

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace



Diplomová práce

Optimalizace opracování plastového výstřiku

Bc. Jakub Janisch

© 2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Janisch

Zemědělské inženýrství

Inženýrství údržby

Název práce

Optimalizace opracování plastového výstřiku

Název anglicky

Optimization of plastic processing

Cíle práce

Práce se zabývá návrhem a optimalizací dílčího uzlu automatického tryskání plastového vystříknutého dílu. Cílem je navrhnout úpravy technologie pro nasazení automatizované výroby za využití moderních prvků průmyslové automatizaci včetně možného využití průmyslových robotů. Řešení musí obsahovat kritické hodnocení stávající situace a návržení dvou variant nového řešení, spolu s analýzou návratnosti investice.

Metodika

Metodika spočívá v analýze stávající technologie a optimalizace stávající technologie, konfigurace HW a SW systémů, zhodnocení navrženého řešení.

Doporučený rozsah práce

60 stran bez příloh

Klíčová slova

automatizace, technologie, řídicí systém, robot, strojírenství

Doporučené zdroje informací

- BENEŠ, Pavel. *Automatizace a automatizační technika. 3, Prostředky automatizační techniky*. Brno: Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-239-4.
- DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Mechanická technologie. – Nauka o technických materiálech, nástrojích, obráběcích strojích a o výrobě ve strojírenství*. PRAHA: PRÁCE-ROH, 1952.
- LACKO, Branislav. *Automatizace a automatizační technika. 1, Systémové pojetí automatizace*. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-246-7.
- ŠULC, Bohumil; STROJNICKÁ SPOLEČNOST. ČESKÝ VÝBOR. *Elektronika ve strojírenství II*. Praha: Dům techniky ČSVTS, 1985.
- ŠVARC, Ivan; VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. *Automatizace : automatické řízení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2943-7.
- TALÁČKO, Jaroslav. *Automatizace výrobních zařízení*. Praha: ČVUT, Strojní fakulta, 2000, 2000. ISBN 80-01-02160-2.
- VORÁČEK, Rudolf. *Automatizace a automatizační technika. 2, Automatické řízení*. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-247-5.
-

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Konzultant

Ing. Jiří Kuře

Elektronicky schváleno dne 21. 1. 2021

doc. Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Optimalizace opracování plastového výstřiku" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3.4.2024

Poděkování

Děkuji mému vedoucímu diplomové práce, doc. Ing. Miloslavu Lindovi, Ph.D. jeho ochota poskytnout podporu a odborné vedení ve chvílích, kdy jsem to nejvíce potřeboval, byla zásadní pro dosáhnutí tohoto milníku.

Velké poděkování patří i mé rodině a přátelům za nekonečnou podporu a motivaci, kterou mi poskytovali. Vaše láska a povzbuzení byly základem mé síly a úspěchu.

.

Optimalizace zpracování plastového výstřiku

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá integrací tryskacího zařízení do automatizované skupiny zařízení s cílem zefektivnit zpracování plastových dílů pro výrobu automobilových světlometů. Klíčovým cílem je propojení tohoto zařízení s pomocí komunikačního protokolu MODBUS. Práce ukazuje, že snížení počtu přejezdů nad problematickými partiemi, kde dochází k intenzivnějšímu tryskání, vede k významným úsporám vstupních surovin – CO₂ a stlačeného vzduchu – díky eliminaci duplicitních přejezdů, které zvyšují ztráty surovin. Přestože se podařilo protokol MODBUS integrovat, k plné realizaci a nasazení ve výrobě nedošlo. Tato práce přináší nový pohled na specifický průmyslový problém, kde podobná řešení nejsou běžně dostupná. Jako doporučení pro další výzkum práce navrhuje optimalizaci procesu tryskání na základě analýzy kvality zpracovaných dílů s využitím strojového vidění, což může vést k dalšímu zlepšení efektivity a snížení nákladů. Tento přístup má potenciál pro široké uplatnění v průmyslové výrobě a nabízí zajímavé možnosti pro další rozvoj v oblasti automatizace výrobních procesů.

Klíčová slova: PLC; MODBUS; Suchý led; Automatizace; Robot

Optimization of plastic processing

Abstract

This thesis deals with the integration of the shot blasting unit into the automatic group of equipment with the objective of making the processing of plastic parts during the manufacture of automotive headlights more efficient. The key objective is to link this device using the MODBUS communication protocol. This study showed that substantial savings in input materials could be achieved by the elimination of duplicate passes, which increase material losses, over those problematic areas where blasting is done more intensively. Although the MODBUS protocol was successfully integrated, the work on full realizations and deployment in a production environment stayed unfinished. The thesis has viewed an industrial problem under a different light, where solution after solution was not handed to the reader by the dozen. On the recommendation part, therefore, it is recommended that further advice be taken to investigate whether the blasting process is optimized from quality analysis of the processed parts using machine vision, which will continue bringing further improvements in efficiency and reduction of costs. Such an approach may have a very wide application in industrial production and, in its turn, opens interesting perspectives for the further elaboration of the manufacturing process automation field.

Keywords: PLC; MODBUS; Automatization; Robot

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce	2
3 Metodika práce	3
4 Přehled řešené problematiky	5
4.1 Světloomet automobilu	5
4.1.1 Typy světlometů	6
4.1.2 Reflektor	9
4.1.3 Nosný rám modulu.....	10
4.1.4 Materiál.....	11
4.1.5 Technologie vstřikování termoplastů.....	15
4.1.6 Porovnání termosetů s termoplasty.....	16
4.1.7 Čištění suchým ledem.....	17
4.2 PLC	18
4.3 Průmyslové komunikační protokoly	19
4.3.1 MODBUS	20
4.4 Průmyslové roboty	24
4.4.1 Rozdělení z hlediska řízení.....	25
4.4.2 Základní části průmyslových robotů.....	25
4.4.3 Konstrukční prvky robotu.....	26
4.4.4 Kinematický řetězec	28
4.4.5 Kinematická dvojice	29
5 Praktická část práce	30
5.1 Analýza současného stavu.....	30
5.1.1 Termosetická lisovna	30
5.1.2 Zhodnocení Bucher II	32
5.1.3 Tryskací kabina.....	33
5.1.4 Robot v tryskací kabině IRB 1200.....	34
5.2 Automatizované tryskání suchým ledem	36
5.3 <i>Varianta A – integrace pomocí PLC</i>	37
5.3.1 Zhodnocení navrhovaného řešení	38
5.4 <i>Varianta B – integrace pomocí průmyslového robota ABB</i>	40
5.4.1 Zhodnocení navrhovaného řešení	40
5.5 Srovnání variant	41
5.6 Použité programové vybavení IQ WORKS 2	41
5.6.1 GX Works2	41

5.6.2	GT Designer3.....	44
5.7	Propojení	46
5.8	Modul QJ71MB91	49
5.9	Modbus ColdJet	51
5.9.1	Nastavení parametrů do GX Works2.....	52
5.9.2	Funkční blok MB_ColdJet.....	53
5.9.3	Z(P).MBRW	54
6	Výsledky a diskuse	58
6.1	Ověření funkčnosti komunikace MODBUS PC-ColdJet.....	58
6.2	Ověření funkčnosti komunikace MODBUS PC-PLC.....	60
6.3	Ověření funkčnosti komunikace MODBUS ColdJet-PLC	61
6.4	Ekonomické zhodnocení	63
7	Závěr.....	65
8	Seznam použitých zdrojů	66
9	Seznam obrázků	67
10	Seznam tabulek	69
11	Přílohy	1
Příloha 1	1

1 Úvod

Tato diplomová práce představuje studii zaměřenou na optimalizaci procesu tryskání suchým ledem v rámci výroby plastových vstříkovaných dílů, konkrétně nosných rámu a reflektorů pro automobilové světlomety. Tento proces je nezbytný pro odstranění otřepů a nečistot, které mohou ovlivnit kvalitu a funkčnost finálního produktu.

Centrálním bodem práce je vývoj a integrace řešení, které umožňuje efektivnější komunikaci a koordinaci mezi programovatelným logickým automatem (PLC) a tryskacím zařízením ColdJet prostřednictvím komunikačního protokolu Modbus. To by mělo vést k významnému zlepšení efektivity procesu díky adaptivní změně parametrů tryskání. Specificky, hypotéza práce předpokládá, že robot, aby efektivně očistil vstříkovaný díl, musí opakovat pohyby nad problematickou partií. Předpokládá se, že adaptivní změna parametrů tryskání umožní odbourat tuto potřebu opakování a tím dojde ke snížení celkového výrobního cyklu a úspoře na vstupních surovinách.

Cílovou skupinou této práce jsou technologové a automatizační inženýři, kteří hledají způsoby, jak integrací pokročilých technologií zvýšit efektivitu a snížit náklady ve výrobních procesech. Práce je zvláště relevantní pro ty, kteří se zaměřují na automatizaci výrobních procesů v průmyslu a na inovativní řešení v oblasti čištění výrobních komponent.

V teoretické části je poskytnut komplexní přehled o technologii světlometů, významu čištění suchým ledem a jsou teoreticky rozebrány klíčové prvky jako jsou programovatelné logické automaty, roboty a komunikační protokoly a obzvláště protokol Modbus. Praktická část se věnuje kritickému zhodnocení výrobního pracoviště a detailní implementaci navrženého řešení a následně hodnotí ekonomický přínos.

Tímto přístupem se práce snaží přispět k pokroku v oblasti průmyslového inženýrství, poskytující inovativní řešení pro zlepšení výrobních procesů a podporu udržitelného rozvoje nejen v automobilovém průmyslu.

2 Cíl práce

Práce se zabývá návrhem a optimalizací dílčího uzlu automatického tryskání plastového vystříknutého dílu. Cílem je navrhnout úpravy technologie pro nasazení automatizované výroby za využití moderních prvků průmyslové automatizaci včetně možného využití průmyslových robotů. Řešení musí obsahovat kritické hodnocení stávající situace a návržení dvou variant nového řešení, spolu s analýzou návratnosti investice.

3 Metodika práce

Metodika práce v této diplomové práci je strukturována do několika zásadních kroků, které kombinují teoretické poznatky s praktickou aplikací. Cílem je poskytnout ucelený pohled na proces výroby nosných rámu a reflektorů pro automobilové světlomety, s důrazem na integraci moderních technologií a automatizačních prvků do výrobního procesu.

Teoretická část

1. Úvod do problematiky světlometů

- Seznámení s konstrukcí a funkcí světlometů v automobilu, včetně přehledu výrobní technologie.

2. Technologie čištění suchým ledem

- Popis technologie čištění suchým ledem, její principy a výhody ve vztahu k čištění komponent světlometů.

3. Základy průmyslové automatizace

- Představení klíčových prvků v průmyslové automatizaci: programovatelných logických automatů (PLC), komunikačního protokolu Modbus a průmyslových robotů.

Praktická část

1. Analýza současného stavu pracoviště

- Detailní analýza výrobního pracoviště zaměřená na procesy související s výrobou nosných rámu a reflektorů, identifikace potenciálních oblastí pro zlepšení.

2. Návrh řešení pro integraci ColdJet zařízení

- Vývoj dvou konceptuálních řešení pro integraci systému čištění suchým ledem ColdJet do výrobního procesu pomocí komunikačního protokolu Modbus:

a. Integrace pomocí PLC

b. Integrace pomocí průmyslového robota

3. Implementace a ověření funkčnosti

- Postup při zavádění vybraného řešení, včetně konfigurace Modbus protokolu v PLC a následného testování celkové funkčnosti systému.

4. Ekonomické zhodnocení

- Analýza nákladů a přínosů implementovaného řešení.

Závěr

- V závěrečné části jsou sumarizovány poznatky získané během výzkumu, je hodnocena úspěšnost implementace a jsou navrženy možné směry dalšího vývoje

4 Přehled řešené problematiky

Tato kapitola je základem pro pochopení souvislostí a získání teoretických znalostí procesů spojených s výrobou reflektoru a nosného rámu modulu, jenž představují klíčovou součást automatizované výrobní skupiny. Výroba nosných rámu a reflektorů zahrnuje řadu technologických a inženýrských výzev, od volby vhodných materiálů, přes technologii vstřikování, až po metody opracování otřepů. Zvláštní důraz je kladen na integraci průmyslových robotů a programovatelných logických automatů (PLC).

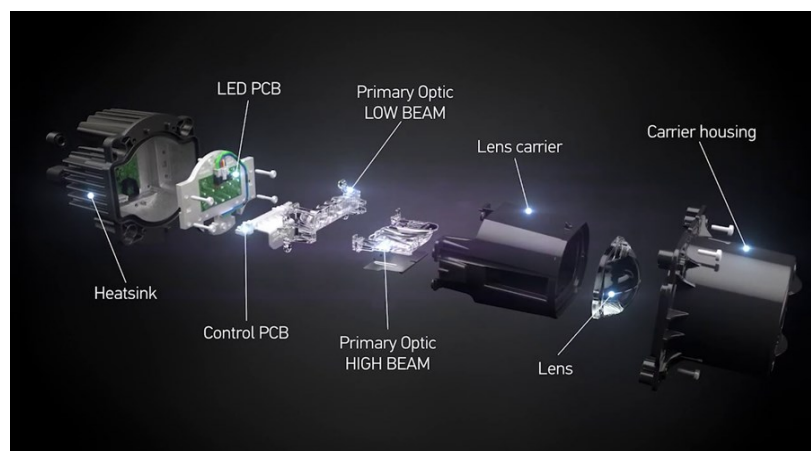
4.1 Světlomet automobilu

V minulosti byly světlometry relativně jednoduché, skládaly se z jedné žárovky a reflektoru, dnes jsou moderní světlometry složitými zařízeními s mnoha komponenty, jako jsou optické systémy, elektronické moduly a sofistikované mechanické součásti. Tyto světlometry nabízejí bezpečnost, plně automatizovaný komfort a efektivitu [1].

Hlavním cílem světlometů je poskytovat potřebné osvětlení na cestě a zároveň minimalizovat oslnění protijedoucích vozidel. Toho se dosahuje pomocí pokročilých optických systémů a světelných zdrojů. Nejčastěji používaným světelným zdrojem jsou elektroluminiscenční diody (LED). LED technologie umožňuje výrobu kompaktních světlometů s vysokým světelným výkonem a nízkou spotřebou energie. To má pozitivní dopad na celkovou spotřebu paliva vozidla. LED světla mají také delší životnost než žárovky a výbojky a rovněž jsou odolnější proti vibracím a nárazům.

Moderní světlometry obsahují také složité optické systémy, které umožňují přesné směřování světelného toku. Optickými prvky ve světlometu mohou být čočky, reflektory, světlovody a optické moduly. Každý z těchto prvků má svou specifickou funkci v tom, jak světlo je směřováno a rozptýleno. Dále se světlomet skládá z elektroniky, kabeláže, krycího rámečku, řídicí jednotky, aktivního nebo pasivního chlazení [1, 2].

Světlomet v automobilu má významnou roli nejen ve funkčnosti, ale také v designu. Zatímco líbivý vzhled může být pro některé důležitější než efektivnost a úspornost,



Obrázek 1 Rozpad LED modulu [2]



Obrázek 2 Detail světlometu [2]

avšak světelný výstup světlometu je vázán na právní předpisy, které mají za úkol chránit ostatní účastníky silničního provozu před oslněním a umožňují kontrolu svícení. Je nutné, aby světlomet zajistil splnění všech fotometrických požadavků a tím tak zajišťoval bezpečnost na silnici. Optické prvky jsou tedy navrženy s ohledem na to, aby splňovaly legislativní předpisy pro konkrétní trhy, na kterých jsou vozidla prodávána.

Vývoj světlometů se neustále posouvá vpřed, a tak můžeme očekávat další inovace a zlepšení. V blízké budoucnosti se světlometry stanou součástí celkového propojení vozidel, kdy budou schopny komunikovat s jinými systémy a informovat řidiče o různých situacích na silnici.

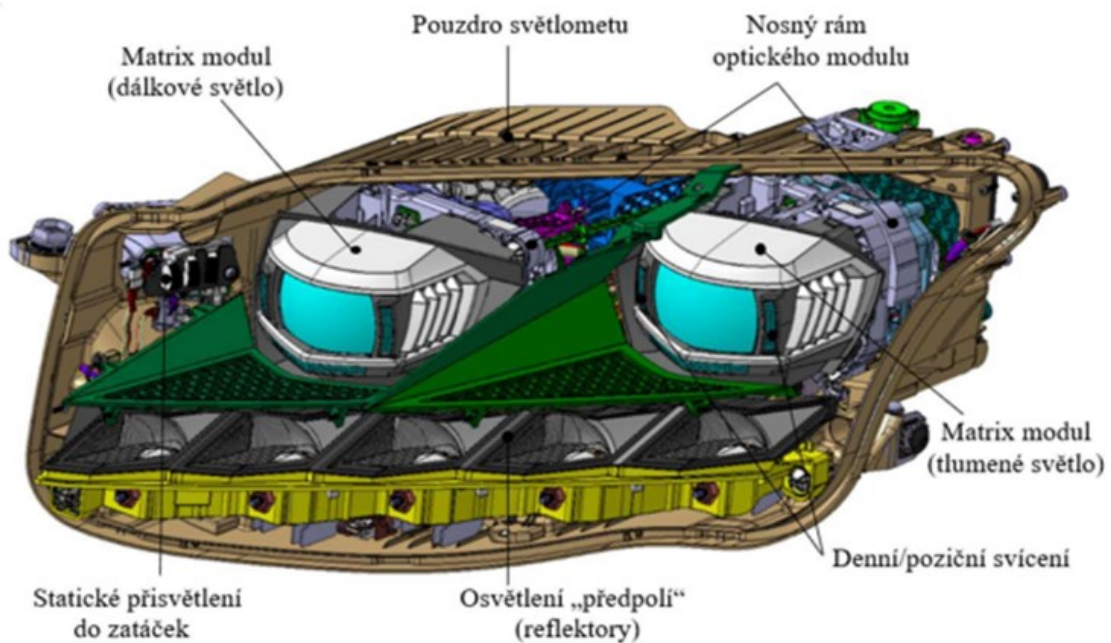
Celkově lze říct, že světlometry mají důležitou roli nejen v estetickém vzhledu vozidla, ale také v bezpečnosti a pohodlí.

4.1.1 Typy světlometů

Přední světlometry automobilů se během posledních let výrazně změnily a zákazníci mají nyní širokou škálu možností výbavy světelných funkcí a cenových kategorií. Optika světlometu lze rozdělit do několika typů, které jsou řazeny od nejstaršího vývojového stádia. [1,2,3]

- Tyto typy zahrnují:
 - a) Paraboloidní reflektor s optikou na skle světlometu (již nevyužívaný koncept)
 - b) Free-Form reflektor
 - c) Adaptivní systém AFS (Adaptive Frontlighting System)
 - d) Světlovod
 - e) Matrix LED systém
 - f) Laserový modul
 - g) Digital light systém
 - h) OLED (Organic Light Emitting Diode) s organickými diodami.

Za poslední roky došlo k rychlému vývoji v automobilovém osvětlení, kdy halogenové a xenonové světlomety byly nahrazeny LED zdroji. Ty nabízejí vylepšený design, vyšší účinnost, životnost a barvu světla, která se blíží dennímu světlu. Tyto LED zdroje jsou vhodné jak pro úsporné „Eco-LED“ systémy, tak pro výkonné modely. Stále rostoucí zájem je o tzv. „Full LED“ světlomety, které jsou založené na LED diodách a nabízejí všechny funkce světelných zdrojů. Příklad takového světlometu lze vidět na obrázku č. 3.



Obrázek 3 Popis tzv. „Full LED“ moderního světlometu automobilu (VW Touareg) – podle [3]

Moderní světlomety využívají technologii "Adaptive Frontlighting System" (AFS), která umožňuje měnit rozložení světelného výstupu podle potřeb řidiče a aktuálních podmínek na silnici. Vyspělejším řešením jsou systémy "Matrix LED", které umožňují řízení výkonu jednotlivých LED diod v reálném čase. Tyto systémy pracují společně s kamerami a dokážou reagovat na protijedoucí vozidla nebo chodce tím, že upravují výkon jednotlivých diod a v reálném čase je "odstíní" během používání dálkového režimu [4].

Kombinace LED diody a světlovodu vypadá atraktivně, ale tohle designové řešení nemá dostatečný světelný výkon pro hlavní funkce světlometů. Tyto kombinace jsou ale široce používány pro signální a denní světlo. Novým řešením je použití laserových modulů, které

dosahují až dvakrát většího dosvitu a o 30% vyšší energetické efektivity oproti LED modulům [2, 4].

Dalším zajímavým vývojem v oblasti světlometů je "Digital light" (digitální světlo), které umožňuje promítat obrazové informace, jako jsou například navigační pokyny a dopravní značky, na vozovku s rozlišením více než 2 miliony obrazových bodů.



Obrázek 4 Světlomet s Digital light [2].

Organické LED světlo, tzv. "OLED", je dalším významným řešením, které se začíná používat v zadních lampách automobilů. Tyto světlometry se vyznačují skvělou homogenitou a možností tvarování neobvyklého designu.



Obrázek 5 OLED světlomet [2].

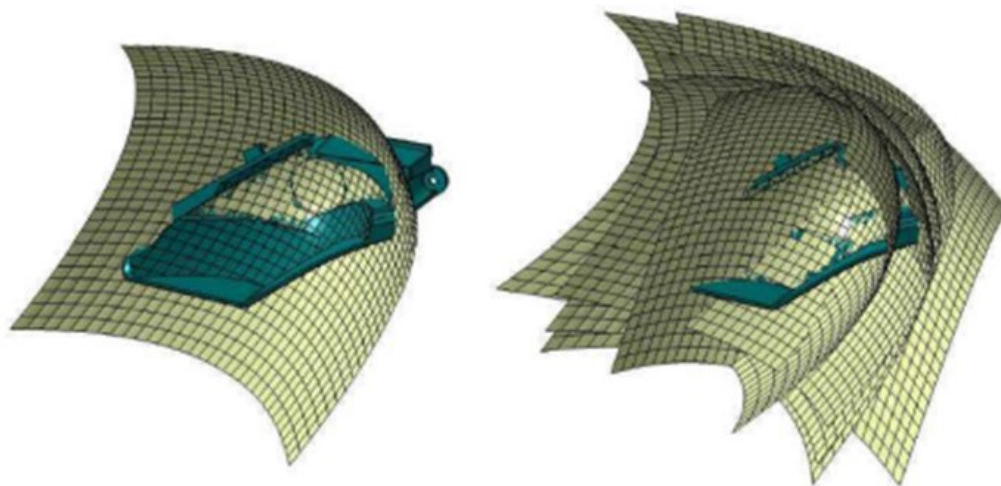
4.1.2 Reflektor

Reflektory jsou klíčovými komponenty světlometů, které mají za úkol zajistit optimální rozptyl světla a tím zlepšit viditelnost řidiče na silnici. S růstem tvarové složitosti geometrie reflektorů se výroba těchto komponent stala náročnější. Původně se kovové materiály vyráběly lisováním, ale tato technologie byla nahrazena vstřikováním polymerních materiálů.

Vstřikování plastů se stalo jednou z nejrozšířenějších technologií pro zpracování široké škály plastových materiálů. Tento proces vychází z technologie tlakového lití a je založen na cyklickém opakování jednotlivých částí výrobního cyklu. Vstřikování je vhodné pro výrobu velkých sérií a hromadnou výrobu, i když počáteční zřizovací náklady na nákup strojů a forem jsou vysoké.

Současné free-form, tzv. fazetové reflektory se vyrábějí pomocí technologie vstřikování plastů z polykarbonátu (PC) a Bulk moulding compound (BMC). Výrobní proces reflektoru se liší podle konkrétně použitého materiálu. Na výrobu a povrchovou úpravu reflektorů jsou kladeny přísné požadavky, aby nedocházelo ke vzniku deformace a tím k narušení kvality světelné distribuce. Pokovování a lakování jsou důležitými kroky pro dosažení optimální výkonnosti reflektorů. [5,7]

Díky schopnosti vytvářet plastové díly s větší přesností byla plocha parabolického reflektoru rozdělena na segmenty, které se nazývají fazety. Tyto fazety jsou schopny tvarovat a odrážet světelný zdroj do požadovaného směru. Tento přístup představuje zlomový bod, protože umožnil, aby krycí sklo světlometu bylo průhledné, čímž se staly viditelné jednotlivé díly, jako například designové rámečky. Při odchylkách od požadované geometrie může dojít k nežádoucím odrazům, vzniku parazitního světla a nesplnění legislativních požadavků. Výroba reflektorů je proto náročný proces, kde každý krok je důležitý pro zajištění vysoké kvality světelného výkonu. [1]



Obrázek 6 Návrh reflektorové optiky složené z několika parabolických ploch [8]

4.1.3 Nosný rám modulu

Projekční modul, který vyžaduje určitý stupeň řízené volnosti, se spojuje s nosným rámem optického modulu pro fixaci a natáčení. Nejvhodnějším materiálem pro nosný rám je odolný termoset typu BMC, případně technický termoplast jako polybutylentereftalát [2]. Základními požadavky na materiál jsou pevnost, stabilita rozměrů a tuhost. [1].



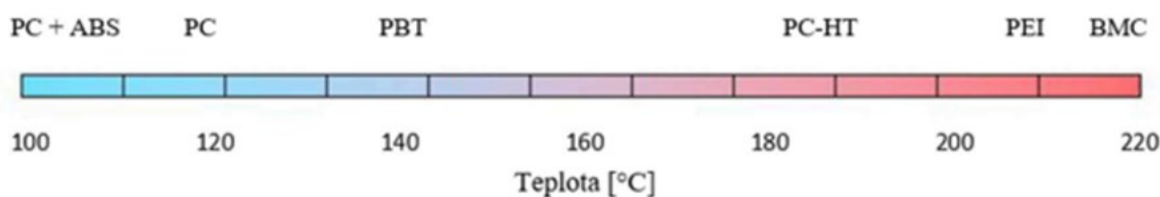
Obrázek 7 Rozpad světlometu [2]

V prvních adaptivních světlometových modulech AFS se distribuce světla přizpůsobuje automaticky profilu silnice a okolním podmínkám pomocí složitých regulačních algoritmů. Změna světelného výkonu je provedena prostřednictvím otáčení válce, který je umístěn mezi odrazovou plochou reflektoru a čočkou v ohniskové rovině projekčního modulu. Tyto moduly nabízejí nejen statické, ale i dynamické osvětlení v závislosti na rychlosti vozidla, jeho zatížení a směru jízdy. Moduly mohou být vybaveny xenonovou výbojkou (tzv. Bi-xenon) nebo LED diodami a nabízejí režimy tlumeného, městského, dálničního a dálkového světla [1].

Adaptivní LED moduly používají moderní technologie, které nevyžadují dynamické otáčení modulu. Tyto systémy umožňují řízení všech potřebných světelných režimů pomocí spínání a plynulé regulace výkonu LED diod v rozsahu od 0 do 100%.

4.1.4 Materiál

Výběr správného materiálu pro vstřikované díly je klíčovým faktorem pro dosažení požadovaných vlastností a životnosti výrobku. Zákazník očekává, že materiál splní své funkce po celou dobu životnosti. Proto je důležité vybrat správný druh polymeru a vhodná aditiva, jako jsou plniva, retardéry hoření atd. Volba konkrétního materiálu je založena na výsledcích simulací teplot (CFD) a analýz pevnosti (MKP). Maximální teplotní meze pro vybrané plasty použité v světlometu jsou ukázány na obrázku 9. Konstrukční volba materiálu ovlivňuje tloušťku stěny a smrštění výlisku, což je objemová změna vstřikovaného dílu, která vzniká během tuhnutí polymerních tavenin bez současného působení tlaku [2].



Obrázek 8 Maximální teploty použití vybraných plastů – podle [2]

Hodnota smrštění a další vlastnosti materiálu jsou uvedeny v materiálových listech, ale tyto hodnoty jsou pouze orientační a nezohledňují konkrétní konstrukční návrh výlisku. Například rozdílná tloušťka stěn, použitá žebra, komíny apod. Materiál musí být také vhodný pro zpracovatelskou technologii vstřikování. Plast musí být sušen před vlastním zpracováním, aby se minimalizovala jeho navlhavost a nasákavost. Rychlost plastifikace by měla být co nejkratší a plast by měl mít dostatečnou tepelnou stabilitu v rozsahu zpracovatelských teplot. Tekutost polymeru by měla být dostatečná a neměla by se příliš rychle měnit s teplotou, což ovlivňuje tloušťku stěny výrobku, velikost vtoku a zaformování výlisku. Zkrácení materiálu v různých směrech na výrobku a velikost vnitřního napětí by měly být co nejmenší, aby se minimalizovala výrobní nepřesnost [1,7].

Při výběru vhodného polymeru pro světlomet automobilu máme na výběr tři typy: termoplasty, reaktoplasty (duroplasty, termosety) a elastomery. Ty se liší materiálovými vlastnostmi, strukturou a zpracováním.

Termoplasty se v automobilových světlometech používají hlavně pro dekorativní prvky, jako jsou rámečky, světlovody, čočky, krycí skla, pouzdra a okrajově i pro reflektory. Mají dobrý povrch, který není nutné před pokovením lakovat, ale oproti termosetům se vyznačují výrazným smršťováním a nízkou odolností vůči vysokým teplotám a mechanickému namáhání [7].

Nejlepší povrchové vlastnosti s nízkým rozptylem světla lze dosáhnout použitím amorfních plastů, jako je polykarbonát (PC), vysokoteplotní polykarbonát (PC-HT) a polyetherimid (PEI). Na druhou stranu, vícefázové plasty, jako například akrylonitrilbutadienstyren (ABS), často vykazují horší povrchovou vrstvu, která je matná až zakalená.

Termosetické materiály plněného typu BMC se primárně používají pro reflektory a nosné rámy modulů. Reflektory však musí být pokryty základní vrstvou laku pro vytvoření požadované hladkosti povrchu kvůli dobré odrazivosti po pokovení.

Elastomery se v malém množství používají jako těsnicí materiály a pro výrobu gumových krytek, zejména tam, kde je nutné zajistit výměnný světelný zdroj.

Tabulka 1 Základní typy polymerních materiálů pro světlomet automobilu – podle [5].

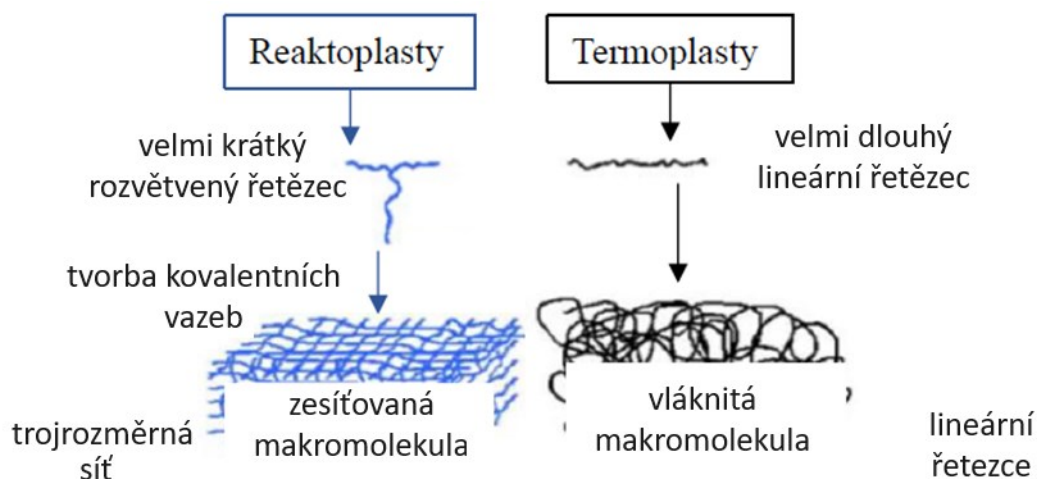
Zkratka	Název	Průmyslové označení	Použití
Termoplastické materiály			
PC	Polykarbonát	Makrolon, Lexan	Čelní skla světlometů, filtry
PMMA	Polymethylmetakrylát	Altughas, Plexiglas	Krycí skla zadních světlometů
PP	Polypropylen	Innopol, Polyfill	Zadní tělesa předních světlometů
ABS	Akrylonitril-butadien-styren	Terluran, Novodur	Zadní tělesa zadních světlometů
PCABS	Směs PC a ABS	Bayblend, Cycloy	Zadní tělesa zadních světlometů
PBT	Polybutylenterefralát	Crastin, Ultradur	Masky
PA	Polyamid	Zytel, Utramid	Mechanické komponenty
POM	Polyocymetylen	Ultem	Upínací a fixační prvky
Termosetické materiály			
BMC	Termoset	Menzolit, Tetratur	Reflektory světlometů, nosné rámy
Elastomery			
EPDM	Ethylen-propylen pryž	-	Gumové krytky
TPE	Termoplastický elastomer	-	Těsnění

Tabulka 2 Základní materiálové vlastnosti termoplastů a reaktoplastů [5].

Druh materiálu	Termoplasty (PC)	Reaktoplasty (BMC)
Modul pružnosti v tahu (MPa)	2 900	15 000
Hustota (g.cm ⁻³)	1,3	2
Tepelná roztažnost (E ⁻⁵ .°C ⁻¹)	5,6	1,8
Horní teplotní limit (°C)	190	200
Smrštění [%]	0,7	0
Index nákladů pro průměrné velký reflektor	200	100

V tabulce č.2 jsou uvedeny základní materiálové vlastnosti, které jsou důležité pro výrobu reflektorů. Vysoký modul pružnosti materiálu zajišťuje potřebné mechanické vlastnosti, jako je tuhost a pevnost reflektoru, které jsou důležité pro odolnost vůči vibracím. Hustota materiálu ovlivňuje celkovou hmotnost výlisku. Tepelná roztažnost materiálu by měla být co nejnižší, aby při teplotní zátěži od světelného zdroje nedocházelo ke změně tvaru reflektoru. Horní teplotní limit reflektoru závisí na teplotní odolnosti hliníkové vrstvy, nanesené na polymerní materiál pomocí pokovování. Smrštění materiálu ovlivňuje

výslednou změnu tvaru a tím i výslednou světelnou distribuci. I když u termoplastů nedochází během procesu vstřikování k změně chemického složení, změna objemu se projeví ve smrštění přibližně o 0,7 %. U reaktoplastů je možné dosáhnout téměř nulového výrobního smrštění a zároveň se jedná o cenově výhodnější materiál s lepší tepelnou, mechanickou a chemickou odolností oproti termoplastům. [7].



Obrázek 9 Srovnání reaktoplastů s termoplasty

- **Polykarbonát (PC)**

Jde o amorfní termoplastický polymer. Termoplasty jsou tvořeny velkými makromolekulami seskupenými do dlouhých monomerních lineárních řetězců, které nejsou navzájem zkřížené. To znamená, že při změně teploty během zpracování materiálu nedochází k chemické reakci, ale pouze ke vzniku slabých Van der Waalsových vazeb mezi řetězci. Díky tomu jsou opakovaně tvarovatelné. Pro zpracování pomocí technologie vstřikování se dodává ve formě granulátu, který je třeba sušit. V tabulce 3 jsou uvedeny výhody a nevýhody tohoto materiálu pro výrobu LED reflektoru [7].



Obrázek 10 Surový materiál (PC)

Tabulka 3 Srovnání výhod a nevýhod PC

Výhody	Nevýhody
Dobrá kvalita povrchu – vysoký lesk	Nižší teplotní roztažnost materiálu a tepelná odolnost do 120 °C – negativní vliv na světelnou stopu
Přímé pokovování – není nutnost lakovat před pokovováním	Vyšší cena
Dobré optické vlastnosti po pokovování	Větší smrštění po doformování
	Nižší mechanická odolnost

- **Bulk moulding compound (BMC)**

BMC je kompozitním polymerem, který se skládá z nenasycené polyesterové pryskyřice a obsahuje vysoký podíl plniv, jako jsou skelná vlákna a minerální plniva. Při změně teploty dochází u BMC k tzv. prostorovému zesílení struktury, což znamená vytvoření trvalých kovalentních vazeb mezi řetězci makromolekul. Toto zesílení struktury způsobuje ztrátu rozpustnosti a tavitelnosti, snížení houževnatosti a zároveň zlepšení mechanické odolnosti polymeru. Tento zesílený materiál má vyšší tvrdost, modul pružnosti a teplotní odolnost, což jej činí ideálním pro výrobu různých průmyslových produktů, jako jsou například LED reflektory.



Obrázek 11 BMC

Tabulka 4 Srovnání výhod a nevýhod BMC

Výhody	Nevýhody
Téměř žádné smrštění po odformování	Nutnost následného lakování před pokovováním
Vysoká tepelná odolnost až do 200 °C bez tečení	Skladování a kratší doba životnosti BMC
Lepší odrazivost povrchu	Vznik otřepů - náklady na opracování
Velmi dobré mechanické vlastnosti – pevnost a tuhost	Nízká houževnatost – vyšší křehkost
Nízká cena	Vznik inkluze při navazování vrstvy
Dobrá chemická odolnost	

4.1.5 Technologie vstřikování termoplastů

Vstřikování plastů je široce používaná technologie při výrobě plastových dílů. Tento proces umožňuje vytvářet plastové díly rychle, přesně a s vysokou opakovatelností, což je důležité při výrobě velkého množství dílů.

Proces vstřikování plastů se skládá ze čtyř hlavních fází: vstupní fáze, vstřikovací fáze, chladicí fáze a výstupní fáze.

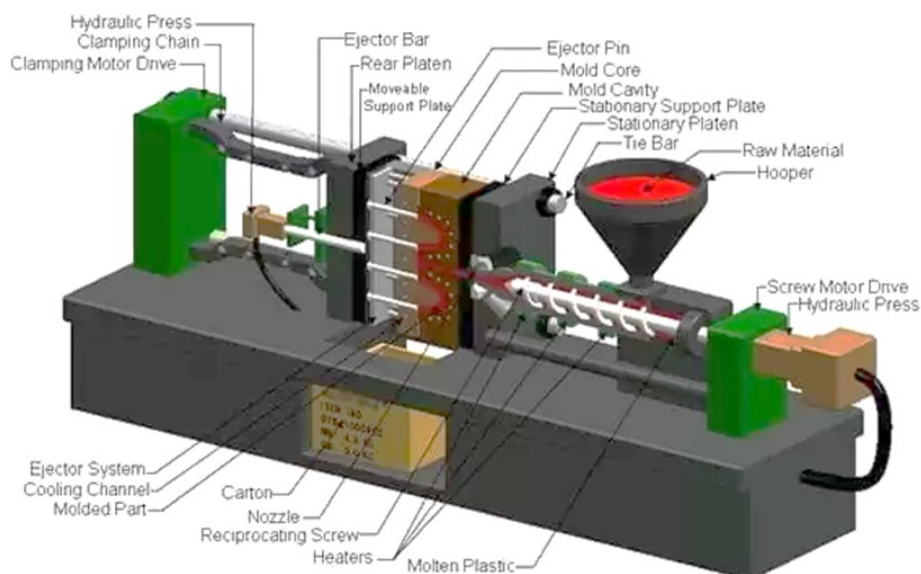
Vstupní fáze začíná výběrem vhodného plastového materiálu a jeho granulací. Granulát je následně vložen do plastifikačního válcového lisu, kde se za stálého míchání rozpustí. Tavenina plastu se poté přesune do trychtýře, kde je připravena ke vstřikování.

Vstřikovací fáze je hlavní fází procesu vstřikování plastů. Tavenina plastu se pod vysokým tlakem vstřikuje do formy, která má tvar a rozměry požadovaného dílu. Tento proces je velmi precizní a musí být proveden s velkou přesností, aby byl zajištěn výsledný díl s požadovanými parametry. [9]

Chladicí fáze následuje po vstřikovací fázi. V této fázi se forma ochlazuje, což umožňuje tavenině plastu ztuhnout a vytvořit požadovaný tvar. Chladicí fáze může být řízena různými způsoby, včetně použití chladicích kanálů a chladičů, aby byla zajištěna rychlost ochlazování a přesnost tvarování dílu.

Výstupní fáze zahrnuje vyjmutí hotového dílu z formy a další zpracování. Hotový díl může být ořezán, vrtán nebo obráběn podle požadavků.

Proces vstřikování plastů se používá v různých průmyslových odvětvích, včetně automobilového průmyslu, elektrotechniky, spotřební elektroniky a dalších oblastí. Vstřikování plastů umožňuje výrobu velkého množství plastových dílů rychle a efektivně, což vede k nižším nákladům na výrobu a větší produktivitě



Obrázek 12 Obecný popis vstřikovacího lisu [9]

4.1.6 Porovnání termosetů s termoplasty

Termosety a termoplasty mají odlišné požadavky na proces vstřikování, což vyžaduje odlišný přístup a nastavení vstřikovacího stroje a formy. Hlavním rozdílem je v teplotě, při které dochází ke zpracování materiálu. U termoplastů se používají relativně nízké teploty, obvykle mezi 180 až 300 °C, zatímco u termosetů jsou použity mnohem vyšší teploty, často v rozmezí od 150 až 250 °C. Toto je způsobeno tím, že termoplasty se zpracovávají na základě změny fyzikálního stavu, zatímco termosety se zpracovávají na základě chemické reakce.

Dalším rozdílem je konstrukce vstřikovacího stroje a šneku. U termoplastů je šnek navržen pro plastifikaci a vstřikování taveniny do chlazené formy. Naopak u termosetů musí být šnek navržen tak, aby se minimalizovalo smykové namáhání a předčasné vytvrzení termosetického materiálu v tavicí komoře. Kromě toho se termosety často vstřikují do výztuží, a proto je nutné přizpůsobit vstřikovací proces tak, aby nedocházelo k poškození výztuží [1,9].

Další rozdíl spočívá v chladícím procesu. U termoplastů je čas chlazení určen rychlostí, kterou se materiál ochladí v chlazené formě. Na druhé straně u termosetů se doba vytvrzování řídí rychlostí chemické reakce, což může být ovlivněno teplotou a množstvím tvrdidla použitého v materiálu.

Zpracování termosetů je také náročnější z hlediska vstřikovacího stroje, protože materiál má nízkou viskozitu a může docházet k předčasnému vytvrzování v tavicí komoře nebo na šroubu. Z toho důvodu musí být vstřikovací stroj přesněji naprogramován a zpracování musí být pečlivěji kontrolováno.

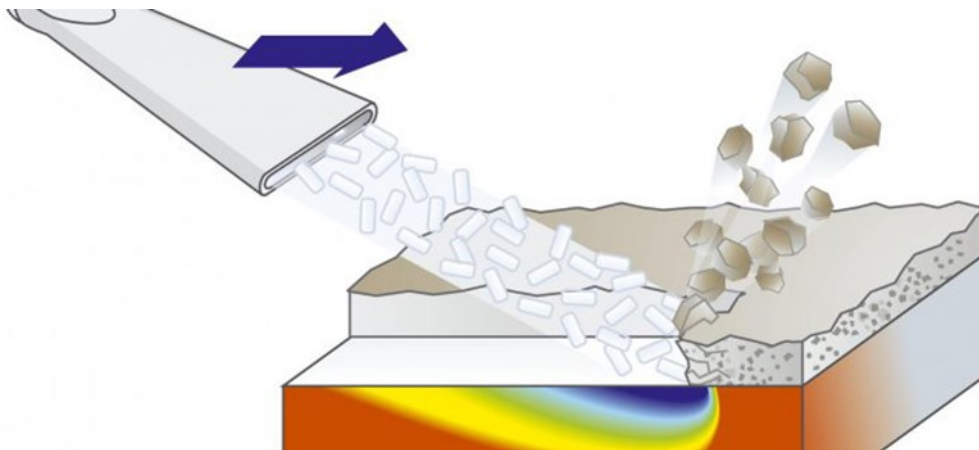
Závěrem lze tedy říci, že vstřikování termosetů a termoplastů jsou dva zcela odlišné procesy, které vyžadují různé postupy a technologie. Vstřikování termosetů je komplikovanější proces, který vyžaduje speciální zařízení a náročnější vstřikovací cyklus.

Tabulka 5 Porovnání termosetů s termoplasty

	Termoset	Termoplast
Procesní teploty	Vysoké	Nízké
Doba vytvrzování	Dlouhá	Krátká
Vstřikovací forma	Vyhřívána na vytvrzovací teplotu	Chlazená
Šnek	Potlačená kompresní část	Kompresní část
Vstřikovací cyklus	Stanoví dobu vytvrzování	Stanoví dobu ochlazování
Požadavky na stroj	Vyšší požadavky na dávkování materiálu a konstrukci	Nižší požadavky
Materiál	Vstřikuje se studeným do vyhřáté formy	Vstřikuje se taveninou do chlazené formy
Zesítnění materiálu	Aktivováno tvrdidlem a zvýšenou teplotou	Není aktivováno, materiál ztuhne přirozeným ochlazováním

4.1.7 Čištění suchým ledem

Jako už název naznačuje, jedná se o technologii čištění, která se podobá tradiční metodě tryskání s použitím pevných částic. Avšak, tryskacím médiem nejsou železné kuličky, písek ani jiné materiály, ale pelety suchého ledu. Ty jsou unášeny stlačeným vzduchem přes tryskací pistoli na cílený povrch. Proto je pro úspěšné tryskání zapotřebí suchého ledu, tryskacího zařízení a dostatečného množství stlačeného vzduchu [10].



Obrázek 13 Princip tryskání suchým ledem [12]

Suchý led, tvořený pevným skupenstvím CO_2 , je účinným přírodním chladicím prostředkem. Jeho povrchová teplota je přibližně -78°C , což znamená, že neobsahuje žádné škodlivé mikroorganismy a má bakteriostatické vlastnosti. Protože neteče, nezanechává mokré stopy a nepoškozuje produkty, technologie tryskání peletami je vhodná pro provozy, jako jsou farmaceutický a potravinářský průmysl. Pelety suchého ledu se vyrábějí v zařízeních nazývaných peletizéry, kde kapalné CO_2 přechází do pevného skupenství a pomocí výstupní matrice se formují do požadovaných tvarů a velikostí (\varnothing 3, 6, 10 a 16 mm). Tyto pelety sublimují při atmosférickém tlaku (přecházejí z pevného na plynné skupenství), takže se musí skladovat v tzv. termoboxech [10,11].

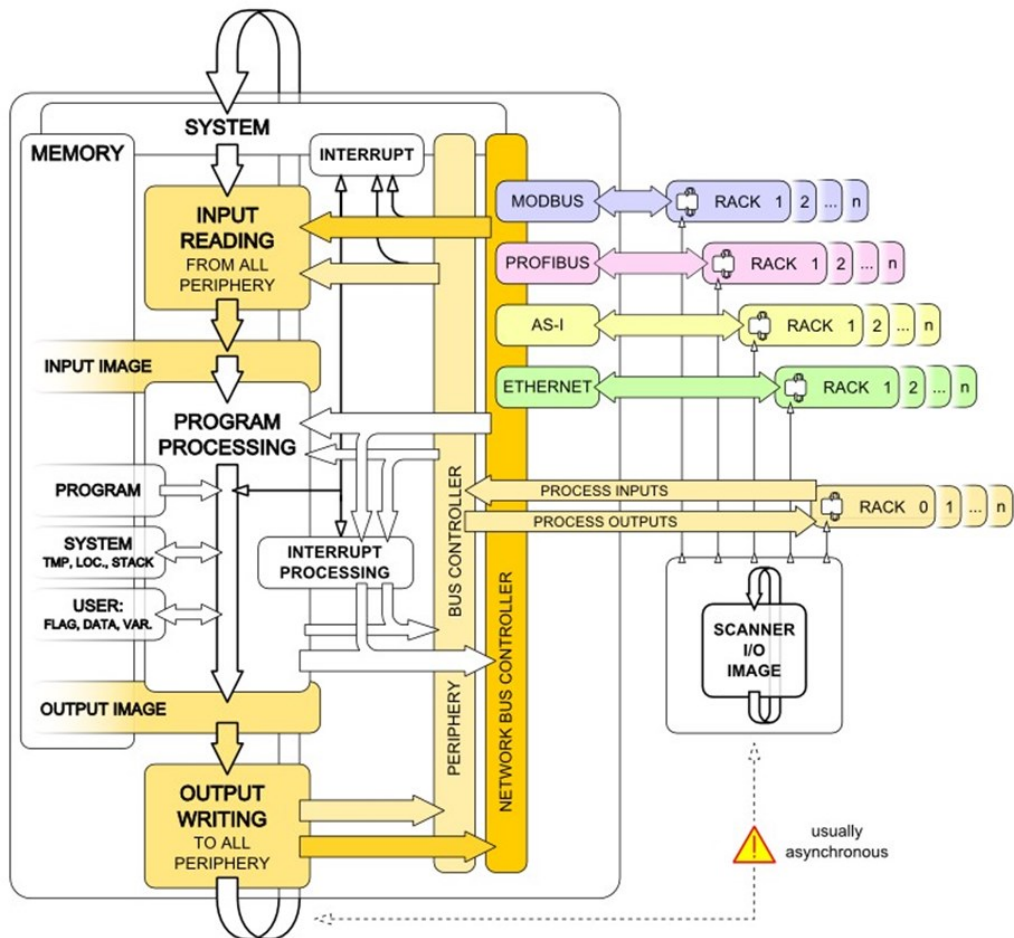
Princip tryskání suchým ledem je stejný jako u jiných čistících technologií, avšak s využitím jiného tryskacího média. Pelety suchého ledu jsou zásobníkem dákovány do proudu stlačeného vzduchu, který je unáší tlakovou hadicí (rychlostí 150m/s) až do tryskací pistole. Pomocí trysek je proud pelet se vzduchem usměrňován na místo, kde odstraňují nežádoucí nečistoty. Tyto fáze jsou součástí třífázového efektu čištění:

1) vliv kinetické energie, kdy pelety dopadají s vysokou rychlostí na povrch, 2) termická - nízká teplota pelet ochlazuje usazené nečistoty, čímž je činí křehkými a snadno oddělitelnými, a 3) sublimace pelet, kdy dochází k 700násobnému zvětšení jejich objemu a explozivnímu efektu. Tyto fáze naruší a oddělí nečistoty od čištěného povrchu. Provozní hluchnost čištění se pohybuje mezi 80-110 dB(A) [11].

4.2 PLC

Programovatelné logické automaty (PLC) jsou nezbytným nástrojem v průmyslové automatizaci, poskytující robustní, flexibilní a efektivní řešení pro řízení komplexních úloh v reálném čase. Od svého uvedení na trh firmou Modicon v roce 1968, která je dnes součástí Schneider Electric, byly PLC navrženy k nahrazení elektromechanických reléových systémů, které byly náchylné k chybám, náročné na údržbu a změna programu znamenala složité přepojení reléových bloků. Tento přechod otevřel dveře k větší efektivitě a spolehlivosti v řízení složitých úloh, jako jsou operace na výrobních linkách, v elektrárnách, dopravních systémech a mnoha dalších oblastech [12].

Srdcem každého PLC je jeho procesor, který spolu se vstupními a výstupními moduly, komunikačními moduly a napájecími zdroji tvoří základ pro zpracování informací a řízení technologických procesů. Vstupní moduly přijímají signály z různých senzorů a převodníků, zatímco výstupní moduly ovládají aktuátory a jiná zařízení na základě zpracovaných programových instrukcí [13].



Obrázek 14 Struktura komunikace s periferiemi přes procesní obraz [13]

Srdcem každého PLC je jeho procesor, který spolu se vstupními a výstupními moduly, komunikačními moduly a napájecími zdroji tvoří základ pro zpracování informací a řízení technologických procesů. Vstupní moduly přijímají signály z různých senzorů a převodníků, zatímco výstupní moduly ovládají aktuátory a jiná zařízení na základě zpracovaných programových instrukcí.

Díky své programovatelnosti nabízejí PLC nevídanou úroveň adaptability. Programování PLC, prováděné speciálním softwarem, umožňuje uživatelům vytvářet, testovat a upravovat řídicí algoritmy, což přináší možnost snadno reagovat na změny v technologických procesech nebo v požadavcích na výrobu bez nutnosti fyzických úprav hardwaru [12,13].

Jedinečná vlastnost PLC spočívá v jejich schopnosti cyklicky zpracovávat algoritmy, což umožňuje kontinuální kontrolu a monitorování procesů bez potřeby resetování nebo manuálního zásahu po každém cyklu. Tato cyklická povaha zpracování zahrnuje sejmутí obrazů fyzických vstupů, provádění programu a aktualizaci fyzických výstupů, doplněnou o režijní operace systému, jako je aktualizace systémových proměnných a řízení komunikace.

Odolnost PLC proti průmyslovým rušivým elementům, jako jsou vibrace, prach, a výkyvy teplot, je klíčová pro jejich spolehlivý provoz. Tyto vlastnosti zajišťují, že PLC může efektivně fungovat v náročných průmyslových prostředích, zvyšující bezpečnost a minimalizující riziko výpadků.

Rozdělení PLC na kompaktní a modulární systémy poskytuje flexibilitu pro různé aplikace. Kompaktní PLC jsou ideální pro menší aplikace s omezenými požadavky, zatímco modulární PLC nabízejí rozšiřitelné řešení pro složitější systémy, umožňující jednoduché přidávání nebo upravování modulů podle potřeb projektu.

Výrobci jako Siemens, Allen-Bradley, Schneider Electric, Mitsubishi Electric a Omron představují špičku v oblasti PLC, nabízejíce široký rozsah modelů s různými funkcemi a vlastnostmi, které uspokojí specifické potřeby různých průmyslových aplikací. S rostoucí sofistikovaností PLC a jejich integrací s technologiemi, jako jsou umělá inteligence a Internet věcí, lze očekávat, že budoucí generace PLC budou ještě výkonnější a schopné efektivněji řešit složité úlohy v automatizaci.

4.3 Průmyslové komunikační protokoly

V oblasti průmyslové automatizace hrají komunikační protokoly klíčovou roli ve výměně dat mezi různými komponenty systému, jako jsou programovatelné logické automaty (PLC), senzory, aktuátory a další periférie. Tyto protokoly umožňují bezproblémovou integraci a interoperabilitu mezi zařízeními od různých výrobců a zajišťují efektivní řízení a monitorování průmyslových procesů. V této podkapitole si představíme některé z nejrozšířenějších a nejdůležitějších komunikačních protokolů v oblasti průmyslové automatizace.

- **Ethernet/IP**

Ethernet/IP (Industrial Protocol) je dalším průmyslovým komunikačním protokolem založeným na standardních Ethernetových technologiích. Je vyvinut organizací ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) a umožňuje vysokorychlostní komunikaci a integraci průmyslových zařízení do podnikových sítí. Ethernet/IP využívá stejný komunikační model jako DeviceNet a ControlNet, což zajišťuje dobrou interoperabilitu mezi různými sítěmi.

- **EtherCAT**

EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) je otevřený standard určený pro real-time průmyslovou komunikaci přes Ethernet. Vyvinula ho společnost Beckhoff Automation a charakterizuje se vysokou rychlostí a efektivitou, protože využívá princip "processing on the fly", který umožňuje zařízením zpracovávat data během jejich průchodu sítí.

- **CANopen**

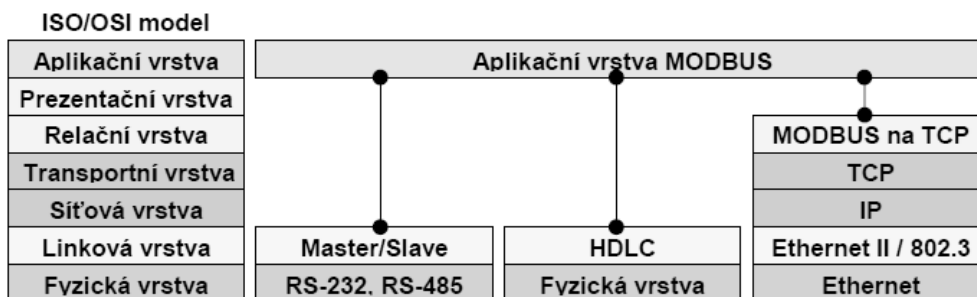
CANopen je komunikační protokol a zařízení profil založený na CAN (Controller Area Network), který byl původně vyvinut pro automobilový průmysl, ale našel široké uplatnění i v průmyslové automatizaci. CANopen definuje standardizované služby a protokoly pro síťovou komunikaci a zařízení profily, což usnadňuje integraci a výměnu komponent.

- **Profibus a Profinet**

Profibus (Process Field Bus) je dalším široce používaným standardem pro síťovou komunikaci v průmyslové automatizaci, který byl vyvinut v Německu v 80. letech. Profibus poskytuje vysokorychlostní komunikaci mezi zařízeními a řídicími systémy. Profinet je pak modernější, na Ethernetu založená verze Profibusu, která umožňuje ještě rychlejší a flexibilnější komunikaci

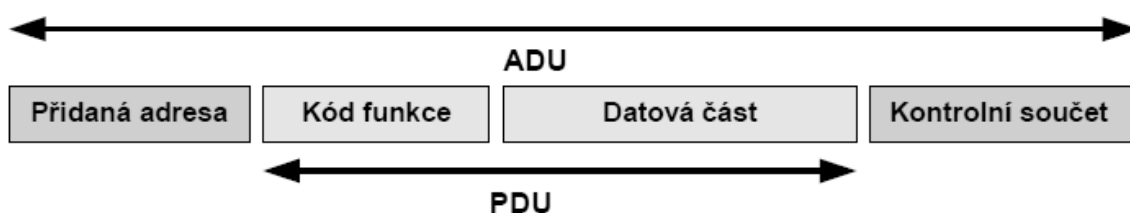
4.3.1 MODBUS

MODBUS je komunikační protokol na úrovni aplikační vrstvy ISO/OSI a podporuje klient-server (Master/Slave) interakce mezi zařízeními napojenými na různé druhy sítí a sběrnic. Protokol umožňuje komunikaci pomocí různých komunikačních médií, včetně sériových linek RS-232, RS-422, RS-485, optických a rádiových sítí, a také přes Ethernet s využitím TCP/IP. Komunikace v MODBUS probíhá na principu požadavek-odpověď, přičemž každý požadavek obsahuje kód funkce určující požadovanou operaci.



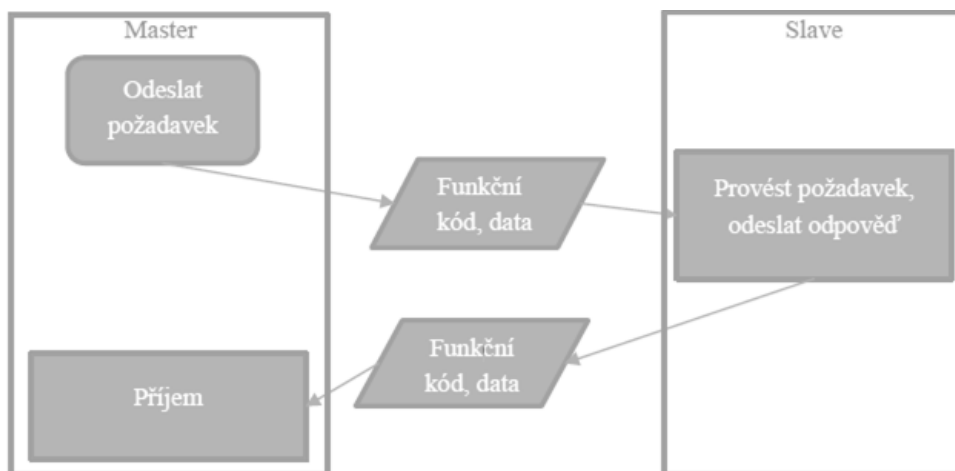
Obrázek 15 Příklady implementace MODBUS [15]

Protokol MODBUS specifikuje formát zprávy protokolové datové jednotky (PDU) nezávisle na použité komunikační vrstvě. Podle konkrétního typu sítě, ve které je protokol aplikován, se k PDU přidávají další segmenty, čímž vzniká aplikační datová jednotka (ADU) [15].



Funkční kód informuje server o typu operace, kterou má vykonat. Tyto kódy se pohybují v rozmezí od 1 do 255, s tím, že kódy od 128 do 255 jsou rezervovány pro signalizaci chyb, neboli negativní odpovědi. Některé funkční kódy dále rozšiřují detaily požadavku pomocí podfunkčních kódů, které specifikují operaci podrobněji. Data odeslaná klientem v rámci zprávy umožňují serveru provést operaci definovanou funkčním kódem, jako je například čtení určitého počtu vstupů nebo zápis hodnot do registrů. U určitých operací server nepotřebuje žádná dodatečná data, a v těchto případech může být datová část zprávy prázdná.

V případě, že server úspěšně provede požadovanou operaci bez chyb, odpovídá zprávou, která v poli funkčního kódu opakuje kód požadované funkce, signalizující tak úspěšné dokončení. V datové části této odpovědi pak server vrací klientovi jakákoli požadovaná data, pokud jsou k dispozici.



Obrázek 16 Základní princip komunikace mezi zařízením Master a Slave [16]

V situaci, kdy se při realizaci požadované akce vyskytne chyba, server odpovídá tak, že v poli funkčního kódu posílá zpět kód původně vyžadované funkce s přidáním nejvyšším bitem, který signalizuje výskyt chyby (tzv. exception response). Součástí datové části této odpovědi je specifický chybový kód (exception code), který konkretizuje příčinu neúspěchu.

Reprezentace dat je pro protokoly Modbus, ať už se jedná o Modbus TCP nebo Modbus RTU, identická. Data jsou vyjádřena pomocí 16bitových registrů bez znaménka a jednobitových informací nazývaných "coils". Tyto registry a coils jsou rozděleny podle práv k čtení a zápisu.

Z ohledu na riziko ztráty požadavku či odpovědi je doporučeno, aby klient zavedl mechanismus časového limitu pro očekávání odpovědi. To zajišťuje, že klient nebude neomezeně čekat na odpověď, která možná nikdy nedorazí.

- **Kódování dat**

Při využití „Big-endian“ reprezentace, jakou používá MODBUS, se data odesílají s tím, že nejvýznamnější bit (MSB - Most Significant Bit) je umístěn na začátku a nejméně významnější bit (LSB - Least Significant Bit) na konci datové sekvence. V kontextu 16-bitové položky s hodnotou 1234h, MSB reprezentované hodnotou 12h je odeslán první, zatímco LSB reprezentované hodnotou 34h je poslán jako poslední. Tento způsob uspořádání zajistí, že nejvýznamnější části dat jsou přenášeny a zpracovány jako první[15].

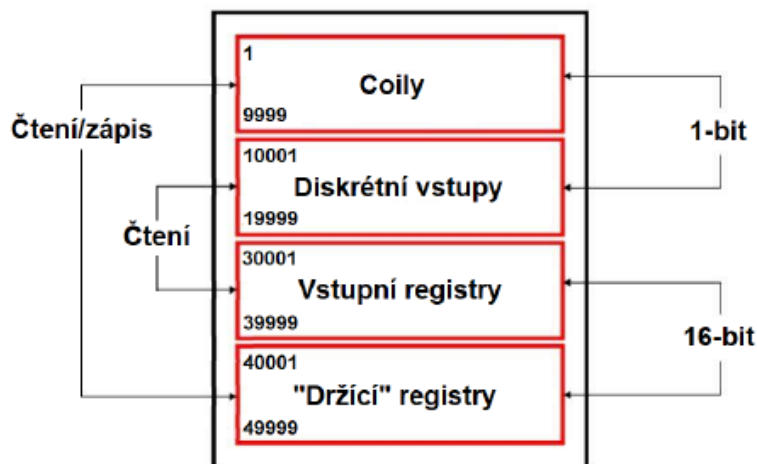
- **Datový model**

Datový model MODBUSu je založen na sadě tabulek, s charakteristickým významem. Definovány jsou čtyři základní tabulky

Tabulka 6 Datový model MODBUS[15]

Tabulka	Typ položky	Přístup	Popis
Diskrétní vstupy (Discrete Inputs)	1-bit	Pouze čtení	Data poskytovaná I/O systémem
Cívky (Coils)	1-bit	Čtení/zápis	Data modifikovatelná aplikačním programem
Vstupní registry (Input Registers)	16-bitové slovo	Pouze čtení	Data poskytovaná I/O systémem
Uchovávací registry (Holding Registers)	16-bitové slovo	Čtení/zápis	Data modifikovatelná aplikačním programem

Znalost organizace dat je klíčová pro pochopení protokolu Modbus. Data jsou systematicky rozvrstvena v paměti, která se skládá z již zmíněných cívek (coils) a registrů. Paměťový prostor je definován adresami v rozmezí 1 až 49999, kam jsou data ukládána. Jak je organizace paměti nastavena, ukazuje Obrázek 17.



Obrázek 17 Alokace paměti Modbus zařízení z pohledu zařízení Master na zařízení Slave

Pro ovládání a práci s daty v registrech a cívkách Modbus se využívají specifické funkční kódy. Celkem je pro protokol Modbus definováno 20 takových kódů. Podle přehledu uvedeného v tabulce 3.1 je 13 z těchto kódů určeno přímo pro manipulaci s daty, zatímco zbylých 7 kódů slouží k diagnostice komunikace nebo k jiným speciálním účelům. Ty nejčastěji využívané funkce jsou v tabulce zvýrazněny tučně. Detailní vysvětlení a popisy těchto funkcí jsou volně přístupné na oficiálním webu modbus.org.

Tabulka 7 Seznam funkčních kódů pro Modbus

Zařízení	Název funkce	Funkční kód	
Práce s daty	Coily	Čtení diskretních vstupů	FC2
		Čtení coilů	FC1
		Zápis coilů	FC5
		Zápis několika coilů	FC15
	Registry	Čtení vstupních registrů	FC4
		Čtení několika držících registrů	FC3
		Zápis do držícího registru	FC6
		Zápis do několika držících registrů	FC16
		Čtení/zápis do několika registrů	FC23
		Maskování registru	FC22
		Čtení fronty FIFO	FC24
	Přístup k souborům	Přečíst záznam ze souboru	FC20
		Zapsat záznam do souboru	FC21
Diagnostika	Čtení statusu vyjímky	FC7	
	Diagnostika	FC8	
	Získat čítač událostí	FC11	
	Získat log událostí	FC12	
	Nahlásit ID slave	FC17	
Ostatní	Čtení identifikace zařízení	43	
	Přenos interface	43	

- **MODBUS RTU**

Modbus RTU pracuje přes dvě varianty fyzických rozhraní: RS-485 a RS-232. Architektura Modbus RTU je založena na polo duplexním způsobu komunikace, kde jedno hlavní (master) zařízení vysílá pokyny jednomu nebo více podřízeným (slave) zařízením a očekává jejich odpovědi. Po přijetí odpovědi se master zařízení přesune k dalšímu slave zařízení v řadě. V důsledku tohoto uspořádání nelze využívat více master zařízení současně. [17].

Modbus RTU je kompatibilní se standardem OSI/ISO a zahrnuje aplikaci, data a fyzickou vrstvu. Komunikace probíhá formou paketů obsahujících data, funkční kód určující typ požadované operace slave zařízením, adresu pro čtení či zápis dat a ID, což je typicky 8-bitová adresa komunikujícího slave zařízení. Na konci každého paketu je umístěna kontrola cyklické redundance (CRC), 2-byte dlouhá informace vypočítaná z obsahu zprávy, která zajišťuje, že zpráva dorazila kompletní a bez poškození [16].

Tabulka 8 Základní struktura přenášeného paketu pro Modbus RTU [17].

ID	Funkční kód	Adresa	-Data-	CRC
----	-------------	--------	--------	-----

4.4 Průmyslové roboty

Roboty jsou často klíčovými hráči v průmyslových odvětvích, kde se využívá pojem "průmyslový robot", i když přesná definice se v oblasti robotiky může lišit. Mezinárodní robotická asociace charakterizuje průmyslový robot jako automaticky řízený víceúčelový reprogramovatelný manipulátor se třemi a více osami, které mohou být pevné či pohyblivé, určený pro průmyslovou automatizaci. [18]

Podle doc. Ing. Ivana Havla, CSc., je robot automatický, nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní, cílově orientované interakce s přirozeným prostředím, podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí a v manipulování s předměty, popř. v pohybování se v tomto prostředí [19].

Průmyslové roboty jsou navrženy k usnadnění nebo nahrazení lidské práce v průmyslové produkci. Tyto stroje, často ve formě robotických ramen, jsou dnes běžnou součástí výrobních linek a jsou nasazovány k vykonávání opakovaných úkolů, které jsou pro lidi náročné nebo nebezpečné [18].

Průmyslové roboty, programovatelné pro různorodé činnosti jako svařování, lakování, montáž či balení, hrají významnou roli v mnoha sektorech průmyslu - od automobilového přes potravinářský, farmaceutický, elektronický až po strojírenský. Jejich nasazením se zvyšuje efektivita, rychlost a kvalita výrobních procesů, snižují se pracovní náklady a dosahuje se vyšší přesnosti a opakovatelnosti ve výrobě.

Průmyslové roboty jsou vybaveny širokou škálou senzorů, včetně tlakových snímačů, polohových a optických senzorů, díky kterým mohou vykonávat své úkoly s vysokou přesností a opakovatelností. Tyto senzory jim rovněž umožňují bezpečně manipulovat s

nebezpečnými materiály a operovat v náročných prostředích, jako jsou místa s extrémními teplotami nebo znečištěním, kde by pro člověka práce představovala riziko.

Aktuální trendy ve vývoji průmyslových robotů směřují k posilování jejich adaptability a schopnosti kooperace s lidskými operátory. Na poli spolupracujících robotů, tzv. kobotů, probíhá intenzivní vývoj za účelem vytvoření robotů, kteří mohou bezpečně pracovat po boku lidí a asistovat jim v rámci společných úkolů. Koboti jsou navrženi tak, aby byli menší a bezpečnější, což umožňuje jejich efektivní integraci do procesů, kde je potřeba člověka pro jeho kreativní a analytické schopnosti.

4.4.1 Rozdělení z hlediska řízení

Mnoho lidí si při slyšení pojmu "průmyslové roboty" vybaví typická oranžová nebo žlutá robotická ramena. Nicméně, tyto roboty představují pouze jeden typ průmyslových robotů, které obecně nazýváme manipulátory. V praxi však není striktní rozdělení mezi jednotlivými typy manipulátorů. V dnešní době se však hojně využívá třídění do tří hlavních skupin – ovládané člověkem, neměnným programem a proměnným programem [19].

- Ruční manipulační zařízení, známá také jako teleoperátory, slouží k usnadnění opakovaných operací s těžkými břemeny a mohou být buď jednoúčelové nebo víceúčelové. Nicméně, víceúčelové zařízení jsou obvykle dražší.
- Robot s pevným programem vykonává činnosti na základě předem stanoveného programu bez zásahu člověka. Ačkoli lze manipulátor nastavit v rámci jeho možností, změna pracovního cyklu je obvykle složitá a vyžaduje výměnu a úpravu konstrukčních prvků.
- Na druhé straně, robot s proměnným programem je volně programovatelný a umožňuje vysokou míru univerzality. Tyto roboty jsou schopné vykonávat různé úlohy a mohou se učit a upravovat svůj pracovní cyklus na základě senzorických systémů. Nicméně, tyto roboty jsou obvykle nejdražší.

4.4.2 Základní části průmyslových robotů

Základními částmi průmyslového robota jsou řídicí jednotka, uživatelské rozhraní a samotný robot jako celek. Toto je základní konfigurace, v níž může být robot provozován. Nicméně, lze tuto konfiguraci rozšířit o další prvky, jako jsou různé snímače, kamerové systémy a polohovací zařízení [18,19].

- Řídicí jednotka se stará o ovládání pohonů a ostatních mechanismů podle daného programu a může upravovat svůj algoritmus na základě vstupních signálů od senzorického systému.
- Uživatelské rozhraní – Teach-pendant - umožňuje interakci mezi člověkem a robotem, umožňuje kontrolu parametrů a ruční ovládání robota, a nahrazuje tak jiná zařízení jako speciální počítače připojené přes průmyslovou sběrnici.

- Průmyslový robot neboli robotické rameno, vykonává danou činnost, která je řízena řídicí jednotkou a nastavenou rychlostí v definovaných osách, přičemž snímače polohy v každé ose poskytují zpětnou vazbu o aktuální poloze robota.

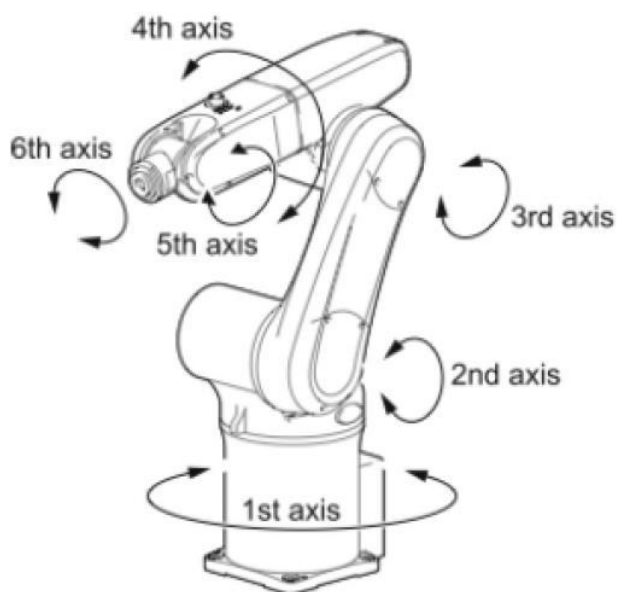


Obrázek 18 Průmyslový robot ABB, s kontrolérem a Teachpendantem

4.4.3 Konstrukční prvky robotu

Robot je mechanický stroj, který se skládá z několika dílů. Na jeho základně, která se nazývá také pata, je robot upevněn a zajištěn na své pracovní pozici. V robotu jsou také umístěny polohově říditelné servomotory s převodovkami, absolutním enkodérem, brzdou a rameny. Na konci ramen se nachází zápěstí s montážní plochou, ke kterému lze připojit nástroj, jenž se obecně označuje jako efektor.

V průmyslové robotice se vyskytují různé konfigurace os, ale většina kloubových robotů je vybavena šesti osami, také označovanými jako šest stupňů volnosti. Díky této konfiguraci mohou šestiosí roboti poskytnout větší flexibilitu a provádět širokou škálu aplikací oproti robotům s menším počtem os. Zvláště pokročilým typem robota je právě šestiosá konfigurace, která bude nyní podrobněji popsána [30] .



Obrázek 19 Pohyblivé osy robotu

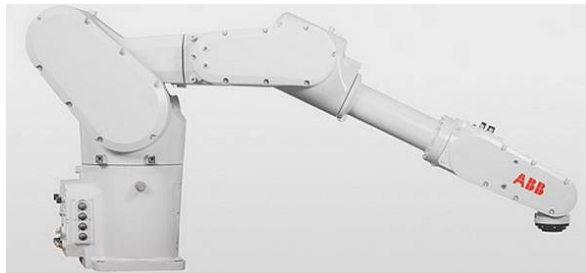
- **První osa** robota se nachází na jeho základně a umožňuje robotovi rotovat zleva doprava. Díky této ose se pracovní oblast robota rozšiřuje tak, aby zahrnovala oblasti na obou stranách i za jeho ramenem. První osa umožňuje robotovi otáčet se až o 180 stupňů od jeho středu.
- **Druhá osa** robota umožňuje dolnímu rameni posouvat se dopředu a dozadu. Je to ta osa, která řídí celý pohyb spodního ramene.
- **Třetí osa** robota rozšiřuje jeho vertikální dosah. Tato osa umožňuje hornímu rameni pohybovat se nahoru a dolů a na některých kloubových modelech umožňuje i překročit hranice těla a dále rozšířit pracovní prostor. Tato osa umožňuje hornímu rameni získat lepší přístup k pracovnímu prostoru.
- **Čtvrtá osa** robota spolupracuje s pátou osou při umístění koncového efektoru a manipulaci s pracovním materiálem. Tuto osu také nazýváme zápěstním válcem, protože umožňuje hornímu rameni pohybovat se pohyblivými částmi v kruhovém pohybu mezi horizontálními a vertikálními orientacemi.
- **Pátá osa** robota umožňuje zápěstí horního ramene sklánět se nahoru a dolů. Je to osa, která řídí pohyb v tahu a zatáčení koncového efektoru. Tato osa se pohybuje nahoru a dolů, podobně jako při otevírání a zavírání víka skříně.
- **Šestá osa** je poslední a klíčová osa robota, zodpovědná za rotaci zápěstí a umožňující mu pohybovat se volným kruhovým pohybem pro umístění koncových efektorů a manipulaci s díly. Tato osa obvykle umožňuje otáčení o více než 360 stupňů v obou směrech, což je klíčové pro dosažení přesné polohy při pracovních operacích.

4.4.4 Kinematický řetězec

Kinematika je disciplína mechaniky, která se zabývá popisem pohybu těles. V kontextu robotů se kinematika zaměřuje na popis jejich schopností v pohybu a manipulaci a současně charakterizuje jejich konstrukci. Pro popis charakteru konstrukce se používá termín "kinematický řetězec", který označuje skupinu vzájemně propojených ramen spojených pohyblivými klouby nebo vazbami.

Existují tři hlavní typy kinematických řetězců: otevřený kinematický řetězec, uzavřený kinematický řetězec a kombinace otevřeného a uzavřeného řetězce, označovaná jako smíšený. Tyto typy řetězců nám umožňují klasifikovat pohyblivost a schopnosti robota.

- **Sériová kinematika**, známá také jako otevřený kinematický řetězec, je struktura, kde jsou segmenty robota spojeny za sebou klouby, začínající od základny až po konec u zápěstí. Toto uspořádání, běžné u většiny průmyslových robotů, umožňuje robotům dosahovat vysoké flexibility v umístění jejich koncového bodu. Nicméně, tuhost takového systému bývá menší a přesnost polohování může vykazovat odchylky v řádu desetin milimetru, kde celková nepřesnost je dána součtem nepřesností jednotlivých segmentů [18][19].



Obrázek 20 Robot ABB

- **Paralelní kinematika**, spočívá v uspořádání ramen robota paralelně, což znamená, že koncový bod robota je podporován několika rameny vedoucími z jeho základny. Tato struktura, známá jako uzavřený kinematický řetězec, poskytuje vyšší tuhost a přesnost, s odchylkami v řádu setin milimetru, ale zároveň omezuje rozsah pohybu robota, činí ho vhodným pro menší operace a obecně menší ve velikosti než roboty s otevřenou kinematikou [18][19].



Obrázek 21 ABB IRB 390

- **Smíšený kinematický řetězec** představuje třetí možnost, jak konstruovat robotické manipulátory. Jedná se o kombinaci otevřeného a uzavřeného kinematického řetězce, kde některá ramena jsou propojena paralelními vzpěrami. Tato koncepce si klade za cíl kombinovat výhody sériové kinematiky (flexibilita a volnost pohybu) s výhodami paralelní kinematiky (tuhost a větší přesnost). Smíšený řetězec se využívá při vysokých zatíženích, kdy je výrazné silové působení na manipulátor. Tímto způsobem se snaží minimalizovat výsledné nepřesnosti a zajistit, aby robot dokázal pracovat přesně a efektivně [19][18].



Obrázek 22 ABB IRB 660

4.4.5 Kinematická dvojice

Vazba označuje spojení dvou pohyblivých ramen robota na určitém místě. V praxi se nejčastěji vyskytují dvě typy vazeb - rotační, označovaná jako R, a translační nebo posuvná, označovaná jako T. Pro dosažení libovolné polohy koncového bodu potřebujeme nejméně tři polohovatelné osy a další tři osy pro orientaci. K tomu využíváme pět základních kinematických struktur, které nám zároveň umožňují charakterizovat pracovní prostor robota.

- **TTT** – Kartézská kinematická struktura zahrnuje tři translační kinematické dvojice, což umožňuje posun ve všech osách.
- **RTT** – Cylindrická kinematická struktura vytváří část pracovního prostoru ve tvaru válcového prstence, s jednou rotací a dvěma posuny.
- **RRT** – Sférická kinematická struktura, někdy nazývaná částí kulového vrchlíku, poskytuje dvojí rotaci a jeden posun.
- **SCARA** je zvláštní případ RRT struktury, jejíž pracovní prostor není ve tvaru kulového vrchlíku, ale spíše v geometrickém tvaru válce.
- **RRR** – Angulární kloubový robot, který je typickou strukturou, kterou si většina lidí spojuje s průmyslovými roboty. Je tvořen pouze rotačními vazbami.

5 Praktická část práce

Nosnou myšlenkou této kapitoly je navržení řešení, které umožní komunikaci mezi programovatelným logickým automatem (PLC) a tryskacím zařízením ColdJet prostřednictvím komunikačního protokolu Modbus. Toto řešení má za cíl nejen automatizovat proces tryskání suchým ledem, ale také zvýšit jeho efektivitu a spolehlivost tím, že umožní přesnější kontrolu nad parametry tryskání, jako jsou tlak, teplota a rychlost podávání ledových částic.

Integrace PLC a tryskacího zařízení pomocí Modbusu představuje klíčový krok k dosažení vyšší úrovně automatizace a inteligentního řízení výrobních procesů. Toto řešení bude zkoumáno z hlediska jeho technické proveditelnosti, potenciálních výhod pro výrobní proces a možných výzev, které bude nutné překonat při jeho implementaci.

5.1 Analýza současného stavu

V současné době se na pracovišti Bucher 2, které je součástí oddělení termosetické lisovny (LPP) se nachází klíčová sestava pro výrobu LED modulů. Toto pracoviště využívá automatizovaný systém skládající se ze vstřikovacího lisu, robotů, tryskacího zařízení a je řízeno pomocí PLC systému. S rostoucí poptávkou po LED modulech se zvyšuje tlak na efektivitu a kvalitu výrobního procesu. Nosný rám, zásadní komponenta montovaná do světlometů, je vyráběn z termosetu (BMS) kvůli jeho vlastnostem jako tepelná odolnost a tvarová stabilita, avšak materiál vyžaduje specifické zpracování včetně mechanického opracování a odstranění přetoků. Vzhledem k narůstajícímu počtu odvolávek je nezbytná další optimalizace procesů na tomto pracovišti pro zajištění vyšší efektivity a snížení počtu odvolávek.

5.1.1 Termosetická lisovna

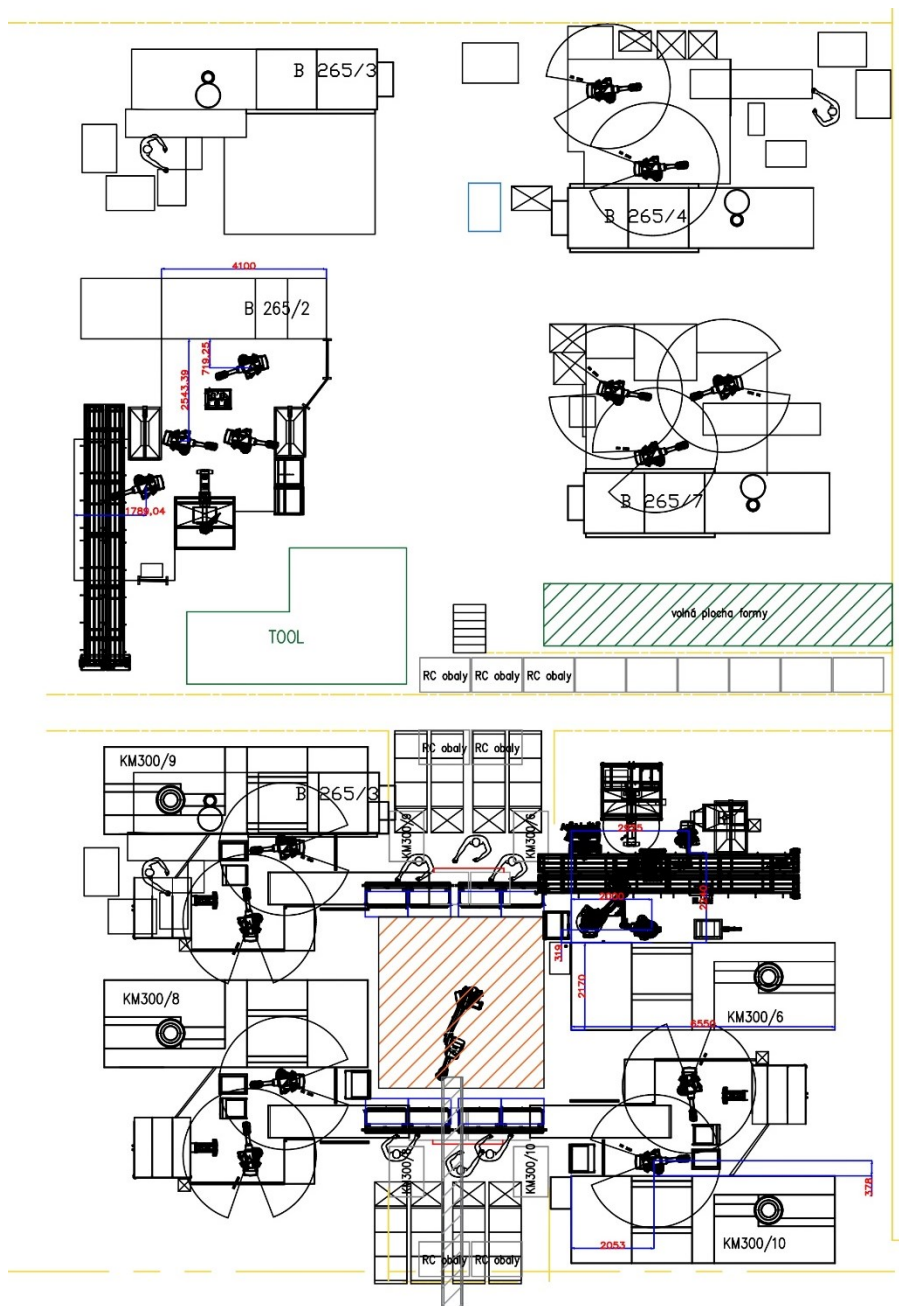
Výrobní středisko je vybaveno šesti nezávislými automatizovanými pracovišti, z nichž každé je vybaveno termosetickými vstřikovacími lisovacími stroji.

Pro dopravu vstupního materiálu do jednotlivých lisů slouží centrální přívod, který zajišťuje konstantní dodávku již předsušeného granulátu. Tento systém minimalizuje ztráty materiálu, umožňuje efektivní využití surovin a eliminuje potřebu ručního navážení materiálu, čímž také uvolňuje prostor ve výrobním prostředí.

Důležitou součástí výrobního procesu jsou průmyslové roboty, které najdeme v každé výrobní buňce. Tyto roboty jsou vybaveny vyměnitelnými úchopnými hlavicemi, což umožňuje precizní manipulaci s plastovými výstřiky a optimalizuje výrobní operace.

V některých buňkách se provádí také čištění plastových otřepů. Tato operace zahrnuje mechanické čištění pomocí kartáčů a využití metody čištění suchým ledem. Suchý led je preferován pro svou schopnost sublimace, což znamená, že se při kontaktu s povrchem rychle přeměňuje z pevného stavu na plyn, čímž odpadá potřeba dodatečného sušení nebo odstraňování chemických zbytků.

Celkový výrobní proces je monitorován pomocí systému ITAC, který je integrován do firemního MES systému, což umožňuje efektivní sledování a řízení výrobních operací.



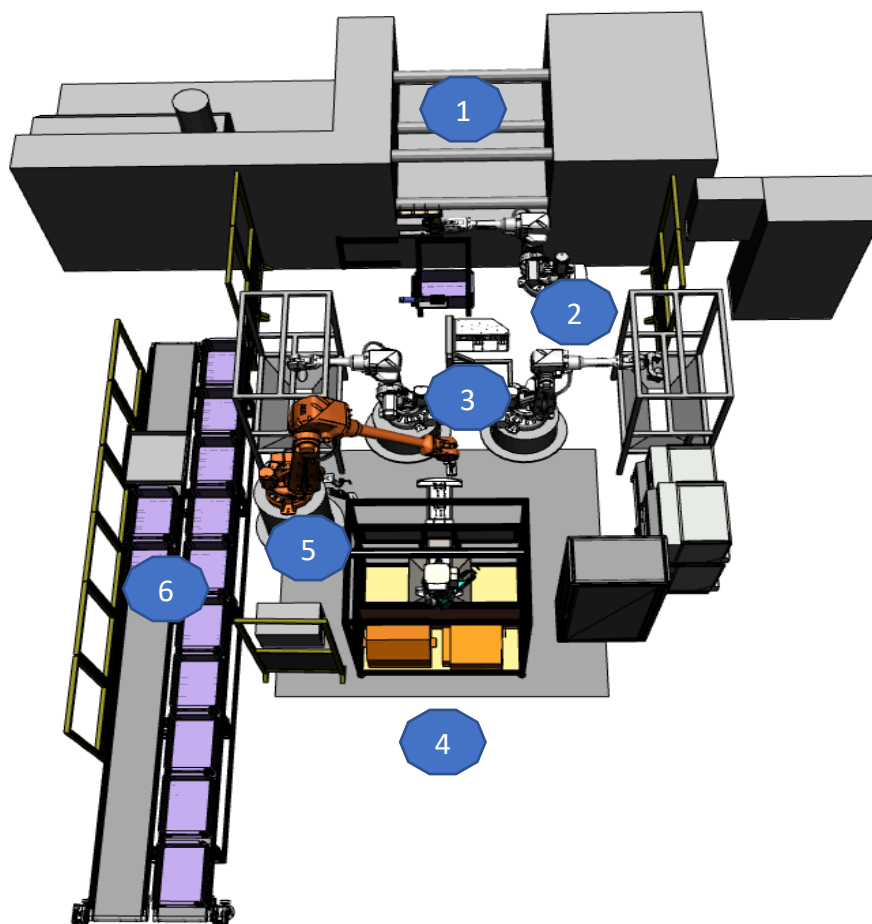
Obrázek 23 Layout termosetické lisovny

5.1.2 Zhodnocení Bucher II

V následující části práce se zaměřím na současný stav pracoviště, kde dochází k vstřikování termosetických materiálu typu BMC za účelem výroby reflektoru či nosnému rámu LED modulu při výrobě automobilového světlometu.

Jako pilotní projekt pro zavedení automatizovaného tryskání suchým ledem bylo vybráno pracoviště s názvem BUCHER II. Toto pracoviště se skládá z několika samostatných strojů, které společně tvoří automatizovanou skupinu.

V této skupině začíná proces výroby u vstřikovacího lisu (1), který vyrábí plastové komponenty jako nosné rámy pro LED moduly nebo reflektory. Následně tyto komponenty odebere robot (2), který se postará o odstranění přebytečných vtoků a jejich první čištění pomocí kartáčů. Poté jsou komponenty předány dalšímu robotu (3), jež na čistící stoličce odstraňuje otřepy. Dále robot (3) předává čištěné díly na otočný stůl tryskací buňky (4), kde se nachází další robot vybavený tryskacím zařízením ColdJet zajišťující finální čištění. Po dokončení tohoto kroku se otočný stůl tryskací buňky (4) otočí zpět a robot (5) umístí díly do beden na dopravním pásu (6). Celý tento proces je automatizovaný pomocí systému PLC. Celá automatizovaná skupina je ohraničena oplocením, které tvoří bezpečnostní prostor této skupiny.

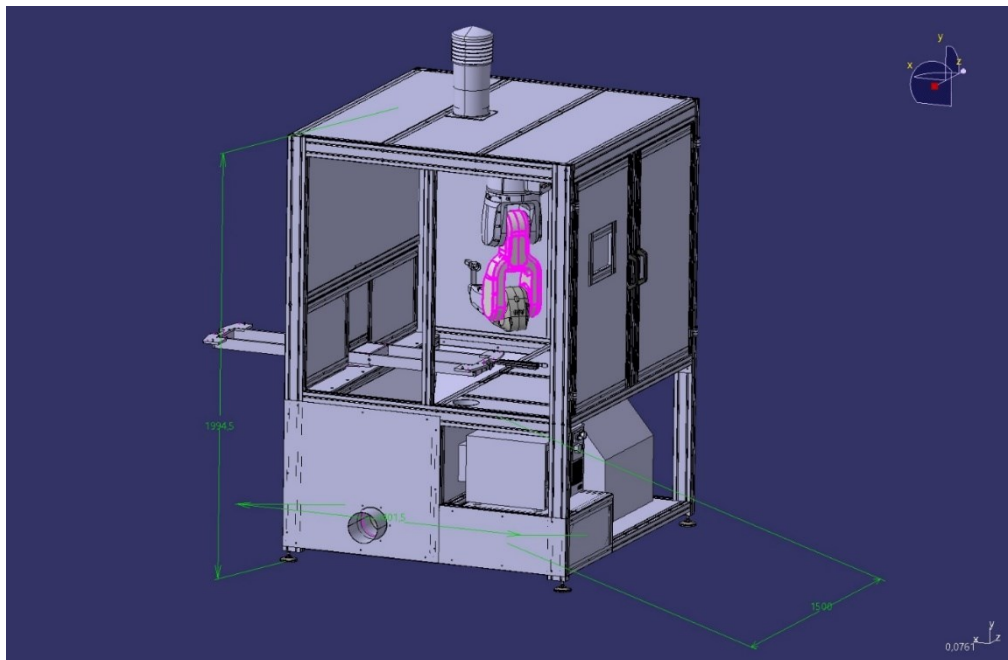


Obrázek 24 Bucher II

5.1.3 Tryskací kabina

Jedná se o zvukově izolovanou kabínu, která je smontována z hliníkových profilů, což zajišťuje pevnou a odolnou konstrukci. Uvnitř kabiny se nachází otočný stůl, který je rozdělen na poloviny. Jedna polovina stolu je umístěna v kabině, kde je opracován plastový výstřik, zatímco druhá polovina stolu je připravena k založení dalšího vstříku, čímž je zajištěno vyvážení pracovního procesu.

V tryskací kabině je zavěšen trykací robot IRB 1200 od společnosti ABB. Jako efektor robota je připevněna tryska od trykacího zařízení PCS60 od firmy ColdJet, které je určeno pro čištění plastových výrobků pomocí suchého ledu.



Obrázek 25 Model trykací kabiny



Obrázek 26 Pohled do trykací kabiny

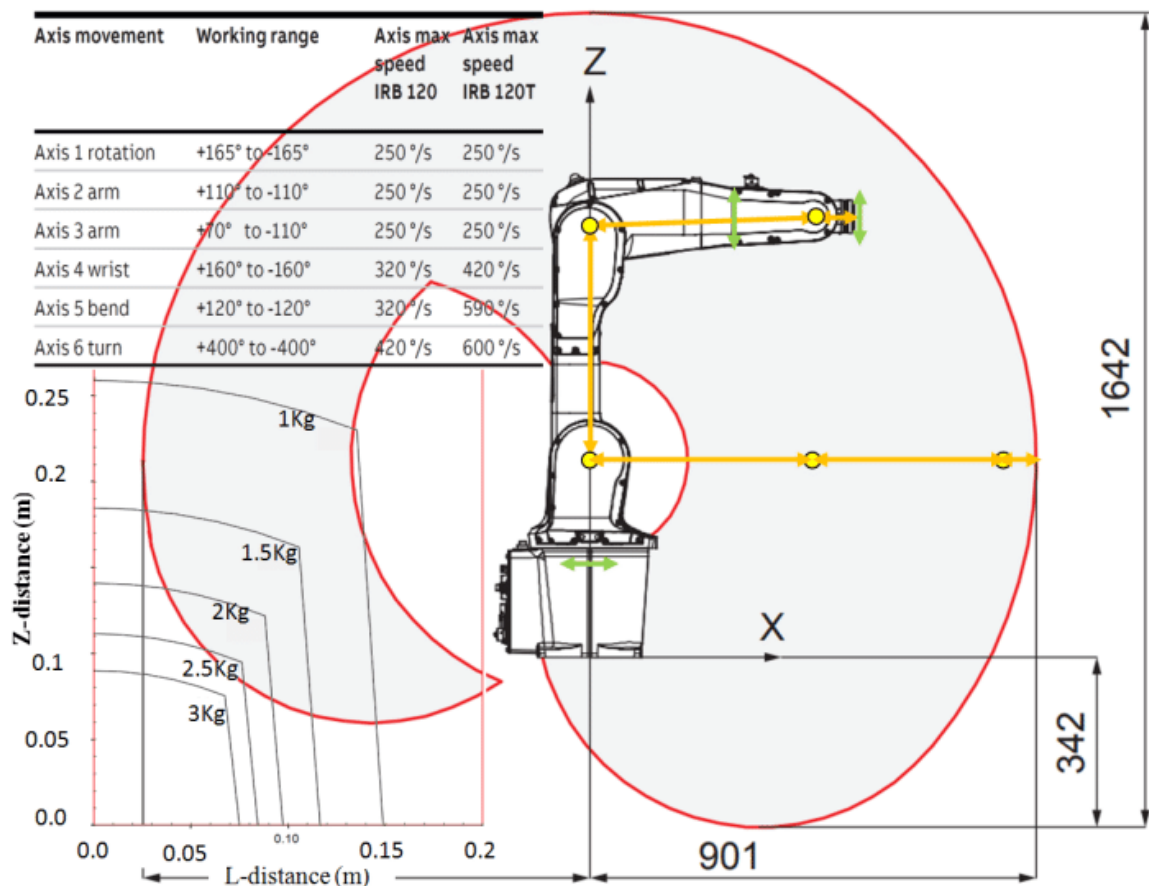
Po založení plastového výstřiku a otočení stolu do kabiny, PLC vysílá signál přes diskretní výstup do tryskacího zařízení, čímž se spouští proces tryskání. Současně je poslán signál do tryskacího robota, který zahájí tryskací sekvenci a robot kolem výstřiku opisuje trajektorii. Jakmile je tryskací sekvence dokončena, robot odesílá signál zpět do PLC, oznamující, že tryskání je hotovo. Na základě této zpětné vazby je tryskání vypnuto a může dojít k otočení stolu.

Avšak, stávající systém nedostává zpětnou vazbu ohledně provozu tryskacího zařízení, což může způsobit situace, kdy se výrobek netryská, ačkoliv by měl. Aby se tomu předešlo, je třeba implementovat mechanismus zpětné vazby, který by monitoroval stav tryskacího zařízení a informoval PLC o jeho provozu. Takový mechanismus by umožnil PLC reagovat a přizpůsobit se situaci, což by zajistilo správné provedení výrobního procesu a minimalizovalo možné problémy.

Dalším úskalím je, že není možné adaptivně měnit parametry tryskacího zařízení (tlak, velikost částic atd.) během provozu, což brání možnosti reagovat na odchylky a optimalizovat spotřebu CO₂. Parametry tryskacího zařízení se nastavují univerzální, což má za následek, že problematické pasáže opracování jsou řešeny opakovaným přejetím tryskací hlavy nad otřepem, což prodlužuje výrobní cyklus a zvyšuje spotřebu energie.

5.1.4 Robot v tryskací kabině IRB 1200

Robot ABB IRB1200 s nosností 5 kg a dosahem 900 mm je umístěn v tryskací kabině s orientací „vzhůru nohama“. Proces tryskání je realizován pomocí trysky napojené na zařízení ColdJet. Ovládání a koordinace pohybů robota jsou řízeny kontrolérem IRC5. Jeho kinematická struktura je definována otevřeným kinematickým řetězcem sestaveným z pevných článků spojených rotačními klouby (šest os), které tvoří kinematické dvojice typu "RRR" což robotu umožňuje komplexní manipulaci a orientaci trysky pro přesné cílení na specifické části obrobku. IRC5 podporuje programování v jazyce RAPID.



Obrázek 27 Technické schéma robotického ramene ABB IRB 1200

Schématem jsou ukázány rozsahy pohybu, pracovní oblast a maximální rychlosti pohybu pro jednotlivé osy ramene. Je zde vyznačeno šest os, každá s určenými rozsahy a rychlostmi. Například, osa 1 může být otáčena od +165° do -165° s maximální rychlostí 250°/s. V levé dolní části je graf, kterým je ilustrována závislost nosnosti na polohách v prostoru L-Z, kde je nosnost snižována s rostoucí vzdáleností od středu robota. Rovněž jsou na schématu vyznačeny rozměry pracovní oblasti robota, a to maximální dosah ve vodorovné rovině (901 mm) a ve vertikální rovině (1642 mm). Silueta robotického ramene je také prezentována s vyznačenými osami otáčení.

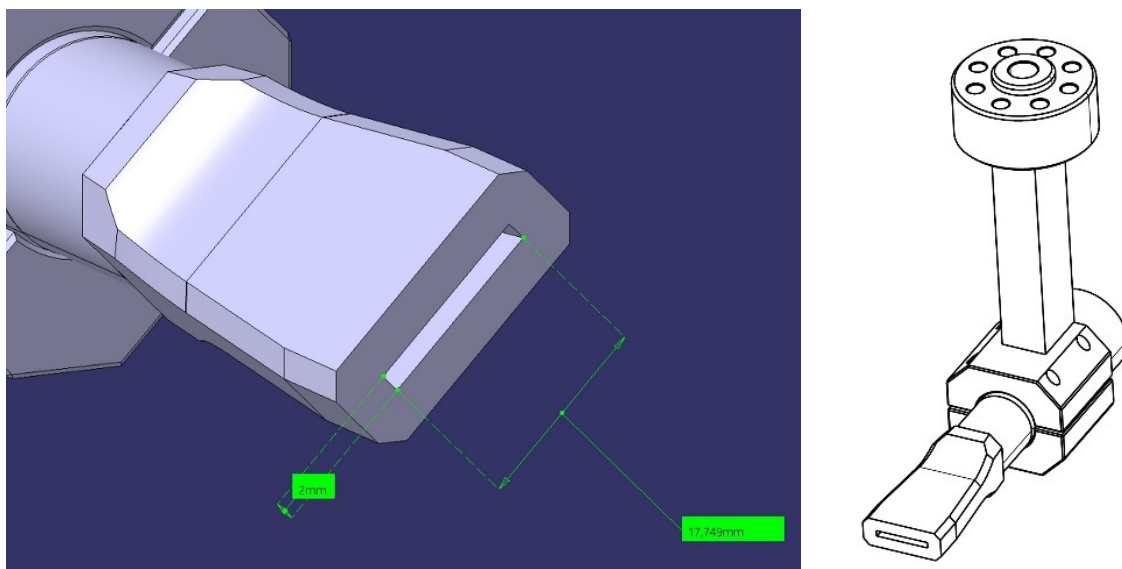
- **Efektor robotu**

Efektor robotického ramene je speciálně navržen pro efektivní odstranění otřepů pomocí suchého ledu, což minimalizuje plýtvání surovinami (CO₂, vzduch). Velikost otvoru v trysce jsou 2 mm a délka trysky je 17.74 mm.

Konstrukce uchycení trysky k přírubě je robustní a zajišťuje pevnost spojení, což je klíčové pro zachování přesnosti a stability pohybu efektoru při jeho operaci. Konstrukce naznačuje pevné a spolehlivé uchycení, které odolává vysokému mechanickému zatížení a vibracím během práce.

Materiál trysky je z nerezové oceli typu 316 tato ocel je vhodná pro použití v prostředí, kde proudí suchý led, neboť zajišťuje dlouhodobou odolnost a stabilitu i při kontaktu s extrémně nízkými teplotami a abrazivním materiálem.

Připojení hadice k efektoru je kritickým bodem, protože musí zvládat nejen mechanický tlak v důsledku průtoku suchého ledu, ale také musí být dostatečně flexibilní, aby umožňovalo různé polohy a úhly robotického ramene během práce



Obrázek 28 Detail trysky a pohled na celý efektor

5.2 Automatizované tryskání suchým ledem

Tryskácké zařízení Cold Jet PCS60, navržené pro začlenění do automatizovaných výrobních procesů, přináší nový přístup k řízení a optimalizaci čisticích operací. S využitím rozhraní MODBUS, které slouží jako volitelné rozšíření, toto zařízení umožňuje uživatelům adaptivně měnit provozní parametry v reakci na aktuální potřeby a požadavky produkce.

Adaptivní řízení zahrnuje flexibilitu v nastavení klíčových proměnných, jako jsou spotřeba suchého ledu, velikost částic, tlak vzduchu a další provozní data. Tato flexibilita umožňuje zařízení reagovat na variabilitu výrobních procesů a přizpůsobit se jim tak, aby byla zachována efektivita a kvalita čištění. V situacích, kdy je potřeba přejít z automatizovaného na manuální ovládání, zařízení PCS60 nabízí možnost bezproblémového přechodu, což zajišťuje neustálou operativnost výrobních linek.

Toto zařízení je konstruováno s ohledem na širokou škálu průmyslových aplikací. Jeho schopnost efektivně odstraňovat otřepy a jiné nečistoty představuje značnou úsporu času a zdrojů pro výrobní podniky. Automatizace procesu odstranění nečistot má za následek zrychlení výrobních cyklů, zvýšení kvality finálních produktů a omezení výrobních prostojů. Dále umožňuje přesun pracovních sil k úkolům, které přinášejí vyšší přidanou hodnotu.

Kromě přímých výhod v oblasti výrobní efektivity a kvality, adaptivní řízení PCS60 umožňuje lepší správu dat a vzdálený monitoring zařízení díky propojení s platformou Cold Jet Connect. Tato vlastnost zvyšuje přehled o provozu zařízení a umožňuje rychlou reakci na potenciální problémy.



MACHINE DIMENSIONS

Length x Width x Height:
39 in (99 cm) x 19 in (48 cm) x 45 in (114 cm)
Weight: 269 lb (122 kg)

POWER REQUIREMENTS

110/220V AC (50/60 Hz)

Compliant with the EU Machinery Directive (CE)
and UL Design Standards

HOPPER CAPACITY

60 lb (27 kg)

HMI DISPLAY

7" LCD Color Screen

FEED RATE

Variable - up to 4 lb/min
(1.8 kg/min)

PARTICLE CONTROL SYSTEM

Variable Dry Ice Size: 3mm - 0.3mm
Utilizes 28 distinct dry ice particle sizes

BLAST PRESSURE RANGE

20 - 145 psi (1.4 - 10 bar)

COMPRESSED AIR SUPPLY

40 - 145 psi (2.8 - 10 bar)

NOZZLE AIR CONSUMPTION

12 - 100 cfm (0.3 - 2.8 m³/min)
at 80 psi (5.5 bar)

BLAST FLOW PATH

3/4" Straight Through Tubing

SUREFLOW

Thumper, Ramrods, Electric Vibrator
"Always-On" Hopper Agitation

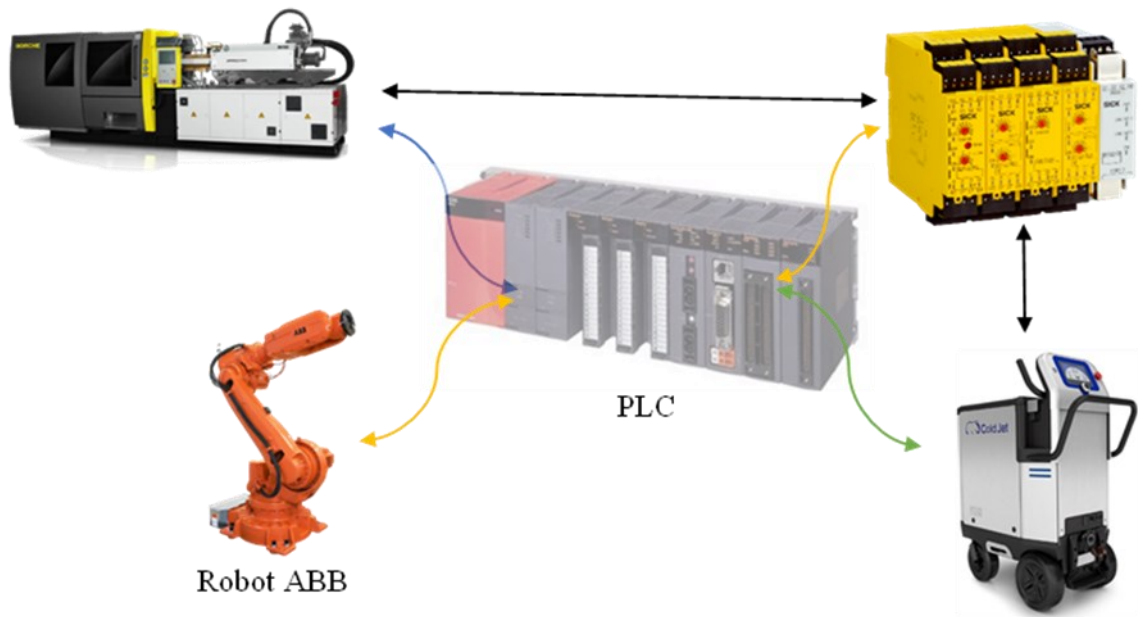
Obrázek 29 Zařízení ColdJet PCS60 a jeho parametry [22]

5.3 Varianta A – integrace pomocí PLC

PLC je nadřazeným zařízením (master), zatímco tryskací zařízení ColdJet PCS 60 je mu podřízeno (slave). Tyto zařízení spolu mohou komunikovat pomocí protokolu Modbus RTU, který je aplikován na sériové rozhraní RS-485. Modbus RTU funguje jako prostředník při předávání zpráv, hlášení a příkazů mezi PLC a tryskacím zařízením. Tryskací zařízení je začleňováno do automatizační skupiny s PLC, vstříkolisem, řídicím panelem (HMI) a roboty ABB.

Po aktivaci automatického módu provozu bude PLC jako nadřazené zařízení schopno sledovat a ovládat funkcionality tryskacího zařízení a jeho bezpečnostní okruh. Náležitý seznam mapovacích adres protokolu Modbus je součástí přílohy. Tento seznam adres umožňuje PLC sledovat stav, upravovat nastavení a zapínat nebo vypínat funkce tryskacího zařízení. Pro převzetí kontroly nad tryskacím zařízením je třeba nastavit spojení mezi PLC

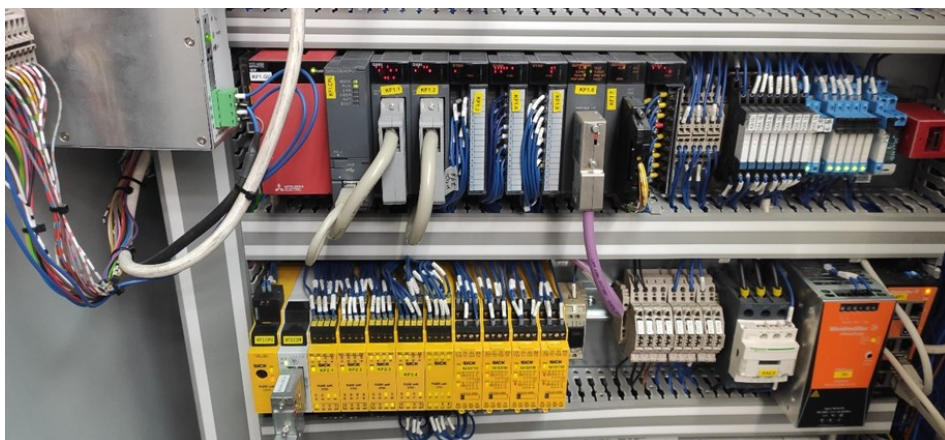
a tryskacím zařízením. Diagram na obrázku 30 poskytuje náhled, jak by mohlo tryskací zařízení PCS 60 být začleněno do automatizační skupiny.



Obrázek 30 Blokové schéma propojení

5.3.1 Zhodnocení navrhovaného řešení

Po otevření hlavního rozvaděče skupiny je vidět, že systém je postavený na PLC Mitsubishi Melsec Q series. Z rozložení zapojení je zřejmé, že není možné jednoduše přidat komunikační kartu z důvodu maximálního obsazení základny (Q38B - max 8 modulů), nebo výměnou základny za větší z důvodu omezeného prostoru v rozvaděči. Nejjednodušší možné řešení je propojit použitou základnu se základnou novou např. Q52B pomocí speciálního konektoru QC12B a umístit ji do volného prostoru. Do nové základny je poté možno zasunout komunikační kartu MODBUS (QJ71MB91). Jakmile dojde k rozšíření PLC a elektrickému propojení je nutné zapojit i bezpečnostní obvody.



Obrázek 31 Detail řídicího systému

Při analýze programu PLC, bylo zjištěno, že program je tzv. Simple project to znamená, že je program psaný buď pomocí Ladderu nebo SFC. Nevýhoda tohoto režimu je, že program je velmi špatně čitelný, není možné používat programové funkce a proměnné je třeba definovat ručně dle paměťového prostoru PLC. Bohužel program není možné konvertovat do pokročilejšího režimu Structured project a využít tak veškerých funkcí, který tenhle režim nabízí, ale je tu alespoň možnost vytvořit Structured project s programem ze Simple režimu a je tedy možné vytvořit hybridní režim, kde zůstane zachován starý program a současně nový program bude mít všechny funkcionality Structured projekut. V tomhle hybridní režimu je úskalí, že se musí změnit automatické přidělování datového prostoru.

PLC komunikuje přes protokol Profibus s bezpečnostním PLC SICK, do kterého jsou přivedeny bezpečnostní signály celé skupiny, a tedy nebude ani výjimkou přivedení bezpečnostních kontaktů z tryskacího zařízení ColdJet. Rovněž je nutná i změna programu bezpečnostního PLC.

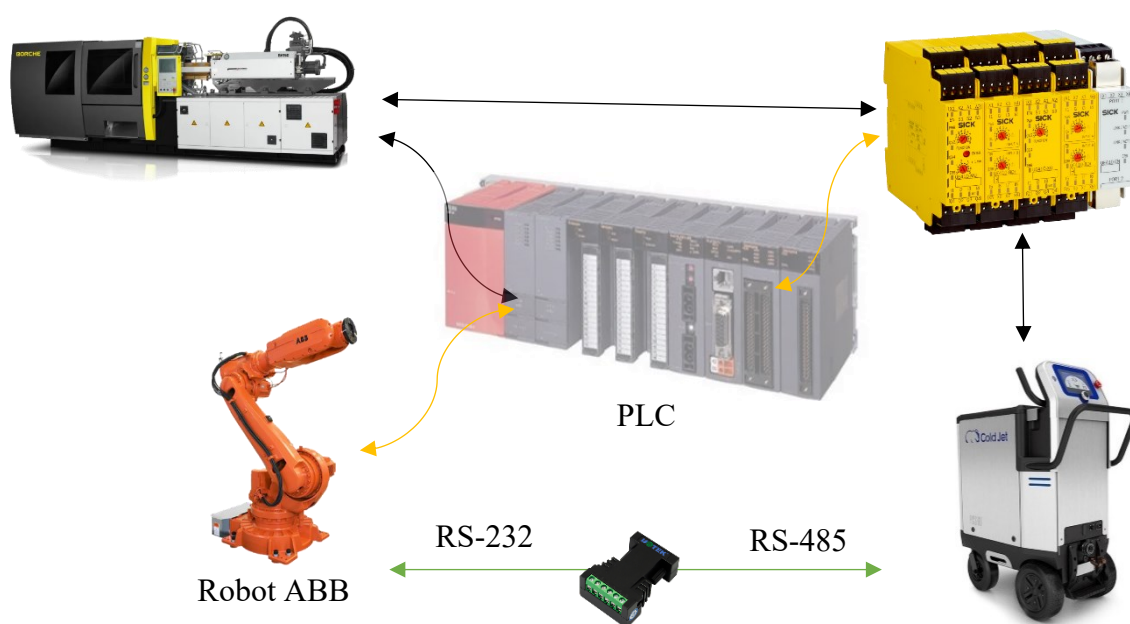
V neposlední řadě je nutné naprogramovat předávání tryskacích parametrů mezi robotem a PLC. Robot je již propojen s PLC pomocí Profibusu. Pro lepší vizualizaci a snadnější předávání parametrů je nutné naprogramovat i ovládací panel PLC.

Ekonomická stránka tohoto řešení spočívá v nákupu rozšiřovací desky Q52B v hodnotě 100€. Zbylé komponenty jsou již v majetku společnosti tudíž je není třeba kupovat.

5.4 Varianta B – integrace pomocí průmyslového robota ABB

V tomto případě je robot nadřazeným zařízením (Master), zatímco tryskací zařízení PCS 60 je mu podřízeno (Slave). Tyto zařízení spolu nemohou komunikovat přímo pomocí protokolu Modbus RTU, protože neexistuje pro robot obce, která by uměla na HW úrovni protokol MODBUS RTU. Možností jak tenhle na první pohled neřešitelný problém vyřešit je využít sériovou linku a jelikož Modbus je volně dostupný protokol, tak je možné ho naprogramovat svépomocí.

Po aktivaci automatického módu provozu bude robot jako nadřazené zařízení schopno sledovat a ovládat funkcionality tryskacího zařízení. Diagram v obrázku 32 poskytuje náhled, jak by mohlo tryskací zařízení PCS 60 být začleněno do automatizační skupiny.



Obrázek 32 Blokové schéma propojení

5.4.1 Zhodnocení navrhaného řešení

Hlavní výhodou takové struktury je to, že zde není potřeba využívat PLC automatu a řízení tryskacího zařízení probíhá v paralelní rutině k rutině obsluhy ramene. Z toho vyplývá, že není třeba žádná změna řídicího programu viz řešení A

Nevýhodou takového řešení je hlavně to, že při nutnosti jakékoliv změny musí dojít k úpravě programu robotu. Dále jedná se spíše o řešení pro takzvanou tvrdou automatizaci, jelikož pro jakýkoliv sled operací je nutné napsat celý program.

Tryskací zařízení využívá sběrnici RS-485 jenž je jeden ze standardů sériové linky, kterou je vybaven i robot, bohužel pro nás ve standartu RS-232. RS-485 má podobný základ jako RS-232, ale odlišuje se od něj v definici napěťových úrovní, nepřítomnosti modemových

signálů a schopnosti vytvářet uzly. Jednou z výhod RS-232 je, že lze jednoduše převést linku RS-232 na RS-485 pomocí převodníku úrovně.

5.5 Srovnání variant

Varianty A a B představují dva odlišné přístupy k řízení tryskacího zařízení v automatizovaném výrobním procesu. Zde je porovnání obou variant:

- **Společné body:**
 - Obě varianty se snaží automatizovat proces tryskání výrobního procesu
 - Oba přístupy zahrnují využití PLC jako centrálního řídicího zařízení.
 - Obě varianty řeší způsob komunikace mezi PLC a tryskacím zařízením, které je závislé na protokolu Modbus RTU.

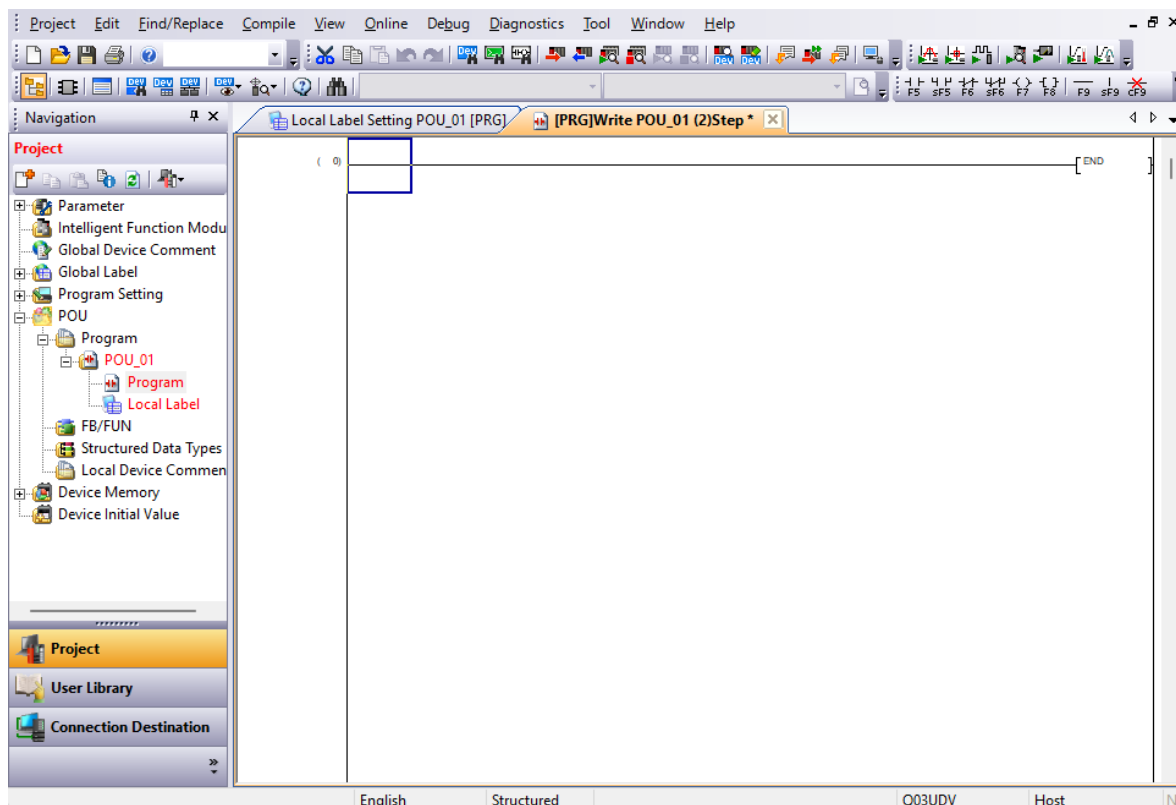
- **Rozdíly:**
 - Varianta A využívá standardní komunikační rozhraní MODBUS, zatímco varianta B vyžaduje specifické programové řešení
 - Varianta A umožňuje snadnější rozšíření systému o další zařízení a funkce díky použití standardních průmyslových rozhraní a protokolů

5.6 Použité programové vybavení IQ WORKS 2

IQ Works představuje integrované softwarové prostředí od společnosti Mitsubishi Electric, navržené pro efektivní vývoj, konfiguraci a údržbu širokého spektra automatizačních systémů. Tato platforma zastřešuje několik klíčových softwarů od Mitsubishi, včetně GX Works2 pro programování PLC, GT Designer3 pro návrh rozhraní HMI, a dalších nástrojů jako FR Configurator pro nastavení pohonů. Díky této komplexní sestavě poskytuje IQ Works ucelené řešení pro vývojáře a inženýry, které zjednodušuje a zrychluje realizaci automatizačních projektů.

5.6.1 GX Works2

GX Works2 je sofistikované vývojové prostředí od Mitsubishi Electric, určené k programování, údržbě a ladění PLC. Tento nástroj poskytuje inženýrům a vývojářům širokou škálu funkcionalit a nástrojů pro efektivní práci na automatizačních projektech. Díky podpoře mnoha programovacích jazyků a integrovatelnosti s dalšími produkty Mitsubishi Electric je GX Works2 ideálním řešením pro komplexní projekty v oblasti průmyslové automatizace.



Obrázek 33 Programovací nástroj GX Works2

Popis základních nabídek v GX Works2

- **Parameter**

Sekce Parameter nabízí rozsáhlé možnosti pro konfiguraci PLC parametrů. Umožňuje uživatelům přizpůsobit nastavení paměti pro různé typy registrů, konfigurovat adresaci funkčních modulů a nastavovat síťové parametry. To zahrnuje detailní správu paměťových bloků, což je klíčové pro efektivní využití zdrojů PLC a snadnou integraci s ostatními prvky systému.

- **Intelligent Function Module**

V nabídce Intelligent Function Module lze spravovat inteligentní funkční moduly, které jsou nezbytné pro specifické aplikace, jako je zpracování signálů nebo komunikace. Každý modul přichází s vlastní sadou přepínačů a parametrů, které je možné jednoduše nastavit a upravovat, což usnadňuje rychlé zapojení a konfiguraci složitých funkcí.

- **Global Label**

Global Label představuje inovativní způsob správy globálních proměnných v projektu. Nabízí tabulkové rozhraní pro přidávání, editaci a organizaci proměnných, čímž se výrazně zvyšuje efektivita práce s daty a snižuje riziko chyb při programování.

- **Program Setting**

Sekce Program Setting je nezbytná pro správu a organizaci všech částí programu určených k vykonání. Rozčlenění do podsekcí umožňuje lepší orientaci ve struktuře programu a efektivnější správu jednotlivých programových bloků.

- **POU (Program Organization Unit)**

POU slouží k organizaci a správě všech částí programu. Nabídka podporuje použití různých programovacích jazyků, což poskytuje vývojářům flexibilitu ve výběru nejvhodnějšího jazyka pro danou aplikaci. Díky "Local Label" mohou uživatelé efektivně spravovat lokální proměnné a zvyšovat tak přehlednost svého kódu.

Vybrané Typy Projektů v GX Works2

Při vytváření nového projektu v GX Works2 mají uživatelé na výběr mezi dvěma typy projektů:

- **Simple Project**

Umožňuje programování pomocí jazyků Ladder a SFC, což je ideální pro jednodušší aplikace a projekty, kde je předností rychlost a přehlednost.

- **Structured Project**

Poskytuje podporu pro širší spektrum programovacích jazyků, včetně Ladder, ST (Structured Text), SFC, Structured Ladder/FBD, IL (Instruction List) a Not Specify. Tato možnost je vhodná pro komplexnější projekty, kde je potřeba větší flexibility a pokročilého programovacího paradigmatu. V rámci této práce byl využit jazyk Structured Ladder/FBD, což umožňuje efektivní kombinaci logického programování s vizuální přehledností, což je klíčové pro návrh složitějších kontrolních a automatizačních systémů.

Význam Programovacích Jazyků v GX Works2

- **Ladder Diagram (LD)**

Tento jazyk využívá grafické znázornění elektrických schémat a je velmi intuitivní pro techniky zvyklé na tradiční elektrické diagramy. Ideální pro jednoduché logické řízení.

- **Structured Text (ST)**

Textově orientovaný jazyk podobný Pascalu nebo C, který je vhodný pro komplexní výpočty a zpracování dat, kde grafické programovací jazyky nejsou dostatečně efektivní.

- **Sequential Function Chart (SFC)**

Poskytuje metodiku pro organizaci programu do kroků a přechodů, což usnadňuje vizualizaci procesních sekvencí a stavových strojů.

- **Function Block Diagram (FBD)**

Jazyk založený na blokovém diagramu, který umožňuje uživatelům vizuálně propojit funkční bloky a vytvářet složité kontrolní algoritmy.

- **Instruction List (IL)**

Podobný assembleru, tento nízkourovňový programovací jazyk umožňuje přímou kontrolu nad hardwarem a je vhodný pro situace, kde je vyžadována maximální efektivita a minimalizace zpoždění.

Rozšířené Nástroje a Funkce GX Works2

GX Works2 nejenže nabízí rozmanité programovací jazyky a flexibilní typy projektů, ale také obsahuje pokročilé nástroje pro ladění, diagnostiku a simulaci, což značně zvyšuje produktivitu vývojářů:

- **Debugger**

Umožňuje krokování programu, sledování proměnných a diagnózu chyb v reálném čase.

- **Online Monitoring**

Poskytuje možnost sledovat běh programu v reálném čase přímo v PLC, což umožňuje rychlou diagnostiku a optimalizaci.

- **PLC Simulátor**

Simulátor PLC umožňuje testování a ladění programů před jejich fyzickou implementací, což snižuje riziko chyb a zkracuje vývojový cyklus.

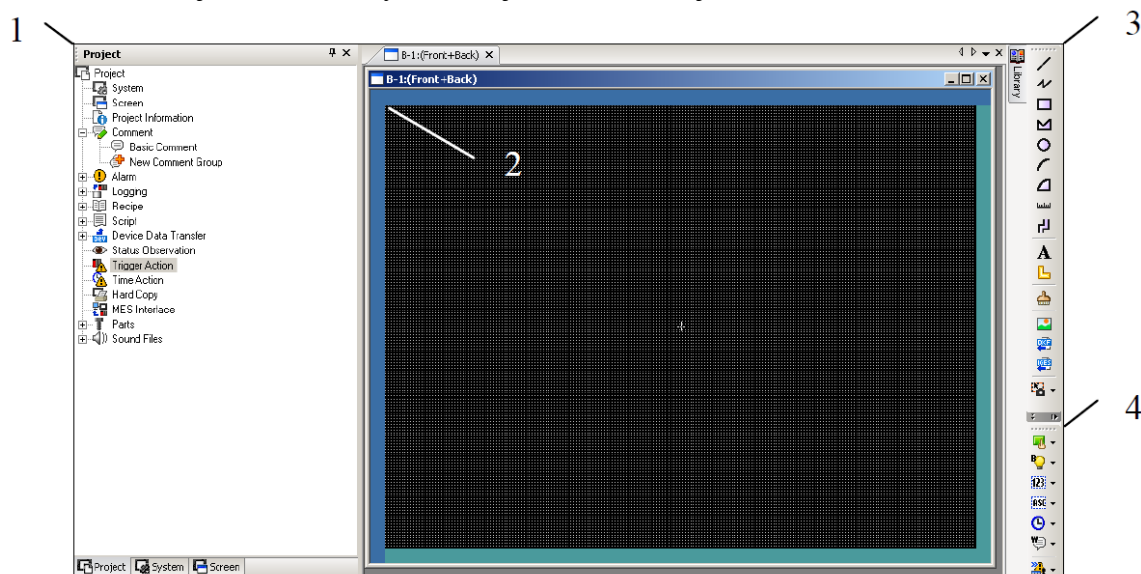
V kombinaci tyto nástroje a funkce činí GX Works2 vysoce efektivním a flexibilním řešením pro návrh, vývoj a údržbu automatizačních systémů. Umožňuje inženýrům a programátorům přizpůsobit se rychle měnícím se požadavkům projektů a zvyšuje šance na úspěšné dokončení složitých automatizačních a kontrolních úloh.

5.6.2 GT Designer3

GT Designer3 je pokročilý nástroj pro návrh a programování operátorských panelů (HMI - Human Machine Interface) v rámci systémů průmyslové automatizace. Jeho hlavním úkolem je umožnit efektivní a intuitivní tvorbu uživatelských rozhraní, která zprostředkují komunikaci mezi člověkem a strojem. S pomocí GT Designer3 mohou vývojáři a designéři snadno vytvářet vizuálně atraktivní a funkčně bohaté obrazovky, které zlepšují ovládání a dohled nad automatizovanými procesy.

Klíčové Komponenty GT Designer3

Na obrázku 34 jsou očíslovány následující části nástroje:



Obrázek 34 Programovací nástroj GT Designer3

1. Navigační Oblast

V navigační oblasti se uživatelům otevírá přístup k základním nabídkám, které jsou nezbytné pro konfiguraci a správu projektu:

- **System**
Tato nabídka umožňuje nastavení základních parametrů panelu, včetně typu panelu, počtu barev, komunikačních nastavení a konfigurace ovladačů.
- **Screen:**
Slouží k správě obrazovek panelu, umožňuje vytváření, editaci a organizaci jednotlivých obrazovek, které tvoří uživatelské rozhraní.
- **Comment:**
Nabízí možnosti pro správu komentářů a jejich skupin, což je klíčové pro dokumentaci a přehlednost projektu.

2. Obrazovka Panelu

Centrální pracovní prostor, kde se vytvářejí a upravují obrazovky operátorského panelu. Uživatelé zde mohou aplikovat různé vizuální elementy, texty a ovládací prvky, aby vytvořili uživatelsky přívětivé rozhraní pro automatizované systémy.

3. Panel Nástrojů – Figure

Obsahuje kreslicí a popisovací nástroje, které umožňují designérům vytvářet grafické elementy, jako jsou tlačítka, ikony, obrázky a různé geometrické tvary. Tyto elementy jsou základem pro vizuální aspekty obrazovek HMI.

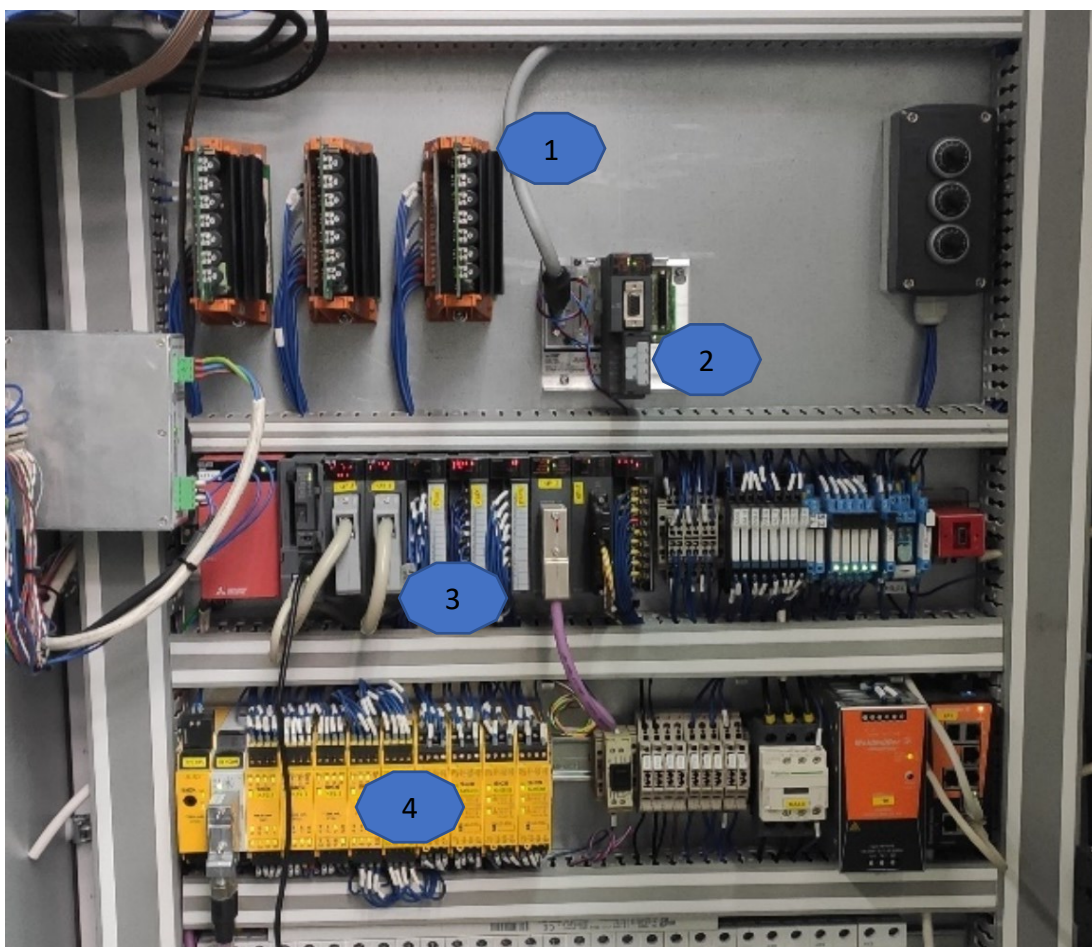
4. Panel Nástrojů – Object

Slouží k přidávání funkčních prvků na obrazovku, včetně tlačítek pro spouštění akcí, zobrazovačů stavů a dalších interaktivních komponent. Tento panel umožňuje přiřazovat konkrétní funkce a akce k vizuálním prvkům na obrazovce.

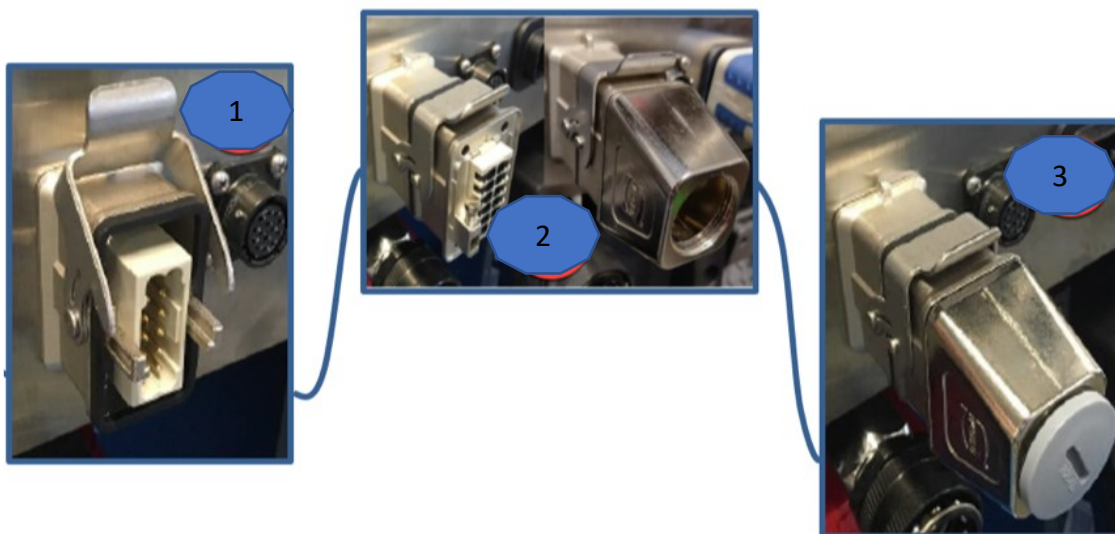
5.7 Propojení

Ze základny pro PLC (3) je pomocí kabelu (1) rozšířena základna o další modul (2) do kterého je možné připojit inteligentní modul MODBUS.

Propojení je realizováno pomocí kroucené dvojlinky. Na obou koncích tohoto vedení jsou umístěny zakončovací rezistory pro tlumení odrazů signálu. Velikost těchto rezistorů odpovídá impedanci vedení, která je v tomto případě 120 Ω . Kroucená dvojlinka nabízí výhodu větší odolnosti proti elektromagnetickým rušením a menšímu vyzařování signálu do okolí. Díky kombinaci těchto výhod s diferenciálním přenosem sběrnice je možné dosahovat vysokých rychlostí přenosu i na velké vzdálenosti. Pro zajištění stabilní úrovně signálu je vhodné připojit mezi svorky RDA a RDB dodatečné pull-up/down rezistory (viz Obr. 40), které slouží jako prevence proti chybnému příjmu dat cílovým zařízením.

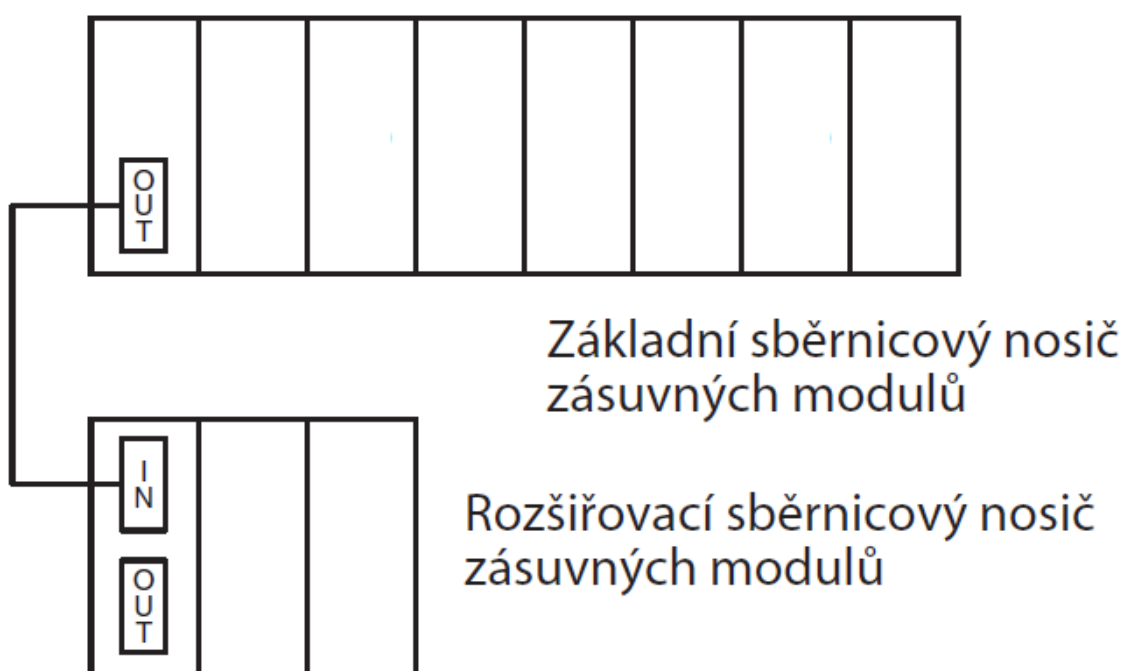


Obrázek 35 Rozvaděč automatizované skupiny



Obrázek 37 Integrovaný konektor

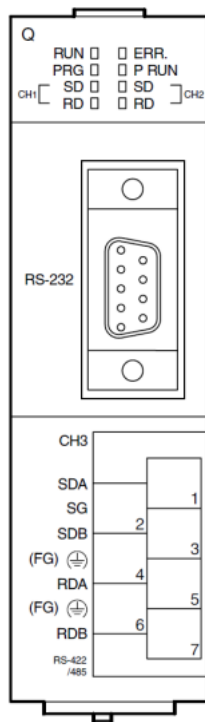
1. Umístění integračního konektoru.
2. Strana s kabely
3. „Můstkový“ hardwarový klíč, který musí být instalován v případě, že bylo tryskací zařízení PCS 60 odpojeno od automatizační skupiny, aby mohlo být používání v ručním provozním módu.



Obrázek 38 Blokované schéma rozšíření PLC

5.8 Modul QJ71MB91

QJ71MB91 od společnosti Mitsubishi Electric představuje sériový komunikační modul umožňující komunikaci s periferiemi přes standardní rozhraní RS-232 a RS-422/485 pomocí protokolu Modbus. Modul má adresový prostor o velikosti 32 bitů a spadá do kategorie inteligentních modulů. Při použití rozhraní RS-485 může délka sběrnice dosáhnout maximálně 1200 m a maximální rychlost přenosu je 115 200 bps u RS-232 je to 15m s maximální rychlostí přenosu 19 200 bps. S rostoucí vzdáleností může být nutné snížit přenosovou rychlost pro zachování spolehlivosti přenosu. Modul podporuje sériové vysílání v režimech RTU a ASCII.

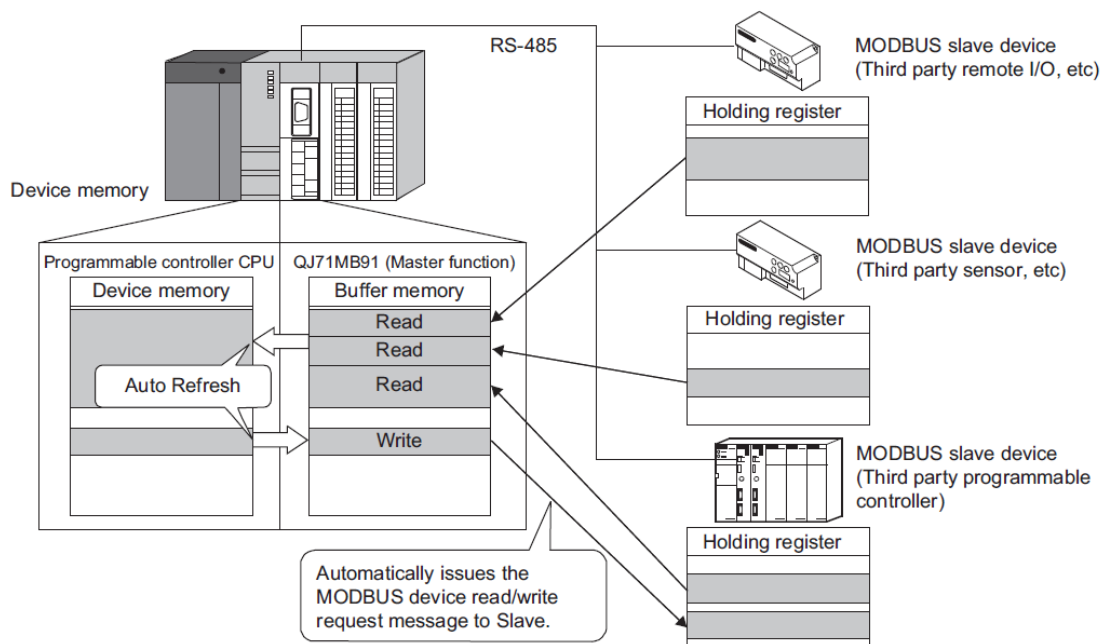


Obrázek 39 Inteligentní modul QJ71MB91[21]

Modul poskytuje v režimu Master následující možnosti komunikace:

Funkce automatické komunikace

Nastavením parametrů automatické komunikace lze data automaticky číst nebo zapisovat do slave zařízení v určených intervalech pomocí bufferové paměti. Data lze přenášet mezi bufferovou pamětí QJ71MB91 a pamětí zařízení programovatelného automatu tak, že se nastaví automatické obnovování pomocí utility (GX Configurator-MB) nebo pomocí sekvenčního programu v GX Works2.



Obrázek 40 Blokové schéma automatické komunikace [21]

Komunikace pomocí speciálních instrukcí

Speciální instrukce lze použít pro komunikaci v libovolném časovém okamžiku. Pro QJ71MB91 jsou k dispozici následující speciální instrukce.

- **Instrukce MBRW**

Čte nebo zapisuje data zařízení MODBUS z/do slave zařízení. To umožňuje čtení dat slave zařízení do paměti zařízení CPU programovatelného automatu nebo zápis dat CPU programovatelného automatu do slave zařízení.

- **Instrukce MBREQ**

Formát požadavkové zprávy určený uživatelem (kód funkce + datová jednotka) lze vyslat slave zařízením.

5.9 Modbus ColdJet

Je nutno nastavit komunikaci dle daných parametrů v tabulce 9.

Tabulka 9 Parametry komunikace ColdJet

Typ	Popis
Podřízená (slave) adresa	Individuální adresa slave jednotky Pokud se používá více tryskacích zařízení připojených k nadřazenému zařízení, <u>musí</u> být přidělena každému tryskacímu zařízení jedinečná podřízená adresa
Rámec	8 datových bitů, žádná parita, 1 stop bit
Rychlost modulace v baudech	115200

Doporučuje se na jedno tryskací zařízení nastavit celkovou dotazovací rychlost 200 milisekund nebo vyšší.

Pro další snížení datové komunikace se doporučuje místo nepřetržitého dotazování použít jednorázovou spoušť pro všechny registry stavu motoru (32048, 32050, 32066, 21068, 32078, 32080, 32090, 32092, 32102, 32104).

Pokud je na téže sběrnici více než jedno tryskací zařízení, celková dotazovací rychlost bude rovna celkové dotazovací rychlosti pro jedno tryskací zařízení násobené počtem tryskacích zařízení.

Mezi jednotlivými dotazy by měla být nastavena časová prodleva 1000 milisekund, aby byl systém schopen efektivně zpracovávat data bez přetížení. Zároveň by mělo být nastaveno zpoždění uvnitř paketu na 3,5 milisekundy, což zajišťuje správnou synchronizaci datového toku.

Níže jsou uvedeny funkční kódy používané pro čtení a zápis do registrů Modbus RTU mezi nadřazeným zařízením a tryskacím zařízením PCS 60.

Tabulka 10 Funkční kódy

Funkce	Kód	Popis
Čtení paměťových registrů	3	Čtení analogových výstupů
Čtení vstupních registrů	4	Čtení analogových vstupů
Zápis do jediného paměťového registru	6	Zápis jednoho analogového výstupu
Zápis do více paměťových registrů	16	Zápis počtu analogových výstupů

5.9.1 Nastavení parametrů do GX Works2

Pro integraci do automatizované skupiny je nutné v nastavení I/O přidat inteligentní modul QJ71MB91 a provést rozšíření základny o Q52B pomocí propojovacího kabelu QC12B viz obrázek 41. Tabulka pro nastavení se nachází Navigation → Parameter → PLC Parameter → I/O Assignment

Q Parameter Setting

PLC Name | PLC System | PLC File | PLC RAS | Boot File | Program | SFC | Device | I/O Assignment | Multiple CPU Setting | Built-in Ethernet Port Setting

I/O Assignment(*1)

No.	Slot	Type	Model Name	Points	Start XY	Switch Setting
3	2(0-2)	Output	16 OUT	16Points	0040	
4	3(0-3)	Output	16 OUT	16Points	0050	
5	4(0-4)	Output	16 OUT	16Points	0060	
6	5(0-5)	Intelligent	QJ71PB92V	32Points	0100	
7	6(0-6)	Intelligent	QD75D2	32Points	0120	
8	7(0-7)	Output	16 OUT	16Points	0140	
9	8(1-0)	Intelligent	QJ71MB91	32Points	0150	
10	9(1-1)					

Assigning the I/O address is not necessary as the CPU does it automatically.
Leaving this setting blank will not cause an error to occur.

Base Setting(*1)

	Base Model Name	Power Model Name	Extension Cable	Slots
Main	Q38B	Q61P	QC12B	8
Ext.Base1	Q52B		QC12B	2
Ext.Base2				
Ext.Base3				
Ext.Base4				
Ext.Base5				
Ext.Base6				
Ext.Base7				

Base Mode
 Auto
 Detail

8 Slot Default
 12 Slot Default

Select module name

Export to CSV File | Import Multiple CPU Parameter | Read PLC Data

(*1)Setting should be set as same when using multiple CPU.

Obrázek 41 Tabulka s konfigurací modulů v PLC

Tabulka pro nastavení parametrů komunikace se nachází Navigation → Project → Intelligent Function Module → Switch Setting.

Pro komunikaci s tryskacím zařízením byl zvolen kanál 2 (CH2).

Switch Setting 0150:QJ71MB91

Item		CH1	CH2
Mode setting		Master Function	Master Function
Transmission Setting	MODBUS device assignment parameter starting method	User Setting Parameter	-
	Data bit	8	8
	Parity bit	Exist	Not Exist
	Even/odd	Even	Even
	Stop bit	1	1
	Frame mode	RTU Mode	RTU Mode
Communication speed setting	Communication speed setting	19200 bps	115200 bps
	Station No. setting	0	0

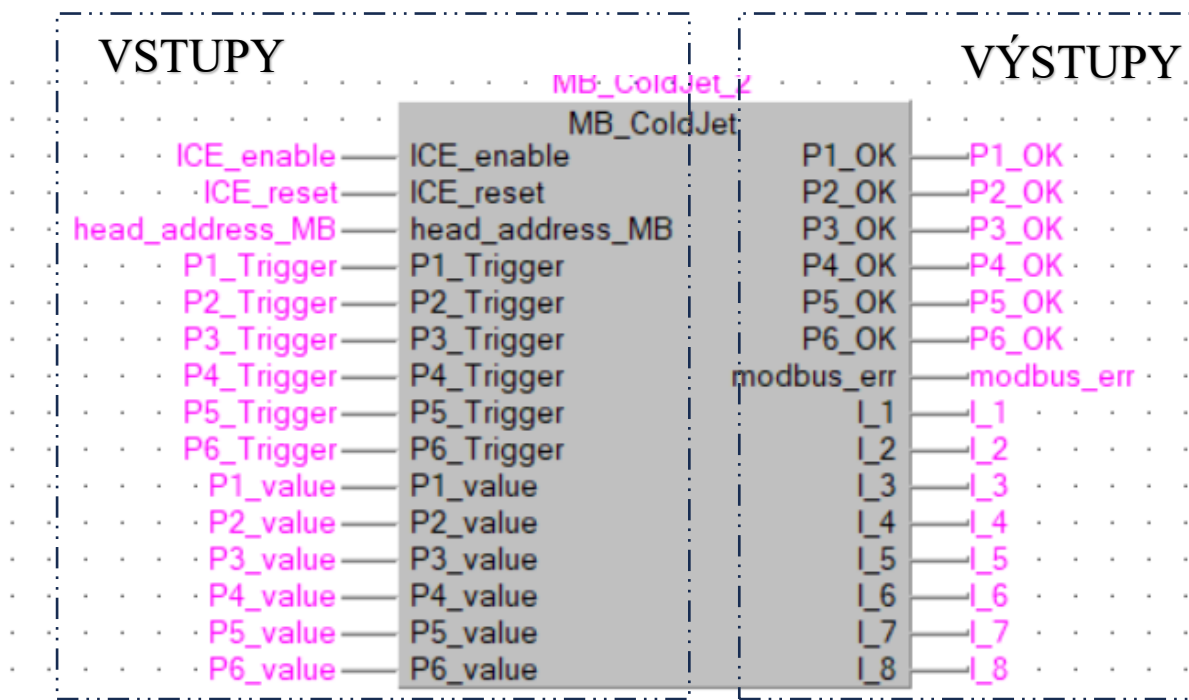
* This dialog setting is linked to the Switch Setting of the PLC parameter.
Default value will be shown in the dialog if the Switch Setting of the PLC parameter contains an out-of-range value.

OK Cancel

Obrázek 42 Tabulka parametrů komunikace

5.9.2 Funkční blok MB_ColdJet

Funkční blok MB_ColdJet slouží ke komunikaci s tryskacím zařízením ColdJet.



Obrázek 43 Funkční blok MB_ColdJet

Popis vstupů:

ICE_enable (datový typ: Bit)
o povolení spuštění bloku

ICE_reset (datový typ: Bit)
o reset bloku

head_address_MB (datový typ: Word[Signed])
o adresa modulu Modbus

Px_Trigger (datový typ: Bit)
o volání parametru P1 – P6

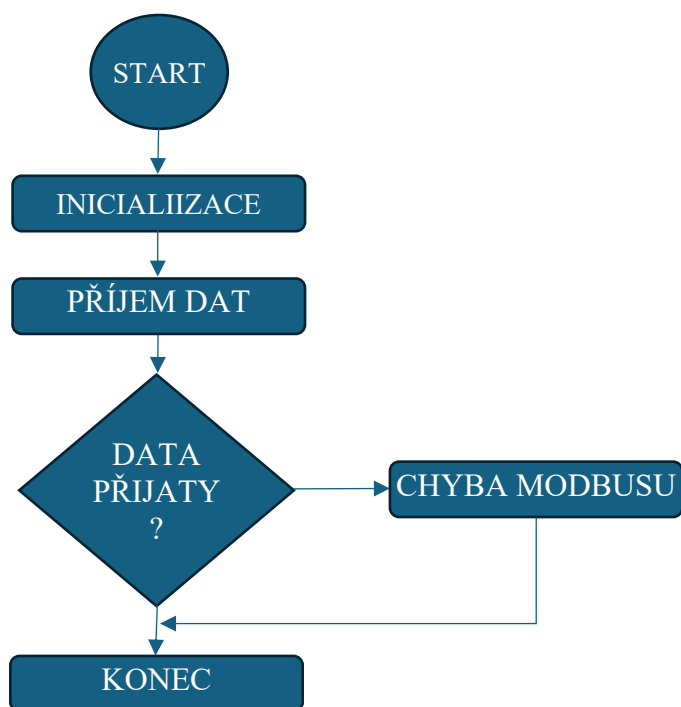
Px_Value (datový typ: Double Word)
o vstupní hodnota parametru P1 – P6

Popis výstupů:

Px_OK (datový typ: Bit)
o odpověď P1-P6

modbus_err (datový typ: Bit)
o chyba modbusu

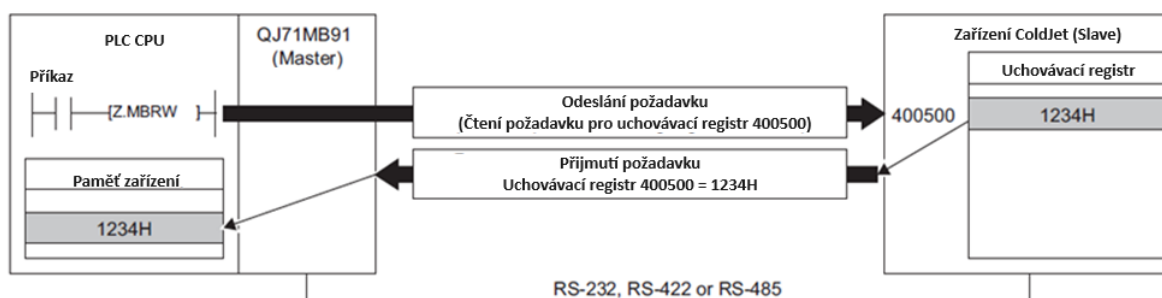
Ix (datový typ: Double Word)
o informace z ProfiBusu I1-I6



Obrázek 44 Vývojový diagram funkce MB_ColdJet

5.9.3 Z(P).MBRW

Instrukce MBRW (Modbus Read Write) je specifická pro práci s modulem QJ71MB91 a umožňuje čtení a zápis dat mezi PLC a zařízeními na Modbus síti. MBRW je velmi flexibilní instrukce, protože umožňuje uživateli provádět obě operace (čtení i zápis) během jedné komunikační sekvence, což může značně zefektivnit komunikaci a snížit zátěž sítě.



Obrázek 45 Blokové schéma funkce MBRW

Funkce MBRW obvykle specifikaci několika parametrů:

Tabulka 11 Parametry funkce MBRW

Nastavení	Detaily nastavení	Strana nastavení	Typ dat
"Un"/Un	Číslo I/O modulu (00H až FEH: Horní 2 číslice čísla I/O v notaci tří číslic)	Uživatel	Řetězec/BIN 16 bitů
(S1)	Číslo hlavičky zařízení, kde jsou uložena ovládací data	Uživatel, systém	BIN 16 bitů
(D1)	Zařízení pro čtení uložených dat	Systém	
(S2)	Zařízení pro zápis uložených dat	Uživatel	
(D2)	Zařízení, které se po dokončení instrukce zapne na jeden sken" (D2)+1 se také zapne, když instrukce skončí s chybou.	Systém	Bit

Tabulka 12 Tabulka nastavení instrukce MBRW

Zařízení	Položka	Data nastavení	Rozsah nastavení	Strana nastavení
(S1)+0	-	Zadejte 0	0	Uživatel
(S1)+1	Stav dokončení	Stav ukončení instrukce je uložen.	-	Systém
		0 : Normální dokončení		
		Jinak než 0: Chybové dokončení (chybový kód)		
(S1)+2	-	Zadejte 0	0	Uživatel
(S1)+3	Kanál	Určete cílový kanál.	1, 2	Uživatel
		1: RS-232		
		2: RS-422/485		
(S1)+4	-	Zadejte 0	0	Uživatel

Pokračování tabulky z předešlé strany

Tabulka 13 S2 Instrukce

(S1)+5	Číslo cílové stanice	Určete číslo stanice cílového zařízení (slave)	0 až 247	
		0 : Broadcast (všesměrové vysílání)		
		1 až 247: Číslo stanice zařízení (slave)		
(S1)+6	-	Zadejte 0	0	Uživatel
(S1)+7	Doba odpovědi / Vysílací zpoždění	Určete čas pro monitorování odpovědi z cílového zařízení (slave).	0 až 65535	Uživatel
		0 : 30 seconds		
		2 až 65535: Nastavte hodnotu (Doba odpovědi × hodnota nastavení × 10ms)		
		Specifikujte časovou prodlevu při broadcast vysílání. (Jednotka: 10ms)	2 až 65535	Uživatel
		0 : 400ms		
		2 až 65535: Nastavte hodnotu (Vysílací zpoždění × hodnota nastavení × 10ms)		
Detaily v manuálu (viz Sekce 7.2.1, 7.4)				

6 Výsledky a diskuse

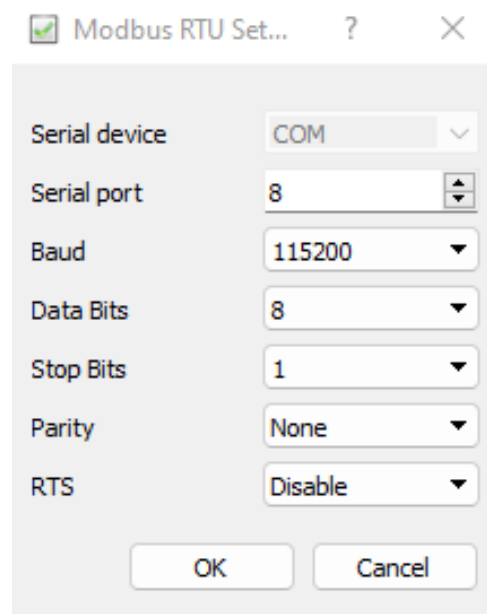
V kapitole je shrnuto, jak bylo dosaženo propojení tryskacího zařízení s PC a programovatelným logickým automatem (PLC). Popisuje se proces integrace a technické kroky potřebné pro zajištění efektivní komunikace a koordinace mezi tryskacím zařízením a kontrolními systémy.

6.1 Ověření funkčnosti komunikace MODBUS PC-ColdJet

Prvním krokem k pochopení a realizaci komunikace mezi PLC (master) a Coldjetem (slave). Bylo ověření funkčnosti komunikace Coldjetu s PC pomocí SW ulity QModMaster, která dokáže emulovat MODBUS. K propojení zařízení posloužil převodník USB-RS 485. V nastavení parametrů komunikace zadat správné parametry a vyzkoušet, že dochází ke spojení.



Obrázek 46 Převodník USB-RS485

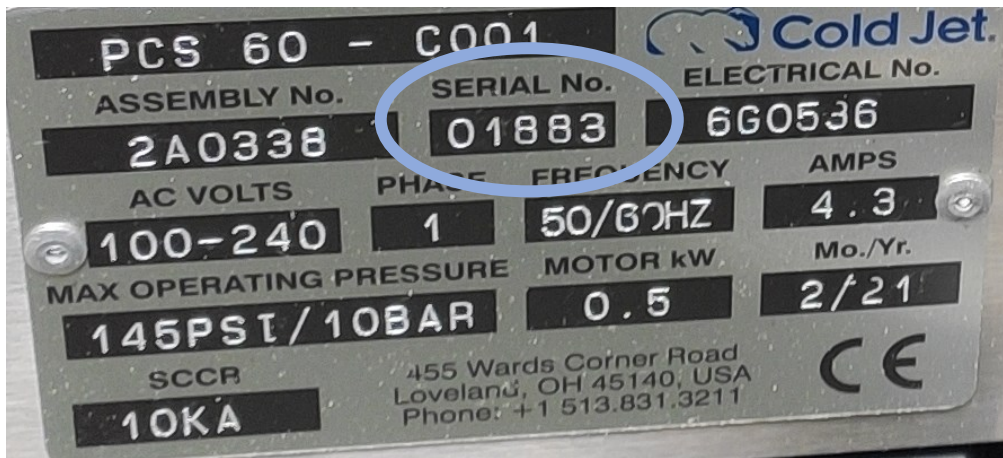


Obrázek 47 Parametry komunikace

Dalším nezbytným krokem bylo vyslání dotazu a přijetí odpovědi. Pro zkoušku byl vybrán parametr Výrobní číslo. Jedná se o funkci 0x04 (čtení vstupních registrů). Tenhle parametr je uložen v registru 32128 až 32129 pro správné adresování je nutné odečíst offset 30001 od tohoto registru ($32128 - 30001 = 2127$) a dostaneme hodnotu Startovací adresy 2127 a jedná se tedy o dva registry. Na obr č je vidět printscreen komunikace.

V okně Bus monitor je vidět, jak je zpráva poslána v bitové podobě v RTU rámci 04 08 4F 00 02 42 7C. Jako odpověď přijde zpráva 01 04 04 8D FB 00 01 60 D9, výrobní číslo je zapsáno na 3,4,5 a 6 bajtu. Je nutné si uvědomit že údaje Float jsou posílány jako dvě slova a první je LSW (významnější bajt na vyšší adresu). V každém slově je první MSB. Tedy z hodnoty 8D FB 00 01 se stane hodnota 18DFB jenž je v desítkové soustavě 101883 a tohle

je výrobní číslo ColdJetu viz obrázek. Bohužel se nepodařilo zjistit proč je zde navíc číslice 1 na začátku.



Obrázek 49 Výrobní štítek ColdJet

The screenshot shows a Modbus programming software interface. On the left, the 'Programátor' (Programmer) window displays the following data:

- HEX: 1 8DFB
- DEC: 101 883 (circled in red)
- OCT: 306 773
- BIN: 0001 1000 1101 1111 1011

The main interface shows a Modbus configuration window with the following settings:

- Modbus Mode: RTU
- Slave Addr: 1
- Scan Rate (ms): 1000
- Function Code: Read Input Registers (0x04)
- Start Address: 2127
- Number of Registers: 2
- Data Format: Dec
- Signed:

The data field shows a value of 36347 1. Below this, the text 'serial NR' is handwritten in red.

The 'Bus Monitor' window shows the following raw data:

```
[RTU]>Tx > 10:45:21:768 - 01 04 08 4F 00 02 42 7C
[RTU]>Rx > 10:45:21:771 - 01 04 04 8D FB 00 01 60 D9
```

The 'ADU' (Application Data Unit) window shows the following details:

- Type: Rx Message
- Timestamp: 10:45:21:771
- Slave Addr: 01
- Function Code: 04
- Byte Count: 04
- Register Values: 8D FB 00 01 (circled in red)
- CRC: 60D9

Handwritten in red below the ADU details is '21 -> byte'.

Obrázek 48 Ověření komunikace mezi PC a ColdJetem

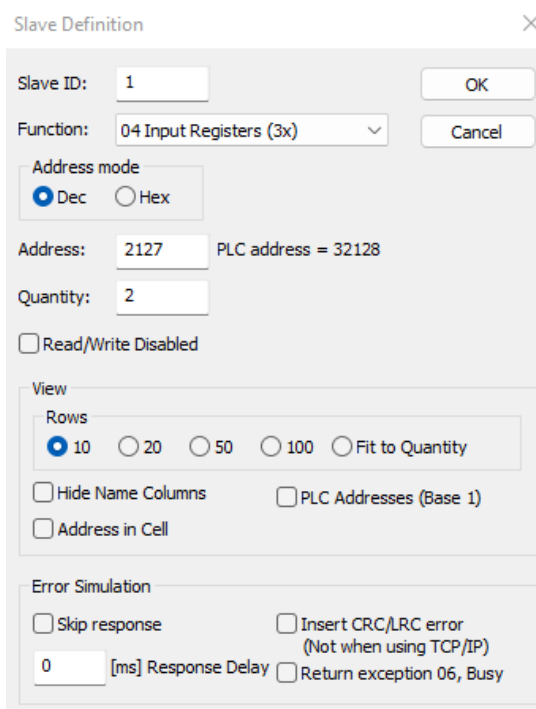
6.2 Ověření funkčnosti komunikace MODBUS PC-PLC

Aby nedošlo k ohrožení výroby na pracoviště při ladění komunikace mezi ColdJetem a PLC. Bylo vytvořena sestava skládající se z napěťového zdroje 24V, PLC Q03UDV a inteligentního modulu QJ71MB91, která byla přes převodník RS 485 – USB připojena k PC. Tahle sestava plně simulovala pracoviště BUCHR 2.



Obrázek 50 Testovací sestava

PC bylo nutné nastavit jako Slave a k tomu posloužil program Modbus Slave, který simuloval zařízení ColdJet.

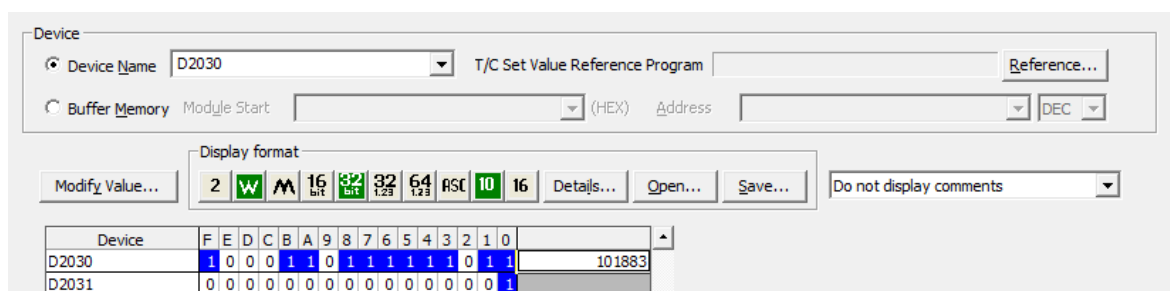


Obrázek 51 Nastavení parametrů v Modbus Slave

Pro ověření komunikace byl v Modbus slave vytvořen Vstupní registr(0x04), který simuloval na adrese 2127 dva registry.

A do registru 2127 bylo vloženo hexadecimálně 8DFB a do registru 2128 zase 1, jedná se o ověřené slovo z předešlé podkapitoly, jenž reprezentuje výrobní číslo ColdJetu s hodnotou 101883 v desítkové soustavě.

PLC bylo konfigurováno dle předešlé kapitoly s použitím instrukce MBRW, která měla za úkol vyčíst dva registry od registru 2127 a uložit je do paměti D2030.



Obrázek 52 Tabulka se vstupy v PLC

6.3 Ověření funkčnosti komunikace MODBUS ColdJet-PLC

Pro ověření funkčnosti byl z PLC vyslán příkaz pomocí příkazu MBRW aby zapsal do tryskačního zařízení velikost částic 1,5 mm, což je rovno 3FC00000 (hex).

Registr Modbus: 40005 a 40006, dva 16-bitové registry. Každý registr obsahuje dva 8-bitové byty; proto pro dva registry Modbus čtyři datové byty.

Offset: 40001

Typ údajů: float

Tabulka 14 Nastavení pro odeslání do ColdJetu

Byte #	Hodnota(hex)	Popis
0	0x01	Adresa podřízeného
1	0x10	Kód funkce
2	0x00	Horní adresa startu (MSB)
3	0x04	Spodní adresa startu (LSB)
4	0x00	Horní délka údaje (MSB)
5	0x02	Spodní délka údaje (LSB)
6	0x04	Počet bytů
7	0x00	Horní datový byte 1 (LSW, MSB)
8	0x00	Spodní datový byte 1 (LSW, LSB)
9	0xC0	Horní datový byte 2 (MSW, MSB)
10	0x3F	Spodní datový byte 2 (MSW, LSB)
11	0xE2	Kontrola chyby CRC, LSB
12	0x4C	Kontrola chyby CRC, MSB



Obrázek 53 Ovládací panel ColdJet

Na ovládacím panelu ColdJet je vidět změněná hodnota velikosti částic na 1.5.

6.4 Ekonomické zhodnocení

V rámci tohoto ekonomického zhodnocení se zaměříme na data, která byla změřena u jednoho výrobku před optimalizací procesu tryskání suchým ledem, s použitím informací poskytnutých v datasheetu ColdJetu [22].

- **Spotřeba materiálů**

Proces tryskání suchým ledem vyžaduje spotřebu dvou základních materiálů: CO₂ (ve formě suchého ledu) a stlačeného vzduchu. Spotřeba suchého ledu je v rozmezí 0 až 1.8 kg/min, s průměrně změřenou hodnotou 0.3 kg/min před optimalizací, při ceně 30 Kč/kg. Přesná spotřeba stlačeného vzduchu nebyla změřena, avšak její význam pro proces nás vede k použití průměrné hodnoty z rozmezí 0.33 až 2.83 m³/min, s cenou 0.5 Kč/m³.

- **Výpočet nákladů**

Celkové náklady spojené s tryskáním suchým ledem zahrnují nákup suchého ledu a spotřebu stlačeného vzduchu. Tyto náklady jsou základem pro posouzení efektivity a nákladové efektivity procesu před jeho optimalizací. Jedinými náklady na optimalizaci byla investice do rozšiřujícího modulu ve výši 100 € (přibližně 2500 Kč) a čas strávený řešením optimalizace. Při téhle částce nemá smysl kalkulovat návratnost investice.

- **Přímé úspory**

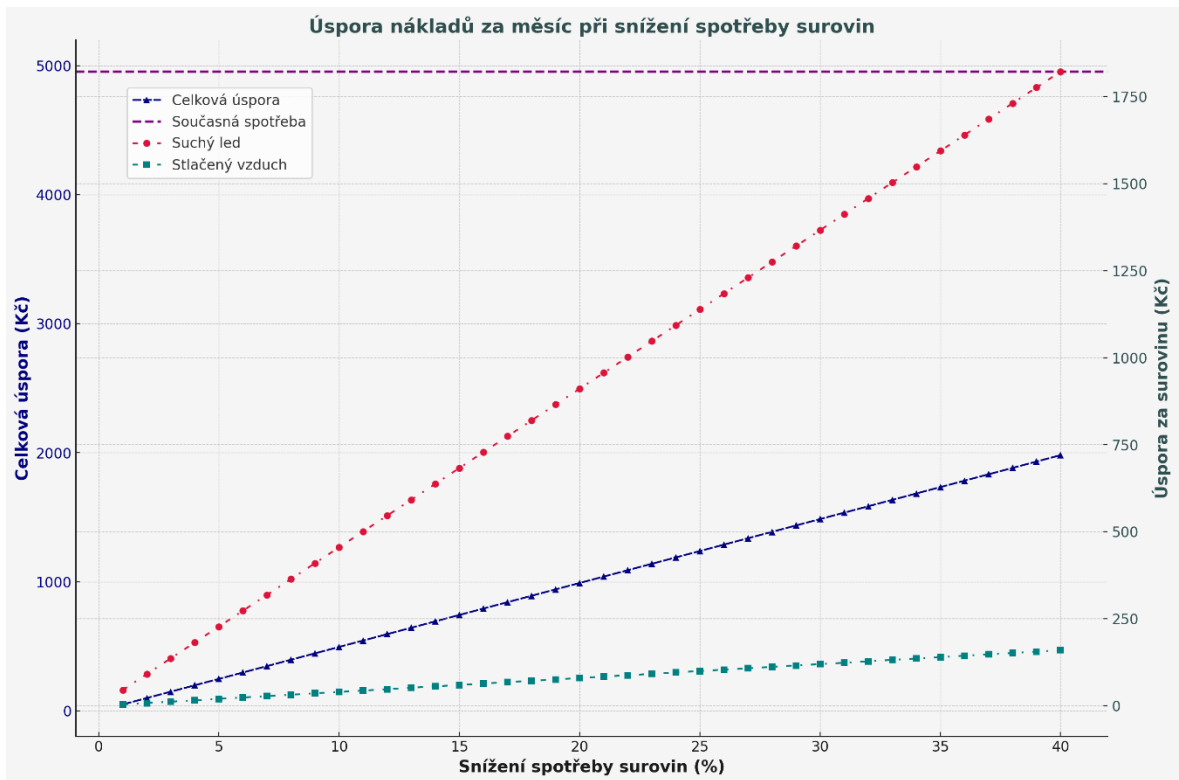
Optimalizace procesu počítá s možností adaptace parametrů v reálném čase, což by mělo vést k redukci nadbytečných přejezdů nad špatně opracovanými místy. Analýza programu robota ukazuje, že až třetina celkového času tryskání je věnována opakovaným přejezdům. Dále by optimalizace zahrnovala tryskání pouze v okamžiku opracování výrobku, čímž by se předešlo zbytečnému tryskání v případě poruchy stroje, které v současnosti pokračuje až do zásahu obsluhy.

- **Nepřímé úspory**

Mezi nepřímé úspory patří například prodloužení životnosti vybavení a zlepšení celkové efektivity výrobních procesů, jako jsou signalizace nízké hladiny v násypce, detekce poruch a další.

- **Predikce úspor**

Zhodnocení procesu tryskání suchým ledem před jeho optimalizací ukazuje značný potenciál pro zlepšení efektivity a snížení nákladů. Současná spotřeba suchého ledu 0.3 kg/min za cenu 30 Kč/kg a stlačeného vzduchu s průměrnou spotřebou 1.58 m³/min za cenu 0.5 Kč/m³ při dvousměnném provozu, kde každá směna trvá 11,5 hodiny a výroba se nekoná o víkendech, činí celkové měsíční náklady přibližně 5 200 Kč. Analýza možnosti snížení spotřeby surovin v rozmezí od 1% do 40% odhaluje, že i mírné snížení může vést k významným měsíčním úsporám, což podtrhuje potenciál pro snížení provozních nákladů prostřednictvím efektivního využívání a optimalizace spotřeby surovin. Vzhledem k tomu, že optimalizace nebyla uvedena do ostrého provozu, nejsme schopni přesně kvantifikovat očekávané úspory. Je nezbytné pokračovat v experimentování a testování, aby bylo možné identifikovat nejučinnější provozní parametry.



Obrázek 54 Predikce úspor

7 Závěr

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací procesu tryskání suchým ledem v rámci produkce plastových vstříkovaných komponentů, zejména nosných rámu a reflektorů pro automobilové světlomety. Proces tryskání je klíčový k eliminaci otřepů a nečistot, které by mohly negativně ovlivnit kvalitu a funkčnost finálního výrobku.

V teoretické části je podán detailní přehled technologie světlometů, významu čištění suchým ledem a jsou analyzovány klíčové komponenty jako programovatelné logické automaty, roboti a komunikační protokoly, přičemž zvláštní pozornost je věnována protokolu Modbus. V praktické části se práce soustředí na pečlivou analýzu výrobního prostředí a detailní implementaci navrhovaného řešení, jehož přínos je následně ekonomicky hodnocen.

V centru pozornosti práce stojí vývoj a aplikace řešení, jenž dovolí v procesu tryskání adaptivně měnit parametry tryskacího zařízení ColdJet skrze komunikační protokol Modbus. Tento přístup by měl přinést značné zvýšení efektivity procesu upravováním parametrů tryskání. Východiskovou hypotézou práce je, že robot pro účinné čištění vstříkovaného dílu vyžaduje opakování pohybů nad problematickými oblastmi. Očekává se, že adaptivní úprava tryskacích parametrů eliminuje potřebu těchto opakovaných pohybů, což povede k redukci celkového výrobního cyklu a úsporám na vstupním materiálu.

Z osobních důvodů, konkrétně změny zaměstnání, nebylo možné projekt dokončit v plánovaném rozsahu. Kompletní integrace tryskacího zařízení, jeho propojení s bezpečnostními moduly, HMI a roboty zůstala nedokončena. Podle dostupných informací je malá pravděpodobnost, že by k plné realizaci a nasazení došlo, mimo jiné kvůli plánované změně tryskacího zařízení. Jako další možný směr rozvoje práce se nabízí integrace s kamerovým systémem pro kontrolu otřepů a adaptivní úprava parametrů tryskání na základě jeho vyhodnocení.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] Technologická analýza využitelnosti nových typů termosetických materiálů pro konstrukci světlometu [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2022 [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: https://theses.cz/id/dll7n8/2019_DP_Rasner_Martin_170347.pdf
- [2] HELLA [online]. Lippstadt: HELLA GmbH & Co. KGaA, [cit. 2022-08-23]. Dostupné z: <https://www.hella.com/hella-com/index.html>
- [3] Špičkové technologie pro každého: Světlomety IntelliLux AFL-LED Matrix promění noc v den! [online]. [s.l.]: cz-media.opel, 2019 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <https://cz-media.opel.com/cs/špičkové-technologie-pro-každého-světlomety-intellilux-afl-led-matrix-promění-noc-v-den>
- [4] Světlomety a elektronika světlometů [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2009 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: http://intech2.tul.cz/dokumenty/vystupy_z_projektu/03-Partner-ŠKODA_Auto/P2-06_Světlomety_a_elektronika-Holeček.pdf
- [5] Fyzikální vlastnosti BMC-Menzolitu [online]. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2018 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/128895/ZIM0033_FMMI_N3923_3911T036_2018.pdf
- [6] Hodnocení kvality BMC na RPA [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017 [cit. 2023-08-22]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/40674/kostíková_2017_dp.pdf
- [7] Návrh a optimalizace LED reflektoru pro potkávací funkci [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2022 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: https://theses.cz/id/f53n5g/2022_DP_Varhanikova_Alzbeta_198109.pdf
- [8] Návrh tlumeného a dálkového reflektoru světlometu [online]. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2014 [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/104859/KOS418_FS_N2301_3909T001_20_2014.pdf
- [9] Návrh technologie výroby plastové základny časovače světlometu [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2022 [cit. 2023-09-15]. Dostupné z: https://theses.cz/id/8j15jz/2014_DP_Brezina_Vit_125950.pdf
- [10] Technický týdeník. 2013, roč. 2013, č. 23. Praha: Business Media CZ, 2013 [cit. 2023-01-17]. ISSN 0040-1064.
- [11] Linde Gas a.s. [online]. [s.l.]: Linde Gas a.s., [bez data] [cit. 2023-10-20]. Dostupné z: <https://www.linde-gas.cz/cs/sluzby/dry-ice/coldjet.html>
- [12] LEDOVÁČKA.CZ [online]. [s.l.]: [bez data] [cit. 2023-07-21]. Dostupné z: <http://ledovacka.cz>

[13] ŠMEJKAL, Ladislav a MARTINÁSKOVÁ, Marie. PLC a automatizace. Praha: BEN - technická literatura, 1999 [cit. 2022-05-19]. ISBN 978-80-86056-58-6.

[14] PLC systémy [online]. [s.l.]: Plc-automatizace.cz, [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: http://www.plc-automatizace.cz/index_plc.htm

[15] RONEŠOVÁ, Andrea. Přehled protokolu MODBUS [online], 2005 [cit. 2022-09-30]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>

[16] JATIĆ, Jasmin Jan. Heterogenní komunikace v řídicích systémech s programovatelnými automaty. Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2018 [cit. 2022-10-11].

[17] Real Time Automation. Technologies [online]. Real Time Automation, 2017 [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.rtaautomation.com/technologies/>

[18] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2016 [cit. 2023-12-04]. ISBN 978-80-214-4828-5.

[19] ZIMA, Jaroslav. Programování průmyslových robotů FANUC. Bakalářská práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2020 [cit. 2022-06-06].

[20] DIMĚŠ, Tomáš [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2017 [cit. 2024-01-05]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70809/F5-BP-2017-Dymes-Tomas-tomas_dymes_bakalarska_prace_2016-17_ROBOT.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[21] Mitsubishi Electric Corporation. MODBUS Interface Module User's Manual: QJ71MB91 [online]. Tokyo: Mitsubishi Electric Corporation, 2016 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://eu-assets.contentstack.com/v3/assets/blt5412ff9af9aef77f/blt29b0839c6581014b/61716a646ba8cc12043a6066/168869.pdf>

[22] COLDJET. Integration Manual for PCS60 Blasting Equipment [online]. Loveland, Ohio: COLDJET, 2023 [cit. 2022-08-11]. Dostupné z: <https://www.coldjet.com/en/support/technical-documentation/>

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 Rozpad LED modulu [2]	5
Obrázek 2 Detail světlometu [2]	6
Obrázek 3 Popis tzv. „Full LED“ – podle [3]	7
Obrázek 4 Světlomet s Digital light [2].	8
Obrázek 5 OLED světlomet [2].	8
Obrázek 6 Návrh reflektorové optiky složené z několika parabolických ploch [8]	9
Obrázek 7 Rozpad světlometu [2]	10

Obrázek 8 Maximální teploty použití vybraných plastů – podle [2]	11
Obrázek 9 Srovnání reaktoplastů s termoplasty	13
Obrázek 10 Surový materiál (PC).....	13
Obrázek 11 BMC	14
Obrázek 12 Obecný popis vstřikovacího lisu [9].....	15
Obrázek 13 Princip tryskání suchým ledem [12].....	17
Obrázek 14 Struktura komunikace s periferiemi přes procesní obraz [13]	18
Obrázek 15 Příklady implementace MODBUS [15]	21
Obrázek 16 Základní princip komunikace mezi zařízením Master a Slave [16].....	21
Obrázek 17 Alokace paměti Modbus zařízení z pohledu zařízení Master na zařízení Slave	23
Obrázek 18 Průmyslový robot ABB, s kontrolérem a Teachpendantem.....	26
Obrázek 19 Pohyblivé osy robotu.....	27
Obrázek 20 Robot ABB	28
Obrázek 21 ABB IRB 390	28
Obrázek 22 ABB IRB 660	29
Obrázek 23 Layout termosetické lisovny	31
Obrázek 24 Bucher II.....	32
Obrázek 25 Model tryskací kabiny	33
Obrázek 26 Pohled do tryskací kabiny	33
Obrázek 27 Technické schéma robotického ramene ABB IRB 1200	35
Obrázek 28 Detail trysky a pohled na celý efektor.....	36
Obrázek 29 Zařízení ColdJet PCS60 a jeho parametry [22].....	37
Obrázek 30 Blokové schéma propojení	38
Obrázek 31 Detail řídicího systému.....	38
Obrázek 32 Blokové schéma propojení	40
Obrázek 33 Programovací nástroj GX Works2	42
Obrázek 34 Programovací nástroj GT Designer3	45
Obrázek 35 Rozvaděč automatizované skupiny	46
Obrázek 36 Schéma el.zapojení.....	47
Obrázek 37 Integrovaný konektor	48
Obrázek 38 Blokové schéma rozšíření PLC	48
Obrázek 39 Inteligentní modul QJ71MB91[21].....	49
Obrázek 40 Blokové schéma automatické komunikace [21].....	50
Obrázek 41 Tabulka s konfigurací modulů v PLC	52
Obrázek 42 Tabulka parametrů komunikace	52
Obrázek 43 Funkční blok MB_ColdJet	53
Obrázek 44 Vývojový diagram funkce MB_ColdJet	54
Obrázek 45 Blokové schéma funkce MBRW	54
Obrázek 46 Převodník USB-RS485	58
Obrázek 47 Parametry komunikace	58
Obrázek 49 Výrobní štítek ColdJet.....	59
Obrázek 48 Ověření komunikace mezi PC a ColdJetem	59
Obrázek 50 Testovací sestava.....	60
Obrázek 51 Nastavení parametrů v Modbus Slave.....	60
Obrázek 52 Tabulka se vstupy v PLC	61
Obrázek 53 Ovládací panel ColdJet.....	62
Obrázek 54 Predikce úspor	64

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní typy polymerních materiálů pro světlomet automobilu – podle [5]. ...	12
Tabulka 2 Základné materiálové vlastnosti termoplastů a reaktoplastů [5].	12
Tabulka 3 Srovnání výhod a nevýhod PC	14
Tabulka 4 Srovnání výhod a nevýhod BMC	14
Tabulka 5 Porovnání termosetů s termoplasty.....	16
Tabulka 6 Datový model MODBUS[15].....	22
Tabulka 7 Seznam funkčních kódů pro Modbus	23
Tabulka 8 Základní struktura přenášeného paketu pro Modbus RTU [17].	24
Tabulka 9 Parametry komunikace ColdJet	51
Tabulka 10 Funkční kódy	51
Tabulka 11 Parametry funkce MBRW	55
Tabulka 12 Tabulka nastavení instrukce MBRW.....	56
Tabulka 13 S2 Instrukce	57
Tabulka 14 Nastavení pro odeslání do ColdJetu	61

11 Přílohy

Příloha 1

Adresy Modbus RTU v tryskacím zařízení PCS 60

Položka	Název parametru	Registr Modbus	Read/Write Pro čtení/psaní	Kód funkce Modbus	Datový typ Modbus
1	Externí ovládání	40039	R/W	3 & 16	word
2	Stav externího ovládání	32150	R	4	word
3	Řízení provozu	40017		3 & 16	word
4	Provozní stav	32012	R	4	word
5	Tryskací tlak	40001 a 40002	R/W	3 & 16	float
6	Rychlost podávání	40009 a 40010	R/W	3 & 16	float
7	±Velikost PCS	40005 a 40006	R/W	3 & 16	float
8	Vstupní tlak vzduchu	32110 a 32111	R	4	float
9	Výstupní tlak vzduchu	32114 a 32115	R	4	float
10	Výstupní teplota	32118 a 32119	R	4	float
11	Stav hladiny v násypce	32015	R	4	word
12	Stav chyb	32024 a 32025	R	4	dword
13	Reset bezpečnostního relé	40031	W	16	word
14	Stav bezpečnostního relé	32122	R	4	word
15	Stav modelu	32018 a 32019	R	4	dword
16	Výrobní číslo	32128 a 32129	R	4	dword
17	Adresa podřízené jednotky	32190	R	4	word
18	Rychlost dávkovacího motoru	32048	R	4	word
19	Zatížení dávkovacího motoru	32050	R	4	word
20	+Rychlost motoru polohovače	32066	R	4	word
21	+Zatížení motoru polohovače	32068	R	4	word
22	+Rychlost motoru drtiče při pohybu ve směru hodinových ručiček	32078	R	4	word
23	+Zatížení motoru drtiče při pohybu ve směru hodinových ručiček	32080	R	4	word
24	+Rychlost motoru drtiče při pohybu proti směru hodinových ručiček	32090	R	4	word
25	+Zatížení motoru drtiče při pohybu proti směru hodinových ručiček	32092	R	4	word
26	Rychlost motoru podavače	32102	R	4	word
27	Zatížení motoru podavače	32104	R	4	word
28	Rychlost motoru a status aktuálního rozsahu	32192	R	4	word

Pokračování tabulky z předchozí stránky

Položka	Popis	Defa ltová hodn ota	SI			Účel	Trvalé dotazován í
1	Vysílá řídicí signál tryskacímu zařízení se žádostí o uvolnění automatického modu na zařízení. Obrazovka tryskacího zařízení se zamkne, jakmile je nastavena součinnost. Tímto způsobem je tryskací zařízení chráněno, aby místní ovládání nebylo přepsáno zadáními zvenku.	0x00				Provoz	Ano
2	Potvrzení, že byla nastavena součinnost a automatický mód je platný.	0x00				Provoz, diagnóza	Ano
3	Provozní ovládání – aktivuje provoz tryskacího zařízení: Off (= vypnuto), Pouze vzduch (připravuje vysušení podavače a hadicového systému, čištění podavače a hadic od částic suchého ledu, čistící/sušící účely); Vzduch a Led (částice jsou dávkovány do proudu vzduchu s požadovanou rychlostí).	0x00				Provoz	Ne
4	Provozní stav tryskacího zařízení.					Provoz	Ano
5	Požadovaný tryskací tlak.	0,0	PCS 60: 1,4-9,0 PLT 60: 2,8 – 17,2	bar	0,1	Provoz	Ne
6	Požadovaná rychlost podávání.	0,00	PCS 60: 0,00 – 1,80 PLT 60: 0,00 – 2,70	Kg/min	0,05	Provoz	Ne
7	Požadovaná velikost částic.	0,0	0,3 - 3	Mm	0,1	Provoz	Ne
8	Tlak vzduchu na pozici před hlavním ventilem.			bar		Provoz, diagnóza	Ano
9	Tlak vzduchu na pozici za motorem podavače.			bar		Provoz, diagnóza	Ano
10	Teplota vzduchu na pozici za podavačem. Může být použita pro detekci průtoku částic ledu.		20/-50	°C		Provoz, diagnóza	Ano
11	Stav hladiny v násypce – výška hladiny ledu, založená na odečtu tří instalovaných teplotních čidel					Provoz	Ano
12	Stav závad tryskacího zařízení – popisuje strojní část v případě závady	Samé nuly				Provoz, diagnóza	Ano
13	Reset stavu bezpečnostního relé					Provoz	Ne
14	Čte stav bezpečnostního relé	0x01				Provoz, diagnóza	Ano
15	Čte aktuální model tryskacího zařízení	0x01				Provoz, diagnóza	Ne
16	Čte výrobní číslo tryskacího zařízení					Provoz, údržba	Ne
17	Čte ID/adresu podřízeného zařízení přiřazené tryskacímu zařízení		1-247			Provoz, diagnóza	Ne
18	Počet otáček za minutu (= rpm) dávkovacího motoru			rpm		Diagnóza	Volitelné
19	Proud protékající motorem dávkovače			mA		Diagnóza	Volitelné
20	Počet otáček za minutu (= rpm) motoru polohovače			rpm		Diagnóza	Volitelné
21	Proud protékající motorem polohovače			mA		Diagnóza	Volitelné
22	Počet otáček za minutu (= rpm) motoru drtiče			(rpm)		Diagnóza	Volitelné
23	Proud protékající motorem drtiče			mA		Diagnóza	Volitelné
24	Počet otáček za minutu (= rpm) motoru drtiče			(rpm)		Diagnóza	Volitelné
25	Proud protékající motorem drtiče			mA		Diagnóza	Volitelné
26	Počet otáček za minutu (= rpm) motoru podavače			(rpm)		Diagnóza	Volitelné
27	Proud protékající motorem podavače			mA		Diagnóza	Volitelné
28	Uvádí, zda je proud nebo počet otáček některého z motorů mimo provozní rozsah	Samé nuly				Diagnóza	Ano

Definice bitů:

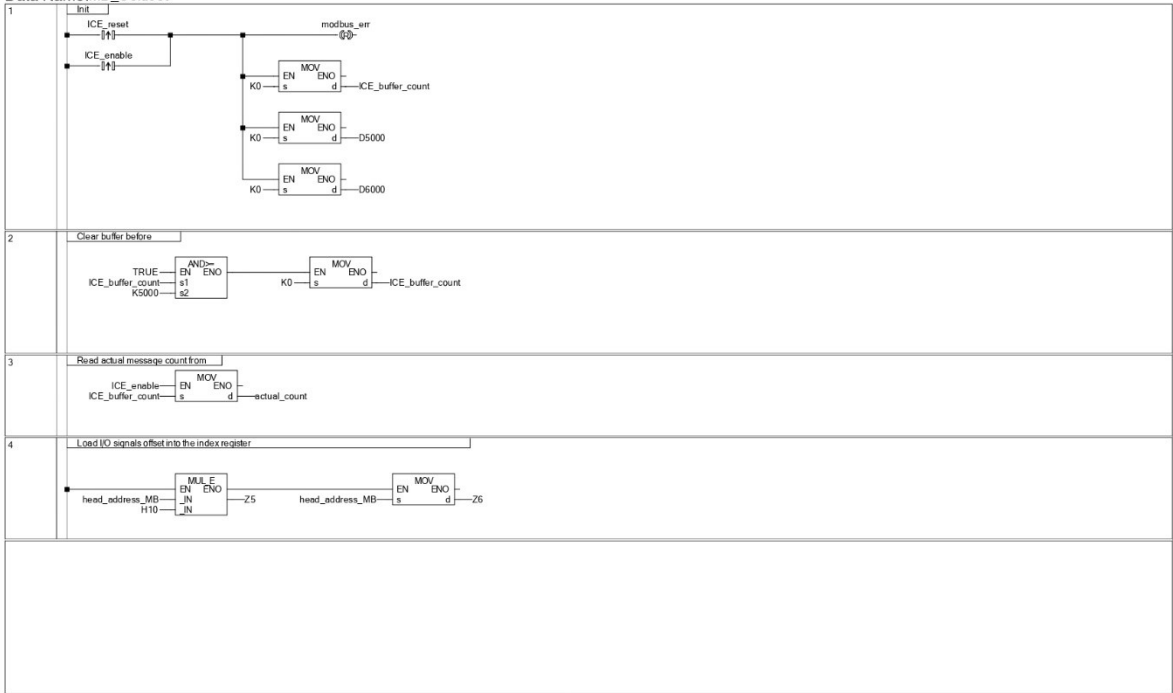
Stav		Popis	Bitové pole	Vypočtená hodnota (hex)	Poznámky
Externí ovládání	=	Ruční mód		0x00	Ruční mód uvolněn, žádná součinnost
				0x01	Žádost tryskacímu zařízení o povolení automatického módu
Stav externího ovládání	=	Ruční mód		0x00	Ruční mód uvolněn, žádná součinnost
		Automatický mód, spojení zřízeno		0x01	Potvrzení součinnosti nastaveno a automatický mód uvolněn. Tryskací zařízení je řízeno nadřazeným zařízením a obrazovka je zamknuta.
Provozní ovládání	=	OFF (vypnuto)		0x00	Jdi na chod naprázdno.
		Pouze vzduch		0x01	Jdi do módu Pouze vzduch a pošli vzduch
		Tryskání		0x02	Jdi do módu tryskání a tryskej
Provozní stav	=	OFF (vypnuto)		0x00	V tuhle chvíli mimo provoz, v násypce není žádný led
		Připraven		0x01	V tuhle chvíli mimo provoz, v násypce je led
		Není vzduch		0x02	Žádný tlak vzduchu, nelze přejít do módu průchodu vzduchu /tryskání (aktivuje se, pokud přijde příkaz Pouze vzduch nebo Tryskat)
		Pouze vzduch		0x03	Aktuální mód: připravuje vysušení podavače a hadicového systému, čištění podavače a hadic od částic suchého ledu, čisticí/sušící účely.
		Tryskání		0x04	Aktuálně tryská
Stav hladiny ledu v násypce	=	Prázdná		0x00	Všechno HIGH, MID, LOW > -70
		Nízká		0x01	LOW < -70, MIDDLE, HIGH > -70 = násypku je nutno naplnit
		Střední		0x02	HIGH > -70, MID a LOW < -70
		Plná		0x03	HIGH, MID, LOW < -70
		Nalezen můstek		0x04	LOW > -70, HIGH a MID < -70
Chybový stav	=	Závada/stav, bitová pole, 0 = bez závad, 1 = závada	0		Neplatný kód Objeví se, jestliže je jakákoli závada v softwaru. Objeví se u kritických i nekritických závad.
			1		Závada polohy polohovače. Objeví se, jestliže motor polohovače odebírá příliš mnoho proudu. Kritická závada.
			2		Závada v komunikaci motoru. Objeví se, jestliže komunikace motoru je odpojena nebo neodpovídá Kritická závada
			3		Závada kalibrace polohovače. Objeví se, jestliže je závada v sekvenci kalibrace polohovače. Kritická závada.
			4		Závada v komunikaci s dávkovačem. Objeví se, jestliže je závada v komunikaci s motorem dávkovače. Kritická závada.
			5		Závada v komunikaci s drtičem při otáčení ve směru hodinových ručiček. Objeví se, jestliže je závada v motoru drtiče pro otáčení ve směru hodinových ručiček. Kritická závada.
			6		Závada v komunikaci s drtičem při otáčení proti směru hodinových ručiček

Stav		Popis	Bitové pole	Vypočtená hodnota (hex)	Poznámky
					Objeví se, jestliže je závada v motoru drtiče pro otáčení proti směru hodinových ručiček. Kritická závada.
Chybový stav	=	Závada/stav, bitová pole, 0 = bez závad, 1 = závada	7		Závada v komunikaci pozice PCS. Objeví se při závadě v komunikaci s motorem polohovače. Kritická závada.
			8		Závada v komunikaci s podavačem. Objeví se při závadě v komunikaci s motorem podavače. Kritická závada.
			9		Rezerva
			10		Rezerva
			11		Rezerva
			12		Rezerva
			13		Rezerva
			14		Závada energeticky nezávislé paměti (flash memory).
			15		Závada v inicializaci. Objeví se, jestliže displej neodpovídá po první inicializaci.
			16		Závada převodníku analogového signálu na digitální. Objeví se při jakékoli závadě analogové karty.
			17		Závada časového spínače. Objeví se při jakékoli závadě časového spínače.
			18		Závada systému souborů. Objeví se při závadě při čtení karty SD.
			19		Čeká na reset. Objeví se, jestliže byl aktivován neplatný kód závady. Upozorňuje uživatele, že zařízení musí být resetováno.
			20		Žádný provoz. Objeví se, jestliže byl aktivován neplatný kód závady. Upozorňuje uživatele, že zařízení je mimo provoz.
			21		Závada EEPROM. Objeví se, jestliže je problém při zápisu do eeprom.
			22		Závada ve vymezení EEPROM. Objeví se, jestliže je eeprom zapsána na nesprávné místo v paměti.
			23		Závada SPI. Objeví se, jestliže je jakákoli závada v komunikaci s SPI (iniciátorem přednostních programů).
24		Závada v hodinách skutečného času. Objeví se při závadě v počtu motohodin.			
25		Závada zaseknutí spínače tryskání. Objeví se, jestliže je spínač tryskání stisknutý po dobu delší než 8 vteřin.			
26		Závada zaseknutí spínače výstupu vzduchu. Objeví se, jestliže je spínač výstupu vzduchu stisknutý po dobu delší než 8 vteřin.			
27		Závada zaseknutí spínače osvětlení.			

Stav		Popis	Bitové pole	Vypočtená hodnota (hex)	Poznámky
					Objeví se, jestliže je spínač osvětlení stisknutý po dobu delší než 8 vteřin.
			28		Závada v komunikaci OT Objeví se, jestliže je závada v komunikaci mezi řídicím panelem a panelem částic
			29		Rezerva
			30		Rezerva
			31		Rezerva
			32		Rezerva
Ovládání bezpečnostního relé	=	Reset		0x01	
Stav bezpečnostního relé	=	Bezpečnostní relé není v pořádku (NG)		0x00	
		Bezpečnostní relé OK		0x01	
Stav modelu	=	Nic		0X00	Nic
		PLT 60		0x01	Zařízení s podavačem pelet
		PCS 60		0x03	Zřízení s instalovaným systémem řízení částic
Stav rychlosti motoru a aktuálního rozsahu	=	Stav rychlosti motoru, bitová pole, 0 = v pořádku, 1 = mimo rozsah	0		Motor dávkovače
			1		Motor polohovače
			2		Motor pro otáčení drtiče po směru hodinových ručiček
			3		Motor pro otáčení drtiče proti směru hodinových ručiček
			4		Motor podavače
			5		Nepoužívá se
		6		Nepoužívá se	
		7		Nepoužívá se	
		Stav aktuálního rozsahu motoru, stav, bitová pole, 0 = v pořádku, 1 = mimo rozsah	8		Motor dávkovače
			9		Motor polohovače
			10		Motor pro otáčení drtiče po směru hodinových ručiček
			11		Motor pro otáčení drtiče proti směru hodinových ručiček
			12		Motor podavače
			13		Nepoužívá se
			14		Nepoužívá se
15			Nepoužívá se		

Function Block
 Library Name:-
 Data Name:MB_ColdJet

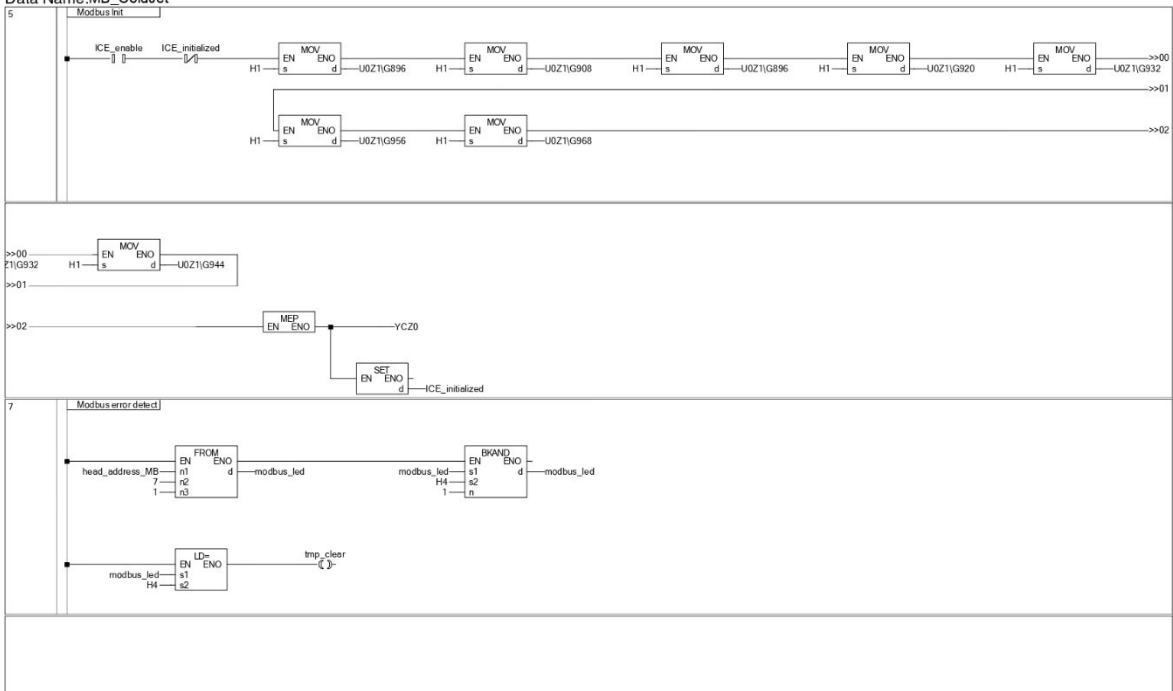
17-Mar-23



1

Function Block
 Library Name:-
 Data Name:MB_ColdJet

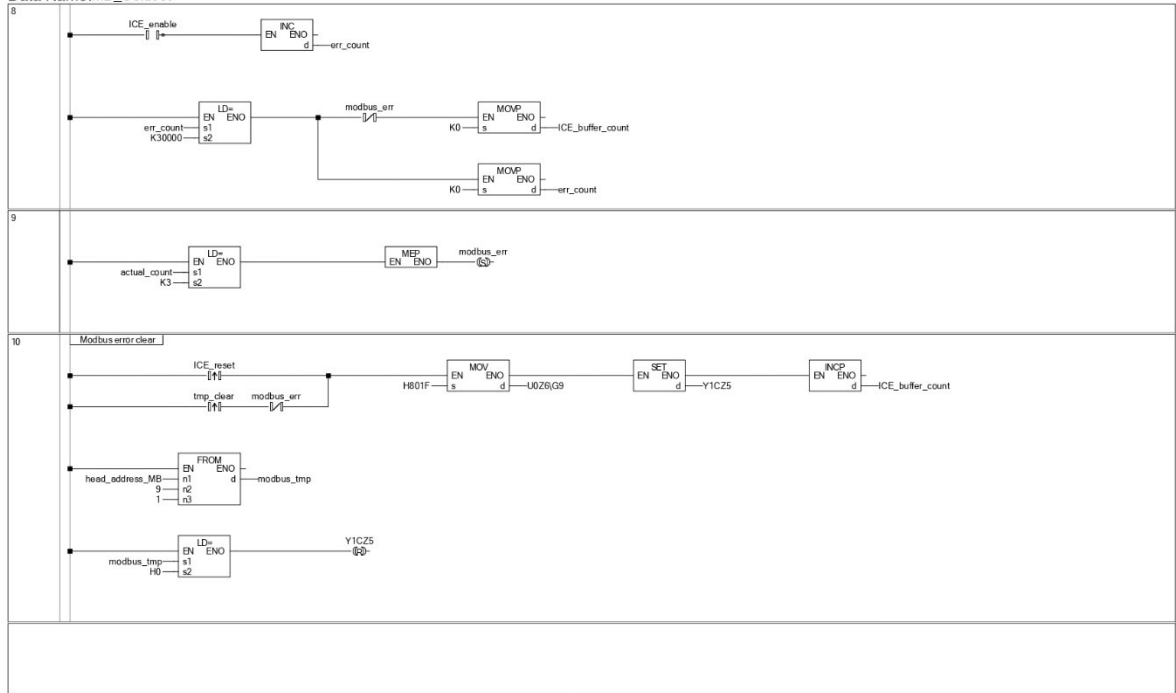
17-Mar-23



2

Function Block
 Library Name:-
 Data Name:MB_ColdJet

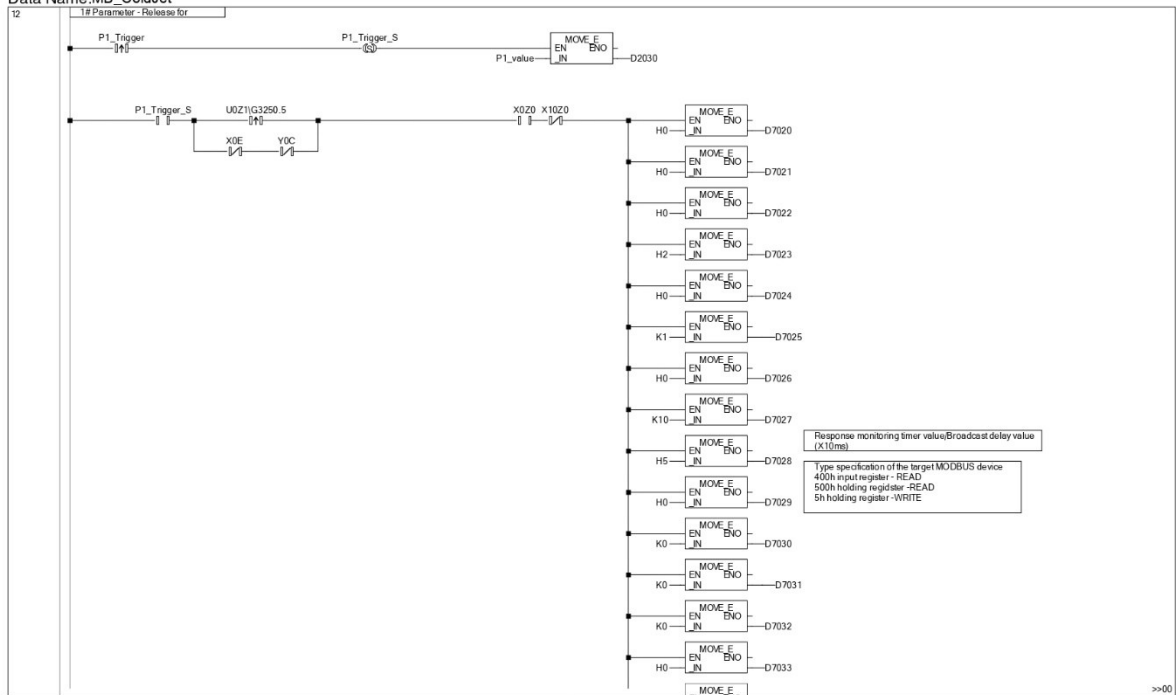
17-Mar-23



3

Function Block
 Library Name:-
 Data Name:MB_ColdJet

17-Mar-23



4

