

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie

Zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Monitorizace chlazení u technologie vyfukování.

Monitoring of the cooling at blow – moulding process.

Petr Karásek

2303T002 Strojírenská technologie

KSP – TP - 776

Vedoucí diplomové práce: Doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld – TU v Liberci

Konzultant diplomové práce: Bc. Jan Šimonek – Kautex Textron Bohemia

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 62

Počet tabulek: 7

Počet obrázků: 55

Počet příloh: 0

5. 1. 2007

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Petr Karásek

Téma práce: Monitorizace chlazení u technologie vyfukování
Monitoring of the cooling at blow – moulding process

Číslo DP: KSP – TP - 776

Vedoucí DP: doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld – TU Liberec

Konzultant: Bc. Jan Šimonek, Kautex Textron Bohemia, Kněžmost

Abstrakt:

V této diplomové práci jsem se zaměřil na dvě možné metody vyfukování plastových komponent, konkrétně na použité vyfukovací médium. Díly byly vyfukovány v obou případech vzduchem, v jednom případě se jednalo o vzduch s teplotou okolí (tedy klasický způsob), a v druhém vzduchem, který byl ochlazen na -35°C . Účelem bylo srovnání těchto dvou rozdílných procesů právě z hlediska použitého média a zjistit vhodnost jejich použití. Srovnání spočívá v hodnocení ekonomických dopadů a vlivu na vlastnosti konečných dílů po vyfouknutí různými médii.

Abstract:

I focused on two possible methods of plastic components blow – moulding process in this work, specially on the used blowing medium. Parts were blowed with the air in both cases, in one of them using air with surround temperature (classic method), in the other one using air cooled to -35°C . The purpose was to compare these two different methods from the view of used medium and to find efficiency of their using. Parametres used to compare were economic impacts and final parts properties influence after blowing different mediums.

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 5. ledna 2007

.....

Petr Karásek
Aloisina výšina 798
460 15 Liberec 15

Poděkování

Rád bych tímto prostřednictvím vyslovil poděkování především svým rodičům, kteří mi svou trpělivostí a nemalou podporou umožnili studium nejen na vysoké škole. Dále také svým sourozencům, kolegům v zaměstnání, přátelům, lektorům na Technické univerzitě v Liberci – především na Katedře strojírenství a plastů, kteří mi během všech částí mého studia dávali plnou podporu. Také studentům, kteří mi půjčovali studijní podklady oficiálního i neoficiálního rázu.

Také bych rád poděkoval firmě Kautex Textron Bohemia, jejíž zásluhou jsem měl možnost na tématu pracovat.

Moje velké díky též směřují k naší třídní profesorce z Gymnázia Kroměříž, která mě ve chvílích pro mě opravdu kritických dokázala skvěle podpořit. Paní profesorko Slezáková, děkuji.

Poděkování patří také všem, na něž jsem si v současné chvíli nevzpomněl, a také se jim za to omlouvám.

V Liberci, 5. ledna 2007

.....
Petr Karásek

Obsah

Zkratky a symboly	. str.7
1. Úvod	str.8
2. Teoretická část	str.10
3. 2. 1. Kautex Textron – historický přehled	str.10
2. 1. 1. Kautex Textron Bohemia – historie	str.13
2. 2. Úvod do vyfukování, srovnání se vstříkovací technologií	str.15
2. 3. Popis vyfukovacího procesu	str.17
2. 3. 1. Vyfukovací stroje	str.17
2. 3. 2. Vyfukovací proces	str.20
2. 3. 3. Nástroje pro vyfukování	str.30
2. 4. Materiály používané při vyfukování	str.31
2. 4. 1. TIPELIN	str.32
2. 4. 2. LUPOLEN	str.33
2. 4. 3. TIPPLEN	str.36
3. Experimentální část	str.38
3. 1. Popis experimentu	str.38
3. 2. Popis chladicího zařízení Bekoblizz	str.39
3. 3. Popis snímacího zařízení	str.44
3. 4. Průběh experimentu	str.48
3. 4. 1 – Vyfukování s použitím chladicího zařízení Bekoblizz	str.48
3. 4. 2 – Vyfukování bez použití chladicího zařízení Bekoblizz	str.50
4. Diskuze	str.52
4. 1 Polarizační mikroskopie	str.53
4. 1. 1 - Experiment na obsah krystalitů	str.55
5. Závěr	str.60
Seznam použité literatury	str.61
Prohlášení (čeština)	str.62
Prohlášení (angličtina)	str.63

Zkratky a symboly

apod. - a podobně;

COMET - interní filozofie, C = customer (zákazník), O = orientation (orientace),
M = manpower (pracovník), E = excellence (dokonalost), T = team (tým);

MFI - Melt Flow Index (tavný index plastu);

KTBO - Kautex Textron Bohemia;

LHD - left hand driving (levostranné řízení automobilů);

PE - polyetylen;

PVC - polyvinylchlorid;

RHD - right hand driving (pravostranné řízení automobilů);

1. Úvod

Předmětem této diplomové práce je technologický proces výroby plastických dutých dílů, a to je **technologie vyfukování**. Obecná charakteristika vyfukování je popsána v teoretické části. Přesněji se v této diplomové práci budu zabývat srovnáním dvou možných postupů při vyfukování maloobjemových dílů, tedy dílů do pěti litrů objemu: jedná se o vyfukování vzduchem o normální teplotě (tedy o teplotě okolí), a vyfukování vzduchem zchlazeném ve speciálním zařízení firmy Bekoblizz na teplotu -40°C . Srovnávat budu zejména vliv této teplotní difference na materiálovou strukturu a také ekonomickou stránku výrobního procesu. Ze získaných poznatků jak už v průběhu studia, tak během své dosavadní dvouleté praxe u firmy Kautex Textron Bohemia (která se specializuje na vyfukování plastových dílů pro automobilový průmysl), mohu předpokládat následující:

I. Při používání chladnějšího média dojde ke zkrácení celkového času cyklu. Důvodem je snížení hodnoty vyfukovacího času, neboť pro zchlazení výrobku ve tvarové dutině formy není potřebná tak dlouhá doba. Výsledkem je výše vyjádřený předpoklad, což je samozřejmě vítané z hlediska ekonomického.

Současně je však nutné si uvědomit, že se mi změní poměr mezi okamžitým a dodatečným rozměrovým smrštěním (více ve vyhodnocení výsledků experimentu), s čímž je nutné kalkulovat při designovém návrhu výrobku, zejména pokud jsou u něj kladeny nároky na přesné uchycení do protikusu.

II. Pokud zkrátím dobu chlazení ve vyfukovací formě, dojde ke změně materiálové struktury. Tento předpoklad se opírá o fakt, že u semikrystalických plastů se během chlazení vytváří jistá forma pravidelného uspořádání. Jako první vzniká amorfnní část, která se následně vlivem pomalého chlazení dále přeměňuje na složení semikrystalické a amorfnní. Důležitý pro mechanické vlastnosti výrobku je podíl těchto dvou složek. Z toho lze usoudit, že při použití zchlazeného vzduchu se vytvoří větší podíl amorfnní struktury, což by mohlo negativně ovlivnit některé mechanické vlastnosti.

Na druhou stranu lze uvést, že u výrobků, které budou předmětem experimentu – tzn. nádoby ostříkovačů nebo vzduchová vedení –

nedochází k takovému namáhání, které by změněná vnitřní struktura mohla ovlivnit nějak výrazně. Samozřejmě vyjma těch částí výrobku, které slouží k jeho uchycení do kokpitu nebo kapoty vozidla (držáky, zácvaky apod.). Tyto části jsou samozřejmě vystaveny většímu namáhání, včetně velmi nepříjemných vibrací vznikajících při provozu vozidla.

2. Teoretická část

2. 1. Kautex Textron – historický přehled

Rok 1935 – Reinhold Hagen založil „galvanizující dílnu“ v jeho rodném městě, Siegburgu, Německo. Zde docházelo ke zpracování kovových materiálů, ale velký rozvoj termoplastických materiálů ho přiměl k orientaci na PVC polo – produktů, jako například panely, hadice a profily. Formuje se jméno Kautex (Kautschuk – ex)



Rok 1947 – Kvůli zničení závodu během 2. světové války byl postaven nový podnik – v Bonnu (Holzlaru). Během krátké doby je najmuto více než 45 zaměstnanců.



Rok 1949 – Reinhold Hagen vyvíjí první vyfukovací stroj na zpracování polyethylenu (PE). K již běžící výrobě nádobek a lahví umožňuje tento nový plast výrobu flexibilních tub.



Rok 1950 – Kautex vyvinul vyfukovací proceduru pro jeho vlastní produkci, což má za následek potřebu vlastních standartizovaných automatických strojů. V létě je představen první desetilitrový balón, který je nerozbitný a odolný proti chemikáliím.

Rok 1959 – První PE nádoby pro brzdovou kapalinu jsou používány v sériové výrobě automobilů. Kautex se stává s 1039 zaměstnanci největším výrobcem vyfukovaných dutých těles v Evropě.



Rok 1969 – Po dlouhém testovacím procesu je první polyetylenová palivová olejová nádrž oficiálně licencována Západoněmeckým státem Severního Porýní a Vestfálska. Měla objem 1100 litrů.



Rok 1973 - Po několika letech vývoje je instalována první PE palivová nádrž do sériově vyráběného vozu, Volkswagen Passat. První prototyp PE palivové nádrže byl představen už v roce 1964.



Rok 1976 – Inženýrská technologie výroby strojů je prodána firmě Krupp. V dnešní době jsou vyráběny stroje pouze pro potřeby Kautexu.



Rok 1985 – V roce 1984 otevírá Kautex svůj první závod ve Španělsku, Barceloně, brzy následován závodem v Kanadě, Windsoru v roce 1985. Toto je první krok do severní Ameriky.

Rok 1991 – Představení filozofie COMET. Vedení kvality jasně ukazuje cíle Kautexu a každý závod je založen na tomto principu.

Rok 1993 – V nově otevřeném závodě v Belgii, Tessengerlo, je poprvé použit stroj s dvojnásobnou vyfukovací hlavou. Toto umožňuje výrobu dvou palivových nádrží na jednom stroji.

Rok 1994 – V severní Americe jde do sériové výroby první palivová nádrž vyrobená pomocí koextruzní technologie. Společnost Kautex získává certifikát kvality podle DIN ISO 9001 / EN 29001.

Rok 1995 – Kautex rozvíjí spojení s čínskou společností na území Číny.

Rok 1997 – Po připojení ke společnosti Klöckner – Werke AG se Kautex stává součástí TEXTRON Group, jedné z největších severoamerických společností.

Kautex Textron je certifikován podle QS 9000.

První závody jsou certifikovány podle DIN ISO 14001, normou pro systém ochrany životního prostředí.



Rok 1998 – Dochází k integraci Randall Textron (vedoucí na americkém trhu s ocelovými trubkami) do společnosti Kautex Textron.



Rok 2001 – Integrace McCord Winn do společnosti Kautex Textron. Kautex ustavuje spojení s japonskou společností v Japonsku.



Rok 2002 – Integrace firem Micromatic a CWC do společnosti Kautex Textron. Hledání nového závodu v Šanghaji, Číně. Představení nového loga Kautexu.



Rok 2005 – Kautex se vyplácí ze spojení se svým partnerem Keylex v Hirošimě, Japonsku a představuje nový výrobní závod v Šanghaji, Číně. Tímto demonstruje snahu se udržet na dlouhodobě vzrůstajícím asijském trhu.

2. 1. 1 - Kautex Textron Bohemia – historie

Rok 1992 - Kautex vstoupil na český trh v roce 1992. V tomto roce došlo k pronajmutí výrobní haly v areálu STS Kněžmost. Zde probíhá montáž prvních palivových nádrží a hrdel. V roce 1993 vzniká společnost Kautex Bohemia, s. r. o.

Rok 1995 – Kautex kupuje vyfukovací stroji od společnosti Plastimat Liberec a v roce 1996 dochází k přesunu výroby do Kněžmosta. Společnost Kautex se stává téměř výhradním dodavatelem palivových nádrží pro Škoda a. s.

Rok 1997 – Do vyfukovacího procesu je implementována nová technologie, fluorizace. Dochází ke spojení se společností TEXTRON (v nadnárodním měřítku).

Rok 2000 – Od tohoto roku dochází k značnému rozšíření portfolia společnosti Kautex Textron Bohemia, zejména o nádoby ostříkovače a vzduchová vedení. Stručný přehled vývoje je znázorněn na následujícím obrázku.

Rok 2005 – Závod v Kněžmostě je rozšířen o novou výrobní halu a skladové prostory. Důvodem k tomuto kroku bylo značné rozšíření výroby v Čechách.



Obr. 2. 1. 1. 1: areál KTBO dříve



Obr. 2. 1. 1. 2: areál KTBO nyní

Naše společnost obdržela řadu certifikátů, které musí v pravidelných intervalech obhajovat. Následuje jejich přehled:

- 1994 VDA 6 Certification
- 1995 Quality Award “FORMEL-Q”
- 1996 ISO 9001:1994
- 1998 ISO 14001: 1996
- 1998 VDA 6.1; ISO 9000
- 1999 ISO/TS 16949:1999; ISO 14001
- 2002 ISO 9001:2000
- 2004 ISO/TS 16 949:2002
- 2004 OHSAS 18001

2. 2 – Úvod do vyfukování, srovnání se vstřikovací technologií

Technologie zpracování plastů vyfukovacím procesem slouží k výrobě dutých výrobků, určených pro široké spektrum použití. V současné době se dostává do popředí zejména automotive průmysl, ale výrobky lze nalézt i ve zdravotnictví (např. injekční stříkačky) nebo chemickém průmyslu (různě objemné nádoby na chemikálie). Nadále se budu zaměřovat na automotive průmysl, neboť v tomto odvětví je uplatnění této technologie nejpatrnější (z hlediska ekonomických úspor).

Pro automobilový průmysl se touto technologií vyrábí například tenkostěnné zakřivené 3D trubky rozvodů vzduchu pro interiéry vozidel a vzduchových kanálů pro stísněné motorové prostory, nádoby na provozní kapaliny a palivové nádrže včetně bariérových vrstev (PE-EVOH). Jako materiály se nejčastěji používají PE, PE-HD, PP, PA, včetně vyztužených a vysokoteplotních, jako je PPS. Důvodem k nahrazování dílů vyrobených vstřikováním díly vyfukovanými je snaha všech automobilek a jejich dodavatelů o snížení konečné ceny výrobku, tedy automobilů.

K výrobě vyfukovaných dílů nejsou totiž nutné takové velké investice do forem, jelikož vyfukovací formy nevyžadují natolik složitou strukturu. Neobsahují totiž temperační kanály a také na chladicí systém nejsou kladeny tak velké nároky.

Konstrukce vyfukovacích forem je také jednodušší ve smyslu absence vtokové soustavy. S tím souvisí i její návrh, což šetří čas konstruktérů a materiál. Pokud by se navíc jednalo například o tzv. živé vtokové soustavy, šetří se i energie. U vyfukování také nedochází k takové teplotní zátěži materiálů, jako u vstřikování, neboť oblast zpracovatelských teplot je daleko pod teplotou tání (u PE-HD se např. pohybuje okolo 180°C), takže není nutné tolik chladit výrobky ve formě. U vyfukování také není tak velké nebezpečí teplotní degradace materiálu (díky nižším teplotám) a jeho spálení v průběhu plastifikace. Není nutné také sledovat tolik hlavních technologických parametrů, jako u vstřikování.

Jako negativa vyfukovacího procesu však lze uvést fakt, že po vlastním vyfouknutí dílu musí dále následovat jistá forma opracování, popřípadě montáže dalších dílů. Například u vzduchových vedení musí být ořezány vrchlíky, aby byla zajištěna průchodnost média, tedy vzduchu. Současně musí být v opracovacím zařízení dojit k prostřížení fixačních otvorů, které slouží k uchycení dílu ve vozidle.

Pozn.: v současné době je snaha provádět všechny výše zmíněné úkony tzv. „all in the mould“, tedy vše ve formě – vypadne tedy již hotový výrobek.

Tyto úkony tedy zvyšují celkové náklady na konečný výrobek, jelikož je nutné investovat do těchto zařízení. Dále je u vyfukovaných dílů velice obtížné zajistit rozměrovou stálost, respektive tato je menší než u dílů vstřikovaných. Je to způsobené menším dodatečným smrštěním, vstřikovací formy jsou totiž temperovány a chladnutí dílů ve formě je pomalejší. Díly vyfouknuté nejsou chlazeny dostatečně. S tímto problémem se v současné době potýkáme především. Tomuto problému by se dalo zamezit delším vyfukovacím časem, což je ovšem v rozporu s požadovanou ekonomičností procesu. Proto je nutné používat zařízení na dochlazování dílů (není to ovšem podmínkou), čímž se dodatečné smrštění snažíme eliminovat na únosnou míru. Typické pro vyfukované díly je nerovnoměrné rozložení síly stěny, protože základem budoucího dílu je vytlačený cylindrický parizon, který má sice rovnoměrnou tloušťku stěny, ale po jeho uzavření do formy je vlivem tvarové složitosti dílů různě natahován. Výsledkem je zeslabení síly stěny zejména v ostrých rozích a radiusech, proto je nutné na toto myslet již při návrhu výrobku – tedy volit co nejplynulejší přechody. Naproti tomu v oblasti dělicí roviny se materiál hromadí. Uzavíráním parizonu do formy dochází jejími dvěma částmi k natlačení plastické

taveniny do oblasti dělicí roviny. U vstřikování je možné zajistit daleko rovnoměrnější rozložení síly stěny, jelikož vstřikujeme taveninu přímo do dělicí roviny formy a síla stěny výrobku je přesně dána mezerou mezi dvěma částmi formy. Zjednodušené shrnutí základních rozdílů mezi technologiemi vstřikování a vyfukování je uvedené v následující tabulce 2. 2. 1

Tabulka 2. 2. 1 – srovnání technologie vyfukování a vstřikování

		vstřikování	vyfukování
Parametry nástroje	Tlak	vysoký	nízký
	Teplota	vysoká	nízká
Plast	Uzavírací síla	vysoká	nízká
	Molekulová hmotnost	nízká	vysoká
	MFI	vysoký	nízký
Výrobek	Namáhání nástroje	vysoké	nízké
	Smrštění	vysoké	nízké
	Lesk povrchu	vysoký	nízký
	Přesnost rozměrů	vysoká	nízká
Nástroj	Cena	vysoká	nízká
	Doba	dlouhá	krátká
Typ výrobku		precizní	funkční

2. 3 – Popis vyfukovacího procesu

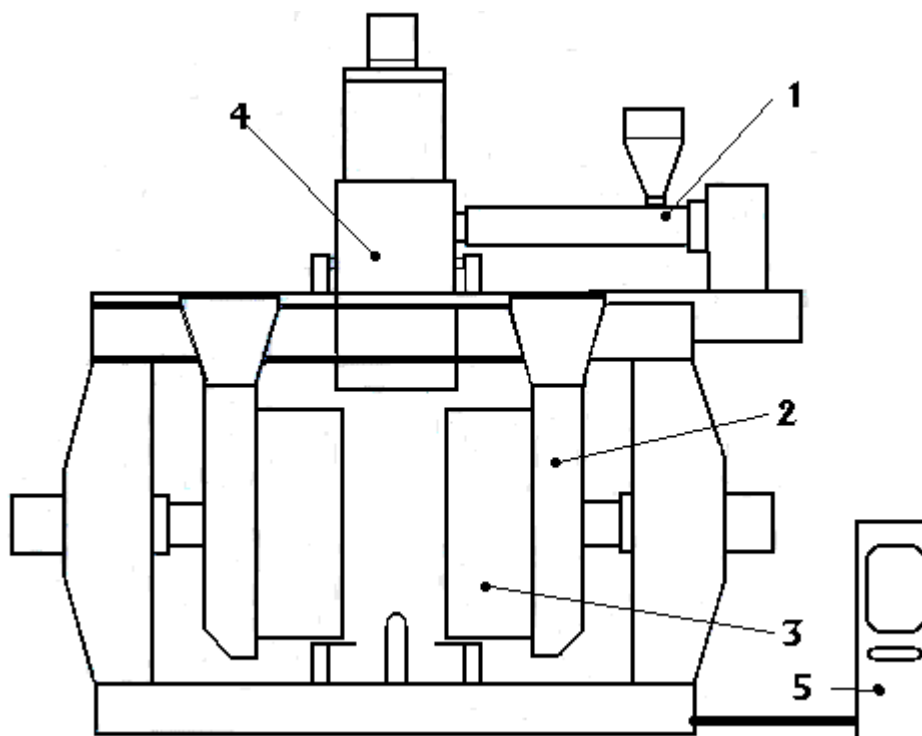
2. 3. 1 – Vyfukovací stroje

Vyfukovací stroje (obr. 2. 3. 1) jsou v podstatě zařízení, ve kterých dochází k plastifikaci materiálu, který je pak následně vytlačován přes hlavové nástroje a vytlačený parizon je přesunut do dutiny formy.



Obr. 2. 3. 1. 1: Vyfukovací stroj

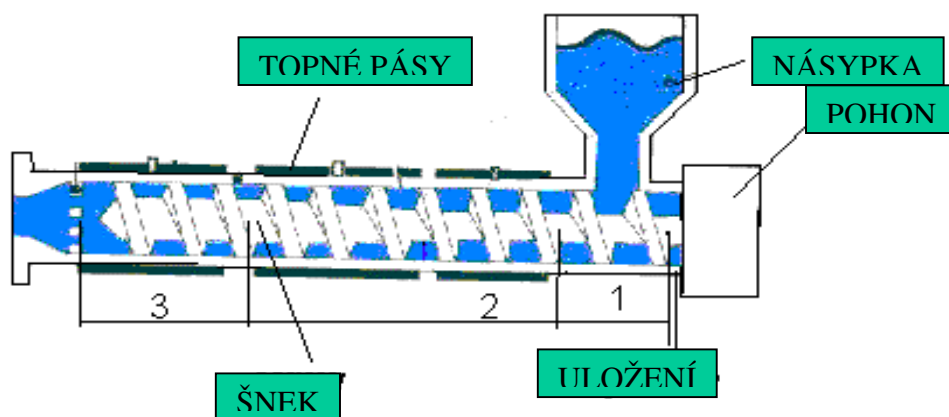
Vyfukovací stroj lze rozdělit na tyto hlavní prvky – plastifikační jednotka (šnek), uzavírací jednotka, pracovní nástroj (forma), vytlačovací hlava a řídicí jednotka stroje.



Obr. 2. 3. 1. 2: schematické znázornění vyfukovacího stroje

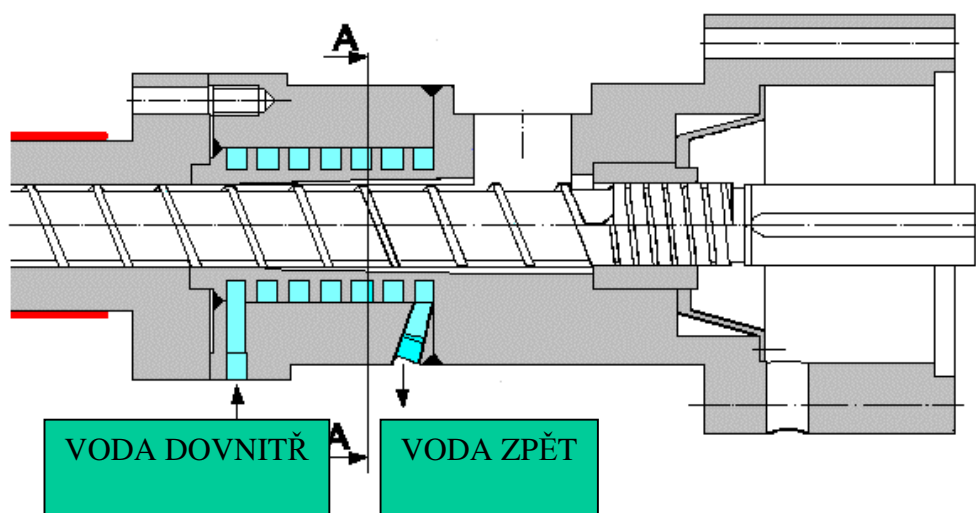
1 - Plastifikační jednotka (ŠNEK), 2 - Uzavírací jednotka, 3 - Pracovní nástroj (FORMA), 4 – vytlačovací hlava, 5 - Řídicí jednotka stroje

Plastifikační jednotka (šnek) se skládá z násypky, pohonu, topných pásů a samotného tělesa šneku. Násypka slouží k dopravování plastového granulátu ke šneku. Pohon je určen pro uvedení šneku do chodu a je nutné jej volit s dostatečným výkonem vzhledem k rozměrům šneku a vlastnostem materiálu. Topné pásy napomáhají procesu plastifikace, k čemuž slouží zejména samotné těleso šneku.



Obr. 2. 3. 1. 3: plastifikační jednotka (šnek)

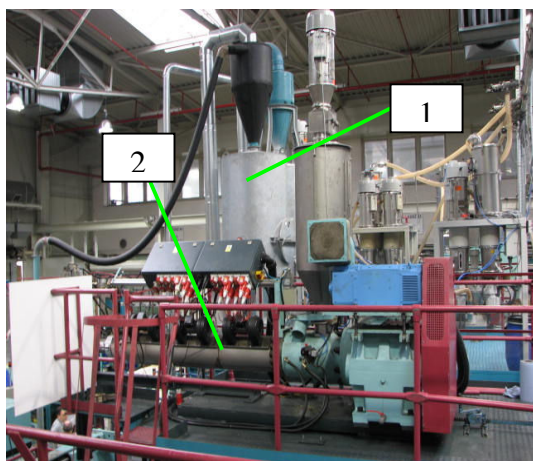
Prostor pod násypkou musí být neustále chlazen, například vodou. Je to z toho důvodu, aby granule plynule odcházely dále do šneku. Pokud by tomu tak nebylo, mohlo by dojít k zamezení přísunu materiálu a zablokování celé plastifikační jednotky.



Obr. 2. 3. 1. 4: průřez šneku pod násypkou (chlazeno vodou)

2. 3. 2 – Vyfukovací proces

Při technologii vyfukování, stejně jako například při vstřikování, je materiál určený ke zpracování dodáván k plastifikaci z velkých násypek, viz. obr. 2. 3. 2 a 2. 3. 3. Do nich je materiál buďto nasáván z velkých pytlů, tzv. „big bagů“, anebo je dopravován centrálním rozvodným systémem ze sil, velkých zásobníků materiálu.



Obr. 2. 3. 2. 1: Násypka se šnekem



Obr. 2. 3. 2. 2: Násypky

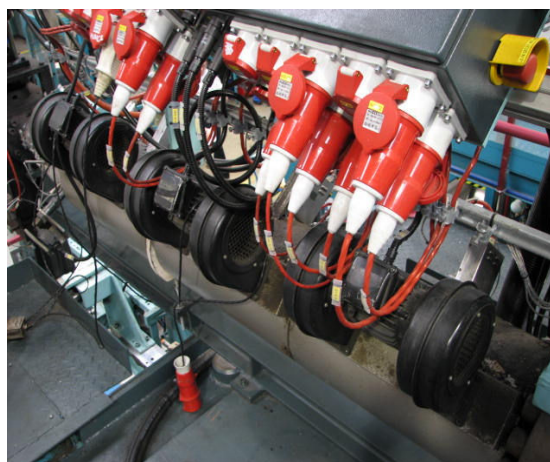
1 – násypka, 2 – šnek s elektrickými odporovými pásy

Z násypky je materiál odebírán šnekem. V tělese šneku dochází k plastifikaci materiálu, což znamená, že se materiál stává taveninou. Toto je způsobeno jednak vlastním třením jednotlivých granulí plastu, tak i jejich třením mezi tělesem šneku a jeho krytem. K ohřátí materiálu do oblasti zpracovatelských teplot pomáhají i tepelné pásy, umístěné na krytu šneku – obr. 2. 3. 2. 1.

Ve většině případů se šneky člení na tři části:

1. **vstupní (dopravní)**
2. **kompresní**
3. **výstupní (homogenizační)**

Vstupní část slouží k odebírání materiálu a posouvá ho dále k plastifikaci. Je třeba dbát na to, aby v této části nedocházelo k předčasnému nadměrnému ohřevu



Obr. 2. 3. 2. 3: elektrické odporové pásy na šneku

materiálu, neboť by mohlo dojít k ucpání přívodu granulátu. *Kompresní* oblast je určena k tavení hmoty, která se tímto dostává do oblasti zpracovatelských teplot. *Výstupní* část homogenizuje materiál, aby došlo k jeho dokonalému promísení. Důležité je nedržet taveninu pod dlouhodobým teplotním tlakem, jinak by mohlo dojít k její degradaci.

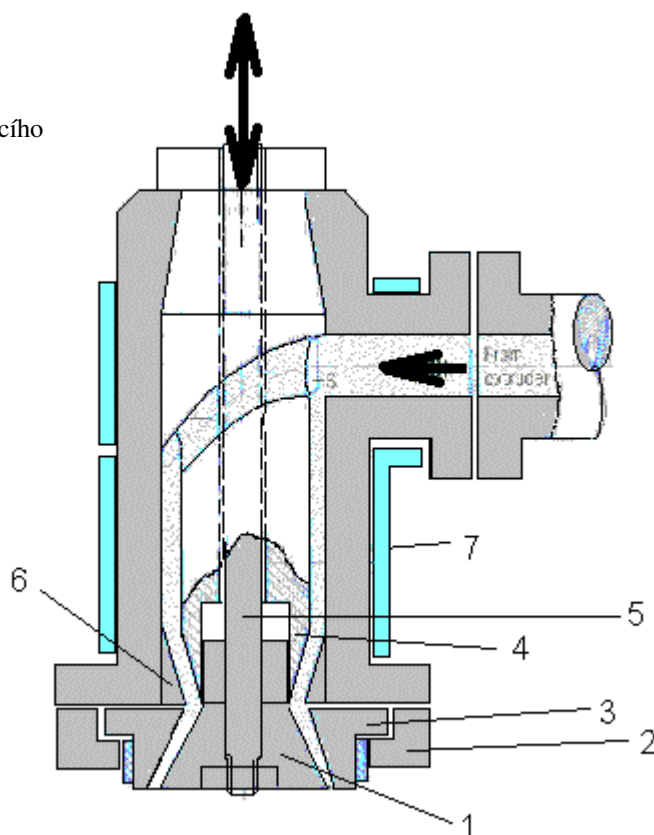
Tab. 2. 3. 2. 1 Doporučené technologické parametry pro vytlačovací stroj a technologii vyfukování

Materiál / teplota [°C]	vytlačovací stroj				hlava	hubice
	1. zóna	2. zóna	3. zóna	4. zóna		
PE-HD	140	160	170	180	180	185
PE-LD	125	135	135	145	140	140
PP	180	200	215	225	225	235
PVC měkké	180	170	160	150	160	160
PVC tvrdé	155	165	175	190	180	185
PS-HI	175	185	200	205	200	210
ABS	175	195	205	205	200	210
PA	275	255	235	225	225	225
PMMA	160	165	170	170	170	180
POM	170	190	205	200	200	200

Plastická tavenina se nenachází ve stavu blízkém teplotě tavení. Po plastifikaci se z ní stává hmota, která má jistou soudržnost, ale přitom je schopná vytvarování ve vyfukovací formě působením vzduchu nebo jiného média.

Tavenina je pak vytlačovací hlavou (přímá, příčná) vytlačována přes hlavové nástroje (vyfukovací trn, hubice) a je zformován před – výrobek, **parizon**. Vytlačovací hlavy mohou být kontinuální, což znamená, že vytlačování taveniny probíhá neustále. Nebo mohou být použity tzv. AKKU hlavy, které vytlačí jen potřebné množství plastu.

- 1) Vytlačovací trn
- 2) Držák hubice
- 3) Hubice
- 4) Držák vytlačovacího trnu
- 5) Regulační tyč
- 6) Těsnící kroužek
- 7) Topný pás



Obr. 2. 3. 2. 4: schéma vytlačovací hlavy

V tzv. Akku - hlavě je materiál krátkodobě shromážděn v komplikovaném systému kanálů a komor. Pro ochranu před přepálením materiálu se používá tzv. FIFO (first-in-first-out) systém, který zabezpečuje správnou posloupnost vytlačovaného materiálu a rovnoměrné rozložení tloušťky stěny parizonu vycházejícího z hubice

Akku – hlavy zajišťují požadovanou kvalitu parizonu a následně i výrobku a také zkrácení výrobního cyklu, což má vliv na ekonomickou stránku výroby. Vysokých rychlostí vytlačování materiálu z hubice je dosahováno pístnicí, která nastavením zdvihu vytlačuje požadované množství materiálu.

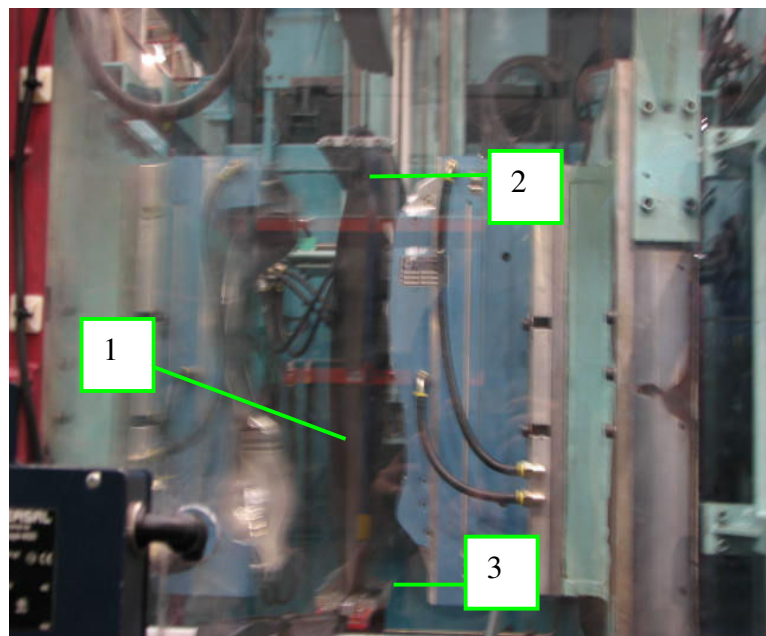
Potřebná délka vytlačeného parizonu je volena s ohledem na minimalizaci odpadu. Jeho průměr a síla stěny je dána parametry hlavových nástrojů a základem pro jejich volbu jsou požadované rozměry a síla stěny výrobku. Velmi důležitým prvkem pro regulaci síly stěny vyfukovaných plastových dílů je elektronické řízení, které je součástí vyfukovacího stroje.

Elektronicky řízeným systémem regulace tloušťky stěny je možné ovlivňovat tloušťku stěny parizonu v jeho jednotlivých částech, tak jak je to nutné, pro zachování rovnoměrného rozložení materiálu ve výrobku..

Regulace se skládá z elektronické jednotky, která je propojena s mechanickými částmi řízení – vytlačovací trn, držák trnu, hubice. To umožňuje regulovat tloušťku stěny parizonu v 12 – 250 bodech (dle instalovaného řízení), a to zvětšováním a zmenšováním mezery mezi vytlačovacím trnem a hubicí. Nevýhodou je, že po celém obvodu průřezu parizonu je tloušťka stěny stejná. Parizon je tedy možné regulovat pouze ve vertikálním směru. Pro regulaci stěny v průřezu je při použití tohoto řízení nutné profilovat vytlačovací trn. Zde však dochází k zesílení tloušťky stěny po celé délce parizonu. Zvláštní možností je použití tzv. „Düsenschieberu“- určitá výseč hubice je pohyblivá a regulovatelná za pomoci pístnice.

Při výrobě tvarově komplikovanějších výrobku se proto používá systém PWDS (**Parzielle Wand Dicken Steuerung**), který pomocí pístnic deformujících kroužek, umožňuje regulaci tloušťky stěny v horizontálním i vertikálním směru. PWDS zajišťuje zabezpečení minimální tloušťky stěny, aniž by v ostatních oblastech došlo k jejímu extrémnímu nárůstu.

Jakmile parizon dosáhne potřebné délky, je zaznamenán optickými čidly. Tyto vydají elektrický signál k **vertikálním nůžkám**, které odstříhnou parizon od vytlačovaného polotovaru a přesunou jej do vyfukovací formy tak, aby parizon byl před uzavřením formy nasazen nůžkami na vyfukovací trn. Poté



Obr. 2. 3. 2. 5: nasednutí parizonu na trn a rozfouknutí parizonu před uzavřením formy

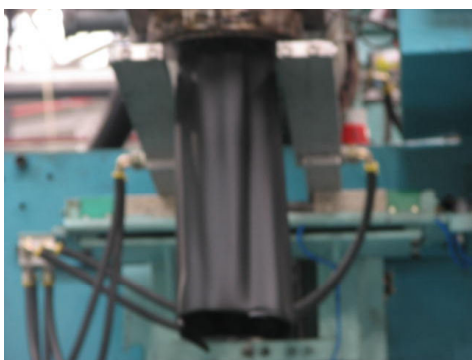
1 – rozfuk parizonu, 2 – vertikální nůžky, 3 – spodní nůžky

dojde k uzavření formy. Okamžitě po dosednutí na trn je spodní díl parizonu uzavřen

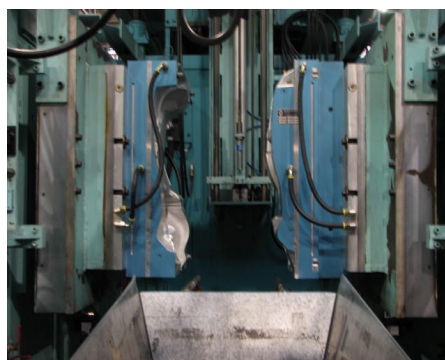
okolo trnu **spodními nůžkami** a dochází k rozfuku. Ten slouží k tomu, aby se stěny polotovaru neslepily k sobě ještě před uzavřením formy (pozice parizonu těsně před uzavřením formy, rozfuk a pozice vertikálních a spodních nůžek je vidět na obr. 2. 3. 2. 5).

Pozn.: Popsaná forma přenesení parizonu do formy vychází z mé praxe. Jinak lze také použít k odstrižení parizonu nože anebo je pohyblivá forma, která si parizon sama odtrhne po jeho uzavření svým pohybem. Popřípadě se mohou vyskytovat různé kombinace uvedených možností.

Vyfukovacím trnem je do uzavřeného prostoru vyfukovací formy s parizonem vhaněn vzduch, popřípadě jiné médium, který svým tlakem zaručí vytvarování polotovaru do požadovaného tvaru. Jak již bylo zmíněno, nemusí se vyfukovat jen vzduchem. Například při vyfukování palivových nádrží se používá směs dusíku a fluoru, která má zaručit po chemickém zreagování s materiálem plastu dostatečně tlustou inertní vrstvu. Tato je zde z důvodu ochrany plastu před chemickým narušením palivem. Současně je plast ochlazován stěnami formy, aby došlo k jeho ztuhnutí v požadovaném tvaru. Právě při tomto procesu dochází k vytvoření vnitřní struktury materiálu. V této struktuře vzniká již zmiňovaný podíl amorfní a semikrystalické složky, jejichž vzájemný podíl má vliv na výsledné mechanické vlastnosti materiálu.



Obr. 2. 3. 2. 6: vytlačování parizonu (jsou vidět vertikální nůžky)



Obr. 2. 3. 2. 7: vyfukovací forma v pozici maximálního rozevření

V souvislosti s touto fází vyfukovacího procesu bych rád zmínil dva důležité technologické parametry. Jedná se o vyfukovací tlak a teplotu plastu. Hodnoty vyfukovacího tlaku se pohybují v rozmezí 0,4 až 1 Mpa. Stálý tlak musí působit po celou dobu chlazení výrobku ve formě, aby vlivem předčasného poklesu tlaku nedošlo k deformaci nebo změně tvaru výrobku. Pokud se týká teploty, z hlediska vlastností výrobků je vhodné používat teplotu co nejvyšší, jaká je pro danou technologii aplikovatelná. Dochází však k velkému protahování parizonu vlastní vahou a tím také nebezpečí tenčení síly stěny, nárůstu smrštění a doby chlazení. Jakmile dojde k potřebnému vytvarování výrobku ve formě, dojde k ukončení přívodu



Obr. 2. 3. 2. 8: vynášení výrobku z formy

vzduchu. Díl je potom **vertikálními nůžkami** (obr. 2. 3. 2. 8) vynesena z formy. Z pracovního prostoru stroje může být odebírán pomocí pásového dopravníku anebo samovolným skluzem, popřípadě může být zvolen jiný způsob.

Následně dochází k odstranění přetoků, tedy odpadu materiálu, který nepatří k dílu. Tento odpad je vhozen do mlýna, kde dochází k jeho sešrotování a opakovanému zpracování. Je nutné zabezpečit, aby došlo ke zpracování jen toho druhu materiálu, ze kterého je výrobek.



Obr. 2. 3. 2. 9: vyfouknutý díl s přetoky

Jinak by nebylo možné zajistit zákazníkem požadované

vlastnosti konečného dílu (například díry ve výrobku, nehomogenní materiál apod.). K tomuto účelu slouží celá řada opatření (například čidla na kov) a také sítko ve šneku. Je také nutné dopodrobna instruovat výrobní personál (proškolení). Je zde

také nebezpečí odštěpků z opotřebovaných mlýnských nožů, proto je nutná preventivní údržba zařízení. U materiálu, který je opět zpracováván, jsou podle interního nařízení pravidelně kontrolovány jeho předepsané vlastnosti, zejména hmotnostní index toku (MFI).

Poměr regranulátu a nového materiálu závisí na tvaru výrobku, respektive využitelné části z celého parizonu. U malých výrobků, jako jsou vzduchová vedení nebo nádoby ostřikovačů, se pohybují 70 – 80% regranulátu a 20 – 30% nového materiálu. U větších výrobků, například nádrží, je tento poměr jiný.

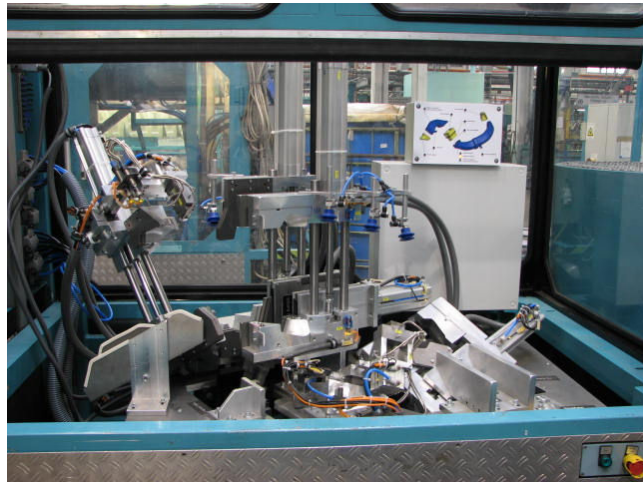
Aby odstraňování nepotřebného odpadu bylo co nejjednodušší, je nutné pro výrobu zvolit stroj s dostatečnou uzavírací silou. Tato je nutná pro polyethylen 150 kg a pro polypropylen 200 kg na 1 cm obvodu tvořeného dělicí rovinou. Tento proces také lze ulehčit vhodnou konstrukcí tzv. ořezávacích hran. Na vyfukované díly nejsou kladeny takové nároky z hlediska povrchu jako na díly vstřikované, proto není nutné následné začišťování drobných přetoků – otřepů. Pouze ve výjimečných případech a většinou na speciální požadavek zákazníka je nutné provést úplné odstranění otřepů. Důvodem bývá dostatečné zajištění funkčních požadavků dílu, popřípadě ochrana operátorů před zraněním.



Obr. 2. 3. 2. 10: vyfouknutý díl bez přetoků

Ve většině případů následuje po odstranění přetoků opracování dílu ve speciálních jednoúčelových zařízeních. U vzduchových vedení je třeba zajistit potřebnou průchodnost dílů ořezáním vrchlíků a také prostřížení fixačních otvorů.

U nádobek ostříkovačů, pokud k tomu již nedochází ve formě, je nutné vyvrtat (nebo vypálit) otvory pro motoriky, které vhná směs do trysek ostříkovačů. Dále také prostřížení fixačních otvorů



Obr. 2. 3. 2. 11: opracovací zařízení

nebo jiná forma opracování, například speciální začištění otvoru hrdla.

Podobné je to i u palivových nádrží, s tím rozdílem, že opracovací linky pro nádrže jsou mnohem větších rozměrů (také ekonomicky náročnější). Jak jsem již uvedl, opracování vzduchových vedení se provádí v jednoúčelových zařízeních, modulech. Ty jsou vkládány do tzv. Univerzálních opracovacích skříní, UBV (Universal Bearbeitung Vorrichtung).

Jednoúčelová zařízení jsou vybavena v mnoha případech tzv. Poka-Yoke senzory, které mají zabezpečit bezchybnou funkci zařízení, nezávisle na kvalifikaci výrobního operátora. Sestávají se (u vzduchových vedení) ze senzorů detekujících přítomnost dílu a jeho správné

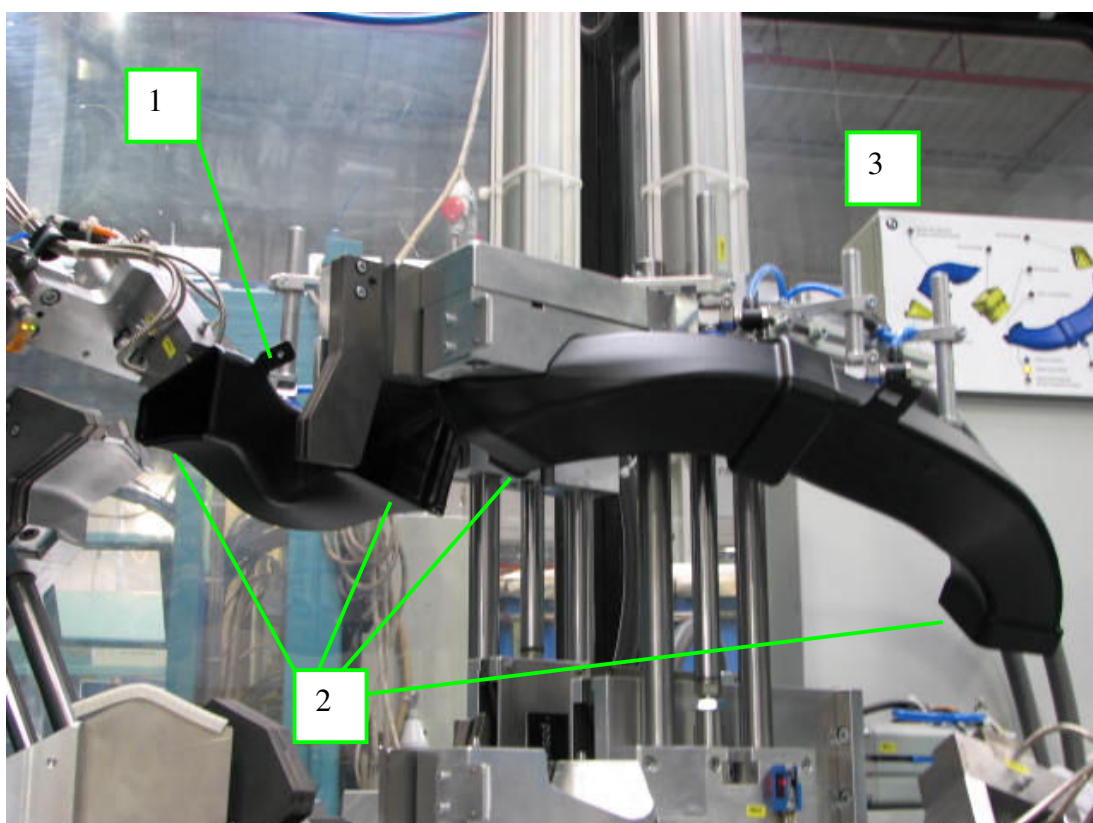


Obr. 2. 3. 2. 12: správné založení dílu v opracovacím zařízení

založení do tvarového kopyta. Jinak by mohlo dojít k mechanickému poškození vzduchového vedení přítlačným horním kopytem, jímž je zabezpečena fixace dílu během cyklu. Toto je první předpoklad pro úspěšné uvedení zařízení do chodu.

Dále jsou zde k dispozici senzory, které zaznamenají přítomnost držáku určeného k prostřížení ve správné pozici. Pokud tomu tak není, nedojde k následným operacím

(například spuštění prostřihovacího razníku). Jakmile je zařízení uvedeno tlačítkem start do provozu, sjede dolů ochranná průhledná bariera a je spuštěn sled zpracovacích operací. Prostřihnuté otvory jsou následně kontrolovány laserovými čidly, aby nedošlo k odeslání neshodného kusu k zákazníkovi. V případě, že některý z otvorů není prostřižen nebo se během cyklu vyskytla jiná chyba, je toto zobrazeno na kontrolním panelu. Po ukončení cyklu ochranná bariera vyjede zpět nahoru a po vyjmutí zpracovaných dílů a založení nového kusu je zařízení připraveno k dalšímu spuštění.

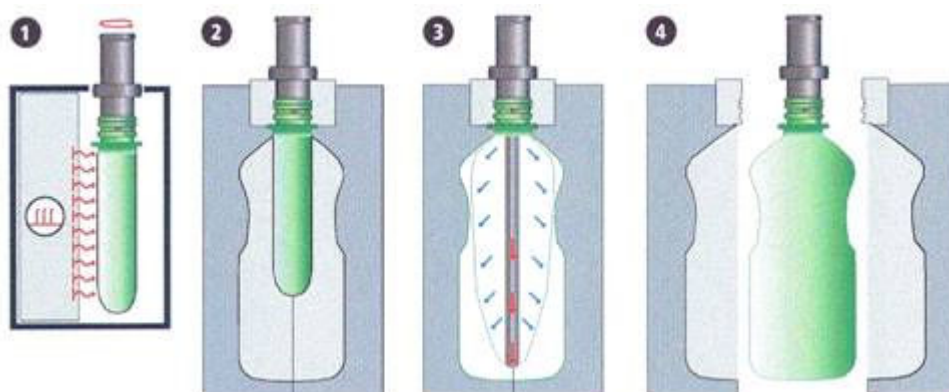


Obr. 2. 3. 2. 13: opracované díly v opracovacím zařízení

1 - příklad prostřiženého otvoru, 2 – ořezané vrchlíky, 3 – kontrolní panel

Pozn.: současným trendem je od UBV upouštět a nahradit je zařízeními s optickými závory. Důvodem je zvýšení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, jelikož varianta s průhlednou ochrannou barierou nepředstavuje optimální řešení.

Ve výše popsaném procesu jsem se zaměřil na výrobu dílů z oblasti automotive průmyslu, jelikož v tomto oboru jsem zaměstnán a svoji další kariéru plánuji v tomto oboru. Jednalo se zejména o popis a obrazovou dokumentaci výroby vzduchového vedení. Jiný dutý produkt vyráběný technologií vytlačovacího vyfukování se může v některých krocích procesu lišit, zejména pokud se týká následných operací po ukončení vlastního vyfukování. Existují také další možné technologie vyfukování, jako například vstřikovacího vyfukování. Tento způsob se používá zejména pro výrobu tzv. PET lahví. Zde je nejprve nastříknut na trn předlisek, který je následně přesunut do vyfukovací formy a zde je působením vzduchu tvarován. Je nutné udržet předlisek v oblasti teplot zaručujících jeho další vytvarování.

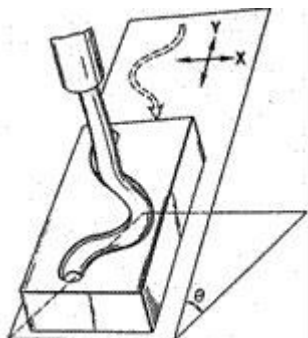


Obr. 2. 3. 2. 14: princip vstřikovacího vyfukování

1 – ohřev tvarové části předlisku, 2 – přesun do vstřikovací formy, 3 – vyfukování, 4 – chlazení, vyhození

Další možnou metodou výroby dutých těles je ukládání parizonu pomocí podtlaku do tvarové dutiny formy a dodatečného tvarování za účelem výroby nepravidelného dutého tvaru. Vytlačený parizon je přisáván podtlakem do tvarově složité formy, neboť samotný parizon by nebyl schopen po vytlačení zaujmout tak proměnný tvar.

Touto technologií se vyrábějí tvarově velmi komplikované díly, zejména pro aplikace s velkými požadavky na úsporu místa.



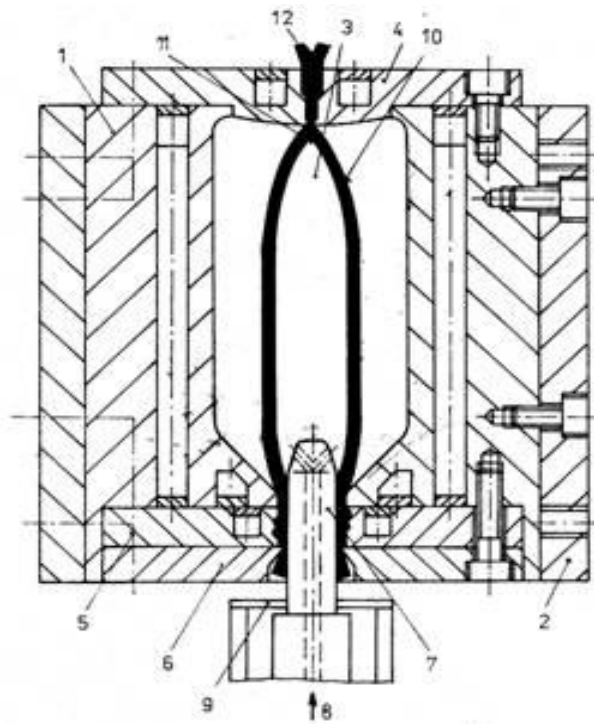
Obr. 2. 3. 2. 15: Princip podtlakového ukládání parizonu do tvarové dutiny formy

Další zajímavou možností při vyfukování je výroba vícevrstvých výrobků. Při této technologii se využívá tzv. koextruze, kdy dochází v několika plastifikačních jednotkách ke zpracování různých materiálů. Taveniny plastů jsou pak přes speciální hlavy vytlačovány do společného vícevrstvého parizonu tak, aby nedošlo ke smísení materiálů. Lze toho s výhodou využít například u dílů, kde je požadavek na určité vlastnosti, například mechanické nebo chemické, buďto vnitřní anebo vnější vrstvy, přičemž může dojít k ekonomickým úsporám na materiálu.

2. 3. 3 – Vyfukovací formy (nástroje pro vyfukování)

Vyfukovací formy je možné podle velikosti výrobku a použitého materiálu a zařízení konstruovat jako jednonásobné nebo vícenásobné. Formy pro menší výrobky jsou dvoudílné a pro větší výrobky mají tvarové díly složeny z více částí. Příklad vyfukovací formy je na obrázku. Protože z celkové doby pracovního cyklu představuje doba chlazení nejdelší úsek (uvnitř výrobku není dobrý vodič tepla), chlazení je provedeno buď cirkulující vodou, nebo pomocí vnitřního chlazení vodní mlhou, kapalným dusíkem, CO₂, apod. Odvzdušnění forem je nutné kvůli malým

vyfukovacím tlakům a dělá se proto, aby nedocházelo k vadám – nedotvarování tvaru, matný lesk, nepravidelné důlky, apod. Ve většině případů stačí k odvodu netěsnosti v dělicí rovině. Pro lepší odvodu se do vyfukovací formy umísťují odvodušňovací štěrby nebo odvodušňovací válcové vložky se sraženou hranou nebo šestihranem.



Obr. 2. 3. 3. 1: Příklad vyfukovací formy

1 – tvárnice, 2 – upínací deska, 3 – dělicí rovina, 4 – dno, 5 – hrdlo, 6 – kalibrační deska, 7 – trn, 8 – vzduch, 9 – stírací deska, 10 – parizon, 11 – svar, 12 – přetok

2. 4 – Materiály používané při vyfukování

Nejčastějšími materiály používanými při vyfukování plastových dílů pro automotive průmysl jsou polyethylen a polypropylen. Dodávány jsou ve formě drobných granulí, které jsou následně zpracovány ve šneku vyfukovacího stroje.

V případě polyethylenu se jedná o jeho vysokohustotní modifikaci, HDPE (high density poly-ethylen). Materiál je označován obchodním názvem TIPELIN. Velmi

často je přibarvován barvivem REMAFIN. Cílem je získat díly s požadovanou černou barvou. Největší oblast použití je pro výrobu vzduchových vedení. Dalším materiálem používaným pro automotive aplikace je LUPOLEN. Opět se jedná o HDPE polyethylen, přičemž nachází uplatnění především při vyfukování palivových nádrží.

Pokud se jedná o materiály na bázi polypropylenu, tyto jsou ve většině případů používány jako číré nebo obarvené od výrobce. Jsou známy pod obchodními názvy TIPPLEN a DAPLEN. DAPLEN nachází uplatnění při výfuku vzduchových vedení a bývá obarven již od dodavatele – používá se opět černé zbarvení. U některých zákazníků dostává přednost před TIPELINEM, i když jeho cena je vyšší. Důvodem jsou tzv. pachové testy, jejichž požadavky TIPELIN nesplňuje. TIPPLEN je používán především pro vyfukování nádobek ostříkovačů.

Následuje detailnější popis plastů s obchodními názvy TIPELIN, TIPPLEN A LUPOLEN.

2. 4. 1. – TIPELIN

Přesné obchodní označení tohoto typu plastu používaného pro aplikace v naší firmě je TIPELIN BS 501 – 17. Jedná se o vysokohustotní kopolymer s dobrou chemickou odolností a také dobrými mechanickými vlastnostmi. Tento produkt splňuje celou řadu norem, například FDA, BfR a EU norem, jak uvádí jeho výrobce.

Materiál je přímo doporučen pro technologii vyfukování a oblast zpracovatelských teplot se pohybuje mezi 180°C – 220°C.

Výrobce uvádí jako vhodné podmínky ke skladování teplotu od -20°C do +50°C v suchém prostředí a chráněn před UV paprsky.

Nesprávné skladování může způsobit degradaci materiálu, spojenou se změnou barvy a mechanických vlastností.

tab. 2. 4. 1. 1 - aplikační vlastnosti TIPELINU

Properties	Test method	Unit	Value/ Tolerance limit	Note
Melt flow rate (190 °C/2.16 kg)	ISO 1133/B	g/10 min	0.2 (0.15-0.25)	Guaranteed
Melt flow rate (190 °C/21.6 kg)	ISO 1133/B	g/10 min	19	Guaranteed
Density	ISO 1183-2	g/cm ³	0.950 (0.948-0.952)	Guaranteed
Colour number by Philips	1.3.3.2-22-157		min. 120	Guaranteed
Pellet number	1.3.3.1-2-007	n/g	35-65	Guaranteed
Granulate appearance Discolour pellet Agglutinated pellet Twin Triplets Agglutinated pellet 4-5-6 or higher	1.3.3.1-2-004	n	max. 10 max. 5 max. 3	Guaranteed
Film quality Gels 0,25-0,5 mm Gels 0,5-1,0 mm	2-06	n/10 min.	max. 35 max. 10	Guaranteed
Tensile strength at yield *	ISO 527	MPa	26	Informative
Tensile strength*	ISO 527	MPa	30	Informative
Tensile strain at break*	ISO 527	%	1250	Informative
Flexural modulus*	ISO 178	MPa	1200	Informative
Izod impact strength *	ISO 180/1A	kJ/m ²	10	Informative
Vicat softening temperature*	ISO 306	°C	128	Informative
Shore D hardness*	ISO 868	-	65	Informative
ESCR (F50 B method)*	ASTM D 1693	h	200	Informative

* Data should not be used for specification works. Average mechanical property values of several measurements carried out on standard specimens (ISO 293) conditioned at room temperature (ISO 291)..

Legenda (tab. 2. 4. 1. 1):

properties = vlastnosti; **test method** = testovací metoda; **unit** = jednotka; **value / tolerance limit** = hodnota / toleranční mez; **note** = poznámka; **guaranteed** = zaručeno; **informative** = informativní; **melt flow rate** = poměr tavných indexů (při různých podmínkách); **density** = hustota; **colour number by Philips** = číslo barvy dle Philipse; **pellet number** = číslo granulátu; **granulate appearance** = vzhled granulátu; **discolour pellet** = odbarvený granulát; **agglutinated pellet** = stmelený granulát; **twin** = dvojitý; **triplets** = trojitý; **film quality** = kvalita filmu; **gels** = krystalinity; **tensile strength at yield** = pevnost v tahu na mezi kluzu; **tensile strain at yield** = tahová deformace na mezi kluzu; **flexural modus** = modul pružnosti; **Izod impact strength** = odolnost dle Izoda (rázová zkouška); **Vicat softening temperature** = teplota měknutí dle Vicata; **Shore D hardness** = tvrdost dle Shoreho;

2. 4. 2 - LUPOLEN

LUPOLEN 4261 je vysokomolekulární vysokohustotní polyethylen (HDPE) používaný především v automotive průmyslu pro vyfukování plastových palivových nádrží. Je dodáván stabilizovaný s antioxidanty pro plastikační proces. Výrobek splňuje ESCR (Enviromental Stress Crack Resistance), má dobrou chemickou odolnost a především vykazuje vynikající výsledky při nízkoteplotních pádových zkouškách, které jsou předepsány právě pro palivové nádrže. Typickými zpracovatelskými procesy jsou vyfukování a tváření teplem.

tab. 2. 4. 2. 1 – přehled aplikačních vlastností LUPOLENU

Test Method used	ISO		
Processing Method	Extrusion Blow Moulding, Thermoforming		
Features	Antioxidant, ESCR, High (Stress Crack Resist.), Impact Resistance, High		
Typical Customer Applications	Fuel Tanks		
Typical Properties	Method	Value	Unit
Physical			
Density ()	ISO 1183	0.945	g/cm ³
<i>Note: at 23°C</i>			
Bulk density	ISO 60	490	g/cm ³
Melt flow rate (190/21,6)	ISO 1133	6	g/10 min
Mechanical			
ESCR	ASTM D 1693	1000	h
Tensile Impact Strength	ISO 8256	170	kJ/m ²
<i>Note: -30 °C, notched, Method 1/B</i>			

		250	kJ/m ²
<i>Note: +23 °C, notched, Method 1/B</i>			
Elongation at yield	ISO 527	10	%
Tensile stress at yield	ISO 527	24	MPa
Tensile modulus	ISO 527	900	MPa
Thermal			
Melting Temperature	ISO 3146	131	°C

Legenda (tab. 2. 4. 2. 1):

test method used = použitá metodika testování (ISO); *processing method* = proces; *extrusion blow moulding* = vyfukování plastů; *thermoforming* = tvarování teplem; *features* = charakteristické rysy; *typical customer applications* = typické použití u zákazníka; *fuel tanks* = palivové nádrže; *typical properties* = typické vlastnosti; *method* = metoda; *value* = hodnota; *unit* = jednotka; *density* = hustota (při 23 °C); *bulk density* = objemová hmotnost; *melt flow rate* = poměr tavných indexů; *tensile impact strength* = rázová pevnost v tahu (v různých teplotních podmínkách); *elongation at yield* = prodloužení na mezi kluzu; *tensile stress at yield* = napětí na mezi kluzu; *tensile modulus* = tahový modul; *melting temperature* = teplota tavení

Zpracovatelské teploty jsou v rozmezí 180°C – 220°C. Výrobce doporučuje takový zpracovatelský systém vybavený adekvátními filtry a jejich pravidelnou údržbu, aby bylo zamezeno výskytu malých, například prachových, částic. Tyto částice mohou při určitých podmínkách způsobit nebezpečí výbuchu.

Výrobce také uvádí v materiálových listech důležitá bezpečnostní a zdravotní doporučení. Tato doporučení se týkají doporučených pracovních a ochranných pomůcek, přiměřené ventilace pracovního prostředí a jakým způsobem si počínat při vzniku požáru.

Skladování po dobu delší než šest měsíců může mít negativní vliv na kvalitu konečného výrobku. Všeobecně je doporučeno zpracovat materiál nejpozději během šesti měsíců. Degradaci materiálu může způsobit ultrafialové záření a vysoké skladovací teploty. Proto musí být materiál chráněn přes slunečním světlem, teplotami nad 40°C a vysokou atmosférickou vlhkostí během skladování.

2. 4. 3 – TIPPLEN

TIPPLEN je vysokomolekulární kopolymerní polypropylen. Vykazuje vynikající teplotní odolnost a při nízkých teplotách rázovou odolnost.

Použití nachází zejména při vyfukování plastových dílů, kol, podkapotních dílů v automotive průmyslu, krabic pro nástroje, kufrů a velkoobjemových nádobek.

Je také vhodný pro potravinářské použití – nezávadný při kontaktu s potravinami. Produkt je v souladu s normami FDA, BGA a EU.

TIPPLEN může být používán ve standardních plastikářských strojích. Doporučená oblast zpracovatelských teplot se nachází v rozmezí 195°C – 250°C.

Polypropylen by měl být skladován v suchých podmínkách, při teplotách –20°C až +50°C a chráněn před UV paprsky.

Nevhodné skladování může způsobit degradaci materiálu, která má za následek změnu barvy a může mít negativní vlastnosti na fyzické vlastnosti materiálu.

Měl by být manipulován a skladován mimo dosah ohně nebo možných ohnisek jeho vzniku.

tab. 2. 4. 3. 1 –přehled aplikačních vlastností TIPPLENU

Properties

	Test method	Unit	Value/Tolerance limit	Note
MFR (2.16kg/230°C)	ISO 1133	g/10 min	0.35 (0.25-0.45)	guaranteed
Ethylene	1.3.3.2-02-007	%	8-12	guaranteed
Yellowness Index	1.3.3.2-02-057	-	max. 1	guaranteed
Cutting	1.3.3.2-02-060	n	max. 55	guaranteed
Granulate impurity	1.3.3.2-02-026	n	0	guaranteed
Density*	ISO 1183	g/cm ³	0.9	informative
Tensile strength at yield *	ISO 527	N/mm ²	27	informative
Elongation at yield*	ISO 527	%	14	informative
HDT (0.46 N/mm ²)*	ISO 75	°C	90	informative
Rockwell hardness*	ISO 2039/2	R scale	60	informative
Tensile modulus*	ISO 527	N/mm ²	1100	informative
Izod impact strength (notched, 23 °C)*	ISO 180/1A	kJ/m ²	54	informative
Izod impact strength (notched, -20°C)*	ISO 180/1A	kJ/m ²	7	informative

* Typical properties, not to be used as specifications. Average mechanical property values of several measurements carried out on standard injection moulded specimens (ISO 3167) conditioned at room temperature (ISO 291).

Legenda (tab2. 4. 3. 1):

properties = vlastnosti; **test method** = testovací metoda; **unit** = jednotka; **value / tolerance limit** = hodnota / toleranční mez; **note** = poznámka; **guaranteed** = zaručeno; **informative** = informativní; **MFR** = poměr tavných indexů (při různých podmínkách); **yellowness index** = index žlutosti; **cutting** řezání; **granulate impurity** = znečištění granulátu; **density** = hustota; **elongation at yield** = prodloužení na mezi kluzu; **tensile stress at yield** = napětí na mezi kluzu; **Rockwell hardness** = tvrdost dle Rockwella; **tensile modulus** = tahový modul; **Izod impact strength** = odolnost dle Izoda (rázová zkouška, při různých podmínkách)

3. Experimentální část

3. 1 – Popis experimentu

V současné době je při vyfukování plastových dílů aplikován především postup popsany v teoretické části. Existují však i jiné možnosti, které nám umožňují například zkrátit délku cyklu, popřípadě zkvalitnit vlastnosti konečného výrobku.

Já jsem se rozhodl věnovat se možnosti zkrátit dobu cyklu. Toto je při vyfukování možné několika způsoby, například použitím hluboce zchlazeného vzduchu jako vyfukovacího média.

Při experimentu byla použita termovize, která mi umožnila sledovat rozložení teploty ihned po vyjmutí výrobku z vyfukovacího stroje.

Nejprve byly snímány výrobky, při jejichž výrobě bylo použito jako vyfukovacího média hluboce zchlazeného vzduchu. Pro získání zchlazeného vzduchu bylo použito zařízení renomované firmy Bekoblizz, která se v tomto oboru uplatňuje již řadu let. Zařízení bylo příležitostně zapůjčeno do naší firmy na krátkou zkušební dobu. Díly byly po vyjmutí z formy položeny na snímací plochu, kde došlo k zaznamenání jejich tepelného obrazu. Nejdříve byly sledovány díly bez přetoků, potom i díly s přetoky. Výrobky nebyly opracovány v opracovacím zařízení, aby bylo zaznamenáno co nejpřesněji teplotní pole. Jednalo se o produkci výrobků s názvem PSA A7 IP duct levý. Výroba probíhala na stroji H10 / 6.


Poté se měření přesunulo ke stroji H 10 / 9, kde byly snímány výrobky s názvem PSA A7 Foot room front levý. Zde docházelo k vyfukování vzduchem o teplotě okolí. Postup pro získání dat je naprosto totožný jako v předchozím případě.

Rozdíl teplot mezi vyfukovacími médii byl přibližně 60°C.

Je potřeba zdůraznit, že oba typy výrobků jsou tvarově i rozměrově odlišné. Taktéž jejich výroba probíhá s rozdílnými technologickými parametry. Ovšem závěry učiněné z měření jsou všeobecně aplikovatelné.

3. 2 – Popis chladicího zařízení Bekoblizz

tab. 3. 2. 1 - přehled chladicích zařízení BEKOBLIZZ (pro experiment použít stroj s označením 120-W1-35)

BEKOBLIZZ®	Max. Vol.-flow ¹⁾ at intake m ³ /h (scfm)	Max. Vol.-flow ¹⁾ at outlet m ³ /h (scfm)	Outlet temperature °C (°F)	Max. system pressure bar (psi)	Electrical power consumption kW (HP)	cooling water consumption ²⁾ m ³ /h (scfm)	Compressed air connections
016-N2-25	16 (9)	16 (9)	-25 (-13)	350 (5076)	1.3 (1.8)	0.5 (0.29)	¼" ³⁾
120-W1-35	145 (85)	120 (71)	-35 (-31)	16 (232)	2.5 (3.4)	0.54 (0.32)	1"
240-W2-35	290 (171)	240 (141)	-35 (-31)	16 (232)	5.1 (6.8)	1.1 (0.65)	1 ½"
410-W2-35	495 (290)	410 (241)	-35 (-31)	16 (232)	6.61 (8.9)	1.63 (0.96)	1 ½"
270-W2-45	338 (199)	270 (159)	-45 (-49)	16 (232)	7.3 (9.7)	1.37 (0.81)	1 ½"
410-W2-45	513 (302)	410 (241)	-45 (-49)	16 (232)	9.8 (13.1)	2.17 (1.28)	1 ½"
	For more technical data an product information visit our website: www.beko.de						

Legenda (tab. 3. 2. 1):

maximum volume – flow at intake = maximální průtok na sání; maximum volume – flow at outlet = maximální průtok na výstupu; outlet temperature = výstupní teplota; maximum system pressure = maximální systémový tlak; electrical power consumption = spotřeba elektrické energie; cooling water consumption = spotřeba chladicí vody; compressed air connection = typ připojení stlačeného vzduchu

Doba chlazení je klíčovým faktorem v celém čase cyklu pro výrobu vyfukovaných dutých plastových dílů při použití vytlačovacího procesu.

Efektivní způsob, jak dosáhnout redukce doby chlazení u vyfukovacího procesu, je realizace účinného vnitřního chlazení použitím zmrazeného stlačeného vzduchu.

Hluboce mrazicí systém Bekoblizz chladí stlačený vzduch na – 40°C ekonomickým a spolehlivým způsobem. Zmrazený vzduch protéká vnitřkem vyfukovaných dílů během chladicí fáze, přičemž velice efektním způsobem dochází k odvodu tepla. V závislosti na složitosti vyfukovaných dílů lze tímto zvětšit produkci o 15 – 40 %.

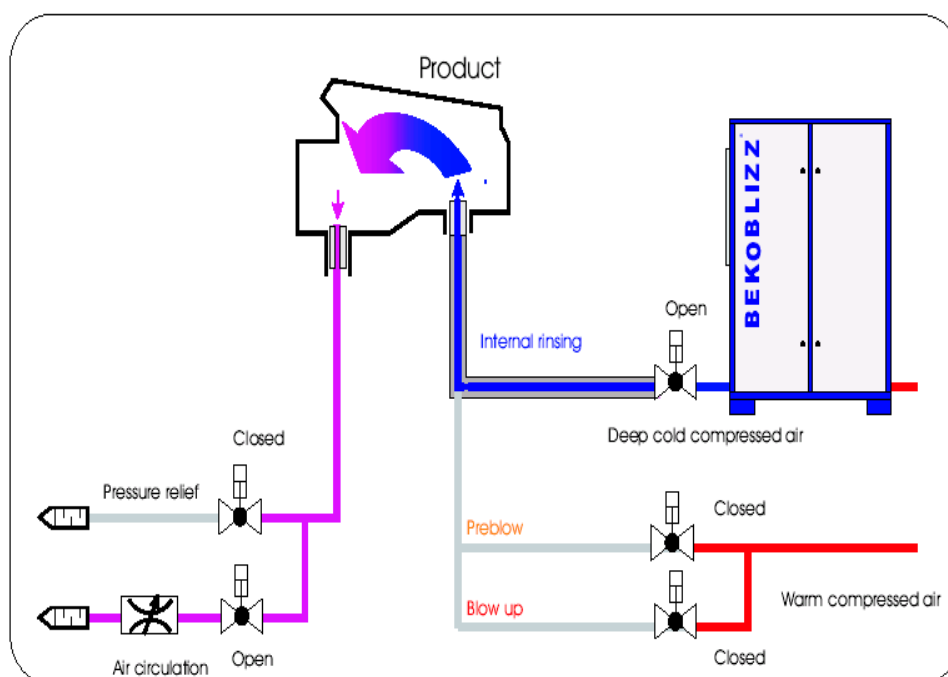
Během výrobního procesu je vyfukovaný díl vyfukován nechlazeným stlačeným vzduchem přes ventil rozfuku, následně je tento ventil uzavřen a díl je vyfukován nechlazeným stlačeným vzduchem přes vyfukovací ventil. Poté je vyfukovací ventil uzavřen a jsou otevřeny dvoucestný speciální ventil spolu s odvzdušňovacím ventilem. Nyní dochází k použití zmrazeného stlačeného vzduchu, který protéká vnitřkem dílu, kde je stále velmi vysoká teplota. Vzduch odebírá teplo zevnitř dílu a

získané teplo je odevzdáno okolí. Jedině tímto způsobem je možné dosáhnout význačného tepelného přenosu při použití vzduchu. V souvislosti se zvětšeným průtokem vzduchu se zvětšuje i množství odebraného tepla, což má za následek zkrácení doby chlazení.

Za účelem determinování pokrytí požadovaného průtoku vzduchu, které by vedlo k ekonomickým úsporám ve výrobě použitím systému BEKOBLIZZ, nabízí tato společnost kalkulaci očekávané redukce celkového času cyklu zcela zdarma. Tato kalkulace je založena na pokrytí objemu vzduchu a teploty použitím programu speciálně vyvinutého Institutem pro výrobu plastů (IK RW TH) v Cáchách pro vytlačovací vyfukování.

Zmrazený stlačený vzduch má za následek lepší chlazení než je poskytováno roztoky plynů. Použití je nezávislé na přívozech plynů a nákladných externě dodávaných chladicích médiích, jako například oxid uhličitý (CO_2) nebo dusík (N_2).

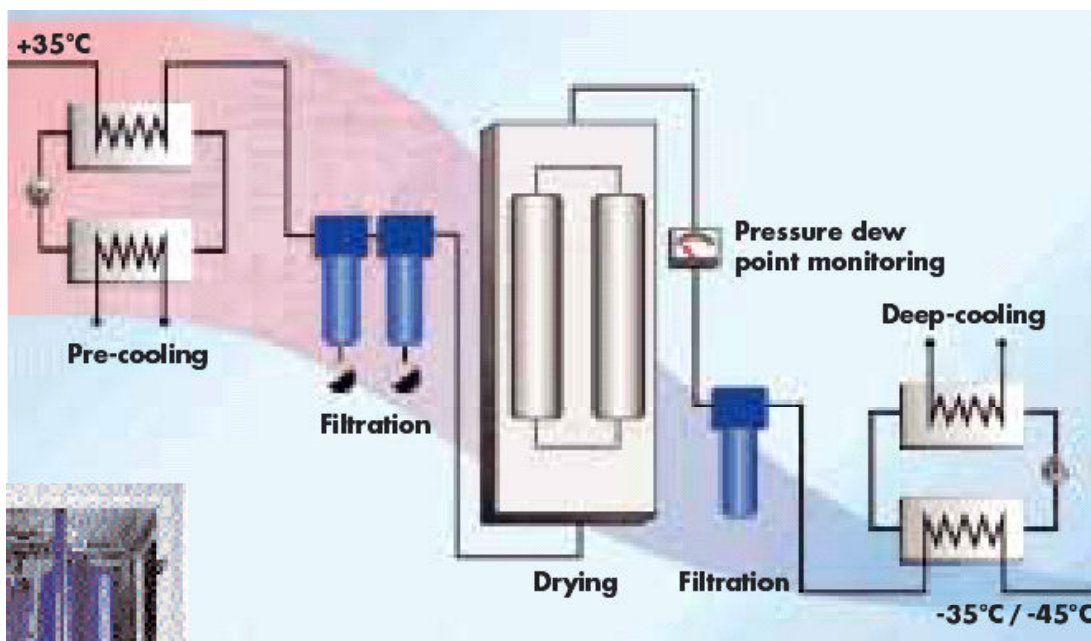
Náklady na zařízení BEKOBLIZZ se podle údajů výrobce všeobecně navracejí za méně než rok. Větší efektivity návratnosti nákladů je dokonce dosaženo v případě, pokud je zařízení použito k dodávkám stlačeného vzduchu k více vyfukovacím systémům.



Obr. 3. 2. 1: schématické znázornění účasti zařízení BEKOBLIZZ na vyfukovacím procesu

Legenda (obr. 3. 2. 1):

pressure relief = snížování tlaku; air circulation = oběh vzduchu; closed = uzavřeno; open = otevřeno; product = výrobek; internal rinsing = vnitřní proplach; deep cold compressed air = hluboce chlazený stlačený vzduch; preblow = rozfuk; blow up = vyfukování; warm compressed air = teplý stlačený vzduch

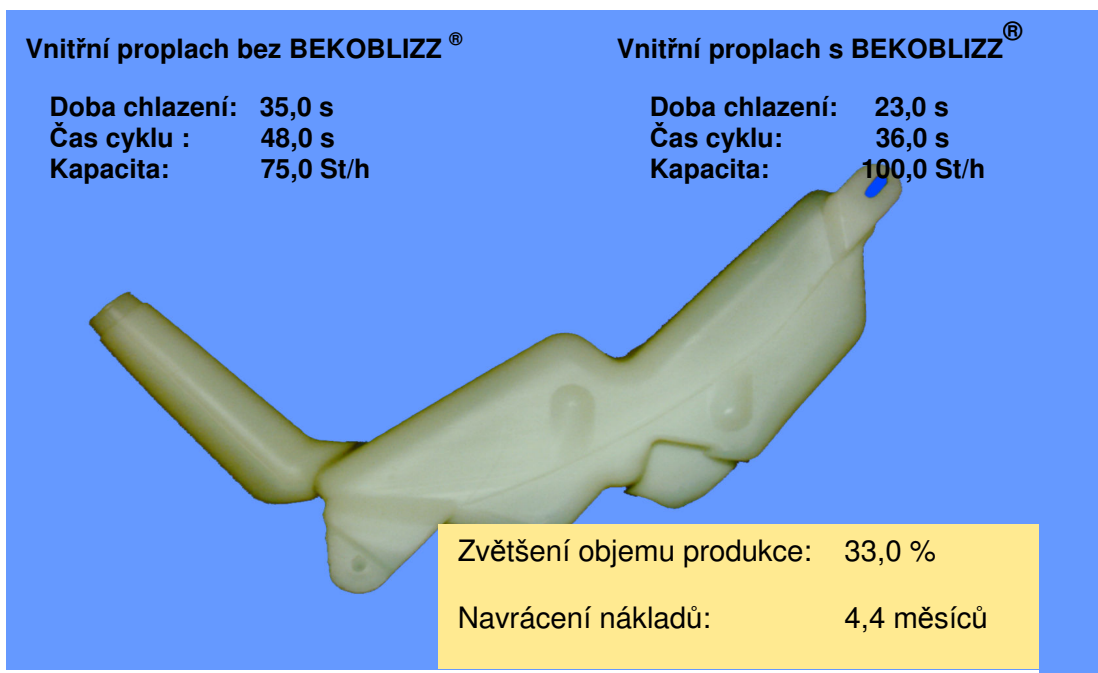


Obr. 3. 2. 2: schematické znázornění principu zařízení BEKOBLIZZ

Legenda (obr. 3. 2. 2):

pre-cooling = před-chlazení; filtration = filtrace; drying = sušení; pressure dew point monitoring = kontrola tlaku na rosném bodu; deep-cooling = hluboké chlazení

Na následujících obrázcích jsou ukázané vypočítané kalkulace úspory, respektive zvětšení objemu produkce, které uvádí výrobce ve svých prospektech. Je třeba podotknout, že se jedná o německou společnost. Tedy i ceny energií, náklady na personál a údržbu, které jsou v těchto cenách zahrnuty, představují hodnoty pro německý trh. Lze předpokládat, že pro českou výrobu by výsledky byly poněkud odlišné, ale v teoretické rovině je možné tyto výpočty použít jako aplikovatelné i v našem ekonomickém prostředí.

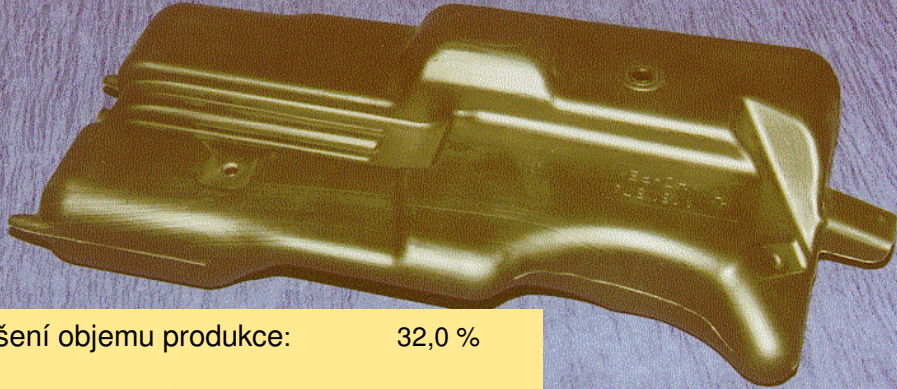


Obr. 3. 2. 3: kalkulace pro nádobku ostříkovače



Obr. 3. 2. 4: kalkulace pro vzduchové potrubí


Vnitřní proplach bez BEKOBLIZZ®	Vnitřní proplach s BEKOBLIZZ®
Doba chlazení: 45,0 s	Doba chlazení: 32,0 s
Čas cyklu: 53,0 s	Čas cyklu: 40,0 s
Kapacita: 68,0 St/h	Kapacita: 90,0 St/h



Zvětšení objemu produkce:	32,0 %
Navrácení nákladů:	4,6 měsíců

Obr. 3. 2. 5: kalkulační údaje pro vyrovnávací nádobku

Vnitřní proplach bez BEKOBLIZZ®	Vnitřní proplach s BEKOBLIZZ®
Doba chlazení: 28,0 s	Doba chlazení: 20,0 s
Čas cyklu: 33,0 s	Čas cyklu: 25,0 s
Kapacita: 109,0 St/h	Kapacita: 144,0 St/h



Zvětšení objemu produkce:	32,0 %
Navrácení nákladů:	4,6 měsíců

Obr. 3. 2. 6: kalkulační údaje pro vzduchové vedení



Obr. 3. 2. 7: kalkulace pro palivovou nádrž

**Vnitřní proplach
bez BEKOBLIZZ®**

Doba chlazení: 80,0 s
Čas cyklu: 120,0 s
Kapacita: 30 St/h

**Vnitřní proplach s
BEKOBLIZZ®**

Doba chlazení: 56,0 s
Čas cyklu: 96,0 s
Kapacita: 37,5 St/h

Zvětšení objemu produkce: 25,0 %

Navrácení nákladů: 3,5 měsíců

3. 3 – Popis snímacího zařízení

Ke snímání tepelných obrazů výrobků byla použita termovize od společnosti Flir systems, s typovým označením ThermaCAM E 320.




Obr. 3. 3. 1: snímací zařízení

Všeobecně lze říci, že se jedná o zařízení, které nabízí snímání infračervených obrazů. Ukládá je do obrázků o rozměrech 320 x 240 pixelů, které je možné vizualizovat na LCD displeji. Tento produkt nabízí měření celé škály částí výrobních procesů. Nespornou výhodou je bezdotykové měření.

V následující tabulce jsou přehledně zobrazeny parametry a technické specifikace přístroje, podle katalogu výrobce.

tab. 3. 3. 1 - snímací zařízení – technické parametry

IMAGING PERFORMANCE		
Field of view/min focus distance	23° x 17°/0.3 m	
Thermal sensitivity	0.1°C at 30°C	
Image frequency	50Hz	
Focus	Manual	
Detector type	Focal Plane Array (FPA), uncooled microbolometer	
Digital Zoom	320 x 240 pixels ← EXTRAORDINARY IMAGE QUALITY	
Spectral range	1 x, 2 x or 4 x 7.5 to 13 µm	
IMAGE PRESENTATION		
Video output	PAL or NTSC, standard RCA composite video	
External display	2.5" color LCD, 16K colors	
MEASUREMENT		
Temperature range	-20°C to +500°C (in 2 ranges) optional: +250°C up to +1,200°C	
Accuracy	±2°C, ±2%	
Repeatability	±1°C, ±1%	
Measurement mode	3 movable spots, area max, area min, area average, temp. difference color and/or sound alarm above or below, auto hot-spot	
Menu controls	Palettes (iron, rainbow, rainbow HC, B&W, B&W inverse), auto-adjust (continuous/manual)	
Set-up controls	Date/time, temperature units °C/°F, language, scale, info field, LCD intensity (high/normal/low)	
Measurement corrections	Emissivity variable from 0.01 to 1.0, reflected ambient	
IMAGE STORAGE		
Type	Built-in FLASH memory (> 80 Images)	
File formats	Standard JPEG	
Text annotation of images	Predefined text selected and stored together with the image	
LENSES (OPTIONAL)		
2 x Telescope	14" x 10"/0.5m	
0.5 Wide angle	41" x 31"/0.2m	
LASER LOCATOR™		
Classification	Class 2	
Type	Semiconductor AlGaInP Diode Laser: 1mW/635 nm red	
BATTERY SYSTEM		
Type	Li-Ion, rechargeable, field replaceable	
Operating time	2 hours continuous operation. Display shows battery status	
Charging system	In camera, AC adapter or 12 V from car (with optional Std. cable) 2 bay intelligent charger, 12 V	
AC operation	AC adapter 90-260 V AC, 50/60 Hz, 12 V DC out	
Voltage	11-16 V DC	
Power saving	Automatic shutdown and sleep mode (user selectable)	
ENVIRONMENTAL SPECIFICATION		
Operating temperature range	-15°C to +50°C	
Storage temperature range	-40°C to +70°C	
Humidity	Operating and storage 20% to 80%, non-condensing	
Encapsulation	IP54, IEC 359	
Shock	Operational: 25G, IEC 68-2-29	
Vibration	Operational: 2G, IEC 68-2-6	
PHYSICAL CHARACTERISTICS		
Weight	<800 g, incl. battery	
Size	272 mm x 80 mm x 105 mm	
Tripod Mounting	1/4" - 20	
Cover case	Plastic and rubber	
INTERFACES		
USB	Image and text transfer to PC	
RS-232 cable (optional)	Image and text transfer to PC	
Video Output	Standard RCA composite video	
THERMACAM E320 INCLUDES:	IR camera, Carrying case, Power supply, Handstrap, Lens cap, ThermaCAM QuickView™ Software, USB cable, User manual, Power cord, Battery (2), Battery charger	

Legenda (tab. 3. 3. 1):

imaging performance = provedení fotografií

- **field of view / minimum focus distance** = pohledové pole / minimální vzdálenost zaostření;
- thermal sensitivity** = teplotní citlivost; **image frequency** = frekvence obrázku; **focus** = zaostření; **detector type** = typ detektoru; **digital zoom** = digitální zvětšení; **spectral range** = spektrální rozsah;

image presentation = předvedení obrázku

- **video output** = video výstup; **external display** = externí displej;

measurement = měření

- **temperature range** = teplotní rozsah; **accuracy** = přesnost; **repeatability** = opakovatelnost;
- measurement mode** = mód měření; **menu controls** = nabídka menu; **set up controls** = nabídka nastavení; **measurement corrections** = opravy měření;

image storage = uchovávání obrázku

- **type** = typ; **file formats** = možné formáty souborů; **text annotation of images** = textové poznámky k obrázkům;

lenses = čočky

- **telescope** = teleskopová; **wide angle** = široký úhel;

laser locator = laserový zaměřovač

- **classification** = klasifikace; **type** = typ;

battery systém = baterie

- **type** = typ; **operating time** = provozní čas; **charging systém** = dobíjení; **AC operation** = provoz na střídavý proud; **voltage** = elektrické napětí; **power saving** = úspora energie;

environmental specification = ekologické specifikace

- **operating temperature range** = rozsah pracovních teplot; **storage temperature range** = teplotní rozsah pro skladování; **humidity** = vlhkost; **encapsulation** = zakrytování; **shock** = otřesy; **vibration** = vibrace;

physical characteristics = fyzikální vlastnosti

- **weight** = váha; **size** = velikost; **tripod mounting** = připevnění k podstavci; **cover case** = krycí kufřík;

interfaces = uživatelské vlastnosti

3. 4 – Průběh experimentu

3. 4. 1 – Vyfukování s použitím chladicího zařízení Bekoblizz

Vyfukování dílů podchlazeným vzduchem probíhalo na vyfukovacím stroji s interním označením H 10 / 6. Jedná se o typ stroje H 10 SG 20, s uzavírací silou 60 tun a dvojnásobnou příčnou kontinuální vytlačovací hlavou.

Celkový čas cyklu byl 36 vteřin, z toho vlastní čas vyfukování, který lze považovat za čas chlazení, byl 24, 5 vteřiny.

Výrobky použité pro experiment nesou označení PSA A7 IP duct. Jedná se o vzduchové vedení vyráběny pro cílového zákazníka Peugeot, montované do modelové řady Peugeot 207.

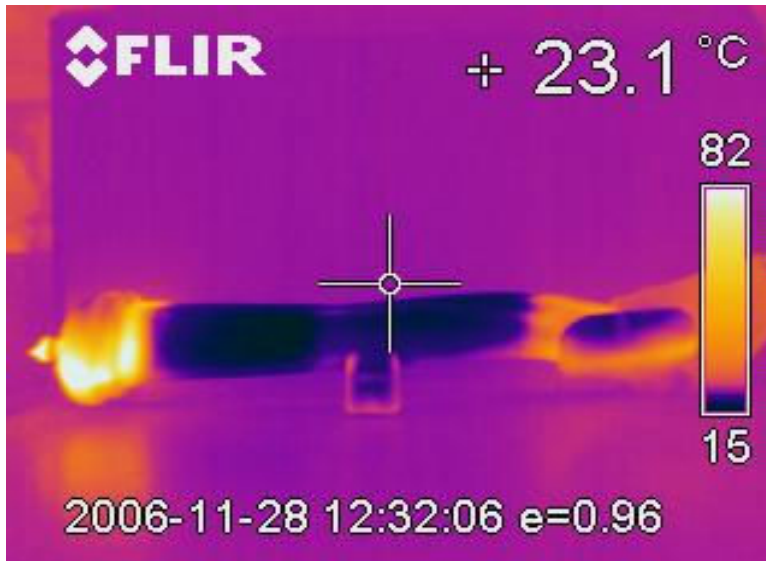


Obr. 3. 4. 1. 1: výrobek PSA A7 IP duct

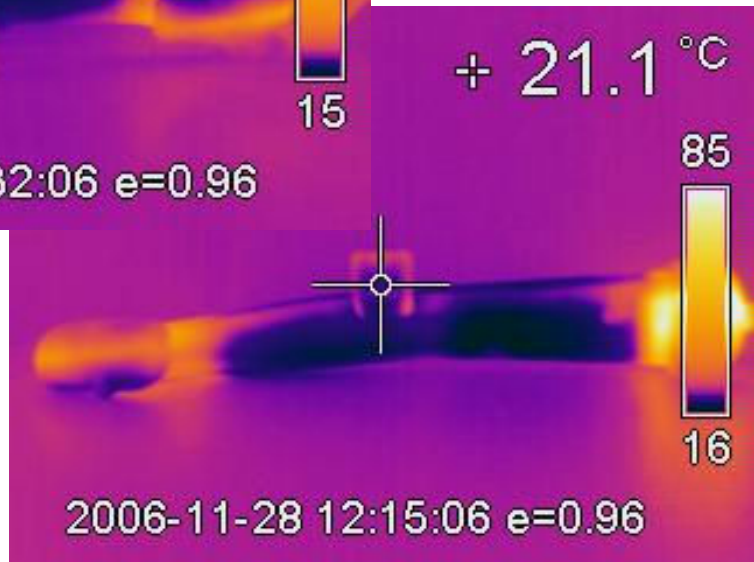
Výrobky byly ihned po vyjmutí z formy zbaveny přetoků a umístěny do prostoru, ve kterém došlo k nasnímání tepelného záření z právě vyfouknutého dílu. Pro srovnání byly také nasnímány díly s přetoky.

Vytlačovaná plastická tavenina byla o teplotě 190 °C, teplota okolí se pohybovala v rozmezí 21 – 23 °C. Díly byly vyfukovány podchlazeným vzduchem s teplotou – 35 °C.

Materiál plastu je vysokohustotní polyethylen TIPELIN obarvený barvivem REMAFIN.



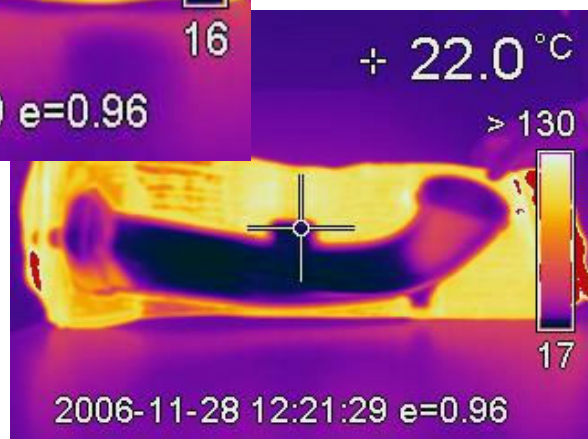
Obr. 3. 4. 1. 3: díl bez přetoků



Obr. 3. 4. 1. 2: díl bez přetoků



Obr. 3. 4. 1. 4: díl s přetoky



Obr. 3. 4. 1. 5: díl s přetoky

3. 4. 2 – Vyfukování bez použití chladicího zařízení Bekoblizz

Tato část experimentu probíhala na stroji s interním označením H 10 / 9. Jedná se o typově totožný stroj jako v předchozím případě, typové označení je také H 10 SG 20. Rozdíl mezi stroji je ve velikosti uzavírací síly – v tomto případě je 30 tun. Vyfukovací stroj je opět vybaven dvojnásobnou příčnou vytlačovací hlavou.

Vyfukovací čas byl dle parametrů stroje 20 vteřin a celkový čas cyklu 30 vteřin.

Výrobky vyráběné na tomto stroji jsou označovány jako vzduchové vedení PSA A7 Foot Room Front levý RHD a jsou kompletovány taktéž do modelové řady Peugeot 207, ovšem do její pravostranné varianty.

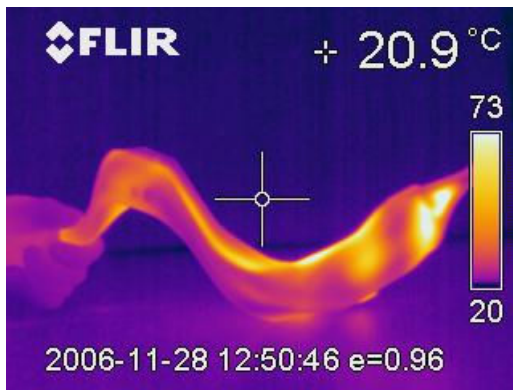


Obr. 3. 4. 2. 1: vzduchové vedení PSA A7 Foot Room Front levý RHD

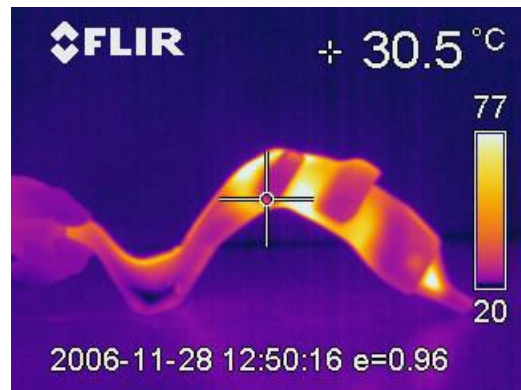
Díly byly snímány naprosto totožným způsobem jako v předchozím případě.

Také vytlačovaná plastická tavenina měla stejnou teplotu, tedy 190 °C. Vyfukování bylo uskutečněno vzduchem o teplotě okolí, která se pohybovala v rozmezí 20 °C – 22 °C.

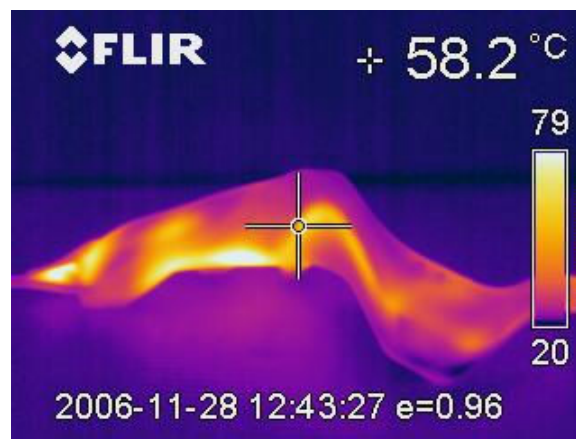
Použitým typem plastu je vysokohustotní polyethylen TIPELIN, obarvený černým barvivem REMAFIN.



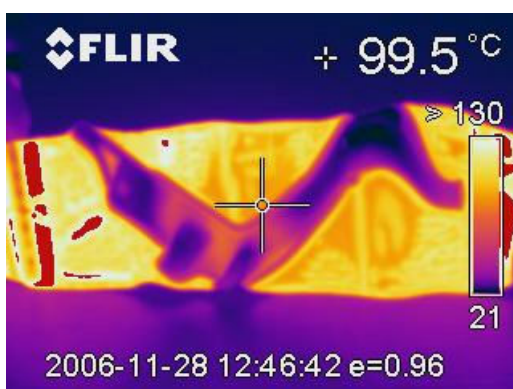
Obr. 3. 4. 2. 2: díl bez přetoků



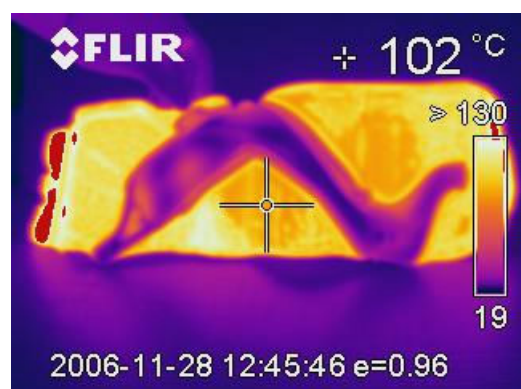
Obr. 3. 4. 2. 3: díl bez přetoků



Obr. 3. 4. 2. 4: díl bez přetoků – jiný pohled



Obr. 3. 4. 2. 5: díl s přetoky



Obr. 3. 4. 2. 6: díl s přetoky

4. Diskuze

Nejprve považuji za nutné upozornit na fakt, že díly použité pro experiment jsou odlišné. A to jak z hlediska fyzických rozměrů, tak i tvaru. Pokus by měl být proveden pro jeden díl, u kterého mělo být aplikováno vyfukování s a bez zařízení Bekoblizz; a také s rozdílnými vyfukovacími (cyklovými) časy. Také je ovšem potřeba říci, že vlastní vyfukovací časy u obou výrobků jsou téměř totožné (liší se přibližně o 5 vteřin), tedy z tohoto hlediska lze procesy považovat za shodné. Problém je tedy především v tvarové odlišnosti dílů. Nicméně se domnívám, že i přes tyto odlišnosti lze vysledovat jisté závěry, které lze zobecnit a charakterizovat tak tyto dvě odlišné výrobní technologie.

Podle nasnímaných tepelných obrazů dílů je zřejmé, že povrch dílů vyfukovaných pomocí zařízení Bekoblizz je podstatně chladnější než je tomu u dílů vyfukovaných běžným způsobem. Lze tedy říci, že pokud bychom chtěli docílit stejné teploty dílů po vyfouknutí, tzn. díly by byly přibližně o stejné teplotě jako díly vyfukované bez zařízení Bekoblizz, mohlo by dojít k úpravě vyfukovacího času ve smyslu jeho zkrácení. Z tohoto hlediska chladicí zařízení Bekoblizz nabízí úspory v produkci, respektive umožňuje zvýšení výrobních kapacit. Ovšem nastává zde problém, neboť je nutné zajistit, aby vyfukovací čas byl dostatečný k potřebnému vytvarování dílů ve tvarové dutině formy. Na obrázcích z termovize u většího dílu (I P duct – obr. 3. 4. 1. 2 a 3. 4. 1. 3) je také možné pozorovat, že dochází ke kumulaci většího množství tepla v oblasti kulových vrchlíků. Je možné to vysvětlit takto. Při vnikání vyfukovacího média do uzavřeného parizonu ve formě proudí toto médium do střední části parizonu. Tím nedochází k vnitřnímu chlazení vrchlíku, který je u vyfukovacího trnu. Dále pak médium postupuje celým dílem, ovšem než dosáhne druhého vrchlíku, kde je umístěno odvodušnění. Médium je však již ohřáto vlivem teplé taveniny plastu, a tak nedochází k tolik intenzivnímu chlazení. Větší teplota ořezávaných vrchlíků je důležitá z hlediska následného opracování dílů. Při ořezávání noži v opracovacích zařízeních dochází totiž k deformacím z důvodu právě větší teploty. Díly potom nejsou způsobilé k montáži. Řešení lze hledat ve vhodné konstrukci ořezávacích nožů, popřípadě použít nějakou z forem následného dochlazení. Na snímcích (obr. 3. 4. 1. 4, 3. 4. 1. 5, 3. 4. 2. 5, 3. 4. 2. 6) s technologickými přetoky je vidět, jakým způsobem je řešeno chlazení ve formě. Vlastní díl je chlazen nejen zevnitř vyfukovacím médiem, ale také vně systémem

chladicích kanálů ve formě. Výše zmíněné obrázky ukazují, jak vhodně je tento systém volen – dochází k chlazení jen samotného dílu a nikoliv technologických přetoků, které není třeba chladit. Jejich vyšší teplota nemá vliv na chladnutí dílů, jelikož prakticky ihned po vyfouknutí a vyjmutí z formy jsou odděleny operátorem a vhozeny do mlýna. Zde dochází k jejich rozemletí a vrací se zpět do výrobního procesu ve formě regranulátu.

Nadmolekulární struktura plastu po vyfouknutí různými technologickými podmínkami byla zkoumána pomocí polarizační mikroskopie.

4. 1 Polarizační mikroskopie

Využití polarizovaného světla při studiu struktury je dáno typem zkoumaného polymeru, zda je semikrystalický nebo amorfní. Semikrystalické polymery krystalizují bez přítomnosti velkého smykového napětí a jsou charakteristické svou strukturou sférolitů. Velikost, tvar a typ sférolitů, které jsou určeny teplotními podmínkami a podmínkami toku taveniny při krystalizaci, jsou silným indikátorem změn ve faktorech při výrobě výrobku. Studie sférolitické struktury těchto materiálů odhalí strukturální změny způsobené měnícími se podmínkami při výrobě. Ve skutečnosti studie semikrystalických polymerů metodou polarizovaného světla představují velkou část všech studií polymerů pomocí světelného mikroskopu. Tato metoda je snadno aplikovatelná a jde o nedestruktivní test kvality.

Při práci s polymery je z hlediska dobrých výsledků nejlepší a nejspolehlivější způsob přípravy vzorků pomocí mikrotomu. Vzorky jsou jím řezány na tloušťku od 0,5 μm podle druhu materiálu a jeho struktury. Na našem trhu je nejrozšířenější sáňkový mikrotom. Posun hlavy s nožem se uskutečňuje velmi jemně na kuličkových ložiscích a nevyžaduje skoro žádnou údržbu. Mikrotom pracuje s mikrotomovými noži i žiletkami.

Polarizace světla

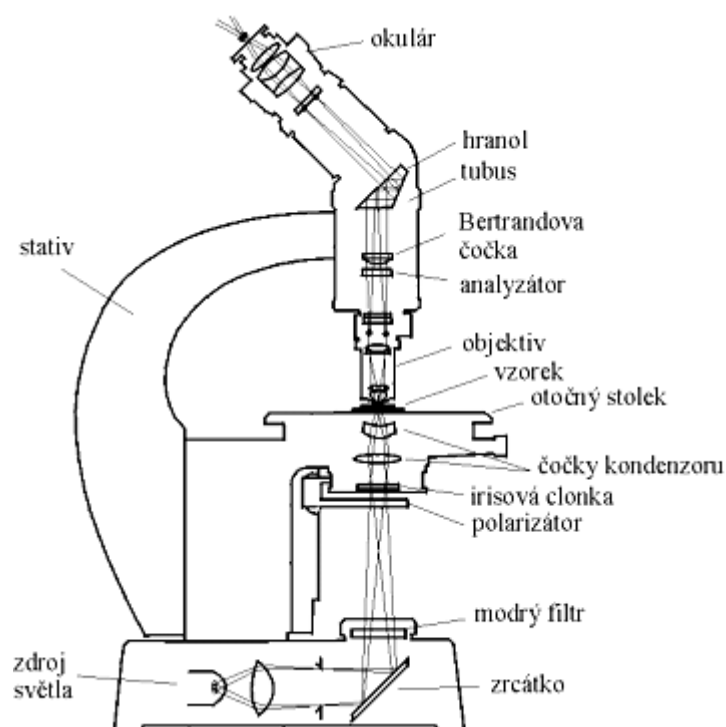
Normální světlo kmitá ve všech směrech kolmo na směr svého šíření. Polarizované světlo má kmity světelných vln uspořádané. Kmitá například jen v jednom směru kolmo ke směru šíření paprsku. Polarizaci světla lze provést např. odrazem, kdy při částečném odrazu dochází k částečné polarizaci lomeného a odraženého paprsku dvojlomem. Dříve se používal Nikolův hranol - drahý a náročný na výrobu, dnes se používají polarizační fólie. Při průchodu paprsku fólií dojde k dvojlomu a jeden ze vzniklých paprsků je fólií ihned absorbován.

Polarizační mikroskop

Polarizační mikroskop je vybaven polarizačním zařízením, které umožňuje studovat jevy, které nejsou v normálním nepolarizovaném světle pozorovatelné. Obecně se dá studium rozdělit na pozorování v procházejícím a odraženém světle. Při studiu v procházejícím světle se studují tenké průhledné vzorky, nejčastěji vytvořené pomocí mikrotomu. Preparáty se vkládají mezi podložní a krycí sklíčko. Při pozorování v odraženém světle se studují výbrusy. Toto se provádí zejména u materiálů, u kterých není možné pořídit průhledný vzorek .

Polarizační zařízení

Jedná se o nejdůležitější součást mikroskopu. Jsou to dva nikoly. První z nich, polarizátor, je zabudován v dolní části mikroskopu. Druhý, analyzátor, je umístěn v tubu a je možné ho vysunout a tím odstranit z optické soustavy mikroskopu. Pozorování lze provádět jen s polarizátorem - pozorování s jedním nikolem, nebo s oběma nikoly - pozorování se zkříženými nikoly. Zde je výsledkem zhasnuté světlo, neboť polarizátor polarizuje světlo předozadním směrem a analyzátor pravolevým směrem (světlo polarizované polarizátorem je zastaveno analyzátořem).



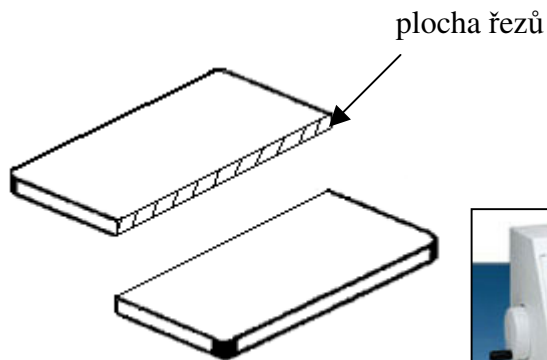
Obr. 4. 1. 1: Schéma jednoduchého typu polarizačního mikroskopu

4. 1. 1 Experiment na obsah krystalitů

Experimentální měření bylo provedeno na světelném mikroskopu (obr.4. 1. 1) metodou pozorování mikrotomových řezů v polarizovaném světle. Pro tento experiment byly použity vzorky dílů vyfukované klasickou metodou a metodou zchlazeného stlačeného vzduchu. V obou případech se jednalo o výrobu dvojnásobnou vyfukovací formou.

Příprava vzorků

Vzorky pro pozorování struktury v polarizovaném světle byly odebrány z vnitřního povrchu vyfukovaných dílů (obr. 4. 1. 1. 2). Vzorky (řezy) o tloušťce 30 μm byly oddělovány pomocí mikrotomu (obr. 4. 1. 1. 1). Ze středů těchto řezů byl odebrán vzorek o délce cca. 5 mm a vložen mezi podložní a krycí sklíčko mikroskopu.



Obr. 4. 1. 1. 2: Místo odběru vzorků



Obr. 4. 1. 1. 1: Mikrotom

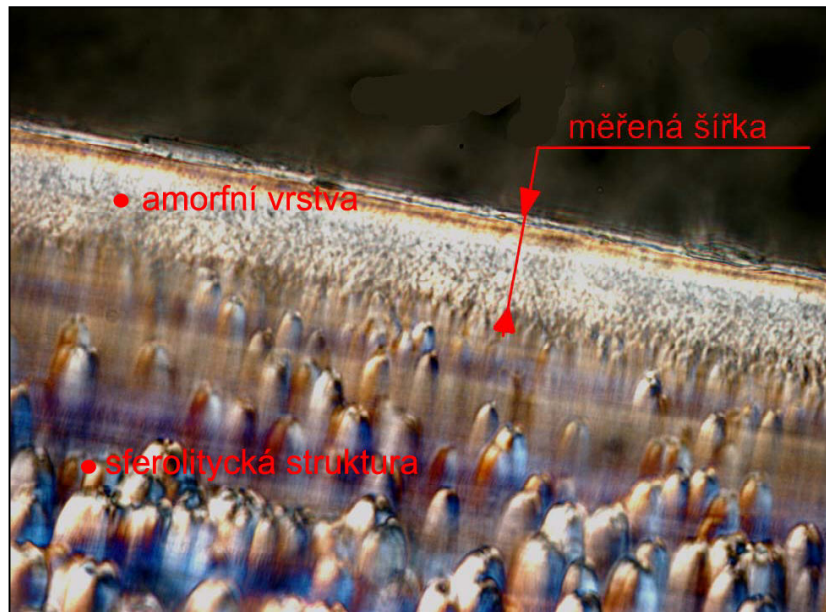


Postup měření

Před samotným měřením vzorků byl mikroskop (obr. 4. 1. 1. 3) seřízen. Pro pozorování předem připravených vzorků byl použit objektiv se zvětšením 50x a 100x. Postupně byly vkládány a zaostřeny jednotlivé vzorky a jejich obrazy byly pomocí software LUCIA managemet ukládány do paměti PC. Příklad struktury plastu s amorfním a semikrystalickým složením na řezu PE-Liten MB 77 odebraného ze vstřikované destičky o tloušťce 3 mm při teplotě temperace formy 60°C je znázorněn na obr. 4. 1. 1. 4

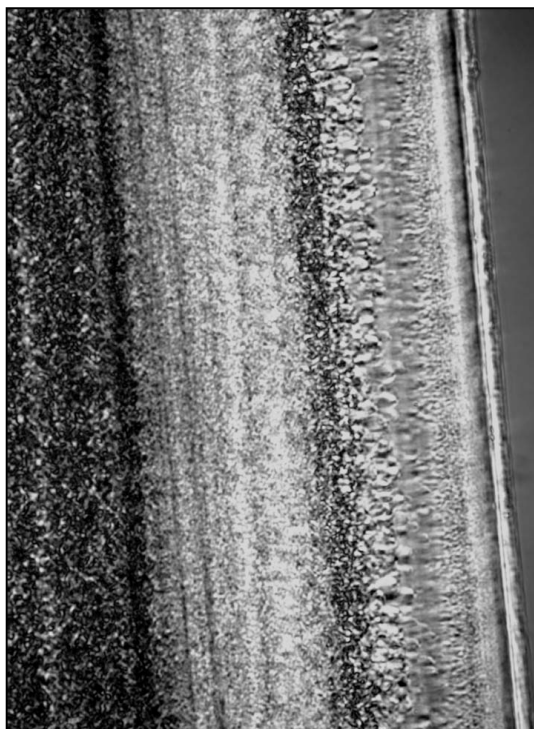


obr. 4. 1. 1. 3: Světelný mikroskop

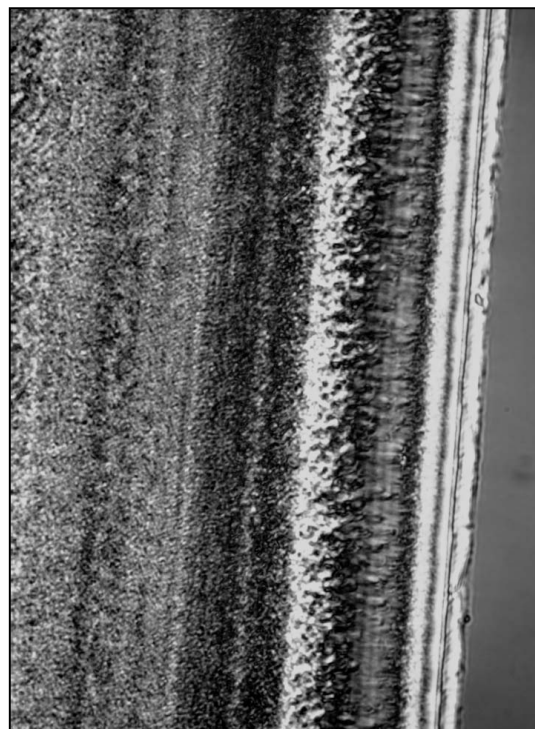


Obr. 4. 1. 1. 4: Struktura řezu PE-Liten MB 77, $T_{tm} = 60^{\circ}\text{C}$, $t_s = 3 \text{ mm}$

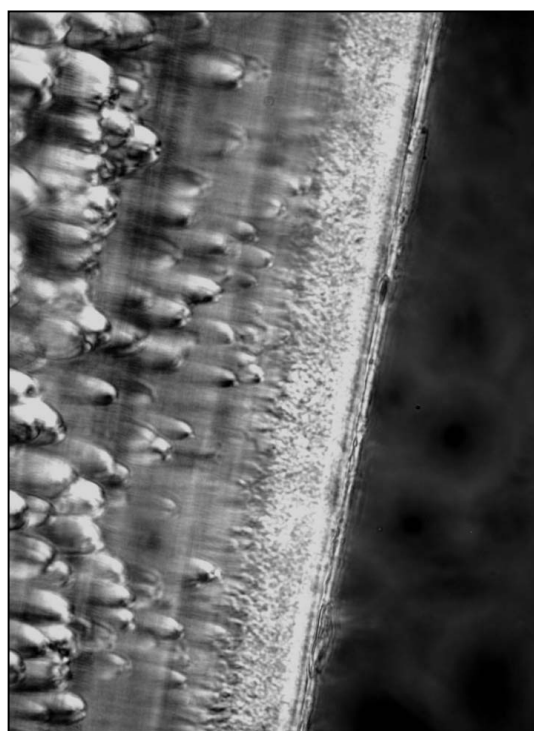
V následující části práce je uveden přehled pozorovaných struktur řezů daných výrobků při různých podmínkách vyfukování. Jako struktura vzduch (obr. 4. 1. 1. 5) je označen řez z dílu vyfukovaného pomocí chladicího zařízení Bekoblizz, jako struktura klasika (obr. 4. 1. 1. 6) je označen řez z dílu vyfukovaného bez zařízení Bekoblizz.



**Obr. 4. 1. 1. 5: Struktura vzduch
zvětšení (50x)**



**Obr. 4. 1. 1. 6: Struktura klasika
zvětšení (50x)**



**Obr. 4. 1. 1. 7: Struktura vzduch
zvětšení (100x)**



**Obr. 4. 1. 1. 8: Struktura klasika
zvětšení (100x)**

Obr. 4. 1. 1. 5 a 4. 1. 1. 6 představující menší zvětšení ukazují, že při pomalejším chladnutí (tedy bez použití chladicího zařízení Bekoblizz) je nadmolekulární struktura plastu daleko jemnější. Jinak řečeno, bylo zde k dispozici více času pro tzv. nukleaci, tedy tvorbu krystalických zárodků. Struktura dílů vyrobených klasickým technologickým postupem obsahuje více krystalických částí, které se mění směrem od povrchu dílu k jeho středu. Na druhé straně výrobky připravené pomocí vyfukování chlazeným vzduchem vykazují daleko více amorfni struktury, což je způsobeno rychlým ochlazením. Není takto poskytnut dostatečný čas k nukleaci. Nejlépe je výše uvedené patrné na snímcích při stonásobném zvětšení (obr. 4. 1. 1. 7 a 4. 1. 1. 8). Lze zde velmi dobře pozorovat tloušťku amorfni struktury (v případě vyfukování klasickou metodou menší) a také oblast se sférolity, která v případě vyfukování klasickou metodou zasahuje daleko blíže k vnitřnímu povrchu dílu.

5. Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na proces vyfukování plastových komponent pro automobilový průmysl. Jedná se o technologický proces zpracování plastů, jehož stručný popis je uveden v teoretické části. Zaměřil jsem se na používaná vyfukovací média. V této oblasti je k dispozici velké množství variant, neboť je zde snaha zkrátit vyfukovací čas, který tvoří podstatnou část celkového času cyklu, což je umožněno například právě vhodnou volbou alternativního způsobu vyfukování.

Výsledky měření po použití chladicího zařízení Bekoblizz ukazují, že jeho použitím je možné čas cyklu zkrátit. Lze tedy souhlasit s propočítanými kapacitními úsporami od výrobce, ovšem jak již bylo zmíněno, nastává zde otázka, zda by takových úspor bylo dosaženo v ekonomickém prostředí České Republiky. Pravdou však zůstává, že je možné dosáhnout kapacitních navýšení ve výrobě.

Druhou stránkou je nadmolekulární struktura vnitřního povrchu dílu. Jak již bylo zmíněno, vlivem příliš rychlého ochlazení dochází u vnitřního povrchu dílu k vytvoření převážně amorfni struktury. Plastická tavenina nemá dostatek času potřebného k nukleaci, a tato změněná struktura má vliv na mechanické vlastnosti. Toto by však mělo vliv na díly mechanicky namáhané, u kterých by měl ještě následovat test na mechanické vlastnosti, například tahovou zkouškou. Díly podrobené experimentu, jakož i ostatní díly produkované jako vzduchové vedení, nejsou nijak mechanicky namáhány. Změněná struktura tedy nijak zásadně neovlivní funkčnost dílů. Výrobky jsou při provozu namáhány pouze teplotně, ovšem běžně dosahovaná provozní teplota se ani neblíží přechodovým teplotám pro plast TIPELIN (tedy polyethylen).

Seznam použité literatury:

- [1] SOVA, A. – KREBS, J. A KOL.: Termoplasty v praxi, Nakladatelství Verlag Dashoefer Praha, 1999 – 2004.
- [2] HERBERT, K. : Mold Engineering, Verlag Hanser, 1995.
- [3] STOECHERT, K – MENNIG, G.: Mold making Handboock, Hanser, 1998.
- [4] LEE, N. C.: Blow molding Design Guide, Carl Hanser Verlag, 1998.
- [5] LENFELD, P.: Technologie II, skriptum.
- [6] Firemní materiály: Kautex Textron, Bekoblizz, Basell Polyolefins, TVK.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji – li diplomovou práci nebo poskytnu – li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

5.1. 2007

Petr Karásek

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. Applies to my thesis in full, in particular section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

5.1. 2007

Petr Karasek

