

TA03010492

APLIKOVANÝ MULTIOBOROVÝ VÝZKUM A VÝVOJ
PROGRESIVNÍCH ZPŮSOBŮ CHLAZENÍ U
TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ

VÝROBNÍ PROCES
V POLOPROVOZNÍM REŽIMU

**INTERNÍ CHLAZENÍ EXTRUZNĚ
VYFUKOVACÍHO PROCESU INJEKTÁŽÍ
CO₂**

OBSAH:

1. ÚVOD	3
2. NOVÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	3
3. VÝROBA VYFUKOVANÝCH PRODUKTŮ TECHNOLOGIÍ INTERNÍHO CHLAZENÍ.....	8
4. TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY POUŽITÉ V POLOPROVOZNÍM ŘEZIMU	10
4.1. Proces extruzního vyfukování.....	11
4.2. Technologické parametry interního chlazení - vyfukovacím stroji.....	13
4.3. Technologické parametry interního chlazení - temperační jednotka	14
5. EFEKTIVITA TECHNOLOGIE A FINANČNÍ HLEDISKO	16
6. ZÁVĚR.....	16

1. ÚVOD

Tato zpráva se zabývá ověřením a popisem poloprovozního režimu extruzně vyfukovacího stroje, který umožňuje aplikaci interního chlazení zkapalněným oxidem uhličitým, což v přímém důsledku zajišťuje navýšení efektivity chlazení vyfukovacího procesu, umožňuje navýšení produktivity výroby, a také zrovnoměrnění teplotního odvodu obou temperančních systému (externího a interního), které má značný vliv na kvalitu vyfukovaných produktů. Nastavení a kontrola procesu interního chlazení jsou provedeny pomocí integrovaného řídicího systému v rozhraní vyfukovacího stroje (prototyp KSP-2013-G/P-02) a posléze také pomocí externího temperančního systému (prototyp KSP-2013-G/P-01).

Poloprovozní ověření proběhlo dne 27. 5. 2015 ve výrobní organizaci PLASTIA s.r.o. zaměřené na zpracování plastů, zejména vstřikováním a vyfukováním. Vlastní provozní testy proběhly na extruzně-vyfukovacím stroji typu GM v provozovně na adrese Žďárská 313, 592 14 Nové Veselí. Následné provozní zkoušky a ověření proběhlo také v provozovně spolupříjemce projektu – firmy GDK se sídlem na adrese Kolová 181, 362 14 Kolová dne 29. 5. 2015.

2. NOVÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

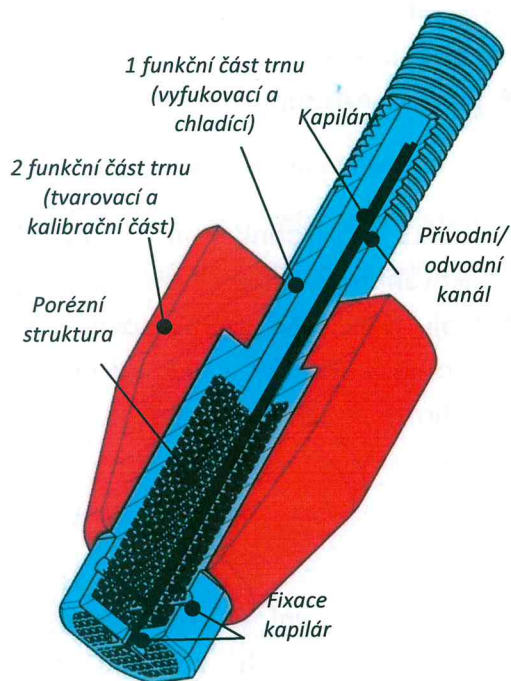
Z prezentovaných výsledků výzkumného záměru první a druhé etapy projektu „Aplikovaný multioborový výzkum a vývoj progresivních způsobů chlazení u technologických procesu“ je zřejmé, že ve vyfukovacím procesu existují procesní i konstrukční omezení, která zamezují dosažení více produkčně i ekonomicky zajímavých výsledků. Z tohoto důvodu bylo realizováno nové konstrukční řešení způsobu interního chlazení ve vyfukovacím procesu, které se skládalo z:

- externě připojitelné temperanční jednotky,
- integrace temperanční jednotky do extruzně vyfukovacího stroje,
- kalibračního trnu speciálně uzpůsobeného internímu chlazení pomocí zkapalněného CO₂.

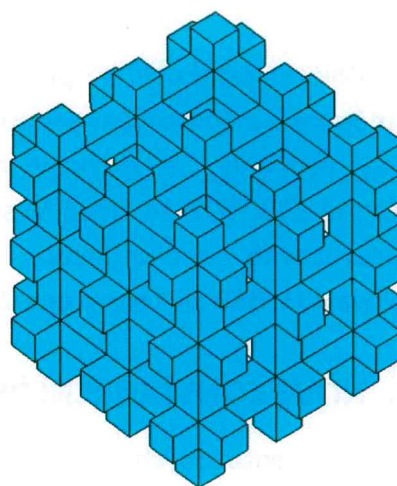
2.1 Integrace temperační jednotky do extruzně vyfukovacího stroje

Jedním z pozorovaných omezujících výrobních faktorů byla nehomogenita teplotní distribuce produktů, výskyt teplotních extrémů, které prodlužují nezbytný čas chlazení. Navržený způsob optimalizace této problematiky je představen v kapitole 5 závěrečné zprávy druhé etapy projektu. Jedná se o nové konstrukční řešení vyfukovacího trnu (obr. 1), jež díky variovatelnému umístění kapilár umožňuje aplikaci interního chladicího média do všech teplotně problematických oblastí produktu. Představené konstrukční řešení dále pomocí fixace kapilár zabraňuje jejich vychýlení

(nerovnoměrnému chlazení) a díky porézní struktuře (obr. 2), která při odvodu expandujícího CO₂ zachycuje atomizované krystalky, ještě více navyšuje efektivitu interního chlazení v oblasti hrdla produktu. Kalibrační trn je složen ze dvou vzájemně demontovatelných funkčních částí. Funkční část, která zajišťuje přívod a odvod vyfukovacího i chladicího média a druhé funkční části trnu, která slouží k vytvarování a kalibraci hrdla produktu. Demontovatelnost obou částí trnů umožňuje využití první funkční části trnu (jádra trnu) pro více typů produktů.



Obr. 1 Inovované konstrukční řešení



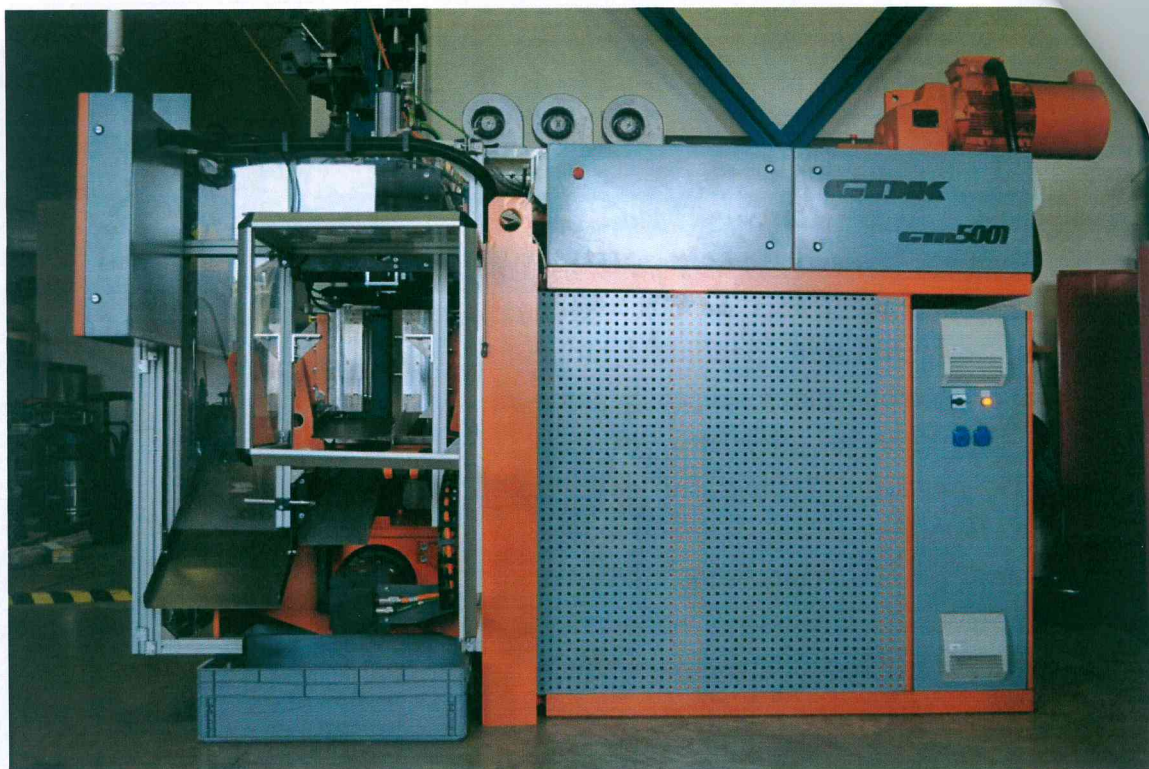
Obr. 2 Porézní struktura interní části kalibračního trnu

Další omezení spočívá v nastavení a kontrole chladicího procesu. Současné temperační systémy umožňují pouze nastavení procesu chlazení z hlediska časového, tj. start cyklu a velikost dávky. Zařízení tedy slouží čistě k iniciaci a dopravě média do chlazeného nástroje, což uživateli nepřináší žádné informace o probíhajících dějích tepelné výměny a tedy o efektivitě chlazení aktuálního nastavení. Temperační jednotky navíc slouží pouze k přívodu jednoho média. Nově realizovaná temperační jednotka (obr. 3) odstraňuje uvedené nedostatky. Pomocí progresivního řízení, které umožňuje vzájemnou kombinaci více chladicích médií a monitorizaci procesních parametrů chlazení, jež přináší uživateli okamžitý přehled o probíhajících teplotně tlakových dějích, je pak možné dosáhnout zvýšení efektivity chlazení a tím zvýšení výrobního taktu při současném snížení provozních nákladů.

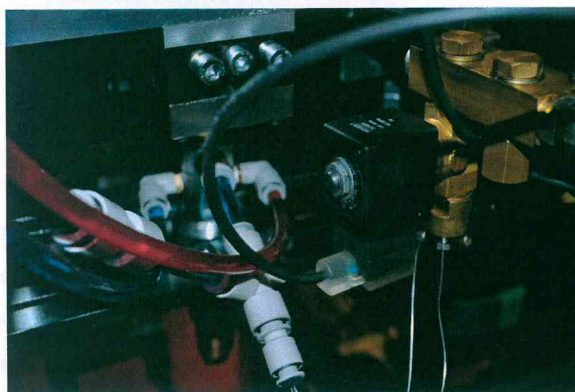


Obr. 3 Temperační jednotka umožňující injektáž zkapalněných plynů a monitorizaci zpětné vazby od teplotně - tlakových senzorů

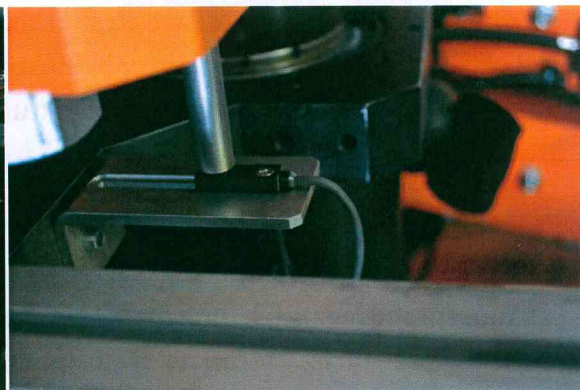
V současnosti nejsou k dispozici temperační jednotky zajišťující interní chlazení injektáží zkapalněných plynů (CO_2 , N_2), které je možno snadno integrovat do vyfukovacích strojů zpracovávajících polymerní materiály. Existují pouze externí samostatně řízená zařízení při jejichž využití je třeba počítat s nutností dodatečné instalace komponent, tvorby komunikačního rozhraní, komunikace a řízení technologie externího a interního chlazení pomocí dvou nezávislých ovládacích systémů, a také se zvýšenými nároky na prostorové uspořádání. Proto byla výše představená inovovaná temperační jednotka integrována do běžného extruzně vyfukovacího stroje, viz obr. 4 až obr. 7. Výsledkem integrace je vznik komplexního zařízení umožňujícího navýšení účinnosti interního chladicího okruhu vyfukovacího procesu pomocí kombinace běžně používaného chladicího média (vzduchu) s progresivnějšími chladicími médii. Samozřejmostí je monitorizace probíhajících tepelně tlakových dějů. Pro pozorování zpětné vazby od probíhajících dějů tepelné výměny byly do interního rozhraní aplikovaného inovativního řešení kalibračního trnu (obr. 8) implementovány teplotní a tlakové senzory, viz obr. 9. Pro detekci teploty odváděného (odvětrávaného média) chladicího média byl dále na konec pneumatické větve systému umístěn další teplotní senzor.



Obr. 4 Extruzně vyfukovací stroj GM s integrovaným CO₂ temperačním systémem



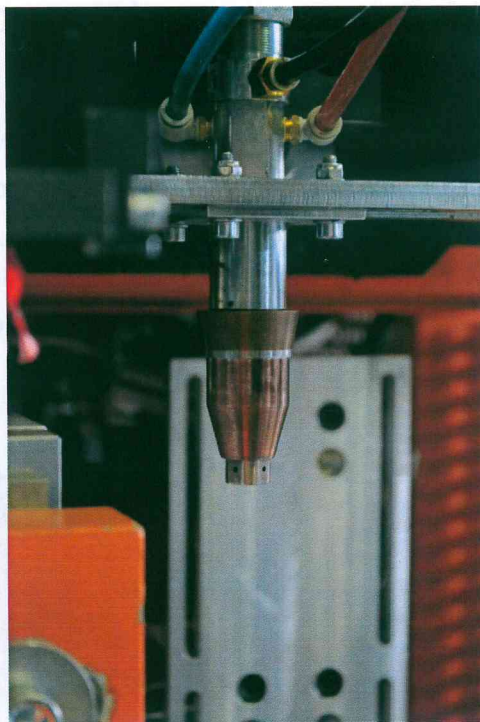
Obr. 5 Integrace periférií (solenoidový ventil, kapiláry) do pneumatického systému extruzně vyfukovacího stroje



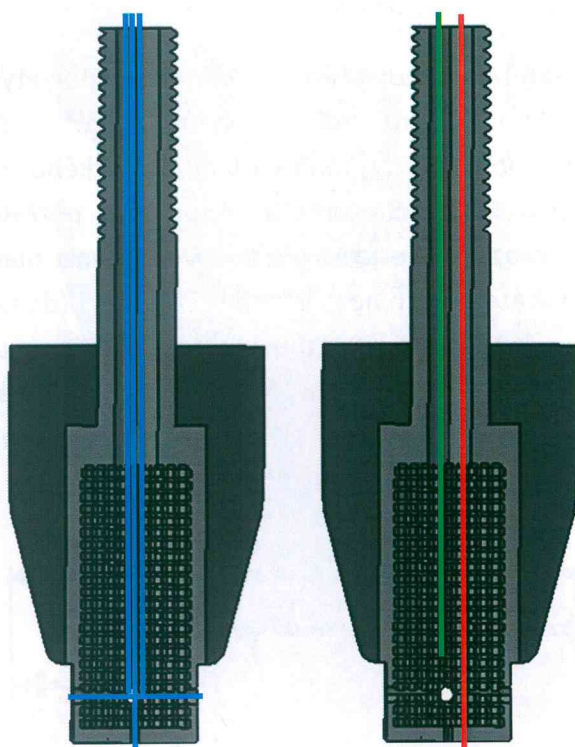
Obr. 6 Vytvoření komunikačního rozhraní - koncový senzor



Obr. 7 Integrace periférií (tlaková nádoba, tlakové hadice) do extruzně vyfukovacího stroje

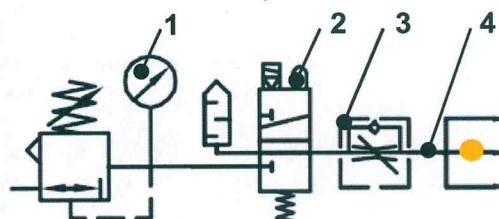


Obr. 8 Aplikace optimalizovaného kalibračního trnu



- Kapiláry 1,2,3
- Teplotní senzor 1
- Tlakový senzor 1
- Teplotní senzor 2

- 1 Redukční ventil
- 2 Elektromagnetický ventil
- 3 Škrťací ventil
- 4 Umístění teplotních a tlakových senzorů



Obr. 9 Implementace kapilár a teplotně tlakových senzorů

3. VÝROBA VYFUKOVANÝCH PRODUKTŮ TECHNOLOGIÍ INTERNÍHO CHLAZENÍ

Poloprovozní režim výroby dutých produktů při aplikaci interního chlazení injektáží zkapalněného CO₂ byl ověřován na produkci 0,5 litrové lahvičky nekruhové průřezu o hmotnosti 50 gramů a tloušťce stěny 1,5 mm, viz obrázek 10. Jedná se o produkt, u kterého by mohlo být dosaženo, vzhledem k detekovanému chladicímu potenciálu zkapalněného oxidu uhličitého (-78°C), ekonomicky výhodného navýšení výroby.

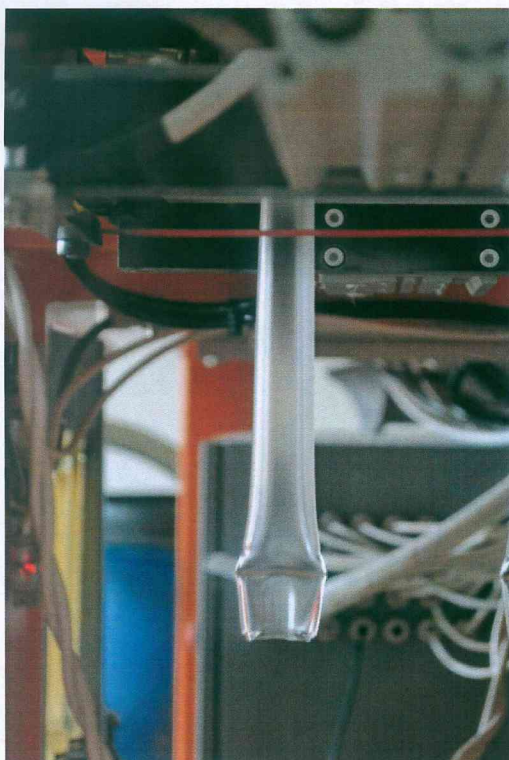


Obr. 10 Vyráběný produkt – 0,5 litrová lahev

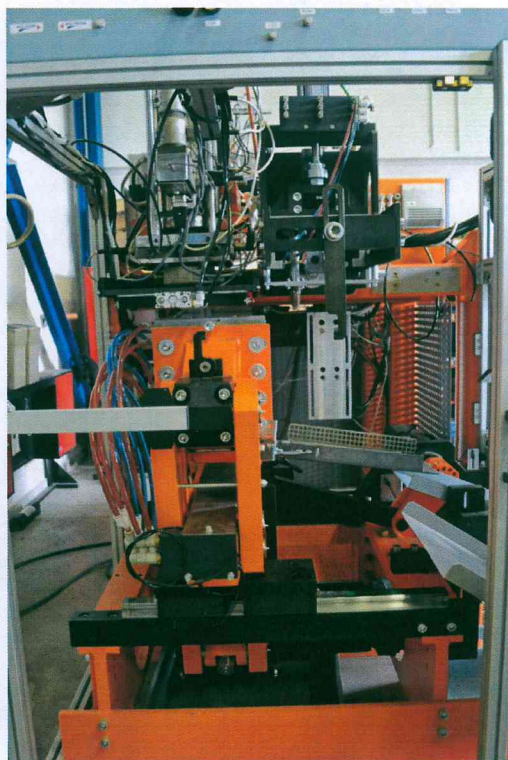
Produkce byla uskutečněna z běžně dostupného materiálu polyethylenu Liten BB29 (Unipetrol RPA) na extruzním vyfukovacím stroji GM 5000. Proces výroby spočíval v přivedení polymerního materiálu do plastického stavu, kdy hmota vykazuje dostatečnou tvarovatelnost, ale přitom si udržuje potřebnou soudržnost; extruzi polotovaru (parizonu) protlačení přes příčnou vytlačovací hlavu a tvarování tlakovým vzduchem. Následovala fáze externího a interního chlazení (dosažení tvarové stability – odebrání dodané tepelné energie). K tomuto účelu bylo využito externího a interního temperančního systému. V poslední části procesu docházelo k odvětrání tlakového vzduchu, vyjmutí výrobku a následně se celý proces kontinuálně opakuje, viz obr. 11. Vybrané procesní operace jsou znázorněny na obrázcích 12 až 16.



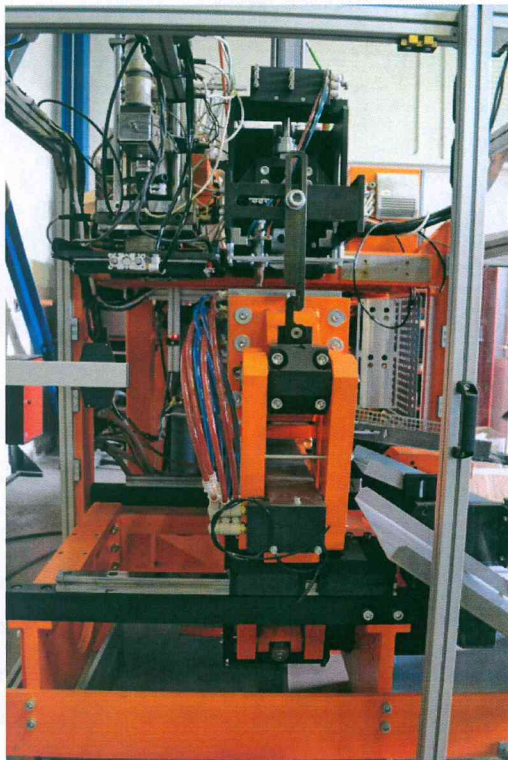
Obr. 11 Schéma sledu pracovních operací vytlačovacího vyfukování při aplikaci CO₂ interního chlazení



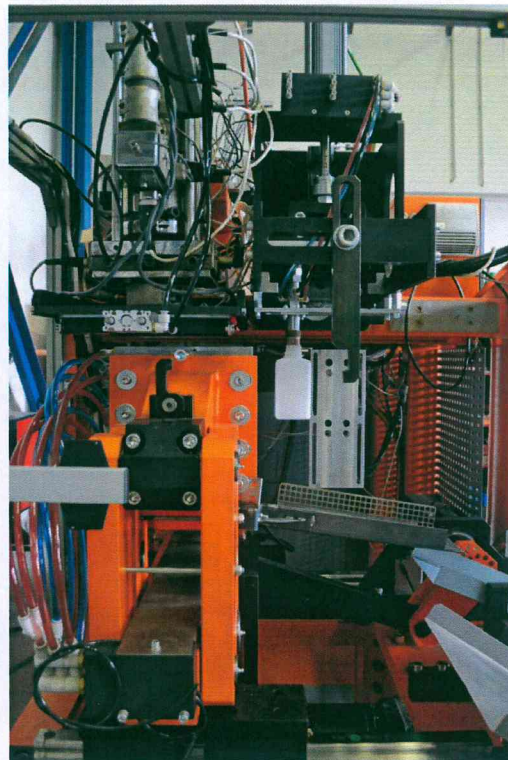
Obr. 12 Proces extruzního vyfukování –
extruze parizonu



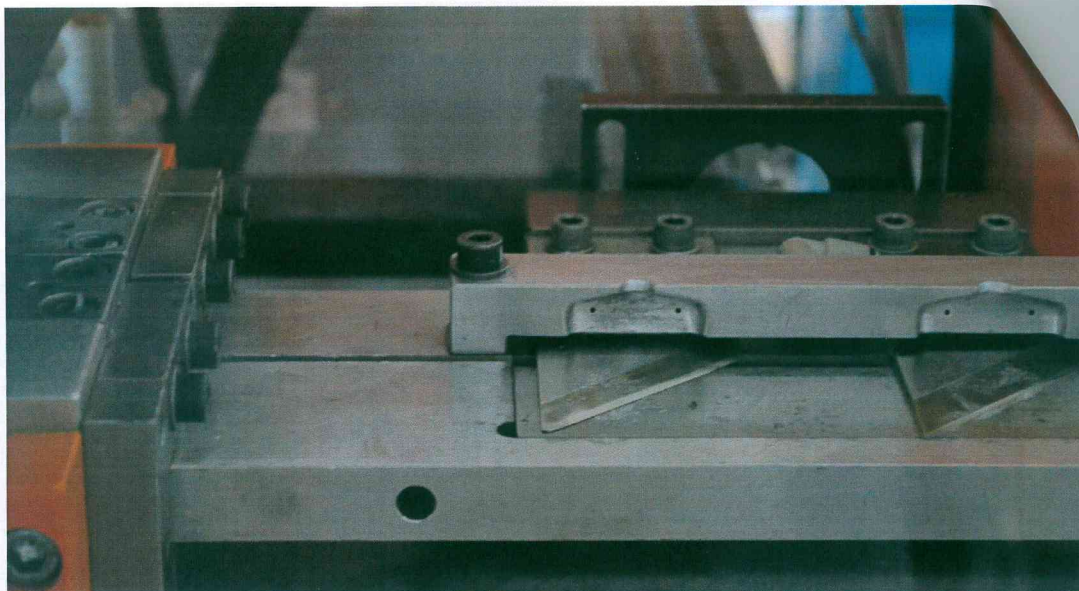
Obr. 13 Proces extruzního vyfukování –
ustavení parizonu ve formě



Obr. 14 Proces extruzního vyfukování –
tvarování produktu



Obr. 15 Proces extruzního vyfukování –
odformování



Obr. 16 Proces extruzního vyfukování – oddělené přetoků

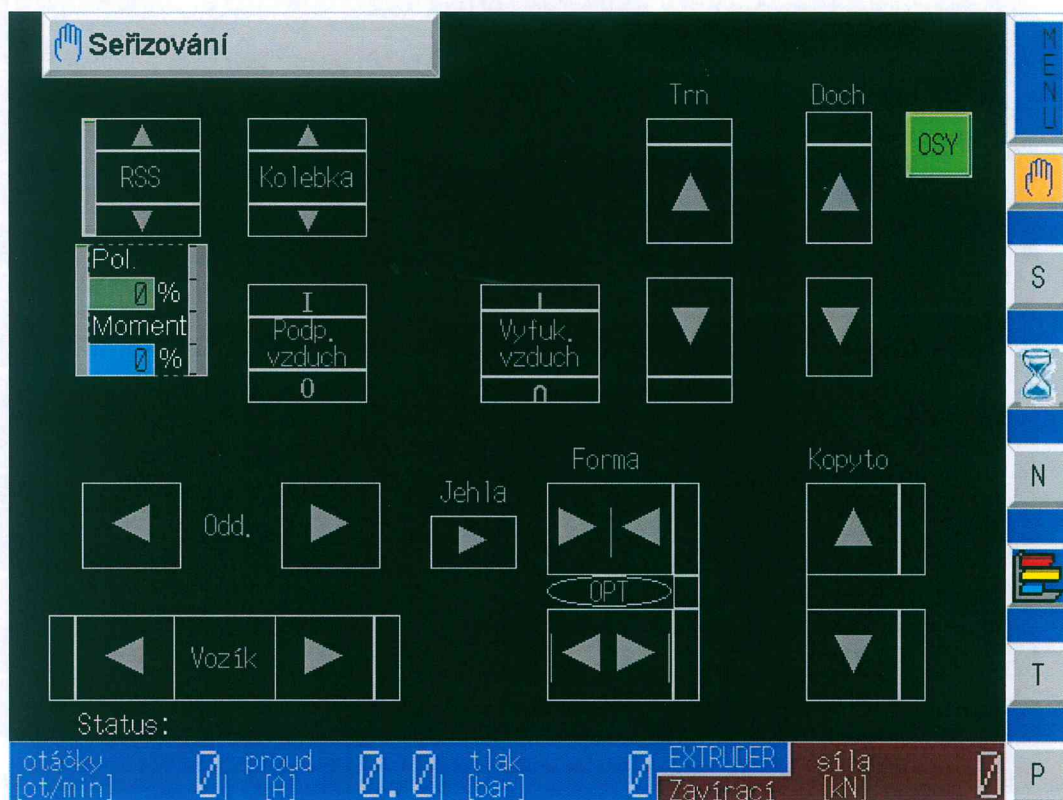


Obr. 17 Použitá vyfukovací forma

4. TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY POUŽITÉ V POLOPROVOZNÍM ŘEZIMU

Níže jsou uvedeny technologické parametry použité pro poloprovozní režim výroby vyfukovaných polymerních produktů při aplikaci interního CO₂ chlazení. Jedná se o parametry procesu extruzního vyfukování, interního a externího chlazení. Pro ovládání interního chlazení bylo nejprve využito řídicí rozhraní extruzně vyfukovacího stroje (prototyp KSP-2013-G/P-02) a následně také externí temperační jednotky (prototyp KSP-2013-G/P-01). Obě zařízení umožňují kromě nastavení procesu injektáže také zobrazení pozorovaných teplotně tlakových závislostí procesu interního chlazení.

4.1. Proces extruzního vyfukování



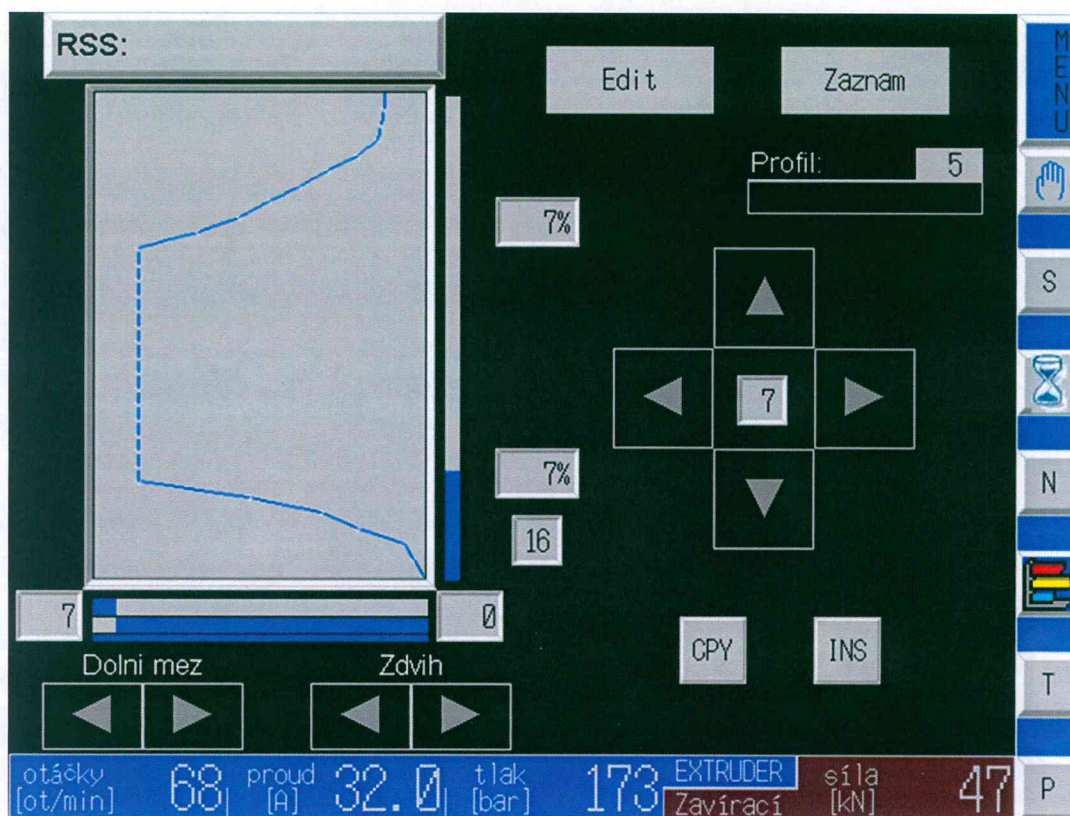
Obr. 18 Nastavení tech. parametrů na vyfukovacím stroji – seřízení pohyblivých členů



Obr. 19 Nastavení technologických parametrů na vyfukovacím stroji – strojní časy

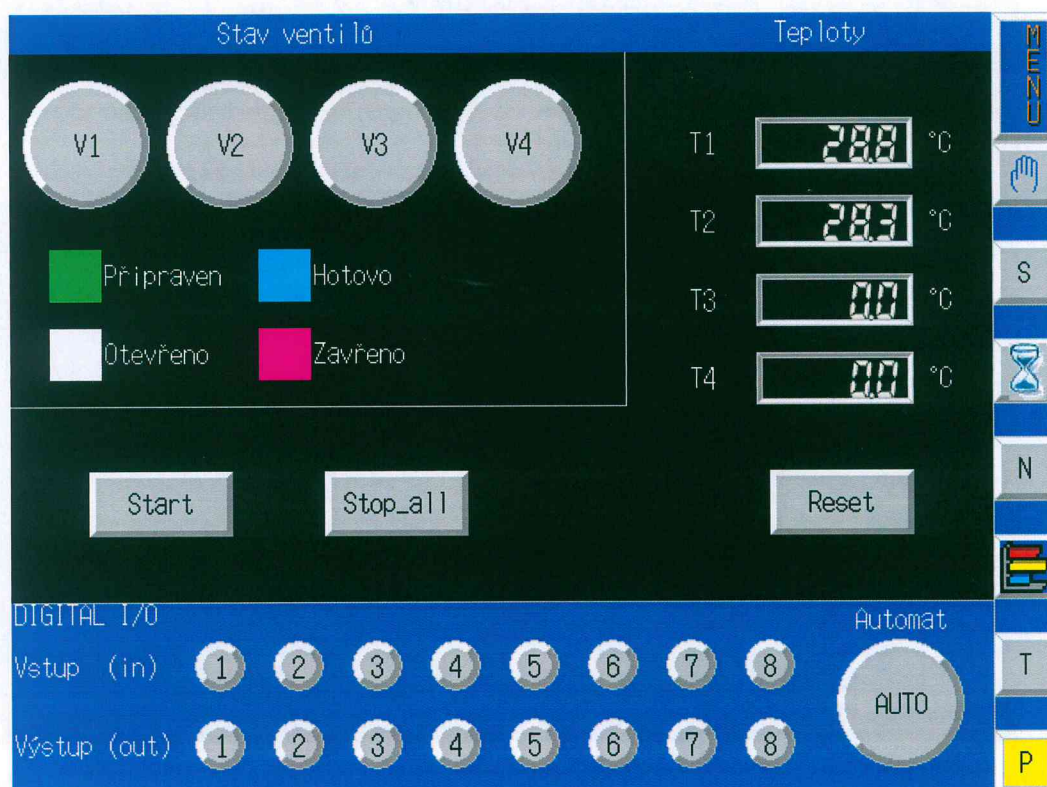


Obr. 20 Nastavení technologických parametrů na vyfukovacím stroji – teploty extruze

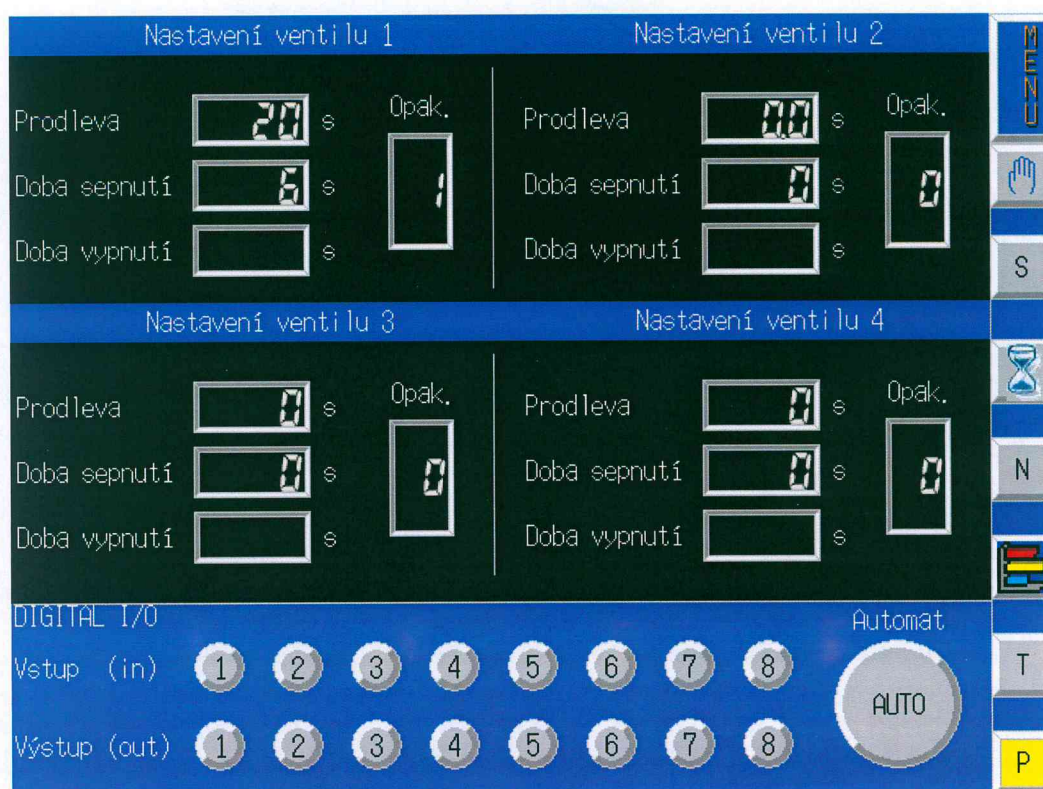


Obr. 21 Nastavení technologických parametrů na vyfukovacím stroji – profil vytlačování

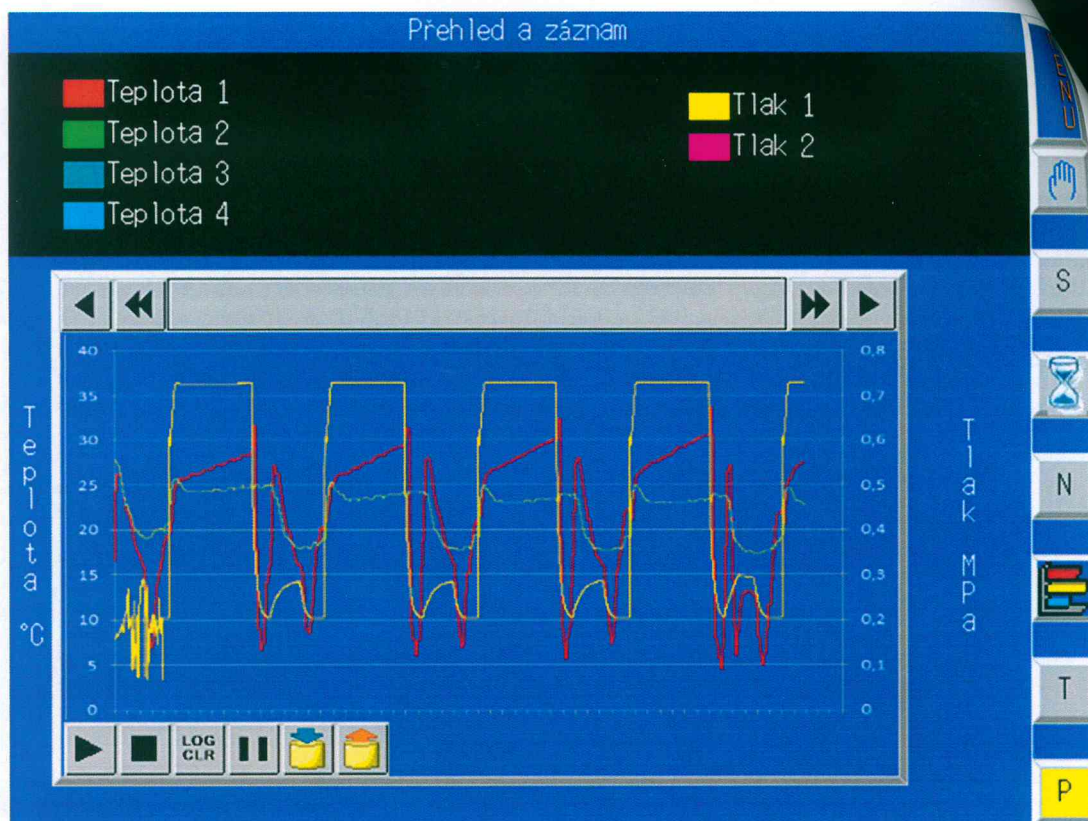
4.2. Technologické parametry interního chlazení - vyfukovacím stroji



Obr. 22 Interní rozhraní vyfukovacího stroje - vizualizace procesu chlazení společně se základními ovládacími prvky procesu

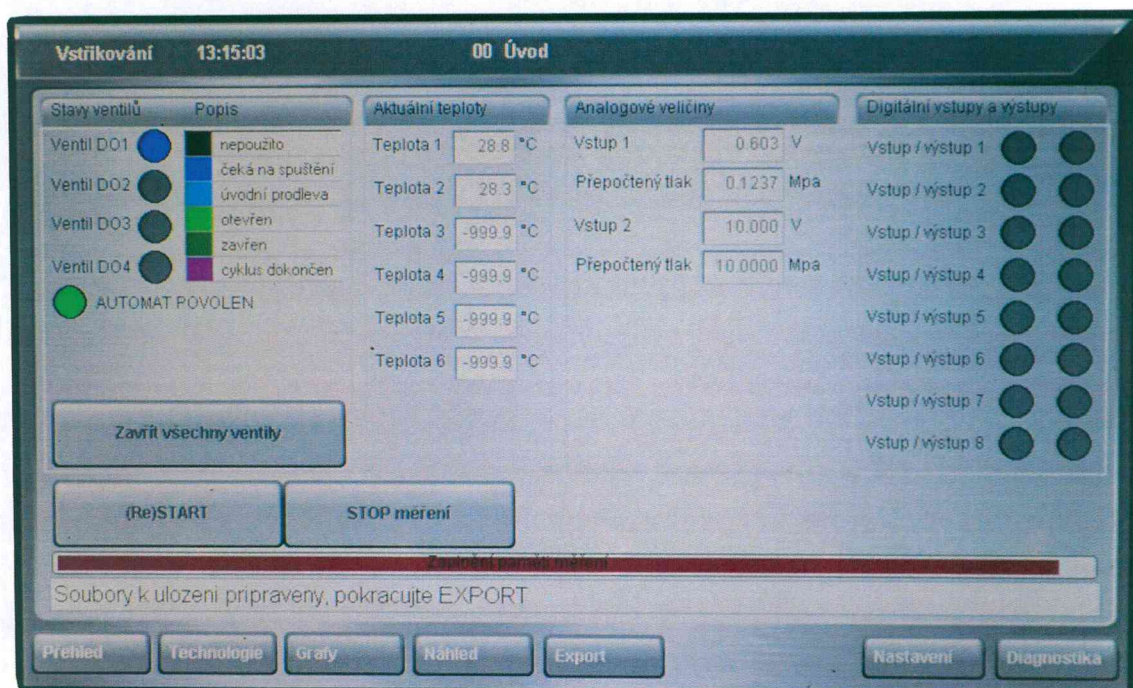


Obr. 23 Nastavení technologických parametrů interního chlazení na vyfukovacím stroji – časování injektáže CO_2

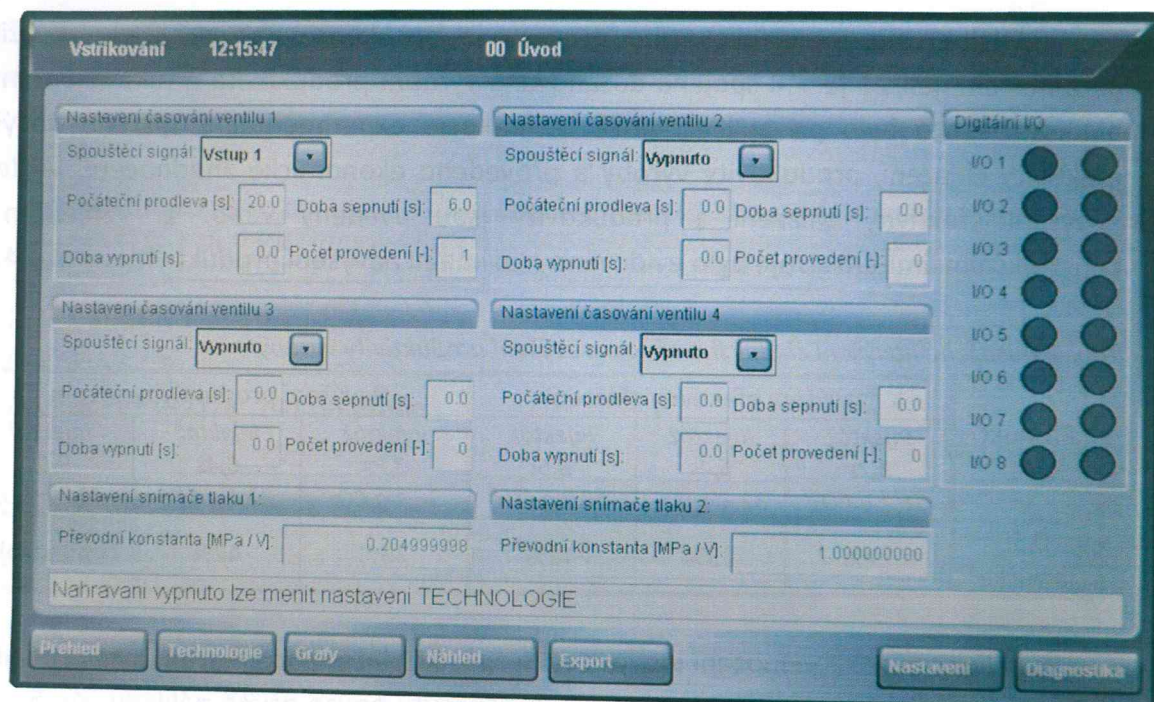


Obr. 24 Zobrazení zpětné vazby od teplotně tlakových senzorů v rozhraní vyfukovacího stroje

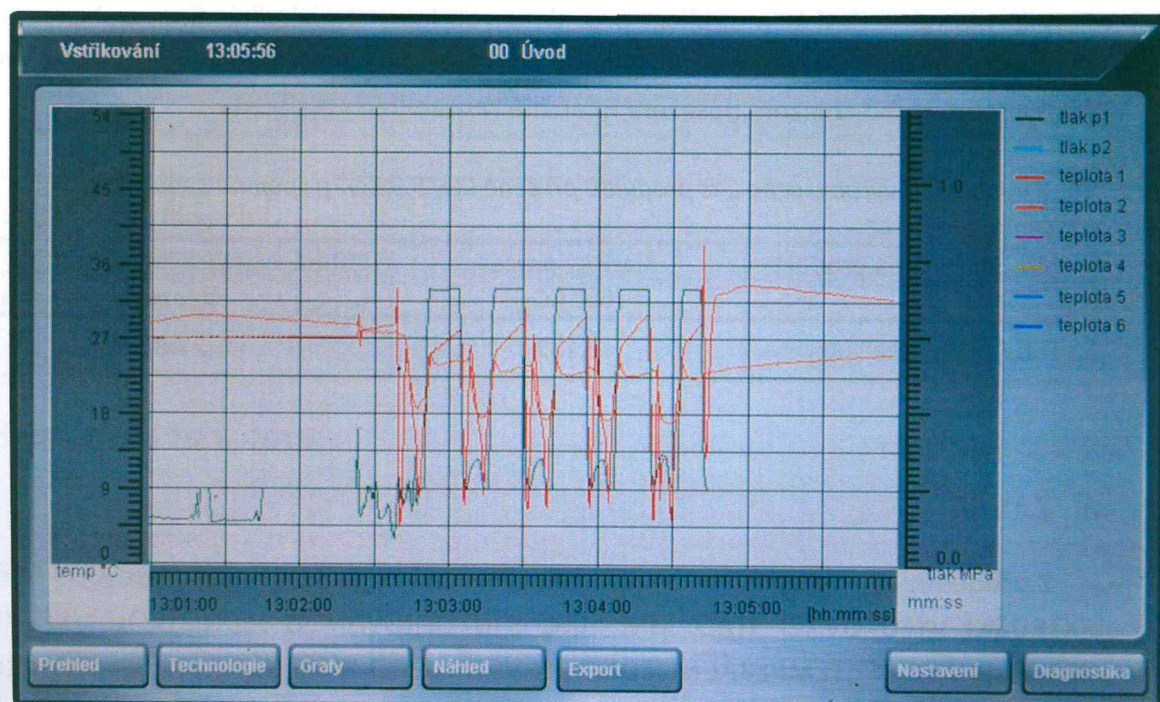
4.3. Technologické parametry interního chlazení - temperanční jednotka



Obr. 25 Úvodní obrazovka temperanční jednotky – vizualizace procesu chlazení společně se základními ovládacími prvky procesu



Obr. 26 Nastavení technologických parametrů interního chlazení na temperanční jednotce – časování injektáže CO₂



Obr. 27 Zobrazení zpětné vazby od teplotně tlakových senzorů v rozhraní temperanční jednotky

5. EFEKTIVITA TECHNOLOGIE A FINANČNÍ HLEDISKO

Efektivita chlazení vyfukovacího procesu je pro koncového uživatele důležitým parametrem, jelikož je s ní spojena dosahovaná výrobní produktivita a také ekonomické hledisko. Proto bylo po aplikaci nové technologie experimentálně zjištěno navýšení efektivity chlazení, produktivity výroby a provedeno ekonomické zhodnocení. Výsledky navýšení efektivity chlazení a produktivity jsou uvedeny v tab. 1. Vzhledem ke konstrukčním limitům stroje bylo evidováno maximální navýšení produktivity výroby 42%.

Tab. 1 Dosažené navýšení chladicího efektu a zvýšení produktivity výroby

Produkt	Navýšení efektivity chlazení			Navýšení produktivity výroby		
	Injektáž 3,2s	Injektáž 6,4s	Injektáž 9,6s	Injektáž 3,2s	Injektáž 6,4s	Injektáž 9,6s
	16,1 g CO ₂	32,1 g CO ₂	48,2 g CO ₂	16,1 g CO ₂	32,1 g CO ₂	48,2 g CO ₂
0,5l „lahvička“	22%	33%	48%	25%	42%	Limit stroje

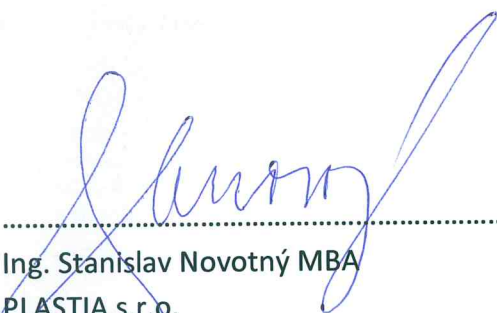
Pro ekonomické zhodnocení inovovaného způsobu interního chlazení byla provedena zjednodušená finanční analýza, do které byly zahrnuty pouze přímé náklady výroby, tzn. ceny energií výrobního zařízení, ceny spotřebovaného polymerního materiálu a interního chladicího média. Pro výpočtový model byly použity celostátně průměrné hodnoty cen energií, platné v České republice pro dané období. Z výsledků finančního rozboru, tabulka 2, je zřejmé, že inovace ve způsobu interního chlazení zajistila v důsledku navýšení efektivity interního chlazení dosažení finančně rentabilních výsledků.

Tab. 2 Vypočtená výrobní cena 1ks produktu při ceně CO₂ 5,9 Kč/kg spojená s maximálním navýšením produkce

Výrobní cena na produkt [Kč]	Klasický proces (bez CO ₂)	Inovovaný způsob interního chlazení
0,5l „lahvička“ [Kč]	2,132	2,088

6. ZÁVĚR

Z průběhů a výstupů testování poloprovozního režimu prototypových zařízení „EXTRUZNÍ VYFUKOVACÍ STROJ GM 5000 S INTEGROVANOU JEDNOTKOU VSTŘIKUJÍCÍ INERTNÍ PLYNY“ a „TEMPERAČNÍ JEDNOTKY VSTŘIKUJÍCÍ INERTNÍ PLYNY“ lze konstatovat, že produkce polymerních produktů probíhala plynule a během produkce nebyly evidovány žádné systémové závady. Oba způsoby ovládání interního chladicího procesu spolehlivě zajišťovaly dodávky chladicího média. Rovněž ve vizualizaci zpětné vazby od implementovaných teplotně-tlakových senzorů, která umožňuje dosažení smysluplného zvýšení efektivity chlazení vyfukovacího procesu, nebyly detekovány žádné chyby.



.....

Ing. Stanislav Novotný MBA
PLASTIA s.r.o.
Na Brázdě 1321/8, 141 00 Praha



.....

Ing. Petr Kůsa, Ph.D.
G D K spol. s r.o.
362 14 Kolová 181



.....

Ing. Pavel Brdlík, Ph.D.
Technická univerzita v Liberci
Studentská 2, 461 17 Liberec

V Praze dne 26. 6. 2015