

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T007 Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Automatizace testu úniku hélia z tepelných výměníků

Autor: **Bc. Jan KOČIŠ**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel KOPEČEK, CSc.**

Akademický rok 2016/2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Pavlu Kopečkovi CSc. za odborné vedení, za pomoc a cenné rady při zpracování této práce.

Také bych rád poděkoval panu Janu Mirvaldovi za odborné konzultace a kvalitní spolupráci přímo ve výrobní hale společnosti Daikin Industries Czech Republic s. r. o.

V neposlední řadě děkuji panu Filipu Liscovi za poskytnutí materiálů společnosti INFICON a spolupráci v oblasti nedestructivních zkoušek těsnosti produktů.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Kočíš	Jméno Jan	
STUDIJNÍ OBOR	2301T007 „Průmyslové inženýrství a management“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. Kopeček, CSc.	Jméno Pavel	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtně- te
NÁZEV PRÁCE	Automatizace testu úniku hélia z tepelných výměníků		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	91	TEXTOVÁ ČÁST	82	GRAFICKÁ ČÁST	9
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Práce se zabývá automatizací pracoviště testu úniku hélia ve společnosti Daikin Industries Czech Republic s. r. o. pomocí průmyslového robota.</p> <p>Cílem je snížení výrobních nákladů a zvýšení úrovně standardizace. Teoretická část se věnuje poznatkům především z oblasti automatizační techniky.</p> <p>V praktické části je provedena analýza současného stavu, návrh specifikace pro dodavatele, výběr vhodné varianty a ověření zvoleného řešení.</p> <p>V závěru práce je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Průmyslové inženýrství, automatizace, robotizace, průmyslové roboty, zkoušky těsnosti

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Kočíš	Name Jan	
FIELD OF STUDY	2301T007 “Industrial Engineering and Management“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) doc. Ing. Kopeček, CSc.	Name Pavel	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Automation of helium leak test from heat exchangers		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	92	TEXT PART	82	GRAPHICAL PART	9
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The thesis deals with the automation of the helium leak test at Daikin Industries Czech Republic s. r. o. using an industrial robot. The goal is to reduce production costs and to increase the level of standardization.</p> <p>The theoretical part is dedicated to knowledge especially in the field of automation technology.</p> <p>The second part analyzes the current state, proposes a specification for the supplier, chooses the appropriate variant and verifies the chosen solution. Last part of the thesis provides the technical and economic evaluation.</p>
KEY WORDS	Industrial Engineering, Automation, Robotization, Industrial robots, Leak Tests

Obsah

SEZNAM TABULEK	8
SEZNAM GRAFŮ	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
ÚVOD	12
1 PODNIKOVÉ PROCESY A JEJICH AUTOMATIZACE	13
1.1 PROCES NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY TĚSNOSTI.....	13
1.1.1 Cíle měření netěsností	13
1.1.2 Metody měření těsnosti	14
1.2 ROBOTY A JEJICH KLASIFIKACE	15
1.3 KINEMATIKA ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ	18
1.4 PRŮMYSLVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY	20
1.5 KONSTRUKCE ROBOTŮ	21
1.6 ŘÍZENÍ ROBOTŮ	23
1.7 BEZPEČNOST PŘI PROVOZU PRŮMYSLVÝCH ROBOTŮ	25
2 ČASOVÉ STUDIE PODNIKOVÝCH PROCESŮ	26
2.1 DĚLENÍ ČASOVÝCH STUDIÍ.....	26
2.2 MOŽNOSTI PROVÁDĚNÍ ČASOVÝCH STUDIÍ	26
2.3 POSTUP PŘI PROVÁDĚNÍ SNÍMKU OPERACE	28
2.4 METODIKA REFA.....	28
3 CHARAKTERISTIKA VÝROBNÍHO SYSTÉMU	31
3.1 O SPOLEČNOSTI DAIKIN INDUSTRIES CZECH REPUBLIC S.R.O.....	31
3.2 VÝROBA, MONTÁŽ A KONTROLA KVALITY NA LINCE F2	33
3.3 TEST ÚNIKU HÉLIA NA LINCE F2	33
3.3.1 Strojní zařízení a vybavení	34
3.3.2 Pracoviště testu úniku hélia	38
3.3.3 Testované tepelné výměníky	39
3.3.4 Postup testování	40
3.4 DŮVODY IMPLEMENTACE AUTOMATIZACE	44
4 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU, TESTOVÁNÍ A PŘÍPRAVA AUTOMATIZACE	45
4.1 SUMÁRNÍ CHRONOMETRÁŽ OPERACE	45
4.2 POTŘEBNÝ PRACOVNÍ DOSAH ROBOTA	46
4.3 ANALÝZA POLOH TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU.....	47
4.4 ANALÝZA DETEKCE HÉLIA.....	51
4.4.1 Použití sondy pro automatizaci	51
4.4.2 Vliv rychlosti a vzdálenosti od úniku na detekovanou hodnotu	52
4.5 ANALÝZA RIZIK	57
5 NÁVRH, HODNOCENÍ A VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY AUTOMATIZACE	60
5.1 SPECIFIKACE POŽADAVKŮ	60

5.1.1	Detekce hélia.....	60
5.1.2	Průmyslový robot.....	60
5.1.3	Ostatní.....	61
5.2	CENOVÉ NABÍDKY.....	62
5.2.1	Varianta A.....	63
5.2.2	Varianta B.....	64
5.2.3	Výběr kritérií, hodnocení variant a výběr vhodné varianty.....	65
5.3	ZVOLENÁ VARIANTA – ROBOT UR5 A 3D KAMERA.....	65
5.3.1	Robot UR5, jeho specifikace a postup instalace.....	65
5.3.2	Programování robota UR5.....	67
5.3.3	Ověření použití robota UR5 na pozici testu úniku hélia.....	71
5.3.4	3D Kamera Sick IVC-3D.....	74
6	ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ.....	77
6.1	KVANTITATIVNÍ HODNOCENÍ.....	77
6.2	KVALITATIVNÍ HODNOCENÍ.....	78
	ZÁVĚR.....	79
	POUŽITÉ PRAMENY A LITERATURA.....	80
	PŘÍLOHY.....	I

Seznam tabulek

Tabulka 1-1 Kinematické struktury, vazby a pracovní prostory robotů [2].....	19
Tabulka 2-1 - Přehled časových studií [3]	26
Tabulka 3-1 - Data o společnosti DICz [11]	32
Tabulka 3-2 - Počet pájených spojů všech testovaných výměníků, zdroj: autor	40
Tabulka 4-1 Výška krajních nejvyšších bodů výměníků BMS [14]	49
Tabulka 4-2 Vliv rychlosti na detekovanou hodnotu úniku, měřeno v DICz [19].....	55
Tabulka 4-3 Výtah z analýzy rizik [18]	59
Tabulka 5-1 Cenová nabídka – Varianta A [14]	63
Tabulka 5-2 Cenová nabídka – Varianta B [14]	64
Tabulka 5-3 Specifikace průmyslového robota UR5 [24]	66
Tabulka 5-4 Specifikace 3D kamery Sick IVC-3D [28]	76

Seznam grafů

Graf 4-1 Výšky krajních levých bodů na tepelných výměnících BMS [14]	50
Graf 4-2 Výšky krajních pravých bodů na tepelných výměnících BMS [14].....	50
Graf 4-3 Vliv vzdálenosti sondy od úniku na jeho detekovanou hodnotu [16]	52
Graf 4-4 Vliv vzdálenosti sondy od úniku na jeho hodnotu (únik na opačné straně) [29]	53
Graf 4-5 Vliv rychlosti pohybu sondy na detekovanou hodnotu úniku hélia [19].....	56
Graf 4-6 Orientační porovnání naměřených hodnot [14], [19]	56

Seznam obrázků

Obr. 1-1 Rozdělení robotů dle způsobu řízení [2].....	16
Obr. 1-2 Schéma průmyslového robotu první generace [5]	17
Obr. 1-3 Schéma průmyslového robotu druhé generace, systém "oko-ruka" [5].....	17
Obr. 1-4 Inteligentní mobilní robot " SHAKEY" [5]	17
Obr. 1-5 Suportová kinematická dvojice robotu [6]	18
Obr. 1-6 Otočná KD robotu [7].....	18
Obr. 1-7 Kyvná KD robotu [7].....	18
Obr. 1-8 Schématické znázornění a kinematické schéma robotu [8].....	19
Obr. 1-9 Schéma "RRR" robotu, jehož pracovním prostorem je torus [9]	20
Obr. 1-10 Schéma funkce senzoru [1].....	22
Obr. 2-1 Znázornění měření pomocí dílčích a kumulovaných časů, zdroj: autor	27
Obr. 2-2 Formulář časového snímku [14, autor].....	30
Obr. 3-1 Prodeje společnosti Daikin Industries, Ltd. [10]	31
Obr. 3-2 Pohled na výrobní areál DICz [14]	32
Obr. 3-3 Produkt společnosti DICz – „Emura“, oceněn Reddot design award 2014 [13]	33
Obr. 3-4 Výkres testovací kabiny [15]	34
Obr. 3-5 Princip detekce hélia 1/3 [16]	35
Obr. 3-6 Princip detekce hélia 2/3 [16]	35
Obr. 3-7 Princip detekce hélia 3/3 [16]	36
Obr. 3-8 Ruční sonda [17].....	37
Obr. 3-9 Displej ruční sondy [17]	37
Obr. 3-10 Héliový standard Pro-check [17]	38
Obr. 3-11 Pracoviště testu úniku hélia [14].....	38
Obr. 3-12 Schéma tepelného výměníku (BMS) [14]	39
Obr. 3-13 Charakteristické rozměry tepelných výměníků v mm [14]	40
Obr. 3-14 Body, ve kterých se kontroluje těsnost pájených spojů [14]	42
Obr. 3-15 Schéma trajektorie sond při kontrole těla výměníku 1/2 [14]	43
Obr. 3-16 Schéma trajektorie sond při kontrole těla výměníku 2/2 [14]	44
Obr. 4-1 Časový snímek testu těsnosti pájených spojů výměníku BMS [14, autor].....	46
Obr. 4-2 Znázornění potřebného pracovního prostoru robota, zdroj: autor	47
Obr. 4-3 Znázornění různých úhlů ohnutí potrubí tepelného výměníku [14]	48
Obr. 4-4 Znázornění stupňů volnosti pro výměník (bez vlivu potrubí), zdroj: autor.....	48
Obr. 4-5 Schéma měření výšek stran tepelného výměníku BMS [14].....	49
Obr. 4-6 Podoba sondy pro aplikace automatizace [14]	51

Obr. 4-7 Nástavec sondy pro testování velkých rovinných ploch [14]	52
Obr. 4-8 Schéma měření společnosti INFICON [29].....	53
Obr. 4-9 Závislost detekované hodnoty na rychlosti pohybu sondy [29]	54
Obr. 4-10 Fotografie z měření hodnoty úniku ve společnosti DICz [19]	55
Obr. 4-11 Umístění testovacího robota UR5 na zadní straně kabiny [19]	57
Obr. 5-1 Robot RV-4FL společnosti Mitsubishi Electric Corporation [22]	63
Obr. 5-2 Robot UR5 výrobce Universal Robots [23].....	64
Obr. 5-3 Popis kloubů průmyslového robota UR5 [27]	65
Obr. 5-4 Uvítací obrazovka rozhraní Polyscope [27]	67
Obr. 5-5 Prázdný program robota UR5 [27]	68
Obr. 5-6 Příkaz fixního bodu [27]	69
Obr. 5-7 Vzhled záložky "Graphics" [27]	71
Obr. 5-8 Závislost velikosti úniku hélia na výstupní tlaku z nádoby [14]	73
Obr. 5-9 Fotografie z měření simulovaného úniku, [14].....	74
Obr. 5-10 Měření úniku robotem za podmínek reálného testu [14].....	74
Obr. 5-11 3D kamera Sick IVC-3D [25].....	75
Obr. 5-12 Princip aktivní 3D triangulace [26]	75

Seznam použitých zkratk a symbolů

<i>He</i>	Chemická značka helia
<i>UI</i>	Umělá inteligence
<i>KD</i>	Kinematická dvojice
<i>PTP</i>	Point to point, (pohyb) z bodu do bodu
<i>DICz</i>	Daikin Industries Czech Republic s.r.o.
<i>DENV</i>	Daikin Europe N.V.
<i>NG</i>	V DICz označení pro zmetek, vychází z anglického „Not good“
<i>BMS/BML</i>	Označení modelů klimatizačních jednotek
<i>F2</i>	Označení výrobní linky vnitřních klimatizačních jednotek BMS/BML
<i>R1</i>	Označení výrobní linky vnějších klimatizačních jednotek
<i>UR3/UR5</i>	Označení modelů průmyslových robotů výrobce Universal Robots
<i>PLC</i>	Programmable logic controller = programovatelný logický automat
<i>I/O</i>	Input/output = Vstup/výstup; HW
<i>DI</i>	Digital input = digitální vstup
<i>DO</i>	Digital output = digitální výstup
<i>Pa·m³/s</i>	Jednotky, ve kterých je měřen únik hélia, alternativně i [mbar·l/s]
<i>DN</i>	Doba návratnosti (investice)

Úvod

V současné době roste cena lidské práce a snahou průmyslových podniků je tyto náklady snižovat. V důsledku globalizace je na trhu silnější konkurence a i zákazník získává stále výhodnější pozici a jeho nároky na kvalitu, rychlost dodání a nízkou cenu se neustále zvyšují.

Ruční práce na zajištění těchto požadavků již víceméně nestačí. Člověk provádí monotónní práci, zapojuje stále stejné svaly, jeho pracovní pohoda je ohrožena, nestíhá, odchází hledat jiné zaměstnání. Dochází k vysoké fluktuaci zaměstnanců, které je potřeba neustále opakovatě školit. Noví zaměstnanci dělají chyby, což má za následek další a další zvyšování nákladů. Všechny tyto aspekty lze odstranit zavedením automatizace.

Společnost Daikin Industries Czech Republic s.r.o. se aktivně zabývá snižováním výrobních nákladů i modernizací své výrobní haly. Na výrobní lince F2 se nachází pracoviště testu úniku hélia, kde se ověřuje těsnost zde vyráběných tepelných výměníků. Ve společnosti byl vytvořen projekt, který se zabývá automatizací tohoto pracoviště. Cílem projektu je snížení nákladů na zaměstnance, odstranění lidského faktoru z procesu kontroly kvality, zvýšení standardizace procesu, modernizace výroby a další. Diplomová práce byla společností zadána, aby její výsledky pomohly dosáhnout cílů projektu.

První část diplomové práce je teoretická. Zabývá se literární rešerší v oblasti nedestruktivních zkoušek těsnosti produktů, dále v oblasti průmyslových robotů a manipulátorů a nakonec časovými studiemi, prováděnými v průmyslových podnicích.

Cílem praktické části práce je seznámit se s konkrétním výrobním procesem v průmyslové praxi, tento proces podrobně zanalyzovat a zjištěné skutečnosti aplikovat při sestavování specifikace požadavků pro dodavatele automatizační techniky. Dalším cílem je z obdržených cenových nabídek dodavatelů vybrat vhodnou variantu podle zvolených kritérií. Součástí práce je i testování průmyslového robota ve výrobní hale společnosti a následné praktické ověření aplikace robota UR5 na pozici testu úniku hélia při dodržení reálných podmínek testu.

1 Podnikové procesy a jejich automatizace

Podnikovým procesem, kterým se zabývá tato diplomová práce, je proces nedestruktivní zkoušky těsnosti výrobku. Tyto zkoušky lze provádět s různými cíli a podle rozličných metodik.

1.1 Proces nedestruktivní zkoušky těsnosti

Těsnost je odpor stěn a spojů proti pronikání tekutin ze strany jejich větší koncentrace na stranu koncentrace nižší. Netěsnost je potom ztráta, nebo zhoršení této vlastnosti. Oblast zkoušení těsnosti se nachází mezi dvěma extrémy. Prvním z nich je permeace, což je přirozený průnik plynné fáze fází pevnou. Druhým extrémem jsou pak projevy netěsnosti, které jsou zřetelné (praskliny, trhliny) a jimiž plyn uniká s nepřehlédnutou intenzitou. Netěsnost může být vada ojedinělá, ale také souhrn několika miliónů mikroskopických projevů. Jestliže na výrobku vznikne trhlina a viditelně z ní kapalina uniká, jde toto mimo obor zkoušení netěsnosti, jelikož existence defektu je evidentní a je známa i jeho poloha. Pokud je však potřeba doložit, že daný výrobek splňuje určité normy netěsnosti, pak je toto úkol pro obor zkoušek netěsností, protože je nutné aplikovat vhodnou techniku, zkušební postup a změřit velikost netěsnosti. [20]

Velikost vady je definována intenzitou průtoku. V praxi se netěsnost odvozuje od přípustných průniků pracovní látky za daný časový interval. Tato hodnota se poté musí přepočítat na standardní zkušební podmínky. Intenzitě měřeného průniku je potřeba přizpůsobit metodiku, zkušební postup i techniku. V každém průmyslovém oboru je interval měřených netěsností na jiných úrovních. [20]

Geometrie netěsnosti je velkým problémem, jelikož neexistuje žádný prostředek pro zjištění geometrie netěsnosti, i když má bezprostřední vliv na její velikost. Průměr, délku, orientaci, počet a další informace o netěsnosti nelze zjistit vlivem velmi malých hodnot těchto parametrů. Z tohoto důvodu jsou pro stanovení výsledků měření k dispozici pouze méně přesné výpočtové postupy. [20]

1.1.1 Cíle měření netěsností

Měření se provádí ze dvou hlavních důvodů, jedním z nich je měření velikosti netěsnosti, kde není důležitá její poloha. V druhém případě se naopak identifikuje poloha zdroje úniku, jehož velikost je nepodstatná.

Měření netěsností

Při měření netěsnosti je snaha o zjištění její velikosti (průtočného množství), ale její poloha je zanedbána. S rozvojem techniky se dají měřit stále menší průtoky, nicméně je prokázáno, že nulová netěsnost je nereálná. Je možné se jí přibližovat, ale nelze ji dosáhnout. Pro určité technologické procesy stačí, když je velikost netěsnosti nižší než určitá hranice. [20]

Hledání netěsností

Při hledání netěsnosti se lokalizuje místo výtoku tekutiny z netěsnosti, přičemž velikost průtoku je druhořadá. Pokud to proces dovoluje, místo netěsnosti se většinou nehledá, protože je s tím spojena velká časová i finanční náročnost. Netěsnost lze nalézt za krátký čas pouze na velmi malé lokalitě. Lokalizace netěsností tedy vychází z velikosti testované oblasti. Při hledání na větší ploše, je vhodné rozdělit tuto plochu na dílčí oblasti a nejprve vyloučit úseky bez úniků. Teprve potom je vhodné hledat konkrétní místa v úsecích netěsných. [20]

1.1.2 Metody měření těsnosti

Metod měření je celá řada a jejich princip bude zjednodušeně popsán.

Akustická metoda

Pokud výtok plynu dosáhne dostatečné výtokové rychlosti, vytváří ultrazvukové vlnění nad 20kHz, které lze zachytit selektivním mikrofonem a pomocí vhodného nástavce lze místo úniku dohledat. Tato metoda je vhodná pro parní a plynová potrubí, armatury či přírubové spoje. [20]

Penetrační metoda

Na jednu stranu zkoušeného spoje se aplikuje penetrant a na druhé straně se vytvoří podmínky vhodné pro vztlínání penetrantu netěsností. To se projeví tvorbou barevných skvrn ve vývoje. Vhodné pro velké netlakové a otevřené nádoby, nádrže a tělesa lodí. [20]

Kalorimetrická metoda

Postup je obdobný jako u metody penetrační. Na zkoušené spoje se nanese bílá barva, obsahující činidlo, které reaguje na prostředí změnou barvy. Zkoušená součást je naplněna amoniakem o zkušební tlaku a průnik amoniaku vyvolá chemickou reakci. Případné netěsnosti se tak projeví jako barevné skvrny na bílém podkladě. [20]

Bublínková zkouška

Tento druh zkoušky obecně zviditelňuje místo výtoku plynu tvorbou bublinek. Jako detekční prostředí se používá voda či pěnový roztok. [20]

Metody měření změn

Jedná se o měření hodnoty tlaku za čas, například poklesu. To vede k výpočtu velikosti úniku, nicméně není ho možné lokalizovat. [20]

Metody s aplikací zkušebního plynu

Tyto zkušební postupy prokazují místo výtoku plynu zesílením signálu detektoru příslušné látky. Jako zkušební plyn lze použít jakýkoliv plyn, pro který existuje detektor. Tyto druhy zkoušení netěsností mají také nejširší možnosti aplikace. [20]

Metody pracují na principu detekce průniků zkušebního plynu netěsností stěn či spojů. Jako zkušební médium se volí plyn, jehož výskyt je ve volné atmosféře zanedbatelný. Průnik této látky netěsnostmi se hledá vhodnými detekčními prostředky. Pracuje se s ní především při kontrole nových výrobků. [20]

Jednou z možností, jak hledat polohu úniku zkušebního plynu je pomocí atmosférické sondy. Zkoušený objekt je naplněn zkušebním plynem, který vyplňuje jeho dutinu a potenciálními netěsnostmi uniká do volné atmosféry. Nad vnějším povrchem se pohybuje detekční sonda, pomocí které se kontinuálně vyhodnocuje složení lokální vzdušiny. Pokud detekční systém zjistí přítomnost zkušební látky, zareaguje úměrným signálem vizuálně či akusticky. [20]

Atmosférická sonda se nazývá proto, že sonda detekuje úniky plynu do volné atmosféry. Sonda může mít celou řadu různých konstrukčních řešení a může pracovat na rozličných fyzikálních principech. Může obsahovat detekční systém přímo uvnitř, nebo pomocí čerpacího systému plyn dopravuje hadičkou do detekčního zařízení. [20]

Možnosti této aplikace jsou omezené. Unikající látka se rychle mísí s atmosférickým vzduchem, a proto jsou nejmenší zjistitelné úniky nejvýše $1,0E-8 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$. Příliš velká netěsnost pro změnu způsobí zamoření okolního vzduchu zkušební látkou tak, že nelze identifikovat místo úniku zkušebního média. Z tohoto důvodu je obtížné hledat úniky větší než $0,1 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$.

Při tomto způsobu je nutné vést konec sondy co nejbližší k testovanému povrchu s velmi malou rychlostí pohybu. Detektor totiž reaguje s citelným zpožděním a poloha sondy po té době je již dál, než místo úniku. Z těchto důvodů vyžaduje testování poměrně mnoho času. [20]

Obvykle se výrobek zkouší nejprve na celkovou netěsnost jinou metodou a až poté zkouškou úniku zkušebního plynu. Pro hromadnou výrobu je možné tyto zkoušky s atmosférickou sondou automatizovat. Funkce sondy se ověřuje kontrolní netěsností, která se skládá ze zásobníku zkušební látky, ventilu, umělé netěsnosti, případně manometru atd. Průtok touto netěsností je metrologicky ověřen, certifikován a musí být pravidelně kalibrován. Během zkoušek se v pravidelných intervalech kontroluje funkce detektoru přiblížením sondy k výtoku z kontrolní netěsnosti. Detektor musí adekvátně zareagovat. [20]

Cílem této diplomové práce je proces zkoušení těsnosti tepelných výměníků automatizovat pomocí průmyslového robota.

Automatizace slouží k částečnému nebo úplnému vyloučení člověka z výrobního procesu tam, kde je omezujícím faktorem nebo je výrobním procesem ohrožován. Nahrazování fyzické práce člověka automatickými systémy je rysem současného technického pokroku. Automatizace se navíc stále vyvíjí s nástupem mikroelektroniky a moderní řídicí techniky v podobě počítačů.

Významné postavení mají v současné době prostředky pro automatizovanou operační manipulaci, tedy průmyslové roboty a manipulátory. Cílem zavádění robotizovaných technologických pracovišť či celých robotizovaných technologických komplexů je zvyšování produktivity práce při snižování úplných vlastních nákladů, úspora pracovních sil a zvýšení kultury lidské práce. [2]

Průmyslové roboty jsou nejvíce nasazovány v automobilovém průmyslu, či obecněji při montážních a svařovacích operacích. Současnou úroveň lze charakterizovat tak, že převládá spíše HW řešení (mechanická orientace dílů, úchopy, pokládání atd.) před SW řešením (tzv. inteligentní montáž v kombinaci s videosystémy a strojovým viděním). Hlavní tendence se ubírají spíše k vyšším rychlostem a větším přesnostem. V nevýrobní sféře se pak roboti používají v prostředí nepřátelském či nebezpečném člověku, např. při požárech, teroristických útocích, při odstraňování výbušnin, v kosmickém prostoru či v radioaktivním prostředí. [2]

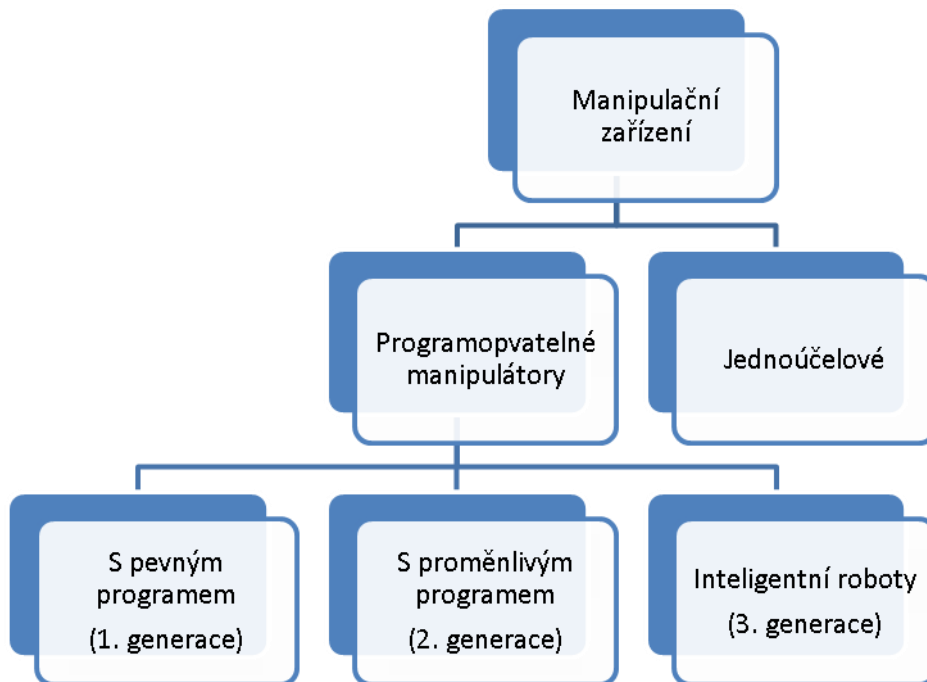
1.2 Roboty a jejich klasifikace

Roboty lze dělit dle všemožných hledisek a parametrů, proto jsou zde uvedeny pouze základní rozdělení a to dle prováděné práce a dle způsobu řízení.

Roboty lze členit dle prováděné práce na:[2]

- **Manipulační** (podávání)
- **Technologické** (svařovací, montážní, nanášení povlaků)
- **Speciální** (pod vodou, v kosmu atd.)
- **Univerzální** (kombinované)

Dle způsobu řízení lze roboty dělit následovně:



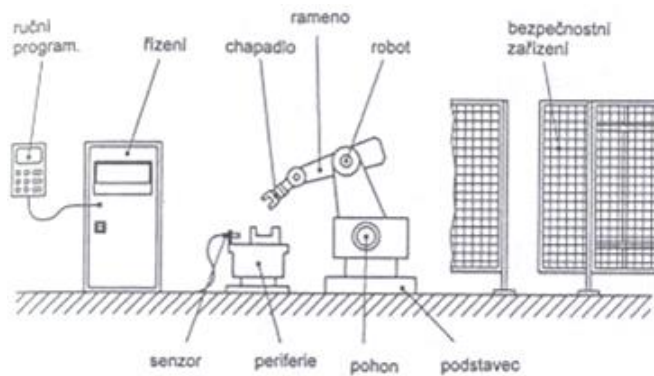
Obr. 1-1 Rozdělení robotů dle způsobu řízení [2]

Manipulátory jsou manipulační zařízení s nižším počtem stupňů volnosti

Robot je zařízení, které je schopné pracovat z části samostatně a vykonávat tak dané úkoly předem určeným způsobem s různou mírou interakce s okolím.[2]

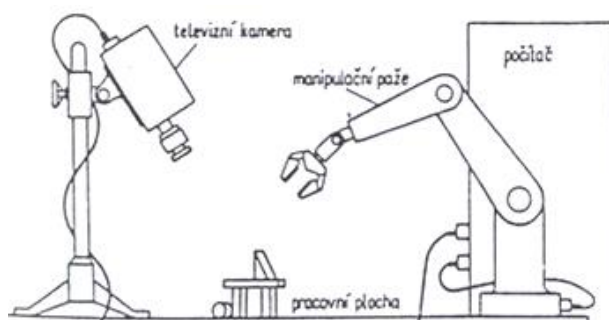
Průmyslový robot je univerzálně použitelný automat pro vykonávání manipulačních operací, které zastávají funkci člověka, např. u výrobního stroje. Bývají programovatelné v několika osách a pomocí chapadel, nástrojů a senzorů vykonávají velké množství pracovních úkonů. Složitost řídicího systému určuje tzv. generaci robota. [2]

Roboty první generace - k pevně naprogramovaným postupným operacím, pro určenou výrobní operaci, která je stálá, při změně operace se uskuteční změna programu. Změna programu je vcelku jednoduchá a jsou dostatečně univerzální v oblasti „Uchop a umístí“. [2]



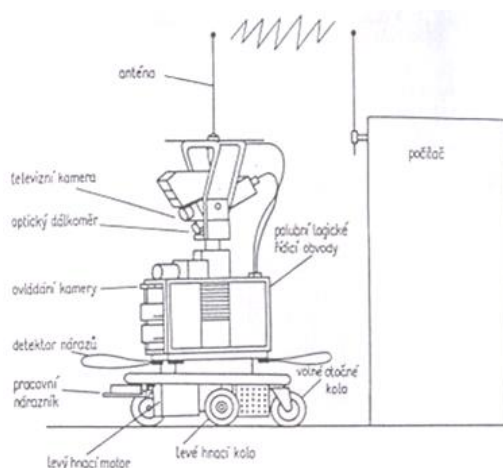
Obr. 1-2 Schéma průmyslového robotu první generace [5]

Roboty druhé generace - vyšší úroveň, jsou vybaveny širokou řadou senzorů nebo viděním pomocí kamery, systém „udělej a ověř“ či „oko-ruka“ [2]



Obr. 1-3 Schéma průmyslového robotu druhé generace, systém "oko-ruka" [5]

Roboty třetí generace - inteligentní roboty, elementy UI dávají robotu schopnost přizpůsobovat se podmínkám, učit se a řešit samostatně zadané úkoly, používají se prvky vizualizace, hlasové komunikace, rozpoznávání objektů a orientace v prostředí. [2]



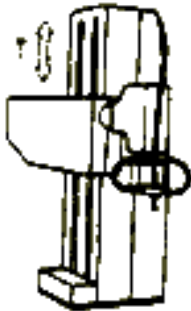
Obr. 1-4 Inteligentní mobilní robot "SHAKEY" [5]

1.3 Kinematika robotů a manipulátorů

Nejčastěji je využíváno kinematických dvojic translačních a rotačních, respektive jejich kombinací.

Translační (posuvné) kinematické dvojice

- **Suportové** – po dlouhém vedení se posouvá krátké těleso

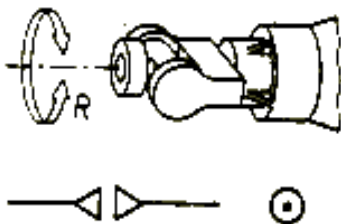


Obr. 1-5 Suportová kinematická dvojice robotu [6]

- **Smykadlové** – v krátkém vedení se posouvá dlouhé těleso
- **Výsuvné** – teleskopické

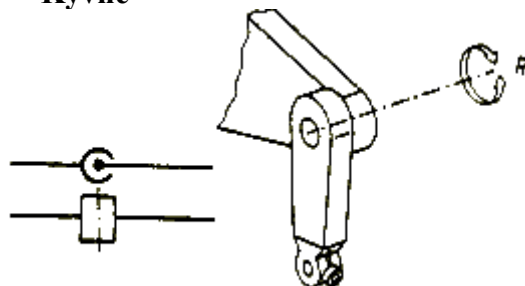
Rotační kinematické dvojice

- **Otočné**



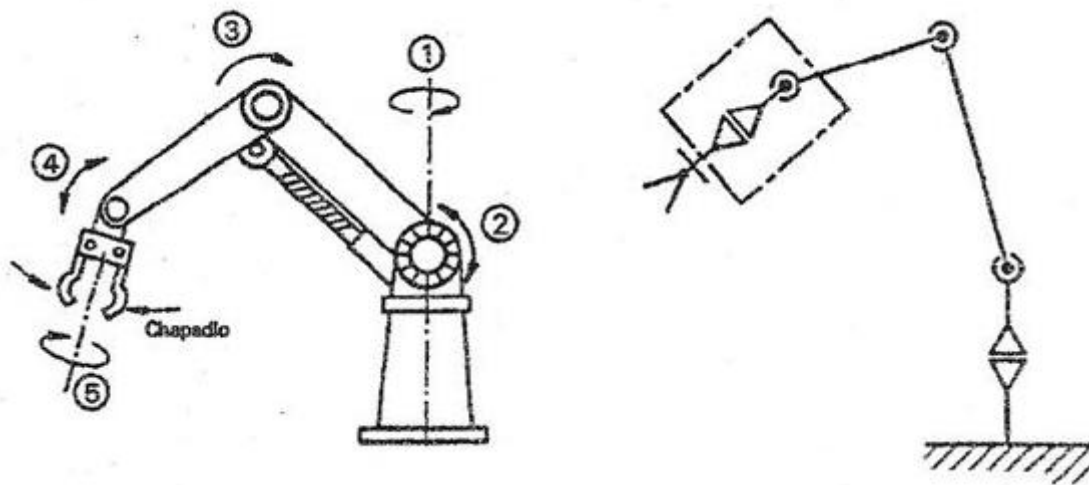
Obr. 1-6 Otočná KD robotu [7]

- **Kyvné**



Obr. 1-7 Kyvná KD robotu [7]

Ze spojení kinematických dvojic lze sestavovat libovolné kinematické řetězce, které tvoří tzv. kinematickou strukturu robota.



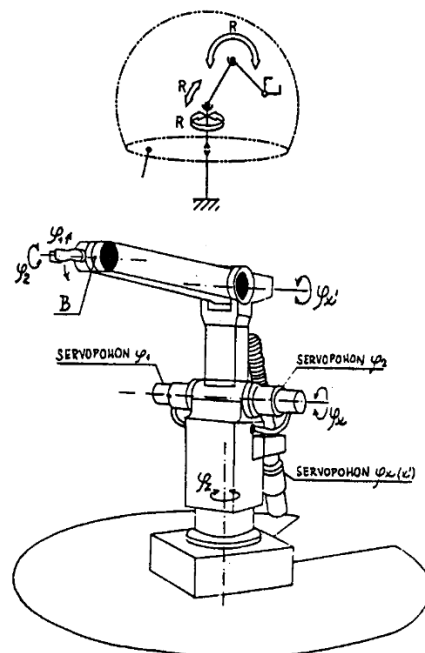
Obr. 1-8 Schématické znázornění a kinematické schéma robota [8]

Spojení kinematických dvojic určuje tzv. pracovní prostor robota, což je oblast, kam dosáhne koncový bod ramene robota. K následujícím čtyřem typům kinematických struktur robotů, které se v praxi používají, odpovídají tyto pracovní prostory:

Typ kinematické struktury	Kinematické dvojice	Pracovní prostor
TTT	Tři translační	Kvádr
RTT	Jedna rotační, dvě translační	Válcový segment
RRT	Dvě rotační, jedna translační	Koule
RRR	Tři rotační	Torus

Tabulka 1-1 Kinematické struktury, vazby a pracovní prostory robotů [2]

V praxi nepoužívanější kinematickou strukturou robotů je „RRR“, která je na základě kinematických rozborů nejpřesnější, vyžaduje menší zastavěný prostor, snadno se dá rozšířit například o pojezd, nevýhodou je však nižší dosah.



Obr. 1-9 Schéma "RRR" robotu, jehož pracovním prostorem je torus [9]

1.4 Průmyslové roboty a manipulátory

Nejdůležitějšími hledisky pro posuzování průmyslových robotů a manipulátorů jsou následující atributy: [2]

- Manipulační schopnost
- Počet stupňů volnosti
- Hmotnost břemene
- Dosahovaná přesnost
- Rychlost pohybů
- Konstrukce robotu
- Způsob řízení

Manipulační schopnost

Dána druhem, stavbou a typem použitého zařízení. Závisí na konstrukci a pohyblivosti os a ramen robotu. Při navrhování robotizovaného pracoviště je na základě technické dokumentace součásti, technologických postupů výroby provést rozbor manipulační operace a na základě toho určit typ vhodného robotu. [2]

Počet stupňů volnosti

Lidská ruka, kterou roboty často nahrazují, má 27 stupňů volnosti. Pro obecné zajištění polohy a natočení objektů v prostoru však stačí pouze 6 stupňů volnosti. Roboty s více stupni volnosti se používají pouze pro speciální účely. [2]

Hmotnost břemene

Hmotnost manipulovaného břemene je dalším z důležitých parametrů, většinou se uvažuje včetně manipulačního zařízení robotu.

Přesnost manipulace

Přesnost závisí na konstrukci, použitých pohonech, měření a řízení robota. Běžnou přesností jsou dnes desetiny milimetru, ale speciální roboty dosahují přesnosti až setin milimetru. Rozlišuje se následovně: [2]

- **Přesnost polohování** – maximální odchylka mezi požadovanou a skutečnou polohou při najetí do libovolného bodu pracovního prostoru, je ovlivněna rychlostí pojezdu, směrem a vzniklým zatížením.
- **Opakovaná přesnost** – zpravidla vyšší než přesnost polohování, jelikož se cíle dosahuje stále za stejných podmínek.

1.5 Konstrukce robotů

Ke konstrukci robotů se využívá rozmanitá škála pohonů, převodů, pracovních hlavic (chapel), odměřovacích zařízení, senzorů atd., některé části zde budou popsány.

Pojezdové ústrojí

Používá se tam, kde je vyžadován pohyb robota po delší dráze například při podávání břemene mezi dvěma pracovišti. Robot nebo manipulátor je umístěn na pojezdové ústrojí, které může mít mnoho podob např. řízených koleček umístěných na robotovi, speciálního podvozku, na který je robot připevněn, či kolejové a závěsné dráhy. [2]

Pohony

Každá vlastní osa robotu potřebuje vlastní servopohon, který musí zajistit jak pomalé a přesné najíždění, tak rychloposuv s dostatečným zrychlením a brzděním.

Dle druhu použité energie se pohony dělí na: [2]

- **Mechanický** – u jednoduchých manipulátorů, především vačkové a pákové mechanismy
- **Hydraulický** – hydraulikou se dosahuje vysokých sil při malých rozměrech a hmotnosti, nevýhodami jsou teplotní závislost, nízká účinnost a možnost ztrát oleje v netěsnostech.
- **Pneumatický** – především u manipulátorů, nízké pořizovací náklady, jednoduchá údržba a čistota prostředí, nicméně jsou hlučné, špatně regulovatelné a představují vyšší energetické náklady
- **Elektrický** – v dnešní době nejpoužívanější, představují jednoduchou montáž, servis, náklady na údržbu jsou nižší. Používají se střídavé, stejnosměrné, či krokové motory.
- **Kombinovaný** – jedná se o kombinace předchozích typů pohonů.

Odměřovací zařízení

Pomocí něj se zjišťuje skutečná poloha řízeného členu, která je porovnávána s hodnotou požadovanou. Dle rozdílu mezi těmito hodnotami se pohyb robotu různě koriguje. Základními druhy jsou inkrementální a absolutní odměřování: [2]

- **Inkrementální** - dráha je odměřována po každém jednotlivém kroku pomocí snímače.
- **Absolutní** – pro každou pozici robota je generován signál, který přesně určuje jeho okamžitou polohu a natočení

Senzory

Zdroje informací neboli senzory a čidla jsou další důležitou součástí většiny moderních automatizovaných soustav a zařízení. Jejich prvořadým úkolem je zjišťovat přítomnost různých fyzikálních veličin a umožnit další zpracování získaných údajů. Rychlý vývoj mikroelektroniky napomohl rozšíření schopností senzorů. Ty se postupně mění na tzv. inteligentní a kompaktní měřicí systémy s vestavěnými funkcemi zpracování signálu a specifickými možnostmi komunikace. [1]

Dle měřené veličiny lze senzory dělit na: [1]

- **Senzory teploty**
- **Senzory tlaku**
- **Senzory průtoku**
- **Mechanických veličin** (posunutí, polohy, rychlosti, zrychlení, síly, mechanického napětí aj.)
- **Senzory elektrických a magnetických veličin**

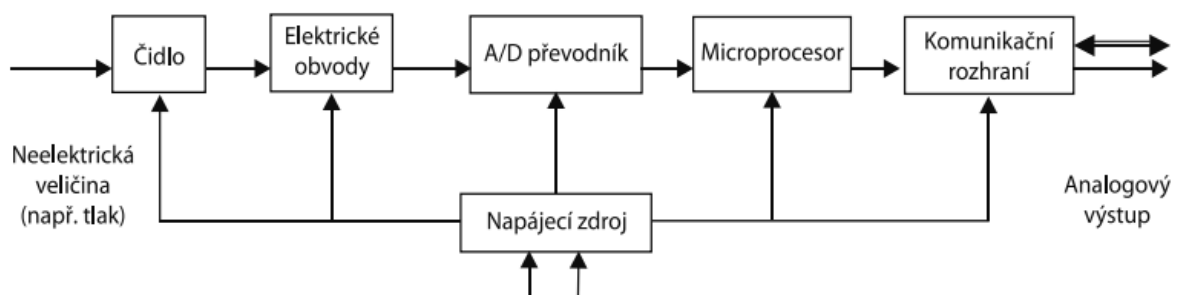
Dle fyzikálního principu na: [1]

- **Senzory odporové**
- **Indukčnostní**
- **Indukční**
- **Kapacitní**
- **Magnetické**
- **Piezelektrické**
- **Optoelektronické**
- **Optické vláknové**

A dle styku senzoru s měřeným prostředím na:

- **Bezdotykové**
- **Dotykové** (proximitní a taktilní).

Senzor je funkční prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Citlivá část senzoru se označuje jako čidlo.



Obr. 1-10 Schéma funkce senzoru [1]

Senzor snímá sledovanou veličinu a tu podle určitého principu transformuje na měřenou, většinou elektrickou, veličinu. Vzniklý analogový signál je možné transformovat převodníkem A/D na digitální signál a ten pak pomocí mikropočítače dále upravovat (např. provést korekce hodnot). Ve většině případů je výstup vybaven rozhraním umožňujícím přenos naměřených dat. [1]

Pracovní hlavice a chapadla

K uchycení nástrojů a provádění úkonů slouží pracovní hlavice. Chapadla se používají jako koncové členy pro uchycení a umístování předmětů v pracovním prostoru. Tyto součásti by měly být co nejlhčí, jelikož jejich hmotnost značně ovlivňuje zatížení, které při pohybu robotu vzniká. Úkolem chapadel je zajistit bezpečnou manipulaci s břemenem. Typ chapadel je nutno volit podle tvaru manipulovaných součástí. Chapadla lze dělit následovně: [2]

- **Mechanická** – nejčastější použití, většinou v kombinaci s hydraulickými či pneumatickými pohony.
- **Pneumatická** – jedná se o podtlakové hlavice neboli přísavky, které slouží k přemístování především rovinných objektů.
- **Magnetická** – použití pro menší součásti feromagnetických materiálů.

Pro manipulaci s větším množstvím objektů či při používání více nástrojů se používá vícenásobných či výměnných hlavic.

1.6 Řízení robotů

Činnost robotu ovládním pohonů a dalších mechanismů řídí dle uloženého programu řídicí systém, ten dále zajišťuje i komunikaci s ostatními systémy, např. řízení dopravníku výrobků či polotovarů apod. Základní jednotkou řídicího systému robotu je počítač, podle programů uložených v paměti počítače, řídí procesor veškerou činnost robotů, což obnáší řešení četných a často velmi odlišných úkolů. Řízení přitom provádí celou řadu výpočetních operací. [2]

Činnost řídicího systému závisí na zvoleném režimu: [2]

- **Ruční** – Ručně jsou vyvolávány jednotlivé příkazy např. pro pohyb
- **Zadávání programu** – program ukládá načtené uživatelské programy a hodnoty polohy do paměti v určitém programovacím jazyce, který umožňuje zahrnout do sebe i vstupy a výstupy periferních zařízení
- **Automatický režim** – Uživatelské programy jsou automaticky vyvolávány z paměti robotu, řádky programu se provádějí bez přerušení.

Body v pracovním prostoru robotu jsou definovány pomocí souřadnic. Obecně lze rozlišit tři různé souřadnicové systémy a to souřadnice v prostoru, souřadnice chapadla a souřadnice stroje: [2]

- **Prostorové souřadnice** – Jedná se o tři pravoúhlé souřadnicové osy X, Y, Z a příslušné osy rotace A, B, C, které udávají natočení osy chapadla v prostoru, přičemž je vše vztaženo k počátku souřadného systému. K najetí na požadovaný bod potřebuje chapadlo 6 nezávislých směrů pohybu (stupňů volnosti).
- **Souřadnice chapadla** – Robota je často výhodnější řídit v souřadnicovém systému vztaženém přímo k chapadlu, jímž je většina úkonů prováděna.
- **Souřadnice stroje** – Jedná se o souřadnice vztažené ke stroji, používají se u robotů s kloubovými rameny a poloha se určuje uvedením úhlů natočení jednotlivých ramen robota.

V těchto souřadnicových systémech se roboty mohou pohybovat obecně několika způsoby: [2]

- **Pohyb z bodu do bodu** (PTP – point to point) – při tomto pohybu je chapadlo robota přemístěno do nové polohy po co nejkratší trajektorii ve všech osách. Tento druh pohybu má nízké nároky na řízení a je proto vhodný pro rychlé pohyby. Nevýhodou je však občasná nepředvídatelnost pohybů, použití v blízkosti překážek se tedy nedoporučuje.
- **Lineární interpolace** – použití pro přesné geometrické pohyby definovanou rychlostí po dráze, např. lepení, svařování. Je možné je provádět nižší rychlostí než PTP.
- **Kruhová interpolace** – použití pro kruhovou trajektorii. Kromě koncového bodu je nutno zadat souřadnice bodu, který leží na oblouku, poloha středu oblouku apod. zbytek pak řídicí systém dopočítává.
- **Přesné a korigované najíždění do bodů** – přesné najíždění se používá, pokud je nutné přesné dosažení cílového bodu, pohyb se pak prováděn ostrými přechody. Korigované najíždění vytvoří přechody pozvolné, čímž se zamezí chvění chapadla. Přechody nejsou ostré a trhané, ale plynulé po malých obloucích.

Tyto pohyby robota lze obecně programovat rozličnými metodami: [2]

- **Ruční programování** – Jde o ruční zadávání hodnot souřadnic pro každou jednotlivou polohu robota. Tento postup je poměrně zdoluhavý a časově náročný.
- **Metoda Teach-in** – jedná se o metodu, při které řídicí systém snímá průběh dráhy při najíždění do jednotlivých dílčích cílových bodů (obvykle v krokovém režimu) a jejich souřadnice si uchovává do paměti. Robot se tak „učí“ souřadnice bodů, proto název „Teach-in“ (teach = učit).
- **Metoda play-back** – používá se pro složité pohyby, které vyžadují vysokou přesnost. Ručně, či pomocí funkčních kláves se v krokovém režimu „objede“ požadovaná trajektorie, kterou si robot v určitých intervalech ukládá do paměti. Robot tedy bude opakovat předvedenou trajektorii, proto označení „play-back“ = „opakování záznamu“.
- **Volný ruční pohyb robotu** – tato, spíše speciální metoda, umožňuje „mknout“ všechny pohyblivé části robotu. Programátor robota pak může chapadlem v rámci pracovního prostoru volně manipulovat (manuálně) a robot sám nastavuje svou optimální polohu natáčením ramen. Použití je spíše specifické, jedná se o práci manuální, při které je nutné překonávat odpory v jednotlivých součástech robota a přesnost cílových bodů závisí na zručnosti „programátora“.
- **Textové programování** – programování pomocí speciálních programovacích jazyků a jejich slovních příkazů.

1.7 Bezpečnost při provozu průmyslových robotů

Dodržování bezpečnostních předpisů slouží zejména pro vlastní bezpečnost obsluhy. V důsledku chybné obsluhy může dojít i ke smrtelným úrazům. Z bezpečnostních důvodů se rozlišují režimy a to „režim automatický“ a „režim seřizování“ [2]

- **Automatický režim** – Pracovní prostor robotu nesmí být během automatického provozu v žádném případě přístupný. Toho se dosahuje použitím opatření jako oplocení pracoviště, elektricky blokovými dveřmi, jejichž otevření činnost robotu zastaví, či aplikací optických senzorů v podobě tzv. světelných závor.
- **Seřizovací režim** – V případě nutných prací v bezprostřední blízkosti robotu či při jeho programování a seřizování je nutné zrušit účinky bezpečnostních opatření. Pohyb robotu je pak možné ovládat pouze ručně.

2 Časové studie podnikových procesů

Časovou studií se označuje stanovení spotřeby času pozorováním a měřením na pracovišti. Ve většině případů mají uplatnění při normování práce či k analýze současného stavu zkoumaného procesu. V rámci této diplomové práce bylo časových studií využito ke sběru dat, pochopení současného stavu procesu testu úniku hélia v počátečních fázích řešení.

2.1 Dělení časových studií

Časových studií existuje celá řada a lze je rozlišit podle délky sledovaných dějů, jejich pravidelností, počtem sledovaných pracovníků apod. viz tabulka níže.

	Název studie	Popis
Snímky operace	Plynulá chronometráž	Měření všech úkonů v operaci s pravidelným sledem
	Výběrová chronometráž	Měření času vybraných úkonů
	Snímková chronometráž	Měření všech úkonů v operaci s nepravidelným sledem
	Sumární chronometráž	Měření času celé operace bez členění na úkony
Snímky pracovního dne	Snímek pracovního dne jednotlivce	Měření všech dějů v průběhu směny jednoho pracovníka
	Snímek pracovního dne čtyry	Měření všech dějů v průběhu směny u všech členů čtyry současně
	Hromadný snímek pracovního dne	Měření všech dějů v průběhu směny u několika pracovníků, kteří nepracují společně
	Vlastní snímek pracovního dne	Měření všech nebo vybraných dějů ve směně pracovníkem, který provádí práci

Tabulka 2-1 - Přehled časových studií [3]

Pro tuto DP má největší význam pracovní snímek operace, který bude využit ke sběru dat o současném stavu testu úniku hélia, prováděného manuálně pracovníkem.

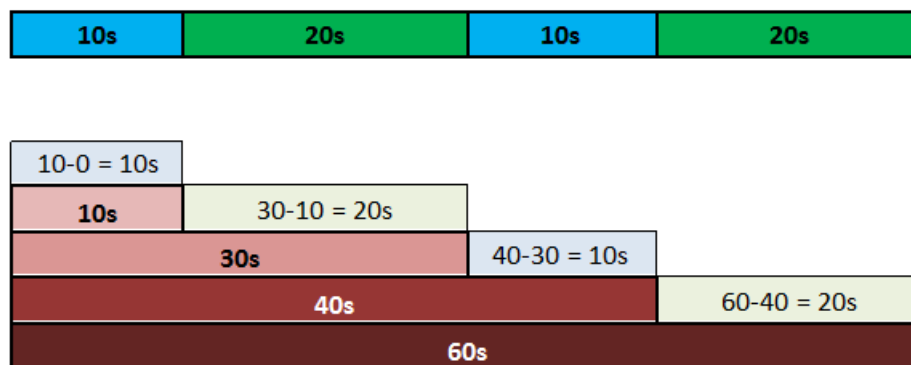
2.2 Možnosti provádění časových studií

Časové studie se dají provádět třemi způsoby. Nejpoužívanější a nejrychlejší je použití přístrojů pro zaznamenání času, další možností je použití přístrojů k zaznamenání obrazu a poměrně více specifická je statistická metoda.

Měření pomocí přístroje na zaznamenání času

Jedná se o klasické mechanické, či digitální stopky, případně o komplexní systémy, které mohou data ukládat digitálně do počítače, kde lze provést rovnou jejich vyhodnocení. U těchto speciálních přístrojů je však potřeba zvážit, zda se jejich pořízení vyplatí.

Toto měření lze provádět dvěma způsoby a to měřením dílčích časů, či měřením kumulovaných časů. Dílčí časy jsou časy od začátku do konce jednotlivých úseků a kumulované časy jsou časy od začátku časové studie po konce jednotlivých úseků procesu. Jednotlivé dílčí časy se pak spočtou jako rozdíl mezi kumulovanými časy dvou po sobě jdoucích událostí. [3]



Obr. 2-1 Znárodnění měření pomocí dílčích a kumulovaných časů, zdroj: autor

Měření pomocí přístrojů na zaznamenání obrazu

Celý sledovaný děj či proces je zachycen a uložen jako film, což ulehčuje práci pozorovatele např. při rychlém sledu pracovních úkonů, které nemusí složitě zapisovat do formuláře. Možnost záznam pouštět opakovaně či zpomaleně také umožňuje preciznější zachycení časů operací či sledu operace a lze ho provádět kdekoli i mimo pracoviště. Při sledování dlouhotrvajících operací může být nevýhoda celková délka videa a také jeho velikost na médiích. Při pořizování záznamu je v současné době také třeba myslet na ochranu soukromí pracovníků. [3]

Statisticky

Tohoto způsobu se využívá u momentové studie, která je alternativou ke snímku pracovního dne. Jde o sledování více pracovišť v náhodně vybraných intervalech a vyhodnocení četnosti jednotlivých dějů.

2.3 Postup při provádění snímku operace

Příprava

Příprava na provedení snímku operace zahrnuje následující kroky: [3]

- Výběr pracovníka (na základě účelu časové studie, kvalifikace pracovníka, dodržování kázně apod.)
- Seznámení se s prostorovým uspořádáním pracoviště
- Seznámení se s postupem práce sledovaného zaměstnance
- Stanovení počtu náměrů vzhledem k chybám
- Zvolení vhodného času k provedení časových studií (Vzhledem k obsazenosti směny, času od poslední přestávky, času následující přestávky apod.)
- Příprava formuláře k zapisování časových hodnot, jeho podoba závisí na druhu prováděné chronometráže. Například pro plynulou chronometráž je vhodné mít zapsány již všechny úkony a to ve správné sekvenci, aby se člověk provádějící měření mohl soustředit pouze na časové hodnoty a nezačal v průběhu měření dopisovat chybějící úkony.

Pozorování a měření

Dochází k vlastnímu pozorování a měření časových údajů přímo na pracovišti, podle následujících zásad: [3]

- Pozorovatel musí ovládat metodiku časového snímku.
- Pozorovatel musí odborně posoudit a rozčlenit operaci na pracovní úkony.
- Pozorovatel by měl svým počínáním co nejméně ovlivňovat sledovaného pracovníka.
- Pozorovaný pracovník musí být zaškolený.
- Během měření je potřeba zamezit diskuzím, aby se nenarušovala plynulost operací či úkonů.
- Sledovaného pracovníka i jeho nadřízeného je třeba o měření předem informovat.
- V neposlední řadě je potřeba dodržovat všechna bezpečnostní předpisy na daném pracovišti.

Je také vhodné rovnou zachycovat příčiny mimořádných odchylek měřených časů.

Vyhodnocení

Jedná se o zpracování časových dat. V případě nutnosti dopočtení potřebných časových údajů, vyloučení ovlivněných časů a výpočet středních hodnot.

2.4 Metodika REFA

Tato metodika pracuje s tím, že čas na pracovní operaci se skládá z přesně určitelných časů (automatický chod stroje, pohyb součástí na dopravníku, předepsaná technologická operace apod.) a nepřesně určitelných časů, tzv. časů stanovených. Stanovené časy jsou časy operací, které vykonávají pracovníci. Skládají se ze základních časů, časů na odpočinek a poměrného času. [3]

REFA se používá zejména k normování práce, ale v rámci této diplomové práce velmi dobře poslouží ke zjištění aktuálních časových údajů z pracoviště testu úniku hélia. Během pozorování a měření na pracovišti lze navíc identifikovat více problémů, které lze potenciálně při návrhu automatizace pracoviště odstranit. Následuje podrobnější popis formuláře, který bude v budoucnu použit pro zaznamenávání časových hodnot testu úniku hélia.

Formulář časových náměrů

Formulář vychází z metodiky REFA, ale pro účely této diplomové práce a z důvodu vyšší přehlednosti je zjednodušen. Některé údaje nejsou zobrazovány z důvodu respektování firemního tajemství, případně nemají vysoký význam.

Formulář lze rozdělit na hlavičku a tabulku pro vlastní měření časů. Hlavička slouží k identifikaci pracovníka, který měření prováděl, pracoviště, podnikového procesu a výrobku. Dále je zde uveden datum a čas měření. Pro snadnější identifikaci je vhodné přidat i fotografii daného pracoviště. V poslední části hlavičky je nutné specifikovat pracovní postup daného procesu. To slouží k pozdější kontrole, zda operace probíhala podle zavedených standardů, nebo zda během měření došlo k nestandardní operaci či pohybům.

Níže se nachází tabulka k zaznamenání jednotlivých naměřených časů. Formulář je upraven pro chronometráž sumární, té se využívá například pro krátké operace, kde dělení na jednotlivé úkony či pohyby nemá velký smysl. Důležitými údaji jsou mezní body měření, umístěny v poli nad tabulkou. Jedná se o vhodné zvolení události, od které se začne měřit a po které události se bude měřit. Typickými událostmi jsou stisknutí tlačítka, uchopení nástroje, uchopení výrobku, odložení výrobku apod. Pro měření jednotlivých úkonů je konečný mezní bod prvního úkonu současně počátečním mezním bodem druhého úkonu atd. Při měření cyklické operace jsou mezní body shodné, tedy například od stisknutí tlačítka opět po stisknutí tlačítka.

Ke každému měření je nutno uvést čas, počet a konečnou hodnotu. Čas představuje skutečně naměřenou hodnotu, počet je počet výrobků, se kterými pracovník při daném úkonu pracoval, například pokud nanášel lepidlo současně na čtyři výrobky, bude počet roven čtyřem. Poslední hodnota je výsledný čas na jeden kus výrobku.

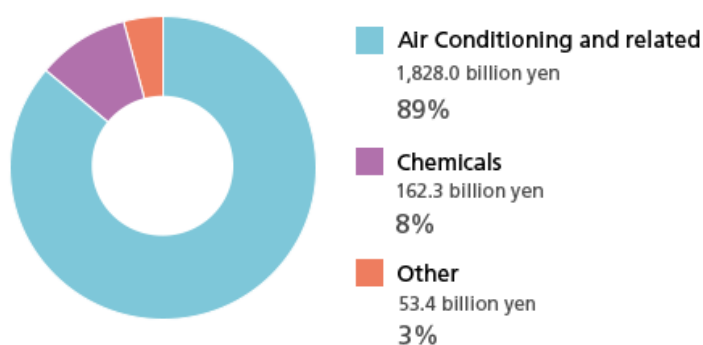
3 Charakteristika výrobního systému

Diplomová práce byla zpracována ve společnosti Daikin Industries Czech Republic s. r. o., která se zabývá výrobou klimatizačních jednotek pro domácnosti.

3.1 O společnosti Daikin Industries Czech Republic s.r.o.

Společnost Daikin Industries, Ltd. byla založena v roce 1924 a dnes je významným celosvětovým výrobcem klimatizačních jednotek. Prodeje klimatizačních jednotek a souvisejících produktů představují 89% všech prodejů a kromě toho se Daikin Industries, Ltd. věnuje i chemickému průmyslu (8%), výrobě hydraulických zařízení, či vývoji softwaru. Společnost má v současnosti 213 dceřiných firem z toho 28 v Japonsku a zbývajících 185 doslova po celém světě. [12]

(FY2016 April 1, 2015 through March 31, 2016)



FY2016 Total 2,043.7 billion yen 100%

Obr. 3-1 Prodeje společnosti Daikin Industries, Ltd. [10]

Společnost Daikin Industries Czech Republic s.r.o. (DICz) byla založena v květnu 2003, kdy byly zároveň položeny základy výrobního areálu, situovaného v plzeňské industriální zóně Borská pole. Samotná výroba klimatizačních jednotek pro domácnosti pak začala v roce 2004. DICz je finančně a technicky propojena se svými mateřskými společnostmi, kterými jsou právě japonský Daikin Industries, Ltd. a belgická evropská centrála společnosti Daikin Europe N.V. (DENV). [11]



Obr. 3-2 Pohled na výrobní areál DICz [14]

Název společnosti	Daikin Industries Czech Republic s. r. o.
Sídlo	U Nové Hospody 1/1155, 301 00 Plzeň
Jednatel	Tetsuya Baba
Datum založení	28. 5. 2003
Kapitál	1 860 milionů Kč
Celková rozloha	117 445 m²
Rozloha budov	47 484 m²
Společníci	Daikin Europe N.V. (Oostende, Belgie)
Počet zaměstnanců	cca 1 000
Počátek výroby	29. 9. 2004
Výrobky	Pokojová tepelná čerpadla
Roční produkce	1 500 000 tepelných čerpadel
IČ	26357895
DIČ	CZ26357895

Tabulka 3-1 - Data o společnosti DICz [11]



Obr. 3-3 Produkt společnosti DICz – „Emura“, oceněn Reddot design award 2014 [13]

Výrobní hala Daikinu disponuje devíti linkami, kde dochází k výrobě, montáži i následné kontrole klimatizačních jednotek. Kromě nich je zde i několik dalších výrobních středisek jako jsou lisovna, lakovna, vstřikování plastů, výroba měděných trubek a tepelných výměníků atd. Kromě toho disponuje DICz i vlastním vývojovým centrem.

Předmětem této diplomové práce je pracoviště testu úniku hélia, které se nachází na výrobní lince F2, jejíž popis následuje.

3.2 Výroba, montáž a kontrola kvality na lince F2

Na lince F2 probíhá výroba dvou modelů vnitřních klimatizačních jednotek. Jmenovitě se jedná produkty s označením BMS a BML. Postup výroby na lince se skládá z mnoha rozličných činností. Nejprve se provádí pájení potrubí, následuje ohýbání tepelného výměníku a několik kontrol jeho kvality, montáž různých součástí, šroubování, zapojování kabelů a termistorů, montáž plastových krytů, test vysokého napětí, provozní test a vše končí balením hotové klimatizační jednotky. Následně je jednotka přepravena speciálním výtahovým systémem na střechu, kde po dopravníku putuje na druhou stranu výrobní haly. Tam si hotové jednotky přebírá společnost MOL Logistics (Czech) s.r.o., se kterou DICz spolupracuje v oblasti logistiky.

Z hlediska automatizace jsou důležitá dvě pracoviště kontroly kvality tepelných výměníků.

První z nich se nazývá test těsnosti tepelných výměníků. Spočívá v natlakování a naplnění výměníku směsí plynů. Po následujících deset sekund se sleduje pokles tlaku. Pokud k poklesu tlaku dochází, znamená to, že výměník obsahuje únik a je tedy zmetkový.

V případě, že pokles tlaku není zjištěn, výměník může stále obsahovat velmi malou netěsnost, která se odhaluje následným testem úniku hélia.

3.3 Test úniku hélia na lince F2

K přesnějšímu ověření těsnosti tepelných výměníků, případně k lokalizaci zdroje úniků se v DICz používá tzv. Test úniku hélia.

Tepelný výměník je natlakován, naplněn héliem, respektive směsí plynů, z nichž hélium je dominantním prvkem, a následně neprodyšně uzavřen. Test se provádí pomocí detektoru a ručních sond, jejichž princip funkce je popsán níže. Operátor pohybuje sondami v bezprostřední blízkosti tepelného výměníku a sleduje pomocí nich množství hélia ve vzduchu. V případě bezchybného výměníku k detekci hélia nedojde. Nicméně, detekuje-li sonda

hélium v okolí tepelného výměníku, s nejvyšší pravděpodobností se jedná o hélium, které z něj právě uniká.

Hélium je pro tuto aplikaci vhodné hned z několika důvodů. Je netoxické, nehořlavé, inertní (nereaktivní), nekondenzuje a za normálních podmínek je ve vzduchu přítomné pouze ve stopovém množství. Atomy hélia také snadno proniknou různými trhlinami či netěsnostmi díky jejich malému atomovému průměru, menší průměr mají už pouze atomy vodíku.

3.3.1 Strojní zařízení a vybavení

K detekci hélia pro zajišťování kvality tepelných výměníků se používá detektor úniku hélia a k němuž je připojena ruční sonda. K zaručení a ověření přesnosti měření je detektor opatřen také kalibračním zařízením, neboli héliovým standardem, který výrobce také označuje jako „Pro-check“.

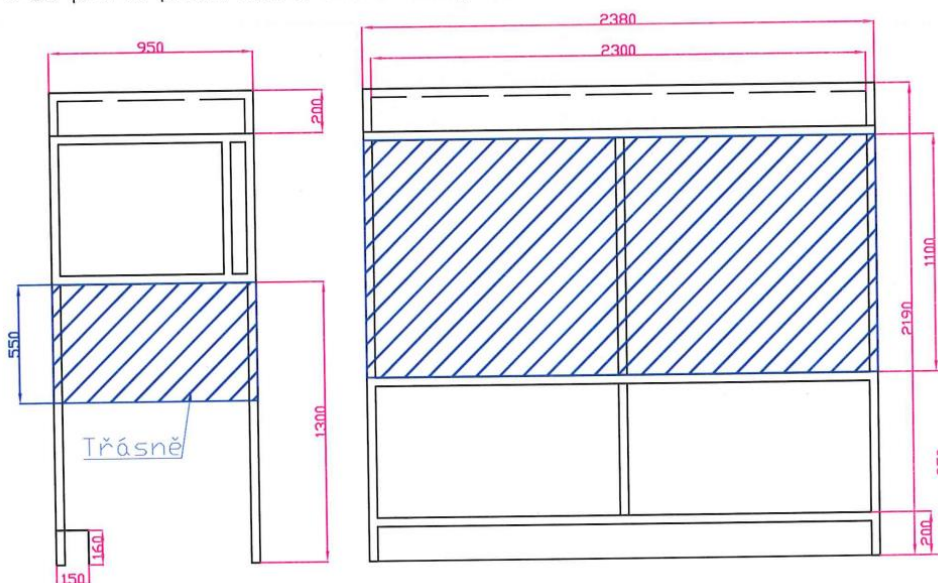
Testovací kabina

Celé pracoviště testu úniku hélia je umístěno v testovací odvětrávané kabině. Ta se skládá z hliníkových profilů, které jsou zakrytovány polykarbonátem, či trāsněmi v místech, kde je potřeba zaručit přístup zvenčí.

Operátorské pozice se nacházejí těsně před touto kabinou. Přední části dominují trāsně, které slouží pro ruce operátorů. Pracovníci je protáhnou přes trāsně a uvnitř kabiny uchopí sondy, kterými provádějí kontrolu. Toto opatření minimalizuje hladinu hélia uvnitř kabiny. Potenciální vyšší hladina hélia v kabině by měla za následek snížení spolehlivosti testu.

Před testem úniku hélia se nachází dopravník, kam operátor z předchozí pracovní pozice umísťuje tepelné výměníky natlakované a naplněné héliem. Pro testované výrobky je kabina opatřena také trāsněmi ve výšce dopravníků. Vše je znázorněno na následujícím výkresu.

- * Pro konstrukci použít hliníkové profily 40 x 40 mm
- * Vše zakrytovat polykarbonátem tl. 4mm (kromě prostorů pro trāsně)
- * Dvojity strop, oddělený děrovaným plechem (prostor pro odtaž)
- * Do profilů přidat extra 4 mat. vložky navíc



Obr. 3-4 Výkres testovací kabiny [15]

Těmito rozměry je omezena budoucí volba robota, který nahradí jednu z operátorských pozic. Robot se musí svými rozměry do kabiny vejít, nesmí nikde prostor kabiny přesahovat a také nesmí zasahovat do prostoru pozice zbylého operátora.

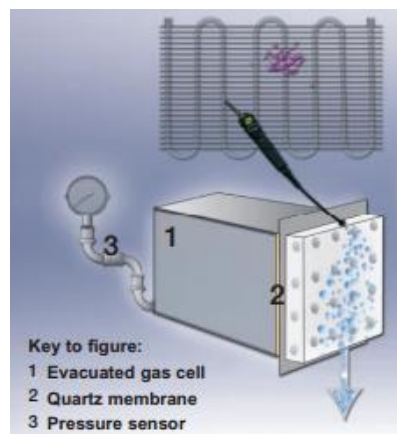
Detektor úniku hélia

V DICz je použit detektor s označením Protec P3000XL od společnosti INFICON. Detektor hélia obsahuje čerpadlo, speciální membránu pro oddělení hélia od ostatních prvků a sloučenin, uzavřenou komoru a zařízení pro měření tlaku.

Princip funkce detektoru:

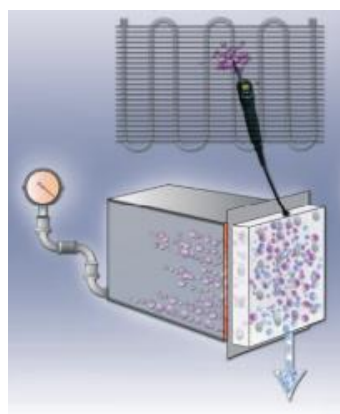
Pomocí čerpadla jsou nasávány všechny plyny z okolí tepelného výměníku, které putují dále do oběhu detektoru.

Membrána (2) je konstruována tak, aby propouštěla pouze částice hélia. Všechny ostatní plyny či sloučeniny jsou zadrženy před touto membránou. V uzavřené komoře (1) je přesně měřen tlak pomocí zařízení (3). V tomto případě ještě únik detekován nebyl, a proto membrána nic nezachycuje a tlak zůstává konstantní.



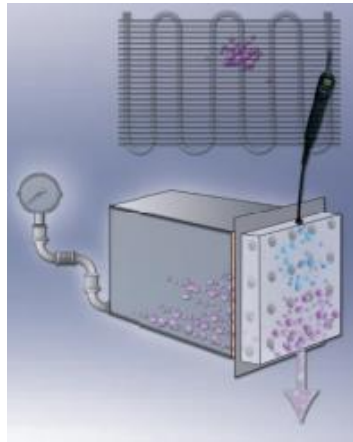
Obr. 3-5 Princip detekce hélia 1/3 [16]

V případě, že dojde k nasátí směsi plynů včetně hélia, membrána ho zachytí a jako jediný prvek jej propustí do uzavřené komory, čímž zde dojde k nárůstu tlaku. Tímto je únik detektorem zaznamenán a zmíněný přírůstek tlaku je navíc přímo úměrný velikosti úniku hélia.



Obr. 3-6 Princip detekce hélia 2/3 [16]

Pokud opětovně dojde k nasátí směsi plynů bez hélia, hélium je z uzavřené komory proudem nasávaných plynů vytaženo a tlak v komoře se opět sníží na počáteční hodnotu, tedy k detekci nedochází. Takto se dá identifikovat místo úniku, tedy poloha například trhliny, nedokonalého svaru, či pájeného spoje apod.



Obr. 3-7 Princip detekce hélia 3/3 [16]

Detektor P3000XL je schopen fungovat ve dvou režimech a to High flow a Low flow.

V režimu High flow nasává sonda připojená k čerpadlu větší objem vzduchu z okolí testovaného tepelného výměníku. To umožňuje spolehlivě detekovat úniky ze vzdálenosti až 10 mm od měřeného povrchu a není tedy nutné sondu přikládat k možným zdrojům úniku s naprostou přesností.

K přesné identifikaci místa úniku slouží totiž režim Low flow, při kterém je nasáván sondou pouze malý objem plynů z jejího bezprostředního okolí. Vzdálenost sondy od zkoumaného povrchu je v tomto případě požadována co nejmenší.

High flow režim se tedy používá pro standartní testování, jelikož je případná detekce rychlejší a není vyžadována vysoká přesnost umístění sondy k tepelnému výměníku. V případě detekce úniku v režimu High Flow je možné přepnout na Low flow, kterým se místo úniku identifikuje s vysokou přesností.

Ruční sonda

Sonda má podobu ručního nástroje, kterým pracovník pohybuje v okolí testovaného tepelného výměníku. Sonda obsahuje displej, který zobrazuje detekovanou úroveň hélia v právě nasávané směsi plynů a to jednak absolutní hodnotou (2) v jednotkách $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ (v případě potřeby i v jiných), jednak jako znázornění v podobě sloupcového grafu (1). Poslední zobrazenou informací (3) je označení detekovaného plynu, v tomto případě He.



Obr. 3-8 Ruční sonda [17]



Obr. 3-9 Displej ruční sondy [17]

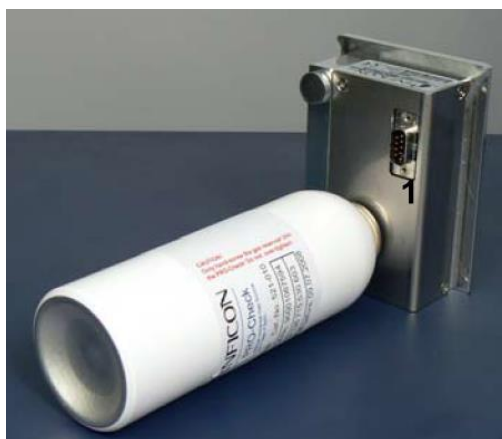
Dále sonda obsahuje dvě tlačítka, první slouží k přepínání režimů Low nebo High flow, druhé, s označením „ZERO“, pak slouží k nastavení právě detekované hladiny hélia jako nulovou úroveň. Tato funkcionality bude upřesněna v podkapitole Falešné úniky.

Zařízení sondy dále obsahuje několik prvků, které usnadňují práci operátorů při detekování hélia. Sonda je například opatřena LED diodami, pro lepší viditelnost v právě kontrolované oblasti. V případě detekce úniku se navíc tyto diody rozblíknou, celá sonda pracovníkovi v ruce začne vibrovat a v neposlední řadě se i displej rozsvítí červenou barvou. Detekce by tak neměla být operátorem snadno přehlédnuta. Pracovník by tak neměl udělat chybu z nepozornosti a každá detekce by jím měla být zaznamenána.

Héliový standard Pro-check

Héliový standard slouží ke kalibraci a k ověření správnosti kalibrace sond. Jedná se o simulovaný únik o přesné, předem stanovené, hodnotě. Jde o natlakovanou nádobku hélia, která je však opatřena i elektronikou. Je to z toho důvodu, že hodnota tohoto simulovaného úniku je velmi citlivá na teplotu, ale také na dobu, po kterou je nádobka v provozu. Reálná hodnota je tedy různě digitálně korigována právě podle teploty a času. Zakoupený héliový standard od výrobce INFICON lze použít 2 roky od data výroby, ale jakmile je zaveden do provozu a nádobka je otevřena, přesnost úniku je zaručena na jeden rok. Tzn., že lze mít standard 1 rok zabalený a poté 1 rok v provozu. Při otevření nádobky po např. roce a půl ji lze použít pro kontrolu již jenom půl roku.

V DICz je hodnota úniku stanovena na $2,0 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$, což odpovídá úniku z tepelného výměníku, který je potřeba detekovat.

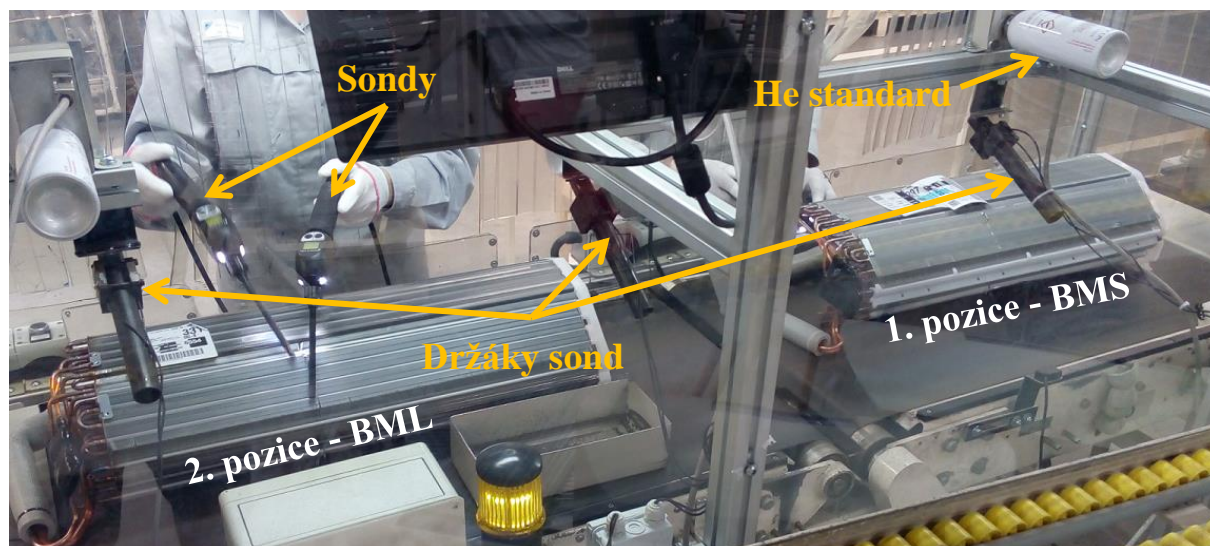


Obr. 3-10 Héliový standard Pro-check [17]

3.3.2 Pracoviště testu úniku hélia

Pracoviště testu úniku hélia obsahuje dvě pracovní pozice. První slouží ke kontrole pájených spojů a druhá ke kontrole měděných trubek výměníku, které se nacházejí pod hliníkovými žebry.

Jedná se o odvětrávanou kabinu, kam po dopravníku přijíždí postupně tepelné výměníky z předchozího pracoviště. Tam došlo k jejich natlakování a naplnění héliem. Oba operátoři používají dvě sondy současně. Dokáží tak detekovat více pájených spojů najednou, či větší povrch tepelného výměníku za kratší čas. Pracoviště obsahuje držáky sond, aby nemuseli operátoři neustále držet sondy v ruce. Obě pozice také obsahují héliový standard Pro-check ke kalibraci případně ke kontrole správnosti kalibrace.

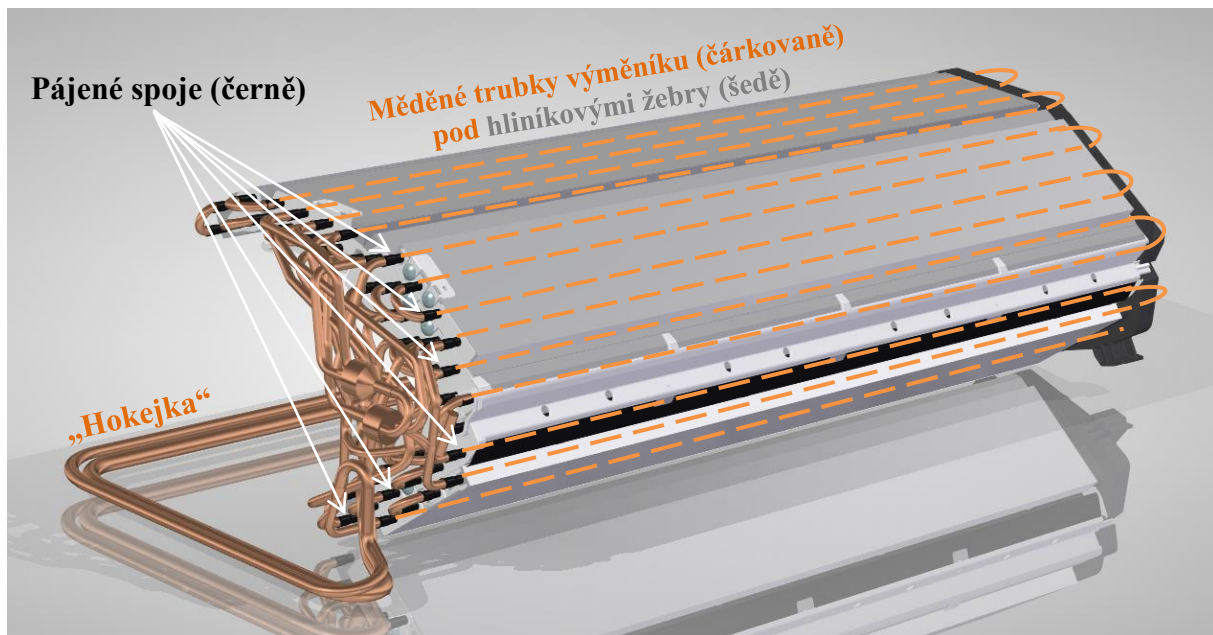


Obr. 3-11 Pracoviště testu úniku hélia [14]

Na obrázku lze vidět výměník jednotky BMS na první pozici (vpravo) a výměník určený pro jednotku BML na druhé pozici (vlevo).

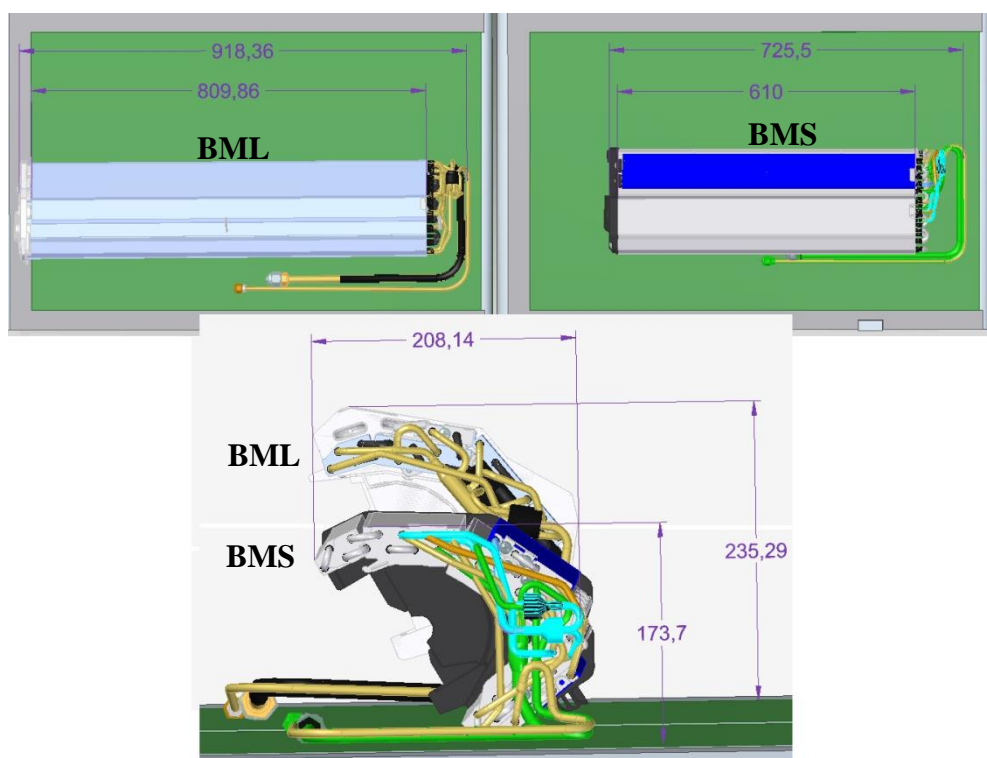
3.3.3 Testované tepelné výměníky

Na lince F2 se testují dva základní modely výměníků, jsou to BMS a BML. Jejich kvalita je rozhodující pro provoz celé klimatizace, jelikož při provozu klimatizační jednotky zde obíhá chladivo, které nesmí nikde unikat. Měděné trubky se ohýbají do tvaru U (s velmi dlouhou rovinnou částí) a jsou obaleny hliníkovými žebry, které díky své vysoké tepelné vodivosti zvyšují účinnost výměníku. Na protější straně je potřeba trubky pájet, jinak by nebylo možné výměník smontovat. Dlouhá ohnutá část potrubí zvaná hokejka slouží k připojení celého tepelného výměníku k rozvodům chladiva.



Obr. 3-12 Schéma tepelného výměníku (BMS) [14]

Test úniku hélia je rozdělen na dvě operace. Test pájených spojů, kde je potřeba sondami zkontrolovat všechny pájené spoje, které se na výměníku vyskytují. Druhou operací je test trubek výměníku, při kterém se operátor pohybuje sondami těsně nad hliníkovými žebry výměníku. Pro první operaci je tedy charakteristický počet pájených spojů, pro druhou operaci jsou důležité rozměry části výměníku, která je opatřena žebry.



Obr. 3-13 Charakteristické rozměry tepelných výměníků v mm [14]

Každý z těchto výměníků má další dvě varianty. Celkem se tedy jedná o čtyři různé modely, dva BMS a dva BML. Rozměry uvedené výše pro ně však stále platí. Rozdíl spočívá v různém počtu trubek tepelných výměníků, respektive v různém počtu řad zmiňovaných trubek. Například třířadý výměník tak obsahuje více trubek, než výměník dvouřadý. S vyšším počtem řad se pochopitelně zvyšuje i počet pájených spojů a tedy složitost části výměníku, která pájené spoje obsahuje. Pájené trubičky, kolínka atd. se totiž různě překrývají, kříží či se zvyšuje jejich počet a zvyšují se tím nároky též na pracovníka, který pájené spoje kontroluje.

Model tepelného výměníku	Celkový počet pájených spojů
BMS 6551	39
BMS 6553	45
BML 6555	54
BML 6557	54

Tabulka 3-2 - Počet pájených spojů všech testovaných výměníků, zdroj: autor

Na pozici testování žebrované části se rozlišuje pouze obecně výměník BMS a BML, protože zde rozložení pájených spojů nehraje roli.

3.3.4 Postup testování

Test úniku helia se provádí na dvou pracovních pozicích, které se nacházejí u odvětrávané komory. Do komory mohou pracovníci sahat pouze přes tránsně. Komora je ventilována z důvodu zajištění co nejčistšího vzduchu. V případě vadného kusu je komora kontaminovaná héliem. Díky tomuto odvětrávání je to však pouze na krátký časový interval, po kterém lze opět dále testovat. Větrání také zamezí případné kontaminaci héliem z jiných pracovišť, které se na hale nacházejí, např. z pracoviště, kde se plní výměníky héliem.

Kalibrace sond

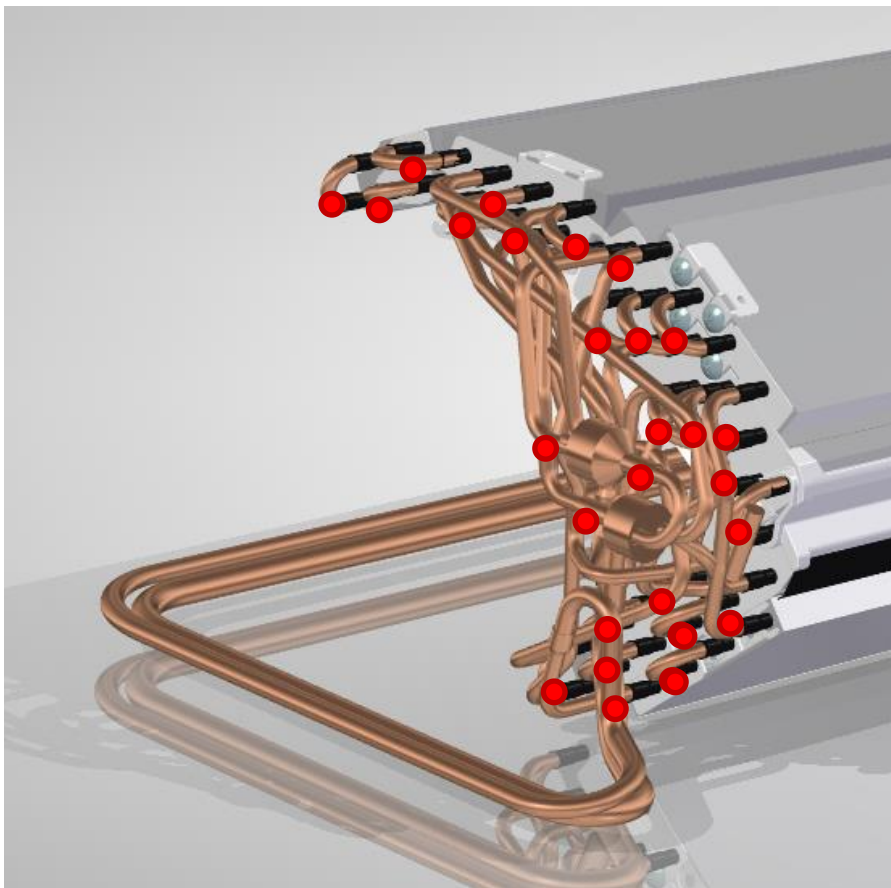
Ještě před začátkem vlastního testování je potřeba zajistit, aby sondy, respektive detektor, byl kalibrován na správnou hodnotu úniku. Ta je v DICz stanovena na $2,0 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$. Kalibrace se provádí pravidelně před první směnou v týdnu či v případě nesprávné kalibrace, což je indikováno chybovou hláškou na displeji sondy. Kalibraci provádí operátor tak, že sondu vloží do héliového standardu a současně při tom stiskne pravé tlačítko sondy. Tímto se spustí automatická kalibrace, která končí potvrzovací hláškou na displeji.

Kontrola kalibrace sond

K ověření, že je test prováděn správně po celou směnu, je také vhodné správnost kalibrace kontrolovat. Tato kontrola se provádí před začátkem každé směny, po každé přestávce a po výměně filtru v sondách. Tato operace je z velké části automatizovaná. Operátor vloží sondu do héliového standardu a ověření kalibrace je automaticky spuštěno. Po skončení kontroly kalibrace se zobrazí hodnota, která odpovídá úniku héliového standardu a současně i reálně naměřená hodnota úniku hélia, společně s textem, zda je přístroj kalibrován správně, či je vyžadována kalibrace.

Test pájených spojů

První z pracovníků kontroluje pájené spoje měděných trubek a kolínek. Operátor pracuje se dvěma sondami současně. Koncovky sond postupně umisťuje co nejbližší k pájeným spojům. V případě kolínek, která obsahují pájené spoje dva, pracovník umisťuje sondy mezi tyto spoje. Hranice je stanovena na 10mm od místa potenciálního úniku, nicméně s menší vzdáleností se schopnost detekovat hélium zvyšuje. V blízkosti pájeného spoje je potřeba na několik okamžiků setrvat, jelikož detektor hélia pracuje s mírnou prodlevou. Ta je způsobena zpožděním mezi nasátím vzduchu na koncovce sondy a momentem, kdy tento vzduch dorazí rozvody do detektoru.



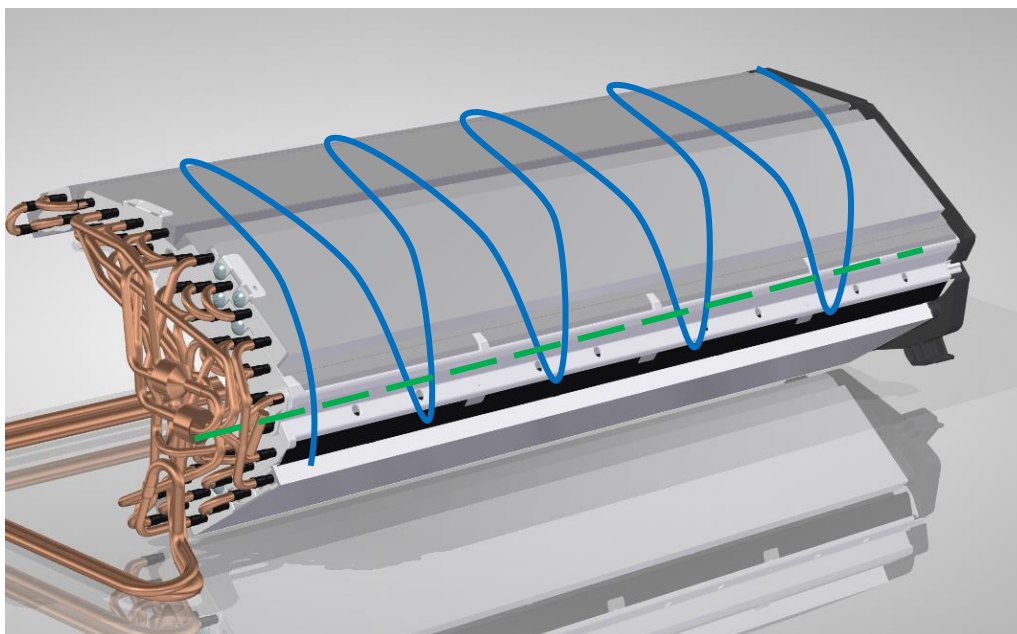
Obr. 3-14 Body, ve kterých se kontroluje těsnost pájených spojů [14]

Na obrázku výše jsou zobrazeny všechny body, které je potřeba kontrolovat na netěsnosti. Tepelné výměníky obsahují 39 až 54 pájených spojů dle konkrétní varianty rozvodů chladiva a pracovní postup je na těchto variantách závislý. Nicméně vždy jde o stejný princip, a to zkontrolovat všechny pájené spoje. Ve skutečnosti se tak pracovní postup liší pouze v několika různě rozmístěných bodech.

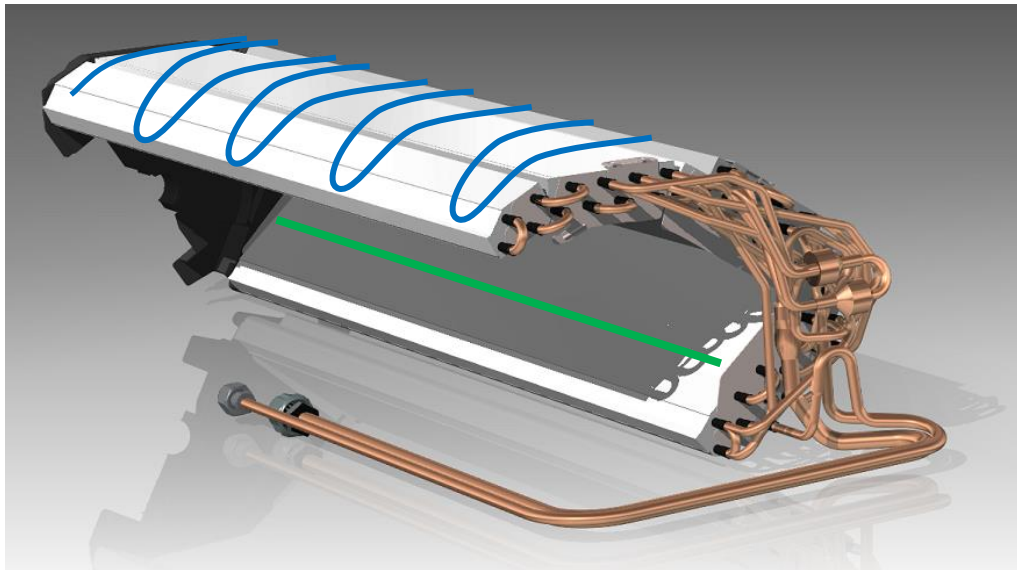
Kolínka i další trubky a rozvody se mohou různě překrývat a některé body mohou být hůře dostupné. Od pracovníka je vyžadováno, aby zkontroloval každý bod dostatečně pečlivě a žádný nevynechal.

Test funkční části tvořené hliníkovými žebry

Pracovník na druhé pozici zkoumající funkční část výměníku s hliníkovými žebry jednou rukou přejíždí po celém povrchu tepelného výměníku z vrchu a druhou rukou po jeho vnitřku. Kontrola kvality na této pozici byla zvolena tak, že se operátor sondami pohybuje velmi malou rychlostí, konkrétně 4cm/s, aby byl případný únik pod žebry detekován. S rostoucí rychlostí se totiž snižuje detekovaná hodnota hélia a případný únik by tak nemusel dosáhnout mezní hranice, která je za únik považována. Postup je opět velmi podobný pro všechny varianty tepelných výměníků, nicméně je závislý na jeho délce. Pro klimatizační jednotku BML se používá tepelný výměník s větší délkou, operátor tedy musí kontrolovat větší plochu, proto i postup kontroly kvality trvá pro tyto BML výměníky déle.



Obr. 3-15 Schéma trajektorie sond při kontrole těla výměníku 1/2 [14]



Obr. 3-16 Schéma trajektorie sond při kontrole těla výměníku 2/2 [14]

3.4 Důvody implementace automatizace

Hlavním důvodem nasazení automatizace je snížení výrobních nákladů. Ke snížení výrobních nákladů dojde redukcí celkových nákladů na zaměstnance, kteří budou nahrazeni průmyslovým robotem. Na lince F2 probíhá třísměnný provoz. Operátorská pozice tak bude nahrazena na všech třech směnech, čímž dojde k uspořené tří zaměstnanců, respektive k uspořené celkových nákladů na tři zaměstnance.

Dalším podnětem k automatizaci je zlepšení standardizace a spolehlivosti procesu kontroly kvality tepelných výměníků. Od pracovníka je vyžadováno dodržování standardů, nicméně tepelné výměníky obsahují až 54 pájených spojů, které pracovník kontroluje ručními sondami. Průměrný takt linky je 29 vteřin, což se ke kontrole až padesáti čtyř pájených spojů dá považovat za relativně krátký čas. Nelze tak se stoprocentní jistotou zaručit, že pracovník dostatečně pečlivě zkontroluje každý jednotlivý pájený spoj. V důsledku snížené pozornosti, únavy či ve spěchu může zaměstnanec spoj zkontrolovat nedostatečně, či ho vynechat úplně. Robot v tomto případě bude naprogramován tak, aby v závislosti na typu tepelného výměníku zkontroloval všechny jeho pájené spoje s pevně daným pracovním postupem.

V důsledku automatizace a použití moderního průmyslového robota v neposlední řadě dojde také ke zvýšení technické úrovně výroby a zvýšení atraktivity výrobní haly společnosti pro potenciální nové zaměstnance, zákazníky, dodavatele či jiné zájmové skupiny.

Před objednáním konkrétního zařízení a jeho instalací na výrobní lince je potřeba dostatečně přesně specifikovat všechny požadavky pro dodavatele. Aby se toho dalo docílit, je nejprve nutné dostatečně zanalyzovat a poznat současný stav, jeho požadované standardy a postupy, rozměry a vlastnosti testovaných výrobků, přesnosti měření a parametry, které jej ovlivňují apod.

4 Analýza současného stavu, testování a příprava automatizace

Pro správnou specifikaci všech aspektů budoucího automatizovaného pracoviště pro dodavatele je potřeba nejprve práci na současném pracovišti pochopit a detailněji analyzovat, aby nedošlo k zanedbání důležitých parametrů, které by se v pozdějších fázích projektu velmi těžce odstraňovaly.

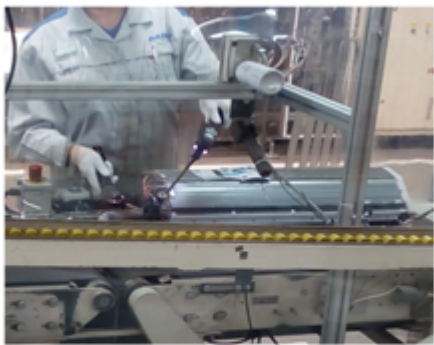
Zároveň ve společnosti Daikin Industries bude probíhat testování na průmyslovém robotu UR5 od společnosti Universal Robots. Tímto robotem již oddělení Production engineering disponuje a jeho účelem je právě testování budoucích řešení či školení zaměstnanců. Výrobce Universal Robots disponuje třemi modely robotů podle velikosti, respektive nosnosti břemena. Testování tedy bude probíhat na stejném či velmi obdobném modelu průmyslového robota. Konkrétní volba modelu bude záviset až na výsledcích těchto analýz a testů.

4.1 Sumární chronometráž operace

Samotným pozorováním na pracovišti lze zjistit bližší informace o pracovním postupu, výrobcích, které v průběhu testu kontrolují, strojním zařízení i o případných nestandardních postupech pracovníků. Spojením s časovými údaji tak vznikne poměrně dobrá představa o současném stavu podnikového procesu testu úniku hélia.

Dne 1. 2. 2017 byla provedena celkem čtyři měření. Čas operace byl změřen pro obě pracovní pozice a pro oba druhy testovaných tepelných výměníků tedy pro model BMS i BML. Tepelné výměníky se na lince vyskytují přibližně v poměru 9:1. Z tohoto důvodu bylo zaznamenáno u časů operací pro výměníky BML pouze deset hodnot měření, pro BMS, které se na lince vyskytují mnohem častěji, pak bylo naměřeno hodnot dvacet. Ve dvou případech došlo k nestandardnímu pracovnímu postupu. Jednalo se o tzv. falešné úniky. Tím se myslí stav, kdy sonda detekuje hladinu úniku nad stanovenou hranicí a výrobek je mylně vyhodnocen jako nedokonale těsný, přičemž k detekci této hodnoty nedošlo únikem z výměníku, ale některým z vnějších vlivů. Těmi může být kontaminace testovací kabiny héliem unikajícím z předchozího výrobku, kontaminace kabiny héliem z okolních pracovišť, či špatné meteorologické podmínky, které ztěžují odvětrávání kabiny. V případě detekce hélia operátor sondy vynuluje a vrátí se zpět k místu, kde detekoval únik, pokud v tomto případě únik detekován nebyl, jednalo se právě o únik falešný a operátor může pokračovat dále podle stanoveného pracovního postupu.

Testování pájených spojů pro výměník BMS trvalo v průměru 28 sekund, a stejná operace pro výměníky BML trvá v průměru 34 sekund, což je dáno větším počtem jejich pájených spojů. Testování povrchu výměníku pro výměníky modelu BMS trvalo průměrně 28 sekund a shodný postup pro výrobek BML trval průměrně 30 sekund, což je dáno větší délkou tohoto výměníku. Požadovaný průměrný takt linky F2 je 31 sekund. Testování pájených spojů BML výměníku trvá o 3 sekundy déle, než je požadovaný takt. S delším časem operace u výměníků BML se však počítá, proto se zde tyto výměníky vyrábějí pouze v omezeném množství tak, aby byl dodržen průměrný takt 31 sekund.

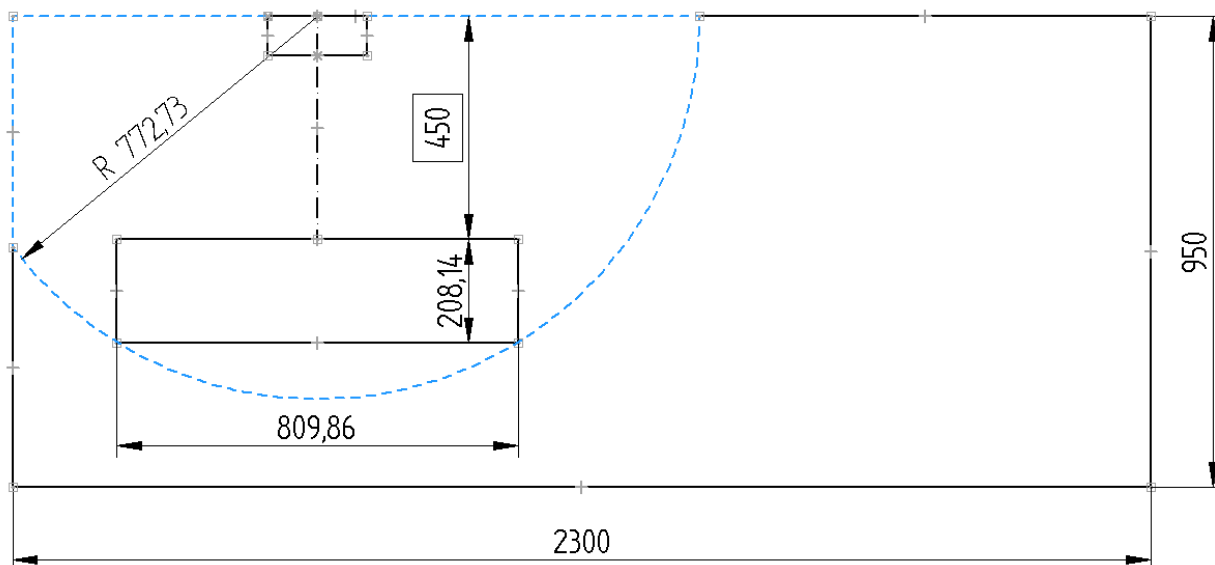
Formulář časového snímku				
Datum:	1.2.2017			Fotografie pracoviště 
Čas měření:	7:30			
Měřil:	Jan Kočíš			
Pracoviště:	F2 - Test úniku hélia			
Proces:	Test úniku hélia 1. pozice			
Výrobek:	Tepelný výměník BMS			
Popis pracovního postupu:				
Pracovník uchopí jednu ruční sondu do každé ruky. Postupně přikládá sondy do blízkosti kontrolovaných pájených spojů av jejich blízkosti setrvává asi vteřinu. Po dokončení kontroly stiskne tlačítko.				
Mezní bod měření - začátek				Mezní bod měření - konec
Stisknutí tlačítka - dokončení operace				Stisknutí tlačítka - dokončení operace
Číslo	Čas	Počet	Čas na 1ks	Poznámka
1	0:00:32	1	0:00:32	
2	0:00:27	1	0:00:27	
3	0:00:29	1	0:00:29	
4	0:00:27	1	0:00:27	
5	0:00:28	1	0:00:28	
6	0:00:28	1	0:00:28	
7	0:00:29	1	0:00:29	
8	0:00:35	1	0:00:35	Nestandardní operace - falešný únik
9	0:00:27	1	0:00:27	
10	0:00:27	1	0:00:27	
11	0:00:28	1	0:00:28	
12	0:00:30	1	0:00:30	
13	0:00:28	1	0:00:28	
14	0:00:28	1	0:00:28	
15	0:00:28	1	0:00:28	
16	0:00:26	1	0:00:26	
17	0:00:27	1	0:00:27	
18	0:00:30	1	0:00:30	
19	0:00:30	1	0:00:30	
20	0:00:30	1	0:00:30	

Průměrný čas	0:00:29
Minimální čas	0:00:26
Maximální čas	0:00:35

Obr. 4-1 Časový snímek testu těsnosti pájených spojů výměníku BMS [14, autor]

4.2 Potřebný pracovní dosah robota

Potřebný pracovní dosah robota je velmi důležitým parametrem, který udává velikost požadovaného robota. Je potřeba ho volit s ohledem na velikost všech výrobků a míst, kam musí robot pro vykonávání testu úniku hélia dosahovat. Délka největšího testovaného výrobku je 809 mm a robot musí mít možnost dosáhnout na jakýkoliv bod tohoto výrobku. Počítá se s upevněním robota na zadní stěně kabiny. Upevněním robota na přední straně by došlo k omezení prostoru natolik, že by robot v případě poruchy nemohl být nahrazen operátorem. Upnutí robota na pravé straně kabiny je omezeno prostorem v kabině.



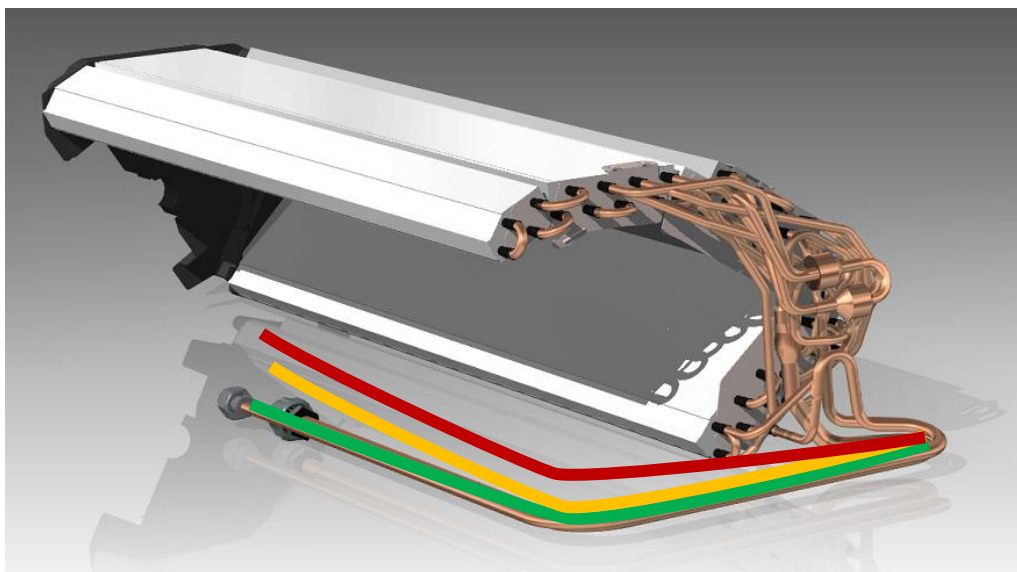
Obr. 4-2 Znáznornění potřebného pracovního prostoru robota, zdroj: autor

Robot se bude pohybovat v prostoru testovací kabiny o rozměrech 2300 x 950 mm, tepelný výměník BML má rozměry 809,86 x 208,14 mm. Vzdálenost 450 mm, na výkrese znázorněná jako teoretická, je dána operátorem, který umísťuje tepelné výměníky na dopravník a zároveň pod čtečku kódů na přechozí pozici. Tato vzdálenost je záměrně zvětšena tak, aby pokryla i odchylku operátora při umísťování výměníků. Robot bude upevněn na zadní straně kabiny, takže aby dosáhl na všechny body výměníku, je potřebný minimálně 772 mm pracovní radius, který je znázorněn na obrázku modře.

4.3 Analýza poloh tepelného výměníku

Tepelný výměník je na test úniku hélia dopravován pomocí dopravníku, který se nachází před izolovanou kabinou. Na tento dopravník je výměník umísťován ručně operátorem z předchozího pracoviště. Nad dopravníkem se navíc nachází čtečka kódů, která snímá kód na konkrétním tepelném výměníku a umožňuje tak evidenci materiálu a rozpracovaných součástí ve výrobě.

Těleso v prostoru má 6 stupňů volnosti, pohyb ve třech osách a rotaci kolem těchto tří os. Těleso ležící na rovinné podložce má 3 stupně volnosti, pohyb ve dvou osách a rotaci kolem jedné z nich. Tento případ platí i pro tepelný výměník, který je položen na dopravníku, nicméně vše ještě komplikuje dlouhá zahnutá část potrubí tzv. hokejka, která z tepelného výměníku vychází. Problémem je, že toto potrubí nemá přesnou toleranci úhlů, které svírá s různými rovinami.

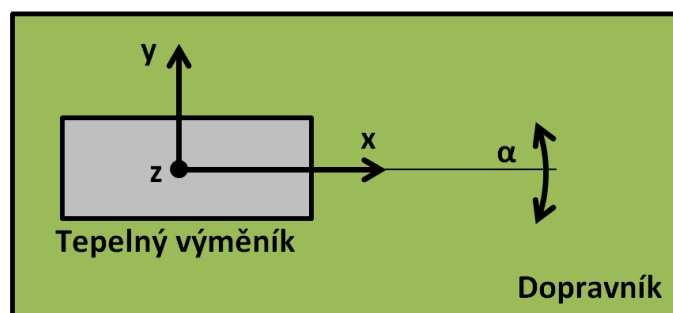


Obr. 4-3 Znáznornění různých úhlů ohnutí potrubí tepelného výměníku [14]

Další problém spočívá v tom, že je o tuto „hokejku“ opřený celý výměník, z čehož vyplývá, že i celá poloha výměníku je dána právě ohnutím hokejky.

V provozu je potřeba, aby průmyslový robot pracoval s dostatečnou přesností a aby nedocházelo ke kolizím s výrobkem či pohybům mimo výrobek atd. Nabízejí se tak dvě možnosti. Buď bude pomocí různých prostředků přesně zaručena jediná možná poloha, ve které se budou během testu nacházet všechny tepelné výměníky, nebo bude potřeba obecnou polohu každého tepelného výměníku s dostatečnou přesností snímat, převádět na souřadnice robota a v co nejkratším čase tyto informace průmyslovému robotu předávat.

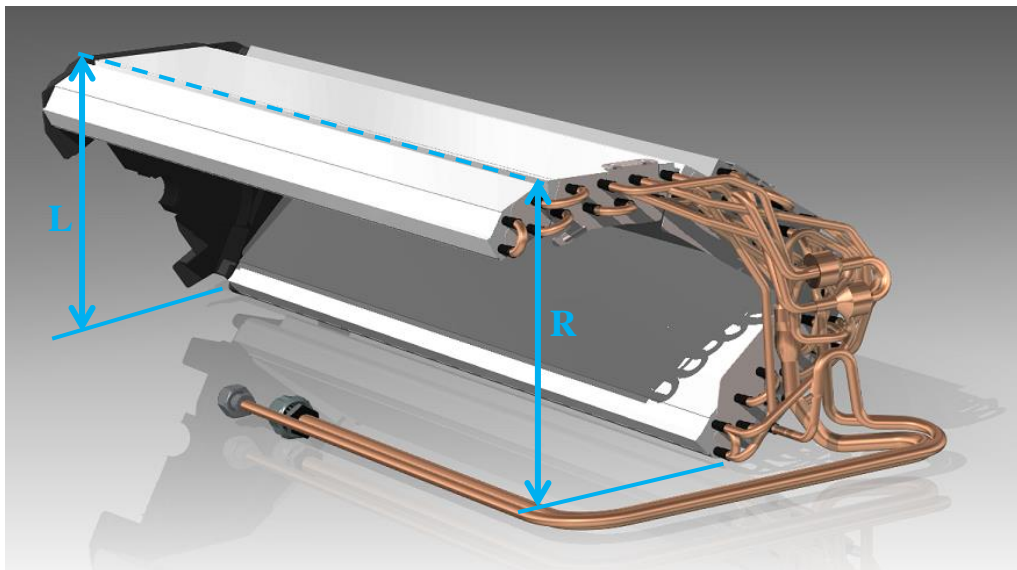
Při zanedbání vlivu ohybu hokejky by bylo možné použít 2D kamerový systém, který by polohu tepelného výměníku snímal shora. Bylo by tedy možné jednoznačně určit polohu výměníku na základě posunů ve směrech os x a y a na základě úhlu natočení kolem osy z .



Obr. 4-4 Znáznornění stupňů volnosti pro výměník (bez vlivu potrubí), zdroj: autor

Nicméně při současné technologii výroby tepelného výměníku nelze zaručit přesnou polohu hokejky, která má značný vliv na polohu celého tepelného výměníku.

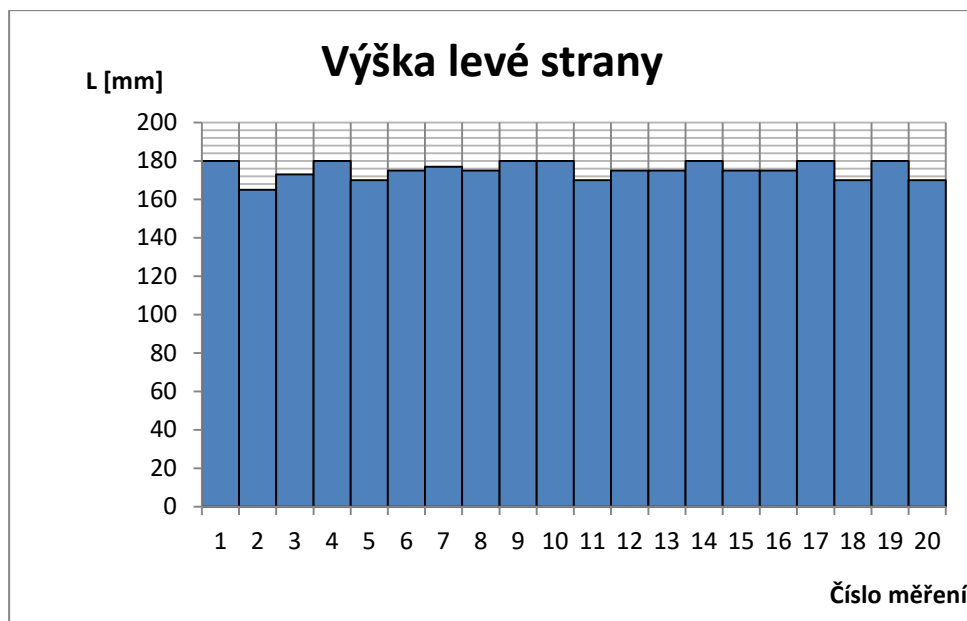
Dvacet tepelných výměníků BMS bylo podrobena měření výšek v pravých a levých krajních bodech, čímž se dá alespoň přibližný vliv různých ohybů potrubí vyjádřit.



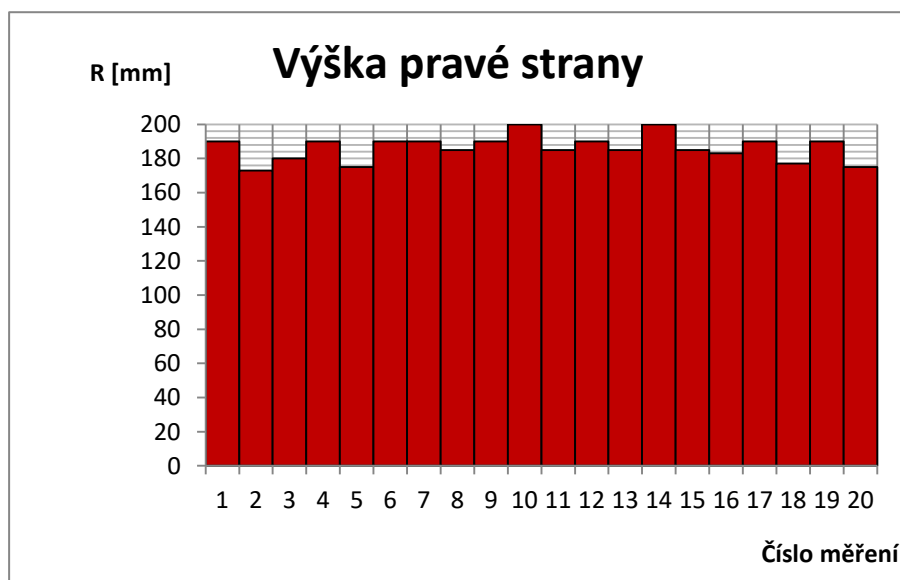
Obr. 4-5 Schéma měření výšek stran tepelného výměníku BMS [14]

č. měření	L [mm]	R [mm]
1	180	190
2	165	173
3	173	180
4	180	190
5	170	175
6	175	190
7	177	190
8	175	185
9	180	190
10	180	200
11	170	185
12	175	190
13	175	185
14	180	200
15	175	185
16	175	183
17	180	190
18	170	177
19	180	190
20	170	175
Max. rozdíl	15	27

Tabulka 4-1 Výška krajních nejvyšších bodů výměníků BMS [14]



Graf 4-1 Výšky krajních levých bodů na tepelných výměnících BMS [14]



Graf 4-2 Výšky krajních pravých bodů na tepelných výměnících BMS [14]

Nejvyšší a krajní levý bod tepelných výměníků se pohyboval v rozmezí hodnot od 165 mm po 180 mm, dochází zde tak k rozdílům až 15 mm. U pravého krajního bodu, který se nachází přímo nad vývodem hokejky, jsou rozdíly hodnot ještě markantnější. Zde byly naměřeny výšky od 173 mm do 200 mm, nejvyšším rozdílem je tedy hodnota 27 mm.

Vzhledem k tomu, že se průmyslový robot musí pohybovat co nejbližší povrchu tepelného výměníku (cca 5 mm), či najíždět do blízkosti desítek pájených spojů i mezi ně, není možné tuto odchylku akceptovat a zanedbat tak vliv ohybu potrubí na polohu tepelného výměníku. Tato odchylka představuje vysoké riziko nárazu robota do tepelného výměníku s následkem poškození výměníku či robota. Zcela určitě by došlo také ke snížení spolehlivosti testu, jelikož by tímto nebyla zaručena správná vzdálenost robota od testovaných pájených spojů, případně od povrchu výměníku, která ovlivňuje detekovanou hodnotu úniku hélia.

Závěrem je tedy zjištění, že poloha výměníku je závislá nejen na operátorovi, který výměník umisťuje na dopravník, ale i na ohybu potrubí, o které se výměník při položení opírá. Úhel ohybu potrubí není konstantní a nelze v současné době při výrobě jeho neměnnost zajistit.

4.4 Analýza detekce hélia

Operátoři ke kontrole používají dvě ruční sondy z důvodu potřeby provádění pracovních úkonů paralelně. Např. první operátor může kontrolovat povrch tepelného výměníku z obou stran zároveň a druhý operátor je schopen kontrolovat více pájených spojů najednou. Pro každou sondu se používá jeden detektor hélia Protec P3000XL a jeden držák, kam se sonda umisťuje při činnostech, které nezahrnují kontrolu (např. mačkání tlačítka). Ke každému detektoru přísluší vlastní heliový standard Pro-Check. Celkem se tak na pracovišti testu úniku hélia nachází 4 detektory hélia, 4 ruční sondy, 4 držáky sond a 2 heliové standardy.

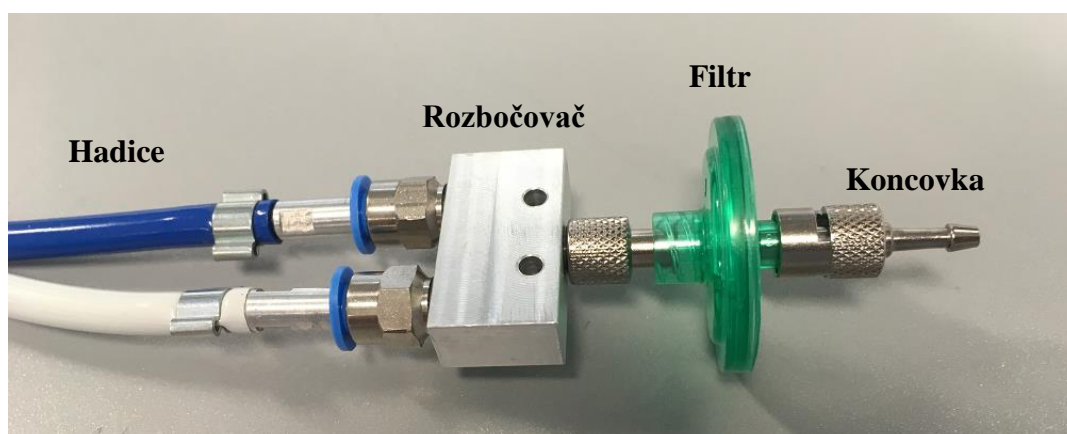
4.4.1 Použití sondy pro automatizaci

V oblasti detekce hélia Daikin Industries spolupracuje se společností INFICON, která dodává do společnosti detektory hélia, ruční sondy, heliové standardy, náhradní filtry a další součásti.

V oblasti detekce hélia není potřeba provádět žádné razantní změny, jelikož stávající systém lze bez problémů použít i pro průmyslového robota.

Robot však na rozdíl od člověka nemusí sledovat displej sondy, nepotřebuje mačkat tlačítka a nemusí mít ergonomickou úchopovou část. Řešení pro automatizaci navržené od společnosti INFICON je tak velmi jednoduché a jedná se o stejné součásti použité v ruční sondě bez plastového krytu, tlačítek a displeje. Jsou to pouze následující součásti: koncovka sondy, filtr, rozbočovač a nakonec dvě hadice, které se zapojují přímo do stávajícího detektoru hélia. Heliový standard Pro-check také není potřeba měnit, jen je nutné počítat s tím, že k němu bude muset robot najíždět při kalibraci, respektive při kontrole kalibrace.

Robot tedy bude místo dvou ručních sond využívat nový typ sondy na obrázku níže. Z tohoto důvodu dojde k úspoře jednoho detektoru hélia, jednoho heliového standardu, jedné ruční sondy a dva držáky sond pro operátora lze z pracoviště taktéž odstranit. Sonda pro automatizaci nebude součástí poptávky u dodavatele, ale bude dodána zvlášť společností INFICON.



Obr. 4-6 Podoba sondy pro aplikace automatizace [14]

U koncovky sondy se však nabízí více možností, jako například použití nástavců, více hadiček apod. Například pokud by bylo potřeba čichat velkou rovinnou plochu, je možné využít

nástavec s více otvory, který nasává vzduch z mnohem větší oblasti než jedna kruhová koncovka sondy.

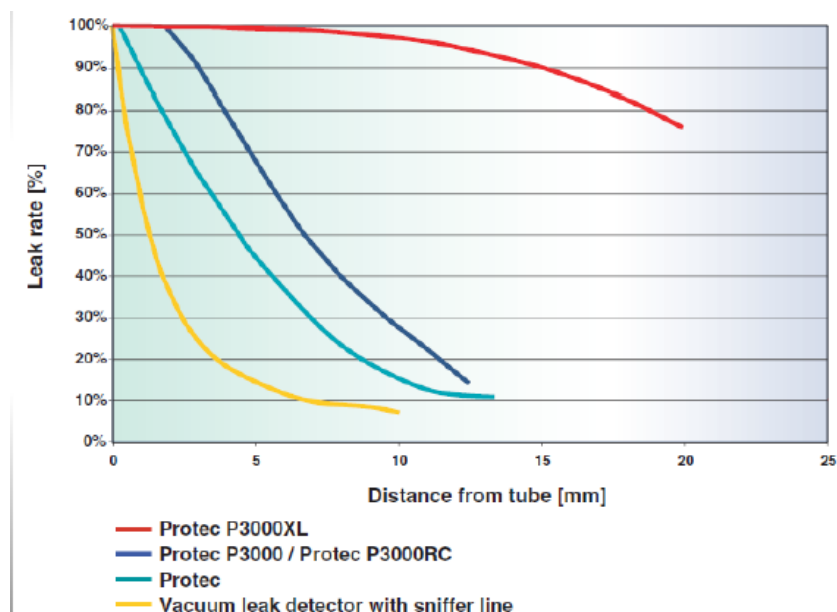


Obr. 4-7 Nástavec sondy pro testování velkých rovinných ploch [14]

4.4.2 Vliv rychlosti a vzdálenosti od úniku na detekovanou hodnotu

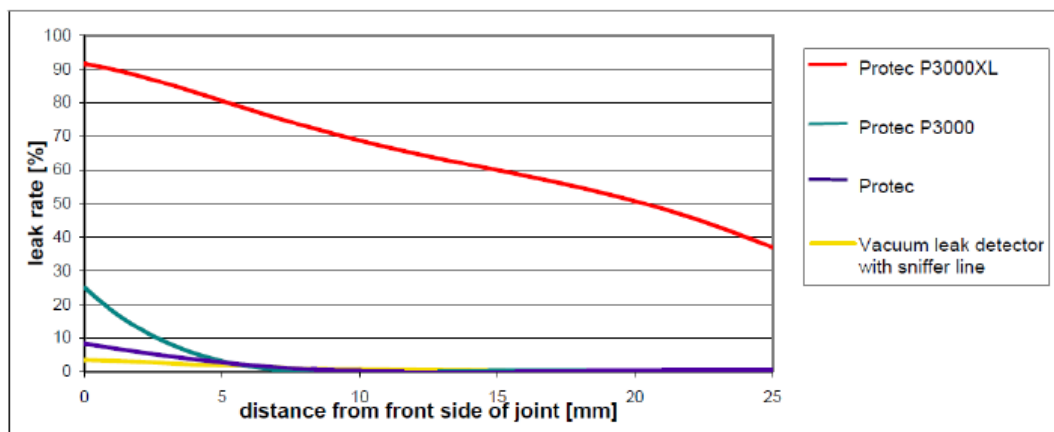
Hodnota naměřeného úniku hélia je závislá jak na vzdálenosti koncovky sondy od místa úniku, tak na rychlosti, kterou se sonda kolem úniku pohybuje. Společnost INFICON disponuje následujícími daty, které znázorňují tyto závislosti.

První graf zobrazuje hodnoty pro 4 různé modely detektorů. Nejdůležitější je červeně vyznačený detektor Protec P3000XL, který se používá ve společnosti Daikin Industries. Na vodorovné ose je vynesena vzdálenost sondy od trubky, která obsahuje únik. Důležité je zmínit, že únik se nachází na přední straně trubky tak, že hélium uniká směrem k sondě. Na svislé ose je znázorněn podíl detekovaného úniku hélia vzhledem k reálné hodnotě hélia, které uniká z trubky.



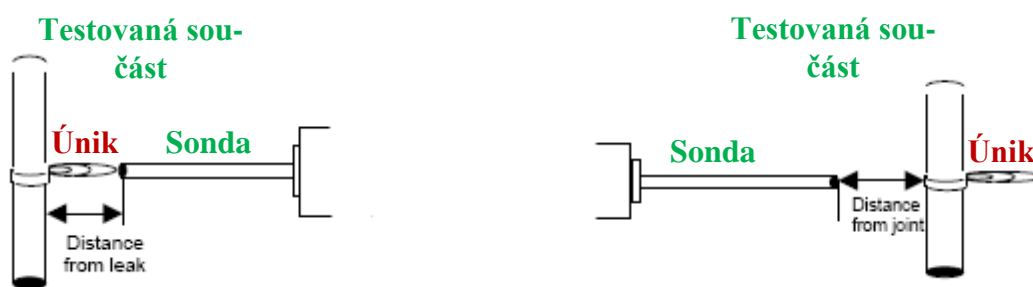
Graf 4-3 Vliv vzdálenosti sondy od úniku na jeho detekovanou hodnotu [16]

Ještě důležitější údaje znázorňuje graf, který má shodné osy jako přechází, nicméně s tím rozdílem, že únik na trubce byl na opačné straně, než ke které přistupovala sonda. Test úniku hélia pracuje s principem, že se kolem místa úniku vytvoří obláček hélia, který je poté nasán, přesto má poloha úniku značný vliv na detekovanou hodnotu. Jelikož není možné předem určit, na jaké straně trubky bude únik, je potřeba se v této práci řídit spíše následujícím grafem.



Graf 4-4 Vliv vzdálenosti sondy od úniku na jeho hodnotu (únik na opačné straně) [29]

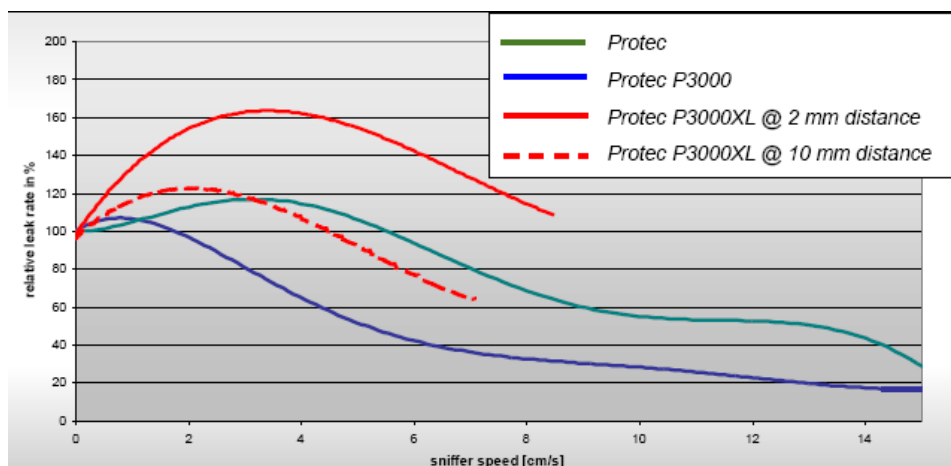
Tyto hodnoty platí pro únik o hodnotě $2 \cdot 10^{-5}$ mbar·l/s z trubky o průměru 6 mm. Z tohoto grafu vyplývá, že i v bezprostřední blízkosti trubky, která obsahuje únik, je možné detekovat pouze 90% z aktuální hodnoty úniku. Pro použité hodnoty testu by to znamenalo, že místo $2 \cdot 10^{-5}$ mbar·l/s by bylo naměřeno pouze $1,8 \cdot 10^{-5}$ mbar·l/s a to v bezprostřední blízkosti úniku. Pro aplikaci průmyslového robota byla zvolena vzdálenost 5 mm, aby nemohlo dojít k nárazu robota do testovaného tepelného výměníku. Pro vzdálenost 5 mm je stále možné detekovat 80% z celkového úniku, což by v tomto případě odpovídalo hodnotě $1,6 \cdot 10^{-5}$ mbar·l/s.



Obr. 4-8 Schéma měření společnosti INFICON [29]

Na schématu výše je podrobněji znázorněn princip měření. Pro Graf 3 platí schéma vlevo a Grafu 4 přísluší pravé schéma.

Posledním grafem od společnosti INFICON je vliv rychlosti pohybu sondy na detekovanou hodnotu úniku hélia. Důležitý je opět pouze červeně znázorněný detektor P3000XL, plnou čarou pro vzdálenost od úniku 2 mm a čárkovaně pro vzdálenost od úniku 10 mm. Na vodorovné ose jsou vykresleny rychlosti v jednotkách [cm/s] a na svislé ose je opět podíl reálně naměřeného úniku k jeho nominální hodnotě. Další podmínky testování však společností INFICON nebyly specifikovány.



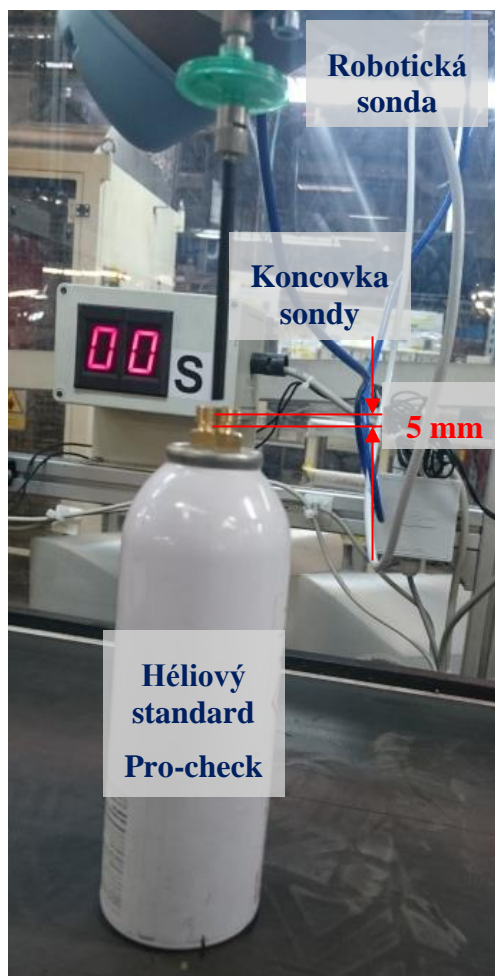
Obr. 4-9 Závislost detekované hodnoty na rychlosti pohybu sondy [29]

Výsledky jsou poměrně překvapivé a ve vzdálenosti 2 mm od místa úniku a do rychlostí 9cm/s detektor P3000XL detekuje dokonce vyšší hodnoty úniku, než je jeho nominální hodnota. Vyšší hodnoty úniku se detekují i pro vzdálenost 10 mm od místa úniku v rozsahu rychlostí od nuly po necelých 5cm/s.

Test vlivu rychlosti na hodnotu naměřeného úniku byl proveden i ve společnosti Daikin Industries Czech Republic s. r. o.

Měření bylo provedeno na průmyslovém robotu Universal Robots UR5, na který byla nainstalována sonda detekce hélia pro aplikace automatizace. Robot byl umístěn do testovací odvětrávané kabiny na lince F2, během inventury ve výrobě, při které neprobíhala výroba. K detekci hélia byl použit detektor Protec P3000XL v režimu high flow, který se na pracovišti testu úniku hélia nachází a kam byla zapojena sonda robota.

K simulaci úniku byl použit héliový standard Pro-check. Jedná se o natlakovanou nádobku hélia, která se používá ke kalibraci či kontrole kalibrace detektorů. Nominální hodnota úniku hélia tohoto standardu je dle certifikátu $1,86 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ($1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} = 10 \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$).

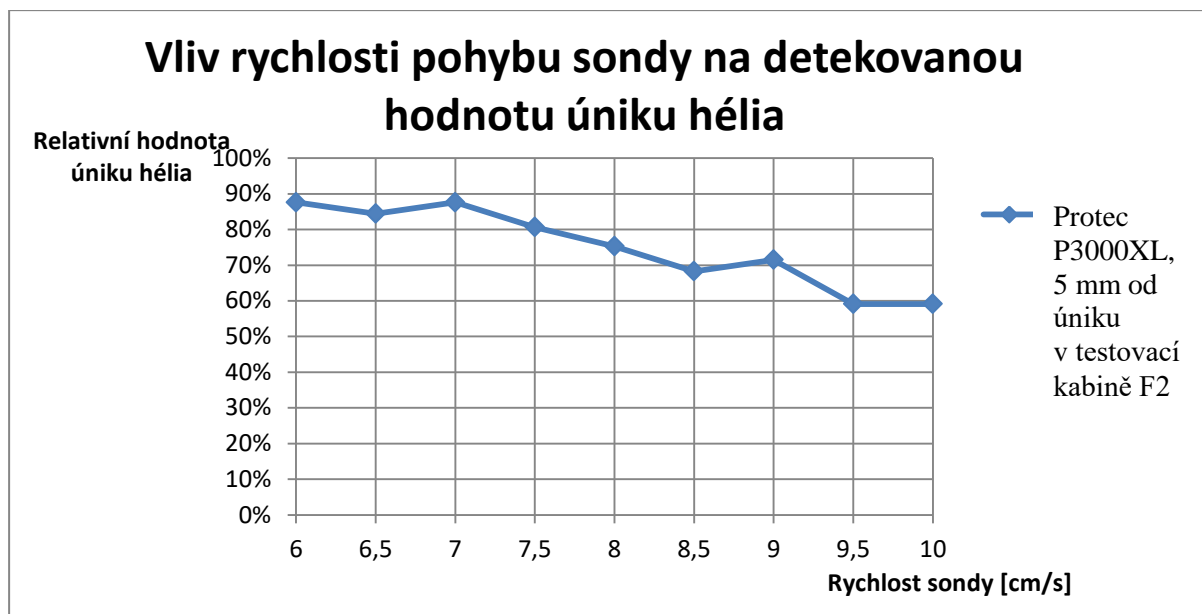


Obr. 4-10 Fotografie z měření hodnoty úniku ve společnosti DICz [19]

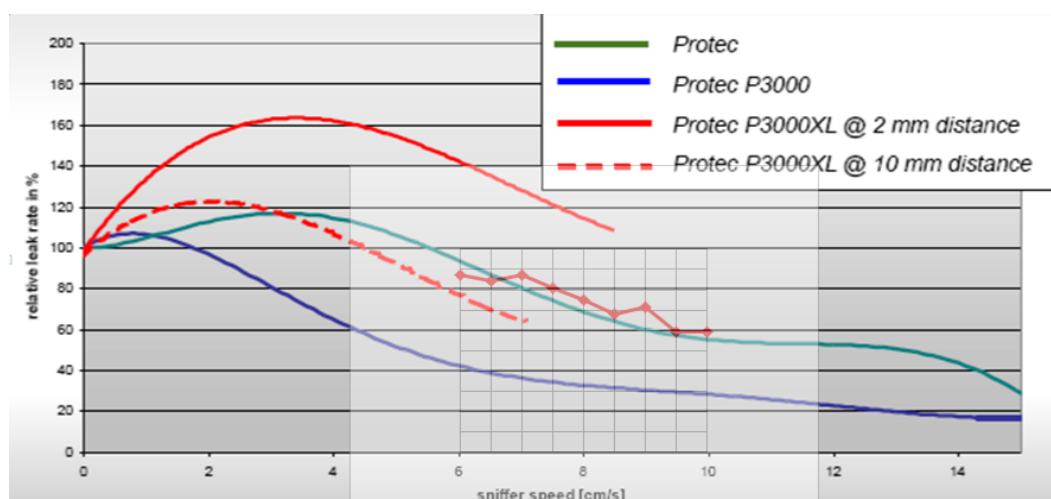
Vzdálenost od úniku byla stanovena na 5 mm a rychlosti byly zvoleny v rozmezí 6 cm/s až 10 cm/s po 0,5 cm/s, a to z důvodu, že bylo nutné prozkoumat i možnost vyšších rychlostí sondy a zrychlení tak celého testu. Při vzdálenosti 10 mm od místa úniku již nebylo možné detekovat téměř nic v daném rozsahu detektoru.

Hodnoty úniku naměřené detektorem Protec P3000XL [Pa·m³/s]									
Rychlost/ vzdál.	6 cm/s	6,5 cm/s	7 cm/s	7,5 cm/s	8 cm/s	8,5 cm/s	9 cm/s	9,5 cm/s	10 cm/s
5 mm	$1,63 \cdot 10^{-6}$	$1,57 \cdot 10^{-6}$	$1,63 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,27 \cdot 10^{-6}$	$1,33 \cdot 10^{-6}$	$1,10 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
10 mm	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$4,67 \cdot 10^{-7}$	0	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabulka 4-2 Vliv rychlosti na detekovanou hodnotu úniku, měřeno v DICz [19]



Graf 4-5 Vliv rychlosti pohybu sondy na detekovanou hodnotu úniku hélia [19]



Graf 4-6 Orientační porovnání naměřených hodnot [14], [19]

Měření provedené v DICz pro vzdálenost 5 mm od místa úniku za standardních podmínek testování (zapnutá ventilace kabiny) leží v oblasti mezi 2 mm a 10 mm dle měření od společnosti INFICON, což lze považovat za pozitivní výsledek.

Z této analýzy vyplývají následující skutečnosti. Měření od společnosti INFICON je srovnatelné s měřením v reálných podmínkách, které nastávají během testu úniku hélia ve společnosti Daikin Industries Czech Republic s. r. o. Předpokládaná vzdálenost sondy od testovaných částí bude 5 mm. Pro tuto vzdálenost je reálně naměřená hodnota rovna přibližně 99% nominální hodnotě úniku hélia v případě, že únik z testované součásti směřuje směrem k sondě. Pro případy úniku na opačné straně testované součásti (trubky 6mm) je detekovaná hodnota již přibližně pouze 80% podíl z celkové nominální hodnoty úniku. Tato menší detekovaná hodnota se však dá kompenzovat snížením rychlosti sondy, což má pro změnu za následek detekování hodnot vyšších než nominální. Podle doporučení dodavatele techniky na testování hélia byla zvolena rychlost pohybu sondy během testování na 4 cm/s.



Obr. 4-11 Umístění testovacího robota UR5 na zadní straně kabiny [19]

4.5 Analýza rizik

Před implementací průmyslového robota na pracoviště, což je komplexní systém strojních zařízení, kamery, senzorů, elektrických rozvodů atd., je vhodné zvážit všechna možná rizika, hrozby a vady, které by mohly v provozu nastat a eliminovat je, či se pokusit jejich vliv snížit ještě ve fázi návrhu. Jednou z možností, jak analýzu rizik provádět, je metoda FMEA.

Failure Mode and Effects Analysis je strukturovaná metoda, která slouží k odhadování možných vad a problémů u nově vznikajících produktů, procesů, sužeb či projektů, včetně jejich příčin a následků. Cílem je tedy odhalit všechny možné způsoby, jak může výrobek či služba selhat a to ještě před jejich realizací. [4]

Každá selhání mohou nastat s jinou pravděpodobností, jejich důsledky jsou jinak závažné a také možnost odhalení selhání je jinak vysoká. Toto vše se započítává do tzv. rizikového čísla, které hodnotí závažnost chyby. Pro rizikové číslo je stanovena hodnotící škála kritičnosti vady o čtyřech stupních, od velice nízké, po vysokou. Poté se navrhnou způsoby, jak nejkritičtější vady eliminovat s tím, že velice nízká rizika lze ve většině případů zanedbat. Po návrhu opatření lze celý proces FMEA opakovat pro nové hodnoty rizikových čísel. [4]

Obecný postup metody je následující:

- **Vytvoření týmu** – odborníci, kteří mohou objektivně posoudit všechny možné souvislosti vzniku vad, příčin i jejich následků.
- **Definování objektu** – objekt metody FMEA je řešen jako systém, na funkci objektu se podílejí všechny jeho prvky i vazby.
- **Vyhotovení formuláře** – slouží k zaznamenávání všech informací.
- **Identifikace vad** – je potřeba uvést všechny vady, které mohou nastat.
- **Možné následky vady** – u každé vady se hodnotí její dopad na dílčí prvek, ale i na systém jako celek
- **Možné příčiny vad** – u každé vady se identifikuje její příčina, či více příčin.
- **Zmapování stávajících opatření** – než se začne vyhodnocovat, je vhodné zaznamenat již zavedená opatření
- **Výpočet rizikového čísla (současný stav)** – určuje prioritu vad.
- **Doporučení a realizace nápravných opatření**
- **Výpočet rizikového čísla zlepšeného stavu [4]**

Cílem analýzy a hodnocení rizik je identifikovat všechna potenciální rizika, která se mohou vyskytnout v důsledku automatizace, ať už při instalaci či během automatizovaného procesu. Další výhodou je odhalení rizik již v rané fázi projektu, před zasláním specifikace dodavateli zařízení. Tímto se minimalizuje výskyt rizik ve fázích pozdějších, kdy by jejich eliminace vyžadovala vynaložení dodatečných prostředků na např. přestavení linky, přestavbu kabiny či modifikaci robota apod.

Analýza rizik je utajený firemní dokument, jehož podobu ani obsah si společnost Daikin Industries Czech Republic s.r.o. nepřeje zveřejňovat.

Zde je uvedeno alespoň několik rizik, jejich možných příčin a důsledků bez uvedení rizikových čísel.

Předmět	Vada	Možné příčiny	Možné důsledky	Opatření
Kamerový systém	Kamera nenalezla referenční body	Výměník nezastavuje v požadované poloze	Kamerový systém nezasílá informace o poloze výměníku, zastavení výroby	Použít optické senzory, ověřit jejich funkčnost, otestovat řešení
		Špatné světelné podmínky	Kamerový systém nezasílá informace o poloze výměníku, zastavení výroby	Otestovat světelné podmínky mimo linku, specifikovat světelné podmínky
	Systém posílá špatné souřadnice	Nedokonalé programování	Pohyb robota mimo stanovenou trajektorii, možnost nárazu, poškození	Testování s nižší rychlostí robota, použití bezpečnostních prvků
Robot	Nedodržování stanovené trajektorie	Nedokonalé programování	Nedodržení podmínek testu, neprůkaznost výsledků, možnost nárazu do výměníku	Zkontrolovat pohyb robota při nižších rychlostech, změna programu
		Špatná poloha tepelného výměníku	Nedodržení podmínek testu, neprůkaznost výsledků, možnost nárazu do výměníku	Instalace kamerového systému, testování při nižších rychlostech

Tabulka 4-3 Výtah z analýzy rizik [18]

5 Návrh, hodnocení a výběr vhodné varianty automatizace

Na základě provedených analýz byla zhotovena specifikace požadavků pro dodavatele automatizace. Tento dokument obsahuje soupis požadavků, které musí poptávané zařízení splňovat. Kromě toho dokument specifikace obsahuje i popis současného stavu, jako jsou použítá zařízení, měřidla a další komponenty, rozměry testovací kabiny, rozměry a tvary testovaných výrobků, časová náročnost procesu, popis komunikace s ostatními zařízeními apod. Tato dokumentace bude zaslána dodavatelům.

V reakci na specifikaci požadavků byly zhotoveny a přijaty dvě cenové nabídky od dvou dodavatelů automatizační techniky. Z nich společnost Daikin Industries Czech Republic s. r. o. zvolí nabídku, která bude nejvíce vyhovovat jejím potřebám.

5.1 Specifikace požadavků

Cílem automatizace je nahradit jednoho operátora na pozici kontroly kvality za účelem snížení výrobních nákladů a snížení rizika lidské chyby při ověřování bezchybnosti produktů.

Aby zařízení co nejlépe vyhovovalo potřebám společnosti DICz, je nutné detailně specifikovat všechny důležité parametry testu úniku hélia a požadavky, které musí dodavatel automatizace splnit.

5.1.1 Detekce hélia

V oblasti detekce hélia spolupracuje DICz se společností INFICON, která pro tuto konkrétní aplikaci doporučila sondu pro automatizaci uvedenou výše. Z důvodu zajištění určité flexibility celého řešení společnost DICz nebude vyžadovat žádný speciální či jednoúčelový nástavec sondy, ale bude použita trubička kruhového průřezu s měkkou špičkou v případě kontaktu s měřeným výrobkem. Optimální vzdálenost sondy od testovaného povrchu je 5 mm. Rychlost pohybu sondy, tedy nástroje robota, je 40 až 60 mm/s pro operace testování. Při delších vzdálenostech mezi testovanými pájenými body je potřeba dosahovat vyšších rychlostí, aby mohl být dodržen takt linky 29 sekund. Zařízení k detekci hélia má společnost Daikin Industries Czech Republic s. r. o. již k dispozici. Sonda pro automatizaci bude objednána od společnosti INFICON. Rozměry a další parametry této sondy, která bude upnuta jako nástroj v průmyslovém robotu, jsou uvedeny ve specifikaci. V oblasti detekce hélia již společnost DICz nemá žádné další speciální požadavky na dodavatele automatizace.

5.1.2 Průmyslový robot

K provádění automatického testu úniku hélia společnost DICz plánuje použití průmyslového robota. Od robota se očekávají nižší provozní náklady, než jsou celkové náklady na tři zaměstnance a na rozdíl od specializovaných jednoúčelových řešení na míru je dostatečně flexibilní na provádění celé řady pracovních činností.

Pro test úniku hélia je preferován robot od společnosti Universal Robots. Průmyslový robot modelu UR3 od tohoto výrobce se již ve společnosti DICz využívá na pozici vkládání kolínek na tepelné výměníky na lince R1. Modelem UR5 společnost též disponuje, tento robot je však využíván pro testování, případně školení zaměstnanců. V případě, že by dodavatel zvolil použítí stejného modelu robota, mohl by tento robot být využit k testování řešení přímo ve společnosti.

Standardizace výrobních zařízení a nízký počet různých výrobců se považuje za důležitý z hlediska využití již získaného know-how, snazší údržby, použití stejných náhradních dílů atd.

Z hlediska pracovního zatížení robota není potřeba žádných zvláštních požadavků. Robot ponese pouze sondu pro detekci hélia, viz obrázek 4-6. Pro tuto aplikaci by stačil model společnosti Universal Robots s nejnižší nosností a to UR3. Hmotnost manipulovaných břemen je u tohoto robota omezena na 3 kilogramy, což bez problémů vyhovuje.

5.1.3 Ostatní

Specifikace pro dodavatele je rozsáhlý dokument, který obsahuje řadu příloh, jako jsou technické dokumentace, manuály, schémata, layouts, popisy komunikace mezi zařízeními apod.

V rámci práce zde není možné popsat celý dokument včetně všech jeho příloh, proto zde bude uveden pouze krátký výtah z české verze specifikace pro dodavatele: [21]

- Robot se sondou se bude pohybovat po předem stanovené trajektorii nad tepelným výměníkem.
- Zařízení bude obsahovat kamerový nebo jiný optický systém, který pro robota transformuje souřadnice polohy aktuálního tepelného výměníku na pozici, a to ve všech třech osách (výměníky nejsou nikdy v identické pozici). Dodavatel může navrhnout jiný způsob detekování pozice výměníků. Je vhodné měřit pozici výměníku na pozici samotného testu, ale kvůli úspoře času je možné zvážit i měření na předchozí pozici.
- Tepelný výměník po zastavení na pozici testu ještě cca 1 vteřinu dokmitává.
- Samotnou diagnostiku pomocí čichací sondy provádí detektor INFICON Protec P3000XL, tento poskytne společnost DICz.
- Čichací sonda se nad výměníkem bude pohybovat maximální rychlostí 60 mm/s a ve vzdálenosti do 5mm od povrchu tepelného výměníku.
- Čichací sonda bude vícenásobná, aby se zkrátila trajektorie pohybu nad výměníkem.
- Robot automaticky několikrát za směnu vloží čichací sondu do kontrolního vzorku úniku hélia pro kontrolu správnosti testu.
- Při detekci úniku o hodnotě $2 \cdot 10^{-6}$ Pa m³/s a vyšším robot ukončí proces a vrátí se před místo úniku. Provede test znovu, a pokud opětovně detekuje únik, zastaví v místě úniku, informuje obsluhu o výsledku testu jako NG a vyšle tento signál do interního datového systému, aby se výsledek testu přiřadil k danému kusu.
- Nové zařízení bude implementováno do stávajícího řídicího systému linky
- Komunikace s dopravníkem pomocí I/O (PLC Omron)
- Komunikace s interním datovým systémem (informace o výrobku) pomocí I/O
- Specifikace komunikace s monitorovacím informačním systémem bude upřesněna
- Systém by měl průběžně vyhodnocovat svůj stav a posloupnost úkonů a v případě abnormality by měl upozornit obsluhu a vyslat informace skrz informační systém.
- V případě, že dojde k abnormalitě v průběhu procesu, by z informací zobrazených na touch-panelu mělo být zřejmé, proč k ní došlo (robot čeká na signál ze senzoru XY, robot se zastavil v důsledku nárazu, robot čeká na informaci o typu výměníku atd.).
- Systém bude informovat o svém aktuálním stavu (např. „Probíhá testování výměníku BMS, Probíhá detekce polohy výměníku“ atd.).

- Systém bude schopen ukládat informace o samotném testu a únicích helia (přiřazení souřadnic úniku a velikosti úniku k danému výměníku). V případě použití kamerového systému by se k danému výměníku mohla přiřadit i fotografie s robotem v místě úniku.
- Zařízení bude navrženo tak, aby byl dodržen takt linky 29s. Pro výpočet času cyklu testu úniku helia se uvažuje poměr mezi modely BML a BMS 10:90%.
- Zařízení bude navrženo s ohledem na možné budoucí modifikace týkající se zrychlení pohybu robota nad 60 mm/s, trajektorie pohybu čichací sondy či možnosti přeprogramování robota na testování povrchu výměníku.
- Zařízení bude navrženo tak, aby v případě problémů mohlo být přepnuto do manuálního testování s operátorem (tak, jako před zavedením automatizace).
- Robot bude nastaven tak, aby se při kontaktu (např. s operátorem) zastavil.
- Z hlediska bezpečnosti dodavatel zváží nutnost použití světelné brány a instalování citlivého momentového senzoru mezi rameno robota a čichací sondu (případně jiné řešení).
- V cenové nabídce bude zahrnuta i montáž konstrukce, na které bude připevněn robot a kamerový systém.
- V DICz je standardem použití PLC značky Omron (jiné PLC je nutno konzultovat).
- DICz může dodavateli poskytnout všechny varianty tepelných výměníků na testování.
- DICz na požádání poskytne dodavateli potřebnou dokumentaci (Rozměry tepelných výměníků, rozměry testovací kabiny, elektrické schéma atd.).
- DICz na požádání může poskytnout fotografie či video stávajícího zařízení a procesu.
- DICz může poskytnout prostor mimo linku pro testování a ověřování (možnosti v tomto prostoru jsou omezené).
- DICz si vyhrazuje právo po konzultaci s dodavatelem upravovat výše zmíněné body či přidávat nové.

Kompletní specifikace požadavků řešení automatizace byla včetně všech příloh zaslána potenciálním dodavatelům, kteří vypracují konkrétní cenové nabídky.

5.2 Cenové nabídky

Společnost DICz obdržela celkem dvě cenové nabídky od svých dodavatelů. Nejdůležitější aspekty cenových nabídek budou popsány, následně dojde k jejich ohodnocení a k výběru nejlepší varianty.

Cenové nabídky jsou pouze rámcové a ceny jsou orientační. Detailnější cenová nabídka se vypracuje v případě, že DICz shledá uvedené náklady za přijatelné a rozhodne pro jedno z nabízených řešení.

5.2.1 Varianta A



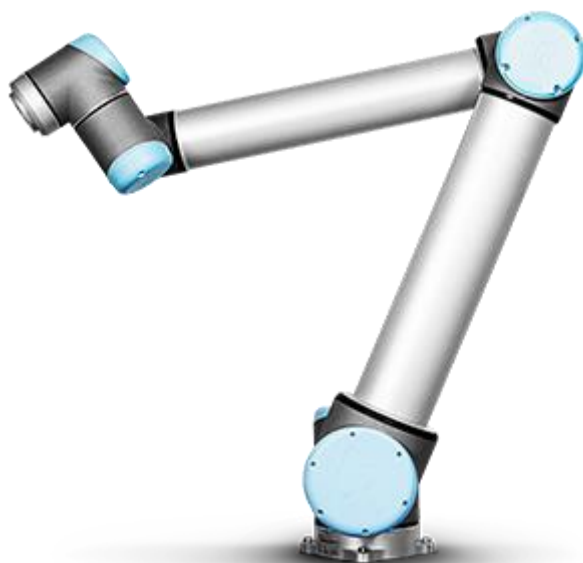
Obr. 5-1 Robot RV-4FL společnosti Mitsubishi Electric Corporation [22]

První z dodavatelů pro svou aplikaci zvolil průmyslového robota Mitsubishi Electric Corporation s označením RV-4FL. Pro detekci polohy tepelných výměníků byl zvolen blíže nespecifikovaný 3D scanner. Cenová nabídka obsahuje dále i výrobu konstrukcí, montážní práce, programování robota a příslušných PLC, uvedení zařízení do provozu, testování, ladění a to vše včetně návrhů, dokumentace a dopravy. Dobu dodání dodavatel stanovil na 12 týdnů od podpisu smlouvy o dílo.

Robot RV-4FL, 3D scanner, konstrukce, materiál, PLC	1 700 000 Kč
Programování robotické části a PLC	290 000 Kč
Výroba konstrukcí a montážní práce	340 000 Kč
Uvedení do provozu, testování, ladění SW	250 000 Kč
Inženýring, dokumentace, doprava	220 000 Kč
Cena celkem	2 800 000 Kč
Doba dodání	12 týdnů

Tabulka 5-1 Cenová nabídka – Varianta A [14]

5.2.2 Varianta B



Obr. 5-2 Robot UR5 výrobce Universal Robots [23]

Druhý dodavatel pro své řešení vybral robota UR5 od společnosti Universal Robots. Pro přesnou detekci polohy tepelných výměníků byla firmou zvolena 3D kamera IVC-3D od společnosti Sick AG. Cenová nabídka obsahuje také všechny ostatní položky, které s implementací řešení souvisejí, jako je programování, instalace, doprava, dokumentace atd. Odhadovaná doba dodání jsou tři měsíce, což odpovídá přibližně dvanácti týdnům jako u varianty přechodí. Za povšimnutí také stojí znatelně nižší cena celkové implementace, v níž je zahrnuta i prodloužená dvouletá záruka na průmyslového robota UR5. Tato cenová nabídka byla zaslána v eurech a byla přepočtena na koruny české podle kurzu 1 euro = 26,57 Kč (19. 5. 2017).

Robot UR5, 3D kamera, konstrukce, materiál, PLC	46 560 €	1 237 126 Kč
Programování robotické části a PLC	8 465 €	224 920 Kč
Výroba konstrukcí a montážní práce	11 413 €	303 250 Kč
Uvedení do provozu, testování, ladění SW	3 930 €	104 422 Kč
Inženýring, dokumentace, doprava	9 092 €	241 580 Kč
Cena celkem	79 460 €	2 111 298 Kč
Doba dodání	12 týdnů	

Tabulka 5-2 Cenová nabídka – Varianta B [14]

5.2.3 Výběr kritérií, hodnocení variant a výběr vhodné varianty

Společnosti DICz považuje za nejdůležitější kritéria při výběru variant jejich celkovou cenu a použití průmyslového robota od konkrétního výrobce. Preferovaným výrobcem průmyslového robota je společnost Universal Robots. Několika roboty této značky společnost DICz již disponuje a ráda by docílila sjednocení těchto zařízení. Výhodami pak jsou shodné náhradní díly, servis a údržba robotů, stejné programovací prostředí Polyscope, možnost využití již získaného know-how a zkušeností a v neposlední řadě i sjednocení strojního vybavení ve výrobní hale.

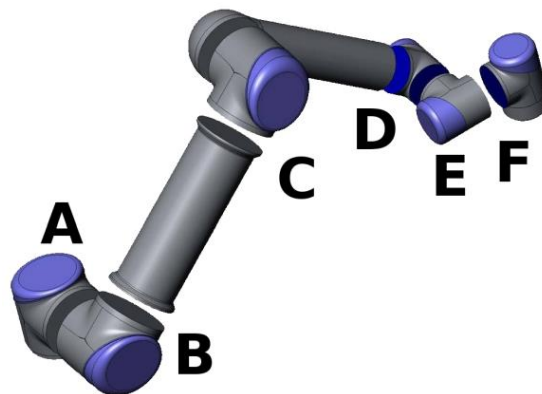
Výběr vhodné varianty lze provést velmi jednoduše bez stanovení vah kritérií a prakticky bez srovnávání. Varianta A je očividně dominovanou variantou, která je podle obou kritérií horší než druhá z uvažovaných variant a je tedy dominována variantou B. Varianta B totiž počítá s nasazením robota UR5 od společnosti Universal Robots a navíc je o necelých 700 tisíc korun českých levnější, což jistě nelze považovat za částku zanedbatelnou.

5.3 Zvolená varianta – Robot UR5 a 3D kamera

Společností Daikin Industries Czech Republic byla zvolena varianta, a to nasazení robota UR5 od firmy Universal Robots za použití 3D kamery za celkovou odhadovanou částku 2 111 298 Kč s dobou dodání přibližně tří měsíců od objednání. Tato varianta bude popsána podrobněji v této podkapitole.

5.3.1 Robot UR5, jeho specifikace a postup instalace

Průmyslový robot UR5 se skládá z hliníkových trubek a šesti pohyblivých kloubů. Všechny klouby jsou znázorněny na obrázku níže, včetně jejich standardního pojmenování. Základna je místo, za které se robot upíná k požadovanému povrchu a na zápěstí3 se upíná nástroj. Koordinací pohybů všech kloubů je robot schopen volného pohybu všude, kromě míst přímo nad a pod základnou. Dosah robota je omezen vzdáleností 850mm od jeho základny. Polyscope je grafické uživatelské prostředí, které umožňuje ovládání robota, spouštění jeho programů a snadné vytváření programů nových.



Obr. 5-3 Popis kloubů průmyslového robota UR5 [27]

- A – základna
- B – rameno
- C – loket
- D – zápěstí1
- E – zápěstí2
- F – zápěstí3

Specifikace robota:

Užitečné zatížení	5 kg
Dosah	850 mm
Stupně volnosti	6 otočných kloubů
Programování	Rozhraní Polyscope
Pracovní rozsah kloubů	$\pm 360^\circ$
Maximální rychlost	$\pm 180^\circ/s$
Maximální rychlost nástroje	1 m/s
Opakovatelnost	$\pm 0,1$ mm
Povolená okolní teplota	0-50°
Hmotnost s kabelem	18,4 kg
Materiál	hliník, plast PP
Velikost kontroléru (ŠxVxH)	475 mm x 423 mm x 268 mm
Váha kontroléru	15 kg

Tabulka 5-3 Specifikace průmyslového robota UR5 [24]

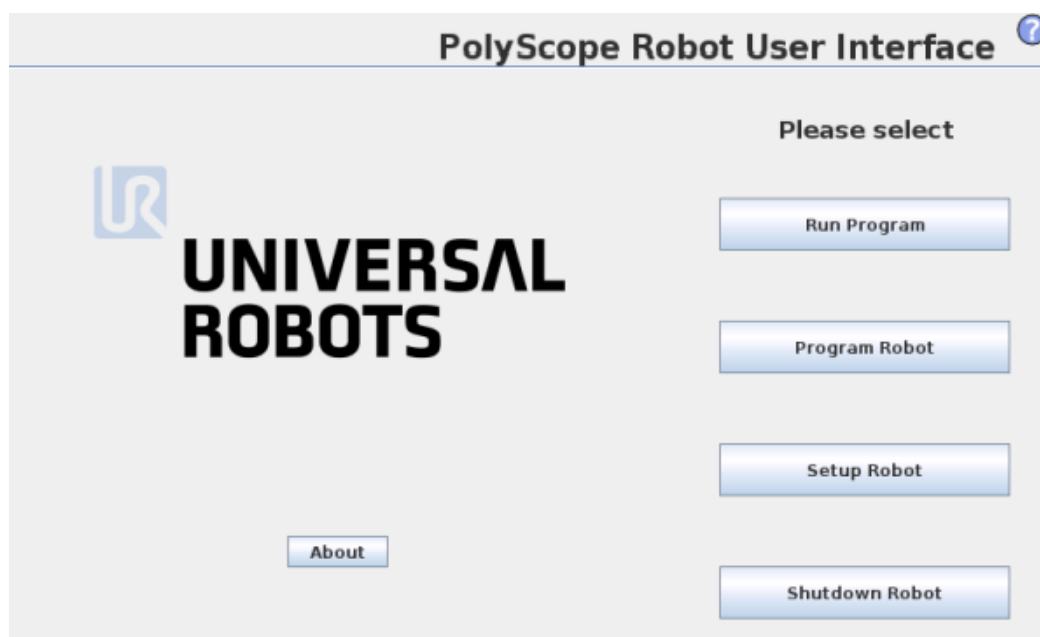
Před použitím robota a jeho grafického uživatelského rozhraní Polyscope musí být robot řádně nainstalován a zapnut.

Instalace

- Vyjmout robota a kontrolér z balení
- Připevnit robota na dostatečně pevný a tuhý povrch
- Postavit kontrolér do blízkosti robota
- Zapojit robota do kontroléru
- Zapojit kontrolér do zdroje elektrické energie

První zapnutí robota

- Zapnout kontrolér
- Stisknout tlačítko nouzového zastavení robota na dotykovém panelu
- Zapnout robota tlačítkem na dotykovém panelu
- Vyčkat na start systému, objeví se hláška vyžadující inicializaci robota
- Potvrdit inicializaci robota
- Počkat na bezpečnostní nastavení
- Odemknout nouzové zastavení robota
- Vystoupit z dosahu robota
- Zapnout robota
- Nastavit druh upnutí robota a váhu břemena
- Stisknout tlačítko Start, robot se lehce pohne a vydá zvuk vlivem odbrzdění
- Stisknout OK, nyní se spustí uvítací obrazovka



Obr. 5-4 Uvítací obrazovka rozhraní Polyscope [27]

Z uvítací obrazovky lze robota opět vypnout, měnit jeho nastavení, spouštět programy či vytvářet programy nové. Základy programování robota a popis příkazů, které slouží k programování průmyslového robota, jsou uvedeny v následující kapitole.

Nastavení centrálního bodu nástroje (TCP)

Centrální bod nástroje (TCP) je bod na konci robotické paže, který charakterizuje bod na nástroji robota. Pokud se robot pohybuje lineárně, je to právě tento bod, který koná lineární pohyb. Pohyb tohoto bodu je také vizualizován na položce „Graphics“.

Vhodná volba TCP usnadňuje práci s robotem. Pro účely testu úniku hélia je vhodné TCP volit v ose sondy a dále na jejím konci, kterým se robot bude přibližovat k tepelným výměníkům. Pokud by byl TCP zvolen ve vyšším místě sondy, mohlo by dojít k nárazu sondy do tepelného výměníku, případně by musel být tento rozdíl vzdálenosti korigován při programování.

Nastavení pomocných prvků

Ve většině aplikací průmyslového robota je potřeba pohybovat s robotem relativně k různým objektům či hranicím, jako jsou stroje, dopravníky, stoly, výrobky, apod. Z tohoto důvodu umožňuje Polyscope definování vlastních prvků, ke kterým lze vztáhnout souřadnicový systém robota.

- **Přímka** - vloží do instalace robota přímku. Přímka je zde definována dvěma uživatelsky vloženými body
- **Rovina** - vloží do instalace robota rovinu. Rovina je definována třemi body. Osa z je normálou k rovině a osa y směřuje od prvního vloženého bodu, k druhému.

Po instalaci a nastavení těchto bodů je možné začít s vlastním programováním robota.

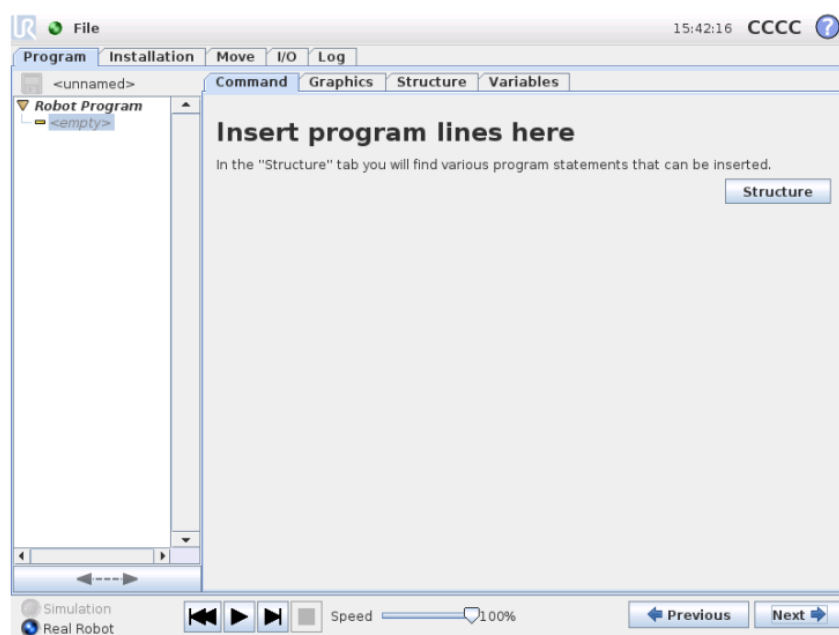
5.3.2 Programování robota UR5

Průmyslový robot UR5 od společnosti Universal Robots je opatřen dotykovým displejem s rozhraním Polyscope. Toto rozhraní umožňuje provádět instalaci robota, nastavovat jeho

požadovanou polohu, programovat a spouštět programy atd. V následujících odstavcích budou popsány především základy programování robota UR5.

Nový program

Nový program lze vytvořit ze šablony, či z již vytvořeného, uloženého programu. Šablona obsahuje obecnou strukturu programu a umožňuje tak programovat pouze vlastní specifickou část programu. Po založení programu se rozhraní přepne do tabulky Program. Zde se zobrazuje, který program je právě editován. V levé části se nachází strom programu, který zobrazuje seznam příkazů, zatímco v pravé části obrazovky se zobrazují detaily k vybranému příkazu. Příkaz se vybírá ze stromu příkazů. Nebo pomocí tlačítek v pravé dolní části displeje. Příkazy se přidávají či odebírají pomocí záložky „Structure“. Název programu je zobrazen přímo nad stromem příkazů. Poblíž je i ikonka diskety, pomocí které se program ukládá.



Obr. 5-5 Prázdný program robota UR5 [27]

V dolní části se nachází nástroje ke spouštění, zastavení či pozastavení programu. Zde je také posuvník, pomocí kterého lze v každém okamžiku nastavit rychlost přehrávání programu, což přímo ovlivňuje rychlost robota. Toho se využívá např. při prvním přehrávání programu, kdy se používají velmi malé rychlosti a pozorují se případné nebezpečné situace vzniklé neočekávaným pohybem robota. Lze také přepnout, zda se má přehrávat program na skutečném robotu, či v simulaci, kterou lze sledovat na 3D modelu robota na dotykovém panelu. Simulace může být zavádějící, protože zde není zobrazeno jiné strojní zařízení, vybavení, či lidé, kteří robota mohou ve skutečnosti obklopovat.

Příkaz „Empty“

Empty je základní prázdný příkaz. Do tohoto příkazu je nutné vložit konkrétní příkaz, jinak program nelze přehrát. Příkazy se vkládají ze záložky „Structure“, kde je seznam možných příkazů. Program nelze spustit, dokud všechny příkazy nejsou specifikovány a definovány.

Příkaz „Move“

Příkaz „Move“ ovládá pohyb robota skrze nastavené body („waypoint“) v prostoru. Tyto body musejí být vloženy do příslušného příkazu Move. V příkazu Move je definováno zrychlení a rychlost, kterou se robot mezi těmito body pohybuje.

Robot UR5 podporuje tři druhy pohybu.

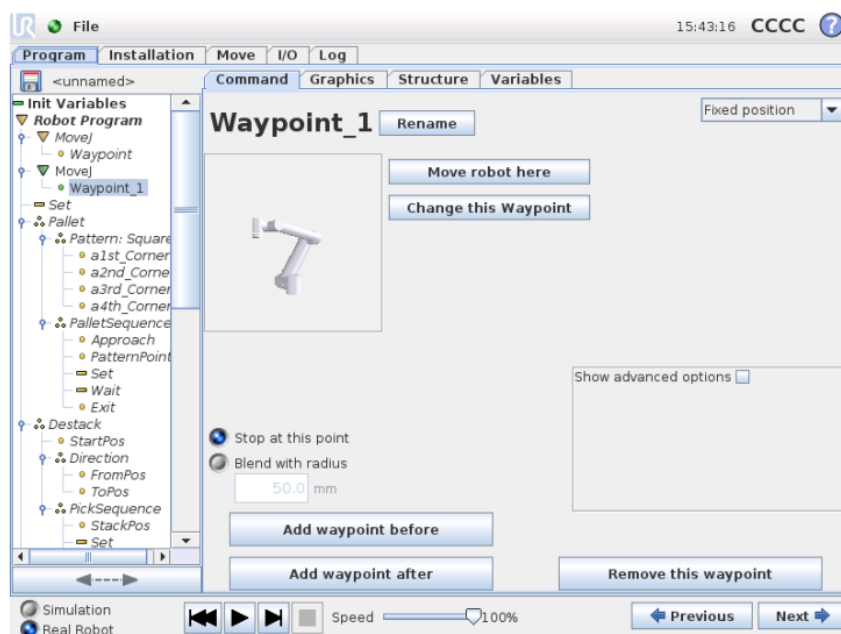
moveJ – je pohyb typu point to point. Každý kloub dosáhne své koncové polohy ve shodném čase. Tento typ pohybu má za následek zakřivenou trajektorii. Parametry tohoto typu pohybu jsou zrychlení kloubu a maximální rychlost kloubu v jednotkách $[\text{°/s}^2]$ respektive $[\text{°/s}]$. Používá se pro rychlé pohyby, při kterých nezáleží na trajektorii.

moveL – způsobuje lineární pohyb mezi body. Každý kloub tak musí vykonávat složitější pohyb k dosažení výsledné lineární trajektorie. Parametry jsou rychlost a zrychlení nástroje v $[\text{mm/s}]$ respektive $[\text{mm/s}^2]$ a také „Feature“, neboli prvek. Prvek udává, v jakém souřadnicovém prostoru se bude robot pohybovat. Prvkem může být nástroj, základna robota či například libovolná rovina. Tento druh pohybu také podporuje proměnlivou polohu bodů.

moveP – tento typ pohybu pohybuje s nástrojem robota lineárně s konstantní rychlostí a zaoblením mezi jednotlivými body. Je určen primárně pro procesy, jako je lepení, či jiné nanášení hmoty po požadované trajektorii. Parametrem tohoto pohybu je velikost zaoblení. Pro nižší hodnoty bude robot dělat trhanější, ostřejší pohyby, zatímco vyšší hodnoty zaoblení způsobí hladší dráhu.

Příkaz „Fixed Waypoint“

Fixed waypoint neboli fixní bod je stěžejní příkaz programu robota, který udává, v jaké poloze se má robot nacházet. Bod se nastavuje fyzickým pohybem robota do požadované pozice. Při klinutí na nastavení či změnění bodu se rozhraní přepne na ovládání pohybu robota. Zde lze robota ovládat pomocí šipek, či nastavením jednotlivých poloh každého z kloubů.



Obr. 5-6 Příkaz fixního bodu [27]

Název bodů lze změnit. Body se stejným názvem jsou vždy i stejné body. K Bodům lze nastavit i zaoblení. Pokud je zaoblení nastaveno, trajektorie robota bude zakřivena okolo tohoto bodu. Zaoblení mezi body se nesmí překrývat, není tak možné volit zaoblení mezi body naprosto libovolně.

Příkaz „Wait“

Pozastaví běh programu s následujícími možnostmi:

- Nečekat
- Čekat po pevně daný čas
- Čekat na digitální vstup/výstup
- Čekat na analogový vstup/výstup
- Čekat po čas dle uživatelské podmínky (funkce)

Příkaz „Set“

Nastavuje různé parametry, například:

- Žádná akce
- Nastav digitální vstup/výstup
- Nastav analogový vstup/výstup
- Nastav vstup/výstup dle uživatelské podmínky (funkce)
- Nastav vybranou proměnou s přírůstkem jedné
- Nastav váhu břemena

Příkaz „Halt“

Běh programu se na tomto příkazu zastaví.

Příkaz „Loop“

Tento příkaz opakuje podřízené (vložené) příkazy a to buď donekonečna, po určitý počet opakování, či dokud platí podmínka zadaná uživatelem. Při opakování pro určitý počet opakování bude vytvořena nová proměnná „Loop“. Při opakování za dané podmínky, lze zvolit možnost kontinuálního ověřování podmínky, takže cyklus může být přerušen okamžitě a ne po jednotlivých iteracích.

Příkaz „If“

Příkaz „If... else“ umožňuje měnit chování robota například na základě různých vstupů ze senzorů či jiných zařízení. Do „If“ se vloží příkazy, které se provedou, dokud podmínka platí. Pokud uvedená podmínka neplatí, celý blok příkazů, který je vložen pod If se přeskočí.

Příkaz „Pattern“

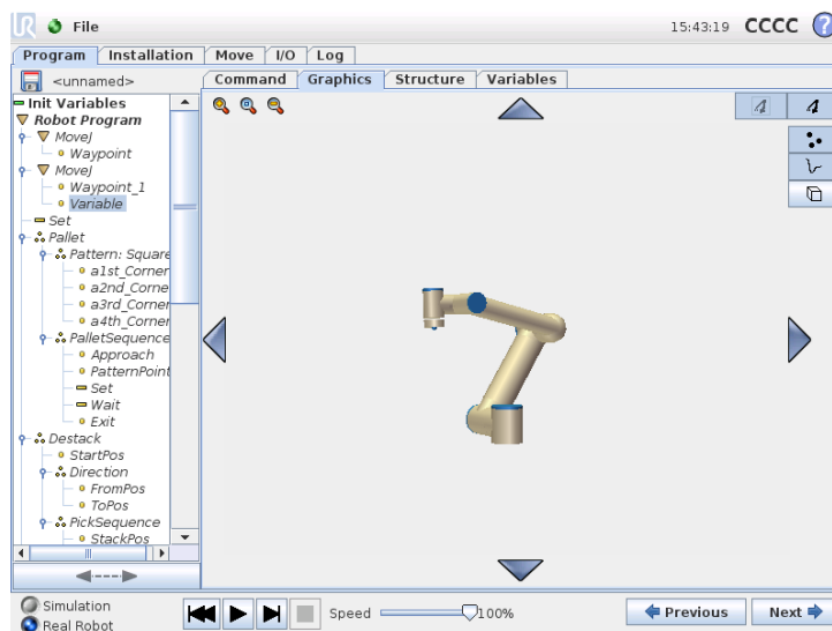
Tento příkaz slouží k projíždění zadaných bodů robotem v sekvenci podle vzoru (= pattern). Vzorem může být úsečka, čtverec, krychle či seznam jinak uspořádaných bodů. Pro každý vzor je potřeba zadat charakteristický počet bodů, kterými je definován. Jedná se o dva body pro úsečku, čtyři body pro čtverec a osm bodů pro krychlové pole.

Příkaz „Pallet“

Příkaz „Pallet“ umožňuje provést soubor příkazů u každého z bodů definovaných pomocí předchozího příkazu „Pattern“. U každého bodu ze vzoru se provede daná sekvence příkazů a to relativně k tomuto bodu. Pokud je od robota požadován jeden pohyb, který se neustále opakuje, například různé uchopování, pokládání, zakládání, je možné tento pohyb naprogramovat pouze jednou a poté ho opakovat pro každý polohu, pomocí vhodně nastaveného příkazu Pattern.

Záložka „Graphics“

Zde je znázorněna grafická reprezentace zvoleného programu robota. Trajektorie nástroje je znázorněna 3D pohledu. Zelenou barvou jsou znázorněny jednotlivé body trajektorie. 3D model zobrazuje robota v jeho současné reálné pozici.



Obr. 5-7 Vzhled záložky "Graphics" [27]

Průhledně je zobrazena poloha robota, kterou dosáhne ve zvoleném bodě ze seznamu příkazů, tzn. budoucí či přechodící pozice. Pohled lze přibližovat, oddalovat i rotovat s ním pro lepší přehlednost. Pomocí tlačítek lze i vypnout/zapnout různé 3D komponenty v pohledu.

Záložka „Structure“

V této záložce je možné vkládat, kopírovat, odebírat a přemisťovat různé typy příkazů. Vkládání příkazu probíhá následovně:

- Vybrat existující příkaz ze stromu příkazů
- Vybrat, zda nový příkaz má být vložen ve struktuře nad či pod vybraný příkaz
- Stisknout tlačítko příkazu, který má být vložen

Příkazy mohou být přesunuty, kopírovány či mazány v dolní části obrazovky zvané „Edit“. Umisťování příkazů má svá pravidla. Například příkaz bod (Waypoint) musí být vždy vložen pod příkaz pohyb (move), ElseIF a Else příkazy se musejí nacházet pod If příkazem apod.

5.3.3 Ověření použití robota UR5 na pozici testu úniku hélia

Společnost Daikin Industries Czech Republic s. r. o. v současné době disponuje jedním modelem robota UR5. Jeho účelem je možnost testování budoucích projektů automatizace přímo ve výrobní hale společnosti, či možnost školení a tréninku zaměstnanců. Na tomto zařízení bylo ověřeno, zda jeho parametry vyhovují požadavkům testu úniku hélia.

Účelem testu je při podmínkách reálného testování simulovat únik hélia a ověřit, zda ho detektor hélia při robotickém pohybu zaznamená.

Pro robota byl zkonstruován provizorní upínací systém, který byl připevněn k hliníkovým profilům testovací kabiny. K tomuto systému byl upevněn průmyslový robot UR5. Zařízení bylo testováno s pevnou, předem stanovenou polohou tepelného výměníku v testovací kabině,

tedy bez použití 3D kamery. V oblasti 3D detekce objektů společnost DICz nedisponuje dostatečnými zkušenostmi, aby mohla provádět testování ve své výrobní hale. K robotu byla připevněna sonda pro detekci hélia, která byla zapojena do detektoru Protec P3000 XL. Sonda byla kalibrována dle héliového standardu INFICON Pro-check, který je vyroben s potřebnou hodnotou úniku hélia přímo pro společnost DICz a jeho hodnota úniku je zaručena po jeden rok používání. Před začátkem testu byla kalibrace opětovně ověřena pomocí héliového standardu s OK výsledkem.

Robot UR5 byl naprogramován na test úniku hélia, tedy tak, aby se postupně pohyboval mezi všemi pájenými spoji na vybraném tepelném výměníku požadovanou rychlostí. V místech pájených spojů robot na okamžik setrval, či se pohyboval dostatečně nízkou rychlostí tak, aby byla zaručena dostatečná detekce hélia detektorem. Z důvodu zjednodušení testování byla zvolena pouze jedna varianta tepelného výměníku, pro kterou byl vytvořen jednoduchý program:

„MoveL

Waypoint_1

Waypoint_2

Wait: 0.1

Waypoint_3

Waypoint_4

Waypoint_5

Wait: 0.3

Waypoint_6

Waypoint_7

Waypoint_8

Wait: 0.3

Waypoint_9

Waypoint_10

Waypoint_11

Waypoint_12

Wait: 0.3

Waypoint_13

Waypoint_14

Waypoint_15

Wait: 0.3

Waypoint_16

Waypoint_17

Waypoint_18

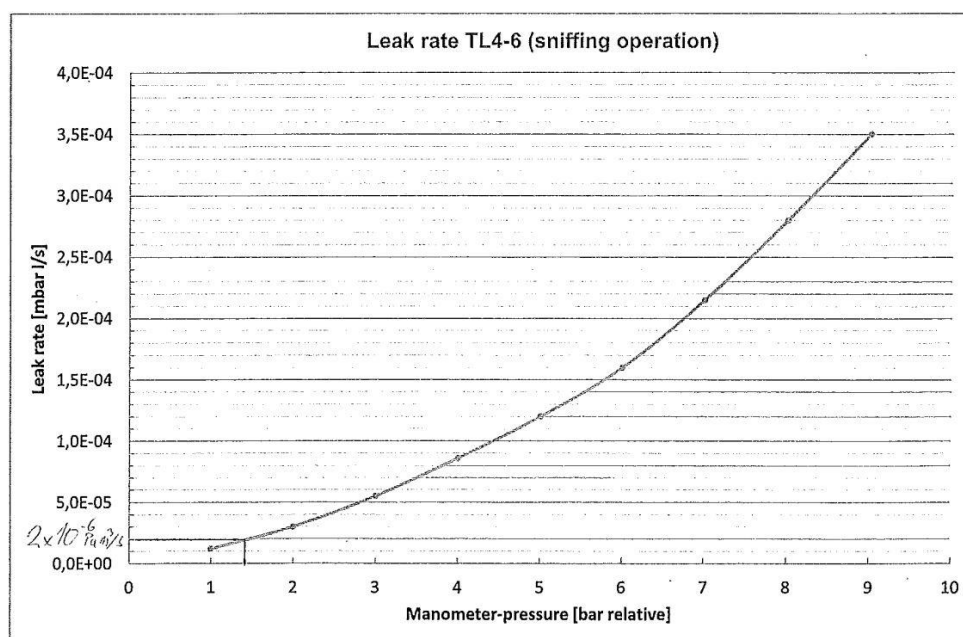
Wait: 0.3 ...“

Program je složen z příkazu lineárního pohybu a jednotlivých bodů, kterých robot dosahuje. Tyto body odpovídají konkrétním pájeným spojům na použitém tepelném výměníku. Body trajektorie jsou proloženy čekáním 0,3 sekundy ve vybraných místech pájených spojů. U jednotlivých pohybů dochází ke změně rychlosti robota podle toho, zda jde o pracovní pohyb či nepracovní pohyb. Pracovní pohyb je obecně pomalejší a používá se v okolí pájených spojů. Při pohybu mezi pájenými spoji je možné použít rychlost vyšší a ušetřit tak čas.

Vybraný tepelný výměník byl umístěn na pás dopravníku uvnitř testovací kabiny. V kabině byly navozeny stejné podmínky jako při provádění testu úniku hélia, tedy odvětrávání kabiny bylo zapnuto a do prostoru se přistupovalo pouze přes trásně. Robot byl nejprve spuštěn se sníženou rychlostí (cca 10% skutečné rychlosti) a pečlivě se sledovala jeho trajektorie. Tím byla ověřována poloha tepelného výměníku a odstraňovány potenciální kolize. Pokud by se robot blížil do neočekávaného bodu, či se výměník nacházel v nesprávné poloze, pohyb robota byl okamžitě zastaven a poloha výměníku zkorigována.

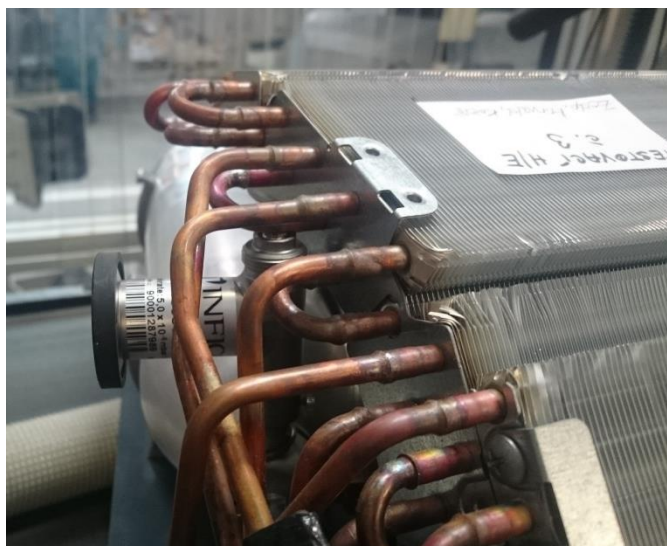
Výrobním oddělením byly odchyceny dva tepelné výměníky, které byly po testu úniku hélia shledány za netěsné. Tyto výměníky byly vyřazeny z výroby a poskytnuty k testování. Svými netěsnostmi však nevyhovovaly potřebám testu. Jejich netěsnosti a tedy úniky hélia byly příliš vysoké a při jejich umístění do kabiny byl celý prostor během okamžiku zaplněn héliem, což znemožnilo testování. Detektor totiž neustále ukazoval hodnotu úniku, i v případě, že se robotická sonda nacházela v pozici mimo únik. Z tohoto důvodu musel být simulován nižší únik hélia z tepelného výměníku.

Pro simulaci úniku hélia byl použit nastavitelný únik TL4-6 od společnosti INFICON. Jedná se o tlakovou nádobu, která je sestrojena tak, že velikost úniku hélia je závislá na výstupním tlaku z nádoby, který je nastavitelný.



Obr. 5-8 Závislost velikosti úniku hélia na výstupním tlaku z nádoby [14]

Toto zařízení bylo umístěno co nejbližně jednomu vybranému pájenému spoji tepelného výměníku. V tomto místě bylo nastaveno na požadovaný tlak a tím pádem na požadovaný únik hélia, který simuloval netěsnost pájeného spoje. Následně byl spuštěn program pohybu robota. Robot se pohybuje tak, že postupně zkontroluje každý pájený spoj na výrobku. V místě simulovaného úniku se pečlivě sledovala hodnota úniku hélia na detektoru. Cílem je předběžně ověřit zda pro tento stanovený postup a program robota bude únik hélia opravdu odhalen.



Obr. 5-9 Fotografie z měření simulovaného úniku, [14]

Pro testování bylo zvoleno 6 hodnot tlaku, kterým odpovídá 6 hodnot úniku hélia. Pro každou nastavenou hodnotu byl program robota spuštěn třikrát. Za běhu robota se měřila reálná detekovaná hodnota úniku hélia. Pro každou hodnotu tlaku a tedy nominální hodnotu úniku byly změřeny tři hodnoty úniků skutečných, ze kterých se spočítala průměrná hodnota.

Nastavitelný únik		Naměřené hodnoty [Pa·m ³ /s]				Relativně k nominální hodnotě [%]
Tlak	Nominální hodnota [Pa·m ³ /s]	č. 1	č. 2	č. 3	Průměr	
8 bar	2,80E-05	1,10E-05	4,40E-05	2,60E-05	2,70E-05	96,4
7 bar	2,25E-05	2,90E-05	1,40E-05	2,00E-05	2,10E-05	93,3
6 bar	1,60E-05	2,10E-05	2,70E-06	4,60E-06	9,43E-06	59,0
5 bar	1,30E-05	2,30E-06	1,00E-05	2,50E-06	4,93E-06	37,9
4 bar	8,50E-06	2,60E-06	3,00E-06	2,00E-06	2,53E-06	29,8
3 bar	5,50E-06	1,00E-06	1,70E-06	1,40E-06	1,37E-06	24,8

Obr. 5-10 Měření úniku robotem za podmínek reálného testu [14]

Mezní hodnota úniku hélia je ve společnosti Daikin Industries Czech Republic s. r. o. stanovena na $2 \cdot 10^{-5}$ Pa·m³/s. Mezní hodnotou se rozumí hodnota, od které je výměník považován za netěsný.

U nominálního úniku o hodnotě $2,25 \cdot 10^{-5}$ Pa·m³/s, který se meznímu úniku nejvíc přibližuje, bylo detekováno celých 93,3% této hodnoty, což lze považovat za velmi dobrý výsledek.

Je tedy možné se zvolenými parametry robota (rychlost 40 mm/s až 60 mm/s, čekání 0,3 sekund v určitých místech a s konkrétně zvolenými body atd. viz kapitola 4) počítat do dalších fází projektu.

5.3.4 3D Kamera Sick IVC-3D

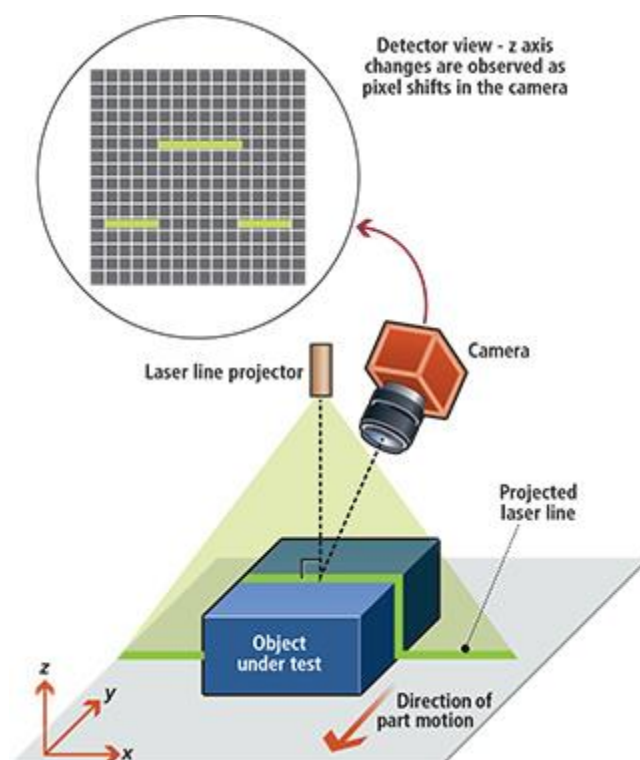
Pro zjišťování přesné polohy tepelných výměníků byla zvolena 3D kamera společnosti Sick s označením IVC-3D31111.



Obr. 5-11 3D kamera Sick IVC-3D [25]

Toto zařízení pracuje na principu aktivní laserové triangulace. Aktivní 3D triangulační systém se skládá ze čtyř komponent. Jsou jimi kamera, laser, mechanismus, který pohybuje buď systémem kamery a laseru, nebo měřeným objektem skrze zorné pole optického systému a nakonc software, který zpracovává zachycený obraz a transformuje rozdíl pixelů jako rozdíl výšek na měřeném objektu. [26]

Kamera využívá standardní geometrii, která je v tomto odvětví nejčastěji používanou metodou měření. Ta spočívá v tom, že laser je na objekt promítán kolmo k rovině měření, v tomto případě tedy kolmo k rovině dopravníku. Vlastností této metody je, že změna výšek objektu nemění hodnotu souřadnic na ose y. Výpočty lze tak zjednodušit, což vede k rychlejšímu měření a ke snadnější konfiguraci celého systému. Nevýhodou této konfigurace je, že kamera zabírá objekt pod úhlem. To zvyšuje nároky na dostatečné zaostření celého objektu vlivem hloubky ostroty kamery. [26]



Obr. 5-12 Princip aktivní 3D triangulace [26]

Princip transformace souřadnic pro robota pak v praxi vypadá následovně. Do kamerového systému budou vloženy tzv. šablony, neboli fotografie stávajících tepelných výměníků, které obsahují charakteristické klíčové (referenční) body. Kamera poté snímá konkrétní tepelný

výměník přímo na pracovišti, vyhledává v něm referenční body a tento současný obraz porovnává s již uloženou šablonou. Rozdíl v pixelech mezi těmito obrazy se poté přepočte na jednotky délky.

Specifikace kamerového systému:

Stanovení úlohy	Polohování, Inspekce, Měření, Čtení
Pracovní vzdálenost	208 mm až 239 mm
Zorné pole	30 mm x 50 mm
Světelný zdroj	Viditelné červené světlo (Laser, 658 nm, ± 15 nm)
Šířka min. pracovní vzdálenosti	53 mm
Šířka max. pracovní vzdálenosti	59 mm
Maximální rozsah výšky	31 mm
Úhel senzoru obrazu	53°
Digitální vstupy	3 programovatelné vstupy
Digitální výstupy	3 programovatelné výstupní spínací prvky typu B
Příkon	< 1 A, Bez zatížení výstupu
Krytí	IP65
Materiál pouzdra	Eloxovaný hliník
Materiál čelního skla	Bezpečnostní sklo
Hmotnost	3,2 kg
Rozměry (D x V x H)	294 mm x 69 mm x 163 mm

Tabulka 5-4 Specifikace 3D kamery Sick IVC-3D [28]

Společnost Daikin Industries Czech Republic s. r. o. bohužel v oblasti 3D detekce objektů zatím nedisponuje dostatečnými zkušenostmi ani know-how, aby mohla implementovat tento systém sama. Většina činností na poli detekce tepelných výměníků na pracovišti a zjišťování polohy pro robota bude tedy na dodavatelské společnosti.

6 Zhodnocení přínosů

Předpokladem implementace průmyslového robota na pracoviště testu úniku hélia bylo ušetření pracovníků. Jedná se o třisměnný provoz, proto použitím robota dojde k eliminaci tří pracovních pozic a tím ke snížení nákladů na zaměstnance na těchto pozicích. Je zřejmé, že ekonomický přínos lze zjednodušeně vyjádřit právě pomocí těchto ušetřených nákladů na tři zaměstnance. Automatizace s sebou nese však i nepříznivý vliv na výrobní náklady. Tím jsou mzdové náklady vynaloženy na činnosti spojené s automatizačním zařízením. To vyžaduje v určitých časových intervalech změnu nastavení, kontrolu nastavení, změnu programu, údržbu a případně další činnosti při prvotním rozběhu a sledování zařízení, modifikaci robota či komponent, nebo v případě neočekávaných situací jako jsou poruchy zařízení či jeho částí, pád, nebo chyba programu apod. Toto zvýšení nákladů vlivem zavedení automatizace nelze přesně vyčíslit, a proto bude ve spolupráci s pracovníky společnosti Daikin Industries Czech Republic s. r. o., kteří se pohybují v oboru automatizace, stanoven kvalifikovaný odhad.

6.1 Kvantitativní hodnocení

Mezi kvantitativní hodnocení patří pomocné metody praxe, neboli statické metody hodnocení a finančně matematické (dynamické) metody. Ve fázi přípravy projektu, kdy jsou všechny hodnoty pouze orientační, zde bude uveden příklad výpočtu statickou metodou a tou je propočet doby návratnosti investice.

Roční náklady na jednoho zaměstnance výroby byly vyčísleny na 430 000 Kč. Pro třisměnný provoz a tedy tři zaměstnance, jde celkem o ušetřených 1 290 000 Korun českých.

Kontrola nastavení robota, kamerového systému, údržba, práce operátora v případě výpadku zařízení atd. má za následek již zmiňované zvýšení mzdových nákladů. To bylo po konzultaci se zaměstnanci společnosti Daikin Industries Czech Republic s. r. o., kteří mají zkušenosti s obdobnými zařízeními, odhadnuto na maximálně 150 000 Kč ročně.

Propočet doby návratnosti

Jako doba návratnosti je označena doba, za kterou se uhradí pořizovací náklady z ročních výnosů investice. Pro tento případ vypadá vztah následovně:

$$DN = \frac{\text{Pořizovací náklady}}{\text{Roční výnosy} - \text{Roční náklady}} = \frac{2111298}{1290000 - 150000} = 1,85 \text{ roku} \quad (1)$$

Společnost DICz pro své investice požaduje dobu návratnosti nižší než dva roky. V tomto případě by to pro odhadované hodnoty bylo splněno.

6.2 Kvalitativní hodnocení

Součástí komplexního hodnocení investic jsou i kritéria kvalitatívni, která se dají rozdělit do čtyř základních oblastí - ekonomické, technické, sociální a právní. Ekonomická se vztahují k odbytu podniku, nákupu, personálu či financování společnosti. Technická kritéria hodnotí univerzálnost strojního zařízení, stupeň automatizace, přesnosti, náchylnost k poruchám, bezpečnostní rizika zařízení, náročnost práce atd. Sociální kritéria posuzují investiční variantu především z pohledu dopadu na pracovníka. Posuzuje se například monotonie práce, spokojenost, ergonomie apod. Poslední skupina právních kritérií posuzuje výhodnost investice k naplňování právních předpisů. [30]

Kvalitativní hodnocení implementace průmyslového robota UR5 ve společnosti Daikin Industries Czech Republic s. r. o. vypadá následovně.

Zřejmé je zvýšení stupně automatizace oproti práci operátora. Dalším efektem je zvýšení standardizace. Tepelné výměníky mají 4 různé varianty a ty obsahují až padesát pájených spojů, které operátor kontroluje pomocí dvou ručních sond v taktu kratším než 30 sekund. Z těchto důvodů může dojít relativně snadno k lidské chybě. Robotické zařízení bude pracovat dle programu, kde nedůsledná kontrola pájeného spoje či úplné vynechání kontroly pájeného spoje nehrozí. Přesná poloha tepelných výměníků a tedy i pájených spojů je zjišťována 3D kamerou, která transformuje tyto souřadnice robotickému zařízení.

Test úniku hélia nevyžaduje dokonalou přesnost, nicméně robot dosahuje opakované přesnosti 0,1 mm, což operátor pravděpodobně nedokáže. V případě potřeby vyšší přesnosti ji tak robot bude již splňovat.

Na pracovišti se provádí poměrně monotónní práce a to přikládání sondy k jednotlivým pájeným spojům v rychlém sledu. Odstraněním této operátorské pozice dojde k snížení této monotónnosti práce, jelikož se zaměstnanec může věnovat jiným pozicím ve výrobě, které lépe vyhovují povaze člověka.

V neposlední řadě také dojde ke značné modernizaci výrobního systému, což může mít za následek několik příznivých efektů, jako například zvýšení atraktivity pro budoucí kvalifikovanější zaměstnance, zvýšení atraktivity pro možné dodavatele a jiné zájmové skupiny, zvýšení úrovně znalostí a know-how společnosti, hezčí a příjemnější pracovní prostředí atd.

Závěr

V teoretické části byly popsány základy nedestruktivních zkoušek těsnosti produktů, klasifikace, konstrukce, kinematika, řízení a bezpečnost průmyslových robotů a manipulátorů či jejich komponent a nakonec rozdělení časových studií a popis možností a postupů při jejich provádění v průmyslových podnicích, včetně popisu konkrétního formuláře, který byl vytvořen pro účely diplomové práce.

Práce se dále zabývá popisem a analýzou konkrétního výrobního procesu ve společnosti Daikin Industries Czech Republic s. r. o. a to konkrétně procesem testu úniku hélia, který je v současné době prováděn pracovníky. Analýzy se zabývají časovou náročností celého procesu, vlivem různorodosti testovaných výrobků na postup testování, vlivem rychlosti pohybu sondy či vlivem vzdálenosti sondy od testovaného povrchu.

Na základě zjištěných skutečností byla sestavena specifikace požadavků, které by měly být dodavateli splněny. V reakci na zasláné specifikace obdržela společnost DICz cenové nabídky od dvou dodavatelských společností. Vzhledem k tomu, že cenové nabídky byly v této fázi orientační, bylo provedeno i orientační hodnocení variant a zvolena varianta, která nejlépe vyhovuje požadavkům společnosti DICz.

Zvolená varianta je následně podrobněji popsána, včetně specifikace robota UR5 a možností jeho programování. Součástí je i specifikace 3D kamery Sick IVC-3D. Následuje praktické ověření aplikace robota UR5 přímo na pracovišti testu úniku hélia ve společnosti Daikin Industries Czech Republic s. r. o., které lze považovat za velmi úspěšné.

Poslední kapitolou je pak technicko-ekonomické zhodnocení podle zvolených kvalitativních i kvantitativních kritérií. Pokud se společnost Daikin Industries Czech Republic s. r. o. rozhodne pro objednání zvolené varianty, může dosáhnout pozitivních efektů jako je snížení mzdových nákladů, zvýšení standardizace výroby a zvýšení své atraktivity pro rozličné zájmové skupiny.

Výsledky diplomové práce lze považovat za přínosné společnosti DICz a její zpracování jistě pomohlo s velmi komplexní, ale v současné době také aktuální, problematikou automatizace manuálně prováděných výrobních procesů v průmyslových podnicích.

Použité prameny a literatura


- [1] Beneš, Pavel, *Automatizace a automatizační technika. 3, Prostředky automatizační techniky*, Brno: Computer Press 2014, ISBN 978-80-251-3747-5
- [2] Oplatek, František, *Automatizace a automatizační technika. 4, Automatické systémy*, Praha: Computer Press 2000 ISBN, 80-7226-249-1
- [3] BUREŠ, M., *Řízení a organizace práce*, Přednášky k předmětu, Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni
- [4] EDL, M., *Metody průmyslového inženýrství*, Přednášky k předmětu, Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni
- [5] http://images.slideplayer.cz/11/3095662/slides/slide_6.jpg
- [6] SPŠ – Levice. [online]. [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: http://www.spslevice.sk/ucebnice/SOC/pictures/k_kinematika_robotov_1.gif
- [7] SPŠ – Levice. [online]. [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: http://www.spslevice.sk/ucebnice/SOC/pictures/k_kinematika_robotov_2.gif
- [8] HORŇÁK, J., *Robotika. Teorie průmyslových robotů*. [online]. [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: http://images.slideplayer.cz/7/1885278/slides/slide_11.jpg
- [9] KOHOUT, L., *Roboty a manipulátory. Edumat*. [online]. [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf
- [10] Corporate Data. *Daikin Global*. [online]. [cit. 2016-12-05]. Dostupné z http://www.daikin.com/about/corporate/corporate_data/images/pic_sales-breakdwon.png
- [11] DICz Plzeň. *Daikin*. [online]. [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://www.daikinczech.cz/o-dicz/o-dicz/>
- [12] Chronology. *Daikin Global*. [online]. [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://www.daikin.com/about/corporate/history/chronology/index.html>
- [13] Montáž klimatizácie. [online]. [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://www.montazklimatizacie.sk/image/3.jpg>
- [14] Podniková dokumentace společnosti Daikin Industries Czech Republic s. r. o.
- [15] Daikin Industries Czech Republic s. r. o., *PE-DWG-00464 - Leak test booth - line F2*, podniková dokumentace, 2015
- [16] INFICON, *Protec P3000(XL) EN*, brožura. [online]. 2010 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z <http://products.inficon.com/GetAttachment.axd?attaName=f878617b-2dc2-4d04-bd77-f1665eb397ce>
- [17] INFICON, *Protec P3000(XL) EN*, manuál. [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z <http://products.inficon.com/GetAttachment.axd?attaName=214b055e-10c2-42df-a5f3-4b48380e253b>
- [18] Daikin Industries Czech Republic s. r. o., *FMEA-16-0011 Process of automatic sniffing on F2 leak test*, podniková dokumentace, 2016
- [19] Daikin Industries Czech Republic s. r. o., *PE-ERP-17-0016 Examination of probe movement parameters during He leak test*, podniková dokumentace, 2017

- [20] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [21] Daikin Industries Czech Republic s. r. o., *Sniffing robot for leak test – Purchase specification - Attachment 1 - Specification items cz*, podniková dokumentace, 2017
- [22] *Robot RV-4FL* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2012/images/0523-b.jpg>
- [23] *Robot UR5* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/media/1003687/ur10-collaborative-robot-arm-small.png>
- [24] *Technická specifikace pro UR5* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: https://www.universal-robots.com/media/1514576/101081_199915_ur5_technical_details_web_a4_art03_rls_cz.pdf
- [25] *Sick IVC-3D* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.sick.com/media/ZOOM/8/58/458/IM0048458.png>
- [26] *Understanding laser-based 3D triangulation methods for machine vision methods* [online]. 2015 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-20/issue-6/features/understanding-laser-based-3d-triangulation-methods.html>
- [27] Universal Robots, *User manual UR5/CB3* [online]. Dostupné z: https://www.universal-robots.com/media/8704/ur5_user_manual_gb.pdf
- [28] Sick, *3D Vision IVC-3D/IVC-3D 30* [online]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/kamerove-systemy/3d-vision/ivc-3d/ivc-3d31111/p/p148163>
- [29] Podniková dokumentace společnosti INFICON GmbH, Bonner Str. 498, 50968 Cologne, Germany
- [30] KLEINOVÁ, J., ČECHURA, T., BROUM, T., *Ekonomické analýzy a hodnocení výrobních procesů a produktů*, [Plzeň]: SmartMotion 2013

Přílohy

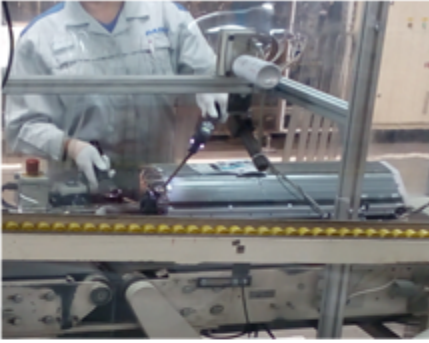
PŘÍLOHA č. 1

Záznamy měření ze sumární chronometráže testu úniku hélia

Formulář časového snímku				
Datum:	1.2.2017			Fotografie pracoviště 
Čas měření:	8:10			
Měřil:	Jan Kočíš			
Pracoviště:	F2 - Test úniku hélia			
Proces:	Test úniku hélia 2. pozice			
Výrobek:	Tepelný výměník BMS			
Popis pracovního postupu:				
Pracovník uchopí jednu ruční sondu do každé ruky. Jednou sondou přejíždí těsně nad povrchem tepelného výměníku a druhou sondou uvnitř tepelného výměníku. Po dokončení kontroly stiskne tlačítko.				
Mezní bod měření - začátek				Mezní bod měření - konec
Stisknutí tlačítka - dokončení operace				Stisknutí tlačítka - dokončení operace
Číslo	Čas	Počet	Čas na 1ks	Poznámka
1	0:00:26	1	0:00:26	
2	0:00:27	1	0:00:27	
3	0:00:30	1	0:00:30	
4	0:00:27	1	0:00:27	
5	0:00:27	1	0:00:27	
6	0:00:29	1	0:00:29	
7	0:00:30	1	0:00:30	
8	0:00:29	1	0:00:29	
9	0:00:27	1	0:00:27	
10	0:00:30	1	0:00:30	
11	0:00:30	1	0:00:30	
12	0:00:30	1	0:00:30	
13	0:00:36	1	0:00:36	Nestandardní operace - falešný únik
14	0:00:28	1	0:00:28	
15	0:00:26	1	0:00:26	
16	0:00:27	1	0:00:27	
17	0:00:27	1	0:00:27	
18	0:00:31	1	0:00:31	
19	0:00:31	1	0:00:31	
20	0:00:26	1	0:00:26	

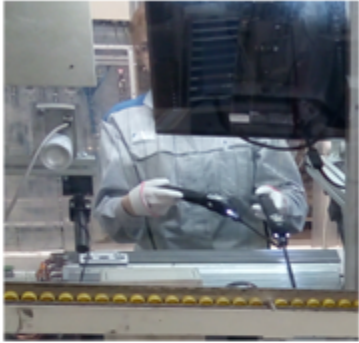
Průměrný čas	0:00:28
Minimální čas	0:00:26
Maximální čas	0:00:36

Obr. příloha 1-1 Časový snímek testu těsnosti povrchu výměníku BMS [14, autor]

Formulář časového snímku				
Datum:	1.2.2017			Fotografie pracoviště 
Čas měření:	9:00			
Měřil:	Jan Kočíš			
Pracoviště:	F2 - Test úniku hélia			
Proces:	Test úniku hélia 1. pozice			
Výrobek:	Tepelný výměník BML			
Popis pracovního postupu:				
Pracovník uchopí jednu ruční sondu do každé ruky. Postupně přikládá sondy do blízkosti kontrolovaných pájených spojů av jejich blízkosti setrvává asi vteřinu. Po dokončení kontroly stiskne tlačítko.				
Mezní bod měření - začátek				Mezní bod měření - konec
Stisknutí tlačítka - dokončení operace				Stisknutí tlačítka - dokončení operace
Číslo	Čas	Počet	Čas na 1ks	Poznámka
1	0:00:32	1	0:00:32	
2	0:00:30	1	0:00:30	
3	0:00:27	1	0:00:27	
4	0:00:29	1	0:00:29	
5	0:00:38	1	0:00:38	
6	0:00:36	1	0:00:36	
7	0:00:37	1	0:00:37	
8	0:00:40	1	0:00:40	
9	0:00:33	1	0:00:33	
10	0:00:36	1	0:00:36	

Průměrný čas	0:00:34
Minimální čas	0:00:27
Maximální čas	0:00:40

Obr. příloha 1-2 Časový snímek testu těsnosti pájených spojů výměníku BML [14, autor]

Formulář časového snímku				
Datum:	1.2.2017			Fotografie pracoviště 
Čas měření:	12:25			
Měřil:	Jan Kočíš			
Pracoviště:	F2 - Test úniku hélia			
Proces:	Test úniku hélia 2. pozice			
Výrobek:	Tepelný výměník BMS			
Popis pracovního postupu:				
Pracovník uchopí jednu ruční sondu do každé ruky. Jednou sondou přejíždí těsně nad povrchem tepelného výměníku a druhou sondou uvnitř tepelného výměníku. Po dokončení kontroly stiskne tlačítko.				
Mezní bod měření - začátek				Mezní bod měření - konec
Stisknutí tlačítka - dokončení operace				Stisknutí tlačítka - dokončení operace
Číslo	Čas	Počet	Čas na 1ks	Poznámka
1	0:00:28	1	0:00:28	
2	0:00:27	1	0:00:27	
3	0:00:29	1	0:00:29	
4	0:00:28	1	0:00:28	
5	0:00:33	1	0:00:33	
6	0:00:32	1	0:00:32	
7	0:00:31	1	0:00:31	
8	0:00:31	1	0:00:31	
9	0:00:29	1	0:00:29	
10	0:00:32	1	0:00:32	

Průměrný čas	0:00:30
Minimální čas	0:00:27
Maximální čas	0:00:33

Obr. příloha 1-3 Časový snímek testu těsnosti povrchu výměníku BML [14, autor]

PŘÍLOHA č. 2

Pracovní verze programu robota UR5 pro test úniku hélia

Set DO[1]=Off // *Nastav false na digitálním výstupu 1 (operace dokončena).*

Wait DI[0]=HI // *Čekej na hodnotu true digitálního vstupu 1 (dopravník).*

If digital_in[3]≐ True // *Pokud je digitální vstup 3 (detektor hélia) true, pak...*

Unik:= True // *... nastav proměnnou Unik na true.*

If digital_in[1]= False and digital_in[2]= False // *pokud je digitální vstup 1 a současně digitální vstup 2 false, pak se provede následující část kódu, jinak se celý blok If přeskočí.*

Unik:= False

Call Cast_1 // *Spust' podprogram Cast_1*

If Unik≐ True // *Pokud je proměnná Unik true, pak se provede následující část kódu, jinak se celý tento blok If přeskočí.*

MoveL // *Lineární pohyb po následujících bodech*

Vyjeti_1 // *Odjed' z místa testování*

Zero_1

Zero_2

Zero_3 // *Zajed' do nulovací polohy*

Set DO[0]=On // *Nastav digitální výstup 0 (nulování detektoru) na true*

Zero_2

Set DO[0]=Off

Unik:= False

Call Cast_1 // *Spust' opět podprogram Cast_1*

If Unik≐ True // *Pokud bude únik opět true, provede následující blok kódu, jinak se If přeskočí a bude se pokračovat podprogramem části 2)*

Wait DI[4]=HI // *Čekej na potvrzení operátorem (digitální výstup 4 = true)*

MoveL

Waypoint_100 // *Odjed' z místa testování*

Set DO[1]=On // *Nastav true na digitálním výstupu 1 (operace dokončena)*

Home // *Jed' do Home polohy*

Halt // *Ukončení podprogramu*

Call Cast_2 // *Obdobné jako Část 1*

If Unik≐ True

MoveL

Vyjeti_2

Zero_1

Zero_2

```
Zero_3
Set DO[0]=On
Zero_2
Set DO[0]=Off
Unik:= False
Call Cast_2
If Unik? True
    Wait DI[4]=HI
    MoveL
        Waypoint_101
        Set DO[1]=On
        Home
        Halt
Call Cast_3 // Obdobné jako Část 1 a Část 2
If Unik? True
    MoveL
        Vyjeti_3
        Zero_1
        Zero_2
        Zero_3
        Set DO[0]=On
        Zero_2
        Set DO[0]=Off
        Unik:= False
        Call Cast_3
        If Unik? True
            Wait DI[4]=HI
            MoveL
                Waypoint_102
                Set DO[1]=On
                Home
                Halt
        Set DO[1]=On
If digital_in[1]? True and digital_in[2]? True
```


Sekvence BMS 6553 // *obdobné jako dosavadní část kódu, ale pro jiný tepelný výměník, z důvodu lepší přehlednosti již není struktura programu detailně rozepsaná*

If digital_in[1] $\stackrel{?}{=}$ True and digital_in[2] $\stackrel{?}{=}$ False

Sekvence pro BML 6555

If digital_in[1] $\stackrel{?}{=}$ False and digital_in[2] $\stackrel{?}{=}$ True

Sekvence pro BML 6557

Cast_1 // *Struktura podprogramu Cast_1*

MoveL

Waypoint_1

Waypoint_2

Wait: 0.1

Waypoint_3

Waypoint_4

Waypoint_5

Wait: 0.3

Waypoint_6

Waypoint_7

Waypoint_8

Wait: 0.3

Cast_2 // *Struktura podprogramu Cast_2*

MoveL

Waypoint_9

Waypoint_10

Waypoint_11

Waypoint_12

Wait: 0.3

Waypoint_13

Waypoint_14

Waypoint_15

Wait: 0.3

Waypoint_16

Waypoint_17

Waypoint_18

Wait: 0.3

Cast_3 // *Struktura podprogramu Cast_3*

MoveL

Waypoint_19

Waypoint_20

Waypoint_21

Waypoint_22

Waypoint_23

Waypoint_24

Waypoint_25

Wait: 0.1

Waypoint_26

Waypoint_27

Waypoint_28

Waypoint_29

Wait: 0.5

Waypoint_30

Waypoint_31

Wait: 0.5

Waypoint_32

Waypoint_33

Home

Zdroj: Jan Mirvald (DICz), autor