



OVĚŘENÁ TECHNOLOGIE
typ aplikovaného výstupu „Z“
vzniklý za podpory projektu TA03010492

TECHNOLOGIE CHLAZENÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY POMOCÍ KAPALNÉHO CO₂

OVĚŘENÁ TECHNOLOGIE - ZPRÁVA
KSP-2015-Z-OT-02

ROK 2015

Autor: Ing. Martin Seidl



TECHNOLOGIE CHLAZENÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY POMOCÍ KAPALNÉHO CO₂**Obsah**

1. Úvod	3
2. Cíle pro ověření technologie	3
3. Temperační procesy u technologie injekčního vstřikování.....	3
3.1 Konvenční temperační systémy	4
3.2 Nekonvenční temperační systémy	4
3.2.1 Chlazení vstřikovacích forem pomocí oxidu uhličitého	4
3.2.1.1 Spot cooling (bodové chlazení).....	5
3.2.1.2 ®Tool-vac technology.....	5
4. Aplikace nekonvenčního způsobu chlazení	6
4.1. Analýza stávajícího stavu a volba aplikace	7
4.2. Navržené konstrukční řešení	8
4.3. Vstřikovací stroj.....	9
4.4. Nastavení chladicího cyklu	9
4.5. Vyhodnocení účinnosti aplikace nekonvenčního chlazení s podporou kapalného CO₂	9



TECHNOLOGIE CHLAZENÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY POMOCÍ KAPALNÉHO CO₂

1. Úvod

Nejrozšířenější technologie zpracování plastů zvaná injekční vstřikování zahrnuje řadu kritických faktorů, které musí být vhodně řešeny, aby výsledný výrobní proces zajistil produkci dílů požadované kvality při minimálních energetických i ekonomických nákladech. Mezi tyto faktory patří i přesné řízení tepelných procesů ve výrobním nástroji (vstřikovací formě). Regulace rychlosti odvodu tepla z taveniny plastu má přímý dopad jak na ekonomii celého výroby (rychlost výrobního cyklu, spotřeba energie atd.) tak na kvalitu produkce a výsledné vlastnosti výrobku. Pro maximální zefektivnění výroby jsou vyvíjeny nové způsoby chlazení a temperance výrobních nástrojů, které umožňují rychlou a přesnou kontrolu teploty i v oblastech, které jsou konvenčními metodami dostupné jen omezeně nebo jsou zcela nedostupné.

Vzhledem ke komplexnosti geometrie vyráběných dílů se s problematikou rovnoměrného chlazení dílů setkávají všichni zpracovatelé polymerních materiálů zaměřením na technologii injekčního vstřikování a stejně tak i nástrojárny, které navrhují a konstruují vstřikovací formy. Jedním z představitelů, který zaštiťuje jak návrh a výrobu vstřikovacích forem, tak přímo výrobu plastových dílů je i společnost KOH-I-NOOR PONAS s.r.o., která pro dosažení efektivního řízení teplot v kritických oblastech výrobních nástrojů zahrnuje do své výrobní platformy i technologii nekonvenčního chlazení využívající potenciálu zkapalněného oxidu uhličitého, která umožňuje chlazení i nepřístupných oblastí výrobního nástroje, jakými jsou tenká jádra či můstky.

2. Cíle pro ověření technologie

Předmětem ověření této technologie nekonvenčního chlazení je její aplikovatelnost na konkrétním výrobním nástroji určeném pro sériovou výrobu. Tvarová komplikovanost výrobku znemožňuje plně využít potenciálu konvenčního chlazení a proto využití zkapalněného oxidu uhličitého vhodným řešením, které zajistí odvod tepla z oblastí, ve kterých se koncentruje, což v důsledku prodlužuje výrobní cyklus. Realizace testu by měla zahrnovat analýzu stávajícího stavu s návrhem na jeho optimalizaci s využitím chladícího potenciálu zkapalněného CO₂ a následným ověřením efektivity modifikované konstrukční varianty umožňující aplikaci tohoto nekonvenčního způsobu chlazení. Při úspěšném ověření bude tato technologie chlazení využívána společností KOH-I-NOOR PONAS s.r.o. u vhodných aplikací, kde bude mít své opodstatnění s ohledem na ekonomické a kvalitativní dopady.

3. Temperační procesy u technologie injekčního vstřikování

Technologie injekčního vstřikování je založena na principu současného působení tepla a tlaku. Polymerní materiál nejčastěji ve formě granulátu je v tavicí komoře vstřikovacího stroje převeden do stavu vysoce viskózní taveniny a dále je působením tlaku přesunut do tvarové dutiny výrobního nástroje, kde odvedením tepla z taveniny polymerní materiál ztuhne v požadovaném tvaru. Tepelný tok ve výrobním nástroji je řízen temperačním systémem, který by měl být konstruován tak, aby byl eliminován nerovnoměrný odvod tepla a to jak v ploše, tak především z celého objemu výrobku, což umožňuje předcházet nepříznivým změnám fyzikálně-mechanických vlastností vycházejících z morfologie výrobku. Pojem temperance nástrojů pro zpracování polymerních materiálů zahrnuje jak proces chlazení, tedy intenzivního odvodu tepla, tak ohřev nástroje a udržování jeho provozní teploty v požadované toleranci. V současné době jsou k tomuto účelu konvenčně využívané uzavřené cirkulační systémy, v nichž koluje teplotonosné médium, čímž je nejčastěji voda nebo olej. Rostoucí nároky na plastové výrobky a to jak z materiálového, tak z konstrukčního hlediska a rovněž tlak na samotný technologický proces zpracování, který by měl zajistit odpovídající kvalitu výrobků při co nejkratším výrobním taktu, vedou k neustálému vývoji nekonvenčních způsobů chlazení, které mohou působit souběžně s



konvenčními metodami a zvýšit tak jejich účinnost nebo mohou stávající temperační systémy zcela nahradit. Nekonenční způsoby chlazení mají především zajistit maximálně homogenní rozložení teplotních polí v celém objemu výrobku zvýšením intenzity odvodu tepla z oblastí, kde dochází k jeho akumulaci při současném zkrácení doby chlazení, která je velmi často nejdelší částí celého výrobního cyklu. Ve výrobku vzniká během chlazení cyklické třírozměrné teplotní pole v ideálním případě bez lokálních diferenciací, které je modifikovatelné volbou způsobu temperace, konstrukcí, rozmístěním a tedy celkovou účinností temperačního systému a dále pak i materiálem formy a zpracovávaným polymerem. Regulace tepelných procesů by měla zohledňovat jak ekonomický faktor výroby, tak technologický, který má přímý dopad na udržitelnost požadované kvality.

3.1 Konvenční temperační systémy

Celkový koncept uspořádání konvenčního temperačního systému vychází především z geometrie a materiálu výrobku, z konstrukčního řešení a materiálu formy a zahrnuje geometrii temperačních kanálů, návrh rozmístění, dimenzování apod. Zvážení všech těchto faktorů spolu s optimalizovaným nastavením temperačních parametrů by mělo zajistit rovnoměrné rozložení teplotních polí, které je predikovatelné s využitím řešení Fourierových diferenciálních rovnic. V důsledku rychlých časových změn teplot je však náročné se vyhnout tepelným diferenciacím v celém objemu výrobku.

3.2 Nekonenční temperační systémy

Nekonenční způsoby chlazení musí zajistit především kratší dobu výrobního cyklu a tím snížit jednicové náklady a zároveň minimalizovat riziko generování zmetků to vše s ohledem na maximální hospodárnost řízení transportu vyvinutého tepla. Pro dosažení těchto kritérií je nutné využít sofistikovaných metod temperování, které však často vyžadují větší vstupní investice. Přechodem mezi konvenčními a nekonenčními temperačními metodami jsou systémy založené na vysoké tepelné vodivosti materiálů a Contura, kdy spíše než o změnu principu metody temperace forem jde o materiálové či konstrukční úpravy formy. Samotný proces teplotní regulace výrobního nástroje vychází opět z konvenčního systému, jehož účinnost je těmito modifikacemi maximalizována.

3.2.1 Chlazení vstřikovacích forem pomocí oxidu uhličitého

Oxid uhličitý (CO_2) je obecně chápán jako škodlivá zplodina, jejíž produkci je nutno hlídat a pokud možno co nejvíce omezovat. Tento plyn má ale řadu praktických použití (zdravotnictví, potravinářství, technika atd.), které vycházejí z výhod pramenících především z jednoduchosti jeho přípravy, malé reaktivity s ostatními prvky a jeho fyzikálních vlastností. Je používán ve všech skupenstvích, ale za běžných podmínek se nachází v plynném stavu. CO_2 je bezbarvý plyn, bez zápachu s hustotou vyšší než vzduch. Pro člověka je největším nebezpečím jeho dlouhodobá inhalace při vysokých koncentracích. Přes 80% oxidu uhličitého získaného v Evropě vzniká z chemických procesů, kde je CO_2 odpadní látkou (např. při spalování). V laboratořích se potom nejčastěji připravuje reakcí uhličitánů a silných kyselin. Kromě toho je možné jej těžit z podzemních přírodních ložisek. Aby mohl být takto získaný plyn využit pro nějakou ze svých aplikací, tak prochází různými etapami úprav, a to především koncentrací a čištěním na požadovanou kvalitu. V posledním kroku dochází k jeho zkapalnění, protože pro jeho snadné uchování a manipulaci je uskládován převážně v tlakových lahvích v kapalném skupenství.

V technice se běžně používá především k chlazení (do teploty -78°C) a k čištění (tryskání suchým ledem). Přímé technické aplikace potom zahrnují např. CO_2 laser, kde oxid uhličitý tvoří tzv. aktivní prostředí v rezonátoru, nebo se využívá při obrábění těžkoobrobitelných materiálů, jako jsou legované litiny. Tyto materiály jsou obráběny polykrystalickým diamantem chlazeným pomocí oxidu uhličitého. V plastikářském průmyslu je oxid uhličitý využíván hlavně u technologie GIM (Gas injection moulding) a v posledních letech se na trhu stále více prosazuje chlazení převážně vstřikovacích forem pomocí CO_2 ,



ale může být také využit pro chlazení aplikované na technologii výroby dutých těles vyfukováním.

Systém chlazení vstřikovacích forem pomocí oxidu uhličitého vychází ze zvyšujících se požadavků na kvalitu vyráběných dílů a ze snahy zajistit jak maximální možnou intenzitu odvádění tepla z oblasti tvarové dutiny vstřikovací formy (tudíž i zkrácení výrobního cyklu), tak ze snahy dosáhnout homogenního teplotního pole uvnitř výrobku, což přináší jeho větší tvarovou a rozměrovou stabilitu. Tato technologie je aplikovatelná ve dvou variantách. U stávajících forem má pro svou jednoduchou aplikovatelnost velké uplatnění technologie bodového chlazení nazývaná „Spot cooling“ a při nutnosti chlazení rozsáhlejších oblastí a při konstrukci nových vstřikovacích forem lze využít variantu zvanou „®Tool-vac technology“. Primární výhodou obou těchto aplikací je možnost přímé regulace teploty v různých částech vstřikovací formy.

3.2.1.1 Spot cooling (bodové chlazení)

Předností této aplikace je především jednoduchá úprava formy bez nutnosti rozsáhlejších zásahů. Technologie Spot cooling je využívána hlavně jako doplňkové chlazení ke konvenčním metodám.

Podstatou účinného odvodu tepla z taveniny je splnění následujícího předpokladu. Čím větší je rozdíl teplot mezi roztaveným plastem a chladícím médiem a čím menší je vzdálenost mezi zdrojem tepla a oblastí, kde je naopak teplota nejnižší, tím více tepla je možno za jednotku času odvést. Tento přístup, který je postaven na základním termodynamickém principu (kdy teplo přechází směrem z oblastí s vyšší teplotou do oblastí s nižší), znevýhodňuje konvenční metody chlazení vstřikovacích forem, které využívají vrtaných nebo frézovaných chladících kanálů, v nichž proudí teplotnosné médium. U konvenčního způsobu chlazení jsou pro vedení chladících kanálů limitující rozměry jednotlivých částí formy. Vzhledem ke složitosti vstřikovacích forem a velkému množství pohyblivých částí, které obsahují, musí být chladicí kanály často redukovány a vedeny místy, ve kterých nedosahují optimální účinnosti. Z hlediska chlazení pak dochází k poddimenzování vstřikovacích forem. Úzké profily a vyhazovače už většinou nejsou chlazeny vůbec, což prodlužuje chladicí a následně i celý výrobní cyklus. Další poměrně výraznou nevýhodou konvenčního chlazení je postupné zanášení a zužování chladících kanálů, což rovněž vede ke snižování účinnosti chlazení.

Základním principem technologie chlazení pomocí CO₂ je regulace teploty formy (nebo jejích částí) prostřednictvím oxidu uhličitého, který je v kapalném stavu přiváděn do solenoidových ventilů na vstřikovací formě a dále je rozváděn kapilárami do expanzních komor poblíž tvarové dutiny formy. Zde po opuštění kapilár dochází ke změně jeho skupenství, přičemž je teplo intenzivně odváděno z oblastí bezprostředně přiléhajících k obvodovým stěnám expanzních komor. V plynném stavu potom CO₂ odchází z formy podél kapilár a netěsnostmi mezi jednotlivými částmi formy. Kapiláry jsou vedeny mezi deskami vstřikovací formy až ke tvárníku a tvárnici, do kterých jsou navrtány expanzní komory. Vnější průměr kapilár je 0,8 nebo 1,6 mm, vnitřní průměry kapilár je 0,5 mm. Prostřednictvím aplikace Spot cooling je proto možná přesná regulace tepelných procesů i u úzkých jader či vyhazovačů a u tenkých můstek a to v těsné blízkosti tvarové dutiny formy. Teplo je tak možno odvádět z oblastí, kde dochází k jeho uzavírání. Méně vhodná je potom tato aplikace pro chlazení větších ploch a rozsáhlejších útvarů a to především s ohledem na spotřebu CO₂.

3.2.1.2 ®Tool-vac technology

Tato technologie využívá předností mikroporézní ocele, ze které jsou přímo vyrobeny tvárník a tvárnice nebo pouze některé tvarové vložky. Vzhledem k masivnějšímu zásahu do vstřikovací formy je tato aplikace využita především při tvoření nových forem, ale lze ji rovněž uplatnit i u stávajících vstřikovacích forem.

Z fyzikálně-chemického hlediska se mikroporézní ocel vyznačuje homogenní strukturou bez koncentrace napětí. Pevnost tohoto materiálu je limitována pouze při



ohybovém namáhání, kdy výrazně klesá. ®Tool-vac technology ještě lépe vyhovuje předpokladu, který byl zmíněn u aplikace Spot cooling. Můžeme říci, že zde na sebe oblasti s nejvyšší a nejnižší teplotou přímo navazují. Základní princip chlazení je stejný jako u technologie Spot cooling. Kapiláry, kterými je přiváděn kapalný CO_2 , jsou zde vyvedeny přímo do mikroporézní oceli. Pomocí pórů se oxid uhličitý dostává až k tvarové dutině vstřikovací formy a tak do přímého kontaktu s taveninou plastu, čímž je zajištěn homogenní odvod tepla z povrchu celého výrobku. Takto je eliminována vzdálenost, kterou musí teplo překonat při chlazení pomocí konvenčních chladících metod a pokud je z mikroporézní oceli vytvořena celá tvarová dutina formy, tak tepelná výměna s maximální intenzitou probíhá na povrchu celého výrobku, zatímco u konvenčních metod chlazení dochází k tepelné výměně pouze na stěnách chladících kanálů a u aplikace Spot cooling na stěnách expanzních komor, které však mohou být vedeny až do bezprostřední blízkosti taveniny plastu.

K výhodám použití oceli ®Tool-vac také patří možnost odvádět skrze póry vzduch, který je uzavřený ve tvarové dutině formy a zabránit tak možným vzhledovým či tvarovým vadám, které se při špatném odvodu mohou vyskytnout. Další možnou výhodou použití mikroporézní oceli je využití tlaku expandujícího oxidu uhličitého pro odformování výrobku. Po dokončení chlazení může být výrobek oddělen od formy dávkou CO_2 , která bude do pórů přivedena po otevření vstřikovací formy. Tímto způsobem vyjímání výrobku se lze vyhnout stopám vyhazovacích kolíků na povrchu vstřikovaného dílu. Mikroporézní ocel tedy umožňuje využití chladícího potenciálu zkapalněného oxidu uhličitého v plošném měřítku. Při těchto aplikacích, kdy výrazně stoupá spotřeba chladícího média je však již nutné zvážit ekonomickou stránku. Mezi nevýhody patří extrémní cyklické tepelné namáhání exponovaných částí formy, ve kterých jsou lokalizovány expanzní prostory a kde dochází ke skokovým teplotním změnám a to až o velikosti $300\text{ }^\circ\text{C}$.

Vzhledem ke struktuře tvarové dutiny vstřikovací formy z mikroporézní oceli nedosahuje povrch vstřikovaného dílu dokonalého lesku a to ani tehdy, je-li ocel leštěná diamantovou pastou, čímž lze naopak negativně ovlivnit prodyšnost povrchu mikroporézní oceli a to až o 30 %. V případě, že vzhledové důvody nedovolují přímý styk výrobku s mikroporézní ocelí, jsou póry utěsněny mechanicky nebo pomocí plastu. S výhodou se chlazení pomocí zkapalněného oxidu uhličitého využívá především jako doplňkového temperačního systému ke konvenčnímu způsobu chlazení, přičemž je cíleno do oblastí, ve kterých dochází k uzavírání tepla a kde výrobek chladne nejpomaleji. Metoda je zejména vhodná pro temperování dlouhých jader a tvárníků nebo tenkých můstků. Hlavní předností tohoto systému je tedy zvýšení produktivity výroby, velmi flexibilní možnost umístění kapilár a potenciální zlepšení kvality produkce při relativně minimálních úpravách stávajících forem, což zajišťuje rychlou návratnost pořizovacích nákladů. Struktura mikroporézní oceli dále zlepšuje i odplynění dutiny formy, ale je obtížné dosáhnout vysoké jakosti povrchu výrobku, vysoké požadavky na zajištěnou čistotu při montáži nástroje, ošetřování nástroje konzervačními prostředky apod. Z konstrukčního hlediska je nezbytné vzít v úvahu snížené pevnosti mikroporézních sintrovaných dílů v ohybu.

4. Aplikace nekonvenčního způsobu chlazení

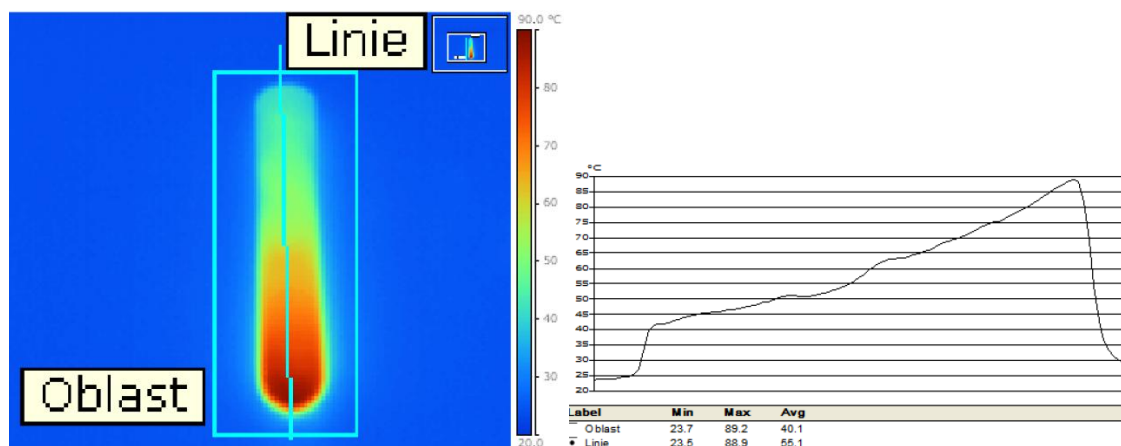
Pro ověření technologie byla realizována aplikace nekonvenčního způsobu chlazení s využitím kapalného CO_2 na vybrané vstřikovací formě z produkční řady společnosti KOH-I-NOOR PONAS s.r.o. Výběr nástroje proběhl na základě analýzy rozložení teplotních polí v infračerveném spektru na povrchu výrobků těsně po jejich odformování ze vstřikovací formy. Limitními faktory byly především rozsah oblastí, kde docházelo ke koncentraci tepla a násobnost formy, aby bylo možné dosáhnout účinného řízení teplot v celé inkriminované zóně omezeným počtem kapilár. Po identifikaci problematických míst vytipovaných forem a analýze možnosti regulace teplot cílených oblastí následoval konstrukční návrh úpravy formy, který vycházel z kombinace stávajícího řešení s možností využít bi-komponentní vložku upravenou pro chlazení pomocí kapalného CO_2 nebo využití pouze vrtaných expanzních komor. Po vlastní úpravě tvarových částí vstřikovací formy následovalo nasazení



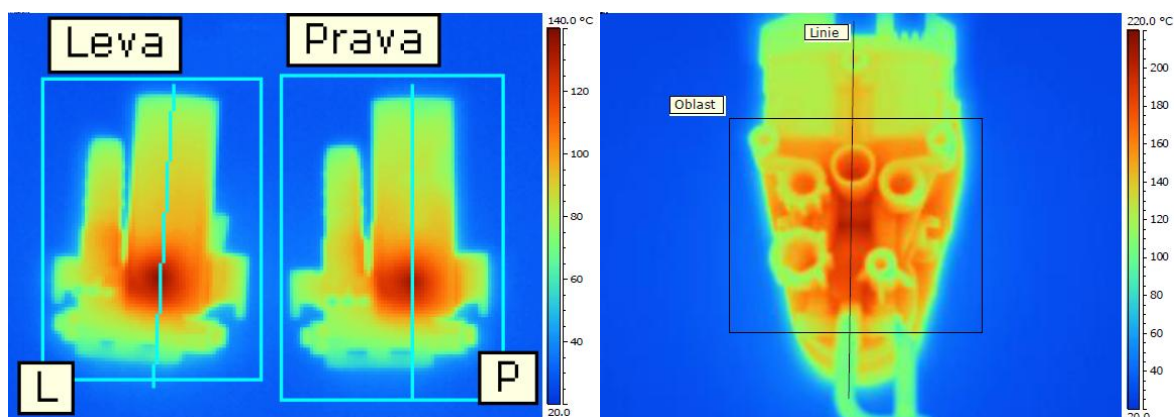
formy na vstřikolis a vlastní provedení technologických zkoušek s vazbou na teplotu odformovaného dílu a dobou chlazení respektive celého výrobního cyklu.

4.1. Analýza stávajícího stavu a volba aplikace

Pro potenciální možnost modifikace výrobního nástroje byly vytýčovány tři designy vyráběné na nástrojích, u kterých bylo již od počátku konstrukce velmi problematické rovnoměrné rozvržení konvenčního chlazení. V prvním případě se jednalo o výrobek s relativně jednoduchou geometrií (viz obr. 1), který byl však tvořen dlouhým tenkým jádrem, ve kterém vedl specifický vyhazovací systém. Dva další výrobky již měly poměrně komplexní geometrii, viz obr 2, a problematická místa byla tvořena tenkými průchozími nebo neprůchozími profily. Faktory, které byly při volbě vhodné aplikace brány v úvahu, byly především celkový rozsah chlazené oblasti a tím definované množství tepla, které je za jednotku času nutné odvést. Dalším faktorem je násobnost formy a počet kapilár, které je nutné do výrobního nástroje přivést. Vzhledem k limitaci řídicí jednotky, která může regulovat pouze omezený počet kapilár a k poměrně malé a velmi dobře ohraničené oblasti, ve které dochází ke koncentraci tepla, byla zvolena jednoduchá geometrie prvního analyzovaného výrobku.



Obrázek 1: Termogram výrobku vybraného pro modifikaci sériové formy na chlazení pouze kapalným CO₂

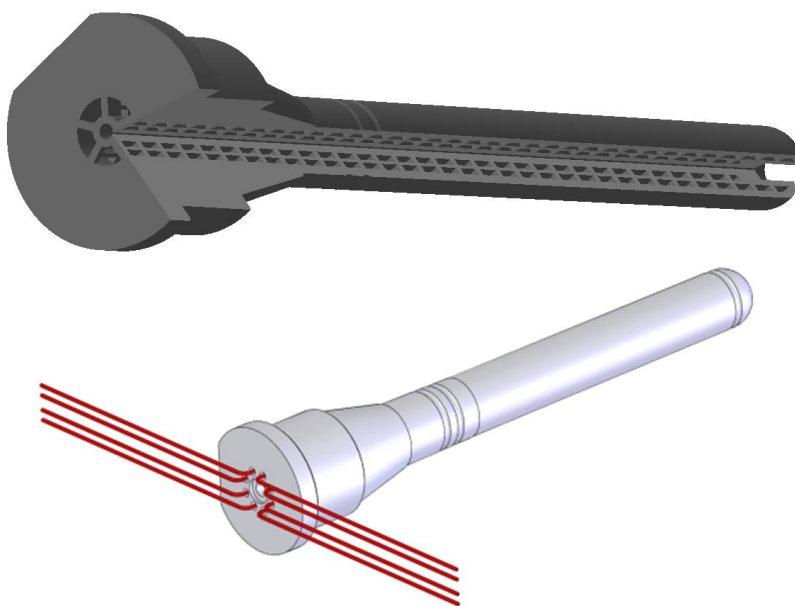


Obrázek 2: Termogramy alternativních výrobků pro modifikaci sériové formy na chlazení pouze kapalným CO₂

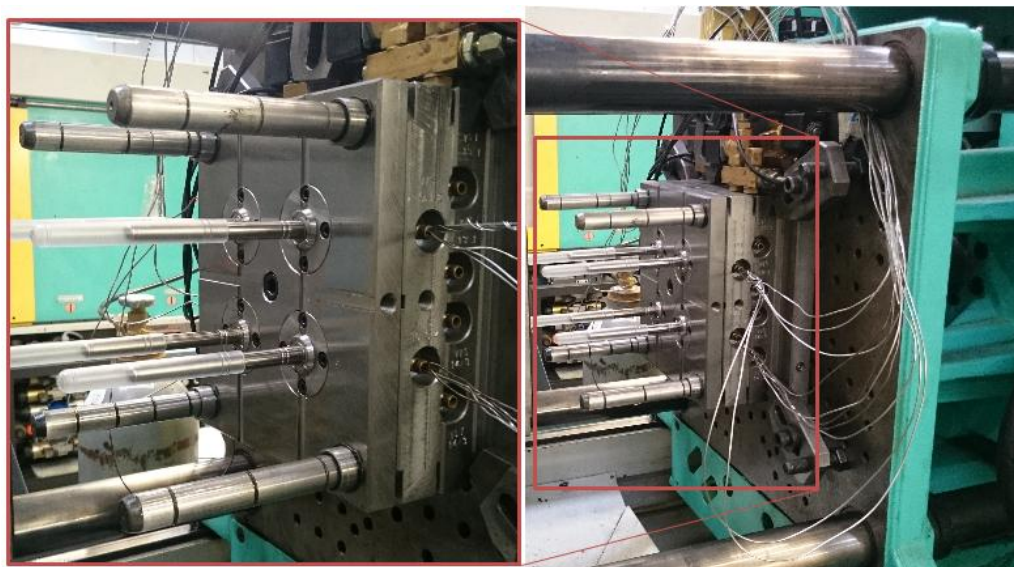
4.2. Navržené konstrukční řešení

Po definování kritické oblasti na tvárníku vstřikovací formy bylo přistoupeno k návrhu modifikace tvarových částí forem pro účel implementace kapilár přivádějících kapalně CO_2 . Pro dosažení maximálně rovnoměrného chlazení celého tvárníku byla použita bi-komponentní struktura jádro / plášť, kde jádro bylo tvořeno porézní strukturou tvořenou fraktálními elementy o velikosti 2,5 mm a plášť byl tvořen kompaktním materiálem o tloušťce 1 až 1,4 mm v závislosti na konstrukci jednotlivých oblastí a zcela obklopoval jádrovou strukturu tvárníku, viz obr. 3. Takto modifikovány byly všechny tvárníky čtyřnásobné sériové vstřikovací formy, viz obr. 4. Tvárníky byly vyrobeny s využitím prototypové technologie DLMS a materiálem byla nástrojová ocel (1.2709). Požadovaná kvalita povrchu tvárníku byla dosažena následným leštěním.

Rozmístění ústí kapilár vycházela ze snahy primárně chladit problematická místa výrobku a to z hlediska jeho odformování. Dvě ústí byla umístěna v oblasti vetknutí tvarového jádra do pohyblivé části vstřikovací formy. Zbýlá tři ústí kapilár byla rozmístěna rovnoměrně po celé délce chlazeného tvárníku.



Obrázek 3: Řez modelem tvarového jádra, ze kterého vycházela následná sintrace (nahore) a ukázka možného rozvržení implementace kapilár (dole)



Obrázek 4: Kompletovaný tvárník sériové formy se zavedenými kapilárami

4.3. Vstřikovací stroj

Pro účely experimentu byl použit sériový vstřikovací stroj Arburg 420C-1000-290, který je součástí strojního parku výrobního závodu společnosti KOH-I-NOOR PONAS s.r.o. v Poličce. Základní technické parametry vstřikovacího stroje jsou uvedeny v tabulce 1. Pro temperaci pevné části vstřikovací formy byl stroj vybaven standardní víceokruhovou temperační jednotkou.

Tab. 1.: Technické parametry vstřikovacího stroje Arburg 420C-1000-290

Vstřikovací jednotka

Průměr šneku	mm	35
Systém řízení		SELOGICA

Uzavírací jednotka

Uzavírací síla	kN	1000
Max. otevření upínacích desek	mm	750
Vestavěná výška formy min	mm	250
Vzdálenost mezi sloupky horizontální × vertikální	mm	420 x 420
Objem zdvihu	cm ³	144
Maximální vstřikovací tlak	bar	2000
Počet tahačů jader	ks	1

4.4. Nastavení chladicího cyklu

Jako nejvhodnější způsob chlazení pomocí kapalného CO₂ byl identifikován pulzní způsob dávkování a to při nastavení 0,4 vteřin otevření solenoidového ventilu a 0,1 vteřiny uzavření solenoidového ventilu. Doba chlazení byla stanovena na 5,5 vteřin (11 chladicích cyklů) a doba celého výrobního cyklu byla 12,5 vteřiny. Samotná injekce kapalného CO₂ byla provedena až po ukončení fáze vstřikování a dotlaku.

4.5. Vyhodnocení účinnosti aplikace nekonvenčního chlazení s podporou kapalného CO₂

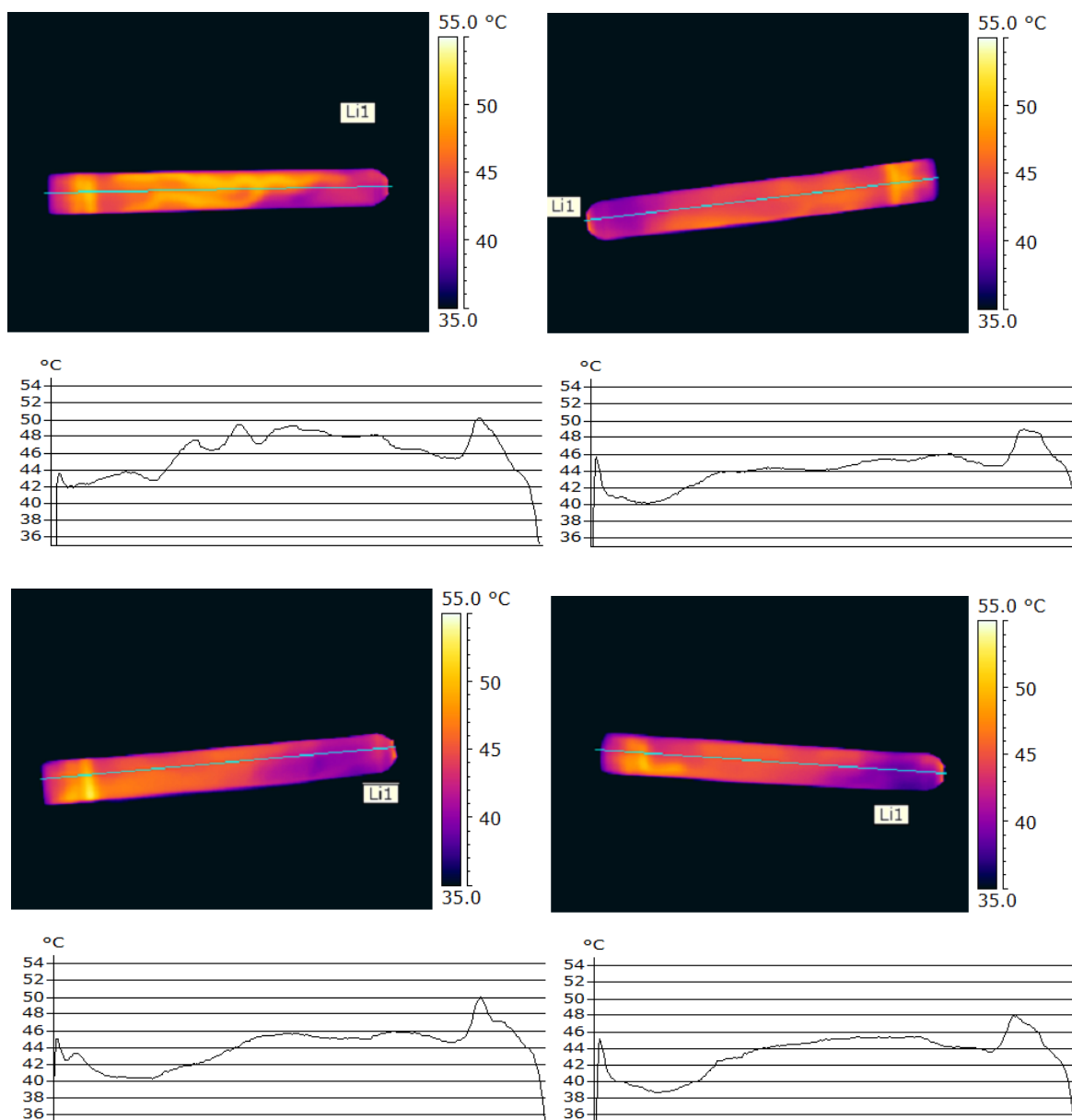
Jak vyplývá z termogramů na obr. 5, tak zvolená lokalizace chladicích bodů se ukázala být jako nejvhodnější a rovněž i doba chlazení byla zvolena optimálně, tak, aby teplota na povrchu dílu těsně před jeho odformováním z výrobního nástroje byla těsně pod hranicí 50 °C. Z rozboru teplotních polí vyplývá, že teploty v celé ploše dílu se pohybovaly v rozmezí 10-ti °C a to konkrétně od 40-ti Do 50-ti °C. Následně proběhla kontrola úplnosti dílů vyrobených na jednotlivých tvárnících a celková úspěšnost provedeného ověření byla potvrzena dosaženou úrovní kvality vyrobených dílů.

5. Závěr

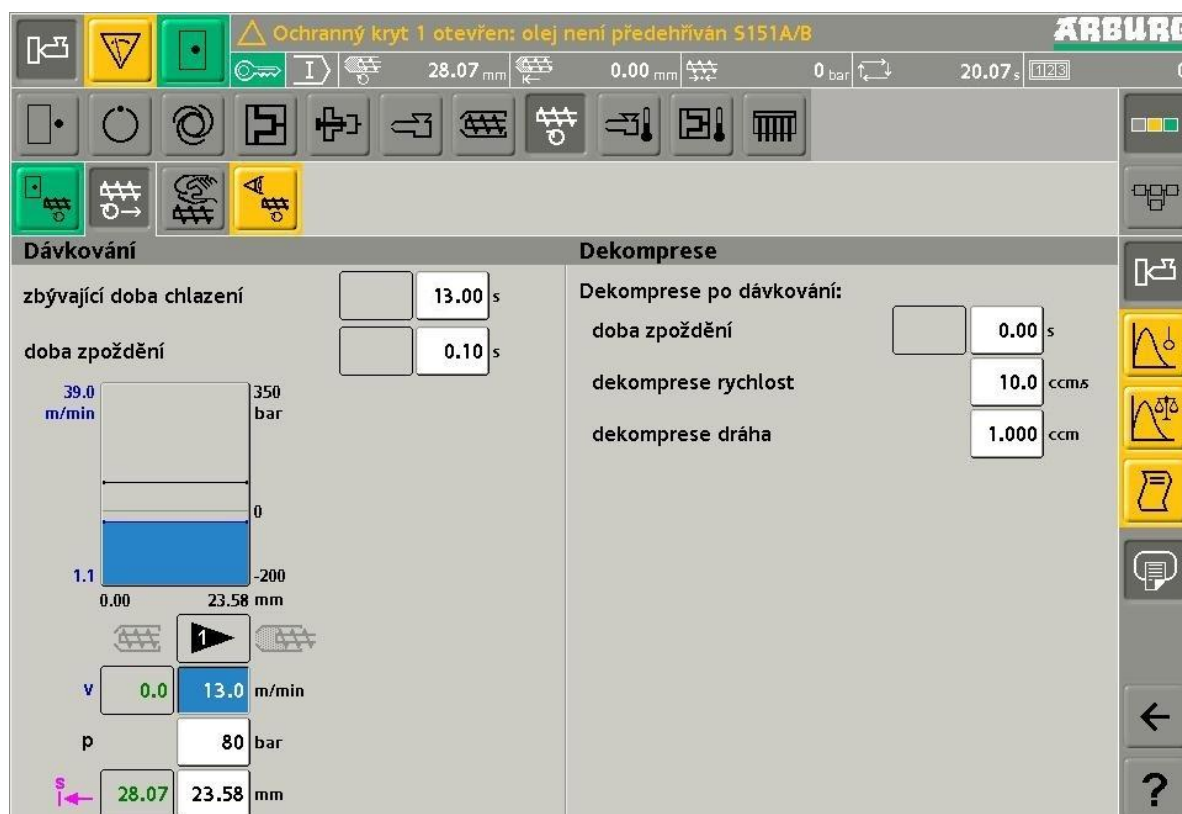
Cílem experimentu bylo ověření aplikovatelnosti nekonvenčního způsobu chlazení u vstřikovacích forem. Pro zvolený design výrobku, viz obr. 1, byla navržena úprava tvarového jádra pro možnost implementace kapilár vedoucích kapalně médium do výrobního nástroje. Modifikace napomohla zkrátit výrobní čas z původních 20-ti vteřin na 12,5 vteřiny, viz obrázky 6 a 7. Nekonenční způsob chlazení zajistil nejen velmi intenzivní odvod tepla z tvárník formy, ale přispěl i k celkovému vyrovnání teplot v jednotlivých částech výrobku, což eliminuje vnitřní pnutí ve výrobku a celkově přispívá ke zlepšení kvality vyráběné produkce.



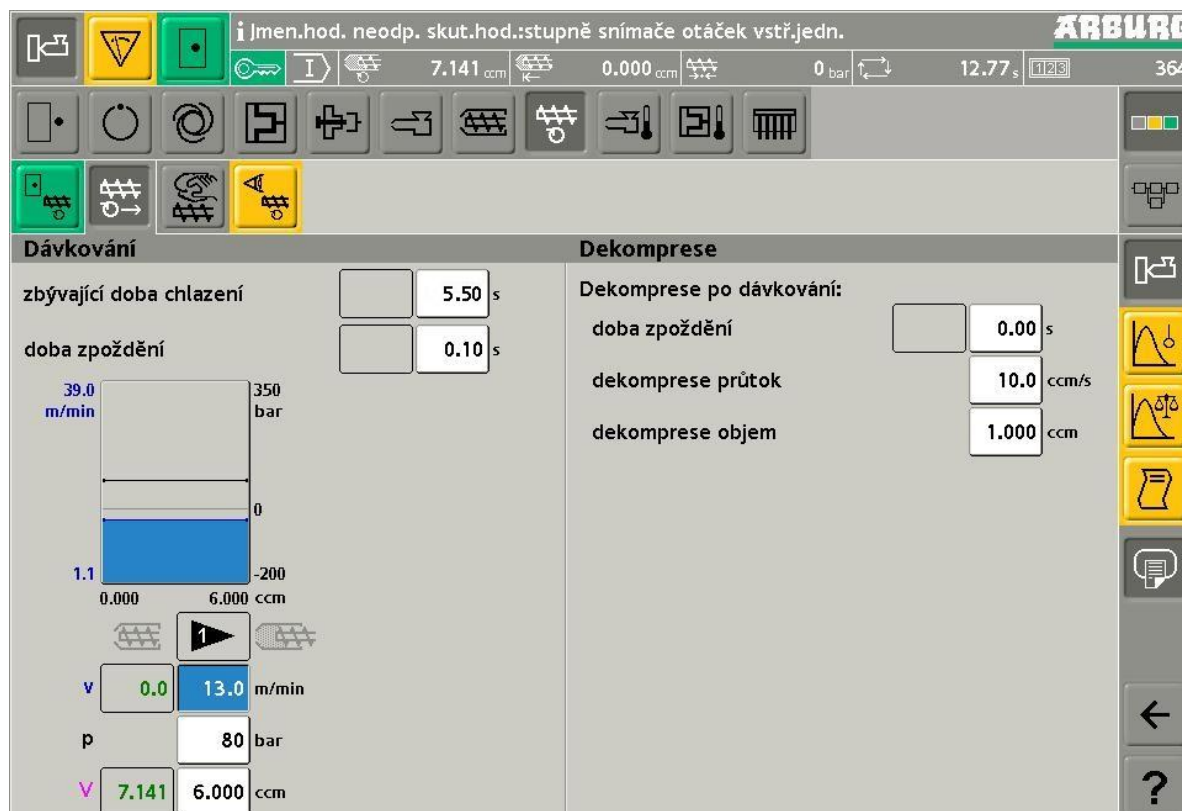
Před implementací progresivního způsobu chlazení byla na povrchu výrobku zjištěna teplota od 40-ti do 90-ti °C. Vhodným rozmístěním ústí kapilár přivádějících kapalný oxid uhličitý bylo dosaženo zkrácení doby chlazení o více jak 50% při současném snížení teplot pozorovaných na povrchu dílu po jeho odformování a to v rozsahu od 40-ti do 50-ti °C. Přestože průběh chlazení vychází z proudění média v dané lokalitě a průběh celého procesu je proto velmi individuální pro každou oblast, pozorované teplotní průběhy na površích odformovaných výrobků byly velmi podobné pro všechny čtyři tvárníky. Vyrobena série byla zkontrolována z hlediska kvality a byla vyhodnocena jako vyhovující. Ověření technologie nekonvenčního chlazení proběhlo úspěšně s uspokojivými výsledky a je tak možné ji zahrnout do výrobního portfolia společností KOH-I-NOOR PONAS s.r.o.



Obrázek 5: Termogramy výrobků ze všech tvárníků sériové vstřikovací formy



Obrázek 6: Scan monitoru vstřikolisu s nastavením procesu pro konvenční způsob chlazení



Obrázek 7: Scan monitoru vstřikolisu s nastavením procesu pro chlazení pomocí CO₂