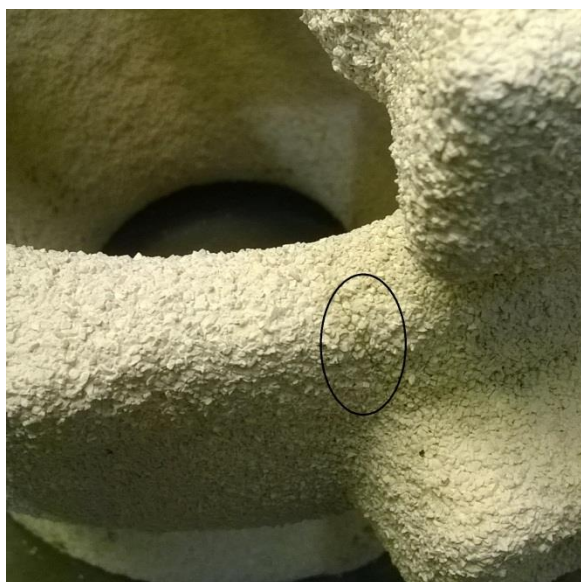
Rychlost náběhu páry při vytavování zkušebních skořepinových forem v boilerklávu bylo (dosažení přetlaku 0,5 MPa) za 5,633 s.

U nenavrtaných skořepin číslo 5 a 10 došlo k prasknutí horního rohu (viz obr. 2.27 a 2.28). Jednalo se o vadu podstatnou, a bylo nutné tuto prasklinu opravit slévárenským tmelem.

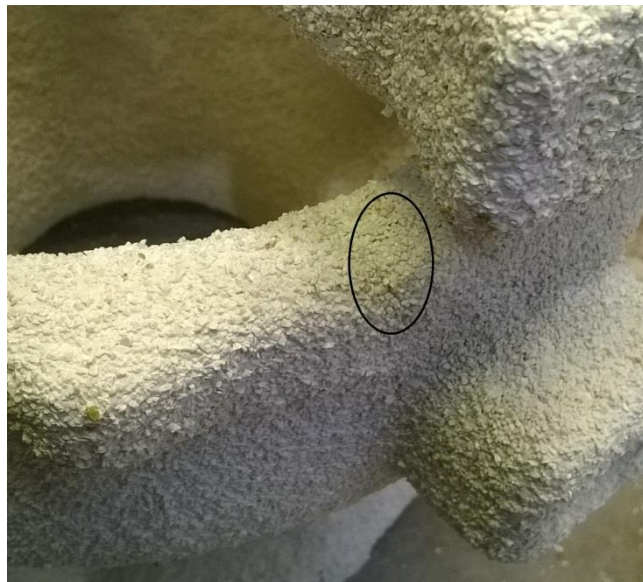
U nenavrtané skořepiny číslo 8 byla zjevně viditelná prasklina v boční části. Jednalo se o vadu podstatnou, a bylo nutné tuto prasklinu opravit slévárenským tmelem.



Obr. 2.26 Prasklina na boku skořepiny č.8



Obr. 2.27 Prasklá skořepina č.5



Obr. 2.28 Prasklá skořepina č.10

2.4.5.6. Vytavování č. 6

Pozice	Modelový vosk	Vtokový vosk	Úprava skořepiny	Výsledek
1	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Vrtaná	Bez vady
2	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Nevrtaná	Bez vady
3	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
4	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
5	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Nevrtaná	Bez vady
6	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Vrtaná	Bez vady
7	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
8	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
9	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Vrtaná	Bez vady
10	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Nevrtaná	Bez vady

Tab. 2.34 Popis 6. vytavování

Rychlost náběhu páry při vytavování zkušebních skořepinových forem v boilerklávu bylo (dosažení přetlaku 0,5 MPa) za 4,659 s.

Vytavování proběhlo bez komplikací, a nedošlo k žádným vadám na skořepinách.

2.4.5.7. Vytavování č. 7

Pozice	Modelový vosk	Vtokový vosk	Úprava skořepiny	Výsledek
1	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
2	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
3	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Nevrtaná	Bez vady
4	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Vrtaná	Bez vady
5	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
6	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
7	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Vrtaná	Bez vady
8	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Nevrtaná	Bez vady
9	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
10	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady

Tab. 2.35 Popis 7. vytavování

Rychlost náběhu páry při vytavování zkušebních skořepinových forem v boilerklávu bylo (dosažení přetlaku 0,5 MPa) za 4,839 s.

Vytavování proběhlo bez komplikací, a nedošlo k žádným vadám na skořepinách.

2.4.5.8. Vytavování č. 8

Pozice	Modelový vosk	Vtokový vosk	Úprava skořepiny	Výsledek
1	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Vrtaná	Bez vady
2	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Nevrtaná	Rozsáhlá prasklina na boku skořepiny
3	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Bez vady
4	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
5	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Nevrtaná	Bez vady
6	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Vrtaná	Bez vady
7	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Vrtaná	Bez vady
8	Blayson Recon FR/60	Převařený vosk	Nevrtaná	Prasklina na spodní hraně skořepiny
9	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Vrtaná	Prasklina na spodní hraně skořepiny
10	Blayson Recon FR/60	Blayson RunnerPlus	Nevrtaná	Prasklina na spodní hraně skořepiny

Tab. 2.36 Popis 8. vytavování

Rychlost náběhu páry při vytavování zkušebních skořepinových forem v boilerklávu bylo (dosažení přetlaku 0,5 MPa) za 5,939 s.

U dvou nenavrtaných a jedné navrtané skořepině číslo 8, 9 a 10 došlo k prasknutí spodní hrany. Tato prasklina by byla zjevně viditelná i bez prosáklého vosku. Jednalo se o vadu podstatnou, a bylo nutné tuto prasklinu opravit slévárenským tmelem.

U nenavrtané skořepiny číslo 2 byla zjevná rozsáhlá prasklina v boční části. Jednalo se o vadu podstatnou, a bylo nutné tuto prasklinu opravit slévárenským tmelem.



*Obr. 2.29 Prasklina na spodním rohu skořepiny
č. 8*



*Obr. 2.30 Tmelem opravená prasklina na spodním
rohu č. 8*



Obr. 2.31 Prasklina na spodním rohu skořepiny č. 10



Obr. 2.32 Rozsáhlá prasklina na boku skořepiny č. 2



Obr. 2.33 Tmelem opravená skořepina č. 2

ZÁVĚR

Tato diplomová práce odráží cílevědomé úsilí firmy FIMES, a. s. hledat nové postupy a suroviny. Logicky navazuje na již dříve provedené projekty, diplomové práce a experimenty. Pokračuje tam, kde předchozí skončili.

Byly použity stejné zkušební vzorky a pracovní postupy tak, aby výsledky byly porovnatelné nejen v rámci této diplomové práce, ale v celkovém konceptu předchozích řešení.

Z úvodu diplomové práce vyplývá, že diplomová práce musí dát odpovědi na dva okruhy otázek:

- 1) Může modelový vosk Blayson Recon FR/60 plnohodnotně nahradit dosud používanou směs modelových vosků Remet (40% HYFILL B478 a 60% HYFILL RF/B478) v sériové výrobě?
- 2) Jaký mají zkoušené vtokové vosky Blayson RunnerFilled a RunnerPlus vliv na vytavování v boilerklávu a jejich porovnání se stávajícími převařovanými vosky?

Ad 1) Experimentální část diplomové práce se zabývala přímým srovnáním vlastností dvou vosků pro výrobu voskových modelů a to směsi vosků Remet (40% HYFILL B478 a 60% HYFILL RF1/B478) a vosku Blayson Recon FR/60, který byl slévárnou zakoupen jako komparační. Experimenty byly provedeny na voskových modelech zkušebního tělesa 007-F-053 a na sériovém voskovém modelu 031-A-014.

Podle naměřených rozměrů měly voskové modely, vyrobené z obou modelových směsí přibližně stejnou směrodatnou odchylku. Vyrobené voskové modely z voskové směsi Remet (40% HYFILL B478 a 60% HYFILL RF1/B478) prokázaly svoji tendenci neustále měnit rozměry v průběhu času měření. Modelový vosk Blayson Recon FR/60 se začal v první fázi po vstříknutí značně smršťovat, ale asi po 24 hodinách se rozměr stabilizoval na stálou hodnotu. Bližší srovnání rozměrových zkoušek na voskových modelech 007-F-053 a 031-A-014 viz. kapitola 2.2.3.6. a 2.3.3.5..

I přes odlišné chování v průběhu stabilizace rozměrů je možné konstatovat, že oba vosky jsou rozměrově vyhovující. Rovněž z hlediska výrobního komfortu jsou vosky srovnatelné. Pevnost, tvrdost a pružnost vosků je rovnocenná a zaměstnanci nejsou z tohoto pohledu schopni identifikovat jednotlivé vosky ve výrobě. Z časového důvodu a z důvodu vytížení výrobních kapacit slévárny nebylo možné provést konečné měření rozměrů již hotových odlitků, ale samotné výsledky měření voskových modelů jsou předpokladem pro kvalitní s rozměrově vyhovující odlitky.

Modelový vosk Blayson Recon FR/60 může být použit ve slévárně FIMES a. s. jako plnohodnotná náhrada stávající voskové směsi.

Ekonomický přínos takového řešení představuje úsporu 12%.

Ad 2) Zkouška vytavování byla realizována na modelu 031-A-014. Byl použit stejný model rozmístění skořepinových forem při vytavování v bojlerkavu jako při realizaci podobných projektů ve firmě Fimes a. s.

Po vytavení celkem 78 ks skořepinových forem (2 se rozbily při obalování) s různou kombinací vosků (viz. Tab. 2.29 až 2.36) bylo 16 ks skořepin poškozeno. Z těchto 16 ks poškozených, byla jedna skořepinová forma před vytavováním navrtána do vtoku viz. 2.4.4.1., ostatní navrtány nebyly.

Z provedených experimentů vyplývá:

- Typ použitého modelového vosku a jeho vlastnosti nemají na praskání skořepinové formy žádný vliv.
- Typ použitého vtokového vosku a jeho vlastnosti mají na praskání skořepinové formy zásadní vliv.
- Navrtání skořepiny má na praskání skořepinové formy zásadní vliv.
- Rozdíl mezi vtokovým voskem Blayson RunnerFilled (s plnivem) a RunnerPlus (bez plniva) se neprojevil ve prospěch některého z těchto vosků. Tyto vosky při vytavování dosahují přibližně podobných výsledků.
- Překročení doporučeného časového limitu 5 sekund pro náběh páry v bojlerklávu na kontrolní tlak 0,5 MPa může mít vliv na praskání skořepiny.

Z hlediska výrobního komfortu byl lépe zaměstnanci hodnocen vtokový vosk Blayson RunnerFilled. Vlastnosti tohoto vosku v praxi se pouze minimálně lišily od vlastností stávajících převařených vtokových vosků. Rovněž změna parametrů vstřikovacích lisů a chlazení samotných forem byla menší než v případě vosku Blayson RunnerPlus.

Z Ekonomického hlediska lze pouze odhadnout náklady, které lepší vnitřní čistota skořepinové formy přinese. Výrazně lze tímto způsobem snížit náklady na apretaci odlitků (svařování, tmelení, broušení ...) a následné kontrolní operace (RTG a penetrace). Zároveň s poklesem nákladů na opravu vad dojde k uvolnění kapacit těchto pracovišť a může být zpracován větší objem zakázek. Dále lze předpokládat snížení neopravitelných odlitků o 0,5% z celkového počtu neshodných odlitků.

Na druhou stranu je třeba vzít v úvahu cenu nakupovaných vtokových vosků, která se pohybuje kolem 1,5 €/kg.

Zkoušené vtokové vosky Blayson RunnerFilled a RunnerPlus mají velmi kladný vliv na vnitřní čistotu skořepinové formy po vytavování. V porovnání se stávajícími převařovanými vtokovými vosky z hlediska praskání skořepinových forem v průběhu vytavování však nepřinášejí žádné očekávané zlepšení.

Ekonomický přínos nových vtokových vosků přinese výraznější úspory pouze v případě, že se jejich zavedením podaří snížit praskání skořepinových forem v průběhu vytavování v porovnání se stávajícím vtokovým voskem.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BEELEY, Peter R. *Investment Casting*. 1st ed. London: The institute of Materials, 1995. 486 s. ISBN 0-901716-66-9.
- [2] HORÁČEK, Milan. *Technologie vytavitelného modelu: Rozměrová přesnost odlitků vyráběných metodou vytavitelného modelu* [online]. Brno: Odbor slévárenství ÚST, FSI VUT Brno, 2009 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/opory.html>
- [3] KRACMAN, Ondřej. *Faktory ovlivňující přesnost odlitků u metody vytavitelného modelu* [online]. ČVUT v Praze, 2008, 10 s. [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: http://stc.fs.cvut.cz/History/2008/Sbornik/S3/Kracman_Ondrej_12133.pdf
- [4] KOLESÁR, R. *Optimalizace technologií vosků a skořepin ve firmě Fimes*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 91 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Milan Horáček, CSc..
- [5] BOND, D., NISHIKAWA, K. *Investment Casting Wax Technology* [online]. 4.1.2006, [cit. 2015-03-30]. Dostupný z WWW: <http://www.investmentcastingwax.com/downloads/tl5.pdf>
- [6] Blayson Olefines Ltd. *Waxes for Investment Casting - A View from England* [online]. 1987 [cit. 2015-03-30]. Dostupný z WWW: <http://www.investmentcastingwax.com/downloads/tl1.pdf>
- [7] Blayson Olefines Ltd. *Investment Casting Wax- The Basics of Investment Casting Wax* [online]. 4. 1. 2006 [cit. 2015-03-30]. Dostupný z WWW: <http://www.investmentcastingwax.com/downloads/tl8.pdf>
- [8] Investment Casting Institute. *Standart test Procedures for Pattern Materials* [Online]. 1998 [cit. 2015-03-30], 19 s. Dostupné z: <http://www.investmentcasting.org/publications.asp>
- [9] HANCOCK, Phil. *Wax Fundamentals and Use with Ceramic Cores: Now and the Future*. Investment Casting Wax [online]. 2007 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://investmentcastingwax.com/downloads/tl15.pdf>
- [10] TALANDA, I. *Optimalizace technologie výroby odlitků ze slitin Al metodou vytavitelného modelu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 112 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Milan Horáček, CSc..
- [11] HANCOCK, Phil. THE BLAYSON TECHNICAL CENTRE: *Wax Testing*. Investment Casting Wax [online]. 2011 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://investmentcastingwax.com/downloads/tl21.pdf>
- [12] KOSOUR, V. *Využití numerické simulace k optimalizaci výroby voskových modelů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 139 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Milan Horáček, CSc.

- [13] BOND, D. - MORSON, D. - HANCOCK, P. - HORÁČEK M., Slévárenství: *Pokroky při testování vosků ovlivňující jejich další rozvoj*. 2012, roč. 60, 9-10, s. 337-341. DOI: 0037-6825.
- [14] NILES, Jeffry C.; ANIBARRO, Marcelo; FIELDER, Harvey. *Wax characterization for the investment casting process*. Incast. Březen 2003, vol. XVI, no.3, s. 16-19.
- [15] HIRST, RICHARD. *Cost Reduction Through Wax Reclamation: EICF Best Practice Workshop Bilbao*. Investment Casting Wax [online]. 2005 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://investmentcastingwax.com/downloads/tl3.pdf>
- [16] HORÁČEK, Milan. *Rozměrová přesnost odlitků vyráběných metodou vytavitelného modelu*. Brno, 2003. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [17] HORÁČEK, Milan. *Přehled vosků pro přesné lití*. Brno: Odbor slévárenství ÚST, FSI Brno, 2006. 15 s.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Equestrian monument, renesanční Itálie, bronz, rok 1620 [1]	11
Obr. 1.2 Popis metody vytavitelného modelu.....	12
Obr. 1.3 Fázové změny ve voscích [1].....	13
Obr. 1.4 Struktura parafinových vosků [4].....	13
Obr. 1.5 Regenerace voskové směsi [10].....	16
Obr. 1.6 Schéma rekonstituce vosků [17]	17
Obr. 1.7 Měření bodu tuhnutí [9].....	18
Obr. 1.8 Zkouška bodu skápnutí [9].....	18
Obr. 1.9 Měření viskozity voskové směsi.....	19
Obr. 1.10 Pevnost vosku v závislosti na stáří [10]	19
Obr. 1.11 Kelímky na společném ohříváči [13]	20
Obr. 1.12 Ukázka DSC křivky (závislost pohlcené energie na teplotě) [13].....	20
Obr. 1.13 Schéma metody FTIR [13].....	21
Obr. 1.14 Obrázek reometru a jeho schéma [13].....	21
Obr. 1.15 Příklad výsledků z reometru [13].....	21
Obr. 1.16 Forma pro zkoušku zabíhavosti Remet [14].....	22
Obr. 1.17 Forma pro zkoušku zabíhavosti Blayson [15].....	22
Obr. 2.1 Voskový model 007-F-053.....	24
Obr. 2.2 Voskový model 031-A-014.....	24
Obr. 2.3 Zkušební voskový model 007-F-053	28
Obr. 2.4 Matečná forma 007-F-053	29
Obr. 2.5 Vstříkolis Shell-O-Matic.....	29
Obr. 2.6 Voskový model 031-A-014.....	36
Obr. 2.7 Matečná forma 031-A-014	37
Obr. 2.8 Matečná forma pro výrobu rozváděcího kanálu	43
Obr. 2.9 Rozváděcí kanál	43
Obr. 2.10 Vstříkovací lis PVJ II s formou	44
Obr. 2.11 Vtokový kůl s nálevkou	44
Obr. 2.12 Dokončený stromeček	45
Obr. 2.13 Sušící se voskové modely obalené skořepinou.....	46
Obr. 2.14 Navrtání skořepiny.....	47
Obr. 2.15 Navrtaná skořepina	47
Obr. 2.16 Skořepiny na vsázkovém vozíku.....	47
Obr. 2.17 Rozmístění skořepin	47
Obr. 2.18 Modely v boilerklávu	48
Obr. 2.19 Skořepiny označené čárovým kódem	48

Obr. 2.20 Opravování děr.....	48
Obr. 2.21 Prasklý vrchní okraj skořepiny č.2.....	52
Obr. 2.22 Prasklý vrchní okraj skořepiny č.8.....	52
Obr. 2.23 Prasklý vrchní okraj skořepiny č.2.....	54
Obr. 2.24 Prasklý roh skořepiny č.8.....	54
Obr. 2.25 Opravená prasklina tmelem č.8	54
Obr. 2.26 Prasklina na boku skořepiny č.8	56
Obr. 2.27 Prasklá skořepina č.5	56
Obr. 2.28 Prasklá skořepina č.10	56
Obr. 2.29 Prasklina na spodním rohu skořepiny č. 8	60
Obr. 2.30 Tmelem opravená prasklina na spodním rohu č. 8	60
Obr. 2.31 Prasklina na spodním rohu skořepiny č. 10	60
Obr. 2.32 Rozsáhlá prasklina na boku skořepiny č. 2.....	61
Obr. 2.33 Tmelem opravená skořepina č. 2.....	61

SEZNAM GRAFŮ

Graf 2.1 Průběh změny rozměru A v čase (007-F-053)	31
Graf 2.2 Průběh změny rozměru B v čase (007-F-053)	32
Graf 2.3 Průběh změny rozměru C v čase (007-F-053)	33
Graf 2.4 Průběh změny rozměru D v čase (007-F-053)	34
Graf 2.5 Délková změna rozměrů po 96 hodinách na zkušebním tělese	35
Graf 2.6 Průběh změny rozměru A v čase (031-A-014)	39
Graf 2.7 Průběh změny rozměru B v čase (031-A-014)	40
Graf 2.8 Průběh změny rozměru C v čase (031-A-014)	41
Graf 2.9 Délková změna rozměrů po 96 hodinách na modelu 031-A-014.....	42

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Parametry vosku Blayson Recon FR/60	25
Tab. 2.2 Parametry vosku Blayson RunnerPlus	25
Tab. 2.3 Parametry vosku Blayson RunnerFilled	26
Tab. 2.4 Parametry vosku Remet HYFILL B478	27
Tab. 2.5 Parametry vosku Remet HYFILL RF1 478	27
Tab. 2.6 Jmenovité rozměry zkušebního tělesa 007-F-053	28
Tab. 2.7 Parametry vstřikolisu SHELL-O-MATIC [4]	29
Tab. 2.8 Parametry pro vstřikování modelu 007-F-053	30
Tab. 2.9 Statistické parametry rozměru A (007-F-053- Remet)	31
Tab. 2.10 Statistické parametry rozměru A (007-F-053 - Blayson)	31
Tab. 2.11 Statistické parametry rozměru B (007-F-053 - Remet)	32
Tab. 2.12 Statistické parametry rozměru B (007-F-053 - Blayson)	32
Tab. 2.13 Statistické parametry rozměru C (007-F-053 - Remet)	33
Tab. 2.14 Statistické parametry rozměru C (007-F-053 - Blayson)	33
Tab. 2.15 Statistické parametry rozměru D (007-F-053 - Remet)	34
Tab. 2.16 Statistické parametry rozměru D (007-F-053 - Blayson)	34
Tab. 2.17 Jmenovité rozměry voskového modelu 031-A-014	36
Tab. 2.18 Parametry vstřikolisu SHELL-O-MATIC [4]	37
Tab. 2.19 Parametry pro vstřikování modelu 031-A-014	38
Tab. 2.20 Statistické parametry rozměru A (031-A-014 - Remet)	39
Tab. 2.21 Statistické parametry rozměru A (031-A-014 - Blayson)	39
Tab. 2.22 Statistické parametry rozměru B (031-A-014 - Remet)	40
Tab. 2.23 Statistické parametry rozměru B (031-A-014 - Blayson)	40
Tab. 2.24 Statistické parametry rozměru C (031-A-014 - Remet)	41
Tab. 2.25 Statistické parametry rozměru C (031-A-014 - Blayson)	41
Tab. 2.26 Parametry pro vstřikování vtokové soustavy	44
Tab. 2.27 Parametry obalování	45
Tab. 2.28 Parametry boilerklávu LBBC – 06/10	48
Tab. 2.29 Popis 1. vytavování	49
Tab. 2.30 Popis 2. vytavování	50
Tab. 2.31 Popis 3. vytavování	51
Tab. 2.32 Popis 4. vytavování	53
Tab. 2.33 Popis 5. vytavování	55
Tab. 2.34 Popis 6. vytavování	57
Tab. 2.35 Popis 7. vytavování	58
Tab. 2.36 Popis 8. vytavování	59

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Technická dokumentace vosku Blayson Recon FR/60	70
Příloha 2 – Technická dokumentace vosku Blayson Runner Filled	71
Příloha 3 – Technická dokumentace vosku Blayson Runner Filled (pokračování)	72
Příloha 4 – Technická dokumentace vosku Blayson RunnerPlus	73
Příloha 5 – Technická dokumentace vosku HYFILL RF1 478	74
Příloha 6 – Technická dokumentace vosku HYFILL B478	75
Příloha 7 – Výkres odlitku 031-A-014	76
Příloha 8 – Výkres odlitku 007-F-053.....	77
Příloha 9 – Data pro kapitolu 2.2.3.1.	78
Příloha 10 – Data pro kapitolu 2.2.3.2.	79
Příloha 11 – Data pro kapitolu 2.2.3.3.	80
Příloha 12 – Data pro kapitolu 2.2.3.4.	81
Příloha 13 – Data pro kapitolu 2.3.3.1.	82
Příloha 14 – Data pro kapitolu 2.3.3.2.	83
Příloha 15 – Data pro kapitolu 2.3.3.3.	84

PŘÍLOHY*Příloha 1 – Technická dokumentace vosku Blayson Recon FR/60***Blayson****Blayson Olefines Ltd
Certificate of Conformity**Batch no: **Y0285A**

Approval Date: 23/04/2015

Material Type: RECONFR/60 Green Wax Pellets

Specification Issue 3

Laboratory Test	Min	Max	Result
Congealing Point/°C BQT-03	63	67	66
Drop Melt Point/°C BQT-06	70	73	73
Ash Value/% BQT-01		0.05	0.03
Penetration/dmm BQT-02	9	12	10
Viscosity @ 70°C/Pa s BQT-05A	0.70	1.10	0.80
Water Content/% BQT-04	0.0	0.0	0.0
Filler Content/% BQT-07B	30.0	32.0	30.4

We certify that the above material has been manufactured using approved raw materials, processed to specified techniques and that these results accurately represent the batch from which the sample was taken.

Approved by the Quality Control Laboratory - The Blayson Technical Centre

For any further information, please contact The Blayson Technical Centre - technical@blayson.com

Blayson Olefines Ltd

Denny Industrial Centre, Pembroke Avenue, Cambridge CB25 9QP (UK)

Tel +44 (0)1223 861 491 - Fax +44 (0)1223 441 500 - enquiries@blayson.com - www.blayson.com

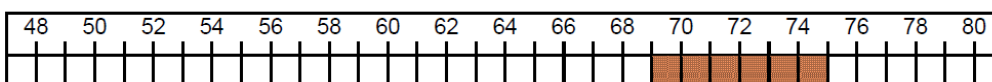
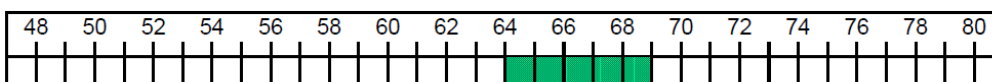
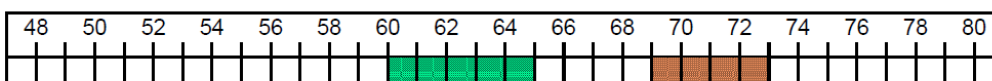
Registered in England No 00703644 - A member of The Blayson Group Ltd

*Příloha 2 – Technická dokumentace vosku Blayson Runner Filled***Blayson****Technical Data Sheet****RUNNER/FR Filled Runner Wax****Description**

- A Low - medium viscosity, filled, virgin pattern wax
- Quick setting wax with minimal cavitation/sinkage
- Dimensionally very stable
- Wide injection range, from paste to liquid
- Capable of producing patterns of all sizes, and thick or thin sections
- Non-sticky requiring very little release agent for removal from dies
- Returns to shape if distortion occurs on removal from the die
- Resists cracking

Recommended maximum melting temperature of 100°C.

To prevent filler separation we recommend that the wax be stirred slowly and continually

Typical Properties**Congealing Point/°C****Drop Melt Point/°C****Recommended Injection Temperature/°C: Paste/Liquid****Mechanical Strength**

Příloha 4 – Technická dokumentace vosku Blayson RunnerPlus

UNCONTROLLED DOCUMENT

Blayson**PRODUCT DATA SHEET**

FOR GUIDANCE ONLY

RUNNERPLUS**Unfilled Wax****Description**

- Unfilled runner wax
- Suitable for most runner systems
- Stable compound enables reclamation

Typical Properties

Congealing Point	62 – 66 °C	Free Linear Contraction @ 68 °C	Data on request
DMP	68 – 73 °C	Filler Content	Nil
Ash Content	0.05 % Max	Filler Type	N/A
Penetration	9 – 13 dmm	Paste Injection Temp	60 – 62 °C
Viscosity @ 70 °C	0.1 – 0.5 Pa · s	Liquid Injection Temp	68 – 72 °C
DSC Onset	35 °C Min	Product Form	Pellet
DSC Peak	54.5 – 59.5 °C	Product Colour	Natural
DSC End	71 °C Max		

Additional Information

- Intended for use in the production of investment casting wax parts
- The recommended maximum melting temperature of the wax is 100 °C
- Once melted the wax should be stirred continually at an agitation speed of 10 to 15 rpm
- Trisol 60 Plus is recommended as a suitable pattern wash
- Further information can be found at www.blayson.com/help

Příloha 5 – Technická dokumentace vosku HYFILL RF1 478



REMET UK Limited

Unit 44, Riverside II, Sir Thomas Longley Road, Rochester, Kent ME2 4DP

Tel: +44 (0) 1634 226240

Fax: +44 (0) 1634 226241

www.remet.com

Hyfill RF1 478

Hyfill RF1 478

2013/23788

BATCH NUMBER: 713570

DATE: 15th November 2013

TEST CERTIFICATE

PROPERTY	METHOD	RESULT	SPECIFICATION
Congealing Point (°C)	IP 76	65	NA
Penetration @ 25°C (dmm)	IP 49	3	NA
Penetration @ 43.3°C (dmm)	IP 49	33	NA
Brookfield Viscosity @ 80°C (cps)	DCF.1	880	NA
Brookfield Viscosity @ 90°C (cps)	DCF.1	578	NA
Brookfield Viscosity @ 100°C (cps)	DCF.1	376	NA
Ash Content (%)	DCF.2	<0.005	0.03 Max.
Filler Content (%)	DCF.3	29.0	NA
Colour	DCF.4	Brown	

We certify that the goods tested hereon have been inspected and unless otherwise stated, conform to the full requirements of the order, and that the raw materials used have been obtained from approved sources.

A. Hudson.
(SENIOR QUALITY CONTROLLER)

This document is created electronically and is valid without a signature

Hyfill RF1 - 478 – electronic test certificate

Registered Name: Remet UK Limited
Registered Office: 44 Riverside II, Sir Thomas Longley Road, Rochester, Kent, ME2 4DP
Registered No: 4780567 England

Rev. 02

Příloha 6 – Technická dokumentace vosku HYFILL B478



REMET UK Limited

Unit 44, Riverside II, Sir Thomas Longley Road, Rochester, Kent ME2 4DP

Tel: +44 (0) 1634 226240

Fax: +44 (0) 1634 226241

www.remet.com

2013/23788

HYFILL B478

HYFILL B478

BATCH NUMBER: 713543

DATE: 30th October 2013

TEST CERTIFICATE

PROPERTY	METHOD	RESULT	SPECIFICATION
Melt Point (°C)	IP 371	73	NA
Congeeing Point (°C)	IP 76	64.5	62.0 – 67.0
Penetration @ 25°C (dmm)	IP 49	3	2.0 – 7.0
Penetration @ 43.4°C (dmm)	IP 49	33	26 - 36
Brookfield Viscosity @ 80°C (cps)	DCF.1	897	800 – 950
Brookfield Viscosity @ 90°C (cps)	DCF.1	526	500 – 600
Brookfield Viscosity @ 100°C (cps)	DCF.1	342	320 - 380
Ash Content (%)	DCF.2	0.012	0.030 Max.
Filler Content (%)	DCF.3	31.9	28.0 – 32.0
Colour	DCF.4	Green	Green

We certify that the goods tested hereon have been inspected and unless otherwise stated, conform to the full requirements of the order, and that the raw materials used have been obtained from approved sources.

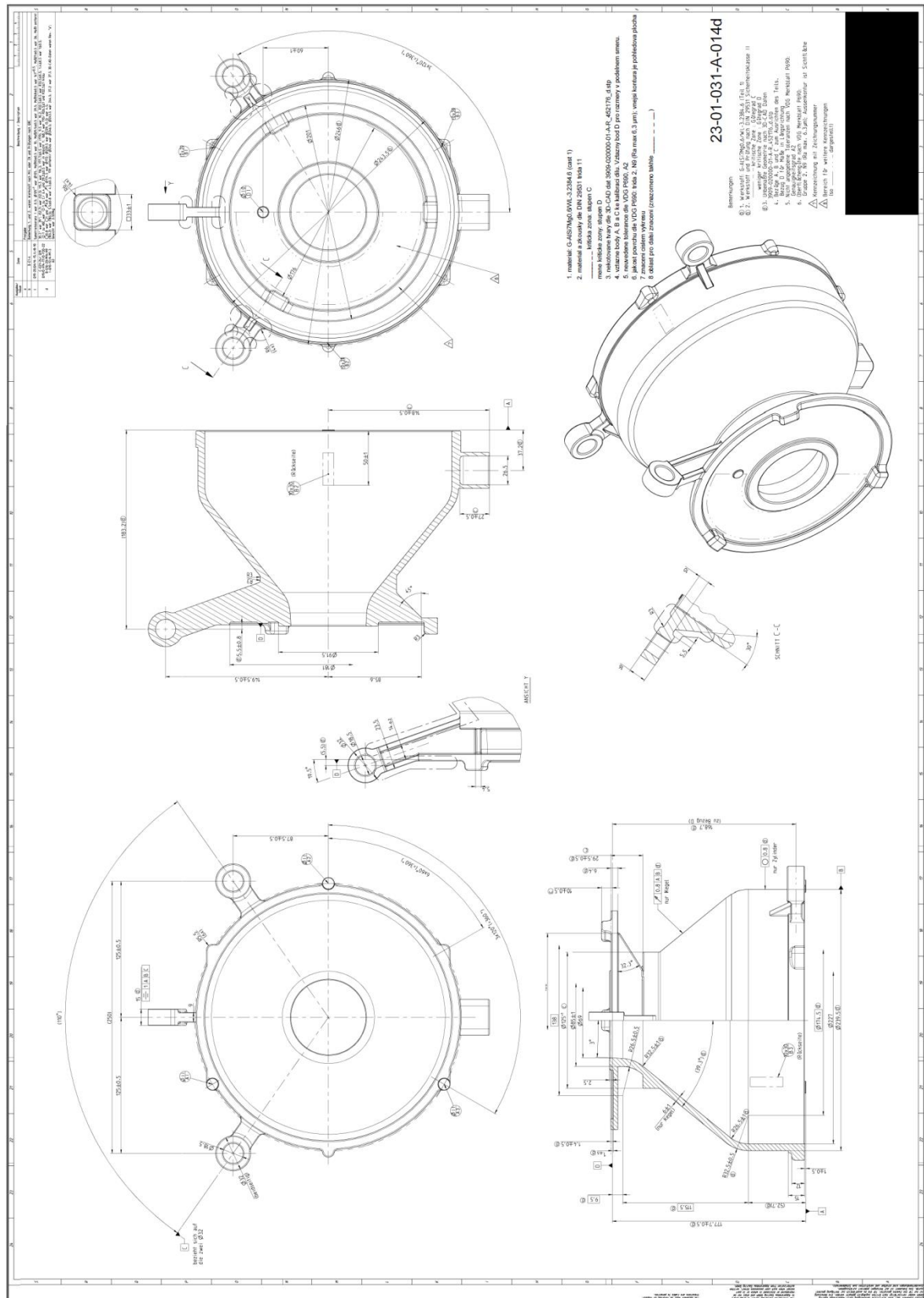
A. Hudson.
(SENIOR QUALITY CONTROLLER)

This document is created electronically and is valid without a signature

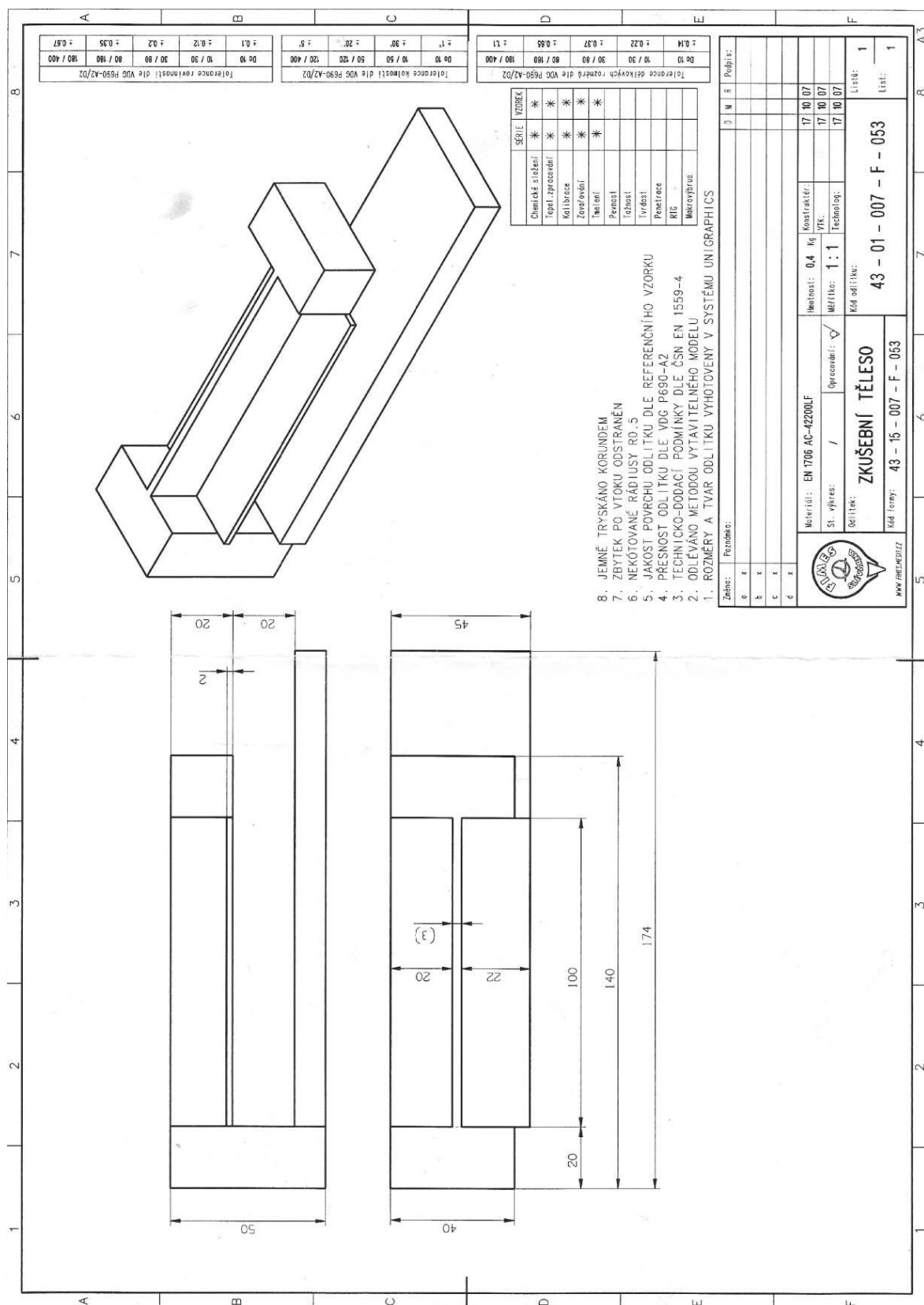
Hyfill B478 – electronic test certificate

Registered Name: Remet UK Limited
Registered Office: 44 Riverside II, Sir Thomas Longley Road, Rochester, Kent. ME2 4DP
Registered No: 4780567 England

Rev. 02



Příloha 8 – Výkres odlitku 007-F-053



Příloha 9 – Data pro kapitolu 2.2.3.1.

Model: 007-F-053		Rozměr: A			Remet HYFILL (40 % B478 + 60% RF1/B478)			
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod				
1	40,16	40,11	40,08	40,12				
2	40,14	40,10	40,14	40,11				
3	40,15	40,13	40,10	40,15				
4	40,17	40,10	40,11	40,14				
5	40,14	40,20	40,10	40,15				
6	40,16	40,18	40,16	40,16				
7	40,14	40,15	40,15	40,10				
8	40,20	40,15	40,17	40,13				
9	40,16	40,20	40,22	40,13				
10	40,21	40,14	40,11	40,15				
11	40,15	40,11	40,04	40,23				
12	40,10	40,14	40,06	40,14				
13	40,14	40,17	40,08	40,17				
14	40,11	40,10	40,06	40,11				
15	40,15	40,16	40,10	40,12				
16	40,15	40,16	40,07	40,17				
17	40,16	40,18	40,05	40,12				
18	40,15	40,07	40,04	40,08				
19	40,19	40,16	40,07	40,19				
20	40,18	40,14	40,08	40,12				
Arit. průměr [mm]:		40,16	40,143	40,10	40,14			
Směrodatná odchylka [mm]		0,02645	0,0356	0,0476	0,0339			

Model: 007-F-053		Rozměr: A			Blayson Recon FR/60			
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod				
1	40,34	40,08	40,08	40,12				
2	40,22	40,17	40,07	40,04				
3	40,16	40,17	40,03	40,03				
4	40,11	40,14	40,10	40,08				
5	40,18	40,04	40,07	40,07				
6	40,12	40,04	39,97	40,08				
7	40,17	40,10	40,03	40,01				
8	40,17	40,11	40,05	40,05				
9	40,22	40,04	40,02	40,02				
10	40,25	40,13	40,05	40,03				
11	40,14	40,05	40,03	40,02				
12	40,06	40,07	40,10	40,00				
13	40,13	40,09	40,04	40,07				
14	40,14	40,06	40,03	40,05				
15	40,19	40,07	40,06	40,05				
16	40,16	40,03	40,05	40,02				
17	40,12	40,03	40,05	40,01				
18	40,20	40,03	40,02	40,02				
19	40,25	40,06	40,05	40,05				
20	40,18	40,03	40,02	40,01				
Arit. průměr [mm]:		40,18	40,08	40,05	40,04			
Směrodatná odchylka [mm]		0,0615	0,0460	0,0301	0,0307			

Příloha 10 – Data pro kapitolu 2.2.3.2.

Model: 007-F-053		Rozměr: B		Remet HYFILL (40 % B478 + 60% RF1/B478)	
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod	
1	50,06	50,02	50,03	50,08	
2	50,06	50,06	50,02	50,04	
3	50,02	50,05	50,01	50,01	
4	50,06	50,05	50,04	50,02	
5	50,17	50,04	50,01	50,02	
6	50,08	50,07	50,01	50,04	
7	50,06	50,04	50,03	49,97	
8	50,07	50,16	50,05	50,01	
9	50,03	50,12	50,02	50,05	
10	50,11	50,11	50,05	50,08	
11	50,13	50,11	50,01	50,03	
12	50,16	50,07	49,96	50,04	
13	50,10	50,10	50,01	50,03	
14	50,15	50,12	50,04	50,06	
15	50,10	50,14	50,01	50,03	
16	50,12	50,06	49,99	50,06	
17	50,14	50,10	50,03	50,06	
18	50,18	50,08	50,01	50,06	
19	50,17	50,06	50,03	50,03	
20	50,25	50,05	50,03	50,05	
Arit. průměr [mm]:	50,11	50,08	50,02	50,04	
Směrodatná odchylka [mm]	0,0582	0,0375	0,0209	0,0260	

Model: 007-F-053		Rozměr: B	Blayson Recon FR/60	
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod
1	50,20	50,07	50,01	50,09
2	50,21	50,06	49,99	50,01
3	50,04	49,99	49,98	50,02
4	50,06	50,02	49,98	50,00
5	50,09	50,01	50,01	50,06
6	50,12	49,98	49,96	50,01
7	50,10	49,97	49,96	50,07
8	50,11	50,01	50,03	50,01
9	50,17	50,02	49,99	49,99
10	50,24	50,09	49,99	49,99
11	50,01	50,02	50,01	49,95
12	50,01	49,96	49,95	49,95
13	50,04	49,96	49,96	50,01
14	50,09	50,02	50,02	49,95
15	50,36	50,01	49,97	49,93
16	50,12	49,99	49,96	49,92
17	50,12	50,04	50,03	49,96
18	50,17	49,97	49,93	49,92
19	50,27	49,98	49,93	50,02
20	50,35	50,03	49,99	50,01
Arit. průměr [mm]:	50,14	50,01	49,98	49,99
Směrodatná odchylka [mm]	0,1022	0,0363	0,0301	0,0482

Příloha 11 – Data pro kapitolu 2.2.3.3.

Model: 007-F-053		Rozměr: C		Remet HYFILL (40 % B478 + 60% RF1/B478)	
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod	
1	141,07	140,82	140,97	140,89	
2	141,10	140,86	140,81	140,79	
3	140,86	140,86	140,88	140,77	
4	141,08	140,76	140,81	140,86	
5	140,93	140,69	140,75	140,82	
6	140,97	140,79	140,74	140,77	
7	140,84	140,36	140,92	140,82	
8	140,96	141,03	140,96	140,82	
9	140,93	140,78	140,94	140,88	
10	141,16	140,88	141,07	140,79	
11	140,92	140,84	140,81	141,13	
12	140,80	140,89	140,84	140,84	
13	140,87	140,86	140,85	140,91	
14	140,93	140,96	140,87	140,95	
15	140,93	140,90	140,80	140,78	
16	140,90	140,91	140,78	140,85	
17	140,93	140,87	140,72	140,81	
18	140,90	140,90	140,90	140,78	
19	140,95	141,16	140,72	140,77	
20	140,97	141,08	140,66	140,85	
Arit. průměr [mm]:		140,95	140,86	140,84	140,84
Směrodatná odchylka [mm]		0,0906	0,1600	0,1010	0,0841

Model: 007-F-053		Rozměr: C		Blayson Recon FR/60	
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod	
1	141,32	140,82	140,77	140,80	
2	140,75	140,74	140,72	140,72	
3	140,94	140,66	140,59	140,64	
4	140,65	140,64	140,60	140,62	
5	140,67	140,64	140,59	140,65	
6	140,70	140,61	140,61	140,64	
7	140,81	140,78	140,68	140,73	
8	140,89	140,71	140,71	140,71	
9	140,80	140,65	140,65	140,62	
10	140,97	140,80	140,73	140,65	
11	140,85	140,66	140,71	140,65	
12	140,71	140,65	140,64	140,70	
13	140,75	140,62	140,64	140,68	
14	140,78	140,64	140,65	140,58	
15	140,88	140,67	140,79	140,65	
16	140,92	140,66	140,77	140,63	
17	140,90	140,66	140,62	140,62	
18	140,91	140,69	140,62	140,66	
19	140,92	140,71	140,63	140,64	
20	140,93	140,64	140,57	140,59	
Arit. průměr [mm]:		140,8525	140,6825	140,6645	140,659
Směrodatná odchylka [mm]		0,14718	0,059725	0,06637	0,051901

Příloha 12 – Data pro kapitolu 2.2.3.4.

Model: 007-F-053		Rozměr: D		Remet HYFILL (40 % B478 + 60% RF1/B478)	
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod	
1	174,58	174,76	174,44	174,46	
2	174,77	174,72	174,44	174,46	
3	174,52	174,76	174,43	174,38	
4	174,70	174,66	174,46	174,45	
5	174,63	174,74	174,46	174,52	
6	174,94	174,80	174,37	174,34	
7	174,50	174,80	174,36	174,36	
8	174,74	174,90	174,46	174,42	
9	174,94	174,81	174,42	174,38	
10	174,84	175,00	174,47	174,52	
11	174,65	174,69	174,39	174,34	
12	174,47	174,71	174,29	174,30	
13	174,74	174,80	174,40	174,49	
14	174,92	174,77	174,52	174,54	
15	175,01	174,78	174,38	174,38	
16	174,58	174,54	174,31	174,29	
17	174,86	174,59	174,41	174,36	
18	174,64	174,50	174,32	174,38	
19	174,62	174,55	174,32	174,37	
20	174,81	174,54	174,30	174,37	
Arit. průměr [mm]:	174,72	174,72	174,40	174,41	
Směrodatná odchylka [mm]	0,1599	0,1280	0,0651	0,0732	

Model: 007-F-053		Rozměr: D		Blayson Recon FR/60	
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod	
1	174,64	174,41	174,41	174,50	
2	174,61	174,38	174,40	174,30	
3	174,60	174,35	174,41	174,35	
4	174,49	174,24	174,25	174,33	
5	174,48	174,35	174,35	174,43	
6	174,50	174,32	174,25	174,22	
7	174,49	174,34	174,41	174,37	
8	174,72	174,32	174,35	174,29	
9	174,55	174,52	174,37	174,33	
10	174,91	174,32	174,43	174,29	
11	174,91	174,31	174,39	174,28	
12	174,37	174,20	174,23	174,29	
13	174,40	174,24	174,22	174,28	
14	174,44	174,29	174,40	174,30	
15	174,50	174,34	174,43	174,30	
16	174,55	174,32	174,38	174,29	
17	174,62	174,32	174,38	174,40	
18	174,59	174,36	174,34	174,34	
19	174,78	174,24	174,30	174,27	
20	174,74	174,37	174,43	174,38	
Arit. průměr [mm]:	174,59	174,33	174,36	174,33	
Směrodatná odchylka [mm]	0,1526	0,0696	0,0695	0,0641	

Příloha 13 – Data pro kapitolu 2.3.3.1.

Model: 031-A-014		Rozměr: A			Remet HYFILL (40 % B478 + 60% RF1/B478)			
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod				
1	246,11	246,22	245,81	246,00				
2	246,03	245,04	245,43	245,21				
3	246,00	245,32	245,51	245,43				
4	245,29	245,32	245,28	245,22				
5	244,83	245,13	245,06	244,89				
6	244,35	244,65	244,94	244,76				
7	245,82	246,52	246,29	246,16				
8	246,09	245,69	246,02	245,71				
9	246,17	245,96	245,75	245,73				
10	245,41	245,87	245,85	245,78				
11	246,02	245,58	245,92	245,68				
12	245,43	245,55	245,48	245,00				
13	245,06	245,13	245,49	245,93				
14	245,53	246,15	246,28	245,28				
15	245,31	244,79	245,15	245,82				
16	245,90	245,74	245,91	245,73				
17	246,62	246,66	246,71	246,13				
18	245,37	246,05	246,07	245,86				
19	245,12	245,59	245,57	245,62				
20	245,29	245,36	245,30	245,41				
Arit. průměr [mm]:		245,59	245,62	245,69	245,57			
Směrodatná odchylka [mm]		0,5428	0,5437	0,4540	0,4024			

Model: 031-A-014		Rozměr: A			Blayson Recon FR/60			
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod				
1	244,87	245,04	245,45	245,34				
2	245,05	244,97	245,23	245,30				
3	245,90	245,78	245,67	245,76				
4	246,21	245,06	245,60	245,49				
5	246,31	244,02	244,73	244,97				
6	245,25	244,35	244,86	245,08				
7	245,15	244,76	244,79	245,29				
8	245,10	245,72	245,92	245,73				
9	244,74	244,70	244,66	244,73				
10	244,29	244,96	244,59	244,76				
11	245,34	244,54	244,66	244,60				
12	244,25	244,02	244,30	244,36				
13	244,62	244,31	244,35	244,52				
14	245,49	244,65	244,60	244,45				
15	244,77	244,20	244,27	244,05				
16	245,93	245,11	244,73	244,63				
17	245,50	244,31	244,32	244,10				
18	244,51	245,42	245,15	244,97				
19	244,60	245,20	245,31	244,96				
20	245,18	244,42	245,16	244,95				
Arit. průměr [mm]:		245,15	244,78	244,92	244,90			
Směrodatná odchylka [mm]		0,6014	0,5192	0,4918	0,4890			

Příloha 14 – Data pro kapitolu 2.3.3.2.

Model: 031-A-014		Rozměr: B		Remet HYFILL (40 % B478 + 60% RF1/B478)	
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod	
1	156,25	156,16	155,85	155,66	
2	156,39	155,88	155,82	155,65	
3	156,40	155,81	155,77	155,43	
4	155,92	155,61	155,71	155,41	
5	155,72	155,60	155,67	155,49	
6	156,01	155,65	155,65	155,64	
7	155,91	155,84	155,56	155,39	
8	155,84	155,77	155,71	155,56	
9	156,36	155,76	155,65	155,54	
10	155,77	155,57	155,40	155,40	
11	156,12	155,72	155,77	155,74	
12	155,87	155,77	155,56	155,65	
13	155,84	155,78	155,62	155,39	
14	155,59	155,79	155,51	155,33	
15	155,70	155,80	155,65	155,41	
16	155,86	155,81	155,63	155,42	
17	155,84	155,82	155,72	155,44	
18	155,82	155,83	155,73	155,44	
19	155,95	155,84	155,85	155,72	
20	156,85	155,85	155,73	155,71	
Arit. průměr [mm]:		156,00	155,78	155,68	155,52
Směrodatná odchylka [mm]		0,3072	0,1255	0,1140	0,1327

Model: 031-A-014		Rozměr: B		Blayson Recon FR/60	
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod	
1	155,87	155,52	155,43	155,41	
2	155,32	155,09	155,29	155,30	
3	155,40	155,38	155,38	155,33	
4	155,46	155,19	155,26	155,25	
5	155,38	155,07	155,18	155,08	
6	155,21	155,19	155,42	155,18	
7	155,65	155,32	155,30	155,22	
8	155,54	155,35	155,30	155,32	
9	155,81	155,32	155,25	155,20	
10	155,67	155,64	155,56	155,39	
11	155,65	155,43	155,19	155,29	
12	155,34	155,24	155,13	155,10	
13	155,63	155,26	155,46	155,34	
14	155,74	155,38	155,36	155,18	
15	155,52	155,35	155,24	155,33	
16	155,79	155,32	155,45	155,45	
17	155,26	155,30	155,35	155,26	
18	155,60	155,29	155,26	155,14	
19	155,64	155,34	155,17	155,24	
20	155,58	155,28	155,26	155,32	
Arit. průměr [mm]:		155,55	155,31	155,31	155,27
Směrodatná odchylka [mm]		0,1882	0,1308	0,1124	0,1004

Příloha 15 – Data pro kapitolu 2.3.3.3.

Model: 031-A-014		Rozměr: C		Remet HYFILL (40 % B478 + 60% RF1/B478)	
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod	
1	180,86	180,39	180,93	180,82	
2	180,82	180,27	180,20	180,57	
3	180,57	179,97	180,06	179,54	
4	179,92	179,88	179,95	179,65	
5	180,02	179,92	179,49	180,72	
6	180,04	180,37	180,76	179,30	
7	180,78	180,10	180,04	180,02	
8	180,56	180,25	180,21	179,85	
9	180,00	180,48	180,18	180,18	
10	180,06	179,77	180,14	179,25	
11	179,83	180,29	180,22	180,51	
12	179,35	179,59	180,31	179,29	
13	179,39	180,00	180,14	179,49	
14	179,88	180,02	180,28	180,29	
15	180,28	179,94	180,48	179,85	
16	180,24	179,70	180,35	179,42	
17	180,12	179,78	180,45	179,27	
18	180,61	180,93	180,48	180,53	
19	180,12	180,30	180,50	180,55	
20	180,03	180,28	180,20	179,95	
Arit. průměr [mm]:		180,17	180,11	180,27	179,95
Směrodatná odchylka [mm]		0,4256	0,3178	0,3011	0,5380

Model: 031-A-014		Rozměr: C		Blayson Recon FR/60	
Číslo	Po vyjmutí	24 hod	48 hod	96 hod	
1	180,45	179,97	180,54	179,48	
2	179,87	180,32	180,38	179,70	
3	180,02	180,97	180,95	179,64	
4	181,47	180,02	179,87	179,86	
5	180,16	180,73	180,37	179,50	
6	179,01	180,34	179,87	179,34	
7	180,25	180,00	179,79	179,26	
8	179,35	180,15	180,43	179,63	
9	181,31	180,77	179,81	179,29	
10	179,97	181,98	179,74	180,61	
11	180,04	180,38	179,16	179,29	
12	179,94	179,58	180,62	179,31	
13	180,24	180,40	180,40	179,92	
14	180,11	180,38	180,45	179,55	
15	181,05	181,25	179,96	179,33	
16	179,63	181,07	179,97	180,15	
17	181,03	179,96	179,69	179,9	
18	181,19	180,53	180,30	180,28	
19	180,47	180,62	179,99	179,40	
20	180,67	179,00	180,04	180,29	
Arit. průměr [mm]:		180,31	180,42	180,12	179,69
Směrodatná odchylka [mm]		0,6533	0,6359	0,4112	0,3962

